

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Periodical Part, Published Version

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.)

Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2013

BAWForschungskompodium

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101765>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

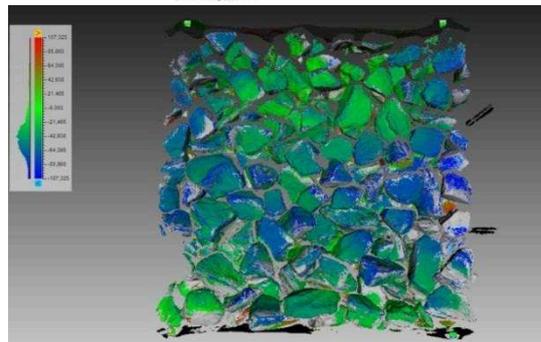
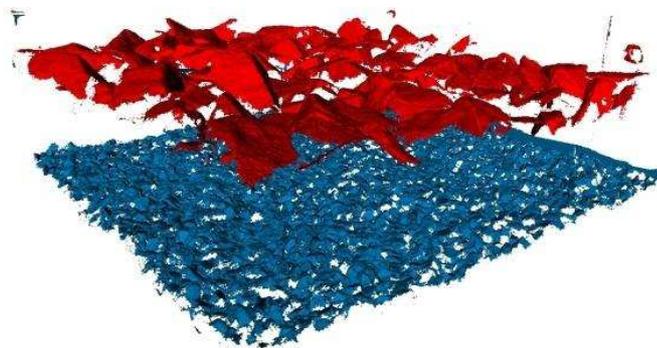
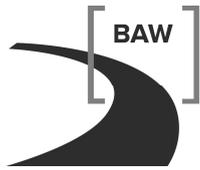
Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2013. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWForschungskompodium).

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.

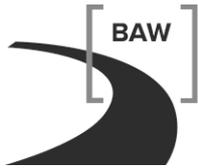
Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply;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





Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2013

Titelbild: 3D-Scans, (oben) Deckschicht aus Wasserbausteinen (rot) mit Kornfilter (blau)
(unten) Oberflächensetzungen der Deckschicht nach 70 Tauchzyklen
(Vorhaben A395520470001)



Bundesanstalt für Wasserbau
Kompetenz für die Wasserstraßen

Vorwort

Mit rund 100 aktiven Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FuE-Vorhaben) im Jahr 2013 hat die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) als technisch-wissenschaftliche Bundesoberbehörde dazu beigetragen, Wissenslücken im Verkehrswasserbau zu schließen und dabei sichere, praxisnahe, zukunftsweisende und kostengünstige Lösungen zu entwickeln.

Die verkehrswasserbauliche Forschung der BAW wird auf den Gebieten der Bautechnik, der Geotechnik und des Wasserbaus im Binnen- und Küstenbereich wahrgenommen. Daneben gliedert sich die Forschung der BAW in die Forschungsbereiche: Innovative Technologien, Mobilität, Sicherheit und Schutz sowie Nachhaltigkeit und orientiert sich damit an den Zielen des 3. Verkehrsforschungsprogramms der Bundesregierung „Mobilität und Verkehrstechnologien“. Die BAW betreibt angewandte, praxisorientierte Forschung im Sinne einer Ressortforschung als originäre Aufgabe. Die Ressortforschung ist darauf gerichtet, Entscheidungshilfen zur sachgemäßen Erfüllung der verkehrswasserbaulichen Fachaufgaben der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) und des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), früherer Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zu entwickeln.

Die Ressortforschung wurde zuletzt im Koalitionsvertrag „Deutschlands Zukunft gestalten“ für die 18. Legislaturperiode unter Punkt 1.2, S. 37 f., politisch gestärkt, indem der Ressortforschung bescheinigt wird, dass sie wichtige Beiträge im Gefüge der bundesdeutschen Wissenschaftslandschaft leistet. Die Koalition strebt darüber hinaus eine Stärkung der Ressortforschung an und will dafür sorgen, dass die Ressortforschungseinrichtungen von den Vorteilen des Wissenschaftsfreiheitsgesetzes profitieren können.

Dem Ziel eines engen Bezugs zwischen der Ressortforschung einerseits und der praktischen Anwendung andererseits wird dadurch Genüge getan, dass die wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der BAW sowohl Forschungs- und Entwicklungsvorhaben als auch Projektaufträge (Gutachten und Beratung) für die WSV betreuen und bearbeiten. Diese Verzahnung trägt zur besonderen fachwissenschaftlichen Kompetenz der BAW bei und gewährleistet die schnelle Nutzung neuer Erkenntnisse. Eine seit 2011 eingerichtete Titelgruppe 05 ermöglicht zur Verstärkung der Forschungsleistung die Einstellung von zeitlich befristetem Forschungspersonal in der Größenordnung von rund 40 Stellen.

Die BAW bedient sich bei der Bearbeitung der FuE-Vorhaben der neuesten wissenschaftlichen und technischen Methoden. Für Zuarbeiten und Kooperation mit Hochschulen, Fachinstituten und Ingenieurbüros auf nationaler und internationaler Ebene standen im Jahr 2013 planmäßig rund 2,5 Mio. € zur Verfügung.

Das vorliegende Forschungskompodium 2013 gibt einen vollständigen Überblick über die abgeschlossenen, laufenden und neu begonnenen Forschungsaktivitäten der BAW, dargestellt in Form von Kurzberichten.

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

Dipl.-Ing. Claus Kunz
Forschungsbeauftragter der BAW

Inhaltsverzeichnis

I. Abgeschlossene FuE-Vorhaben in 2013

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich ¹⁾	Seite
Mauerwerk im konstruktiven Wasserbau	A39510370007	B	I	1

II. Laufende FuE-Vorhaben in 2013

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich ¹⁾	Seite
Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke (SiBeWa)	A39510070001	B	S	4
Entwicklung eines Erhaltungsmanagementsystems für die WSV (EMS-WSV)	A39510070501	B	S	7
Ermittlung Kräfte bei Ankerwurf auf Kreuzungsbauwerke	A39510110178	B	S	10
Ermüdungssicherheit vollverschlossener Seile	A39510170001	B	S	13
Zwangsbeanspruchung bei dicken, gerissenen Stahlbetonquerschnitten	A39510170002	B	N	16
Bemessungskonzept für Wasserbauwerke auf Erdbeben	A39510170003	B	S	18
Korrosionsschutz mit Blatt 87 - Untersuchungen zu Zwischenhaftungs- und Farbproblemen	A39510210309	B	I	21
Korrosionsschutz von Stahl in Beton - Untersuchungen zum Kathodenschutz der Straßenbrücke B500 über den Rhein bei Iffezheim	A39510270002	B	I	25
Korrosionseigenschaften von Spundwandstählen	A39510270003	B	N	29
Materialkombinationen für das System Laufrad/Laufschiene	A39510270004	B	N	33
Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe	A39510308099	B	N	35
Instandsetzungssysteme für alte Wasserbauwerke	A39510310127	B	N	39
Injektion Vorsatzschale	A39510310234	B	I	42
Dauerhaftigkeitsbemessung von Wasserbauwerken	A39510310240	B	N	45
Überarbeitung des Turbulenzprüfverfahrens für Geokunststoffe	A39510370001	B	N	49

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich¹⁾	Seite
Betone für massige Bauteile von Wasserbauwerken	A39510370003	B	I	51
Messverfahren Hydratationswärme	A39510370004	B	N	54
Verwendung von Acrylatgelen und gelartigen Produkten für Instandsetzungsmaßnahmen an Massivbauwerken im Verkehrswasserbau	A39510370005	B	I	57
Ertüchtigung der Bewegungsfugen von Massivbauwerken im Verkehrswasserbau	A39510370006	B	N	60
Betone für Verkehrswasserbauwerke mit Hydroabrasionsbeanspruchung	A39510370008	B	N	63
Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen	A39510370009	B	N	66
Energetische Optimierung der WSV-Gebäude	A39510470001	B	N	69
Parameter für Stoffgesetze bei FE-Berechnungen	A39520205613	G	I	72
Bruch- und Verformungsverhalten von rutschgefährdeten Böschungen unter Berücksichtigung des Dreiphasensystems	A39520210001	G	S	74
Böden unter Stoßbelastung	A395202100014	G	S	76
Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken	A39520210045	G	N	79
Wechselbelastungen an Kleinverpresspfählen	A39520270001	G	S	82
Bewertung dynamischer Probelastungen von Bohrpfählen	A39520270002	G	S	86
Modellierung des Tragverhaltens von Verpressankern in Sand	A39520270003	G	S	89
Hydraulischer Grundbruch unter unterströmten Bauwerken mit luftseitigen Auflastfilter	A39520370001	G	S	92
Hydraulische Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser	A39520370002	G	N	95
Kolmation als Schlüsselgröße der Wechselwirkung Oberflächenwasser – Grundwasser	A39520370003	G	N	98
Bestandsaufnahme vorhandener Deckwerke	A39520410006	G	N	102
Bemessung von geotechnischen Filtern unter instationärer Belastung	A39520410076	G	N	104

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich¹⁾	Seite
Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen – Quantifizierung ihrer Belastbarkeit und Möglichkeiten ihrer Anwendung an Binnenwasserstraßen	A39520410151	G	N	106
Ausbildung von Dichtungsanschlüssen im Streckenbereich von Wasserstraßen	A39520410217	G	S	110
Filterstabilität grober Gesteinskörnungen	A39520470001	G	S	113
Technisch-biologische Ufersicherungen – Theorie und Modellversuche zur Belastbarkeit	A39520470002	G	N	117
Erosion von Dichtungstonen und bindigen Böden unter Strömungsbelastung	A39520470003	G	S	121
Entwicklung des Zustands von Deckwerken bei Absenkung des technischen Standards	A39520470004	G	N	123
Numerische Simulation von hydraulisch induziertem Sedimenttransport in Erdbauwerken	A39520470005	G	I	126
Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen	A39520570002	G	S	129
Konsolidationsverhalten von Baggergut (Schlick)	A39550110100	KG	N	132
Bemessung korrodierter Stahlspundwände im Wasserbau	A39550110158	KG	N	135
Deckwerksanalyse mit der Distinct Element Method (DEM)	A39550170270	KG	I	138
Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Deichen	A39550170318	KG	S	142
Störung des Baugrundes durch Kampfmittelsondierungen	A39550170362	KG	S	146
Einfluss der Vorlandvegetation auf den Hochwasserabfluss und die Sohlstabilität in Bundeswasserstraßen	A39530110036	W	N	150
Untersuchung der Prognosefähigkeit von mehrdimensionalen Feststofftransportmodellen an spezifischen Fragestellungen aus dem Flussbau	A39530110064	W	I	153
Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an klimabedingte Veränderungen des Abflussregimes	A39530170001	W	M	156
Hydraulische Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen	A39530170002	W	N	159

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich ¹⁾	Seite
Berücksichtigung dreidimensionaler Strömungseffekte und Transportphänomene in morphodynamischen Modellen von Binnenwasserstraßen	A39530170003	W	N	162
Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen	A39530170004	W	N	165
Untersuchungen zur Herstellung bzw. Verbesserung der Sedimentdurchgängigkeit an der Staustufe Iffezheim	A39530170005	W	N	169
Hydraulische Wirkung von Stromregelungsbauwerken	A39530210077	W	N	173
Adaptierung und Erweiterung von Casulli-Algorithmen für Parallelrechner mit Hardware-Beschleunigung und zur Anwendung von konservativen Advektionsverfahren	A39530270001	W	I	176
Multigrid- und Subgrid-Ansatz	A39530270002	W	I	178
Bemessung und Konstruktion von Schlauchwehren	A39530370001	W	I	181
Entwicklung eines vereinfachten Füllsystems für Sparschleusen	A39530370002	W	M	185
Koordinierte Bewirtschaftung von Staustufenketten – Modellierung und Betrieb	A39530370003	W	M	188
Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen	A39530410035	W	M	192
Wartezeiten vor Engstellen	A39530410036	W	M	195
Mindestabstände Schiff-Sohle zur Vermeidung von Steinschlägen	A395304100037	W	S	198
Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle	A39530410038	W	N	200
Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt	A39530470001	W	M	204
Erweiterung des Binnenschiffsführungssimulators um die Berechnung schiffsinduzierter Wellen und Verbesserung des fahrdynamischen Modells	A39530470003	W	M	208
Integration mehrdimensionaler Modelle in die GBBSOft	A39530470004	W	N	211
Untersuchungen zur Sohl- und Uferbeanspruchung aus Schlagflächenantrieben	A39530470005	W	N	214
Numerische Modellierung von Transportkörpern (Dünen) in Binnenwasserstraßen	A39530570001	W	N	217
Wechselwirkung Seeschiff / Seeschiff-fahrtsstraße - Schiffsdynamik	A39550210055	KW	M	221
AufMod - Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht	A39550270116	KW	I	224

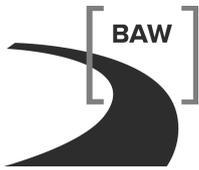
Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich ¹⁾	Seite
Schiffsführungssimulation der Revierfahrt (SFS-R)	A39550270132	KW	M	228
Numerische Berechnung der Schiffshydrodynamik und Manövrierfähigkeit im Flachwasser (SHD-F)	A39550270133	KW	M	232
Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen	A39550270141	KW	N	235
Schiffserzeugter Sedimenttransport in Seeschiffahrtsstraßen	A39550270142	KW	N	238
Berücksichtigung von beweglichen oder fixen Strukturen (Schiffe) an der freien Wasseroberfläche im hydrodynamisch numerischen Modell UnTRIM	A39550270149	KW	I	241
Feststofftransport in Ästuaren	A39550270150	KW	I	245
KLIWAS – K3	A39550310162	KW	M	249
KLIMZUG-Nord – Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg	A39550370163	KW	N	253
Verbesserung der Validität und der Prognosefähigkeit des morphodynamischen Verfahrens SediMorph – Phase 2	A39550370178	KW	N	257
Interaktion von Größen des Sedimenttransports und der Wasserqualität in dreidimensionalen Ästuarmodellen	A39550370190	KW	I	261
Weiterentwicklung der Methoden zur Analyse von Simulationsergebnissen	A39550370200	KW	I	265
Marine Dateninfrastruktur Deutschland; Vorhaben: Küsteningenieurwesen und Küstenschutz	A39550670400	KFKI	I	268

III. Neue FuE-Vorhaben in 2013

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich ¹⁾	Seite
Entwicklung eines Verkehrslastmodells für typische Brücken der WSV	A39510170004	B	M	272
Entwicklung eines Ingenieurmodells zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit schubunbewehrter Stahlbetonquerschnitte bestehender Wasserbauwerke	A39510170005	B	S	275

Bezeichnung	Auftragsnummer	Abteilung	Forschungsbereich¹⁾	Seite
Einfluss von Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit von Stahlwasserbaukonstruktionen	A39510270005	B	S	277
Textilbewehrte Mörtel für die Instandsetzung von Wasserbauwerken	A39510370010	B	N	280
Bestimmung des Tragverhaltens von offenen Stahlrohrpfählen	A39550170378	KG	I	282
Evaluierung und Adaptierung der SPH-Methode für wasserbauliche Fragestellungen an Bundeswasserstraßen	A39530570002	W	I	284
Modulares System für Schelfmeere und Küsten (MOSSCO)	A39550270155	KW	I	287
Verbesserung von Methoden und Verfahren der BAW zur Entwicklung und belastbaren Beurteilung von Maßnahmen zur Reduzierung des Schwebstofftransportes in die Unterems	A39550370211	KW	N	290
RISC-KIT - Werkzeuge zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit der Küstenregion	A39550370213	KW	I	294
Schaffung von tidebeeinflussten Marschen an der Tideelbe zur Verbesserung des physikalisch-biologischen Systems	A39550370214	KW	N	298
Effizientere Nutzung von Geodaten mit Web Processing Service (RichWPS)	A39550670201	KFKI	I	301

- 1) I: Innovative Technologien
M: Mobilität
S: Sicherheit und Schutz
N: Nachhaltigkeit



I. Abgeschlossene FuE-Vorhaben in 2013

Mauerwerk im konstruktiven Wasserbau

Netzplan-Nr.: A39510370007

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) H. Müller, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: hilmar.mueller@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Rahmen des FuE-Vorhabens soll der Frage nachgegangen werden, welche Anforderungen in baustofflicher und ausführungstechnischer Hinsicht bei der Instandsetzung und Unterhaltung von Mauerwerk im konstruktiven Wasserbau zu berücksichtigen sind. Für den Wasserbau sind derzeit keine eigenen Regelungen bekannt.

1.2 Bedeutung für die WSV

Im Bereich der WSV finden sich oft ältere Bauwerke, die in Teilen oder sogar komplett aus Mauerwerk erstellt worden sind. Bedingt durch das hohe Alter dieser Anlagen stehen in Zukunft vermehrt Grundinstandsetzungen an. Hierfür sollen der WSV geeignete Hilfsmittel und Regularien zur Verfügung gestellt werden.

Die Restnutzungsdauer von gemauerten Wasserbauwerken kann erheblich verlängert werden, wenn eine sachkundige Unterhaltung betrieben wird. Die Grundsätze einer sachkundigen Unterhaltung helfen die Gebrauchstauglichkeit zu erhalten und notwendige Instandsetzungen hinaus zu zögern.

1.3 Untersuchungsziel

Für die Instandsetzung von Mauerwerk im Verkehrswasserbau sollen unter baustoffstofflichen und ausführungstechnischen Aspekten Anforderungen für eine dauerhafte und zielgerichtete Instandsetzung festgelegt werden.

Für die Unterhaltung sollen notwendige Arbeiten und in der Vergangenheit erfolgreich angewendete Methoden aufgezeigt werden.

2 Untersuchungsmethoden

1. Untersuchungsschritt:

Durch ein Ingenieurbüro wird ein Sachstandsbericht zum aktuellen technischen Stand erarbeitet. Darin wird untersucht und zusammengestellt, was derzeit für die Instandsetzung von Mauerwerk an Regelwerk vorhanden ist und wie es angewendet wird (national und europäisch). Weiter werden Bauwerke in Deutschland mit verschiedenen Konstruktionsprinzipien und Materialien betrachtet und die Erfahrung der Verantwortlichen vor Ort mit erfolgten Instandsetzungen abgefragt. Vorhandene Literatur und Forschungsvorhaben werden auf ihre Übertragbarkeit auf den Wasserbau hin überprüft. Ziel ist es, den aktuellen Stand darzustellen, offene Fragen aufzuzeigen und Schnittstellen zu Forschungsvorhaben Dritter darstellen.

2. Untersuchungsschritt:

Auf der Grundlage des Sachstandsberichtes soll ein Papier für die WSV mit konkreten Anforderungen für die Instandsetzung von Mauerwerk durch ein Fachgremium der BAW erarbeitet werden. Für offene Fragen, die im Sachstandsbericht aufgezeigt wurden, soll mit potentiellen Forschungspartnern an Lösungen gearbeitet werden. Die weiteren Untersuchungsmethoden ergeben sich in Abhängigkeit von den Ergebnissen des 1. Untersuchungsschrittes.

3 Ergebnisse und weiteres Vorgehen

Die Sachstandsstudie ist fertig. Durch die vorhandenen Normen werden die Belange des Wasserbaus nicht ausreichend abgedeckt, so dass hier ein Regelungsbedarf für die WSV besteht. Dabei ist auch die Umstellung auf europäische Normen zu beachten.

Das Mauerwerk ist hinsichtlich der Beurteilung und Instandsetzung zu unterteilen, einmal in die Gruppen Naturstein- und Ziegelmauerwerk, zum anderen in die Gruppen Vollmauerwerk und Vorsatzschale. Weiter hat sich anhand aktueller Wartungsdefizite gezeigt, dass Bauwerke aus Mauerwerk einer regelmäßigen Unterhaltung durch geschulte Facharbeiter bedürfen.



Bild 1: Oberhaupt-Notverschlussnische mit gerissenem Mauerwerk

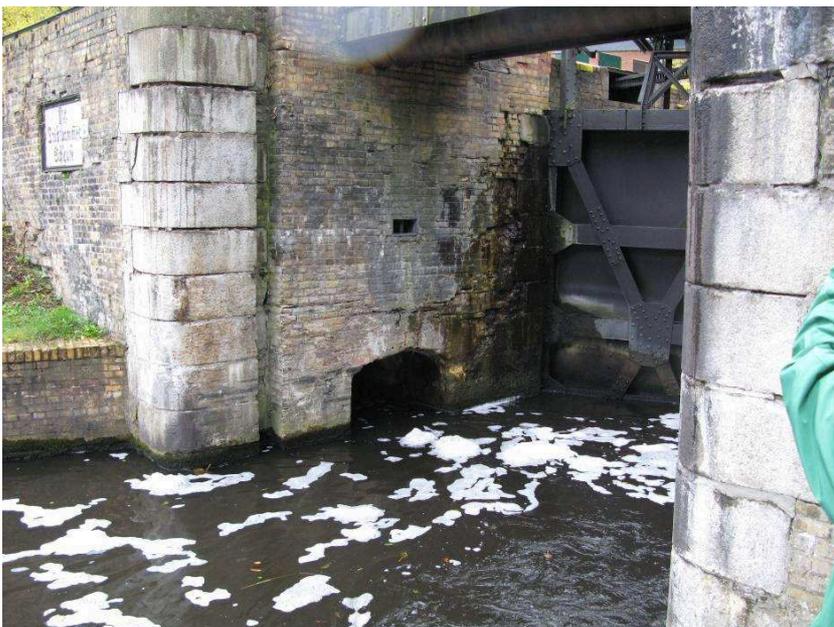
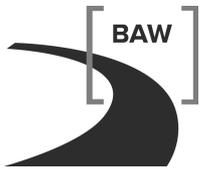


Bild 2: Unterhaupt mit wasserdurchlässigen Fugen, Materialverlust durch Abwitterung und schadhafter Kantensteinkonstruktion



4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Sachstandsstudie ist fertig. Der Schlussbericht wurde 2013 erstellt.

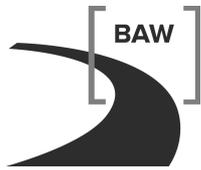
Laufzeit des Vorhabens von 2009 bis 2013.

5 Literatur

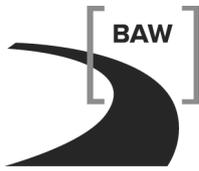
-/-

6 Veröffentlichungen

-/-



II. Laufende FuE-Vorhaben in 2013



Sicherheitskonzept für bestehende Wasserbauwerke (SiBeWa)

Netzplan-Nr.: A39510070001

Projektleiter: Dipl.-Ing. C. Kunz, Dipl.-Ing. F. Stauder, Abteilung Bautechnik

E-Mail: claus.kunz@baw.de, florian.stauder@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die derzeit in Deutschland gültigen Bemessungsnormen gelten für Neubauten. Die Normen basieren auf einem semi-probabilistischen Sicherheitskonzept, bei dem die Streuungen von Einwirkungen (z.B. Lasten) und Widerständen (z.B. Material-Festigkeiten) jeweils über charakteristische Werte und dazugehörige Teilsicherheitsbeiwerte berücksichtigt werden. Mit Hilfe der daraus resultierenden Bemessungswerte wird innerhalb von Grenzzustandsgleichungen $E_d < R_d$ das gewünschte Sicherheitsniveau (z.B. nach DIN EN 1990) sichergestellt. Bestehende Wasserbauwerke genügen vielfach nicht mehr den aktuellen Normen, die Fortschreibungen und Erkenntniszuwächse sowie auch neue Zuverlässigkeitskonzepte enthalten. Anders als bei Neubauten, bei denen Unsicherheiten in Planung, Errichtung, Einwirkungen und Tragvermögen aggregiert zu berücksichtigen sind, können bei bestehenden Bauwerken gesellschaftlich adäquate Zuverlässigkeitsziele und Erkenntnisse aus qualifizierten Bestandsaufnahmen (z.B. Geometrie, Kenntnisse über das statische System, Messungen von Einwirkungen, Erkundung von Materialeigenschaften, ...) genutzt werden, um die im Normkonzept enthaltenen Unsicherheiten zu reduzieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die bestehenden, im Mittel rund 60 Jahre alten Wasserbauwerke der WSV (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung) lassen sich mit Regelwerken für den Neubau schwer nachzuweisen, obwohl diese Bauwerke keine signifikanten Auffälligkeiten zeigen. Stilllegungen einerseits und generelle Grundinstandsetzungen andererseits strapazieren unverhältnismäßig Sachmittel- und Personalressourcen der WSV und behindern den Wasserstraßenverkehr. Ein unverhältnismäßiges Versagen von Wasserbauwerken muss dennoch ausgeschlossen sein.

Eine Nachrechnungs-Unterlage nach dem aktuellen Sicherheitskonzept, das die Erkenntnisse aus dem Betrieb und Bestand des Bauwerks (Informationen über die tatsächliche Nutzung, vorhandene Bauwerkseigenschaften, ...) angemessen berücksichtigt, soll das baurechtliche und nachweis-rechnerische Defizit beseitigen, eine Auskunft über die Sicherheit der Anlagen geben und zu einer Priorisierung von Instandhaltungsmaßnahmen führen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des FuE-Vorhabens ist für bestehende Wasserbauwerke die Ermittlung eines angemessenen Sicherheitsniveaus sowie die Bestimmung von modifizierten Teilsicherheitsbeiwerten, ggf. in Abhängigkeit von Randbedingungen, so dass die in Normen verankerten übliche Nachweisformate genutzt werden können. Damit soll eine praxismgerechte, sichere und wirtschaftliche Nachweisführung von bestehenden Wasserbauwerken bei Anwendung des semi-probabilistischen Sicherheitskonzeptes ermöglicht werden und eine a.a.R.d.T. für bestehende Wasserbauwerke erstellt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchung beinhaltet nach einem Literaturstudium über einschlägige Bearbeitungen die Durchführung von probabilistischen Analysen von Einwirkungen (Lasten) und Widerständen (Baustoffe), die im (Verkehrs-)Wasserbau von Bedeutung sind, mit Hilfe der Zuverlässigkeitstheorie. Weitere Methoden sind Zuverlässigkeitsberechnungen nach FORM/SORM (vereinfachte Verfahren) sowie probabilistische Berechnungen, jeweils mit einschlägiger Fachsoftware. Zur Durchführung der Zuverlässigkeitsanalysen sind Grenzzustandsfunktionen für die maßgebenden Versagensarten bei (Verkehrs-)Wasserbauwerken aufzustellen und innerhalb von Parameterstudien zu analysieren.

3 Ergebnisse

Aus Überlegungen wurde das Zuverlässigkeitsniveau für neue Wasserbauwerke zu $\beta = 3,8$ über die geplante Nutzungsdauer $T_N = 100$ Jahre identifiziert. Aus dem Sicherheitskonzept nach DIN EN 1990 lässt sich für bestehende Bauwerke ein restnutzungsdauer-orientiertes Konzept ableiten, das nach schadensfreien Jahren zu modifizierten Zuverlässigkeiten für die Restnutzungsdauern führt, vgl. Bild 1. Untersuchungen zu Modellunsicherheiten, Variationskoeffizienten und Umrechnungsbeiwerten wurden angestellt. Zum Nachweis bestehender Wasserbauwerke ist ein angepasstes Zuverlässigkeitskonzept in Arbeit, um die Besonderheiten bestehender Tragwerke innerhalb der Nachweisgleichungen berücksichtigen zu können. Auf Basis der Beziehungen in DIN EN 1990 wurden modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Widerstände erarbeitet, die in Bild 2 und 3 exemplarisch abgebildet sind.

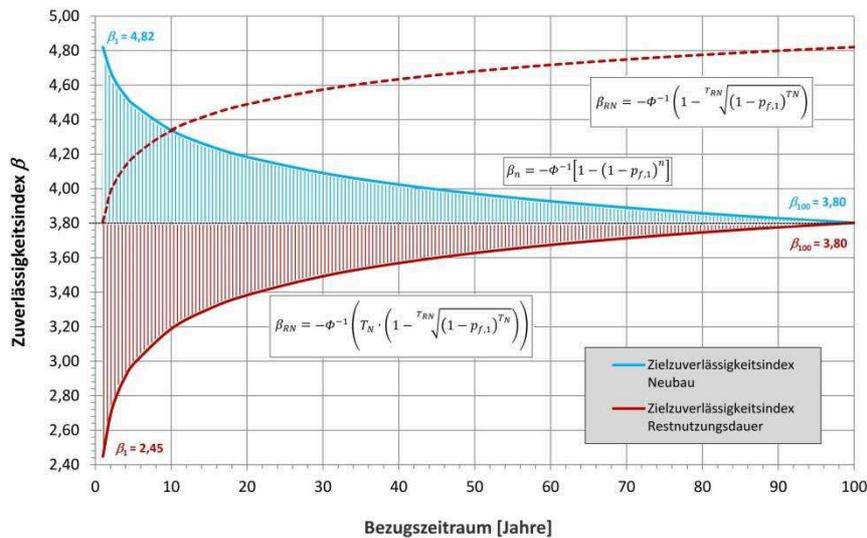


Bild 1: Zuverlässigkeitsindex β über den Bezugszeitraum

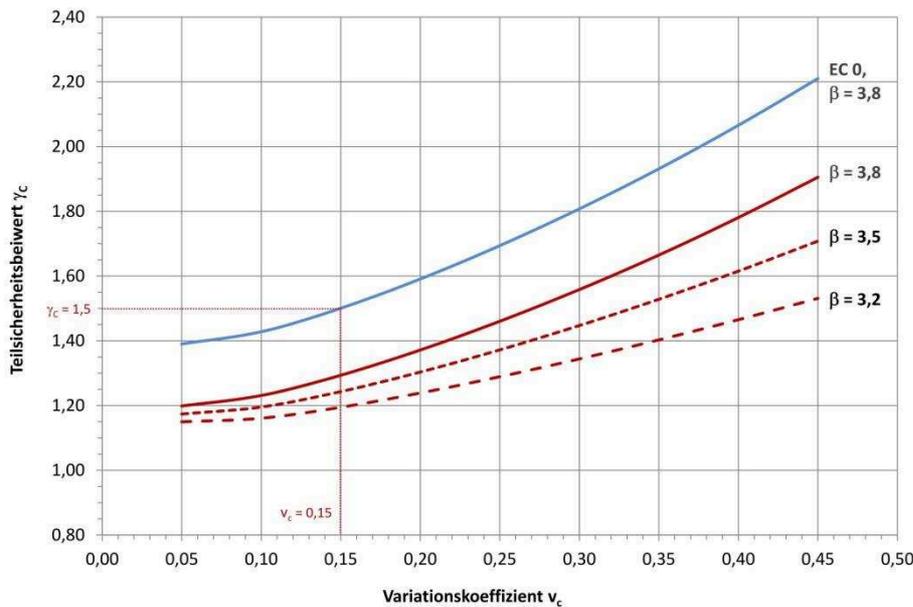


Bild 2: Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für den Werkstoff Beton

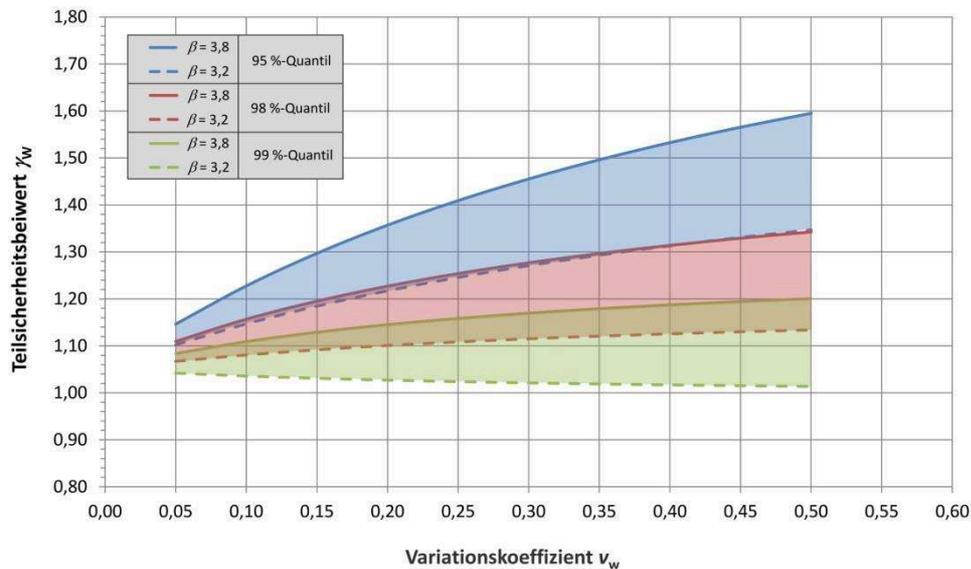


Bild 3: Modifizierte Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen

Baustoffuntersuchungen an bestehenden, einer normalen Abnutzung unterworfenen (Wasser-)Bauwerken wurden im Rahmen einer Diplomarbeit ausgewertet und lassen den Schluss zu, dass Betone gemäß ihrer Zusammensetzung eine (bekannte) Nacherhärtung erfahren, ihre Feststoffkennwerte keine Degradation zeigen und typische Verhältnisse zwischen Druck- und Zugfestigkeit auch im Alter erhalten bleiben.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

- Überlegungen und Analysen zu den für (Verkehrs-)Wasserbauwerke relevanten Verteilungen für Einwirkungen (z.B. Pegelstände) und Widerstände, Datenaufbereitung und -auswertung,
- Ableitung/Kalibrierung von (modifizierten) Teilsicherheitsbeiwerten nach der Zuverlässigkeitsmethode I. Ordnung (FORM/SORM),
- Vergleichsrechnungen für ausgewählte Fälle mit der (voll-)probabilistischen Methode,
- Zuverlässigkeitstheoretische Bewertung von nach früheren Normen erstellten (Verkehrs)Wasserbauwerken,
- Probabilistische Betrachtung unbewehrter Schwergewichtsmauern (Innere Nachweise der Standsicherheit) und von Stahlbetonquerschnitten
- Anwendung des entwickelten Sicherheitskonzeptes SiBeWa für Schleusen- und Wehrbauwerke; Tastberechnungen, Berechnungen, Überprüfung der Modelle,
- Mitwirkung bei der Erarbeitung einer BAW-Richtlinie „Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke (TbW)“.

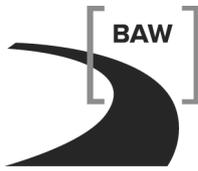
Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Kunz, C.; Stauder, F. (2013): Sicherheitkonzept für bestehende Wasserbauwerke. In: Bautechnik-Tag 2013, Tagungsband, Hamburg, 11. bis 12.04.2013. Deutscher Beton- und Bautechnik-Verein.



Entwicklung eines Erhaltungsmanagementsystems für die WSV (EMS-WSV)

Netzplan-Nr.: A39510070501 (alt: A39510110139)

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Bödefeld, Abteilung Bautechnik, Referat Massivbau (B1)

E-Mail: joerg.boedefeld@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Kern eines Erhaltungsmanagementsystems ist die Prognose des zukünftigen Zustandes eines Bauwerksbestandes unter Berücksichtigung von Instandhaltungsmaßnahmen. Ziel ist es, den Einsatz der Maßnahmen so zu steuern, dass die Finanzmittel optimal genutzt werden.

Die ingenieurwissenschaftliche Aufgabe besteht aus der Prognose des Zustandes mit und ohne Instandsetzungsmaßnahmen sowie die vielparametrische Optimierung der möglichen Instandhaltungsszenarien.

Während für Brückenbestände internationale Systeme existieren, gibt es für Verkehrswasserbauwerke kaum komplette Verfahren [vgl. PIANC WG 129]. Nach Überprüfung und Anpassung können aber unterschiedliche Elemente der Management-Systeme übernommen werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Altersstruktur der Verkehrswasserbauwerke in der WSV wird immer ungünstiger. Bei Schleusen sind ca. 30 % der Bauwerke schon älter als 100 Jahre, haben also ihre geplante Lebensdauer überschritten. Demgegenüber stehen begrenzte Haushaltsmittel. Um auch künftig eine ausreichende Qualität der Verkehrswege zu sichern, bedarf es eines Erhaltungsmanagementsystems, das mit Hilfe von Bauwerksinspektionen und Modellen zur Zustandsentwicklung verlässliche Vorhersagen zu Instandhaltungs- bzw. Erneuerungsmaßnahmen treffen kann und somit Finanzmittel rechtzeitig eingeplant und effizient genutzt werden können.

1.3 Untersuchungsziel

Das Untersuchungsziel ist durch den Titel des FuE-Verfahrens gegeben.

2 Untersuchungsmethoden

Die Bearbeitung zeichnet sich durch eine interdisziplinäre und WSV-weite Arbeitsweise aus (BMVBS, Koordinatoren für die Bauwerksinspektion, Bauwerksprüfer und alle Fachreferate der Abteilung Bautechnik der BAW Karlsruhe). Koordiniert wird diese durch die Fachgruppe Erhaltungsmanagementsystem der Abteilung Bautechnik in der BAW.

Die Bearbeitung erfolgt stufenweise. Die Ergebnisse müssen den Belangen der Anwender entsprechen, weshalb enger Kontakt zur WSV gesucht und jedes Zwischenergebnis mit der WSV diskutiert wird.

Grundlage aller Prognosen sind die Ergebnisse der Bauwerksinspektion. Alle eingeführten Algorithmen müssen die aus WSVPruf kommenden Daten verwenden. Prinzipiell wird versucht, den Umfang der berücksichtigten Objektarten zu erweitern.

Weiterentwicklungen werden in Kooperation mit Universitäten vorangetrieben. Für die Jahre 2013-2015 wird mit einer FuE-Stelle in Kooperation mit der ETH Zürich die Integration von Instandsetzungsmaßnahmen in das EMS-WSV weiterentwickelt.

3 Ergebnisse

In Phase 1 der Bearbeitung für ein Erhaltungsmanagementsystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung wurden modular verschiedene Schwerpunkte im Bereich der Bauwerksinspektion als Grundlage erarbeitet.

Die Maßnahmen wurden im Rahmen einer Überarbeitung in die VV-WSV 2101 integriert. Ergänzend zur VV-WSV 2101 und dem Merkblatt "Schadensklassifizierung an Verkehrswasserbauwerken (MSV) wurde das Merkblatt „Bauwerksinspektion“ erarbeitet und durch das BMVBS eingeführt. Die WSV wurde umfangreich geschult.

Im Jahre 2009 war in Abstimmung mit dem BMVBS, Referat WS13, unter Zustimmung der M-Runde die Weiterentwicklung von WSVPruf im Rahmen des Konjunkturprogramms I von der FG EMS bearbeitet worden. Die Planung für die weitere Entwicklung des Erhaltungsmanagementsystems wurde entsprechend um ein Jahr in die Zukunft geschoben.

In der zweiten Phase des FuE-Projektes wurde ein Prognosemodell für die Zustandsentwicklung von Verkehrswasserbauwerken aufgestellt. Im Rahmen einer nationalen und internationalen Literatur- und Internetrecherche wurden die Zustandsprognoseverfahren von insgesamt 15 verschiedenen Managementsystemen für Infrastrukturbauwerke untersucht. Als Quintessenz zeigte sich, dass die stochastischen Verfahren Vorteile bieten. Für die Verkehrswasserbauwerke wurde ein kombiniertes Verfahren mit Überlebensfunktionen zur Prognose ungeschädigter Strukturen und Markov-Matrizen zur Prognose vorhandener Schäden entwickelt. Die erforderlichen Parameter für die Funktionen wurden im Rahmen einer Expertenbefragung nach den Grundsätzen der Delphi-Methode ermittelt.

In den Jahren 2010/2011 wurde eine umfangreiche Internet- und Literaturrecherche zu den folgenden Themen durchgeführt:

- Weitere Parameter zur Maßnahmenpriorisierung
- Instandsetzungsmaßnahmen und -kosten im Rahmen von Infrastrukturmanagementsystemen

Die Ergebnisse wurden in einem Bericht zusammengefasst und dem BMVBS im Oktober 2011 vorgestellt (Erhaltungsmanagementsystem für die WSV EMS-WSV – Meilensteinbericht 2011).

Zur Berücksichtigung weiterer Parameter wurde ein transparentes Matrix-Verfahren entwickelt. Das Risiko, das von einem Bauwerk ausgeht, wird dabei wie allgemein üblich durch das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß gebildet. Für die Eintrittswahrscheinlichkeit wird die Teilnote der Konstruktion bzw. des Stahlbaus verwendet, die direkt aus WSVPruf entnommen werden kann. Das Schadensausmaß wird auf einer fünfstufigen Skala zwischen vernachlässigbar und katastrophal eingestuft. Zur Einstufung können beliebige Kriterien wie Verkehrsbedeutung der Wasserstraße, Umfahrungsmöglichkeiten, Umwelteinfluss, wirtschaftliche Folgen, etc. berücksichtigt werden, was das Verfahren sehr flexibel macht. Die Methode wird aktuell mit dem BMVBS diskutiert.

Die Integration von Instandsetzungsmaßnahmen und –kosten bedarf weiterer Grundlagenarbeit, da in der WSV die Instandsetzungen nicht systematisch erfasst werden. In 2013 wurden im Rahmen einer Internet- und Literaturrecherche bestehende Ansätze und Vorgehensweisen zusammengetragen. Die gefundenen Verfahren lassen sich in zwei Gruppen einteilen:

- Top – Down: dabei wird über den Anlagenbestand der Instandsetzungsumfang abgeschätzt;
- Bottom – Up: dabei wird der Instandsetzungsumfang über Einzelmaßnahmen an den Objekten für den Gesamtbestand hochgerechnet.

Im Rahmen einer Dissertation werden verschiedene Ansätze im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und den Aufwand untersucht und bewertet, um zu einer optimalen Vorgehensweise für das EMS-WSV zu gelangen.

Parallel wurden Bestrebungen unternommen, charakteristische Instandsetzungsmaßnahmen, deren Kosten und den dazu erforderlichen Personalbedarf zusammen zu tragen. Dies erfolgte im Wesentlichen mit Expertengesprächen. Der WSV wurde empfohlen, die Ausschreibungs- und Abrechnungssoftware als Zentralversion zu betreiben und ein vorhandenes Auswertemodul zu erwerben, um zukünftig einfacher WSV-weit zu einheitlichen Kostensätzen für Positionen des Standard-Leistungskataloges zu kommen.

Die Prognosemodelle wurde in den Jahren 2011-2013 bei zahlreichen Projekten zur Zustandsprognose von Einzelbauwerken und Bauwerksgruppen bis hin zu Wasserstraßenabschnitten verwendet, siehe beispielsweise Bild 1. Diese Anwendung dient der Verifikation und der Optimierung der gewonnenen Ansätze. Darüber hinaus wird die Bekanntheit und die Akzeptanz in der Verwaltung gefördert.

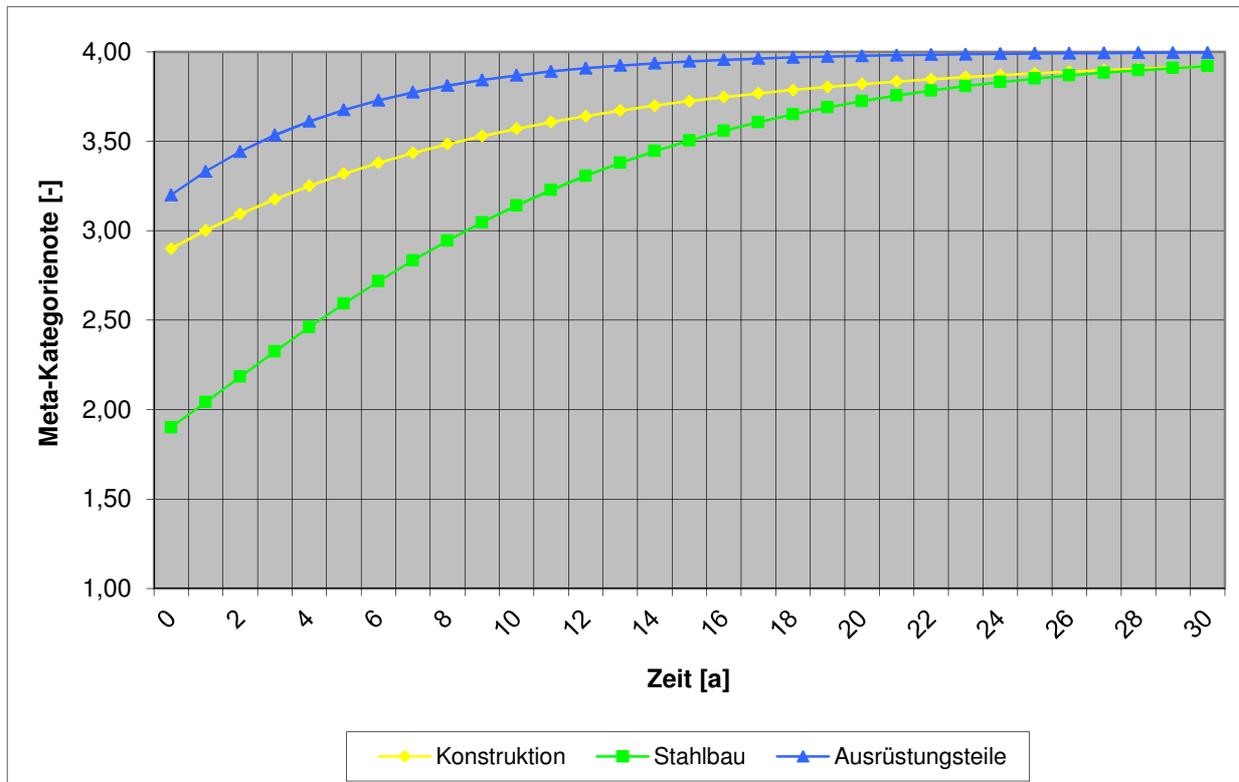


Bild 1: Prognose von drei Teilnoten auf Basis der Inspektionsergebnisse

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2013 - 2014:

- Untersuchungen zur Integration weiterer Objekt- und Inspektionsarten in WSVPruf / EMS-WSV
- Untersuchungen zur Integration der Instandsetzungsmaßnahmen in Kooperation mit der ETH Zürich
- Diskussion und Schärfung weiterer Faktoren für die Maßnahmenpriorisierung mit dem BMVBS

2015:

- Entwicklung von Strategien und Szenarien
- IT- Konzeption und Umsetzung

Laufzeit des Vorhabens von 2005 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Kühni, K., Bödefeld, J., Kunz, C. (2008): EMS-WSV – Ein Erhaltungsmanagementsystem für Verkehrswasserbauwerke. Bautechnik 85 (2008), Heft 8, S. 514- 520.

Kühni, K. (2010): A Maintenance System for Waterway Infrastructures. PIANC MMX, Tagungsband, Liverpool.

Kloé, K., Bödefeld, J.: Bauwerksinspektion an Verkehrswasserbauwerken. In: Bautechnik 89 (2012), Heft 5, S. 331-332.

Bödefeld, J., Kloé, K.: Managementsystem for infrastructures at waterways. IALCCE 2012, Third International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, Wien, 3.-6.Oktober 2012, Tagungsband

Ermittlung Kräfte bei Ankerwurf auf Kreuzungsbauwerke

Netzplan-Nr.: A39510110178 (Nr. 8197)

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) H. Becker, Abteilung Bautechnik, Referat Massivbau (B1)

E-Mail: holger.becker@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Notsituationen in der Schifffahrt können trotz Ankerwurfsverbots oftmals zum Werfen eines Ankers führen. Für Kreuzungsbauwerke unter der Wasserstraße wie z. B. Düker, Tunnel- oder Unterführungsanlagen ergibt sich hieraus ein Gefährdungspotenzial, welches im Schadensfall die Funktionstüchtigkeit des Bauwerkes einschränkt (z. B. Volllaufen eines Tunnels mit Wasser) und bei Kanälen ferner zum Leerlaufen einer ganzen Kanalstrecke führen kann.

Während in der Vergangenheit eine Vielzahl von Untersuchungen zum Thema des auf dem Grund schleppenden Ankers durchgeführt wurde, sind zu Aufprallgeschwindigkeiten bzw. -kräften von Ankern keine Veröffentlichungen bekannt. Bisher erfolgte daher bei der Neuprojektierung von unterirdischen Kreuzungsbauwerken ein pauschalierter Ansatz der Auftreffgeschwindigkeit, aus welcher dann in Abhängigkeit von der Bauwerksgeometrie und weiteren Randbedingungen eine individuell geprägte statisch anzusetzende Ersatzlast ermittelt wurde. Während ein Neubau mittels der neu zu planenden Konstruktion hierauf abgestimmt werden kann, erfordert die Nachrechnung einer bestehenden Anlage einen realitätsnahen Ansatz, da hier vielfach in der Bemessung auf einen Ansatz des Lastfalles Ankerwurf verzichtet wurde und entsprechende Tragfähigkeitsreserven nur begrenzt vorhanden sind.

1.2 Bedeutung für die WSV

Eine Vielzahl von unterirdischen Kreuzungsbauwerken, besonders im Kanalnetz, wird von der WSV betrieben, bzw. ist in ihrem Besitz. Bei der Planung von Instandsetzungen an bestehenden Bauwerken wird daher die Frage nach der Sicherheit bei Ankerwurf auf das Kreuzungsbauwerk gestellt. Da diese in der Regel meistens nicht für diesen Lastfall bemessen wurden, müssen hierfür entweder Reserven in der Konstruktion aktiviert oder aufwändige Sicherungsmaßnahmen geplant werden. Zur Vermeidung einer unwirtschaftlichen Überbemessung infolge einer eventuell zu realitätsfernen Abschätzung von Ankergeschwindigkeit bzw. Aufprallkraft sind genauere Untersuchungen erforderlich.

Allerdings treten ähnliche Fragestellungen zunehmend auch im Zusammenhang mit dem Neubau von Kreuzungsbauwerken auf, bei denen die verantwortlichen Planer ebenfalls im Hinblick auf eine wirtschaftliche Bemessung nach realitätsnahen Ansätzen suchen.

Speziell sollen die Ergebnisse dieses FuE-Vorhabens für die Untersuchung der Ankerwurfsicherheit des Straßentunnels unter dem Nord-Ostsee-Kanal (NOK) angewendet werden, welcher in diesem Zusammenhang als Pilotprojekt fungiert. Um auch eine Anwendung der hieraus gewonnenen Erkenntnisse bei weiteren Kreuzungsbauwerken zu ermöglichen, werden im Anschluss daran die Untersuchungen für einen allgemein gültigen Berechnungsansatz ergänzt.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist die realitätsnahe Ermittlung von Ankergeschwindigkeiten beim Aufprall auf die Kanal- bzw. Flusssohle sowie die Entwicklung eines Bemessungsansatzes, welcher den Lastfall Ankerwurf genügend genau beschreibt.

2 Untersuchungsmethoden

Die Methoden bestehen aus in situ Messungen sowie theoretischen Ansätzen.

Bei den in situ Messungen werden an einer ausreichenden Anzahl von Schiffen Geschwindigkeitsmessungen an fallenden Ankern durchgeführt, welche sowohl für Ankergröße sowie Ankertyp des deutschen

Fluss- und Kanalnetzes bis zur Größe der auf dem NOK verkehrenden Schiffe repräsentativ sind. Hierzu wird an den Ankerspills indirekt die Geschwindigkeit der über sie ablaufenden Ankerkette mittels aufgebrauchten Magnetplättchen und elektronischem Zähler gemessen. Über eine Vergleichszählung beim Einholen des Ankers bzw. der Kette kann die korrekte Funktion des Zählwerkes überprüft werden. Vorteil der in Situ-Messung am Schiff gegenüber eines ebenfalls diskutierten Ankerwurfes von einer Einrichtung auf einem Schwimmponton ist die Berücksichtigung von Reibungseffekten von Kette (Kettenkammer, Kettenführung, Ankerklüse) und beweglichen Teilen (Ankerspill, Umlenkrolle über der Ankerklüse), welche die Geschwindigkeitsentwicklung u. U. erheblich beeinflussen.

In den theoretischen Ansätzen sollen physikalische Zusammenhänge aus der Ankerwurfgeschwindigkeit einen Bemessungsansatz liefern, welcher den dynamischen Vorgang zu einer statischen Bemessungslast vereinfacht und somit ein anwenderfreundliches Hilfsmittel zur Erfassung des komplizierten Sachverhaltes zur Verfügung stellt. Hierzu soll zunächst exemplarisch am Straßentunnel Rendsburg mittels dreidimensionaler FE-Modellierung die dynamischen Effekte untersucht werden. Evtl. unter zusätzlicher Untersuchung an weiteren FE-Modellen von Kreuzungsbauwerken erfolgt daraufhin die Entwicklung des Bemessungsansatzes. Zur Validierung der Ergebnisse aus den FEM-Berechnungen ist geplant, an einem Versuchsstand messtechnisch begleitete Ankerwurfversuche im Maßstab 1:1 durchzuführen.

3 Ergebnisse

Zur Erkundung der vorhandenen Ankergrößen für das Pilotprojekt Straßentunnel Rendsburg erfolgte eine statistische Auswertung der den NOK passierenden Schiffe. Hierbei wurden stichprobenartig bei rund 45 % der Schiffspassagen der Jahre 2004 bis 2006 die Ankergrößen ermittelt und somit die Verteilung der Ankergrößen bestimmt (Bild 1). Gleichzeitig erfolgte eine Auswertung der Unfallstatistik mehrerer Jahre auf dem NOK zur Ermittlung von Gefahrenzonen sowie der Unfallwahrscheinlichkeit über dem Straßentunnel Rendsburg.

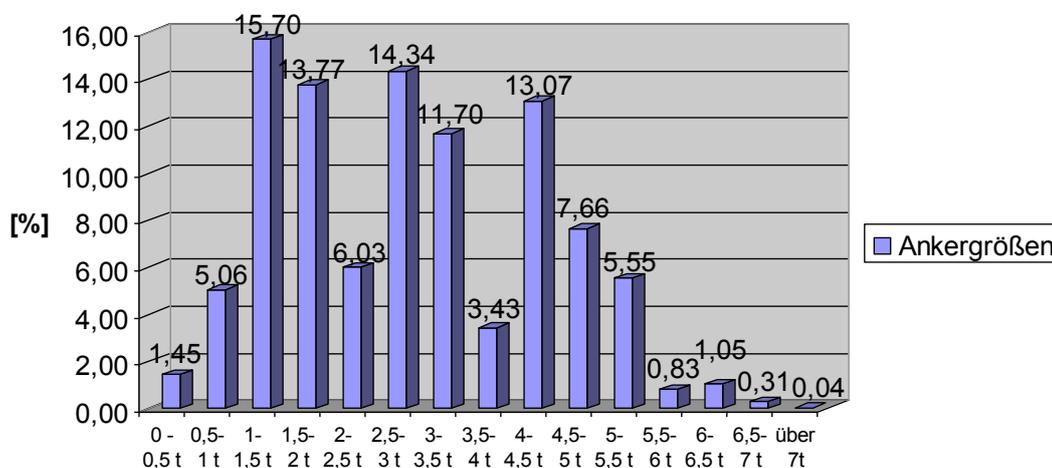


Bild 1: Verteilung der Ankergrößen auf dem NOK in den Jahren 2004 bis 2006 bei Auswertung von rund 45 % der Schiffspassagen

Des Weiteren fanden in Situ Messungen an WSV-eigenen Schiffen in der Nord- und Ostsee statt. Hierbei konnte die Geschwindigkeitsentwicklung beim Ankerwurf von Ankergrößen zwischen 1280 und 4300 kg untersucht werden. Es zeigte sich hierbei, dass, besonders bei großen Fallhöhen über Wasser, der Anker in der Luft schon eine größere Geschwindigkeit erreicht als seine spätere Grenzgeschwindigkeit im Wasser, was dann nach dem Eintauchen zu einem Abbremsvorgang auf besagte Grenzgeschwindigkeit führt. Bei den Versuchen konnte diese zwischen ca. 4,5 m/s als untere Grenze und ca. 5,5 m/s als obere Grenze bestimmt werden. Einflüsse der Ankergröße sind nach diesen Messungen als eher gering einzustufen; deutlich größeren Einfluss scheinen dabei solche aus Reibung zu haben. So konnte z. B. bei einem Schiff mit einer Führungsschiene für die Ankerkette anstelle einer Umlenkrolle die geringste Grenzgeschwindigkeit gemessen werden.

Literaturrecherchen zu artverwandten Problemen gaben Auskunft zu ähnlich gearteten Untersuchungen und Versuchsreihen mit stoßartigen, zumeist kurzzeitdynamischen Einwirkungen auf Bauwerke. Aufgrund der großen Ähnlichkeit zwischen Beanspruchung und Tragkonstruktion sei hier exemplarisch Steinschlag auf Schutzgalerien im alpenländischen Raum erwähnt, wozu in der Schweiz schon umfangreiche Untersuchungen durchgeführt wurden, welche dort in eine Richtlinie [ASTRA, 2008] zur Bemessung dieser Galeriebauten mündeten, die für eine erste Abschätzung von Lasten aus Ankerwurf herangezogen werden kann.

International sind unterschiedliche Ansätze zu Annahme oder Ermittlung von Ankergeschwindigkeiten und Ankerauftreffkräfte bekannt, exemplarisch erwähnt werden sollen z.B. die Niederlande sowie Japan. Aufgrund der Schwierigkeit, an die theoretischen bzw. versuchsgestützten Grundlagen für diese Ansätze zu gelangen und sich hierbei größere Differenzen, auch zu eigenen Ergebnissen (z.B. Ankergeschwindigkeit) ergeben, können diese im Wesentlichen nur informativ verwendet werden.

In Zusammenarbeit mit der Universität der Bundeswehr in München konnte das Eindringverhalten des für den Straßentunnel Rendsburg ermittelten Bemessungsankers an einem dreidimensionalen FEM-Modell simuliert werden. Die Simulation des Impaktvorgangs von Auftreffen bzw. Eindringen erfolgte über sogenannte Hydrocodes, bei denen für jeden Zeitschritt die Erhaltungsgleichungen für Masse, Impuls und Energie gelöst werden und es dadurch möglich ist, hochdynamische Vorgänge im nichtlinearen Umfeld darzustellen. Über eine Sensitivitätsanalyse in Bezug auf Auftreffposition und Lage des Ankers beim Eindringen konnten unterschiedliche Gefährdungsbereiche der Tunneldecke lokalisiert und ggf. erforderliche Schutzmaßnahmen dimensioniert werden.

In einem zweiten Schritt erfolgte eine gezielte Untersuchung der soeben genannten Gefährdungsbereiche. Hierbei zeigte sich, dass starre Schutzmaßnahmen über der Sohlaufschüttung (z. B. Stahlbetonplatten) dazu führen können, dass eine „Energievernichtung“ durch Verformungsarbeit (z. B. der Aufschüttung) nur noch in deutlich geringerem Umfang stattfindet, und mehr Energie durch die Tunneldecke aufgenommen werden muss, welche somit stärker beansprucht wird. Weiche, d. h. nachgiebige Schutzmaßnahmen (z. B. Stahlplatten) sind hier effektiver und daher starren vorzuziehen. Die optimale Form der Energievernichtung ist allerdings eine verformungsfreundliche Aufschüttung, sofern die hierzu erforderliche Aufschüttungshöhe gegeben ist.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Erfahrungen, welche aus der projektbezogenen Aufgabenstellung beim Straßentunnel Rendsburg gesammelt wurden, sollen nun für die Bemessung von unterirdischen Kreuzungsbauwerken im deutschen Binnenwasserstraßennetz verallgemeinert und in einen anwenderfreundlichen Bemessungsansatz für Ankerwurf einfließen. Hierzu wurden schon Konstruktionen und Querschnitte typischer Kreuzungsbauwerke analysiert, welche dann in Form von FE-Modellen rechnerisch untersucht werden sollen. Um einen Abgleich zwischen realer Eindringssituation und rechnerischen Randbedingungen der Modellierung zu erhalten, erfolgten schon Planungen zur messtechnischen Untersuchung des Eindringverhaltens und der Kräfteverteilung eines fallenden Ankers in einem entsprechenden Versuchsstand. Aufgrund der Dimensionen eines solchen Versuches muss dieser in einer externen Institution stattfinden, was als nächster Schritt angedacht ist.

Laufzeit des Vorhabens von 2007 bis 2015.

5 Literatur

ASTRA (2008): Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien, Richtlinie herausgegeben vom Bundesamt für Straßen ASTRA, Abteilung Straßennetze, und SBB AG Infrastruktur Ingenieurbau, Ausgabe 2008 V2.01, Bern.

6 Veröffentlichungen

-/-

Ermüdungssicherheit vollverschlossener Seile**Netzplan-Nr.:** A39510170001**Projektleiter:** Dipl.-Ing. R. Ehmann, Dipl.-Ing. M. Schmidmeier, Abteilung Bautechnik,
Referat Massivbau (B1)**E-Mail:** rainer.ehmann@baw.de, michael.schmidmeier@baw.de**1 Problemdarstellung und Ziel****1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

Seile werden im Brückenbau häufig bei Fuß- und Radwegbrücken eingesetzt, bei denen Ermüdungsbeanspruchungen keine große Bedeutung haben und vernachlässigt werden können. Durch die meist kleinen Durchmesser spielen Wechselbeanspruchungen aus Wind keine Rolle und Wechselbeanspruchungen aus Verkehr sind unbedeutend und können unberücksichtigt bleiben. Bei Großbrücken wie Hänge- und Schrägkabelbrücken werden planmäßig Dämpfungsmaßnahmen vorgesehen, die bei kleineren Straßenbrücken wie Stabbogenbrücken und Netzwerkbogenbrücken unerwünscht sind. Allerdings können bei diesen Straßenbrücken erhebliche, zur Ermüdung führende Wechselbeanspruchungen aus Verkehr und Wind auftreten. Für eine Bewertung der auftretenden Ermüdungsbeanspruchungen von vollverschlossenen Spiralseilen fehlen in den Normen derzeit die notwendigen Vorgaben wie Lastannahmen und Nachweisformate bzw. materialtechnische Kennwerte.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die im Jahr 1991 gebaute Gelmer Brücke über den DEK ist eine Stabbogenbrücke mit Rundstahlhängern. Nach nur 15 Jahren Standzeit wurden bei einer Brückenprüfung Anrisse an den geschweißten Hängeranschlüssen festgestellt, die Anlass für eine Sanierung sind. Auch eine günstigere, nach neuesten Regeln gestaltete Hängeranschlussausbildung bietet für die Zukunft keine Gewähr für ein zuverlässiges Unterbinden künftiger Schäden, da die Anrisse mit großer Wahrscheinlichkeit von einem mutwilligen Aufschaukeln (menscheninduzierte Schwingungen) herrühren, was bei einer Eigenfrequenz von 3,7 Hz leicht möglich ist. Nur durch den Einsatz von Seilen ist hier eine signifikante Anhebung der Eigenfrequenz möglich, so dass damit das Handaufschaukeln unterbunden werden kann. Hierfür fehlt jedoch – wie zuvor erläutert – der Nachweis gegen Ermüdung aus Verkehr. Die Sanierung wurde auf Wunsch der BAW verschoben, um die Versuchsergebnisse abzuwarten. Derartige Sanierungen sind auch noch bei weiteren Brückenbauwerken zu erwarten. Bei positiven Versuchsergebnissen ist künftig auch für den Neubau von Stabbogenbrücken oder Netzwerkbogenbrücken der abgesicherte Einsatz von Seilen möglich.

1.3 Untersuchungsziel

Erarbeiten von Nachweisformaten für den rechnerischen Nachweis der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen unter Biegung und die versuchstechnische Ermittlung einer zugehörigen Kerbgruppe für gängige Seildurchmesser wie sie für WSV-Brücken zum Einsatz kommen könnten.

2 Untersuchungsmethoden

Vollverschlossene Seile stellen ein insgesamt äußerst komplexes Tragwerkselement dar. Der Aufbau eines solchen Seils besteht aus einer Vielzahl an einzelnen Rund- und Formdrähten, die wendelförmig in mehreren Lagen über einem Kerndraht übereinander „geschlagen“ werden. Durch das Aufbringen von Zugkräften entstehen im Seilinneren verschiedenste Drahtbeanspruchungen (Zug, Biegung, Torsion und Querdruck). Zudem finden unter wechselnden Längskräften auch Relativbewegungen der Einzeldrähte untereinander statt, die zu Abrieb und Verschleiß der Drähte führen. Da eine rechnerische Abbildung dieses Tragverhaltens nach wie vor nur bedingt möglich ist, stellen Bauteilversuche die einzige Möglichkeit dar, das reale Trag- und Ermüdungsverhalten von Seilen zu beurteilen.

Vom Ingenieurbüro Dr. Schütz Ingenieure, Kempten, das die Untersuchungen auch fachwissenschaftlich betreut und auswertet, wurden dazu zwei Versuchsreihen konzipiert. Zum Einsatz kamen Seile mit verschiedenen Durchmessern von insgesamt zwei Seilherstellern. Die verwendeten Seilstärken decken

dabei den erforderlichen Tragfähigkeitsbereich von Hängern in „üblichen“ Bogenbrücken ab (21 bis 45 mm Durchmesser). Die Versuchsseile besitzen jeweils eine Länge von rund 5 m. Die Seile erfahren in den Versuchen eine kombinierte Wechselbelastung aus Normalkraft und Biegung unter verschiedenen Beanspruchungsniveaus und Beanspruchungsarten („statische“ und „dynamische“ Biegung, Biegung in Kombination mit veränderlicher Normalkraft, etc.).

Die erste Versuchsreihe an der TU München umfasste acht Bauteilversuche und konnte im April 2013 abgeschlossen werden. Der erste Versuch der zweiten Versuchsreihe an der TU Braunschweig konnte im Mai 2013 gestartet werden. Diese zweite Versuchsreihe umfasst voraussichtlich zehn Versuche und soll bis April 2014 abgeschlossen werden. Bild 1 zeigt die beiden Versuchsstände.



Bild 1: Versuchsstände an den MPA der TU München (links) und der TU Braunschweig (rechts)

Im Rahmen der ersten Versuchsreihe wurde auch speziell der Seiltyp geprüft, der für die Instandsetzung des im Abschnitt 1.2 genannten Bauwerks vorgesehen ist. Die erwarteten Beanspruchungen im Seil wurden vorab an einem räumlichen Tragwerksmodell der Brücke ermittelt und daraus ein Versuchsprogramm abgeleitet.

Während aller Versuche werden zum einen die Maschinenwerte der Versuchseinrichtung wie Zugkräfte im Seil, Wege und Kräfte zur Aufbringung der Seil- bzw. Seilkopfauslenkungen messtechnisch erfasst. Des Weiteren werden an einer Vielzahl von Stellen die Drahtspannungen über aufgeklebte Dehnmessstreifen gemessen. Mögliche Drahtbrüche der automatisiert ablaufenden Dauerschwingversuche werden über Schall- bzw. Beschleunigungssensoren aufgezeichnet.

3 Ergebnisse

Über die Versuche wurden bislang wichtige Erkenntnisse zum Trag- und Ermüdungsverhalten von vollverschlossenen Seilen im Seilendbereich gewonnen.

So konnte zum einen die zeitliche Entwicklung von Drahtbrüchen versuchsparallel aufgezeichnet und nachvollzogen werden. Die Zuordnung der Brüche zu ihrer Lage im Seil erfolgte im Anschluss an die

Versuche durch Öffnung bzw. Zerlegung der Seile. Hierfür wurden auch zum Teil die Vergussbereiche (Seilenden) freigelegt und untersucht.

Zum anderen dienten die Dehnungsmessungen auf der Seiloberfläche dazu, das Verhalten eines zwischenzeitlich entwickelten Tragwerksmodells zu validieren und zu optimieren. Mit diesem Modell können Versuchsabläufe rechnerisch nachvollzogen und die Beanspruchungen in den einzelnen Drähten des Seils (auch im Seilinneren) ermittelt werden.

Der Bauteilversuch für die Gelmer Brücke (siehe Abschnitte 1.2 und 3) wurde in Anlehnung an die Vorgaben in [DIN EN 1993-1-11, 2010] durchgeführt und konnte als bestanden beendet werden. Auf Basis dieses Ergebnisses wurde eine Zustimmung im Einzelfall für die Instandsetzung der Hänger beantragt, die auch zwischenzeitlich erteilt wurde. Derzeit wird die zugehörige Entwurfs- und Ausschreibungsplanung erstellt. Die Ausführung der Maßnahme ist für 2014 vorgesehen (siehe hierzu auch [Schütz; Schmidmeier, 2013]).

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Derzeit laufen die letzten Versuche an der MPA Braunschweig. Deren Vorgaben werden aus den bisherigen Versuchsergebnissen abgeleitet. Parallel dazu laufen ergänzende Untersuchungen zum Verhalten des in den Seilen zum Einsatz kommenden Verfüllmittels.

Schwerpunkt der begleitenden rechnerischen Untersuchungen ist die Ableitung eines Nachweisverfahrens für vollverschlossene Seile unter Normkraft und Biegung. Mit diesem Ziel werden derzeit die bisherigen Versuchsergebnisse ausgewertet sowie umfangreiche Vergleichsrechnungen mit dem entwickelten Tragwerksmodell durchgeführt.

Ein Abschluss des Forschungsvorhabens wird zum Ende des Jahres 2014 angestrebt.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

DIN EN 1993-1-11:2010-12: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl; Deutsche Fassung EN 1993-1-11:2006 + AC:2009

6 Veröffentlichungen

Schütz, K. G., Schmidmeier, M.: Zur Ermüdungssicherheit von Brückenbauwerken; BAW Kolloquium 2013 „Erhalten und Ertüchtigen von Brückenbauwerken“, 04./05.11.2013, Karlsruhe

Zwangsbeanspruchung bei dicken, gerissenen Stahlbetonquerschnitten

Netzplan-Nr.: A39510170002

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Bödefeld, Abteilung Bautechnik, Referat Massivbau (B 1)

E-Mail: joerg.boedefeld@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Stahlbetonbemessung unterscheidet Last- und Zwangsbeanspruchung. Bei der Bemessung für Zwangsbeanspruchung und bei der Überlagerung von Last- und Zwangsbeanspruchung bestehen noch Wissenslücken. Auf Grund fehlender Bemessungsansätze ist die Bemessung bisher sehr pragmatisch und an Erfahrungen angelehnt. Mit der Arbeit des Projektleiters wurde für die Beanspruchung aus frühem Zwang ein mechanisch konsistentes Bemessungsmodell durch die Formulierung als Verformungsproblem erreicht. Darauf aufbauend soll nun ein Bemessungsmodell für die späte Zwangsbeanspruchung (saisonale Temperaturunterschiede, Setzungen) entwickelt werden. Dafür muss der Risszustand, mit dem das Bauwerk die Hydratationsphase beendet, bekannt sein, um darauf aufbauen zu können. Für die spätere Zwangsbeanspruchung ist dann das viskoelastische Verhalten gerissener Stahlbetonbauteile von grundlegender Bedeutung. Aussagen über das Rissbild nach der Hydratationsphase sind aus Erfahrungen an massiven Verkehrswasserbauwerken bekannt, bisher aber nicht vorhersagbar. Berechnungsmodelle funktionieren bisher nur bis zum Risszeitpunkt, und das auch nur sehr grob auf Grund fehlender Ansätze für das viskoelastische Materialverhalten. Viskoelastische Ansätze existieren bisher für ungerissenen Beton. Für gerissene Stahlbetonbauteile konnten keine Ansätze gefunden werden. Dabei steht besonders das viskoelastische Verhalten des Verbundes im Fokus.

1.2 Bedeutung für die WSV

Verkehrswasserbauwerke werden aktuell zum größten Teil monolithisch gebaut. Die Bewehrungsansätze sind bisher sehr konservativ und an den Erfahrungen kalibriert. Mit einem mechanisch konsistenten Bemessungsmodell kann die Wirtschaftlichkeit dieser Bauweise verbessert werden, wobei zusätzlich ein besseres Verständnis des Tragverhaltens auch die Qualität und die Dauerhaftigkeit und damit die Nachhaltigkeit des Bauwerks verbessert.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist es, durch Versuche, Auswertung von insitu-Messungen und Berechnungen zu einem mechanisch konsistenten Bemessungsmodell für die Zwangsbeanspruchung zu kommen, das alle Phasen des Bauwerkslebens abdeckt (früher Zwang, später Zwang, Überlagerung Last).

2 Untersuchungsmethoden

Da bisher keine Ansätze für das viskoelastische Verhalten gerissener Stahlbetonbauteile vorliegen, müssen großformatige Versuche durchgeführt werden. Parallel soll durch nichtlineare FE-Berechnungen das Problem analysiert werden. Die Simulation der Versuche und durchgeführter insitu-Messungen sollen dann zu einem Verständnis des Tragverhaltens führen. Daraus wird dann ein Ingenieurmodell abgeleitet.

3 Ergebnisse

Das FuE-Projekt wurde Mitte 2011 gestartet. In der zweiten Hälfte 2011 liefen die Vorbereitungen und Beschaffungen zur Durchführung der großformatigen Versuche.

In 2012 wurden zwei Versuchsserien durchgeführt. Die erste Versuchsserie galt dabei als Tastversuch, um das Verhalten der Versuchseinrichtung sowie die verwendete Betonrezeptur zu analysieren und zu optimieren.

In der zweiten Versuchsserie wurden erste Erkenntnisse zum Verhalten der Stahlbetonbauteile gewonnen. Es werden jeweils zwei Stahlbetonbalken untersucht, einer wird zum Zeitpunkt der maximalen Tem-

peratur ausgeschalt, der zweite Balken wird bis zum Ausgleich mit der Umgebungstemperatur in Schalung und Dämmung belassen.

Es zeigt sich, dass das viskoelastische Verhalten des Körpers bis zum Risszeitpunkt sehr ausgeprägt ist und nach der Rissbildung deutlich zurückgeht. Bei der zweiten Versuchsserie wurden die Balken nachträglich mit Zwangsverformungen beaufschlagt. Der erste Balken wurde dabei bis zur Erstrissbildung beansprucht, der zweite Balken bis zum abgeschlossenen Rissbild. Auch hier zeigt sich eine sehr geringe Viskoelastizität nach der Rissbildung.

Bei der dritten Versuchsreihe, die 2013 durchgeführt wurde, sind Sollrissstellen eingefügt worden, um die Rissbildung zu steuern. Parallel sollten die Dehnungen an der Bewehrung entlang der Lasteinleitungslänge mit Hilfe von DMS erfasst werden. Es hat sich heraus gestellt, dass die Messtechnik modifiziert werden muss.

Daher wurden Kleinversuche durchgeführt und die Fehler in der Messtechnik sukzessive ausgemerzt. Parallel fanden Untersuchungen zum Einsatz von faseroptischen Messmethoden statt, die aber auf Grund der hohen Kosten und der fehlenden Erfahrungen auf diesem Einsatzgebiet verworfen wurden.

In 2014 sind wieder großformatige Versuche vorgesehen, da die Messtechnik mittlerweile plausible Ergebnisse liefert.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014: Weitere Versuche, Auswertung weiterer Messungen,
- 2015: Berechnungen, Aufstellen des Ingenieurmodells,
- 2016: Auswertung, Überprüfung des Modells, Zusammenstellung

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2016.

5 Literatur

Bödefeld, J.; Ehmann, R.; Schlicke, D.; Tue, N.V.: Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten in Stahlbetonbauteilen infolge des Hydratationsprozesses – Teil 2, in: Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 2, S. 79-85

Bödefeld, J.; Ehmann, R.; Schlicke, D.; Tue, N.V.: Mindestbewehrung zur Begrenzung der Rissbreiten in Stahlbetonbauteilen infolge des Hydratationsprozesses – Teil 1, in: Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 1, S. 32 – 37

Bödefeld, J.: Rissmechanik in dicken Stahlbetonbauteilen bei abfließender Hydratationswärme, Mitteilungsblatt der BAW, Nr. 92, April 2010

6 Veröffentlichungen

-/-

Bemessungskonzept für Wasserbauwerke auf Erdbeben

Netzplan-Nr.: A39510170003

Projektleiter: Dr.-Ing. H. Fleischer, Dipl.-Ing. G. Maltidis, Abteilung Bautechnik,
Referat Massivbau (B1)

E-Mail: helmut.fleischer@baw.de, georgios.maltidis@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Wasserbauwerke der WSV liegen teilweise in relevanten Erdbebenzonen wie Bild NA.1 des Nationalen Anhangs DIN-EN 1998-1/NA:2011-01 zu Eurocode 8-1 zeigt. Betroffen sind danach Gebiete entlang des Rheins und an den Unterläufen von Neckar, Mosel und Lahn.

Bei Bauwerken mit besonders hohem Schadenspotential, z.B. Stauanlagen, sind unabhängig vom EC 8 Überlegungen zu Erdbebeneinwirkungen anzustellen, siehe z.B. DIN 19700-10, wonach im Regelfall seismologische Gutachten erforderlich werden. Aus diesem Grund hat Nordrhein-Westfalen ein Merkblatt Nr. 58 zur Erdbebenbelastung von Stauanlagen herausgegeben.

Die maßgebende Norm zur Erdbebenbemessung, der Eurocode 8, besteht aus mehreren Teilen, wobei der Teil 1 sich mit den Grundlagen und den Regeln für Hochbauten beschäftigt, die weiteren Teile enthalten besondere Regelungen für Ingenieurbauwerke wie Brücken, Silos, Türme usw. Besondere Vorschriften für Wasserbauwerke, wie sie in der WSV erforderlich wären, fehlen. Auch in der z.Z. geltenden Erdbebennorm DIN 4149 (2005) für übliche Hochbauten sind keine Vorgaben für Wasserbauwerke od. ä. enthalten.

Die ingenieurwissenschaftlichen Fragestellungen beziehen sich bei der seismischen Analyse von Wasserbauwerken insbesondere auf die Interaktion Bauwerk-Boden und auf die Mitwirkung fließenden und stehenden Wassers bzw. Grundwassers.

Der Stand des derzeitigen Wissens spiegelt sich im EC 8 wider, wonach Besonderheiten von Wasserbauwerken nicht behandelt werden. Der Teil 5 des EC 8, EN 1998-5 (Besondere Vorschriften betreffend Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte) behandelt einige bei Wasserbauwerken relevanten Gesichtspunkte. In einzelnen Fällen gab es gesonderte projektspezifische Überlegungen, z.B. Kanalbrücke Magdeburg oder die Nachrechnung der Schleuse Iffezheim/Rhein auf Erdbeben. Dabei wurden Regelungen für den Hochbau nach DIN 4149 (entspricht DIN EN 1998-1) ingenieurmäßig übertragen oder es wurden mechanische Überlegungen zur Mitwirkung des Wassers angestellt. Systematische Untersuchungen zu Wasserbauwerken liegen nicht vor.

1.2 Bedeutung für die WSV

Auch wenn nur ein Teil der WSV-Bauwerke in seismisch aktiveren Zonen (Bild 1) liegen, belegen doch Rückfragen der WSV bei der BAW die Notwendigkeit einer intensiven Beschäftigung mit diesem Thema, um künftig eine kompetente, dem Stand von Wissenschaft und Technik angepasste Vorgehensweise anbieten bzw. fachkundige Auskunft geben zu können. Wie oben dargelegt, fehlen wasserbauspezifische Regelungen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des FuE-Vorhabens ist es, die Besonderheiten von Wasserbauwerken unter Erdbebeneinwirkungen zu erforschen, die Gefährdung von WSV-Bauwerken wie Schleusen und Wehren infolge Erdbeben grundsätzlich zu bewerten und möglichst pragmatische wasserbauspezifische Regelungen zu entwickeln. Die Regelungen sollen sich an die Grundnorm DIN EN 1998-1 anlehnen. Insbesondere werden bei dem komplexen Gesamtverhalten des Bauwerkes und dessen Interaktion mit Baugrund und Wasser ingenieurpragmatische Vereinfachungen angestrebt und die zugehörigen Grenzen der Anwendbarkeit, z.B. konstruktive Ausbildung und Geometrie des Bauwerkes, Seismizität usw. angegeben.

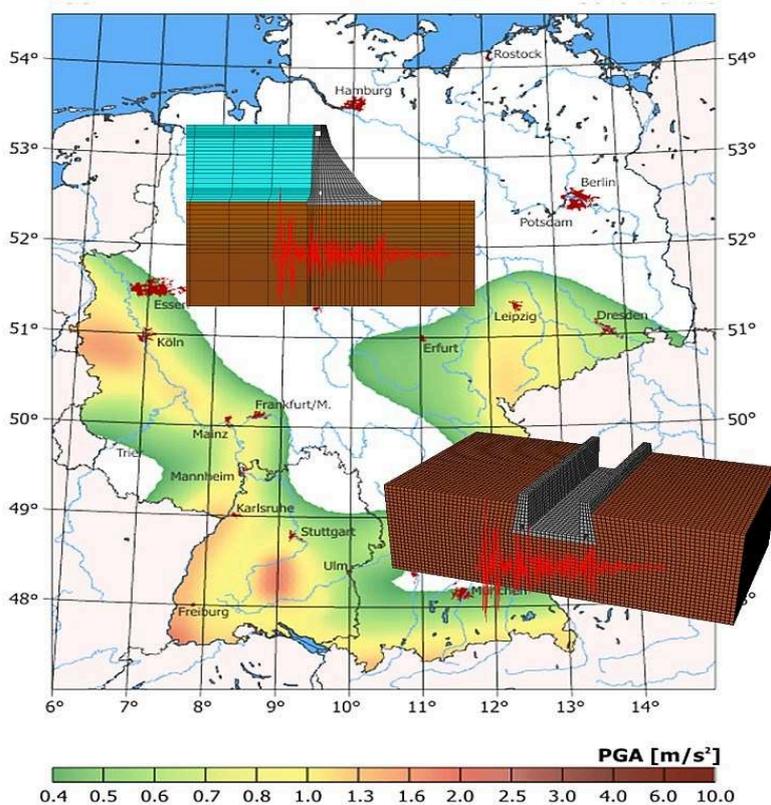


Bild 1: Seismisch aktive Zonen in Deutschland für $T_a=2500$
 (Gefährdungskarte nach GFZ Potsdam)

2 Untersuchungsmethoden

Neben umfangreichen Literaturrecherchen werden grundsätzliche mechanische Betrachtungen zur seismischen Analyse von Wasserbauwerken angestellt. Dabei werden typische WSV-Bauwerke aus deutschen Erdbebengebieten zu Grunde gelegt und durch Variation der Seismizität und konstruktiven Ausbildungen die maßgebenden Parameter identifiziert und deren Einfluss herausgearbeitet. Die Haupttragwerke der Anlagen (Massivbau) stehen dabei im Vordergrund.

Es sind ausschließlich numerische Untersuchungen mit leistungsstarken FE-Programmsystemen, z. B. ABAQUS, vorgesehen. Auf Laboruntersuchungen soll möglichst verzichtet werden.

3 Ergebnisse

Nach Abschluss der Literaturrecherche wurden die ersten Berechnungen mit ABAQUS an einem Stau-mauerquerschnitt durchgeführt. Anhand der Berechnungen wurde der Einfluss des umgebendem Bau-grundes und besonders des anstehenden Wassers als Besonderheit bei Wasserbauwerken überprüft und der Einfluss der Erdbebenbelastung auf die Standsicherheit von Staumauern getestet. Ferner waren zur realitätsnahen Tragwerksmodellierung entsprechende Stoffgesetze zu entwickeln, mit denen die Besonderheiten der zu untersuchenden Wasserbauwerke ausreichend berücksichtigt werden (vgl. Bild 2). Die Zwischenergebnisse konnten der Fachöffentlichkeit im Rahmen von Konferenzen und Kolloquien bereits vorgestellt werden.

Die Grundlagenuntersuchungen zur Erfassung des Systems Bauwerk – Boden – Wasser konnten abgeschlossen werden. Begonnen wurde mit der Ausdehnung der Untersuchungen auf Verkehrswasserbau-werke. Hierzu wurden WSV-typische Schleusen-kammern ausgewählt und mit der entsprechenden stati-schen bzw. dynamischen Modellierung begonnen.

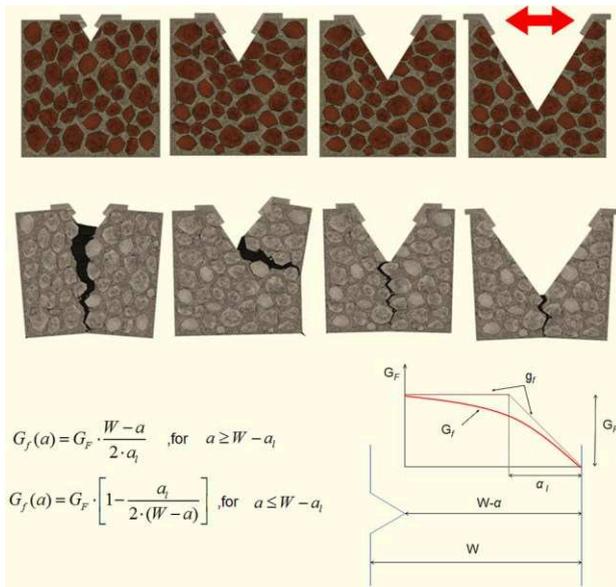


Bild 2: Simulation des Stoffverhaltens von Bruchsteinmauerwerk per FEM-Modell

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Weiterführung der Untersuchungen an verschiedenen Schleusen und Übertragung der Ergebnisse auf andere Verkehrswasserbauten; Erarbeitung von Vorgaben für Wasserbauwerke hinsichtlich der Gefährdung infolge Erdbeben.

2015: Verallgemeinerung der Anforderungen an Verkehrswasserbauwerken unter Erdbebenbeanspruchung und Abgleich mit dem geltenden Regelwerk; ggf. Formulierung von Ergänzungen; Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse und Abschlussbericht

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

G. Maltidis, L. Stempniewski, H. Fleischer: The influence of post-tensioned anchors to the seismic behaviour of an old masonry gravity dam, Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013 (VEESD 2013), 28-30 August 2013, Vienna, Austria

G. Maltidis, L. Stempniewski: Earthquake analysis of an old cyclopean concrete dam and its seismic retrofit with post-tensioning anchors, 9th ICOLD European Club Symposium, Venice, 10-12 April 2013 (Template Poster)

G.Maltidis, L.Stempniewski: Fluid Structure Interaction: Arch Dam - Reservoir at Seismic Loading, 12th International Benchmark Workshop On Numerical Analysis Of Dams, 2-4 October 2013, Graz, Austria.

G.Maltidis: Earthquake analysis of an old cyclopean concrete dam and its seismic retrofit with post-tensioning anchors, 2. Griechische Konferenz für Talsperren und Stauseen, 7-8 November 2013, Athens, Greece. In Griechisch.

G.Maltidis, L.Stempniewski: Erdbebenbeanspruchung für Verkehrswasserbauwerke, Eurocodes für den Verkehrswasserbau – Bundesanstalt für Wasserbau, 8 Oktober 2012, Karlsruhe, Deutschland.

Korrosionsschutz mit Blatt 87 - Untersuchungen zu Zwischenhaftungs- und Farbproblemen

Projekt-Nr.: A39510210309 (ehemals Nr. 8201)

Projektleiter: Dr. G. Binder, R. Baier, Abteilung Bautechnik,
Referat Stahlbau und Korrosionsschutz (B2)

E-Mail: guenter.binder@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Stahlhochbau werden Korrosionsschutzbeschichtungen überwiegend nach dem Blatt 87 gemäß TL/TP-KOR-Stahlbauten bzw. ZTV-ING eingesetzt. Dabei wird das System werkseitig meist bis zur Zwischenbeschichtung aufgebracht. Durch die üblichen Zwischenstandzeiten von 6 bis 18 Monaten unter den Nutzungsbedingungen des Verkehrs bis zum Aufbringen der farbgebenden Deckbeschichtung (DB aus Polyurethan (PUR)) kann es zu Haftungsproblemen kommen, da die Zwischenbeschichtung aus Epoxidharz (EP) eine gewisse Instabilität (photolytischer Abbau dieser Schicht durch UV-Strahlen und Bewitterung) zeigt. In Folge dessen kommt es zu Haftverbundstörungen zwischen diesen Schichten. Verschiedene Untersuchungen ([Gelhaar, A. et al, 2007], [Öchsner, W. P. et al, 2007] und [Binder, G., 1996]) belegten diesen Befund – sowohl im Labor wie auch auf der Baustelle. Durch die BAW wurden in der Vergangenheit ebenfalls Schadensuntersuchungen an verschiedenen Brücken mit Enthaftungsercheinungen durchgeführt, welche allerdings auch auf osmotische Effekte hinweisen; eine eindeutige Unterscheidung der Schadensursache ist daher sehr schwierig.

Ziel der Untersuchungen ist es, Lösungswege zur Vermeidung dieser Haftverbundprobleme herauszuarbeiten. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden noch Messungen zur Farbstabilität der farbgebenden Deckbeschichtung, sowohl unter Labor- wie auch unter Praxisbedingungen durchgeführt, um die Neubauämter bei erhöhten Ansprüchen zur Farbgebung zu unterstützen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) besitzt etwa 1.300 Brücken, die überwiegend mit dem o.g. Schutzsystem verschiedener Hersteller vor Korrosion geschützt sind. Für die Verwaltung gilt grundsätzlich, dass Brückenbeschichtungen ordnungsgemäß übergeben werden und Schwächungen des Haftverbundes, welche gewöhnlich erst später erkennbar werden, zu vermeiden.

1.3 Untersuchungsziel

Es wird anvisiert, unter den gegebenen Umständen – Komplettbeschichtung im Werk nicht möglich – eine gute Qualität des Korrosionsschutzes mit Blatt 87 oder Varianten davon zu erzielen. Hierzu sind Variationen zum bisher üblichen Applikationsablauf, unter Einsatz „neuer“ Stoffe (z. B. Zwischenbeschichtung aus UV-stabilerem aliphatischen 2K-Polyurethan), sowie alternative (Zwischen-)Reinigungsverfahren hinsichtlich ihrer Eignung zu prüfen.

Neben dem Problem der Haltbarkeit des Korrosionsschutzes, ist auch die Farbstabilität der Deckbeschichtung an den Bauwerken immer mehr in den Fokus gerückt. Hier ist zu prüfen, inwieweit alternative Stoffe geeigneter sind, dieses Ziel zu erreichen.

2 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen stützen sich auf unterschiedliche Vorgehensweisen, d.h. sowohl auf Labor- wie auch Bauwerksuntersuchungen:

In einem Praxisversuch werden seit 2010 an der Haus-Kannener-Brücke, Datteln Beschichtungssystemvarianten getestet. Die Resultate einer früheren Versuchsserie (Untersuchungen der Deutschen Bahn, BAST und BAW zwischen 1986 und 1996 [Binder, G., 1996]), wurden nochmals kritisch betrachtet und die dazugehörigen Prüfbleche mit verfeinerten Untersuchungsverfahren hinsichtlich des Haftver-

bundes, nachgemessen. Die Entwicklung der Haftfestigkeit wurde im zeitlichen Verlauf mit den klimatischen Randbedingungen verglichen.

Die jeweiligen Prüfungen werden mit Methoden der Analytik (FTIR-Spektroskopie und colorimetrische Nachweisreaktionen) begleitend untersucht, wobei spezielles Augenmerk auf die prognostizierten (störenden) Abbauprodukte des Epoxidharzes gelegt wird. Hierdurch wäre zum einen ein eindeutiger Nachweis der Schadensursache aber zum anderen auch eine Überprüfung der Zwischenbeschichtung vor Applikation der finalen Deckbeschichtung nach Blatt 87 theoretisch möglich.

3 Ergebnisse

Durch einen Hersteller wurden Prüftafeln mit zugelassenen Systemen nach Blatt 87 und Blatt 97 („Blatt 88“ stellt dabei eine noch nicht zugelassene, modifizierte Variante von Blatt 87 dar) unter Aufsicht bis zur Zwischenbeschichtung (ZB) im Technikum hergestellt und danach bewittert. Hierbei konnte schon nach zwei Monaten Freilandbewitterung sowohl bei Blatt 87 als auch Blatt 97 eine deutliche Vergilbung der EP-ZB wahrgenommen werden. Das Beschichten der Deckbeschichtung (DB) erfolgte nach zwei bzw. vier Monaten Zwischenbewitterung (Freilandlagerung in Karlsruhe gemäß DIN 55665). Die Auswertung der Blasenbildung nach dem sogenannten ΔT -Test (DIN EN ISO 6270-1) zeigte, dass die Systeme mit Epoxidzwischenbeschichten für Blasenbildung anfällig sind, was den Haftungsproblemen entspricht. Eine Variation der Zwischenreinigung konnte das Problem bei Blatt 87 nicht verhindern! Hingegen waren die Prüftafeln nach „Blatt 88“ frei von jeglichen Anzeichen einer Blasenbildung! Ergänzend konnten in den Waschwässern der bewitterten und vergilbten EP-Zwischenbeschichtungen klassische Abbauprodukte von m-xylyldiamingehärteten Epoxidharzen wie Isophthalsäure und p-Hydroxybenzoesäure isoliert und durch ihr FTIR-Spektrum bzw. Derivatisierung bestimmt werden. Diese Carbonsäuren können nachweislich nur durch den photolytischen Abbau des Epoxidharzes durch die UV-Strahlung des Sonnenlichtes entstanden sein. Colorimetrische Verfahren zum raschen Nachweis dieser Abbauprodukte auf den bewitterten Korrosionsschutzbeschichtungen vor Ort haben sich leider als nicht immer sicher erwiesen.

In Bezug auf die Oberflächenvorbereitung der bewitterten EP-Zwischenbeschichtungen sind Hochdruckwasserreinigung oder Reinigung mit einem alkalischen Reiniger (zum Lösen der sauren Abbauprodukte) wenig hilfreich. Eine vollständige Regeneration der Haftfestigkeit bzw. Entfernung der EP-Abbauprodukte kann nur durch kosten- und zeitintensives AnswEEPEN sicher realisiert werden.

Dies bedeutet, dass das „Blatt 88“ mit einer Zwischenbeschichtung aus PUR, im Unterschied zu den etablierten Systemen der TL/TP-KOR-Stahlbauten (Blatt 87 und 97), keinerlei Beeinträchtigungen aufweist. Auch die Bestimmung der Haftabzugswerte zeigte einen vergleichbaren Trend. Der neutrale Salzsprühnebeltest (DIN EN ISO 9227; 2.160 h) zeigte bei allen Serien gute Resultate mit Unterrostungen < 1 mm. Dabei ist anzumerken, dass die Systeme mit lediglich drei Schichten bei diesem Zulassungstest geprüft worden sind; üblich sind jedoch in der Praxis vier Schichten, so dass die erwarteten Standzeiten (> 15 Jahre) sicher eingehalten werden sollten!

Im Rahmen des Neubaus der Haus-Kannener-Brücke Nr. 59 wurden größere Versuchstafeln angefertigt und untersucht. Diese wurden entsprechend der Zeitabfolge an den Brückenbauteilen mit wechselnden Schichtaufbauten (Produkte weiterer Hersteller, u. a. mit zugelassenem Blatt 87 - System) versehen und auf Bruchbildungsveränderungen mittels Haftabzug untersucht. Die Resultate zeigen Tendenzen, die man ebenfalls im Labormaßstab gefunden hatte: Schädigung des Haftverbundes nach Zwischenbewitterung bei herkömmlichen Vorgehen nach Blatt 87, nicht jedoch, wenn Blatt 87 ausschließlich und komplett im Werk beschichtet wurde bzw. wenn „Blatt 88“ eingesetzt worden ist.

Untersuchungen an der Brücke Nr. 474 (Bereich Helmstedt), welche vor sechs Jahren mit dem „Blatt 88“-System beschichtet worden ist, zeigten zufriedenstellende Ergebnisse. Die Haftabzugswerte lagen mit über 7,5 MPa für Baustellenverhältnisse außergewöhnlich hoch. Haftabzugswerte nach Nasspolsterbelastung zeigten grundsätzlich keine Haftverbundstörung zwischen der ZB aus PUR und der farbgebenden DB (niedrigere Werte sind auf sog. Kleberisse zurückzuführen). Bestätigend für diese Ergebnisse sind die Untersuchungen an der Neefebrücke/Chemnitz (2.500m²) mit ähnlich guten Resultaten nach sechs Jahren Standzeit (Schneider & Gelhaar, ISL; mündl. Mitteilung 2013).

Diese Resultate an Bauwerken spiegeln somit die im Labor- bzw. Technikumsmaßstab erzielten Werte ziemlich genau wider. Als Bilanz kann somit abgeleitet werden, dass Blatt 87 wie auch Blatt 97 nur sicher anzuwenden sind, wenn das System komplett werksseitig beschichtet wird. Die Applikation der DB aus 2K-PUR vor Ort (Baustelle) auf die vorliegende ZB aus EP führt hingegen zur Verbundschwächung. Bei „Blatt 88“ oder das „modifizierte Blatt 87“ (neuer BAST-Terminus) sind keine Haftverbundschwächen und keine Einschränkungen hinsichtlich des herkömmlichen Ablaufs der Beschichtungsarbeiten (auf der Baustelle) abzuleiten.

Weitere Projekte, in denen Abweichungen zum herkömmlichen Blatt 87 bzw. 97 empfohlen worden ist, wurden von B2 betreut. Es handelt sich dabei um den Aufbau der Gößener Landbrücke und des SHW Niederfinow II. Hierzu wurden erste Testmessungen zur Sicherstellung der Qualität des angelieferten (sensiblen) Gelbtönen im Labor von B2 mittels FTIR-Spektroskopie und Headspace-Gaschromatographie an Nassmustern durchgeführt. Hierbei kann festgestellt werden das anfälligeren organische Gelbpigmente gegen UV-stabile anorganische Verbindungen wie Bismut(III)-vanadat und Bariumsulfat ausgetauscht wurden.

Untersuchungen zum Nachweis der Abbauprodukte des Epoxidharzes bei der Zwischenbewitterung zeigten begrenzte Anlysemöglichkeiten mit der FT-IR-Spektroskopie auf Versuche qualitative Farbreaktionen zum Nachweis der EP-Abbauprodukte anzuwenden blieben erfolglos.

Die Resultate der Korrosionsschutztests an allen Laborprüfplatten sind abgeschlossen und wurden zusammengestellt. Veröffentlichungen und Vorträge [Baier, R. & Binder, G., 2012] zu den Untersuchungsergebnissen haben das Problembewusstsein der Bauherren, Ausführenden, Überwacher und letztlich Stoffhersteller geschärft. Über die BAST-Arbeitsgruppe 2.5 (ZTV-ING) wurde durch die Vorstellung der erzielten Resultate die Möglichkeit des zukünftigen Einsatzes eines „Blatt 88“, integriert in Blatt 87 der TL/TP-KOR-Stahlbauten, eröffnet, bzw. die 2K-PUR-Zwischenbeschichtung (für die Ausführung vor Ort) im Blatt 87 zu integrieren.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Labor- und Praxisversuche des Forschungsvorhabens sind soweit abgeschlossen und können zu einem Abschlussbericht zusammengestellt werden. Teile davon sind bereits publiziert.

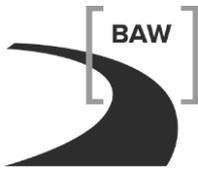
In naher Zukunft werden noch verschiedene Objekte (Haus-Kannener-Brücke Nr. 59, SHW Niederfinow II, etc.) betreut bzw. hinsichtlich der Langzeitwirkung des Korrosionsschutzes nach „Blatt 88“ beobachtet und später ausgewertet.

Die Farbabstandsmessungen bei BAW werden zwischenzeitlich weitergeführt, wobei ein neues Farbmessgerät zum Einsatz kommt. Hierbei ist zu prüfen, inwieweit Testreihen nach UV- und Xenon-Test sowie Naturlagerung zu vergleichen sind bzw. voneinander abweichen.

Nominelle Laufzeit des Vorhabens war von 2007 bis 2013. Mit der Erstellung des Abschlussgutachtens wurde Ende 2013 begonnen. Es kann davon ausgegangen werden, dass im 1. Quartal 2014 das Projekt abgeschlossen werden wird.

5 Literatur

- Gelhaar, A. und Schneider, A.: Zur Problematik der Zwischenbewitterung von Epoxidharz-Teilbeschichtungen an Brückenbauten; Stahlbau, 76 (2007) Heft 2, 131-142
- Öchsner, W. P. und Schmidt, R.: Auf der Suche nach optimaler Zwischenhaftung; Farbe und Lack, 113 (2007) Heft 5, 146-155
- Binder, G.: Zwischenreinigung von bewitterten Teilbeschichtungen für den Korrosionsschutz an Brückenbauten; BAW-Brief (1996) Nr. 3, 2-3
- Binder, G.: Korrosionsschutz für den Stahlhochbau; BAW-Brief (2007) Nr. 1, 1-7



6 Veröffentlichungen

Binder, G. und Baier, R.: Untersuchungen zu Zwischenhaftungsproblemen bei Korrosionsschutzbeschichtungen für den Stahlhochbau; BAW-Brief (2012) Nr. 2

Baier, R. und Binder, G.: Aktuelle Untersuchungsergebnisse zur Zwischenhaftungsproblematik und Folgerungen für Blatt 87 der TL/TP-KOR; Vortrag bei BVK-Tagung, Köln, März 2012

Korrosionsschutz von Stahl in Beton - Untersuchungen zum Kathodenschutz der Straßenbrücke B500 über den Rhein bei Iffezheim

Netzplan-Nr.: A39510270002

Projektleiter: Dr. G. Binder, R. Baier, Abteilung Bautechnik,
Referat Stahlbau und Korrosionsschutz (B2)
Ch. Tritschler, WSA Freiburg

E-Mail: guenter.binder@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die BAW hat den elektrochemischen Schutz der Stahlwasserbauwerke und Uferbefestigungen (Stahlspundwände) an den bundesdeutschen Wasserstraßen seit Jahrzehnten unterstützt und vorangetrieben. Das Grundprinzip hierbei ist die Einspeisung von Gleichstrom in das zu schützende Stahlbauteil zwecks Absenkung des elektrochemischen Potentials. Dieses Verfahren - Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) - wird derzeit an der Straßenbrücke Iffezheim auch für Stahl in Beton angewandt. Die Elektrochemische Schutzmethode KKS-B wurde an der oben genannten Straßenbrücke zunächst erprobt, wobei die Umsetzung zum Jahreswechsel 2010/2011 erfolgte. Über einen Teilbereich der Brücke wurde der südliche Hohlkasten mit 2.050 Einzelanoden (im Unterschied zum gängigen Streckmetallgitter) in sechs Schutzbereichen ausgerüstet und über diese der notwendige Schutzstrom möglichst gleichmäßig eingespeist. Ein weiterer Teilbereich eines Hohlkastens der Brücke wird dabei mit einem gängigen flexiblen Streckmetallgitter aus MMO-aktiviertem Titannetz als flächige Fremdstromanode versehen. Mit variabler elektrischer Spannung, unter Verfolgung des Schutzstrombedarfs, kann man derartige Schutzstromanlagen entsprechend den Anforderungen auslegen und steuern. Gleichzeitig kann jeder Schritt durch ebenfalls eingebettete Mess- bzw. Bezugselektroden kontrolliert werden. Diese so genannte Potentialfeldmessung ist übrigens dem Verfahren ähnlich, mit dem bereits im Vorfeld die Schädigung der Bewehrung detektiert worden ist.

Neben dem großen Vorteil der ständigen Überwachung des Sanierungserfolgs (Absenkung des Korrosionsstromes gegen Null), diffundiert das schädliche Chlorid (Salz) durch das angelegte elektrische Feld von der Bewehrung weg, wodurch man sich schließlich eine aufwändige Betonsanierung in weiten Bereichen des Hohlkastens erspart. Die Möglichkeit eines Monitorings besteht in der Verfolgung der zeitlichen Entwicklung der Korrosionssituation durch eine Potentialfeldmessung mit MnO_2 -Bezugselektroden (mit alkalischer Gelfüllung). Dieses Verfahren wiederum ist von einer Reihe von variablen Parametern abhängig und teilweise schwierig zu interpretieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) besitzt eine große Anzahl von Stahlbetonbrücken, u.a. auch so genannte direkt befahrene Brücken, die häufig durch Chlorideinwirkung und die dadurch erfolgte Depassivierung an der Bewehrung Schäden aufweisen. Ein Kathodischer Korrosionsschutz könnte dabei in vielen Fällen einerseits einen Neubau von geschädigten Brücken unnötig machen und andererseits die aufwändigen konventionellen Verfahren der Betonausbesserung und Reprofilierung ersetzen.

1.3 Untersuchungsziel

Nach der Bestimmung einzelner Chloridprofile, des lokalen Zementgehaltes und des Bindemitteltyps unter Mithilfe der BAW und der RWTH Aachen im Vorfeld, wird ein Untersuchungsziel sein, möglichst viele Erfahrungen und Detailkenntnisse aus dem Betrieb der Kathodenschutz-Anlage der Brücke B 500 zu gewinnen, um die mögliche zukünftige Anwendung dieses Schutzverfahrens genauer und zielgerechter bei WSV-Bauwerken zu platzieren. Der Erkenntnisgewinn und die Untersuchungsergebnisse können langfristig auch als Grundlage für ein anvisiertes „Merkblatt KKS-B“ genutzt werden, an dem u.a. auch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ein großes Interesse hat.

Mit dem Untersuchungsprogramm werden grundsätzlich, durch genaue Verfolgung der Messdaten vor Ort, Erfahrungen für die WSV gesammelt. Zudem kann man durch die Verfolgung des Wechsels der

äußeren Bedingungen, deren Einfluss auf die Erfassung der Messdaten und deren Interpretation, erkennen und zukünftig den Aussagewert z. B. der Potentialfeldmessung verbessern.

2 Untersuchungsmethoden

Nach dem Anschließen aller Fremdstromanoden wurden gezielt Versuche gefahren, die Aufschluss über die letztendliche Anodenanordnung, Treibspannung, Stromdichte und Auslegung der Kathodischen Schutzanlage liefern sollten. Eine noch nicht im Detail bekannte Größe ist die exakte Einordnung der gemessenen Potentialwerte. Neben der Betonart (Bindemitteltyp) und der Betondeckung gelten die Betontemperatur und seine Feuchtigkeit als maßgebliche Einflussparameter. Zur Verfolgung der variierenden Feuchtegehalte ist eine neuartige Ringelektrode eingesetzt worden. Die Multiringelektrode bestehen aus acht Edelstahlringen (1.4571, $d = 20,0$ mm, $h = 5,0$ mm), die mit einem Achsabstand von 5,0 mm untereinander angeordnet sind und mit einem Pt1000 Temperaturfühler. Zwischen zwei Edelstahlringen wird jeweils ein Polyethylen-(PE)-Isolerring eingebaut. Durch Messung des Wechselstromwiderstands (100 Hz bzw. 1000 Hz) zwischen zwei benachbarten Ringen kann ein Widerstandsprofil über die Einbautiefe des Sensors aufgezeichnet werden. Dabei ist eine Temperaturkompensation der gemessenen Betonwiderstände [$k\Omega$] mit Hilfe der Betontemperatur (gemessen auf Höhe des innersten Rings), eine Umrechnung in spezifische Elektrolytwiderstände [$\Omega \cdot m$] über die Zellkonstante möglich. Die hierbei erzielten, zum Teil widersprüchlichen Widerstandsverläufe werden nochmals gezielt überprüft und ggf. im Bereich der Ringelektroden gezielt und kontrolliert mit Wasser, zur Erhöhung von Beton- und Luftfeuchte benetzt. Ferner sollen vergleichende Potentialfeldmessungen von außen vorgenommen werden und deren Verschiebungen gegenüber den Messungen innen, nahe an der schlaffen Bewehrung, verfolgt werden. Auch eine stationäre elektronische Messung von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit an insgesamt vier Stellen im Innern der beiden Hohlkästen ist vorgesehen.

3 Ergebnisse und weiteres Vorgehen

Im Frühjahr 2011 wurde die KKS-B-Anlage an der Straßenbrücke Iffezheim (B 500) in Betrieb genommen. Dabei wurde in zeitlichen Abständen die Funktionstüchtigkeit der Anlage durch Messungen der Potentialfeldwerte im Betrieb bzw. der tatsächlichen lokalen Schutzwirkung durch die Ermittlung der Ausschaltpotentiale und der dadurch erzielten Depolarisation (> 100 mV) nach DIN EN 12969:2000-06 bestimmt. Es konnte gezeigt werden, dass sowohl an den diskreten Einzelanoden als auch in dem Bereich der Streckmetallgitteranoden die Ergebnisse auf nahezu optimalen Schutz hinweisen. Die Ausschaltpotentiale lagen dabei in Bereichen von -210 und -450 mV für den östlichen Bereich und bei -150 bis -450 mV für den westlichen Bereich der Brücke (Messelektrode: MnO_2). Zudem ist festzustellen, dass die Ausschaltpotentiale oberhalb des Grenzpotentials für Spannbetonglieder gemäß DIN EN ISO 12696 und somit auf der sicheren Seite hinsichtlich einer möglichen Wasserstoffversprödung liegen. Das 100 mV-Funktionskriterium für die gemessene Depolarisation nach 24 Stunden konnte in der Regel ebenfalls (bis auf zwei Ausnahmen; hier spricht der Trend jedoch für ein baldiges Erreichen des Depolarisationskriteriums) für beide Brückenteile erfüllt werden. Die angelegte Treibspannung (4,45 V) und der davon abzuleitende Schutzstrom konnte beibehalten werden (Bruns, M. & Binder, G., 2013).

Da besonders der Betonwiderstand und die Stromstärke der lokalen Schutzströme durch Temperatur und Feuchte beeinflusst werden, müssen zusätzlich die Temperatur und die Luftfeuchte, bzw. vor allem die Betonfeuchte, gleichzeitig erfasst werden. Zur Kontrolle von Feuchteverteilung in der Betonrandzone sind jeweils am Anfang und Ende des östlichen und westlichen Hohlkastens je zwei „Multiringelektroden“ angebracht worden. Aus den Langzeitbetrachtungen sind insbesondere die Einflüsse der Temperatur, Feuchtigkeit und der Betondeckung auf die Potentialfeldmesswerte wie auch letztlich auf die Stromverteilung bzw. den benötigten Schutzstrom abzuleiten bzw. zu bestimmen.

Leider musste Anfang letzten Jahres bei der Auswertung der ersten Betonwiderstands-Temperatur-Messreihen festgestellt werden, dass bei der nachträglichen Installation der vier Multiringelektroden bzw. deren Kalibrierung elektronische Fehler im Bereich der Messwerterfassung vorgefallen waren. Auch bei der künstlichen Wässerung der Multiringelektroden im November 2012 konnte keine brauchbaren zeitlichen Messverläufe erzielt werden. Durch eine konzentrierte Zusammenarbeit mit Z2 und der Herstellerfirma konnte im Laufe des letzten Jahres diese Fehlerquellen erfolgreich beseitigt werden. Die bisher erzielten Betonwiderstandswerte liegen im Bereich von 20 – 350 $k\Omega$ bei den Messungen im Dezember 2013.

Die Erfassung der Lufttemperatur bzw. der relativen Luftfeuchtigkeit jeweils am Anfang und am Ende der Hohlkästen mit entsprechenden Loggern wurde nun ebenfalls vervollständigt. Die Messung von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit wurde zunächst an einer Stelle beginnend ab Dezember 2012 und dann an insgesamt vier Stellen im Innern der beiden Hohlkästen ergänzend im Dezember 2013 realisiert. Die Montage an der jeweiligen Seitenwand gestaltete sich einfach, wobei bei der kontinuierlichen Messung der beiden Luftparameter in Zeitschritten von 30 Minuten geloggt wird. Dadurch ergibt sich eine Speichertiefe von 1,2 Jahren. Bild 1 gibt die Messwerte für die Messstelle Hohlkasten 0 m Deutschland (im Molenbereich) in dem Zeitraum Dezember 2012 bis November 2013 wieder. Die zeitlichen Verläufe von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte weisen eine deutliche Streuung über den Tag und über das Jahr hinweg auf.

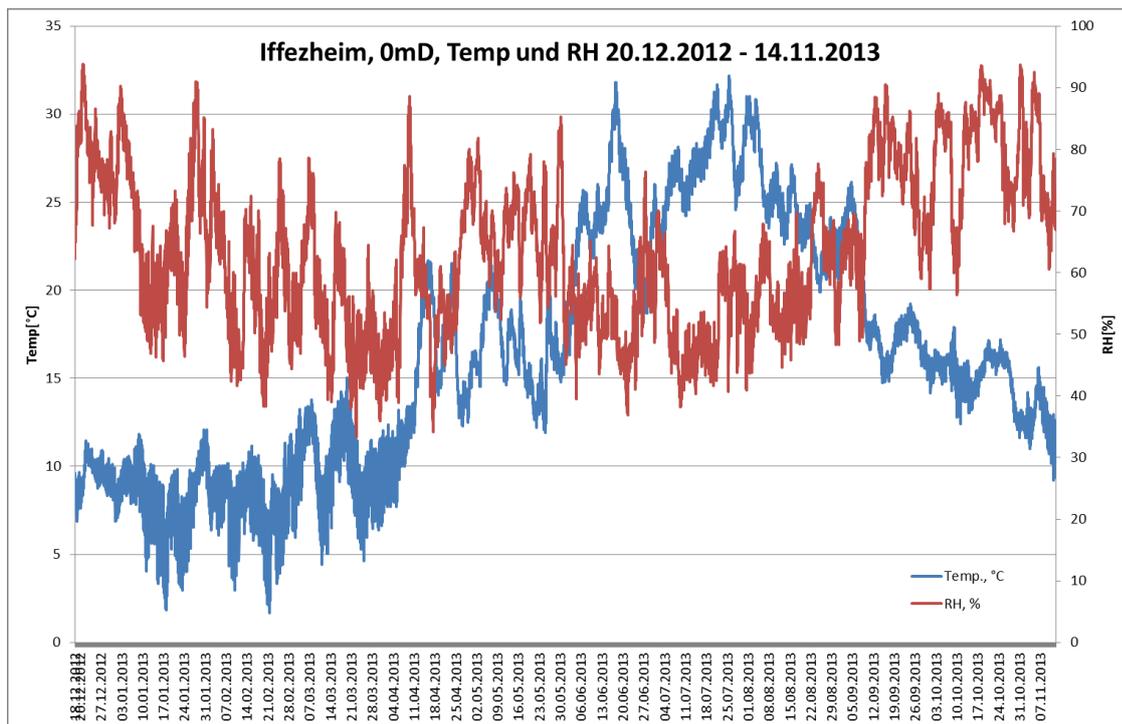


Bild 1: Zeitlicher Verlauf von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte an der Messstelle Hohlkasten 0 m Deutschland im Zeitraum von Dezember 2012 bis November 2013

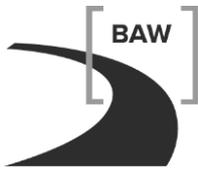
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- Betrachtung und Auswertung vorliegender Messwerte zur Erfolgskontrolle an der Versuchsanlage Straßenbrücke Iffezheim - B500 (2011-2014)
- Messung der Potentiale nach dem Einbau der Kathodenschutzanlage, Überprüfung der Funktionstüchtigkeit durch Bestimmung des Ausschaltpotentials durch Erfüllung des 100 mV-Kriteriums (2011-2013)
- Verfolgung der Potentialmesswerte durch naturbedingte Wechsel der Temperatur und Feuchtigkeit (2012-2014)
- Anbringung von Sensoren zur Bestimmung der Raumklimata in den Hohlkästen (2012-2013)
- Messwertverfolgung nach künstlicher Anhebung der Betonfeuchte durch Rehydratisierung nach Wasserbeaufschlagung (2013-2014).

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

-/-



6 Veröffentlichungen

Bruns, M. und Binder, G.: Umsetzung des Kathodischen Korrosionsschutzes an den Spannbetonüberbauten der Schleusenbrücke Iffezheim; Beton- und Stahlbetonbau, 108 (2013) 2, 104 - 115

Korrosionseigenschaften von Spundwandstählen

Netzplan-Nr.: A39510270003

Projektleiter: J. Ruppert, Abteilung Bautechnik, Referat Stahlbau und Korrosionsschutz (B2)

E-Mail: johannes.ruppert@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Korrosion von Spundwänden ist bedingt durch den Stahltyp, die Standzeit, das Immersionsmedium und der Tiefenlage bzw. Immersionszone. Von etwa 40 Bauwerken verschiedener Lokalitäten Deutschlands mit unterschiedlichen Standzeiten und Gewässertypen (Binnen-, Brack- oder Meerwasser) liegen mittlere Abrostungsdaten zum Vergleich vor. Bisher wurde bereits der Zusammenhang der Abrostung von Spundwandbauwerken mit zunehmender Standzeit untersucht. In Ergänzung dazu wurden Abrostungsmessungen mittels Ultraschall zur Bestimmung der Korrosionsraten durchgeführt und versucht Zusammenhänge mit den gemessenen Wasserparametern herzustellen. Hierzu wurde bisher vor allem die Bewertungszahl W_0 für die Korrosivität von Gewässern nach DIN 50929 (Teil 3; 1985) und der Sauerstoffgehalt verwendet. Weiterhin wurden auch die chemischen Zusammensetzungen der verschiedenen Stähle nach ihrem Alter untersucht (Dr. G. Binder, U. Gabrys, 2011; C. Houyoux et.al, 2007).

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) besitzt eine Vielzahl von Spundwandbauwerken (z. B. Uferbefestigungen oder Schleusen). Wenn die Korrosion besser diagnostizierbar wäre, könnten z. B. Standzeiten von Spundwandstählen besser vorhergesagt werden. Bei zu geringer errechneter Standzeit wären dann bauliche Veränderungen anzustreben um die Standzeit zu erhöhen. Zudem müssten seltener teure und zeitaufwendige Ultraschallmessungen an den Bauwerken durchgeführt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Durch elektrochemische Bestimmung der Korrosionseigenschaften vorliegender Stahlproben soll im Laborverfahren (Korrosionsmesszelle) deren generelle Anwendbarkeit und der Zusammenhang mit den realen Abrostungsverhältnissen überprüft werden. Damit können die Einflüsse der Stahlzusammensetzung sowie der unterschiedlichen Immersionsmedien dieser Bauwerke nachvollzogen werden und die maßgeblichen Einflussparameter erfasst werden. Untersuchungsziel wird sein, möglichst viele Erfahrungen und Detailkenntnisse der Korrosion von Spundwandstählen zu sammeln, um Laborversuche naturgetreuer fahren zu können und die Korrosion besser vorhersagen zu können. Hierbei könnten auch mikrobielle Korrosionsaspekte (MIC) Berücksichtigung finden.

2 Untersuchungsmethoden

Erster Ansatz ist die Durchführung und Anpassung von Laborversuchen und der Vergleich mit Abrostungsraten in der freien Natur. Es werden Versuche mit einer Korrosionsmesszelle durchgeführt, in welcher die Stromdichte-Potential-Kurven verschiedener Stahlproben unter unterschiedlichen Gewässerbedingungen (Salinität, Sauerstoffkonzentration, Temperatur u. a.) aufgenommen werden können, aus welchen die theoretische Abrostungsgeschwindigkeit nach dem Faradayschen Gesetz berechnet werden kann.

3 Ergebnisse

Als Standardversuchsbedingungen bei allen Versuchen wurde sich an die American Society for Testing and Materials (ASTM G5 – 87) angelehnt. Die Proben wurden mit einer Körnung von 600 vor dem Einsatz in der Messzelle mit Siliciumcarbidpapier geschliffen und anschließend mit Aceton entfettet und mit demineralisiertem Wasser gereinigt. Als Standardtemperatur für die Versuche wurden 20° C gewählt. Beim Magnetrührer wurden 200 rpm als Standard festgelegt was in etwa einer Fließgeschwindigkeit von 1,7 km/h entspricht. Dies ist ein Wert zwischen der Strömungsgeschwindigkeit z. B. des Rheins mit ca. 7 bis 8 km/h und den Kanälen wie z. B. dem Mittellandkanal wo nahezu keine Strömung vorzufinden ist.

Die Probevorbereitung wurde optimiert indem verschiedene Probekörperabmessungen und Gießharze getestet wurden. Der Einfluss der Oberflächenrauigkeit (R_z) auf die spezifische Probenoberfläche und die auftretenden Korrosionsströme wurde untersucht. Der Einfluss der Korrosion an den Schnittkanten der Probekörper (Spalteeffekte) wurde durch Lackieren der Probe vor dem Eingießen minimiert.

Bei den ersten Versuchen in der KMZ wurden verschiedene Messparameter wie unterschiedliche Immersionsmedien (Demineralisiertes Wasser, Karlsruher Leitungswasser und synthetisches Meerwasser nach DIN 50905-4; 1987) oder Messzeiten für das Ruhepotential (Open-Circuit-Measurement) untersucht.

Als weitere Basis wurde untersucht ob die Messzelle Temperaturunterschiede erfassen kann. Hierbei zeigte sich mit steigender Temperatur ein erwarteter zumeist exponentieller Anstieg (bei manchen Modelllösungen eher linear) der Korrosionsgeschwindigkeit.

Bei Versuchen mit Rheinwasser war zudem sehr gut zu erkennen, dass mit steigender Temperatur die Sauerstoffkonzentration fiel. Bei der Auswertung wurde allerdings deutlich, dass der Effekt der Temperaturerhöhung stärker ist als der Effekt der Verringerung der Sauerstoffkonzentration womit die theoretische Abrostungsrate mit der Temperatur ansteigt.

Zur Überprüfung der Messunsicherheit und der Ungenauigkeit der TAFEL-Auswertung wurde ein Versuch in 10 mmolarer Natriumsulfatlösung unter Standardbedingungen zwölf mal wiederholt durchgeführt. Hierbei ergab sich eine theoretische Abrostungsrate von $356 \mu\text{m/a}$ mit einer Standardabweichung von $51 \mu\text{m/a}$. Dies entspricht einer Abweichung von ca. 14%.

Weiterhin wurden Testreihen zum Einfluss der Rührgeschwindigkeit/Fließgeschwindigkeit durchgeführt. Hierbei ließ sich im Rahmen der Messungenauigkeit des Systems kein eindeutiger Trend feststellen. Möglicherweise lässt sich Sulfat aufgrund seiner Größe stärker beeinflussen als Chlorid.. Die Sauerstoffkonzentration zeigte keine Unterschiede bei den verschiedenen Rührgeschwindigkeiten.

Ein weiterer Schwerpunkt war, die Aggressivität der verschiedenen Anionen und Kationen in Modelllösungen zu vergleichen. Bei den Anionen zeigte sich, dass Sulfat (SO_4^{2-}) wesentlich aggressiver zu sein scheint als Chlorid (Cl^-) bei gleichen Gegenionen und gleicher Ionenstärke. Bromid (Br^-) ließ sich nicht eindeutig einordnen und Modelllösungen mit Carbonat (CO_3^{2-}) wirkten inhibierend.

Bei den Kationen wirkte Kalium (K^+) aggressiver als Natrium (Na^+) bei entsprechenden Gegenionen. Dies lässt sich durch deren kleinere Hydrathülle, und damit ihrer höheren Beweglichkeit, erklären.

Um z. B. Versuche mit Chlorid und mit Sulfat vergleichen zu können, wurde bei den Modelllösungen nicht dieselbe Konzentration der Lösung verwendet sondern immer dieselbe Ionenstärke.

Der Einfluss des pH-Wertes wurde untersucht und hierbei ergab sich eine erhöhte Aggressivität im sauren gegenüber Versuchen im basischen Milieu was so zu erwarten war. Dies zeigte sich bei verschiedenen Modelllösungen.

In einer Versuchsreihe wurde untersucht, ob der DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) einen Einfluss auf den Korrosionsstrom bzw. die Korrosionsrate in der Messzelle hat. Dies wurde mit drei verschiedenen DOC-Quellen (Gallussäure, Salicylsäure und 2,4-Dihydroxybenzoesäure) und zwei verschiedenen Modelllösungen (30 mmol Natriumchlorid und 10 mmol Natriumsulfat) überprüft. In allen Fällen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede beim Korrosionsstrom.

Bei den Versuchen mit „realem“ Rheinwasser zeigte sich keine Änderung des Korrosionsstroms bei der Änderung der Umdrehungsgeschwindigkeit des Rührers im Rahmen der Messungenauigkeiten der Messzelle. Die theoretischen Abrostungsraten lagen im Bereich um die $70 \mu\text{m/a}$ (entspricht $0,07 \text{ mm/a}$). Dies entspricht relativ gut den von der BAW gemessenen Abrostungsraten im Mittellandkanal (MLK) nach einer Standzeit von 8 Jahren und darüber. Aus den Daten aus einem vorherigen Forschungsprojekt (Binder u. Gabrys 2011) ergibt sich für Binnengewässer allerdings ein Mittelwert der Abrostungsraten (bei 15 verschiedenen Bauwerken) von ca. $40 \mu\text{m/a}$.

Bei den ersten Versuchen mit Brackwasser nach DIN 50905 ergab sich eine theoretische Abrostungsrate von ca. 180 $\mu\text{m/a}$. Als Mittelwert der Abrostungsrate der 13 Brackwasserbauwerke aus dem anderen Forschungsprojekt ergibt sich ebenfalls ein niedrigerer Wert mit ca. 70 $\mu\text{m/a}$. Das Brackwasser nach DIN hat eine elektrische Leitfähigkeit (ELF) von 11,9 mS/cm, während die ELF bei den Bauwerken sich zwischen 8,0 und 26,9 mS/cm bewegt.

Die bisher aufgeführten Versuche wurden alle mit Stahlproben eines typischen Baustahls durchgeführt.

Zudem wurde 2013 begonnen Versuche mit verschiedenen Spundwandstählen durchzuführen. Diese wurden nach deren chemischer Zusammensetzung ausgewählt. Es wurden die auffälligsten ausgewählt, wie z. B. zwei Stähle mit hohem Kohlenstoffgehalt (BAW-Nr. 132 und 231), zwei Stähle mit hohem Mangan- und Siliziumgehalt (BAW-Nr. 67 und 127), zwei Stähle mit viel Phosphor und Schwefel (BAW-Nr. 41 und 275) und zwei Stähle mit einem hohen Anteil an Kupfer (BAW-Nr. 233 und ebenfalls 275/233). Dabei bewegen sich die aufgezählten Elemente meist im Rahmen des erlaubten für Baustahl nach DIN EN 10025-2.

Von den gewählten Proben wurde eine zuvor im Binnenbereich, vier im Brackwasserbereich und zwei im Seewasserbereich eingesetzt.

Bei den ersten Versuchen in einer 30 mmolaren Natriumchloridlösung zeigten sich kaum Zusammenhänge zwischen der chemischen Beschaffenheit der Stahlprobe und der ermittelten theoretischen Abrostungsrate. Einzig die Probe mit dem höchsten Kohlenstoffgehalt (BAW-Nr. 231) zeigte eine deutlich geringere Abrostungsrate gegenüber den anderen Proben. Die zweite Probe mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt (BAW-Nr. 132) zeigte dieses Verhalten nicht. Dieser Stahl hat zudem aber noch einen erhöhten Mangangehalt gegenüber der Probe 231.

Fertigt man ein Dreiecksdiagramm der sieben bisher untersuchten Stähle an (z. B. mit den Achsen: Kohlenstoff, Kupfer und Nickel+Chrom), so liegen die Stähle mit ähnlichen theoretischen Abrostungsraten zum Teil gut beisammen. In diesem Bereich müssen noch mehr Versuche, insbesondere in DIN Brackwasser, durchgeführt werden. Zudem muss abgeklärt werden, ob bestimmte Phasen im Gefüge der Stähle (wie z. B. Mangansulfidzeilen) die Korrosion beeinflussen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

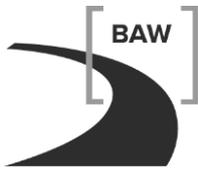
Sichtung vorhandener und relevanter Untersuchungen und Veröffentlichungen.

Begutachtung verschiedener Immersionsmedien und Erstellen eines Rankings relevanter, physikochemischer Gewässerparameter unter möglicher Berücksichtigung der Aspekte mikrobiell induzierter Korrosion. Versuchsreihen zur Untersuchung der Bedeutung der verschiedenen Wasserparameter bei der Korrosion. Zusätzliche Versuche in der Korrosionsmesszelle mit unterschiedlichen Stahlproben und synthetischen See-, Brack- und Flusswasser bzw. Wasserproben von vor Ort. Diese Ergebnisse sollen dann mit Messwerten an Bauwerken verglichen werden (bis Ende 2014).

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

- American Society for Testing and Materials; ASTM G5 – 94; Standard Reference Test Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements; 2011
- DIN 50905, Teil 4; Korrosionsuntersuchungen; Durchführung von chemischen Korrosionsversuchen ohne mechanische Belastung in Flüssigkeiten im Laboratorium; 1987.
- DIN EN 10025, Teil 2; Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen, Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle; 2005.
- Dr. G. Binder, U. Gabrys; Bewertung der Korrosion von Spundwänden. FuE-Forschungsvorhaben der BAW; A39510210108, 2011.
- Dr. W. Hein; Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittellandkanal; Mitteilungsblatt der BAW; 1986.



- C. Houyoux et.al: Design method for steel structures in marine environment including the corrosion behaviour. Technical steel research, 2007.
U. Schwertmann, R. M. Cornell: Iron Oxides in the Laboratory. Wiley-VCH, 2000

6 Veröffentlichungen

Poster-Veröffentlichung, Vergleich der Abrostungsraten von Stahl zwischen Natur und Labor; Jahrestagung Gesellschaft für Korrosionsschutz e. V.(GfKORR); Frankfurt 6./7. November 2012

Materialkombinationen für das System Laufrad/Laufschiene

Netzplan-Nr.: A39510270004

Projektleiterin: Dipl.-Ing. U. Gabrys, Abteilung Bautechnik,
Referat Stahlbau und Korrosionsschutz (B2)

E-Mail: ulrike.gabrys@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Auf Grund von vermehrt auftretenden Schäden an Laufrädern (Gegenkörper) oder Laufschiene (Grundkörper) an Verschlüssen des Stahlwasserbaus sollte das Rad-Schiene-System im Stahlwasserbau hinsichtlich vorteilhafter Materialkombinationen intensiv untersucht werden (Bild 1). In den geplanten Versuchen sind unterschiedliche, marktübliche, kostengünstige Materialkombinationen (maximal drei) mit verschiedenen Parametern wie z.B. Korrosionsbeständigkeit, Härte, Härteunterschiede und Verschleißfestigkeit zu untersuchen. Ziel ist es, ein am Markt verfügbares Rad-Schiene-System zu finden, das unter den üblichen rauen Bedingungen für Stahlwasserbauten eine lange Nutzungsdauer aufweist und universell eingesetzt werden kann.

Zurzeit werden die unterschiedlichsten Materialkombinationen, wie z. B. unlegierte Stähle mit Schienenstählen oder nichtrostende Stähle mit unlegierten Stählen, für das Rad-Schiene-System eingesetzt. In den letzten Jahren wurden bevorzugt die Auftragsgeschweißten Rollen bzw. Schienen eingebaut. Aber auch verschiedene nichtrostende Stähle, Stahlguss oder unlegierte Stähle sind zum Einsatz gekommen.

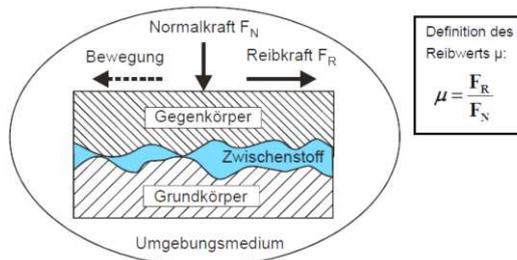


Bild 1: Beispielzeichnung für das Modell eines Tribologischen Systems (O. Durst 2008)

Bei den Auftragsgeschweißten Rädern bzw. Schienen sind die Formeln der Hertzschen Pressung, wie sie in der DIN 19704 publiziert sind, nicht anwendbar, da die Auswirkungen der Pressungen in der Übergangsschicht nicht bekannt sind. Auch liegen wenige oder keine Untersuchungen über das Zusammenwirken der unterschiedlichsten Stähle in mit Schwebstoffen angereicherten Wässern vor. Hohe Drücke zwischen verschiedenen Materialien einhergehend mit im Wasser befindlichen Schwebstoffen können Schäden infolge Adhäsion, Abrasion, Korrosion oder Pitting hervorrufen. Zurzeit sind zwei Fragestellungen zu beantworten:

- Welche Materialien und welche Schichtdicken sind bei Auftragsgeschweißten Rädern bzw. Schienen erforderlich (anzuwenden)?
- Welche Materialien mit speziellen Oberflächenbehandlungsverfahren sind zum Einsatz als Rad-Schiene-System ebenfalls geeignet?

1.2 Bedeutung für die WSV

Auf Grund der unterschiedlichsten Materialkombinationen sind in den letzten Jahren vermehrt Schäden durch elektrolytische Korrosion oder Abrasion an den Rädern oder Schienen aufgetreten. Um der WSV eine oder mehrere geeignete Systeme anbieten zu können, sind umfangreiche Versuche zur Beurteilung des tribologischen Systems erforderlich. Des Weiteren sollen Formeln zum Nachweis der Hertzschen Pressungen an Auftragsgeschweißten Rädern bzw. Schienen formuliert werden, die sicherstellen, dass es auf Grund der Pressung zu keiner Ablösung der Auftragsschweißung kommt. Das Maximum der Pressung liegt einige Millimeter unter der Oberfläche. Mit den zu entwickelnden Formeln zum Nachweis der

Hertzsch Pressung soll sichergestellt werden, dass dieses Maximum nicht in der Übergangszone zwischen Grundmaterial und Auftragsschweißung liegt. Somit wird zukünftig Planungssicherheit hinsichtlich des aufzuschweißenden Materials und der Dicke der Auftragsschweißung erreicht. Diese Angaben sollen zukünftig auch Eingang in die DIN 19704-1 (Norm) finden.

1.3 Untersuchungsziel

Standardisierung von möglichen, durch Versuche abgesicherten Materialkombinationen und deren tragsicherheitsrelevanten Nachweise (Hertzsch Pressungen).

2 Untersuchungsmethoden

Tribologische Untersuchungen (unter Wasser, mit hohen Drücken und den im Stahlwasserbau üblichen Überrollungen) sollen an maximal drei unterschiedlichen Materialkombinationen durchgeführt werden. Die Materialkombinationen sind auf Grundlage einer Literaturrecherche und in Absprache mit den Neubauämtern der WSV noch festzulegen.

3 Ergebnisse

Recherche nach geeigneten Prüfinstituten ist abgeschlossen. Die Festlegung der Materialkombinationen ist weitestgehend abgeschlossen. Es liegen jedoch noch keine Versuchsergebnisse vor.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Festlegung des Versuchsumfangs, Ausschreibung und Vergabe der Versuche, Beginn der tribologischen Versuche an mindestens einem System.

2015: Fortführung der tribologischen Versuche an zwei weiteren Laufrad / Laufschiene-Systemen

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2015.

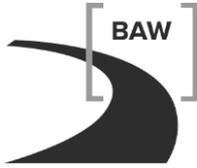
5 Literatur

Norm, Mai 1998: DIN 19704-1 Stahlwasserbauten, Teil 1 Berechnungsgrundlagen.

O. Durst (2008): Korrosions- und Verschleißigenschaften neuartiger, kohlenstoffhaltiger PVD-Schichten. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Institut für Werkstoffkunde.

6 Veröffentlichungen

-/-



Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe

Netzplan-Nr.: A39510308099

Projektleiter: Dipl.-Ing. A. Westendarp, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: andreas.westendarp@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei Mörteln und Betonen gemäß DIN 1045 und ZTV-W LB 215 geht man bislang davon aus, dass bei Wahl bestimmter Betonausgangsstoffe und Einhaltung bestimmter Grenzwerte bei der Betonzusammensetzung mit hinreichender Wahrscheinlichkeit ein Beton mit hohem Frost- bzw. Frost-Tausalz-Widerstand erzielt wird (design concept). Angesichts der rasanten technischen Entwicklung auf dem Baustoffsektor, eines grenzüberschreitenden europäischen Marktes und einer im Verkehrswasserbau im Vergleich zu Betonbauwerken nach DIN 1045 auf bis zu 100 Jahre verlängerten Nutzungsdauer wird es zunehmend erforderlich, dieses auf langjährigen Erfahrungen mit bestimmten Baustoffen und Bauverfahren basierende Konzept durch eine direkte Prüfung des Frostwiderstandes des Betons (performance concept) zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Weder im Verkehrswasserbau noch in anderen Baubereichen sind bislang (mit Ausnahme der ZTV-W LB 215 und 219) auf nationaler Ebene die für die Anwendung des performance concept notwendigen Frostprüfverfahren und Abnahmekriterien festgelegt worden. Von maßgeblicher Bedeutung für die Intensität eines Frostangriffes auf Beton und damit auch für Prüfverfahren und Abnahmekriterien sind die Temperaturbeanspruchung und der Wassersättigungsgrad des jeweiligen Betons. Über die Größenordnung beider Parameter im Bauwerk liegen bislang kaum Informationen vor.

1.2 Bedeutung für die WSV

Verkehrswasserbauwerke unterliegen aufgrund spezifischer Randbedingungen (direkte Beaufschlagung mit Süß- bzw. Meerwasser in Verbindung mit einer großen Anzahl von Frost-Tau-Wechseln infolge betriebs- und/oder gezeitenbedingter Wasserstandsänderungen) einer besonders intensiven Frostbeanspruchung. Gleichzeitig müssen, zumindest bei massigen Betonbauteilen wie beispielsweise Schleusen-kammerwänden, aufgrund der Hydratationswärmeproblematik Betonzusammensetzungen gewählt werden, die hinsichtlich der Dauerhaftigkeit im Grenzbereich einzuordnen sind. Der Risikominimierung (ziel-sichere Vermeidung von Betonen mit unzureichendem Frostwiderstand) kommt im Verkehrswasserbau angesichts der eingesetzten Betonkubaturen und der eingeschränkten Möglichkeiten einer ggf. erforderlichen Betoninstandsetzung aufgrund unzureichenden Frostwiderstands des Betons eine erhebliche Bedeutung zu.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen des Forschungsvorhabens werden im Wesentlichen folgende Ziele verfolgt:

Festlegung bzw. Verifizierung wasserbauspezifischer Frostprüfverfahren und Abnahmekriterien, Beantwortung verschiedener wasserbauspezifischer Grundsatzfragen zum Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe (insbesondere tatsächliche Temperaturbeanspruchung und tatsächlicher Sättigungsgrad des Betons von Wasserbauwerken).

2 Untersuchungsmethoden

Das Forschungsvorhaben ist in drei parallel zu bearbeitende Teile gegliedert:

Teil I:

Untersuchung von Betonen aus bestehenden Bauwerken sowie Auslagerung und Untersuchung von gesondert hergestellten Betonen zur Ermittlung von Materialkennwerten, zur Beurteilung des Zusammenhanges zwischen Laborprüfung und Bauwerksverhalten und zur Verifizierung der Frostprüfung gemäß ZTV-W LB 219 (heute: BAW Merkblatt „Frostprüfung von Beton“).

Teil II:

Ermittlung der tatsächlichen Temperaturbeanspruchung und des Wassersättigungsgrades im Beton von Verkehrswasserbauwerken. Im Hinblick auf die tatsächliche Temperaturbeanspruchung wurden u. a. die bei der Begutachtung der Schleusenanlage Eckersmühlen gewonnenen Ergebnisse ausgewertet. Zur Bestimmung des sich tatsächlich in der Betonrandzone von Verkehrswasserbauwerken in verschiedenen Tiefenhorizonten einstellenden Feuchtigkeitsgehaltes werden gemeinsam mit der RWTH Aachen Untersuchungen an zwei neu errichteten und an einem bestehenden Bauwerk durchgeführt. Als Messeinrichtungen wurden Temperaturfühler und Multi-Ring-Elektroden in den Beton eingebaut.

Teil III:

Unterstützung der Aktivitäten der Arbeitsgruppe "Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse" des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb).

3 Ergebnisse

Teil I:

Aus verschiedenen Schleusen am Main-Donau-Kanal und an der Mosel sind Bohrkerne entnommen worden, die in der BAW untersucht wurden. In 2001 und 2002 sind in der BAW umfangreiche Untersuchungen an gesondert hergestellten, verkehrswasserbautypischen Betonen sowie an Betonen nach EN 206 durchgeführt worden. In den Sparbecken der Schleuse Hilpoltstein wurden in 2003 gemeinsam mit der RWTH Aachen und der Fa. CEMEX Betonprobekörper ausgelagert, welche unter Verwendung von CEM III/A hergestellt worden sind. In 2013 erfolgte eine Probenahme durch die RWTH Aachen, um im Labor verschiedene Betoneigenschaften zu untersuchen. Dies geben Aufschlüssen über Veränderungen der Eigenschaften durch die 10-jährige Frostbeanspruchung und etwaige Schädigungen sowie Erkenntnisse zur Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Frostlaborprüfverfahren auf Praxisrandbedingungen. Die restlichen ausgelagerten Prüfkörper bleiben bis auf weiteres im Sparbecken ausgelagert. In 2009 wurde im Sparbecken der Schleuse Hilpoltstein ein Fertigteil aus dem Projekt Instandsetzung Schleusen Üfingen/Wedtlenstedt ausgelagert, welches nach Laboruntersuchungen einen unzureichenden Frostwiderstand aufweist. Möglichen Schadensursachen wurde im Rahmen von Grundsatzuntersuchungen nachgegangen und die Ergebnisse im Juli 2010 in einem Bericht zusammengefasst. An dem ausgelagerten Fertigteil werden im Rahmen des FuE-Vorhabens Grundsatzuntersuchungen zum Verhalten des Betons unter Praxisbedingungen durchgeführt.

Teil II:

Die Temperaturmessungen an der Schleusenanlage Eckersmühlen sind ausgewertet worden, die Ergebnisse wurden im Arbeitskreis Betontechnik, Unterausschuss Frost, vorgestellt und in der Fachzeitschrift "Beton" (Westendarp, Schulze, 2000) sowie im Heft 560 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (Westendarp et. al, 2005) veröffentlicht.

Messaufnehmer für die Bestimmung von Temperaturen und Feuchtigkeitsgehalten wurden in einer Kammerwand der Doppelschleuse Hohenwarthe sowie in verschiedenen Sparbeckenwänden der Schleuse Hilpoltstein installiert. Wesentliche Ergebnisse dieser Bauwerksuntersuchungen wurden vorgestellt (Westendarp, 2009; Spörel, Westendarp, Brameshuber, 2009; Spörel, 2010, 2012). Danach sind jahreszeitliche Schwankungen des Sättigungsgrades in den Expositionen unter mäßiger Sättigung (XF1) wesentlich stärker ausgeprägt als unter 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 lag der Sättigungsgrad des Randbereiches in der Wasserwechselzone hingegen weitgehend konstant und entsprach etwa der betonspezifischen Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck. Derart hohe Wassersättigungsgrade in Verbindung mit ausgeprägten Temperaturänderungen infolge betriebsbedingter Wasserstandsänderungen führen bei Verkehrswasserbauwerken zu Frostbeanspruchungen, die für deutsche Gegebenheiten dem pessimalen Bereich zuzuordnen sind. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer Dissertation verarbeitet, welche als Heft 604 des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton veröffentlicht ist (Spörel, 2013).

Zur Erweiterung der Datenbasis wurde die Schleuse Kersdorf während der Bauphase mit dem gleichen Messsystem wie die Schleusen Hohenwarthe und Hilpoltstein ausgerüstet. Die Schleuse ging 2013 in Betrieb und liefert erste Messdaten unter Betriebsbedingungen.

Zur Erfassung einer XF3-Beanspruchung an horizontalen Flächen wurde in 2012 eine Betonplatte, hergestellt und analog zu den Bauwerksmessungen mit Temperatursensoren und Multiringensoren ausgestattet. Bislang wurden Daten über einen Winter auf dem Gelände der BAW aufgezeichnet. Derzeit werden die Kalibrierungen durchgeführt, um vom gemessenen Elektrolytwiderstand auf den Sättigungsgrad der Betonrandzone schließen zu können. Es ist vorgesehen, die Platte im Anschluss im Nahbereich der Sparbecken der Schleuse Hilpoltstein auszulagern.

Teil III:

Die bisher vorliegenden Ergebnisse des Forschungsvorhabens haben unmittelbaren Eingang in die Arbeit der Arbeitsgruppe "Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse" des DAfStb gefunden. Die BAW und der DAfStb haben der Universität Karlsruhe den Auftrag zur Erstellung des Abschlussberichtes der o. g. DAfStb-Arbeitsgruppe erteilt. Dieser Abschlussbericht wurde in 2009 fertig gestellt und in 2010 als DAfStb-Heft 577 publiziert.

Teile I bis III:

Die bislang im Rahmen dieses Forschungsvorhabens gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse sind auch in die Erarbeitung des BAW-Merkblattes "Frostprüfung von Beton" eingeflossen, welches zum 01.01.2005 in den Geschäftsbereich der WSV eingeführt worden ist. Dieses Merkblatt wird sowohl für den Neubaubereich (ZTV-W LB 215 (Ausgabe 2004)) als auch für die Betoninstandsetzung (ZTV-W LB 219 (Ausgabe 2004)) in Bezug genommen.

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) wird bei den Frostprüfungen für seine Zulassungsuntersuchungen an Zementen und Betonen auf das CIF- bzw. CDF-Verfahren umstellen und sich bei Vorgehensweise und Abnahmekriterien eng am BAW-Merkblatt "Frostprüfung von Beton" orientieren.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Teil I:

Die bisher vorliegenden Ergebnisse zu Teil I des Vorhabens sollen ausgewertet und publiziert werden.

Teil II:

Beim gemeinsam mit der RWTH Aachen realisierten Untersuchungsprogramm zur Bestimmung des Sättigungsgrades ist eine Fortführung der Datenaufzeichnung vorgesehen. Die XF3(horizontal)-Platte wird nach der Kalibrierung an der Schleuse Hilpoltstein ausgelagert werden. Die dortigen Auslagerungen werden fortgesetzt. Die Messungen an der Schleuse Kersdorf werden fortgesetzt und die Kalibrierung begonnen.

Zeitplan:

Der Abschluss des Gesamtvorhabens und die Erstellung des FuE-Berichtes werden im Jahr 2014 erfolgen. Die über 2014 hinausgehenden Aktivitäten (längerfristige Beobachtungen der ausgelagerten Prüfkörper, des Fertigteils und der horizontalen XF3-Platte sowie die Datenaufzeichnungen an den Schleusen Hohenwarthe und Hilpoltstein und Kersdorf) werden im Rahmen eines Folgevorhabens durchgeführt.

Laufzeit des Vorhabens von 1999 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Westendarp, A.; Schulze, M. (2000): Frostbeanspruchung von Verkehrswasserbauwerken. Beton, Band 50, Heft 5, S. 206-212

Westendarp, A. et al. (2005): Übertragbarkeit von Frost-Laborprüfungen auf Praxisverhältnisse. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 560

Westendarp, A. (2009): Wasserbauwerke unter Frostbeanspruchung. 6. Symposium "Baustoffe und Bauwerkserhaltung", Univ. Karlsruhe, 12. März 2009

- Spörel, F.; Westendarp, A.; Brameshuber, W. (2009): Frostbeanspruchung von Schleusenbauwerken. Tagungsband 17. Internationale Baustofftagung ibausil in Weimar, S. 2-735 – 2-740
- Spörel, F. (2010): Bauwerke des Wasserbaus unter Frostbeanspruchung. Frostkolloquium des DAfStb, BAW, BaSt, Berlin, 21. Januar 2010.
- Spörel, F. (2010): Bauwerksmessungen. Tagungsband, 39. Aachener Baustofftag, ibac, 25. März 2010
- Spörel, F. (2010): Dauerhaftigkeit Bauwerke: Frostwiderstand zementgebundener Baustoffe. Tagungsband BAW-Kolloquium "Forschung und Entwicklung im Küstenverkehrswasserbau", Hamburg, 26./27. April 2010, S. 51-58
- Spörel, F. (2010): Frostbeanspruchung von Wasserbauwerken am Beispiel der Schleuse Hohenwarthe. VDB Regionalgruppentagung, Juli 2010, Rheinfelden
- 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. (2013): Frostbeanspruchung und Feuchtehaushalt in Betonbauwerken. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 604

Instandsetzungssysteme für alte Wasserbauwerke

Netzplan-Nr.: A39510310127

Projektleiter: Dr.-Ing. T. Reschke, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: thorsten.reschke@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Für die Verkehrswasserbauwerke der WSV und hier insbesondere für die massiven Betonbauteile zeichnet sich mittelfristig ein erhöhter Instandsetzungsbedarf ab. Die Ursachen hierfür sind vor allem auf das vergleichsweise hohe Alter vieler Anlagen und die daraus resultierenden Dauerhaftigkeitsprobleme infolge jahrzehntelanger Beanspruchung unterschiedlichster Art zurückzuführen. Für die Instandsetzung der Betonbauteile dieser Bauwerke stehen bewährte Materialien und Verfahren zur Verfügung, die unter bestimmten Randbedingungen eingesetzt werden können. Es gibt jedoch Fälle, bei denen die bislang verwendeten Instandsetzungssysteme ungeeignet sind. Forschungsbedarf ergibt sich insbesondere in zwei Bereichen:

Bei bestimmten Bauwerken, wie z. B. Einkammerschleusen, kann eine mehrmonatige Außerbetriebnahme für die Instandsetzung nicht akzeptiert werden. Es sind daher Instandsetzungssysteme zu konzipieren, die eine Instandsetzung in begrenzten Zeitfenstern „unter Betrieb“ zulassen.

Die für Schleusenammern bewährte Instandsetzung durch dicke, rückverankerte Vorsatzschalen ist prinzipiell für alle Wasserbauwerke möglich. Es gibt aber auch eine Reihe Bauwerke (wie z.B. Wehrpfeiler), bei denen zur Aufrechterhaltung der Dauerhaftigkeit lediglich der oberflächennahe Beton zu schützen ist, Oberflächenschutzsysteme aufgrund der Feuchteexposition jedoch versagen. Als vielversprechende Lösung für solche Fälle wird die Entwicklung „dünnschichtiger“ Instandsetzungssysteme als Ort- oder Spritzbeton angesehen.

Die Entwicklung neuer Instandsetzungssysteme hat in den letzten Jahren aufgrund der intensiven Materialentwicklung einiger Hersteller große Fortschritte gemacht. Einerseits wurden schnell erhärtende Systeme entwickelt, deren Eignung z. T. bereits an Wasserbauwerken überprüft wurde (Reschke, 2011). Andererseits wurden im Rahmen von Feldversuchen an Wasserbauwerken einige Instandsetzungssysteme in ihren Eigenschaften z. T. so modifiziert, dass auch bei Altbetonen geringerer Güte ein guter und dauerhafter Verbund sichergestellt wurde (IMF Feldversuch 1998 und 2002), womit eine Applikation in Form dünnschichtiger Vorsatzschalen grundsätzlich möglich wird.

1.2 Bedeutung für die WSV

Mit schnell erhärtenden Instandsetzungsbetonen können die Betoninstandsetzungsmaßnahmen so konzipiert werden, dass eine Unterbrechung der Schifffahrt nur innerhalb sehr eng bemessener Zeitfenster (wenige Stunden pro Tag) notwendig wird. Somit können auch bei Wasserstraßen mit nur einer Schleusenammer (z.B. Mosel, oberer Main) Sperrungen für die Schifffahrt, welche bei größeren Baumaßnahmen ca. ½ - 1 Jahr dauern können und ggf. zu einer Verlagerung des Transportaufkommens auf Schiene und Straße führen, vermieden werden.

Durch die Entwicklung von Instandsetzungssystemen in Form dünnschichtiger Vorsatzschalen kann für eine Reihe von Bauwerken die Nutzungsdauer durch eine dauerhafte und gegenüber den dicken Vorsatzschalen deutlich kostengünstigere Instandsetzung verlängert werden.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen dieses FuE-Vorhabens soll die Eignung von Instandsetzungssystemen getestet werden, die ggf. beide Eigenschaften (schnell erhärtend und dünnschichtig) vereinen. Bei entsprechendem Nachweis der Materialeignung sowie der Technologie soll die Anwendung der Systeme für die WSV zugänglich gemacht werden.

2 Untersuchungsmethoden

Im ersten Schritt sollen zunächst die Materialeigenschaften bezüglich der wasserbauspezifischen Anforderungen an kleineren Verbundprobepplatten von ca. 0,5 m², welche von den Materialentwicklern zur Verfügung zu stellen sind, im Baustofflabor geprüft werden.

Bei entsprechender Eignung sollen im 2. Schritt Probeflächen größerer Abmessungen von jeweils ca. 15 m² im Rahmen eines Technologieversuches hergestellt werden. Dabei soll neben der Materialeignung auch die Frage der Applikation (Spritzbeton oder Ortbeton) untersucht werden, was ggf. mit der Entwicklung spezieller Schalungssysteme verbunden ist. Aus den Probeflächen werden wiederum Proben entnommen und bezüglich der wasserbauspezifischen Anforderungen im Baustofflabor geprüft.

Nach erfolgreichem Abschluss der Technologieversuche soll im 3. Schritt die Anwendbarkeit und Dauerhaftigkeit durch Probeinstandsetzungen an Verkehrswasserbauwerken verifiziert werden.

3 Ergebnisse

Die Eignung verschiedener, gemäß den Vorgaben der neuen ZTV-W LB 219 speziell angepasster Instandsetzungsmaterialien wird im Rahmen eines „Technologieversuches“ an größeren Probeflächen getestet. Dafür wurde auf dem Gelände der BAW eine 10 m lange und 2 m hohe Versuchswand mit einem Stampfbeton geringer Festigkeit errichtet. Die besondere Struktur alter Wandflächen wurde durch anschließendes Abstrahlen mit HDW erreicht.

Im Sommer 2005 wurden auf die ersten vier Teilflächen á 2,5 m x 2,0 m unterschiedliche Instandsetzungsmörtel SPCC mit an die geringe Betonqualität des Untergrunds angepassten Eigenschaften appliziert, welche z.T. hinsichtlich des Schwindverhaltens und E-Moduls modifiziert waren.

Im Oktober 2009 wurde auf die fünfte Teilfläche á 2,5 m x 2,0 m ein schnell erhärtendes Material in Ortbetonbauweise (geschaltes System) aufgebracht. Das Material (ein SCC) war so konzipiert, dass es sich selbst verdichtet.

Alle Flächen wurden in den vergangenen Jahren regelmäßig bewertet. Neben der augenscheinlichen Beurteilung auf Rissbildungen wurde das Verbundverhalten untersucht. Die Verbundfestigkeiten zeigen, dass es bislang zu keiner relevanten Verbundschwächung gekommen ist. Die spezielle Anpassung der Materialien im Hinblick auf die Begrenzung des Schwindens und E-Moduls hat sich demnach grundsätzlich bewährt.

Aufgrund einer flächigen Schalenabplatzung im Tidebereich an einem Wehrpfeiler des Eidersperrwerks ergab sich im Sommer 2013 die Gelegenheit, einen schnell erhärtenden Instandsetzungsmörtel unter Bauwerksbedingungen zu erproben. Als Material wurde der an der BAW-Versuchsfläche in 2009 eingesetzte schwindreduzierte SCC (geschaltes System) ausgewählt. Dieser wurde aufgrund des geplanten Einsatzes im Meerwasserwechselbereich (XF4) mit Luftporen modifiziert. Vor Beginn der Maßnahme wurden an diesem SCC-LP im Labor der BAW die Festigkeits- und Verformungseigenschaften sowie die Frost-Tausalz-Beständigkeit und das Chlorideindringverhalten (BAW-Merkblätter MFB und MCI) geprüft und nachgewiesen. Die Laborprüfresultate sind nachfolgend in einer Übersicht zusammengefasst.

Druckfestigkeit				Schwinden			CDF-Prüfung		Chlorid-eindringen D _{RCM}
4 h	1 d	7 d	28 d	28 d	56 d	91 d	Abwitt.	E-Mod.	56 d
N/mm ²				mm/m			g/m ²	%	m ² /s
8	19	39	45	0,72	0,93	0,95	66	99	4,6 x 10 ⁻¹²

Tabelle 1: Übersicht Laborprüfresultate

Alle Arbeiten erfolgten von einem Arbeitsponton aus, auf welchem sich sämtliche Gerätschaften befanden. Die nach entsprechendem Betonabtrag vorbereitete Reparaturfläche wurde nach Absinken des

Wasserspiegels bei Tideniedrigwasser gereinigt, die vorbereitete Schalung befestigt und das Material von Oben eingefüllt. Eine Verdichtung erfolgte nicht.

Das Zeitfenster bis zum Fluten der Reparaturfläche durch das ansteigende Meerwasser betrug rund 6 Stunden, für die Erhärtung des SCC-LP standen somit nach Reinigung, Schalarbeiten und Einbau noch rund 3 bis 4 Stunden zur Verfügung. Dies war nach den Voruntersuchungen ausreichend, da nach 4 Stunden bereits eine Druckfestigkeit von rd. 8 N/mm² erreicht ist.



Bild 1: Reparaturfläche Eidersperrwerk (a) während des Betoneinbaus (b) fertige Fläche

Alle Arbeitsschritte verliefen planmäßig, das Konzept der Instandsetzung in einem kurzen Zeitfenster hat sich mit dem eingesetzten SCC-LP bewährt. Die fertiggestellte Fläche weist keine Mängel auf, die bislang nur über die genannten Laborprüfungen überprüfte Dauerhaftigkeit muss nun durch eine längerfristige Beobachtung und ggf. Probenahmen am Bauwerk nachgewiesen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

Die bestehenden Versuchsflächen mit den SPCC-Systemen werden abschließend beprobt und bewertet. Bei Bedarf werden Anpassungen für das BAW-Merkblatt MSM erarbeitet.

Es ist geplant, auf die noch freie Versuchsfläche (Stampfbetonwand) ein schnell erhärtendes Instandsetzungssystem (SCC) in Verbindung mit einer textilen Bewehrung zu applizieren. Diese Instandsetzungsvariante wurde insbesondere für Instandsetzungen „unter Betrieb“ konzipiert.

2014-2015:

Die Versuchsflächen der BAW mit den schnell erhärtenden selbstverdichtenden Instandsetzungssystemen (SCC) werden vergleichend beobachtet und regelmäßig beprobt. Für das Jahr 2015 ist eine abschließende Bewertung geplant.

Die im Sommer 2013 am Eidersperrwerk im Meerwasserwechselbereich mit dem SCC-LP angelegte Instandsetzungsfläche wird regelmäßig beobachtet und beprobt.

Laufzeit des Vorhabens von 2003 bis 2015.

5 Literatur

IMF AG: Feldversuch 1998 und 2002

6 Veröffentlichungen

Reschke T. (2011) Instandsetzung unter Betrieb mit einem schnell erhärtenden Spritzbeton – Probemaßnahme Schleuse Feudenheim. BAW-Mitteilungsblatt 2011; 93: 7-28.

Injektion Vorsatzschale

Netzplan-Nr.: A39510310234

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) H. Müller, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: hilmar.mueller@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Der Kernbeton von älteren Schleusenammerwänden wird oft durch Vorsatzschalen vor Nassfrosteinwirkung und Witterungsbeanspruchung geschützt. In der Verbundzone kommt es durch eindringendes Schleusenwasser zu Verbundstörungen und Ablöseerscheinungen der Vorsatzschale vom Kernbeton. Der Spaltwasserdruck wirkt auf immer größere Flächen hinter der Vorsatzschale. Die Standsicherheit der Vorsatzschale ist ab einem bestimmten, schwer einzuschätzenden Zeitpunkt, nicht mehr gewährleistet.

Neue am Markt befindliche Injektionsmaterialien können zielgerichtet in die Verbundzone injiziert werden. Durch die Steuerung der Konsistenz und Aushärtungscharakteristika werden diese Injektionsmaterialien zielgenau platziert. Die Eigenschaften dieser Materialien reichen von spröde bis elastisch.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Möglichkeit der Erhaltung von abgängigen Vorsatzschalen ist für die WSV von grundlegender Bedeutung. Sperrzeiten für Instandsetzungen könnten minimiert werden. Die Kosten für die Erhaltung einer Vorsatzschale dürften unter der eines Austausches liegen. Die Auflagen von Denkmalschützern sind leichter einzuhalten.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen soll die Auswahl geeigneter Injektionsstoffe und Verfahren sein. Weiter sollen Parameter für die Ausführbarkeit und Qualitätskontrolle solcher Arbeiten ermittelt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Ein Kammerwandblock der neuen Schleuse Hüntel wurde in vier Versuchsflächen aufgeteilt. Die Vorsatzschale der Versuchsflächen wurde von Mitte April 2007 an während einer Trockenlegung oberflächlich instand gesetzt, indem defekte Klinker und Mörtelfugen ausgetauscht wurden. Die so instand gesetzte Vorsatzschale wurde mit einer Radarantenne abgefahren und auf diese Weise der Ausgangszustand festgehalten und dokumentiert. Weiter wurden WD-Versuche jeweils in Probenfeldmitte im vorsatzschalennahen Kernbeton durchgeführt, um die Wasseraufnahme der Fehlstellen im Kernbeton einschätzen zu können.

In die vier Probeflächen wurden unterschiedliche Materialgruppen (Zementsuspension, Zementleim, Acrylatgel, PUR-Harz) injiziert. Die Injektionen werden durch ein umfangreiches Untersuchungsprogramm, welches vom Institut für Massivbau der Universität Duisburg-Essen durchgeführt worden ist, begleitet.

Nach der Injektion wurden erneut Radarmessungen und WD-Versuche als indirekte Messverfahren durchgeführt. Hiermit sollten die Veränderungen zu den Nullmessungen und damit der Injektionserfolg beurteilt werden. Die Auswertung der Radarmessungen erfolgte durch igp in Karlsruhe. Weiter wurden Ausziehversuche an den injizierten Versuchsflächen vorgenommen und die gezogenen Elemente und die Bruchflächen augenscheinlich beurteilt.

An der gegenüberliegenden Kammerwand wurden Nischen mit Hochdruckwasserstrahltechnik in die Kammerwände gefräst. In diese Nischen wurden während der Trockenlegung neue Pollerreihen eingebaut. An den Ausbruchflächen konnten die Struktur des Kernbetons mit seinen Fehlstellen aufgenommen und das theoretische Injektionsmodell verifiziert werden.

In einem weiteren Schritt wurde je Versuchsfeld eine Vertikalbohrung in der Verbundzone abgeteuft. Die Bohrungen wurden im Seilkernrohrverfahren mit Inliner durchgeführt. Die Bohrkernne konnten so äußerst schonend entnommen und geschützt zur Weiteruntersuchung in die BAW transportiert werden. In der BAW wurden die Bohrkernne ausgelegt und angesprochen. Die Ergebnisse der Radarmessungen wurden mit den Bohrkernnen verglichen.

Um den Einfluss der verschiedenen Injektionsgüter auf die Radarmessung zu bestimmen, wurden Probebauteile mit genau definierten Fehlstellen hergestellt und injiziert. Die an diesen Probebauteilen durchgeführten Radarmessungen wurden zur Kalibrierung der Messungen am Bauteil genutzt.

3 Ergebnisse

Die Messungen zum Ursprungszustand ergaben entgegen den Erwartungen eine schwankende Verteilung der Fehlstellen über die Kammerwandblocklänge. Somit kann zwar der Injektionserfolg über den Vergleich der Messungen vor und nach der Injektion für ein Probefeld bewertet werden, ein direkter Vergleich der Injektionsgüter untereinander ist aber nicht möglich. Auch haben sich bereichsweise bindige Ablagerungen in Hohlräumen gezeigt, die bei der Vorerkundung nicht vorgefunden wurden.

Auffällig war der Einfluss des Alters der Probekörper auf die Radarmessung. So veränderte sich die hydraulischen Bindemittel nicht nur über einen Monat, sondern es war noch ein Einfluss über sechs Monate nach der Herstellung feststellbar.

Die bisherigen Erfahrungen werden derzeit zusammengetragen und Optimierungsmöglichkeiten für künftige Injektionen dieser Art diskutiert.



Bild 1: Injizierter Bohrkern (links), Verbund Vorsatzschale-Kernbeton (rechts)

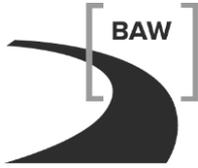
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Erste Ergebnisse der Untersuchungen wurden beim 1. Kolloquium "Erhaltung von Bauwerken" der TAE Esslingen im Januar 2009 vorgestellt. Der Abschlussbericht soll bis Ende 2014 vorliegen.

Laufzeit des Vorhabens von 2006 bis 2014.

5 Literatur

-/-



6 Veröffentlichungen

Eßer, A.; Rubba, U., Patitz, G.; Müller, H. (2009): Ertüchtigung von Schleusenkammerwänden mit Klinkervorsatzschalen durch Injektionen; Tagungsband 1. Kolloquium "Erhaltung von Bauwerken" der TAE Esslingen,

Dauerhaftigkeitsbemessung von Wasserbauwerken

Netzplan-Nr.: A39510310240

Projektleiter: Dr.-Ing. T. Reschke, Dipl.-Ing. A. Rahimi, Abteilung Bautechnik,
Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: thorsten.reschke@baw.de, amir.rahimi@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Dauerhaftigkeit neu zu erstellender Betonbauwerke wird nach derzeitigen Regelwerken (DIN EN 206 / DIN 1045-2 / ZTV-W LB 215) deskriptiv durch die Einhaltung von bestimmten, auf Erfahrungswerten beruhenden Mindestanforderungen an die Betonzusammensetzung, -druckfestigkeit und Betondeckung sichergestellt. Eine leistungsbezogene Bewertung nach dem Performance-Konzept, wie bei der Tragwerksbemessung, fehlt. Für eine realistische Abschätzung und Sicherung der Dauerhaftigkeit nach dem Performance-Konzept sind sowohl die relevanten Schädigungsmechanismen (Expositionen) als auch die konkreten Betoneigenschaften (Leistungsfähigkeit des Betons) für den konkreten Anwendungsfall zu berücksichtigen. Seit einigen Jahren wird dieser Problematik „probabilistischer Lebensdauerbemessungsverfahren“ sowohl im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben (Schießl et al., 2011; Gehlen, 2000) als auch im Rahmen der europäischen und internationalen Normungsarbeit (*fib* Bulletin 34, 2006], (*fib* Model Code, 2010; ISO 16204, 2012) nachgegangen. Für den Fall der Depassivierung des Betonstahls infolge Carbonatisierung sowie Eindringen von Chloriden in den Beton wurden bereits entsprechende probabilistische Bemessungsmodelle entwickelt (Gehlen, 2000; *fib* Bulletin 34, 2006). Betrachtungen auf Basis entwickelter Bemessungsmodelle sowie Untersuchungen an Bauwerken weisen darauf hin, dass die nach EN 206 / DIN 1045-2 bzw. ZTV-W LB 215 angestrebten Nutzungsdauern von 50 bzw. 100 Jahren durch die deskriptiven Vorschriften nicht in jedem Fall mit ausreichender Wahrscheinlichkeit erreicht werden (DAfStb, 2008).

Bei der Beurteilung der Restnutzungsdauer bestehender Bauwerke unter Dauerhaftigkeitsaspekten ohne bzw. nach Ausführung von Instandsetzungsmaßnahmen sind derartige deskriptive Ansätze zumeist nicht ausreichend bzw. mangels entsprechender Informationen zu den Baustoffen nicht anwendbar, praxisgeeignete Bemessungsverfahren auf probabilistischer Basis stehen nicht zur Verfügung.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Notwendigkeit, immer älter werdende Bauwerksbestände mit stark limitierten Haushaltsmitteln unterhalten zu müssen, führte in den letzten Jahren zur Entwicklung von Lebensdauer- bzw. Erhaltungsmanagementsystemen (EMS). Auch für die WSV wird derzeit ein EMS erarbeitet. Durch frühzeitiges Erkennen möglicher Schädigungen und zuverlässige Vorhersagen der Zustandsentwicklung soll eine wirtschaftlich optimierte und nachhaltige Bauwerksunterhaltung und -instandsetzung ermöglicht werden. Grundlage dafür sind entsprechende Schadensentwicklungsmodelle, welche im Rahmen des FuE-Vorhabens hinsichtlich wasserbauspezifischer Bedingungen bewertet und ggf. angepasst werden sollen.

1.3 Untersuchungsziel

Es sind Bemessungskonzepte zu erarbeiten, die bei gegebenen Betoneigenschaften eine realistische Bewertung der Nutzungsdauer von Wasserbauwerken ermöglichen. Soweit möglich, sind dabei für die Bewertung der relevanten Betoneigenschaften Performance-Prüfungen zu verwenden. Die Dauerhaftigkeitsbemessung soll neben der Bewertung der "Restnutzungsdauer" bestehender Bauwerke auch die Abschätzung bzw. gezielte Planung der Nutzungsdauer nach Instandsetzungsmaßnahmen ermöglichen.

2 Untersuchungsmethoden

Die BAW hat in den letzten Jahren zunächst mehrere universitäre Forschungsprojekte begleitet, mit dem Ziel, entsprechende Bemessungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung wasserbauspezifischer Beanspruchungen zu erarbeiten. Zu nennen ist hier insbesondere das DAfStb-Verbundvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“, Teilprojekt D „Lebensdauermanagement“, da hier ein Software-Prototyp erarbei-

tet wurde, welcher vollprobabilistische Modelle impliziert. Damit können realitätsnahe Zustandsprognosen des Bauwerks direkt am dreidimensionalen Bauwerksmodell dargestellt werden. Durch Berücksichtigung von Untersuchungsergebnissen kann die Prognose zudem sukzessiv zugespitzt, durch die Anwendung zerstörungsfreier Untersuchungsmethoden mögliche Schädigungen bereits frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden (Schießl et al., 2011).

Aktuell steht seit September 2011 im Rahmen einer Kooperation mit dem Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München die Dauerhaftigkeitsbemessung von Wasserbauwerken für den Fall einer chloridinduzierten Bewehrungskorrosion im Fokus. Dieser Themenbereich wurde bislang im FuE-Vorhaben „Chlorideindringwiderstand von Beton“ bearbeitet, die im Rahmen dieses Vorhabens gewonnenen Erkenntnisse (Gehlen und Fischer, 2007; Gehlen und Osterminski, 2009) werden übernommen.

3 Ergebnisse

Anhand der erzielten Ergebnisse im Rahmen der Zuverlässigkeitsanalysen zur Überprüfung der deskriptiven Vorgaben der Normung für Neubaumaßnahmen wurden in der Neufassung der ZTV-W LB 215 (2012) entsprechende Anpassungen für die Expositionsklassen XD und XS vorgenommen.

Für die Lebensdauerprognose von instandgesetzten Bauteilen fehlen noch die Beschreibung und die mathematische Formulierung des Chloridtransports im 2-Schicht-System bestehend aus dem alten Beton und dem Instandsetzungsmaterial. Dies wird aktuell durch Laborversuche untersucht. Hierfür wurden Verbundprobekörper bestehend aus einer Betonschicht mit Chlorid-Gradienten und einer Instandsetzungsschicht hergestellt, Bild 1. Bei langzeitigen Einlagerungsversuchen und gelegentlichen Profilentnahmen werden die Mechanismen Eindringen, Rückdiffusion und Umverteilung der Chloridionen in die Instandsetzungsschicht bzw. die Betonschicht untersucht. Eine Übersicht über die Einlagerungsversuche mit den Probekörpern und Lagerungsbedingungen ist in Tabelle 1 dargestellt. Es werden drei verschiedenen Betonen (CEM I mit unterschiedlichen w/z-Werten) und ein Instandsetzungsmaterial (PCC: Polymer modified Cement Concrete) untersucht. Die Betonprobekörper wurden zunächst für rd. 280 Tage (über 9 Monate) in einer 3 %-igen NaCl-Lösung gelagert (einseitige Beaufschlagung). Nach der Ermittlung des erstellten Chloridgradienten in den Probekörpern wurden diese mit einem Instandsetzungsmörtel aufgestockt (20 mm).

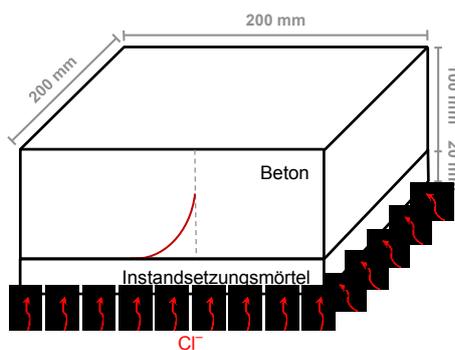


Bild 1: Einlagerungsversuche mit Verbundprobekörpern

Die Verbundprobekörper wurden anschließend für 28 Tage im Labor bei 20 °C / 65 % r. F. gelagert. In diesem Zeitpunkt wurde die Veränderung der Chloridgradienten untersucht bevor die in der Tabelle 1 dargestellten Lagerungen der Probekörper stattfanden. In der Testserie 1 wurden die Verbundprobekörper in einer 3 %-igen NaCl-Lösung gelagert, um die gesamten Vorgänge beim Chlorid-Transport in einem 2-Schicht-System zu untersuchen. In der Serie 2 lagerten die Verbundprobekörper in Wasser, um maßgeblich die Umverteilung und Rückdiffusion durch die Reparaturschicht zu betrachten. Bei der Serie 3 wurden Verbundprobekörper ohne Chloride in der Betonschicht in 3 %-iger NaCl-Lösung gelagert, um die Chlorid-Diffusion ohne Anwesenheit von Chloridgradienten in der Betonschicht zu untersuchen.

Serie	Probekörper	Lagerung	Zu untersuchende Mechanismen
1	Verbundprobekörper mit Chloridgradienten	Cl – Cl	D, R, U
2	Verbundprobekörper mit Chloridgradienten	Cl – Wasser	R, U
3	Verbundprobekörper	20 °C/65 % r. F. – Cl	D
4	Betonprobekörper mit Chloridgradienten	Cl – 20 °C/65 % r. F.	U

D: Diffusion (Eindringen) von externen Chloriden in die Instandsetzungsschicht und die Betonschicht
R: „Rückdiffusion“ von „Restchloriden“ von der Betonschicht in die Instandsetzungsschicht
U: Umverteilung der Restchloride in der Betonschicht

Tabelle 1: Einlagerungsversuche

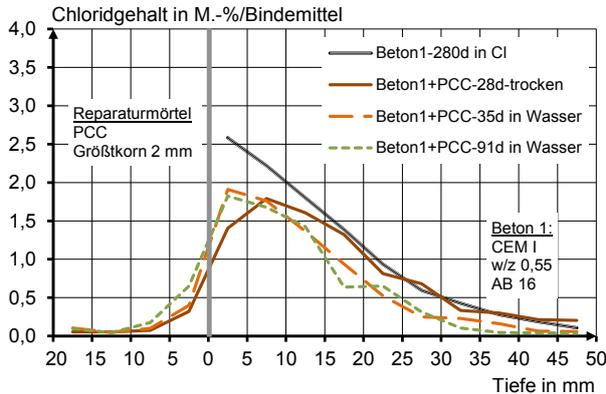


Bild 2: Chloridprofile der Serie 2 (Lagerung Cl – Wasser) für Beton 1 mit $w/z = 0,55$

Bei der letzten Testserie (4) wurden die Betonprobekörper nach der 280-tägigen Lagerung in der Chloridlösung mit Epoxydharz abgedichtet und trocken im Labor bei 20 °C / 65 % r. F gelagert, um die Umverteilung der Chloride im Probekörper zu betrachten. Im Bild 2 sind die Ergebnisse der Laborversuche der Serie 2 für einen Beton dargestellt. Eine deutliche Wanderung der Chloride in die neue Mörtelschicht nach 28 Tagen nach seinem Auftragen ist zu erkennen. Die Chloridprofile nach 35 und 91 Tagen Lagerung der Probekörper in Wasser zeigen eine leichte Wanderung der Chloride vom inneren der Probekörper in die Richtung der Betonoberfläche und weiterhin in die neue Mörtelschicht.

Die weiteren Chloridprofile sind für 180 d, 365 d, 550 d und 730 d vorgesehen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die aktuellen Forschungsaktivitäten zur Erarbeitung der Bemessungskonzepte wurden im September 2011 begonnen. Die ersten Analysen für die Neubaumaßnahmen wurden bereits im Jahr 2011 durchgeführt. Mit den Untersuchungen im Bereich bestehender Bauwerke, welche systematische Laborversuche und Bauwerksanalysen sowie numerische Berechnungen beinhalten, wurden im Jahr 2012 begonnen. Die Laufzeit des Vorhabens ist (von 2006) bis Mitte 2015 veranschlagt.

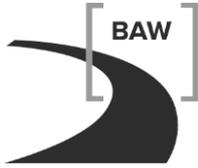
Laufzeit des Vorhabens von 2006 bis 2015.

5 Literatur

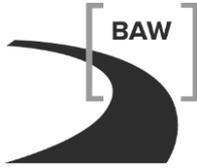
- DAfStb (2008): Positionspapier des Deutschen Ausschuss für Stahlbeton zur Umsetzung des Konzepts von leistungsbezogenen Entwurfsverfahren unter Berücksichtigung von DIN EN 206-1, Anhang J.
- fib Bulletin 34 (2006): Model Code for Service Life Design, prepared by fib Task Group 5.6..
- fib Model Code for Concrete Structures (2010).
- Gehlen, C. (2000): Probabilistische Lebensdauerbemessung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungskorrosion. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 510. Beuth-Verlag, Berlin.
- Gehlen, C., Fischer, C.(2007): Überarbeitung des BAW-Merkblatts Chlorideindringwiderstand von Beton. Forschungsbericht A07/1-1 im Auftrag der BAW, Institut für Werkstoffe im Bauwesen (IWB) der Universität Stuttgart.
- Gehlen, C., Osterminski, K. (2009): Zuverlässigkeit Wasserbauwerke – Chlorideindringwiderstand. Forschungsbericht 30-F-0019 im Auftrag der BAW, Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) der TU München, November.
- ISO 16204 (2010): Durability – Service life design of concrete structures.
- Schießl, P., Gehlen, C. et al. (2011): Verbundforschungsvorhaben „Nachhaltig Bauen mit Beton“ Lebenszyklusmanagementsystem zur Nachhaltigkeitsbeurteilung – Teilprojekt D. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Heft 586. Beuth-Verlag, Berlin.

6 Veröffentlichungen

- Rahimi, A., Gehlen, C., Reschke, T., Westendarp, A. (2013): Long-Term Performance of Concrete Structures in a Marine Environment – Measured and Calculated. Proceedings of international conference Concrete under Sever Conditions – Environment and Loading (CONSEC13), September 2013, Nanjing, China.
- Rahimi, A., Gehlen, C., Reschke, T., Westendarp, A. (2013): Approaches for Modelling the Residual Service Life of Marine Concrete Structures after Repair. Proceedings of international conference Concrete under Sever Conditions – Environment and Loading (CONSEC13), September 2013, Nanjing, China.



Rahimi, A., Gehlen, C., Reschke, T., Westendarp, A. (2014): Approaches for Modelling the Residual Service Life of Marine Concrete Structures. International Journal of Corrosion. Volume 2014 (2014), Article ID 432472. (in Vorbereitung)



Überarbeitung des Turbulenzprüfverfahrens für Geokunststoffe

Netzplan-Nr.: A39510370001

Projektleiter: Dipl.-Ing. M. Maisner, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: matthias.maisner@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Das in der Richtlinie für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG) 1994 beschriebene Turbulenzprüfverfahren ermittelt den Bodendurchgang durch einen geotextilen Filter nach einer mit einem Propeller erzeugten pulsierenden Beanspruchung. Das Prüfverfahren wurde zwischenzeitlich bei CEN und ISO Ebene genormt (DIN EN ISO 10772). Im Rahmen der Normungsarbeit wurden Fragen zur Versuchsmethodik und Prüfeinrichtung aufgeworfen, die im Rahmen des Forschungsvorhabens in Zusammenarbeit mit anderen europäischen Institutionen wie Rijkswaterstraat (Holland) und Cemagref (Frankreich) mit dem Ziel der Überarbeitung des bisherigen Prüfverfahrens geklärt werden sollen.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In den siebziger Jahren wurde in der BAW das heute in der RPG 1994 beschriebene Turbulenzprüfverfahren entwickelt. Versuchsmethodik, Auswertung und Anwendung wurde bisher nicht hinterfragt. Bislang gibt es außer der BAW keine Institutionen, die die Prüfeinrichtung nachgebaut und Tests durchgeführt haben.

1.2 Bedeutung für die WSV

Für die WSV ist wünschenswert, dass im Hinblick auf mögliche Streitigkeiten im Zusammenhang mit Neubauvorhaben auch Prüfungen von Dritten zur Beurteilung der genannten Problematik nach einer international eingeführten Norm durchgeführt werden können.

1.3 Untersuchungsziel

Um eine breite Akzeptanz des bisher ausschließlich in der BAW angewendeten Prüfverfahrens zu erreichen, müssen Fragen zur Versuchsmethodik und Prüfeinrichtung beantwortet werden, die im Rahmen der Normungsarbeit von den Fachkollegen aufgeworfen worden sind. Neben der Überarbeitung des Prüfverfahrens muss auch die derzeitige Prüfeinrichtung hinsichtlich des Zeit- und Präparationsaufwandes optimiert werden. Hierzu ist die Neukonstruktion einer Versuchszelle erforderlich. Ein weiteres Untersuchungsziel ist die Bestimmung der Wiederholpräzision. Des Weiteren muss die Prüfmethodik im Zusammenhang mit den heutigen technischen Möglichkeiten hinterfragt werden. Erörtert werden sollte auch die Übertragbarkeit der zurzeit eingesetzten turbulenten Strömung auf andere turbulente Beanspruchungen wie z. B. Ebbe und Flut.

2 Untersuchungsmethoden

In einem ersten Schritt soll in Zusammenarbeit mit dem Referat W3 Messungen bezüglich der turbulenten Strömung in der bisherigen Versuchseinrichtung durchgeführt werden. Es soll eine einfache Testzelle konzipiert werden, damit Ringversuche mit anderen Institutionen möglich sind.

3 Ergebnisse

An einem Geotextil, das für Geobags verwendet wird, wurde das Turbulenzprüfverfahren vergleichend mit der Prüfung nach ISO 12956 vor und nach einer Abriebbeanspruchung untersucht. Die Abriebbeanspruchung erfolgte in Anlehnung an das Prüfverfahren der RPG 1994. Es zeigte sich, dass das Turbulenzprüfverfahren im Gegensatz zu der Prüfung mit laminarer Strömung nach ISO 12956 den Einfluss der Abriebbeanspruchung erfasst. Bild 1 zeigt die Bodendurchgangskurven vor und nach der Abriebbeanspruchung. Die Ergebnisse wurden im Tagungsband der Konferenz 9th International Conference on Geosynthetics in 2010 vorgestellt.

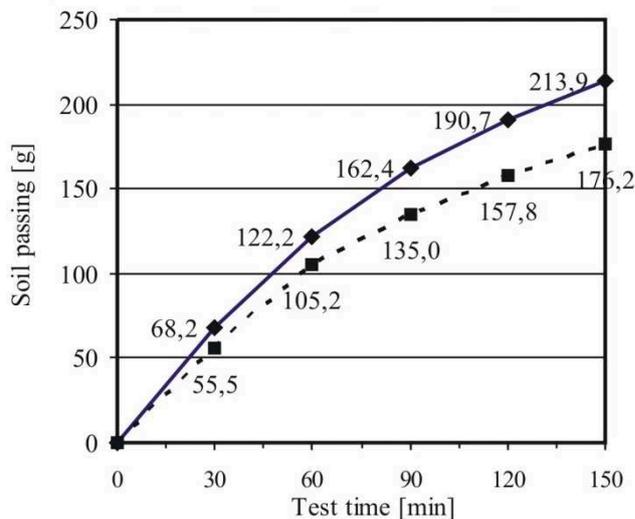


Bild 1: Bodendurchgang (soil passing) vor und nach Abriebbeanspruchung

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Mit der heutigen Versuchseinrichtung soll an marktüblichen Materialien der Einfluss der Verdichtung des Prüfbodens und der Versuchsdauer in Abhängigkeit von verschiedenen turbulenten Belastungen untersucht werden. Einbau eines regelbaren Elektromotors in die derzeitige Versuchseinrichtung. An handelsüblichen Produkten soll die mechanische Filterwirksamkeit in Abhängigkeit der turbulenten Strömung (Propellergeschwindigkeit) und der Auflast untersucht werden. Zur Bewertung der Abriebbeanspruchung von Geotextilien nach der RPG sollen vor und nach der Abriebbeanspruchung Turbulenzprüfungen durchgeführt und Untersuchungen mit einem Prüfverfahren mit einer laminaren Strömung, charakteristische Öffnungsweite nach DIN EN ISO 12956, gegenübergestellt werden. Es soll eine Versuchszelle für Ringversuche konzipiert werden. Es soll der Einfluss unterschiedlicher Prüfböden untersucht werden.

2015: Die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben sollen für die Vorbereitung der Revision der DIN EN ISO 10772 verwendet werden.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2014.

5 Literatur

BAW(1994): Richtlinie für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

6 Veröffentlichungen

Maisner, M., Myles, B. (2008) Geotextiles Exposed to Turbulent Water Conditions. In GeoAmericas 2008, the First Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Cancún, México, from March 2 to 5, 2008.

Maisner, M., Myles, B. (2008) Possible Culpability of Filter Geotextile in the Failure of a Sea Wall. In GeoAmericas 2008, the First Pan American Geosynthetics Conference and Exhibition, Cancún, México, from March 2 to 5, 2008.

Maisner, M., Heibaum, M. (2010) Experimental study on turbulent flow and wet sieving tests after abrasion load of geotextiles 9th International Conference on Geosynthetics, Volume 3, Guarujá, Brasil

Betone für massige Bauteile von Wasserbauwerken

Projekt-Nr.: A39510370003

Projektleiter: Dr.-Ing. F. Spörel, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: frank.spoerel@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei der Konzeption von Betonen für massige Bauteile von Wasserbauwerken sind zwei wesentliche Ziele zu verfolgen:

- Sicherstellung einer hinreichenden Dauerhaftigkeit für eine planmäßige Nutzungsdauer von i.d.R. 100 Jahren
- Reduzierung der Hydratationswärmeentwicklung zur Minimierung von Spannungen aus frühem Zwang

Die Dauerhaftigkeit eines Betons wird in erster Linie durch die Wahl der Betonausgangsstoffe und den Wasser/Bindemittel-Wert bestimmt. Hinsichtlich Art und Qualität der Betonausgangsstoffe enthält die ZTV-W LB 215 ergänzende Regelungen zu DIN EN 206-1 / DIN 1045-2 wie beispielsweise Einschränkungen bei Zementen und Betonzusatzstoffen. Bei den Anforderungen an die Betonzusammensetzung (Wasser-/Bindemittel-Wert, Zementart, Zementgehalt) werden die Normanforderungen bis auf wenige Ausnahmen übernommen.

Die Dauerhaftigkeit eines Bauteils wird aber nicht allein durch die Dauerhaftigkeit des Betons an sich, sondern auch durch Anzahl und Breite etwaiger Risse beeinflusst. Risse entstehen bei massigen Bauteilen, wie sie im Wasserbau der Regelfall sind, insbesondere im jungen Alter durch (frühen) Zwang infolge Hydratationswärme. Beim Bau solcher Bauteile müssen deshalb Anstrengungen unternommen werden, derartige Zwangsspannungen von vornherein möglichst gering zu halten. Aus betontechnologischer Sicht sind zur Reduzierung von Zwangsspannungen aus Hydratationswärme vorrangig die Frischbetontemperatur und die adiabatische Temperaturentwicklung des Betons niedrig zu halten. Teil 2 der ZTV-W LB 215 enthält diesbezüglich für massige Bauteile (kleinste Abmessung > 0,80 m) entsprechende Anforderungen. Maßgebliche Parameter für die adiabatische Temperaturentwicklung eines Betons im jungen Alter sind Zementart und Zementgehalt.

Die betontechnologischen Anforderungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Betons an sich und der Minimierung der Hydratationswärmeentwicklung u. a. hinsichtlich Bindemittelart und Bindemittelgehalt sind jedoch häufig gegenläufig. Das Fenster, welches dem Betontechnologen derzeit für die Betonkonzeption zur Verfügung steht, ist bei bestimmten Expositionsklassen vergleichsweise klein. Dies betrifft insbesondere massige Bauteile, die eine intensive Frostbeanspruchung erfahren (XF3, XF4).

Bei der Konzeption von Betonen ist ein Abweichen von den Anforderungen der EN 206-1 / DIN 1045-2 bzw. der Richtlinie „Massige Bauteile aus Beton“ des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), derzeit im Bereich der Landesbauordnungen nur möglich, wenn Betone mit einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) eingesetzt werden, oder wenn eine Zustimmung im Einzelfall durch die Bauaufsicht erteilt wird. Für sog. "Massenbetone" sind bereits mehrere Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen durch das DIBt erteilt worden. Die Zulässigkeit der Normabweichung wird vor Erteilung der Zulassung im Rahmen grundsätzlicher Untersuchungen durch den Vergleich mit den Eigenschaften normenkonformer Betone sichergestellt. Die entsprechenden Betone sind für bestimmte Expositionsklassen verwendbar (zumindest [X0, XC1, XA1]; einzelne Zulassungen gehen bis [X0, XC1 bis XC4, XD1 bis XD3, XS1 bis XS3, XF1, XF2, XA1, XA2]). Nach diesen DIBt-Zulassungen dürfen hinsichtlich ihrer Zusammensetzung und hier insbesondere hinsichtlich ihres Bindemittelgehaltes nicht normenkonforme Betone mit bestimmten Bandbreiten bei Ausgangsstoffen und Betonzusammensetzung und Einschränkungen bestimmter Betoneigenschaften im Anwendungsbereich der DIN 1045 verwendet werden. Im Geschäftsbereich des BMVBS wären normabweichende Betone ebenfalls über eine Zustimmung im Einzelfall möglich. Über die Verwendung normabweichender Betone mit DIBt-

Zulassung ist im Angebotsfall grundsätzlich zu entscheiden, insbesondere bei Betonen für den Sohlbereich dürfte dies jedoch unter technischen Aspekten eher unkritisch sein.

1.2 Bedeutung für die WSV

Bei Neubaumaßnahmen im Bereich der WSV liegen häufig Randbedingungen vor, bei denen Betone eingesetzt werden, deren Hydratationswärmeentwicklung möglichst gering sein sollte um daraus resultierende Zwangsspannungen niedrig zu halten. Je niedriger die durch Hydratationswärme bedingten Spannungen im Bauteil ausfallen, desto geringer sind die erforderlichen Betonstahlmengen, die zur Rissbegrenzung ausschließlich für diesen anfänglichen Lastfall eingelegt werden müssen. Die geringeren Stahlmengen reduzieren die Kosten und beschleunigen den Bauablauf. Nachteilig aus Sicht der WSV ist der Umstand, dass die Verwendung von Betonen mit einer Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung und geringer Hydratationswärmeentwicklung nach derzeitiger Konstellation eher zufälligen Charakter besitzt. Aus WSV-Sicht wäre es wünschenswert, Betone mit geringer Hydratationswärmeentwicklung und den entsprechenden Vorteilen bei der Auslegung der Bewehrung auf frühen Zwang standardmäßig einsetzen zu können.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen dieses FuE-Vorhabens soll der Frage nachgegangen werden, ob und ggf. inwieweit bei Betonen für massige Bauteile von Wasserbauwerken eine Reduzierung des Zementgehaltes als wesentlichem Parameter für die Hydratationswärmeentwicklung unter die Anforderungen der DIN 1045-2 (2001) bei gleichzeitiger Sicherstellung der erforderlichen Dauerhaftigkeitseigenschaften für eine Nutzungsdauer von 100 Jahren zulässig ist.

Die Zulässigkeit der Normabweichungen und deren Grenzen sollen durch geeignete Ansätze (theoretische Überlegungen, Nachweis der Gleichwertigkeit durch Performance-Ansätze) aufgezeigt werden.

Für die Umsetzung in die Praxis soll ein geeignetes Konzept erstellt werden.

2 Untersuchungsmethoden

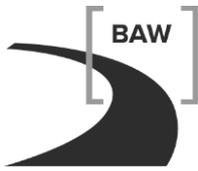
Zum Erreichen der Untersuchungsziele soll folgende Vorgehensweise verfolgt werden:

- Darstellung des Sachstandes zu Betonen für massige Bauteile mit reduzierter Hydratationswärmeentwicklung unter Berücksichtigung vorhandener Konzepte und vorliegender Erfahrungen, der Sicherstellung der Dauerhaftigkeit, der Anwendungsrandbedingungen und –einschränkungen sowie erforderlicher Qualitätssicherungsmaßnahmen und der Verantwortlichkeiten in Abgrenzung zu normenkonformen Betonen.
- Erstellung und Umsetzung eines Bearbeitungskonzeptes unter Berücksichtigung von ggf. von DIN 1045-2 abweichenden Regelungen für Betonausgangsstoffen und –zusammensetzung, Nachweisformen für die Gleichwertigkeit von Betoneigenschaften, anzustrebenden Größenordnungen der Reduzierung der adiabatischen Temperaturerhöhung sowie baupraktischer und wirtschaftlicher Aspekte.

Das Untersuchungsprogramm insgesamt wird durch ein Gremium von anerkannten Betontechnologen begleitet um die Vorgehensweise technisch abzusichern und die Akzeptanz in der Praxis zu fördern.

3 Ergebnisse

Die Analyse ausgeführter Massenbetonbauwerke besonders außerhalb der WSV hat bislang ergeben, dass besonders für Gründungsbauwerke Erfahrungen mit Betonen mit von DIN 1045-2 abweichenden Zementgehalten vorliegen. Über die bislang erteilten Allgemeinen Bauaufsichtlichen Zulassungen ist die Anwendung von Mindestzementgehalten in den angestrebten Größenordnungen für Einsatzbereiche, die mit Schleusenkammersohlen vergleichbare Expositionen aufweisen, bereits möglich. Ein Gremium anerkannter Betontechnologen zur technischen Absicherung des Vorhabens konnte gewonnen werden. In 2012 und 2013 erfolgte aufgrund anderer Prioritäten keine Bearbeitung. Sofern sich die BearbeitungsKapazitäten für das Projekt nicht verbessert, wird das Projekt in 2014 beendet.



4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Beendigung des Projektes

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Messverfahren Hydratationswärme

Netzplan-Nr.: A39510370004

Projektleiter: Dr.-Ing. F. Spörel, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: frank.spoerel@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Entwicklung der Hydratationswärme im Beton ist zur Erfassung der daraus resultierenden Zwangsspannungen insbesondere in massigen Bauteilen von Bedeutung. Aus diesem Grund kommt den Messverfahren zur Erfassung der Hydratationswärmeentwicklung eine besondere Bedeutung zu.

In DIN EN 196-8 verankert ist das Verfahren der Lösungskalorimetrie, bei dem an einem unhydratisierten Zement und an einem für 7 Tage unter genormten Bedingungen hydratisierten Zement die Lösungswärme in einer Säuremischung bestimmt wird. Aus der Differenz wird die Hydratationswärme berechnet. Während der Lagerungsdauer wird die Temperatur konstant gehalten. Die mit diesem Verfahren ermittelte Hydratationswärme wird zur Beschreibung der Eigenschaft LH bzw. VLH eines Zementes verwendet. In der Regel erfolgt die Ermittlung der Hydratationswärmeentwicklung im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle eines Zementes nur an Zementen mit der Eigenschaft LH bzw. VLH. An anderen Zementen erfolgt dies in der Regel nicht.

Zunehmende Verbreitung findet derzeit das ebenfalls unter nahezu isothermen Bedingungen prüfende Verfahren der isothermen Wärmeflusskalorimetrie. Bei diesem Verfahren erfolgt eine kontinuierliche Aufzeichnung der Wärmefreisetzung. In der Zementindustrie wird dieses Verfahren aufgrund der bei der Lösungskalorimetrie arbeitsschutztechnisch kritischen Randbedingungen (Arbeit mit Flusssäure und Salpetersäure) zunehmend häufiger eingesetzt. Derzeit laufen Bestrebungen dieses Verfahren zukünftig auch normativ zu verankern.

Die Bestimmung der Hydratationswärme im teiladiabatischen Versuch nach DIN EN 196-9 (Thermosflaschenversuch) ist in Deutschland nicht weit verbreitet, wird aber beispielsweise im Rahmen von Zulassungsverfahren des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) für allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen von Massenbetonen eingesetzt. In diesem Versuch wird ein Mörtel vorgegebener Zusammensetzung geprüft. Es können aber auch alternative Zusammensetzungen untersucht werden. Die Temperaturentwicklung wird kontinuierlich gegen eine bereits erhärtete Mörtelprobe aufgezeichnet. Über die Wärmekapazität der Ausgangsstoffe und des Kalorimeters sowie einer Berücksichtigung des Wärmeverlustes wird die unter diesen Bedingungen freigesetzte Hydratationswärme ermittelt. Nach DIN EN 196-9 ergibt sich nach einer Prüfdauer von 41 Stunden die beste Korrelation zu den Ergebnissen der Lösungskalorimetrie nach DIN EN 196-8 nach 7 Tagen. Ergänzend können in einem etwas abgewandelten Thermosflaschenversuch auch Betone bis zu einem Größtkorn von 32 mm untersucht werden. Aufgrund der durch die teiladiabatischen Verhältnisse entstehenden geringeren Temperaturen im Vergleich zur adiabatischen Messung handelt es sich hier um eine untere Abschätzung der adiabatischen Wärmefreisetzung. Eine rechnerische Abschätzung der adiabatischen Temperaturentwicklung ist jedoch möglich.

Die BAW und verschiedene andere Institutionen arbeiten mit adiabatischen Betonkalorimetern. In einem adiabatischen Betonkalorimeter wird die adiabatische Temperaturerhöhung des Beton direkt ermittelt. Schwierigkeiten bestehen in der Sicherstellung der adiabatischen Randbedingungen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Hydratationswärmeentwicklung ist im Bereich der WSV bei dem Großteil der Bauvorhaben von Interesse, da häufig massige Bauteile vorhanden sind. Durch die Anwendung alternativer Prüfverfahren zur Hydratationswärmebestimmung mit geringerem Aufwand als bei den Kalorimeterversuchen oder großformatigen Betonblöcken wird auch im Hinblick auf die Anwendung von Berechnungsverfahren zur Abschätzung der Hydratationswärme ein Erkenntnisgewinn erwartet. Die Bewertbarkeit von mit unterschiedlichen Prüfmethoden ermittelten Temperaturerhöingungen wird verbessert. Ausgangsstoffuntersuchungen zur Optimierung der Freisetzung von Hydratationswärme könnten bei Eignung der Verfahren im Vorfeld

von Baumaßnahmen mit deutlich reduziertem Aufwand durchgeführt werden, um eine Optimierung der Betonzusammensetzung in Bezug auf die Hydratationswärmeentwicklung zu erreichen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen ist es, über ein vergleichendes Prüfprogramm Erkenntnisse zu gewinnen, wie die Messergebnisse der einzelnen Prüfverfahren zur Messung der Hydratationswärme korrelieren, und wie eine Übertragung auf die bei der BAW durchgeführten Kalorimeterversuche bzw. der Messungen am Betonblock von 2 m x 2 m x 2 m möglich ist. So können die mit unterschiedlichen Messverfahren bestimmten Ergebnisse besser auf deren Aussagekraft im Hinblick auf die Hydratationswärmeentwicklung im Bauteil eingeschätzt werden. Ebenfalls von Interesse sind in diesem Zusammenhang Erkenntnisse, für welche Anwendungen die einzelnen Prüfverfahren alternativ oder ergänzend zu den Kalorimetermessungen eingesetzt werden können und ob bzw. mit welchen Grenzen eine Verwendung der Ergebnisse zur Berechnung der Hydratationswärme im Bauteil möglich ist. Die Ergebnisse der Auswertung sollen weiterhin als Entscheidungshilfe über eine evtl. Anschaffung einer geeigneten Messeinrichtung bei der BAW dienen. Ergänzend zu den teiladiabatischen Verfahren wird die Entwicklung und der Bau eines adiabatischen Betonkalorimeters vorangetrieben. Dieses Teilprojekt wurde aus dem beendeten Vorhaben A39510310177 „Adiabatische Wärmemessungen an ausgewählten Betonrezepturen“ übernommen. Hier erfolgt eine Zusammenarbeit mit dem KIT.

2 Untersuchungsmethoden

Die Erkenntnisgewinne sollen über eine Literatursichtung und die Durchführung von Messungen der Hydratationswärme mit den verschiedenen Messverfahren erfolgen. Da die erforderlichen Messeinrichtungen bei der BAW nicht vorhanden sind, werden die Prüfungen extern vergeben. Dabei handelt es sich um die

- Hydratationswärmebestimmung mit der Lösungskalorimetrie nach DIN EN 196-8
- Hydratationswärmebestimmung mit der isothermen Wärmeflusskalorimetrie
- Hydratationswärmebestimmung mit dem teiladiabatischen Verfahren nach DIN EN 196-9 (Thermosflaschenversuch) an einem Normmörtel und einer alternativen Mörtelzusammensetzung, die aus einer vergleichend im Kalorimeterversuch geprüften Betonzusammensetzung abgeleitet wird.
- Hydratationswärmebestimmung mit dem teiladiabatischen Verfahren (Thermosflaschenversuch) am Beton

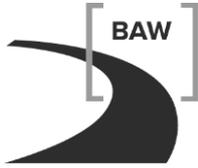
Die Ausgangsstoffe werden so ausgewählt, dass eine Anbindung der Ergebnisse an Messungen, die bei der BAW mit dem adiabatischen Kalorimeter durchgeführt wurden, möglich ist. Für die Auswertung und den Vergleich mit den adiabatischen Kalorimetermessungen ist eine Umrechnung der Messdaten der teiladiabatischen Versuche erforderlich. Anschließend erfolgt eine Bewertung der einzelnen Messverfahren im Hinblick auf deren Einsatzmöglichkeit zur Abschätzung der Hydratationswärme in Bauteilen im Bereich der WSV.

3 Ergebnisse

Bislang wurden fünf Betonrezepturen, die auch bei aktuellen Baumaßnahmen innerhalb der WSV zum Einsatz kommen, den Untersuchungsmethoden unterzogen. Erste Ergebnisse deuten an, dass prinzipiell mit teiladiabatischen Betonversuchen eine eher untere Abschätzung der adiabatischen Wärmeentwicklung erfolgen kann. Weiterhin deuten die ersten Untersuchungen an, dass aus Ergebnissen isothermer Prüfverfahren berechnete Wärmeentwicklungen die adiabatische Temperaturentwicklung teilweise deutlich unterschätzen. Die Entwicklungsarbeiten am neuen adiabatischen Betonkalorimeter sind in 2013 angelaufen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014-2015: Zur Absicherung der Erkenntnisse sind weitere Untersuchungsreihen geplant. Begleitend zu jeweils in der BAW durchgeführten Kontrollprüfungen werden die gleichen Ausgangsstoffe und Betonzusammensetzungen den beschriebenen Prüfungen unterzogen. Nach Vorliegen einer ausreichenden Anzahl an Prüfergebnissen folgen eine zusammenfassende Bewertung der einzelnen Prüfmethode sowie ein Ausblick auf die Anwendungsmöglichkeiten rechnerischer Verfahren zur Bestimmung der



quasiadiabatischen Temperaturerhöhung. Eine Zusammenarbeit mit verschiedenen Forschungseinrichtungen soll die zukünftige Vorgehensweise absichern. Weiterhin erfolgt die Entwicklung und der Bau eines neuen adiabatischen Betonkalorimeters.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Verwendung von Acrylatgelen und gelartigen Produkten für Instandsetzungsmaßnahmen an Massivbauwerken im Verkehrswasserbau

Netzplan-Nr.: A39510370005

Projektleiter: Dipl.-Ing. M. Maisner, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: matthias.maisner@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Die Anwendung von Acrylatgelen für die Injektion von Rissen und Hohlräumen wurde und wird im Rahmen von Forschungsvorhaben hinterfragt und im Hinblick auf die Korrosionsgefährdung der Bewehrung und sonstiger metallischer Einbauteile kritisch bewertet. In einer Forschungsstudie der MFPA Leipzig wird für die nachträgliche Bewegungsfugenabdichtung u. a. die Verwendung von Acrylatgelen empfohlen. Allerdings wurden bei dieser Studie die besonderen Randbedingungen der WSV wie die Gefahr der Gewässerverschmutzung oder die sehr langen Nutzungsdauern der Bauwerke nur bedingt hinterfragt.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Acrylatgele bieten interessante Potentiale für das Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen und für die Ertüchtigung von Bewegungsfugen. Auf der anderen Seite müssen aber auch die Risiken, die mit der Anwendung solcher Materialien verbunden sein können, berücksichtigt werden. Durch die Anwendung von Acrylatgelen dürfen keinesfalls Schäden an Bestandteilen von Massivbauwerken wie z. B. Bewehrung oder Fugenbänder, aber auch keine Umweltbeeinträchtigungen initiiert werden. Im Falle eines Kontaktes der Acrylatgele mit der Betonbewehrung und Einbauteilen muss eine mögliche Korrosionsgefährdung hinterfragt werden. Aus Studien ist bekannt, dass der Aspekt der Dauerhaftigkeit der Acrylatgele ebenfalls hinterfragt werden muss.

1.2 Bedeutung für die WSV

Acrylatgele könnten bei Instandsetzungsmaßnahmen für das Füllen von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen oder für die Ertüchtigung von Bewegungsfugen eingesetzt werden und hier deutlich aufwendigere Instandsetzungslösungen überflüssig machen.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen des FuE-Vorhabens soll, unterschieden für die Anwendungsbereiche "Injektion von Rissen und Hohlräumen in Betonbauteilen" und "Ertüchtigung der Bewegungsfugen von Wasserbauwerken" die Bewertung der grundsätzlichen Eignung von Acrylatgelen für die Anwendung an Bauwerken der WSV hinterfragt werden. Ggf. sollen Kriterien für die Anwendung von Acrylatgelen für die o. g. Anwendungsbereiche erstellt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Teil A:

Erarbeitung einer Marktübersicht zu den für Rissinjektions- bzw. Fugeninstandsetzungsmaßnahmen eingesetzten Acrylatgelen und Verfahren. Bewertung des Gefährdungspotentials der Ausgangsstoffe und der ausreagierten Stoffe in Zusammenarbeit mit der BfG. Erstellung einer Übersicht zu bereits ausgeführten Maßnahmen innerhalb der WSV. Einholung von Erfahrungen mit vergleichbaren Maßnahmen außerhalb der WSV. Bewertung der grundsätzlichen Eignung von Acrylatgelen für die genannten Anwendungsbereiche.

Teil B:

Falls die Untersuchungen im Teil A eine grundsätzliche Eignung ergeben, sollen in einem Teil B Anwendungskriterien für die genannten Anwendungsbereiche (Erforderliche Leistungsmerkmale und Qualitätssicherung Baustoffe; Anforderungen an Bauverfahren; Qualitätssicherung Bauausführung etc.) erarbeitet werden.

3 Ergebnisse

In Zusammenarbeit mit der Hochschule Mannheim wurde eine Masterarbeit zum Thema "Untersuchungen an Acrylatgelen in Betonmodellen mit Dichtelelementen" erstellt. Im Rahmen der Masterarbeit wurden zunächst die physikalischen Eigenschaften von drei handelsüblichen Acrylatgelen untersucht. Später wurde noch ein Produkt mit Polymersionskomponente ausgewählt. Die ausgewählten Produkte wurden bereits teilweise pilotartig für die Instandsetzung bei Maßnahmen der WSV eingesetzt. Im nachfolgenden werden diese Gele mit A, B, C und D bezeichnet. Für die Instandsetzung von Bewegungsfugen in Verkehrswasserbauwerken wurden bislang nur die Gele A und C eingesetzt. Die nachfolgende Bild 1 zeigt die Kontaktreaktion zwischen Gel B und einem Bewehrungsseisen nach 3 Monaten Lagerung des Betonmodells. Mit Hilfe der Energiedispersionsanalyse (EDX) wurde festgestellt, dass die Fe-Ionen bis 23 mm Tiefe in das Gel diffundiert sind.

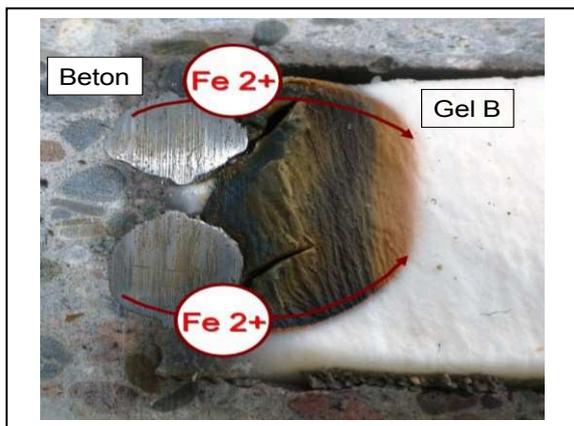


Bild 1: Bohrkerne, Gel B und Korrosionsspuren im Gel

Bei Gel A wurden dagegen erst nach 15monatiger Lagerung Korrosionsspuren in 18 mm Tiefe festgestellt. Anhand der Bohrkernentnahmen wurde eine Wechselreaktion von Acrylatgelen mit den Dichtelelementen „beschichtete Fugenbleche“ und „Fugenbänder“ festgestellt. Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass alle drei Gele als korrosionsfördernd bzw. als Korrosionsverursacher einzuschätzen sind. Acrylatgele werden als Alternative für die Füllung von Hohlräumen wie Kiesnester angesehen. Daher stellt die Lollipop-Probekörper-Variante "Künstliches Kiesnest" eine sinnvolle "Worst-Case" Betrachtung dar. Bild 2 zeigt die Diffusion im Gel B und die angerostete Arbeitselektrode.



Bild 2: Lollipop-Probekörper künstliches Kiesnest Gel B (oben) und gerostete Arbeitselektrode (unten).

Die gemessenen Stromdichten und die visuellen Untersuchungen der Probekörper und Arbeitselektroden zeigen, dass eine Korrosion durch Acrylatgele nicht auszuschließen ist. Aus Bild 3 ist die Temperaturent-

wicklung der Gele während der exothermen Aushärtung mit einem Volumen von 10 l zu ersehen. Im Falle der Fugeninstandsetzung bei älteren Bauwerken muss berücksichtigt werden, dass vielfach thermoplastische Dichtelemente vorhanden sind, die nicht dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Daher ist bei den festgestellten Temperaturen eine Veränderung der Materialeigenschaften dieser Dichtelemente nicht auszuschließen.

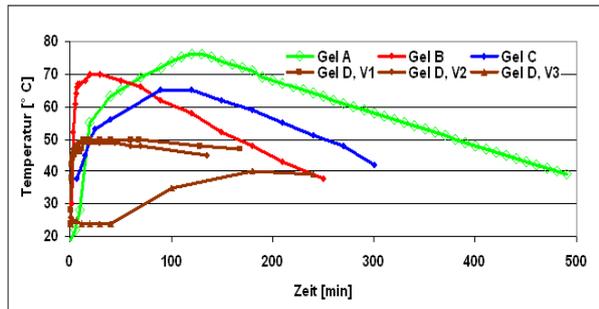


Bild 3: Temperaturanstieg bei der Aushärtung der Gele bei Anmischvolumina von ca. 10 bis 13 l

Mit der Bestimmung des spezifischen Widerstandes kann die Möglichkeit der Korrosion von Bewehrungsstahl bei Kontakt mit Acrylatgelen abgeschätzt werden. Hierzu wurden Kunststoffbehälter mit Gel ausgefüllt. Als Elektroden dienten Edelstahlgitter. Im Nasszustand zeigten die drei Gele eine gute Leitfähigkeit. Die Zugeigenschaften der Gele sind stark abhängig vom Wassergehalt und der Prüftemperatur. So zeigt Gel C beispielsweise bei Raumtemperatur nach 12 Tagen Trocknung an der Luft eine mittlere Bruchfestigkeit von 5,9 MPa bei einer mittleren Bruchdehnung von 6 %. Abschließend bleibt festzustellen, dass die bisherigen Untersuchungen der Gele gezeigt haben, dass Acrylatgele keineswegs uneingeschränkt für eine Fugeninstandsetzung anwendbar sind. Für die Gele C und D wurden in Anlehnung an die bisherigen Untersuchungen Betonmodelle in 2013 hergestellt und nach 3monatiger Lagerungszeit Bohrkern entnommen. Gel C zeigt in Kontakt mit Bewehrungsstahl Korrosionsspuren.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014: Es sollen die Materialeigenschaften eines quellfähigen Vliesstoffes untersucht werden. Es soll festgestellt werden, ob der Quellvorgang des Polymers mit der Gelbildung vergleichbar ist. Es sollen auch noch Untersuchungen mit Granulaten bzw. Pulver aus bereits polymerisiertem quellfähigem Polyacrylat durchgeführt werden. Zur Untersuchung der Kontaktreaktion mit Dichtelementen soll nach einjähriger Lagerungszeit der Gele C und D Bohrkern entnommen werden. Eine Umweltgefährdung durch nicht ausreagierte Ausgangsstoffe wäre dann auszuschließen.
- 2015: Bewertung der grundsätzlichen Eignung von Acrylatgelen für die genannten Anwendungsbereiche und gegebenenfalls Erarbeitung von Anwendungskriterien (Leistungsmerkmale und Qualitätssicherung Baustoffe; Anforderungen an Bauverfahren; Qualitätssicherung Bauausführung etc.). Bewertung des Gefährdungspotentials der Ausgangsstoffe und der ausreagierten Stoffe in Zusammenarbeit mit der BfG.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

- Maisner, M.; Eßer, A.; Kwenjeu, A.; Westendarp, A.; Schnellenbach-Held, M.: Quellfähige Acrylatgele – Eine Instandsetzungsalternative für Bewegungsfugen in Verkehrswasserbauwerken?, Beton- und Stahlbetonbau 107, 2012 Heft 9, S. 601 – 612
- Maisner, M.; Eßer; Westendarp, A.; Schnellenbach-Held, M.: Quellfähige Acrylatgele in Kontakt mit Dichtelementen/Stahl, TAE Tagungshandbuch 2013, Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, S. 549 – 559

Ertüchtigung der Bewegungsfugen von Massivbauwerken im Verkehrswasserbau

Netzplan-Nr.: A39510370006

Projektleiter: Dipl.-Ing. M. Maisner, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: matthias.maisner@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Ertüchtigung undichter Bewegungsfugenbereiche ist bereits heute ein wichtiges Thema für die WSV. In Anbetracht der voraussichtlich weiter zunehmenden Anzahl schadhafter Fugen sollen Instandsetzungsvarianten für verschiedene Randbedingungen erarbeitet werden.

Für die Ertüchtigung von Bewegungsfugen werden in der WSV bereits verschiedene Materialien und Verfahren eingesetzt. Hierbei handelt es sich in erster Linie um nachträglich an der schleusenkamerseitigen Wandoberfläche aufgesetzte Fugenbänder (Schleusen Uelzen 1, Leerstetten und Eibach) oder die Injektion von Bewegungsfugen mit Produkten auf der Basis von PUR und Acrylatgelen (diverse Schleusen am MDK). Die bisherigen nachträglich aufgesetzten Fugenbandkonstruktionen sind zeit- und kostenintensiv. PUR und Acrylatgele müssen unter technischen und umweltrelevanten Aspekten kritisch hinterfragt werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Zahl schadhafter Bewegungsfugen wird angesichts der Altersstruktur des Baubestandes in den kommenden Jahren voraussichtlich wachsen. Die WSV benötigt Lösungen für die Ertüchtigung solcher schadhafter Bewegungsfugen, um unplanmäßige Wasserdurchtritte und die hiermit verbundenen Risiken (z. B. Bodenumlagerungen) zielsicher unterbinden zu können.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel dieses Vorhabens ist es, systematisch für verschiedenen Randbedingungen (u.a. Größenordnung der Fugenweitenänderung, Zugänglichkeit der instand zu setzenden Bewegungsfuge, dauernde oder temporäre Wasserbeaufschlagung, Umweltaspekte, Wasserdruck und Temperatur) geeignete Instandsetzungsverfahren und Instandsetzungsmaterialien zu definieren und die zugehörigen Anforderungen an Bauverfahren und Baustoffe festzulegen. Erfahrungen mit bereits realisierten Instandsetzungsmaßnahmen sollen hierbei berücksichtigt werden. Der WSV sollen Informationen an die Hand gegeben werden, mit deren Hilfe sie unter technischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Aspekten optimale Lösungen für den jeweiligen Anwendungsfall auswählen kann.

2 Untersuchungsmethoden

- Zusammenstellung und Kategorisierung typischer Bewegungsfugenausbildungen und Fugenwerkstoffe an Bauwerken der WSV
- Zusammenstellung der Schäden und Ursachen für defekte Bewegungsfugen
- Zusammenstellung und Kategorisierung der Anforderungen an Bewegungsfugen
- Erstellung einer Übersicht über bereits ausgeführte Ertüchtigungsmaßnahmen und deren Nachhaltigkeit
- Erarbeitung von Ertüchtigungslösungen für schadhafte Bewegungsfugen in Abhängigkeit bestimmter Randbedingungen (u.a. Fugenweitenänderung, Zugänglichkeit, dauernde oder temporäre Wasserbeaufschlagung, Umweltaspekte, Wasserdruck und Temperatur)
- Untersuchung der Fugeninstandsetzung-Variante "Überbohren der Fugen" mit einem modifizierten SBK an einer Fuge im Modellmaßstab.

Die im parallel zu bearbeitenden FuE-Vorhaben "Einsatz von Acrylatgelen und gelartigen Produkten für Instandsetzungsmaßnahmen an Massivbauwerken im Verkehrswasserbau" gewonnenen Erkenntnisse sollen in das vorliegende FuE-Vorhaben einfließen.

3 Ergebnisse

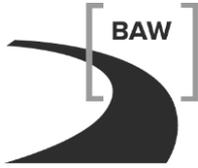
In Zusammenarbeit mit dem WSA Aschaffenburg wurde 2010 bei der Doppelschleuse Kleinostheim eine Dehnungsfuge im Längskanal und eine Fuge der Schleusenkammer mit einem stahlseilbewehrten Dichtungsband (SBK) ausgerüstet. Bei der Ausbildung der Flanschkonstruktion war es von Vorteil, dass im Bereich der Richtungsänderung Sohle/Kammerwand auf die Flanschkonstruktion verzichtet werden kann. Für die dauerhafte Klemmung des SBK wurden Tellerfedern eingesetzt. Diese Konstruktionsanordnung wurde zuvor im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht. Die ersten Beobachtungen zeigen, dass diese Instandsetzungsvariante eine Ertüchtigungsalternative für Fugen mit Richtungsänderungen in der Abdichtungsebene darstellt. Für die Abdichtung des Längskanals war es entscheidend, dass die Abdichtungsebene endlos hergestellt werden konnte. Die bisherigen Instandsetzungsmethoden haben den Nachteil, dass für die gesamte Maßnahme zur Fugeninstandsetzung eine Trockenlegung mit entsprechender Schifffahrtssperre erforderlich ist. Im Rahmen einer Bachelorthesis im Studiengang Bauingenieurwesen der Hochschule Karlsruhe wurde unter Betreuung der BAW die Methode "Überbohren der Fuge in Kombination mit einer Klemmkonstruktion" unter bestimmten Randbedingungen untersucht. Die bisherigen Ergebnisse zeigen eine Option für eine Anwendung innerhalb eines Pilotprojektes. Das "Überbohren der Fuge" hat den Vorteil, dass das vertikale Abteufen der Bohrung von der Plattform bis auf Unterwasserhöhe unter Schleusenbetrieb erfolgen kann.



Bild 1: Betonmodell für die Fugensimulation in der BAW

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014: Untersuchungen an einem Modell zu der Variante "Überbohren der Fugen" in Abhängigkeit des Wasserdruckes bei großen Fugenbewegungen. In die Bohrung wird ein modifiziertes SBK einbetoniert. Auf der Betonoberfläche wird das SBK geklemmt.
- 2015: Durchführung eines Pilotprojektes zu der Variante "Überbohren der Fugen" an einem Schleusenbauwerk, mit einer Bohrfirma bei der hinter der bisherigen Abdichtungsebene der Fugenspalt überbohrt wird und die Bohrung bis auf die Höhe des Unterwassers der Schleuse läuft. In die Bohrung wird ein modifiziertes SBK einbetoniert. Im Bereich der Sohle wird das SBK geklemmt. Weitere Erarbeitung von Ertüchtigungslösungen für schadhafte Bewegungsfugen in Abhängigkeit bestimmter Randbedingungen (u. a. Fugenweitenänderung, Zugänglichkeit, dauernde oder temporäre Wasserbeaufschlagung, Umweltaspekte, Wasserdruck und Temperatur).



Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Maisner, M.; Becker, H.: Fugeninstandsetzung mit einem stahlseilbewehrten Klemmfugenband, Tagungsband BAW Kolloquium Erhaltung von Bauwerken, Karlsruhe 2013

Betone für Verkehrswasserbauwerke mit Hydroabrasionsbeanspruchung

Netzplan-Nr.: A39510370008

Projektleiter: Dr.-Ing. F. Spörel, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: frank.spoerel@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Bereich des Verkehrswasserbaus werden Betonoberflächen durch Hydroabrasion in unterschiedlicher Ausprägung beansprucht (Tosbecken, Wehrrücken, Sparbeckenzuläufe, Schleusensohlen, Schleusenkammerwände). Ein Verschleiß der Betonoberflächen erfolgt insbesondere durch die im Wasser mitgeführten Feststoffe, die eine kombinierte schleifende und stoßende Beanspruchung auf die Betonoberflächen ausüben können. Der Grad der Beanspruchung wird unter anderem durch die Fließgeschwindigkeit des Wassers und durch Anteil, Härte, Form und Größe der Feststoffe im Wasser beeinflusst. Auf europäischer Ebene wird der Verschleißwiderstand im Regelwerk der EN 206-1 nicht gesondert behandelt. Im nationalen Anwendungsdokument der DIN 1045-2 wird zur Beschreibung der Intensität der mechanischen Verschleißbeanspruchung eine Expositionsklasseneinteilung XM1 bis XM3 vorgenommen. Diese wurde bei der Erarbeitung der ZTV-W LB 215 bzw. 219 übernommen. Inwiefern die im Wesentlichen aus Verkehr herrührende Expositionsklassensystematik der DIN 1045-2 auch die Hydroabrasion angemessen beschreibt, ist ungewiss. Eine Überprüfung und ggf. Anpassung der Regelungen wäre daher erforderlich.

Auch auf der Widerstandsseite, die durch den Beton beschrieben wird, sind noch viele Fragen offen, beispielsweise in wiefern die deskriptiven Regelungen der DIN 1045-2 zur Sicherstellung eines ausreichenden Widerstandes gegenüber Verschleiß durch Hydroabrasion angemessen sind. Der Betonoberfläche kommt eine wichtige Bedeutung zu, da die Beanspruchung stets von der Oberfläche her stattfindet.

Derzeit existiert kein standardisiertes Prüfverfahren mit festgeschriebenen Abnahmekriterien, welches diese kombinierte Beanspruchung zufrieden stellend abbilden kann. Aussichtsreiche Untersuchungsmethoden basieren derzeit auf der Verschleißprüfmaschine nach Bania (Bania, 1989). Weiterentwicklungen dieser Prüfeinrichtung werden in (Haroske, 1998), (Vogel, Müller, 2009) beschrieben. In der BAW wurde in der Vergangenheit die Unterwassermethode nach ASTM C1138M zur Untersuchung des Widerstandes gegenüber Hydroabrasion verwendet. In (Helbig, Horlacher, 2007) wird auf Betonuntersuchungen mit einer Versuchseinrichtung in Anlehnung an das Prüfgerät zur Bestimmung der Abriebbeständigkeit von Geotextilien nach RPG (BAW, 1994) verwiesen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Hydroabrasion ist eine Beanspruchung des Betons, die wesentlich im Verkehrswasserbau auftreten kann. Bei Bauwerken wie beispielsweise Tosbecken oder Wehrrücken, die einer solchen Beanspruchung ausgesetzt sind, ist es daher von zentraler Bedeutung, dort Betone oder Betonersatzsysteme einzusetzen, die der Beanspruchung einen ausreichenden Widerstand entgegensetzen. Aufwendige Instandsetzungen derartiger Bauteile sollen damit künftig möglichst vermieden bzw. erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen dauerhaft gegenüber dieser Beanspruchung ausgeführt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Die Untersuchungen verfolgen drei wesentliche Ziele hinsichtlich der Beschreibung der Einwirkungs- und Widerstandsseite für den Bereich der Hydroabrasion:

- a) Erarbeitung einer Klassifizierung analog zur Expositionsklassensystematik für die Hydroabrasionsbeanspruchung in Zusammenarbeit mit der TU Dresden.
 - Berücksichtigung vorliegender Erfahrungen der WSV
 - Durchführung von 3D-hydrodynamische Simulationen
 - Definition von Abrasionsregimen für bestimmte Bauteilgruppen
 - Ableitung von Hydroabrasionklassen

- b) Bewertung von Performance-Prüfverfahren hinsichtlich deren Eignung zur Beurteilung wasserbaurelevanter Schädigungsmechanismen durch Hydroabrasion
- c) Erarbeitung von Anforderungen an Betonausgangsstoffe und Betonzusammensetzungen zur Sicherstellung eines hinreichenden Widerstandes gegenüber Hydroabrasion

2 Untersuchungsmethoden

Die Erkenntnisgewinne sollen über eine Literatursichtung, theoretische Betrachtungen sowie Bauwerks- und Laboruntersuchungen gewonnen werden. Im Labormaßstab werden drei für die Beanspruchung aus Hydroabrasion geeignete Prüfverfahren zur Bewertung des Betonwiderstandes herangezogen. Begleitet werden die Untersuchungen durch anerkannte Experten auf dem Gebiet der Hydroabrasion.

3 Ergebnisse

Die Erarbeitung von Schritt a) erfolgt derzeit mit einem Vorlauf zu den Schritten b) und c) in Zusammenarbeit mit der TU Dresden, Institut für Wasserbau. Erste hydroabrasionsbedingte Schäden an Bauwerken der WSV wurden in die Betrachtungen aufgenommen und 3D-hydrodynamische Simulationen der Fließverhältnisse durchgeführt. Erste Ansätze zur Klassifizierung der Beanspruchung wurden erarbeitet. Weiterhin wurde eine Betreuergruppe eingerichtet, welche aus Experten auf dem Gebiet der Hydroabrasion besteht, und die das Projekt fachlich begleitet.

Erste Vorversuche wurden mit den Prüfeinrichtungen vorgenommen. Eine Bewertung des Verschleißes (Bild 1) erfolgt unter anderem mit einer optischen 3D-Messung (Bild 2). Eine weitere Zusammenarbeit zu den Schritten b) und c) ist mit Fachleuten auf dem Gebiet der Hydroabrasion vorgesehen.



Bild 1: Prüfkörper der Prüfeinrichtung nach [ASTM, (2010)], der Plattenabrasionstrommel und der Verschleißstrommel nach (Bania, 1989) und (Vogel, Müller, 2009)

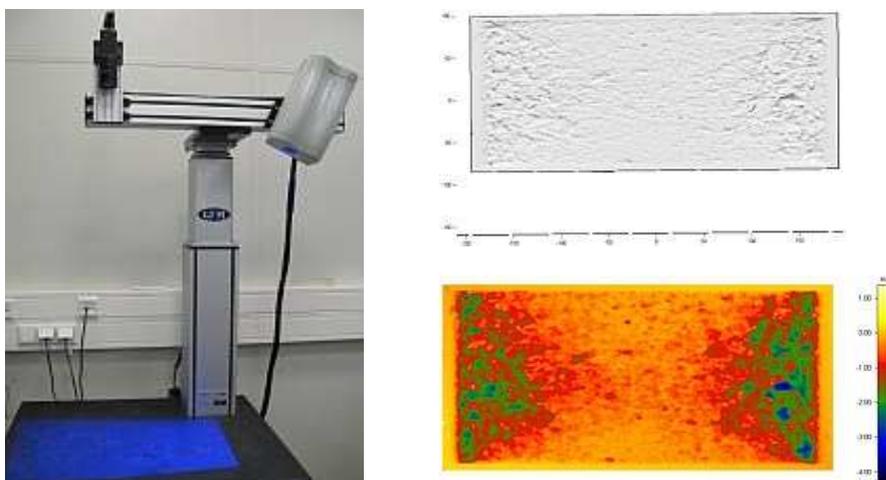


Bild 2: Optische 3D-Messung an Prüfkörpern

Zur Erarbeitung der Untersuchungsziele wurde ein Untersuchungskonzept erarbeitet, in welchem die einzelnen Teilarbeitsschritte herausgearbeitet wurden. Aufbauend auf konzeptionellen Vorbetrachtungen sollen die Hauptuntersuchungen durchgeführt werden. In einem ersten Schritt wurden Untersuchungen verschiedener Gesteinskörnungen im Hinblick auf deren Verschleißwiderstand begonnen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014: Ableitung von Hydroabrasionsklassen analog zur Expositionsklassensystematik, Übertragung der Hydroabrasionsklassen, Versuchsparameter für die Laborversuche, Festlegung von Betonzusammensetzungen und der Versuchs- und Auswerteparameter für die Vorversuche, Durchführung und Auswertung der Vorversuche
- 2015 Bewertung der Vorversuche und Festlegung der Prüfmethoden sowie Betonzusammensetzungen für die Hauptversuche, Durchführung der Hauptversuche
- 2016: Auswertung und Bewertung der Hauptversuche
- 2017 Abschlussbericht

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2017.

5 Literatur

- Vogel, M.; Müller, H. S. (2009): Hydroabrasivverschleiß bei wasserbaulichen Anlagen. Karlsruhe, Hamburg, Ilmenau: Bundesanstalt für Wasserbau. Tagungsband BAW Kolloquium der Abteilung Bautechnik: Baustoffe und Bauausführung im Verkehrswasserbau, 2009
- Haroske, G. (1998): Beitrag zum Hydroabrasionsverschleiß von Betonoberflächen. Dissertation Universität Rostock, 1998
- Bania, A. (1989): Bestimmung des Abriebs und der Erosion von Betonen mittels eines Gesteinstoff-Wassergemisches. Dissertation Technische Hochschule Wismar, 1989
- ASTM C 1138M-05 (2010), Standard Test Method for Abrasion resistance of Concrete (Underwater Method) – ASTM C 1138M-05 (Reapproved 2010)
- Helbig, U.; Horlacher, H.-B. (2007): Ein Ansatz zur versuchstechnischen Simulation und Übertragbarkeit der Hydroabrasion strömungsbeanspruchter Betonoberflächen im Wasserbau. Bautechnik, Band 84, Heft 9, S. 641-645
- BAW (1994): Richtlinien für die Prüfung von Geotextilien im Verkehrswasserbau (RPG). Bundesanstalt für Wasserbau, 1994

6 Veröffentlichungen

- Spörel, F. (2012): Hydroabrasion von Beton im Verkehrswasserbau – Einwirkung und Betonwiderstand. Tagungsband 35. Dresdner Wasserbaukolloquium 2012, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 47, S. 77-83

Bewertung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen

Netzplan-Nr.: A39510370009

Projektleiter: Dr.-Ing. T. Reschke, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: thorsten.reschke@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei Wasserbauwerken aus Beton sind aufgrund der i.d.R. massigen Bauteile und der Durchfeuchtung optimale Reaktionsbedingungen für eine Alkali-Kieselsäure-Reaktion (AKR) gegeben. Sofern die verwendete Gesteinskörnung alkaliempfindliche Bestandteile enthält, kommt es bei erhöhten Alkaligehalten im Beton (u. a. auch durch Alkalizufuhr von außen über Tausalze oder Meerwasser) zu Treibreaktionen mit der Folge von Rissen und Festigkeitsverlusten. Da mit dem bestehenden Regelwerk alkaliempfindliche Bestandteile nicht immer sicher erkannt und bewertet werden können, kam es in jüngerer Zeit auch bei Wasserbauwerken zu Schäden infolge AKR. Insbesondere für langsam reagierende Gesteine („slow-late-Gesteine“) sind neue bzw. modifizierte Prüfverfahren erforderlich, da die bislang angewendeten Schnellprüfverfahren entsprechende Schadensmechanismen nicht abbilden und die Untersuchungsdauer der üblichen Betonprüfungen („Nebelkammerversuch“) offenbar nicht ausreicht.

1.2 Bedeutung für die WSV

Nur durch eine sichere Beurteilung der Alkaliempfindlichkeit von Gesteinskörnungen im Vorfeld von Bau- und Instandsetzungsmaßnahmen sowie darauf abgestimmte Verwendungsregeln kann die Dauerhaftigkeit von Betonbauwerken gewährleistet werden. Nutzungseinschränkungen und Instandsetzungen bzw. der Ersatzneubau AKR-geschädigter Betonbauwerke können dann entfallen. Gegenüber der bisherigen Vorgehensweise kann zudem der im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit oft nachteilige und möglicherweise ungerechtfertigte Austausch örtlich verfügbarer, aber nicht sicher bewertbarer Gesteinskörnungen vermieden werden.

1.3 Untersuchungsziel

Um zukünftig AKR-Schäden an Betonbauwerken zu vermeiden und Gesteinskörnungen wirtschaftlich einzusetzen, sind Verfahren für eine sichere Bewertung der Alkaliempfindlichkeit bislang nicht sicher bewertbarer Gesteinskörnungen zu entwickeln bzw. zu modifizieren sowie Verwendungsregeln zu erarbeiten, welche die Randbedingungen und die Nutzungsdauer von Verkehrswasserbauwerken berücksichtigen.

2 Untersuchungsmethoden

Durch vergleichende Untersuchungen mit Betonprüfungen soll die Eignung bestehender und neu entwickelter Schnellprüfverfahren für verschiedene Gesteinskörnungen bewertet sowie eine Entwicklung bzw. Modifikation der Verfahren abgeleitet werden. Des Weiteren soll ein in den letzten Jahren entwickeltes Performance-Prüfverfahren, welches eine nachträgliche Alkalizufuhr berücksichtigt, an die spezifischen Beanspruchungen im Wasserbau angepasst und ebenfalls einbezogen werden.

Als Gesteinskörnungen sollen verschiedene bislang nicht sicher bewertbare Gesteinskörnungen (i.d.R. mitteldeutsche Kiese) eingesetzt werden, als Referenzmaterialien für einen Teil der Prüfungen zusätzlich als alkaliempfindlich bekannte Gesteinskörnungen (u.a. Opalsandstein und Flint, gebrochene Grauwacke). Die Performance-Prüfungen sollen an in der Praxis üblichen Betonzusammensetzungen erfolgen (Rezepturen aus Bauvorhaben der WSV). Alle Ausgangsstoffe (Zement, Zusatzstoffe, Gesteinskörnungen) werden durch Stoffprüfungen charakterisiert. Für die Zuordnung der Gesteinsarten sowie deren alkaliempfindliche Bestandteile soll vor Beginn der Untersuchungen eine petrografische Bewertung der Gesteinskörnungen erfolgen.

3 Ergebnisse

Im Berichtsjahr 2013 wurden die Performance-Prüfungen an Betonen beendet und an den Probekörpern lichtmikroskopische Untersuchungen durchgeführt. Die folgenden Betone mit Zusammensetzungen aus aktuellen Bauvorhaben der WSV wurden untersucht:

Beton	Zement		Wasser		Luft	Gesteinskörnungen				
	Bez.	z	w	w/z	LP	Bez.	0/2	2/8	8/16	16/32
	-	kg/m ³	kg/m ³	-	%	-	Kg/m ³			
1	Z1	360	163	0,45	1,5	GK1	724	390	743	-
2	Z2	350	161	0,46	5,5	GK2	694	199	438	473
3	Z3	430	172	0,40	1,5	GK3	666	426	674	-
4	Z4	335	160	0,48	5,5	GK4	629	359	359	449

Tabelle 1: *Betonzusammensetzungen für Performance-Prüfungen (b)*

Mit diesen Betonen wurden die Performance-Prüfungen für je 2 Varianten ((a) ohne und (b) mit Salzbelastung) durchgeführt. Jeder Lagerungszyklus umfasste neben einer Trocken- und Feucht-Warm-Lagerung auch mehrere Frost-Tau-Wechsel.

Wie im Bericht des Vorjahres gezeigt, ist es mit der Variante (b) gegenüber bislang zur Verfügung stehenden Verfahren möglich, die Beständigkeit des Betons auch bei Alkalizufuhr zu prüfen. Bei zwei Betonen (mit den Gesteinskörnungen GK2 und GK4) führte eine Alkalizufuhr (NaCl-Lösung) eindeutig zu erhöhten Dehnungen infolge schädigender Treiberscheinungen. Bei Beton 2 wurde dies bereits nach 12 Lagerungszyklen nachgewiesen. Bei Beton 4 verlief der Dehnungsanstieg etwas langsamer, so dass im letzten Bericht noch kein eindeutiges Ergebnis vorlag. Bei Fortführung der Lagerung wurde aber nach 13 Zyklen der Grenzwert ebenfalls überschritten (siehe Bild).

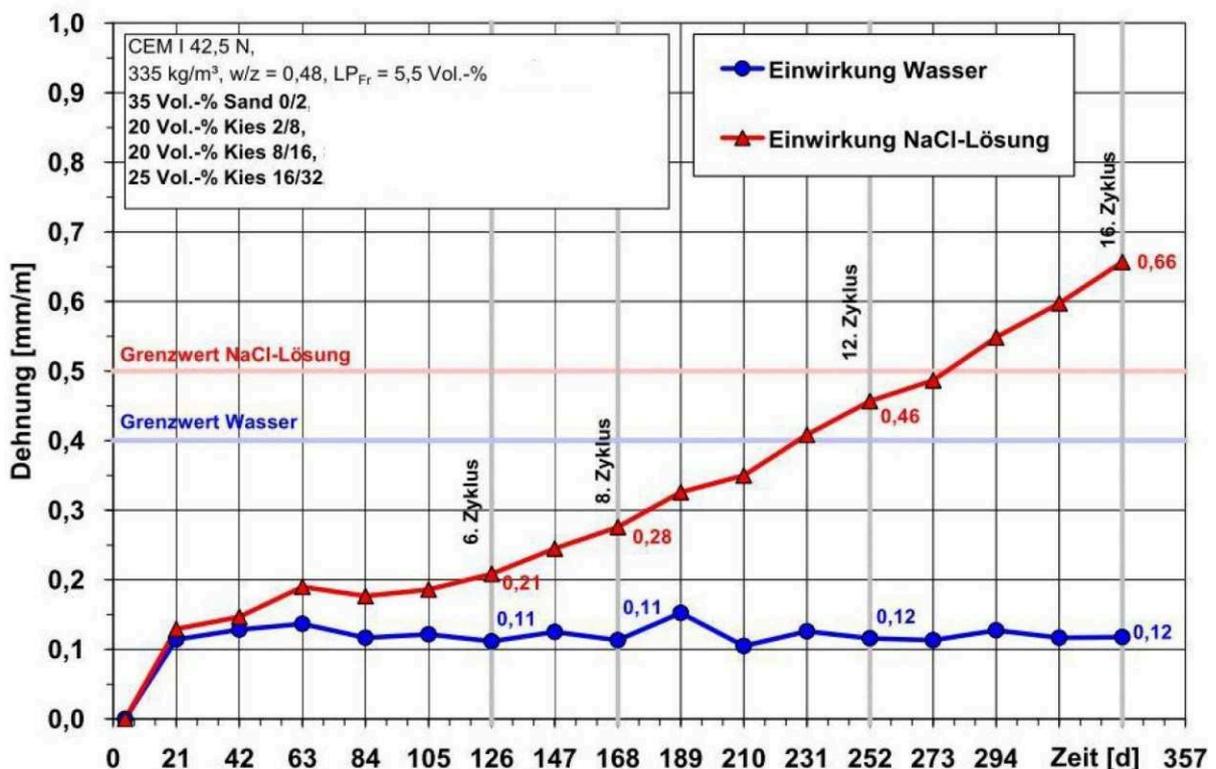


Bild 1: *Ergebnis AKR-Performance-Prüfung für die Gesteinskörnung GK4*

Nach Abschluss der Performance-Prüfungen wurden an den Probekörpern lichtmikroskopische Untersuchungen an Dünnschliffen durchgeführt, um eine AKR als Schadensursache nachzuweisen. Bei den Betonen 2 und 4 wurden (im Vergleich zur Prüfung ohne Salzbelastung) nach Einwirkung von NaCl-Lösung deutliche AKR-Merkmale in Form von Anlöseerscheinungen (Reaktionssaum), AKR-Gel in Porenräumen und gerissenen Gesteinskörnern gefunden.

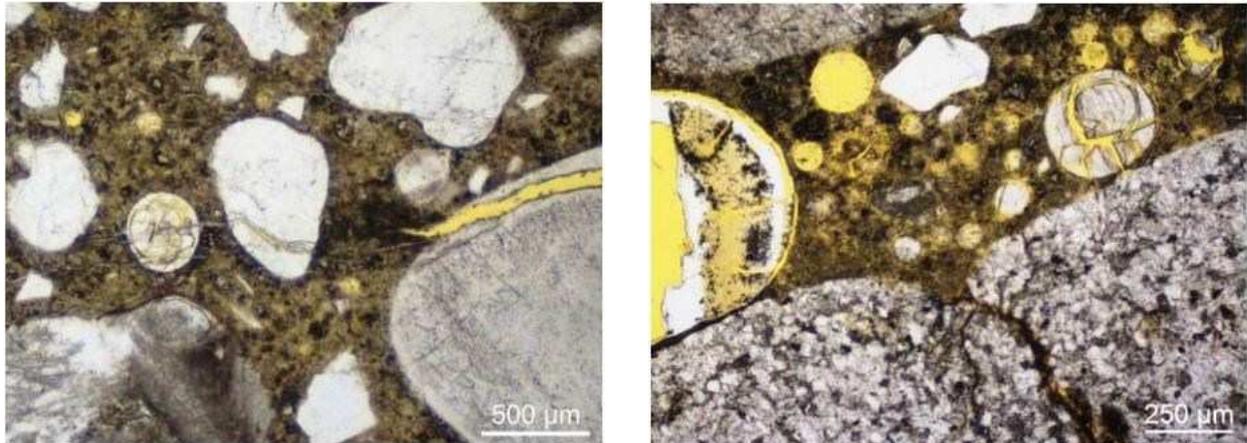


Bild 2: Dünnschliffaufnahmen Betone mit GK2 (links, Kieselschiefer) und GK4 (rechts, Grauwacke) mit Rissbildungen und Gelansammlungen in den Poren

Mit Hilfe der Performance-Prüfung konnte somit bei 2 der 4 untersuchten Betone eine Alkaliempfindlichkeit der Gesteinskörnungen nachgewiesen werden, welche bei einer Alkalizufuhr während der bei Verkehrswasserbauwerken üblichen sehr langen Nutzungsdauer mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Schäden am Beton führen würde.

Die Ergebnisse aller Untersuchungen werden nun in einem Abschlussbericht zusammengefasst, sowie entsprechende Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Schadensvermeidung an Verkehrswasserbauwerken erarbeitet bzw. angepasst.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Abschluss der Messungen, Auswertung der Versuchsergebnisse und Abschlussbericht.

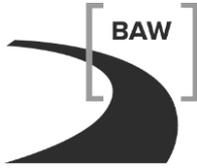
Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-



Energetische Optimierung der WSV-Gebäude

Netzplan-Nr.: A39510470001

Projektleiter: Dipl.-Ing. D. Erndwein, Abteilung Bautechnik, Referat Konstruktive Gestaltung (B4)

E-Mail: daniel.erndwein@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Gebäude sind im Mittel zu 40% am Energieverbrauch und an der CO₂-Belastung beteiligt, weshalb hier das größte Einsparpotential gesehen wird. Der Energieverbrauch der WSV-Gebäude wird bisher noch unzureichend erfasst. Eine zentrale Erfassung der Energieverbrauchsdaten in einem Energiemanagement-System hätte zum Vorteil, dass man über Kennwertbildung (Benchmarking) ineffiziente Gebäude identifizieren könnte. Im nächsten Schritt kann man dann gezielt Maßnahmen einleiten, um die Situation in diesen Gebäuden zu verbessern.

Der Aufbau eines kontinuierlichen Energiemanagement eröffnet auch die Möglichkeit Fehler in der Anlagentechnik oder im Betrieb von Gebäuden aufzudecken. Solche Aufzeichnungen ermöglichen den täglichen Betrieb effizienter zu gestalten, ohne dass man große bauliche Veränderungen am Gebäude vornimmt. Die steigenden Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) und die Vorbildfunktion der Bundesbauten führen dazu, dass die Energiekonzepte immer ganzheitlicher und komplexer werden müssen, so dass hier eine langfristige Planung der Einzelmaßnahmen eine immer größer werdende Bedeutung zukommt. In diesem Energiemanagement-System sollen die Energieverbrauchsdaten für Wärme, Strom, und evtl. Wasser, erfasst und bilanziert werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Ein Energiemanagement-System bietet jederzeit einen Überblick über den Energieverbrauch der einzelnen Gebäude der WSV. Die Daten aus der Datenbank bilden die Grundlage für weitere Änderungen bzw. Sanierungen an den Gebäuden der WSV.

Die Bundesregierung hat sich verpflichtet bis zum Jahr 2020 20% Energie einzusparen und 20% der Energieversorgung durch regenerative Energiequellen zu decken. Mit dem Aufbau eines Energiemanagement-System kann die WSV ihren Teil dazu beitragen, damit dieses Ziel erreicht wird.

Größere Energieeffizienz und damit Einsparung von Energie führt auch zu einer Einsparung der laufenden Betriebskosten.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel ist eine Energieverbrauchserfassung aller WSV-Gebäude zu erreichen und die Daten in einer Datenbank aufzubereiten, um ineffiziente Gebäude über Kennzahlen (Benchmarking) identifizieren und gezielt Sanierungsmaßnahmen durchführen zu können.

Es wird ein kleiner Maßnahmenkatalog für die energetische Sanierung von Gebäuden erstellt werden, der bei den einzelnen Sanierungen als Leitfaden verwendet werden kann.

2 Untersuchungsmethoden

In einem ersten Schritt erfolgt eine Analyse des Gebäudebestandes (Energieverbrauchs- und erste gebäudespezifische Daten). Dann werden exemplarisch Gebäude ausgewählt, die mit Energiebedarfsberechnungen genauer analysiert werden. Für diese Gebäude werden Sanierungsvarianten erarbeitet und rechnerisch überprüft, um den Prozess einer Gebäudeoptimierung beispielhaft darzustellen. In einem weiteren Schritt wird ein Gebäudemonitoring installiert, um eine effiziente Betriebsweise der Gebäude auf Dauer sicherzustellen und WSV-weit die Überblicks-Funktion herzustellen.

3 Ergebnisse

Zur Analyse des Gebäudebestandes wurde in 2012 ein Energieverbrauchs-Erfassungsbogen entwickelt. Mit Hilfe dieses Bogens wurde eine WSV-weite Abfrage von Gebäude- und Energieverbrauchsdaten durchgeführt. Die Rücklaufquote lag erfreulich hoch bei ca. 90%. Jedoch wurden lediglich 40 % der Erfassungsbögen vollständig ausgefüllt, so dass nur von diesen ein gesicherter Energieverbrauchskennwert ermittelt werden konnte, der den Anforderungen der EnEV gerecht wird.

Es sind aktuell 349 Gebäude von 150 Außenbezirken/Bauhöfen aus 35 Ämtern erfasst und teilweise analysiert.

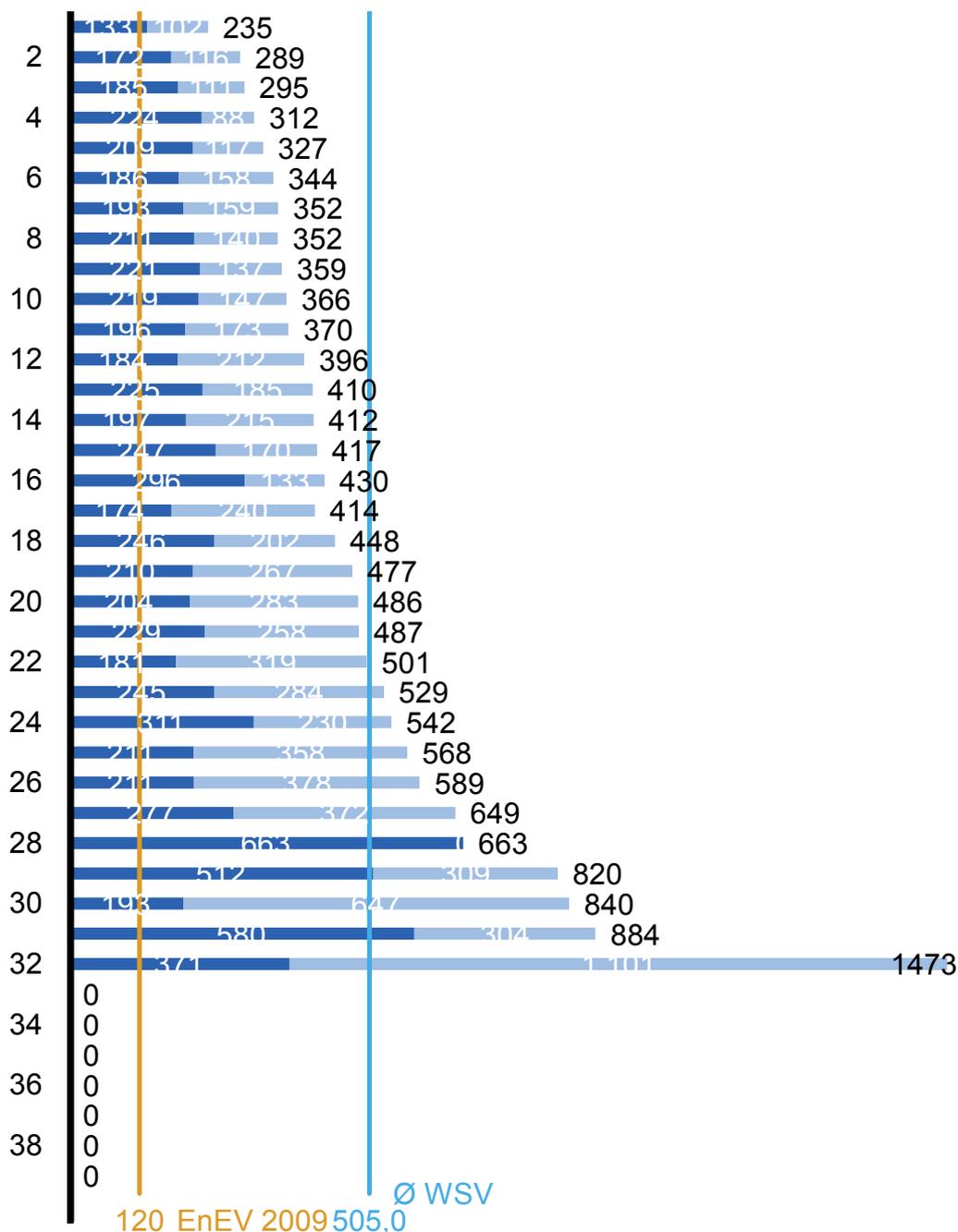


Bild 1: Primärenergieverbrauchskennwerte für Wärme (dunkel) und Strom (hell) der Wasser- und Schifffahrtsämter in kWh/m²a

Bei einem Großteil der erfassten Gebäude ist es oftmals unklar, was von den Zählern genau erfasst wird, weil keine genaue Dokumentation des Bestandes vorhanden ist. Generell lässt sich feststellen, dass die Datengrundlage zu den einzelnen Gebäuden sehr inhomogen ist.

In 2013 wurden die erfassten Daten grafisch aufbereitet und als Rückmeldung für die einzelnen Ämter in Kurzberichten zusammengefasst, die dann Anfang 2014 versendet werden.

Eine Verifizierung der Daten bzw. noch fehlende Angaben zu ergänzen wird aktuell durchgeführt. Es wurde deutlich, dass es an vielen Stellen an Zählern fehlt, die eine Gebäudescharfe Beurteilung der Verbräuche teilweise nicht zulässt. In einigen Energieverbräuchen, vor allem beim Strom, sind Verbraucher (Hafenbeleuchtung, Ladestationen für Schiffe, etc.) enthalten, die nichts mit dem Gebäude zu tun haben.

Ein durchschnittliches Gebäude eines Außenbezirk/Bauhof wurde im Jahr 1968 gebaut und hat eine Fläche von 517 m². Es wird mit einer Gasheizung beheizt, die ca. 15 Jahre alt ist und gleichzeitig für die Warmwasserbereitstellung zuständig ist.

Auf der Grundlage von Plänen wurde mit ersten Energiebedarfsberechnungen durchgeführt, um die Energieverbräuche besser einordnen zu können.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014:
- Bedarfsberechnungen von auffälligen Gebäuden
 - Entwicklung von beispielhaften Sanierungskonzepten
 - Analyse und Bewertung der Sanierungskonzepte
 - Zusammenstellung der Ergebnisse

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Parameter für Stoffgesetze bei FE-Berechnungen

Netzplan-Nr.: A39520205613

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Herten, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: markus.herten@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In letzter Zeit wurden viele neue Stoffgesetze, manche auch unter Mitwirkung der BAW, entwickelt und in kommerziellen Finite-Elemente-Programmen implementiert. Jedoch stellt sich die Frage, wann es notwendig ist, solche Modelle einzusetzen und welche Parameter für die Verwendung dieser Modelle wichtig sind. Weiterhin sollen die Stoffgesetze durch den Vergleich der Prognosen mit Ergebnissen der Messungen an Bauwerken kalibriert werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Bedeutung für die WSV besteht darin, dass möglichst zutreffende Verformungsprognosen aufgestellt werden können. Dadurch wird sowohl eine größere Wirtschaftlichkeit erzielt, als auch mehr Sicherheit erreicht. Eine Simulation des Verhaltens von Bauwerken kann dadurch, insbesondere bei schwierigen Baugrundverhältnissen, weit besser als bisher möglich erfolgen.

1.3 Untersuchungsziel

Die Ziele der Untersuchung sind, die Parameter, die für bereits vorhandene Stoffgesetze erforderlich sind, aus Labor- und Feldversuchen abzuleiten, Stoffgesetze an wasserbautypische Bedingungen anzupassen und in FE-Programme einzubauen.

2 Untersuchungsmethoden

Ursprünglich war der Fokus auf Laborversuche gelegt. Es hat sich jedoch im Laufe der Bearbeitung gezeigt, dass Felduntersuchungen und Nachrechnungen (B-Prediction) bessere Prognosen erlauben. Auf dieser Grundlage werden Mängel von existierenden, in FE-Software implementierten Stoffgesetzen durch Weiterentwicklungen bzw. Implementierungen gemindert.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens sind in einer Vielzahl von Veröffentlichungen (s. Abschnitt 6) dokumentiert. In der aktuellen Entwicklung der FEM zeigt sich, dass diese immer öfter nicht nur zur Prognose von Verformungen, d. h. für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS), sondern auch für die Bemessung (ULS) Verwendung findet. Dadurch gewinnt die Wahl der „richtigen“ Parameter für die Stoffmodelle zusätzlich sicherheitsrelevante Bedeutung (Herten M., 2012). Bei komplexeren Stoffmodellen, die nicht mit Scherwinkel, Scherfestigkeit, Kohäsion und Druckfestigkeit beschrieben werden, wird eine gesonderte Vorgehensweise benötigt, um das normativ vorgegebene Sicherheitsniveau einzuhalten. Für das Hoek-Brown-Stoffmodell wird ein solches Vorgehen von Benz et. al. (2008) und für beliebige Stoffmodelle von Potts (2012) beschrieben.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die in vielen Veröffentlichungen dargestellten Ergebnisse sollen zusammenzutragen und Handlungsanweisungen für zukünftige Projekte entwickelt werden.

Laufzeit des Vorhabens von 1997 bis 2015.

5 Literatur

- Benz, T.; Kauther, R.; Schwab, R. (2006): "Simulation of a large excavation using a Hoek-Brown model, 6th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering, Gratz, Österreich, 6. - 8. September 2006
- Potts, D. M.; Zdravkovic, L. (2012): Accounting for partial material factors in numerical analysis, Géotechnique, Volume 62, Issue 12, September, pages 1053 –1065
- Herten, M. (2013): "EC 7 - Welches Nachweisverfahren ist das Richtige?" Workshop, 24.-25.09.2013, Institut für Geotechnik und Baubetrieb TU Hamburg-Harburg, Bd. 27

6 Veröffentlichungen

- Saathoff, J.; Schwab, R. (2004): "Anwendung der Finite-Element-Methode (FEM) beim Entwurf der neuen Schleuse Sülfeld Süd", Baugrundtagung, Leipzig, 22. bis 25. September 2004, Glückauf, Essen, S. 89-96
- Schwab, R.; Benz, T. (2006): "Baubegleitende Simulation der Interaktion zwischen benachbarten Bauwerken", 18. Deutschsprachige Abaqus-Benutzerkonferenz, Erfurt, 18. - 19. Sept. 2006
- Benz, T.; Schwab, R.; Vermeer, P. A.: "Zur Berücksichtigung des Bereichs kleiner Dehnungen in geotechnischen Berechnungen", Bautechnik, Jg. 84, H. 11, S. 749-761, 2007
- Schwab R., Benz T., Vermeer P. (2007): "An accompanying small-strain model for a large excavation", Proc. XIV European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid
- Benz, T.; Schwab, R.: "A quantitative comparison of four rock failure criteria" (2008), International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Jg. 45, H. 7, S. 1176-1186
- Benz, T.; Schwab, R.; Kauther, R. A.; Vermeer, P. A. (2008): A Hoek-Brown criterion with intrinsic material strength factorization. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 45, pp. 210-222.
- Benz T.; Vermeer P. A.; Schwab R. (2009): A small-strain overlay model. - In: International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Band 33 pp. 25-44, John Wiley & Sons, London
- Stelzer, O.; Schwab, R.; Neumann, S. (2010): Neubau der Südschleuse Sülfeld – Schlussfolgerungen aus den geotechnischen Messungen und den baubegleitenden FE Berechnungen, Messen in der Geotechnik, Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technische Universität Braunschweig
- Stelzer, O., Kauther, R. (2011): Relevance of small-strain stiffness in the deformation analysis of navigable locks, International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, September 1-3, Seoul, Korea

Bruch- und Verformungsverhalten von rutschgefährdeten Böschungen unter Berücksichtigung des Dreiphasensystems

Netzplan-Nr.: A39520210001

Projektleiter: Dipl.-Ing. R. Schulze, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: roland.schulze@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Zur Beurteilung von rutschgefährdeten Böschungen ist die Kenntnis der effektiven Spannungen im Bereich der Scherzone von großer Bedeutung. Hierzu ist eine zutreffende Einschätzung des herrschenden Porenwasserdruckes erforderlich. Die Porenwasserdruckverhältnisse können zeitlich und räumlich stark veränderlich sein. Dies gilt insbesondere in bindigen Böden, die hydraulisch nur gering durchlässig sind.

Als Auslöser von Böschungsrutschungen gilt (auch in bindigen Böden) häufig ein Anstieg der Sickerlinie. In der bisherigen Praxis wurden Messungen fast ausschließlich in offenen Grundwasserbeobachtungsrohren durchgeführt. Da infolge der geringen Durchlässigkeit des Bodens eine hinreichende Wasserspiegeländerung im Messrohr, wenn überhaupt, nur zeitlich extrem verzögert erfolgen kann, ist dieses Verfahren zur Ermittlung der Wasserdruckverhältnisse in gering durchlässigen Böden ungeeignet. Die Verwendung von Porenwasserdrucksensoren, die in geeigneter Weise im Boden eingebaut werden, ist deshalb zur Erfassung der maßgebenden hydraulischen Verhältnisse im bindigen Boden unbedingt erforderlich.

Als theoretischer Unterbau wird das Dreiphasenmodell (bestehend aus Feststoff, Wasser und Gas) angewendet.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Bedeutung dieser Untersuchungen für die WSV besteht darin, dass zahlreiche Problemböschungen an Binnenschiffahrtskanälen mit der o. g. Charakteristik (bindige Böden, unterhalb der Sickerlinie, besondere Beanspruchung durch Absenk) existieren. Die vorgesehenen Untersuchungen schaffen die Voraussetzung für ein verbessertes grundlegendes Verständnis der maßgebenden mechanischen Modellvorstellung. Auf dieser Grundlage werden wirksame Sanierungskonzepte entwickelt, die eine sinnvolle und wirtschaftliche Sanierung der gefährdeten Böschungen ermöglichen.

1.3 Untersuchungsziel

- Abschätzung des Einflusses der Kompressibilität des Porenwassers auf das Bruch- und Verformungsverhalten von Böschungen
- Sammlung von praktischer Erfahrung mit Porenwasserdrücken in bindigen Böden (Einschätzung der Druckentlastungsgeschwindigkeit, Optimierung der Bemessung der vorgeschlagenen Druckentlastung, Abschätzung saisonaler Einflüsse auf die Porenwasserdruckverteilung usw.)
- Entwicklung geeigneter Laborversuche zur Identifizierung und Ermittlung maßgebender Parameter
- Entwicklung von praxistauglichen und wirtschaftlichen Sanierungsverfahren für rutschgefährdeten Böschungen

2 Untersuchungsmethoden

Um die Eigenschaften von gering durchlässigen Böden hinreichend zu erfassen, sind geotechnische Feldmessungen (Porenwasserdruck, Verformungen usw.) u. a. an rutschgefährdeten Böschungen erforderlich. Damit soll untersucht werden, welchen Einfluss die Kompressibilität des Porenwassers auf das Bruch- und Verformungsverhalten dieser Böschungen besitzt.

3 Ergebnisse

Auf Vorschlag der BAW wurde in zwei Messprofilen bei SKH-km 2,95 bzw. 3,55 die Standsicherheit der Einschnittsböschungen erhöht, indem durch gezielte Druckentlastung durch 2001/2002 hergestellte Bohrungen die Möglichkeit zum Porenwasserdruckabbau geschaffen wurde. Die zeitliche Veränderung der Porenwasserdruckverteilung sowie die Verschiebungen der Böschungen werden seither im Rahmen einer Eignungsprüfung gemessen. Die Bohrungen entlasten im Endzustand mindestens entsprechend einem Potenzial, das durch die geodätische Ansatzhöhe der Bohrung maßgebend beeinflusst wird. Grundlegende Voraussagen zur Porenwasserdruckentwicklung, die auf der Anwendung des Dreiphasenmodells basieren, konnten somit messtechnisch verifiziert werden.

Die Standsicherheit der Böschung wurde wesentlich verbessert und die Rutschungsgeschwindigkeit hat sich um rund 85 % vermindert. Durch den Einbau von Druckentlastungsbohrungen konnte bereichsweise eine aufwändige Abflachung der Böschung vermieden werden.

Um den Einfluss witterungsbedingter Randbedingungen zu minimieren, werden ergänzend im Tonbergwerk Klingenberg/Main in einem Probestollen Porenwasserdruckmessungen durchgeführt. Mit diesen Messungen, die dort seit 2005 durchgeführt wurden, soll die Ausbreitung von Porenwasserdruckänderungen in einem relativ homogenen und sehr gering durchlässigen Bodenmaterial messtechnisch erfasst werden. Im Laufe der Jahre zeigte sich, dass Auswirkungen im Zusammenhang mit der Herstellung des Probestollens die Porenwasserdruckentwicklung maßgebend beeinflussen. Einzelheiten sind in einem Aufsatz beschrieben, der anlässlich der internationalen Messtechnik-Konferenz FMGM 2011 veröffentlicht wurde. Darin werden u. a. Schlussfolgerungen gezogen, die neue Perspektiven zum Bruch- und Verformungsverhalten von Tonböschungen eröffnen, wobei Anwendungsgrenzen der in Abschnitt 1.1 genannten Kontinuumsmodelle überschritten werden. Die im o. g. Aufsatz beschriebenen Beobachtungen zu plötzlichen Veränderungen der Materialeigenschaften des Tongebirges können konzeptionell auch zur Abschätzung der zeitabhängigen Standsicherheit von Einschnittsböschungen in überkonsolidiertem Ton verwendet werden.

In Klingenberg wurden die letzten Messungen planmäßig Ende 2011 durchgeführt, bevor im Zusammenhang mit der Betriebsschließung des Tonbergwerks der Probestollen endgültig versiegelt wurde.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die im Zeitraum 2012/2013 vorgesehene schriftliche Zusammenfassung der Ergebnisse konnte aus Zeitmangel leider noch nicht fertiggestellt werden und wird für 2014 angestrebt.

Laufzeit des Vorhabens von 1999 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

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

Schulze R. (2010): Beitrag zum BAW-Kolloquium FuE im Binnenverkehrswasserbau am 03. März 2010 in Karlsruhe

Schulze R. (2011): Pore water pressure effects in clay due to unloading – long-term measurements, change of soil fabric and application. Proc. 8th International Symposium on Field Measurements in GeoMechanics (FMGM), 2011, Berlin

Böden unter Stoßbelastung

Netzplan-Nr.: A39520210014

Projektleiterin: Dipl.-Ing. R. Kauther, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: regina.kauther@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im laufenden Betrieb der Bundeswasserstraßen kommt es immer wieder zu Anfahrungen von Schiffen auf die Ufer der Wasserstraßen. Die bisher verfügbaren Berechnungsverfahren basieren auf der Annahme eines starren Ufers (z.B. aus Beton). Unter der Voraussetzung eines starren Ufers werden die größtmöglichen Kontaktkräfte zwischen Schiff und Böschung sowie die größtmögliche Anhebung des Schiffes aus dem Wasser berechnet. Die im Bereich der WSV dokumentierten Schadensfälle zeigen jedoch, dass die Schiffe in das Ufer eindringen, so dass 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, so dass die vorhandenen Berechnungsverfahren für die Randbedingungen der verformbare Böschung erweitert werden müssen.

1.2 Bedeutung für die 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.

1.3 Untersuchungsziel

In Rahmen des Forschungsvorhabens wird das Eindringverhalten von typischen Binnenschiffen in Böschungen untersucht. Das Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung realistischer Prognoseverfahren für den Bremsweg und die Kontaktkräfte zwischen Schiff und Boden. Als Eingangsgrößen für die Prognoseverfahren sollen die bekannten Schiffsparameter Anfahrgeschwindigkeit und Tiefgang des Schiffes sowie die Böschungsgeometrie (Neigung und Höhe der Böschung) verwendet werden.

2 Untersuchungsmethoden

Als Untersuchungsmethodik wurde die bodenmechanische Modellversuchstechnik angewandt. Die Versuche wurden in den Modellmaßstäben 1:75, 1:23 und 1:17,8 ausgeführt. Zur Erfassung der Einflüsse aus den hydromechanischen und dynamischen Randbedingungen auf den Stoßvorgang und zur Messung der Porenwasserdrücke im Boden während des Stoßvorganges wurden zusätzlich drei Naturversuche durchgeführt. Details zu den Modell- und den Naturversuchen enthalten die Forschungskompodien der vergangenen Jahre.

3 Ergebnisse

Zur Berechnung des Bremswegs wurden in Abhängigkeit des Schiffbugtyps bodenmechanische Berechnungsmodelle entwickelt, mit denen die Eindringung der Schiffe in die Uferböschung und die dabei auftretenden Kontaktkräfte ermittelt werden können. Da die Auswertung der Modell- und der Naturversuche gezeigt hat, dass Trägheitskräfte nur zu Beginn des Schiffsstoßes eine relevante Größe besitzen und auf die Länge des Bremswegs deshalb nur einen untergeordneten Einfluss haben, genügen Modelle, bei denen der Schiffsstoß als quasistatischer Vorgang abgebildet wird. Die Bremswegberechnung 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. Die Auswertung der Modellversuche zeigt, dass während des Bremsvorgangs von einer Mobilisierung des Grenzzustandes des passiven Erddrucks im Boden 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. Da sich das Schiff weiterbewegt bis die kinetische Anfangsenergie transformiert ist, wird davon ausgegangen, dass im Boden fortlaufend neue Bruchkörper entstehen. Dies kann auch durch die Videoaufnahmen eines unter statischen Bedingungen ausgeführten Versuches mit dem Spitzbugschiff verifiziert werden. Die flächenhaft und in unbekannter Verteilung zwischen Bug und Boden wirkenden Kontaktspannungen werden für die Berechnung der Energiebilanz zu einer resultierenden Kraft zusammengefasst. Der Angriffspunkt der Kraft ändert sich ebenfalls mit der Veränderung der Lage und der Größe der Kontaktfläche. Außer den Kräften aus dem Erdwiderstand wird die Änderung der Auftriebskraft bei der Anhebung des Schiffes berücksichtigt.

Das Berechnungsmodell wurde zunächst für das Pontonbugschiff aufgestellt und anhand der Versuchsergebnisse validiert (siehe Kurzbericht zum Forschungsvorhaben 2007).

Für die Berechnung der Länge des Bremswegs und der Kontaktkräfte müssen die Bodenparameter: Wichte, Reibungswinkel, Wandreibungswinkel zwischen Bug und Böschung sowie - im Falle nicht rolliger Böden - die Kohäsion bekannt sein. Weitere Eingabeparameter sind die Anfahrgeschwindigkeit des Schiffes, Masse und Tiefgang sowie die Geometrie des Buges und der Böschung (Böschungshöhe und Neigung).

Da der Verlauf des Bremswegs nicht von vorneherein bekannt ist, wird das Berechnungsverfahren inkrementell formuliert. Die wichtigsten Schritte des Berechnungsverfahrens sind:

- Berechnung der Größe und Lage der Kontaktfläche in Abhängigkeit einer vorgegebenen inkrementellen Drehung $\Delta\psi$ des Schiffes innerhalb jeden Weginkrementes Δx
- Berechnung der vertikalen Differenzkraft aus Schiffsgewicht und Auftrieb in Abhängigkeit der Schiffsposition (Anhebung des Schiffes aus dem Wasser)
- Berechnung des Erdwiderstandes auf die ermittelte Kontaktfläche
- Ermittlung der im Weginkrement maximal möglichen Anhebung des Schwerpunkts Δz_s mit Hilfe der Bedingung, dass die vertikale Auflagerkraft nicht größer als die vertikale Komponente des Erdwiderstandes sein kann
- Berechnung der Deformationsarbeit im Boden, der Potentiellen Energie und der verbleibenden kinetischen Energie. Das Schiff kommt zum Stillstand, wenn die kinetische Energie vollständig transformiert ist.

Die Erweiterung des Berechnungsmodells auf das Spitzbugschiff erforderte die Anpassung an die Geometrie des Buges (siehe auch Kurzbericht des Forschungsvorhabens 2008).

Im Bild 1 links sind der berechnete Bremsweg im Vergleich mit dem gemessenen Bremsweg für einen Modellversuch mit dem Spitzbugschiff Johann Welker dargestellt. Der verwendete Modellversuch simuliert den Schiffsstoß mit einer Masse von 2328 t und einer Anfahrgeschwindigkeit von $v_a \approx 20$ km/h. Die Grafik im Bild 1 rechts zeigt den Vergleich zwischen Messung und Rechnung für die horizontale Kontaktkraft sowie die Größe der berechneten vertikalen Kontaktkraft. Der Vergleich in Bild 1 zeigt, dass das Rechenverfahren auch für das Spitzbugschiff eine gute Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung festgestellt werden kann. Der Kurvenverlauf des Bremswegs zu Beginn des Bremsvorgangs verläuft rechnerisch geringfügig steiler im Vergleich zum experimentellen Ergebnis. Die zugehörige rechnerische horizontale Kontaktkraft ist dabei kleiner im Vergleich zur gemessenen Kraft.

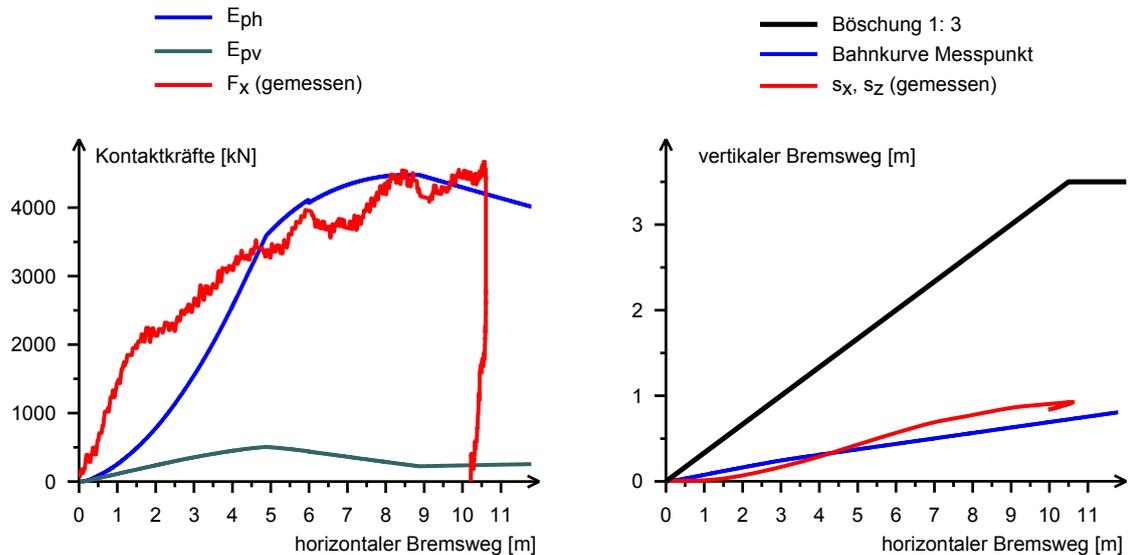


Bild 1: Berechnete und gemessene Kontaktkräfte (links) sowie berechneter und gemessener Bremsweg im Vergleich (rechts)

Mit dem Ziel der Optimierung des Berechnungsverfahrens für das Spitzbugschiff wird derzeit der Einfluss einer zusätzlich wirksamen Reibungskraft an der Bugwand und an der Schiffssohle untersucht. Dazu wurde das Berechnungsverfahren erweitert, abschließende Untersuchungsergebnisse liegen jedoch noch nicht vor.

Das mit der Nachrechnung der Naturversuche beauftragte Ingenieurbüro Kramer & Albrecht aus Hamburg hat im Dezember 2008 den Abschlussbericht für die Bremswegberechnung des Spitzbugschiffes Gerda vorgelegt. Auch hier ergibt sich auf der Grundlage der Erdwiderstandstheorie eine zufriedenstellende Abschätzung der Länge des Bremswegs, wobei in diesem Fall der Verlauf des Bremswegs mittels Eingangsparameter vorgegeben wurde. Untersuchungen des Ingenieurbüros Kramer & Albrecht zum Einfluss des Porenwassers in der Böschung ergaben, dass der in den Naturversuchen gemessene Porenwasserüberdruck bei der Bremswegberechnung vernachlässigt werden kann. Für die Berechnung des Bremswegs genügt damit ein Ansatz der Auftriebswichte bei der Berechnung des Erdwiderstands. Eine Überprüfung dieses Ansatzes soll mit Hilfe des oben beschriebenen Berechnungsverfahrens erfolgen, bei dem der Verlauf des Bremswegs zu Beginn des Bremsvorgangs nicht bekannt ist.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Aufgrund der Betreuung von Bauprojekten, die sich derzeit in der Ausführung befinden und fehlender Personalkapazitäten konnten die Untersuchungen im Jahr 2013 nicht fortgesetzt werden. Für das Jahr 2014-2015 sind weitere Vergleichsberechnungen und eine Evaluierung der vorhandenen Berechnungsverfahren geplant. Das Forschungsvorhaben soll 2015 abgeschlossen werden.

Laufzeit des Vorhabens von 2000 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

- 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, September 2008, Danzig
Kauther, R. (2009): Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe "Verkehrswasserbau" der BAW am 3. Juli 2009

Modellierung der Verformung nichtbindiger Böden unter zyklischer Belastungseinwirkung von Schleusenbauwerken

Netzplan-Nr.: A39520210045

Projektleiter: Dipl.-Ing. K. Bergholz, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: katharina.bergholz@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Nichtbindige Böden zeigen infolge zyklischer Belastung eine erhebliche 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 erhebliche Langzeitsetzungen beobachtet werden (Bild 1). Sind diese Langzeitsetzungen nicht schon in der Planungsphase hinreichend genau bekannt, können sie zu erheblichen Bauwerksschäden führen.

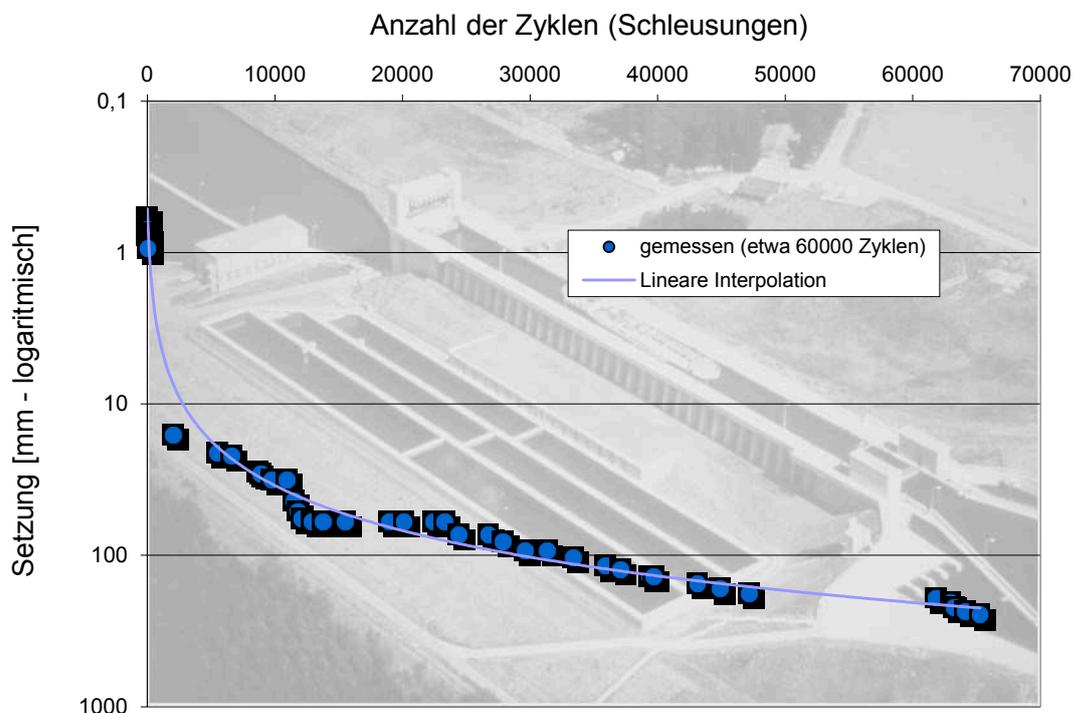


Bild 1: Setzungen der Schleuse Uelzen I als Funktion der Lastzyklen (= Schleusungen)

Mit den derzeit verfügbaren elasto-plastischen sowie den inkrementell formulierten Stoffgesetzen (z.B. Hypoplastizität) können Langzeitsetzungen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) nur unzulänglich abgebildet werden. Zudem erfordert eine hohe Anzahl von Lastzyklen bei diesen Modellen eine sehr hohe Rechenleistung, da jeder Lastzyklus einzeln berechnet werden muss. Pseudoviskose Stoffgesetze, bei denen die Lastzyklen als Zeit (Pseudozeit) ausgedrückt werden, verursachen hingegen einen relativ geringen Rechenaufwand. Diese Stoffgesetze sind jedoch empirisch und daher schwer zu bewerten.

1.2 Bedeutung für die WSV

Zur Vermeidung von Bauwerksschäden, wie auch zu einer wirtschaftlichen 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 Bauwerkssetzung abhängig.

1.3 Untersuchungsziel

Entwicklung eines Stoffgesetzes und dessen numerischer Implementierung in ein Finite-Elemente Programm (ABAQUS / PLAXIS), das es erlaubt, Langzeitsetzungen von Schleusenbauwerken hinreichend genau zu berechnen. Das Rechenmodell soll in der Lage sein, viele tausend Lastzyklen bei akzeptablem Rechenaufwand abzubilden. Abschließende Empfehlungen für die Praxis sollen basierend auf den Untersuchungsergebnissen erarbeitet werden

2 Untersuchungsmethoden

Numerische Modellrechnungen, Laborversuche, Vergleich mit Langzeitmessungen.

3 Ergebnisse

Das aus der Forschungsarbeit von 2002-2004 resultierende elasto-plastische Stoffgesetz aus der Klasse der Bounding-Surface Modelle (Forschungsbericht 2004) wurde in den Jahren 2005 und 2006 den Bedürfnissen praktischer Anwendungen weiter angenähert. Ein Algorithmus zur Bestimmung der im Modell intern verwendeten Parameter wurde erarbeitet und erprobt. Dieser Algorithmus konvertiert allgemein verwendete bodenmechanische Kenngrößen in die internen Parameter des Rechenmodells. Da keine analytische Beziehungen zwischen diesen bestehen, werden die internen Modellparameter iterativ bestimmt. Die Anzahl dieser iterativ zu bestimmenden internen Modellparameter des Ausgangsmodells wurde zunächst zu Gunsten der Robustheit des Konvertierungsalgorithmus verringert. Ein modifiziertes Modell ohne isotrope Verfestigung der Fließfläche wurde implementiert. Ohne isotrope Verfestigung wurde es nun auch möglich, den Bereich kleiner Dehnungen über die Steifigkeit innerhalb des elastischen Bereiches direkt zu definieren, was eine weitere Modellvereinfachung darstellt.

Die Struktur des vereinfachten Modells besteht weiterhin aus den in Bild 2 dargestellten Komponenten. Die Kappe des Modells ist identisch zur Kappe des Hardening-Soil Modells gewählt. Zusätzlich enthält das Modell eine isotrope Erinnerungsfläche für die maximal aufgebrachte deviatorische Dehnung (in Bild 2 nicht dargestellt). Das vereinfachte Modell wurde für triaxiale Bedingungen getestet. Konvergenzprobleme wurden bei sehr kleinen mittleren Spannungen erkannt.

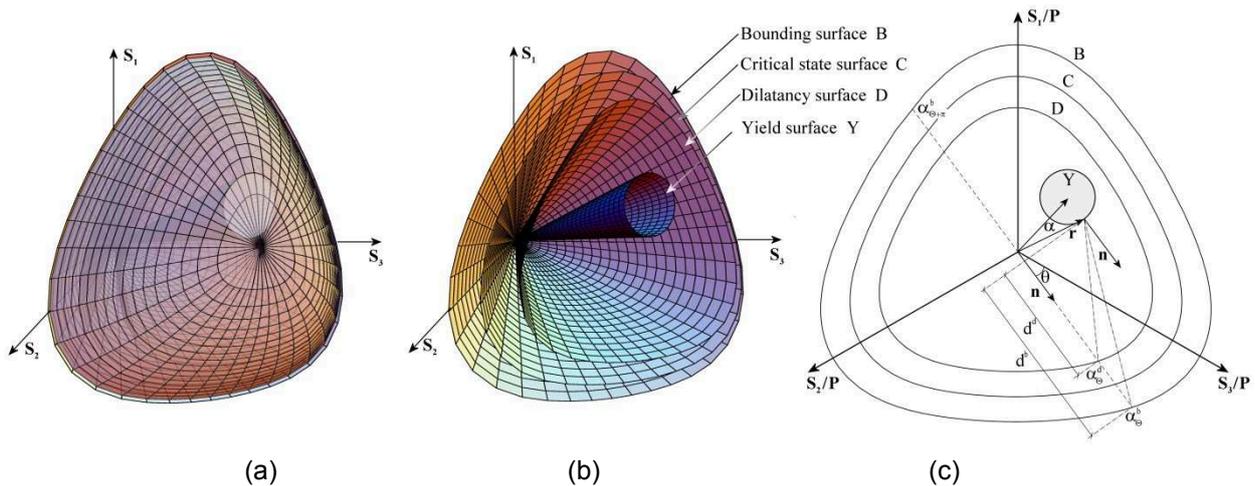


Bild 2: Das verwendete Bounding-Surface Modell im Hauptspannungsraum dargestellt:
 (a) Kappe – nur der hervorgehobene Bereich der Kappe ist aktiv;
 (b) Grenzflächen des Modells; (c) Projektionsregeln.

Im Jahr 2013 wurde die Bearbeitung des Forschungsprojektes mit neuen Personalressourcen wieder aufgenommen. Nach einer Einarbeitungsphase stand die Verbesserung des Konvertierungsalgorithmus zur Ermittlung der internen Modellparameter im Mittelpunkt der Entwicklungsarbeit. Die Anzahl der iterativ zu bestimmenden Parameter wurde erhöht, die numerische Stabilität der Routine ist jedoch noch nicht umfassend abgesichert. Die Dilatanzformulierung des ursprünglichen Materialmodells wurde als eine

wichtige Ursache für diese Probleme identifiziert und daher deren Modifizierung in den aktuellen Fokus gerückt.

Zusammenfassung der im Projekt bislang erzielten Ergebnisse:

- Numerische Umsetzung eines Bounding Surface Modells; Erste erfolgreiche Nachberechnung von Laborversuchen, Erste Nachberechnung Schleuse Uelzen.
- Implementierung eines Algorithmus zum Überspringen von Zyklen
- Entwicklung eines neuen Modellierungsansatzes für den Bereich kleiner Dehnungen
- (HS-Small Modell – im FE Programmsystem Plaxis verfügbar)

Diese Ergebnisse wurden in internationalen und nationalen Fachzeitschriften veröffentlicht.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens: 2002 - 2016

Aufgrund des großen Bedarfs für ein Stoffgesetz, welches das zyklische Bodenverhalten zutreffend simulieren kann, ist bis 2016 geplant, das Forschungsvorhaben zum Abschluss zu bringen. Als nächste Schritte in diesem Zeitraum ist vorgesehen, die Konvergenzprobleme zu beheben, Modellkomponenten wie die Formulierung der Dilatanz zu optimieren und Materialeigenschaften wie Anisotropie und Nicht-Koaxialität zu integrieren. Im Anschluss soll das implementierte Stoffgesetz anhand von vorhandenen Laborversuchsdaten und In-situ-Langzeitmessungen validiert werden, um es so für baupraktische Anwendungen bereitstellen zu können.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

- Vermeer, P. A., Schwab, R., Benz, T. (2006): Two Elastoplastic Models for Small and Large Strains and Their Use in Engineering Practise. In: Wu, W., Yu, H. S. (Ed.): Modern Trends in Geomechanics. Springer Berlin, New York, pp. 175-190.
- Benz, T. (2007): Small-Strain Stiffness and its Numerical Consequences. Dissertation. Mitteilung 55 des Instituts für Geotechnik der Universität Stuttgart.
- Benz, T., Schwab, R., Vermeer, P. A. (2007): Zur Berücksichtigung nichtlinearer Bodensteifigkeit im Bereich kleiner Dehnungen in geotechnischen Berechnungen. Bautechnik, Band 84, Heft 11, S. 749-761.
- Benz, T., Vermeer, P. A., Schwab, R. (2009): A small-strain overlay model. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Volume 33, Issue 1, pp. 25-44.
- Benz, T., Schwab, R., Vermeer, P. A. (2009): Small-strain stiffness in geotechnical analyses. Bautechnik, Volume 86, Issue Supplement 1, pp. 16-27.

Wechselbelastungen an Kleinverpresspfählen

Netzplan-Nr.: A39520270001

Projektleiterin: Dipl.-Ing. E. Dornecker, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: eva.dornecker@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Sowohl Verpressanker wie auch Kleinverpresspfähle werden als Zugelemente zur Verankerung (Rückverankerung von Wänden, Auftriebsverankerung von Sohlen) eingesetzt. Kleinverpresspfähle haben keine freie Stahllänge, sie sind daher aufgrund ihrer Konstruktion nicht vorspannbar. Damit wird eine Schwell- oder Wechsellast nicht über Dehnungen in der freien Stahllänge wie bei Verpressankern "abgefedert", sondern wirkt sich unmittelbar als Belastungsänderung auf den Verpresskörper und die Kontaktfläche Verpresskörper-Boden aus. Bisherige Untersuchungen zeigen, dass dies die Grenztragfähigkeit des Pfahles negativ beeinflussen kann.

Liegt der Anteil der Lastspanne der Schwell- und/oder Wechsellast über 20 % des charakteristischen Herauszieh-Widerstandes (Pfahltragfähigkeit im Grenzzustand der Tragfähigkeit), kann die Tragfähigkeit deutlich abfallen, siehe EA-Pfähle, 2012. In den EA-Pfähle Abschnitt 13.4 [1] werden Hinweise zur Bemessung von Pfählen unter zyklischer Last gegeben. In Anhang D werden numerische Verfahren zur Bemessung von Pfählen unter zyklischer Last vorgestellt, die jedoch den Stand der Wissenschaft und nicht den Stand der Technik darstellen. Für rollige Böden ist hier ein Interaktionsdiagramm zur Ermittlung der zulässigen Last bzw. der zulässigen Zyklenzahl angegeben, welches jedoch ebenfalls nur informativen Charakter hat. Für die Dimensionierung von Kleinverpresspfählen in bindigen Böden müssen zyklische Probelastungen mit einer großen Anzahl von Lastzyklen durchgeführt werden. In der Regel ist es aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich die wirklich über die Lebenszeit des Bauwerkes auftretende Anzahl von Lastzyklen in der Probelastung zu simulieren. Es müssen daher aus einer beschränkten Anzahl von Lastzyklen Prognosen für das dauerhafte Verhalten der Pfähle erarbeitet werden.

Aus den bisherigen Untersuchungen gibt es Hinweise darauf, dass unter Wechsellasten ein schlagartiges Versagen mit fast vollständigem Tragfähigkeitsverlust auftreten kann. Dieses Verhalten macht eine zuverlässige Prognose für die Tragfähigkeit eines Pfahles auf Grund einer beschränkten Anzahl von Lastzyklen nahezu unmöglich. Es gibt Hinweise, dass dieses Verhalten auf rollige Böden beschränkt ist. Für bindige Böden lagen jedoch kaum Untersuchungsergebnisse vor.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Langzeit-Tragfähigkeit von Verankerungen mit Kleinverpresspfählen hat für die entsprechend ausgeführten Bauwerke der WSV hohe Sicherheitsrelevanz.

Selbst nach der Durchführung von zyklischen Probelastungen bleiben Unsicherheiten über das dauerhafte Tragverhalten der Kleinverpresspfähle. Aufgrund der vorhandenen Unsicherheiten sollten Bauwerke mit zyklisch belasteten Pfählen dauerhaft bezüglich etwaiger Lageveränderungen beobachtet werden. Durch den in einigen Fällen festgestellten plötzlichen Tragfähigkeitsverlust bleibt auch bei Beobachtung des Bauwerkes eine Unsicherheit hinsichtlich der Beurteilung der Standsicherheit. Ein plötzliches Versagen kann durch die Beobachtung nicht ausgeschlossen werden, weshalb Kleinverpresspfähle mit zyklischen Lasten über 20 % des charakteristischen Herauszieh-Widerstandes in der WSV zurzeit nicht verwendet werden sollen. Damit ergeben sich für die WSV erhebliche Nutzungseinschränkungen. Werden in Ausnahmefällen doch zyklisch belastete Mikropfähle verwendet ist mit erheblichen Kosten zum einen für die Durchführung von zyklischen Probelastungen und zum anderen für die Langzeit-Überwachung zu rechnen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist es, erste Erfahrungen über das Verhalten von Pfählen unter zyklischen Wechsellasten in bindigen Böden zu sammeln.

2 Untersuchungsmethoden

In einem Versuchsfeld, in dem vom Zentrum Geotechnik der TU München im Rahmen eines vom Deutschen Institut für Bautechnik und der Bauwirtschaft geförderten ersten Forschungsvorhabens bereits Versuche mit Schwelllasten an Kleinverpresspfählen durchgeführt wurden, wurden an fünf neu hergestellten Kleinverpresspfählen folgende Versuche durchgeführt:

- 1 statische Pfahlprobelastung auf Zug an einem der Reaktionspfähle
- 1 statische Pfahlprobelastungen auf Druck an einem der Versuchspfähle
- 8 zyklische Pfahlversuche an 4 Versuchspfählen mit Wechsellast

Zusätzlich wurden an einem vorher auf Druck statisch vorbelasteten Pfahl zwei zyklische Pfahlversuche durchgeführt.

Um die Veränderung der Tragfähigkeit von der Schwell- zur Wechselbelastung erfassen zu können, wurden die Probepfähle baugleich zu den Pfählen der ersten Versuchsserie ausgebildet. Mit der Herstellung der Pfähle für dieses Forschungsvorhaben ist das vorhandene Probefeld auf Grund seiner engen räumlichen Ausdehnung erschöpft. Weitere Versuche sind nicht geplant. Die Konzeption, Durchführung und Auswertung der Versuche wurden vom Zentrum Geotechnik der TU München durchgeführt. Die Arbeiten wurden von der BAW begleitet

3 Ergebnisse

Zur Ermittlung des charakteristischen Herauszieh-Widerstandes wurden statische Pfahlprobelastungen (maßgebendes Versagenskriterium Kriechmaß von 2 mm) durchgeführt. In Tabelle 1 sind die bei unterschiedlichen Versagenskriterien ermittelten Pfahlwiderstände aus beiden Forschungsvorhaben dargestellt.

Versagenskriterium \ Pfahlwiderstand	$R_{t,m,i}$ [kN]		
	Pfahl F / B / E (Zug) (vorhergehendes Forschungsvorhaben)	Pfahl 1 (Zug)	Pfahl 2 (Druck)
Pfahlkopfverschiebung $s_g = 15$ mm (entspricht 10 % des Pfahldurchmessers)	94,8 / 88,5 / 83,3	89,5	140,0
$k_s \leq 1,0$ mm	80,4 / 77,6 / -	73,5	111,0
$k_s \leq 2,0$ mm	81,5 / 80,4 / -	77,5	125,0

Tabelle 1: Ergebnisse der statischen Pfahlprobelastungen

Aus der statischen Pfahlprobelastung auf Zug ergab sich ein charakteristischer Herauszieh-Widerstand von ca. 77 kN. Die aus der statischen Probelastung auf Druck ermittelte charakteristische Tragfähigkeit von 110 kN lag deutlich höher als die Tragfähigkeit auf Zug. Im Vergleich zu den im Rahmen des ersten Forschungsvorhabens ermittelten Widerständen (80 kN/Zug) wurde zwar ein etwas geringerer Herauszieh-Widerstand ermittelt, die Vergleichbarkeit der Pfähle aus beiden Forschungsvorhaben wurde dennoch als gegeben angenommen.

Die Festlegung der Lastamplitude und des mittleren Lastniveaus erfolgte unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Versuche mit Schwelllasten. Die Wechsellasten sollten, sofern der Pfahl nicht vorher versagt, über 50 000 Lastzyklen aufgebracht werden. Als Versagenskriterien für die Wechsellastversuche wurden eine mittlere absolute Pfahlkopfverschiebung von 15 mm oder eine Verschiebungsspanne (Differenz aus maximaler und minimaler Verschiebung innerhalb eines Lastzyklus) von 15 mm festgelegt.

Die Versuchsergebnisse zeigen für Pfähle unter zyklischer Belastung in bindigen Böden folgende Tendenzen im Tragverhalten auf:

- Der Verlust an Tragfähigkeit durch zyklische Belastung ist bei den untersuchten bindigen Böden geringer als bei rolligen Böden.
- Wechsellasten wirken sich ungünstiger auf das Tragverhalten der Pfähle aus als Schwelllasten.
- Bei Wechselbelastung ist neben der Zunahme an Verschiebungen auch mit einem Abfall der Tragfähigkeit der Pfähle zu rechnen.

Ver- suchs- daten Pfahl	Lastbild				Zyklusanzahl	Zyklusanzahl bis zum Versagen 1. $S_{\text{mittel}} = 15 \text{ mm}$ 2. $S_{\text{zykl}} = 15 \text{ mm}$
	F_{mittel} [kN]	$F_{\text{max.Zug}}$ [kN]	$F_{\text{max.Druck}}$ [kN]	F'_{zykl} [kN]	N [-]	
W \ Belastung 1	+5	+20	-10	15	58.030	1.: $> 10^6$ **) 2.: $> 10^7$ ***) Kein Versagenskriterium erreicht, Verschiebungen liegen unter 1 mm
W \ Belastung 2	+5	+40	-30	35	3.177	1.: ≈ 2805 2.: 518 Versagen auf Grund zu großer mittlerer Verschiebungen und zu großer Verschiebungsspannen
X	+5	+30	-20	25	39.919	1.: $> 10^6$ *) 2.: $> 7 \cdot 10^6$ ***) Steuerungsfehler bei ca. 40.000 Lastzyklen, Belastung bis ca. 200 kN, daher Auswertung bis $N = 39.919$
V – Belastung 1	+15	+40	-10	25	51.681	1.: $> 7 \cdot 10^5$ *) 2.: $> 2 \cdot 10^6$ ***) Kein Versagen, Pfahlkopfverschiebungen $< 2 \text{ mm}$
V – Belastung 2 (Teil 1 + Teil 2)	+15	+50	-20	35	16.172 (Teil 1) 18.315 (Teil 2)	1.: 19950 2.: $>$ keine Angabe möglich Versuchsabbruch auf Grund eines Steuerungsfehlers (maximale Belastung bei ca. 70 kN), Verschiebungen zu diesem Zeitpunkt bei ca. 13 mm

*) Zykluszahl aus Verschiebungsverläufen extrapoliert

**) Abschätzung

***) Zykluszahl aus Verlauf der Verschiebungsamplitude extrapoliert

Tabelle 2: Übersicht über die Wechsellastversuche, die Anzahl der aufgetragenen Belastungszyklen und die Zykluszahl bei Erreichen des Grenzkriteriums

Durch das Forschungsvorhaben konnten erste Erkenntnisse über das Verhalten von Pfählen unter Wechselbelastung in bindigen Böden gewonnen werden. Die Ergebnisse reichen jedoch nicht aus um fundierte allgemeingültige Prognosen über das dauerhafte Tragverhalten zu erlauben. Hierzu sind weitere systematische Untersuchungen erforderlich. Die bei bindigen Böden unter zyklischen Belastungen auftretenden Versagensmechanismen sind bisher weitgehend unerforscht. Auch hier wären weitere Untersuchungen sinnvoll.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Arbeiten der TU München wurden 2012 abgeschlossen und in einem Bericht zusammengefasst. Der Abschlussbericht der BAW soll 2014 aufgestellt werden. Der Abschluss des Vorhabens soll ebenfalls 2014 erfolgen.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

EA-Pfähle (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), Ernst & Sohn, 2. Auflage

6 Veröffentlichungen

- Baumbach, J (2012): Untersuchung zum Tragverhalten von axial zyklisch belasteten Mikropfählen im Ton, 32. Baugrundtagung, Forum für junge Geotechnik-Ingenieure, 26.9.2012 Mainz
- Baumbach, J (2012): Ergebnisse axial-zyklischer Belastungsversuche unter Schwell- und Wechsellasten an Mikropfählen in Ton, Johann-Ohde-Kolloquium, 7 und 8.03.2012 Karlsruhe
- Baumbach, J (2013): Beitrag zum Tragverhalten von Mikropfählen unter axial zyklischer Belastung in bindigen Böden, Schriftenreihe Lehrstuhl und Prüfamts für Grundbau, Bodenmechanik und Tunnelbau der Technischen Universität München, Heft 55

Bewertung dynamischer Probelastungen von Bohrpfählen

Netzplan-Nr.: A39520270002

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Herten, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: markus.herten@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Eine Tiefgründung wird häufig aus Ramm- oder Bohrpfählen hergestellt. Zur Abschätzung der Tragfähigkeit sind in den EA-Pfähle (2012) Erfahrungswerte aufgeführt. Für den Nachweis der Tragfähigkeit sind jedoch entweder statische oder dynamische Probelastungen erforderlich. Da dynamische Pfahlprobelastungen deutlich kostengünstiger sind als statische, besteht ein großes wirtschaftliches Interesse an deren Verwendung. Vergleichsuntersuchungen zur Tragfähigkeit aus dynamischen und statischen Probelastungen liegen nur in relativ geringer Anzahl vor. Bei gerammten Stahlpfählen zeigt sich häufig eine sehr gute Übereinstimmung wie z. B. bei Bergholz (2012) oder Baeßler et al. (2012) dargestellt. Das Verfahren ist hierfür weitgehend akzeptiert. Bei Bohrpfählen sind jedoch die Anzahl der Vergleichsuntersuchungen und auch die Akzeptanz der dynamischen Prüfung deutlich geringer.

1.2 Bedeutung für die WSV

Für die Baumaßnahmen der WSV würde es eine erhebliche Kosteneinsparung bedeuten, wenn statische Probelastungen durch dynamische ersetzt werden könnten.

1.3 Untersuchungsziel

Es soll eine verlässliche Aussage erreicht werden, inwieweit eindeutige Beziehungen zwischen statischen und dynamischen Probelastungen an Bohrpfählen bestehen und wie gut die Übereinstimmung der Ergebnisse von verschiedenen Instituten ist (Benchmark-Test).

2 Untersuchungsmethoden

Zur Evaluierung von Ergebnissen aus dynamischen Pfahlprobelastungen an Bohrpfählen wurde von BAW und BAM ein Ringversuch durchgeführt, an dem sich fünf Anbieter von dynamischen Prüfungen in Deutschland beteiligt haben. Jedem Prüfer wurde ein anderer Pfahl für die Erstprüfung zur Verfügung gestellt. Der jeweilige Prüfer war für den gesamten Vorgang von der Anbringung der Messtechnik, den gewählten Fallhöhen bis hin zur Modellbildung und Auswertung verantwortlich. Einheitlich war lediglich das Fallgewicht von 11 Tonnen. Nach Durchführung der dynamischen Pfahlprobelastungen an fünf Pfählen und Übergabe einer ersten Auswertung fanden an zwei weiteren Pfählen statische Pfahlprobelastungen statt.

3 Ergebnisse

Die durch die fünf Prüfer ermittelten Tragfähigkeiten streuten sehr stark. Der Vergleich der beiden statischen Pfahlprobelastungen (Bild 1) zeigt jedoch, dass die unterschiedlich ermittelten Tragfähigkeiten anteilig auch der Heterogenität des Baugrunds geschuldet sein können. Um diesen Einfluss auszuschließen wurde nach Austausch aller Ergebnisse und der Messsignale, der für die Auswertung verwendeten Schläge, von vier Prüfern für die fünf dynamisch geprüften Pfähle das jeweils selbe Messsignal ausgewertet. Auch hierbei ergab sich eine, ebenfalls in Bild 1 dokumentierte Streuung der ermittelten Tragfähigkeiten. Somit konnte belegt werden, dass bei den hier durchgeführten dynamischen Pfahlprobelastungen an Bohrpfählen die Auswertung durch den Prüfer einem maßgeblichen Einfluss auf die prognostizierte Tragfähigkeit hat.

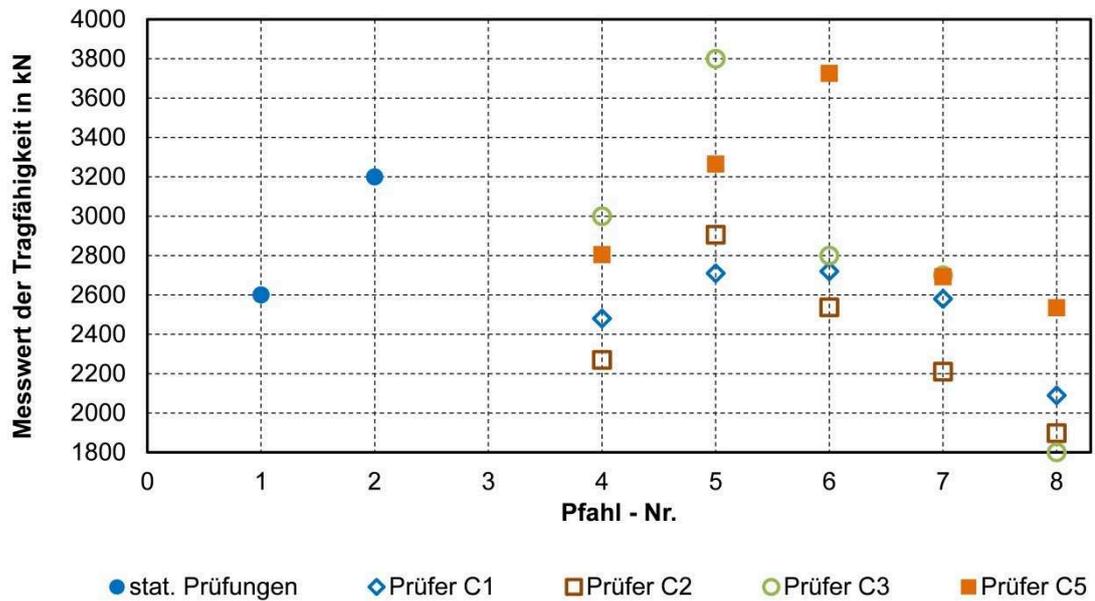


Bild 1: Vergleich statische Probelastungen und Prognosen von vier Prüfern

Einzelne Prüfer wiesen schon während der dynamischen Probelastungen darauf hin, dass nach den ersten Schlägen mit großer Fallhöhe Schäden an den Pfählen auftraten. Die Messsignale änderten sich signifikant. Zur Verifizierung wurden die Pfähle 4 und 7 bis 4 m unter Gelände temporär freigelegt (Bild 2).

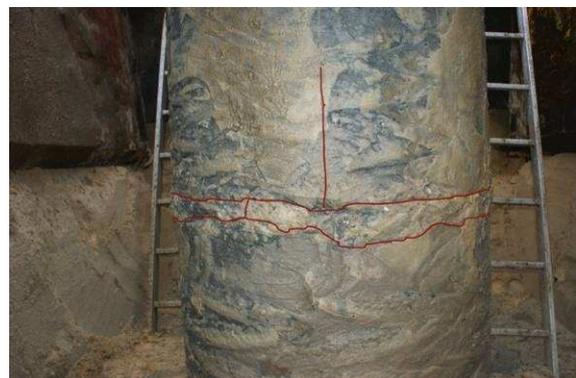


Bild 2: Freigelegter Pfahl 7 mit Rissbild

Vergleiche der dynamischen mit den statischen Prüfungen wurden durch das im Testfeld überraschend ausgeprägte Kriechverhalten, das nur bei statischen Prüfungen ermittelt werden kann, erschwert. Im Wesentlichen haben alle Prüfer festgestellt, dass die Pfähle des Ringversuchs gegenüber den Erfahrungswerten der EA-Pfähle (2012) niedrige Tragfähigkeiten aufweisen. Unabhängig hiervon hat sich jedoch auch gezeigt, dass sich allein bei der Auswertung der Messsignale eines Schlages durch unterschiedliche Prüfer über 30 % abweichende Grenztragfähigkeiten ergaben. Die aktuelle Normung berücksichtigt die unterschiedliche Aussagekraft einer dynamischen Prüfung gegenüber einer statischen mit Erhöhungen der Streuungsfaktoren, die in der gleichen Größenordnung liegen. Aufgrund dieser Ergebnisse beauftragte der Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT den Unterausschuss „Dynamische Pfahlprüfung“ sich diesem Thema anzunehmen und für andere Standorte Auswertungen eines Messsignale durch verschiedene Prüfer vorzunehmen und auftretende Differenzen zu analysieren.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Veröffentlichung der Ergebnisse auf einer Tagung (International Conference on Piling and Deep Foundations) und in einer Fachzeitschrift (Soils and Foundations, Japanese Geotechnical Society).

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

- Bergholz, K. (2012); Vertikale Grenztragfähigkeit von Spundwänden im Lockergestein, 32. Baugrundtagung, Tagungsband Forum für junge Geotechniker, S. 167-174,
EA-Pfähle (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), Ernst & Sohn, 2. Auflage
Baeßler, M., Niederleithinger, E., Georgi, S., Hertel, M. (2012): „Evaluation of the dynamic load test on bored piles in sandy soil“. In: Matsumoto, T.: IS Kanazawa 2012 - 9th International conference on testing and design methods for deep foundations, S. 155-162

6 Veröffentlichungen

- Niederleithinger, E.; Baeßler, M.; Georgi, S.; Hertel, M.; Tronicke, J.; Rumpf, M. (2012): „Geotechnical and geophysical characterisation of a pile test site in post-glacial soil“. In: Coutinho, R., & P. Mayne: Geotechnical and Geophysical Site Characterisation 4, CRC Press
Hertel, M.; Baeßler, M.; Niederleithinger, E.; Georgi, S. (2013): Bewertung dynamischer Pfahlprobelastungen an Bohrpfählen, Pfahl-Symposium 2013, 21. - 22. Februar 2013, Institut für Grundbau und Bodenmechanik TU Braunschweig
Baeßler, M.; Niederleithinger, E.; Hertel, M.; Georgi, S. (2013): Dynamische Pfahlprobelastungen an Bohrpfählen in einem Testfeld: Ein Ringversuch, Christian Veder Kolloquium, Graz
Schilder, C.; Kohlhoff, H.; Hofmann, D.; Basedau, F.; Habel, W. R.; Baeßler, M.; Niederleithinger, E.; Georgi, S.; Hertel, M. (2013): Static and dynamic pile testing of reinforced concrete piles with structure integrated fibre optic strain sensors, Proc. of SPIE, 5th European Workshop on Optical Fibre Sensors, Krakow, Poland, May 19, 2013

Modellierung des Tragverhaltens von Verpressankern in Sand

Netzplan-Nr.: A39520270003

Projektleiterin: Dipl.-Ing. X. Stodieck, Abteilung Geotechnik, Referat Grundbau (G2)

E-Mail: xenia.stodieck@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Verpressanker weisen ein äußerst komplexes Tragverhalten auf, welches von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird. Da die Vorgänge des Lastabtrags in den Boden und die Einflüsse verschiedener Herstellungsparameter auf den Herausziehwiderstand wenig bekannt ist, basiert die Bemessung von Verpressankern bisher auf empirischen Werten. Falls für die Vorbemessung nicht genügend Erfahrungswerte für die örtlichen Baugrundverhältnisse zur Verfügung stehen, müssen gegebenenfalls im Vorfeld Probeanker für vorgezogene Eignungsprüfungen hergestellt werden. Um die in der Ausführungsstatik geforderte Tragfähigkeit nachzuweisen, ist in der Regel für jede Baumaßnahme eine Eignungsprüfung an drei Anker und nach der Herstellung an jedem Anker ein Belastungstest (Abnahmeprüfung) vorgeschrieben. Die Feststellung des tatsächlichen Herausziehwiderstandes erfordert jedoch eine Belastung bis zum Versagen des Ankers.

Für die realistische Simulation des Tragverhaltens von Verpressankern ist die Berücksichtigung der einzelnen Mechanismen des Tragverhaltens (Verbund zwischen Zement und Boden, Verspannung im Baugrund durch Dilatanz, Lastumlagerung am Verpresskörper etc.) notwendig. Diese sind bisher jedoch noch nicht ausreichend untersucht. Unter anderem ist nicht vollständig geklärt, in wiefern die Ankerherstellung und insbesondere der Verpressvorgang den Spannungszustand und die Bodeneigenschaften des anstehenden Bodens verändert und welchen Einfluss die Höhe des Verpressdrucks auf den Herausziehwiderstand hat. Da die mechanischen Eigenschaften und der Spannungszustand des anstehenden Bodens jedoch entscheidend für die realistische Simulation des Tragverhaltens von Verpressankern sind, ist eine zuverlässige numerische Berechnung des Herausziehwiderstands bisher nicht möglich.

1.2 Bedeutung für die WSV

In der WSV wird jährlich eine Vielzahl von Verpressankern hergestellt. Die Tragfähigkeit dieser Anker ist neben den Baugrundeigenschaften und dem Ankertyp trotz normativer Regelungen maßgeblich von der Herstellung beeinflusst, d. h. verschiedenen Firmen bzw. auch Kolonnen einer Firma erreichen unterschiedliche Herausziehwiderstände. Gelingt es, maßgebliche Herstellungsparameter zu identifizieren, können diese entsprechend gefordert und überwacht werden. Des Weiteren ermöglicht ein besseres Verständnis des Tragverhaltens von Verpressankern gegebenenfalls die numerische Prognose des Herausziehwiderstands und eine Validierung der zurzeit üblichen empirischen Abschätzung.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist die Entwicklung eines numerischen Modells, welches das Tragverhalten von Verpressankern unter bestimmten Randbedingungen abbildet. Als Grundlage für die numerische Simulation sollen die Mechanismen der Lastabtragung sowie die Herstellungseinflüsse zur Optimierung der Ankertechnik ermittelt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen der Herstellung von Probeankern finden an verschiedenen Standorten Druckmessungen im Bohrloch während und nach dem Verpressvorgang statt. Verpressanker werden mit Drucksensoren bestückt, um die Verteilung des Verpressdrucks über die Verpresskörperlänge zu untersuchen. Sondierungen mit einem Flat-Dilatometer sollen Aufschluss über den Einfluss der Ankerherstellung auf den Spannungszustand im angrenzenden Boden geben.

Ergänzend zu den Feldversuchen wird anhand von Laborversuchen das Filtrationsverhalten von Zementsuspension in Sand sowie die die mechanischen Eigenschaften des noch nicht ausgehärteten Verpressgutes untersucht.

Auf der Grundlage der durchgeführten Feld- und Laborversuche findet anschließend die Entwicklung ein numerisches Modells statt, welches den Einfluss des Herstellungsprozesses und verschiedene Mechanismen des Tragverhaltens von Verpressankern berücksichtigt. Anschließend ist eine Validierung des numerischen Modells durch Nachrechnen instrumentierter Ausziehversuche vorgesehen.

3 Ergebnisse

Als Grundlage für die Entwicklung eines numerischen Modells fanden Untersuchungen der Einflüsse der Ankerherstellung in nichtbindigen Böden statt.

Bereits im Vorfeld der Projektlaufzeit wurden in Zusammenarbeit mit der Uni Trondheim (NTNU), Norwegen, Sensoren für die Messung des Verpressdrucks im Bohrloch entwickelt, hergestellt und eingesetzt. Die Druckmessungen im Bohrloch zeigten, dass eine Filtration der Zementsuspension bei der Herstellung von Verpressankern in Sand stattfindet. Direkt nach Ankereinbau wurde eine hydrostatische Spannungsverteilung der Zementsuspension gemessen, aber bereits nach kurzer Zeit war ein Rückgang der Spannungen zu verzeichnen. Dies deutet auf Filtration der Zementsuspension allein durch Eigengewicht hin. Während des Verpressvorgangs wurde dann ein Übergang von hydrostatischer zu anisotroper Spannungsverteilung beobachtet, was sich durch Entwicklung einer Schubsteifigkeit des Materials durch Ausfiltern erklären lässt. Messungen auf unterschiedlichen Baustellen mit ähnlichen Baugrundverhältnissen haben gezeigt, dass die Art der Ankerherstellung große Auswirkungen auf die Spannungsentwicklung und die Filtrationszeit der Zementsuspension hat.

Zusätzlich zu den Druckmessungen im Bohrloch wurden in etwa 30 cm Entfernung vom Bohrloch Erddruckmessungen mit einem Flat-Dilatometer durchgeführt. Sondierungen vor und nach Ankerherstellung haben gezeigt, dass durch das Verpressen von Zementsuspension in das Bohrloch die Radialspannungen im direkt angrenzenden Bodenbereich erhöht wurden. Um die quantitative Spannungserhöhung durch Verpressen allgemein beurteilen zu können, wird allerdings eine größere Datengrundlage benötigt. Ergänzende Laborversuche an der NTNU in Trondheim gaben Aufschluss über das Filtrationsverhalten der Zementsuspension sowie die mechanischen Eigenschaften des Filterkuchens. In einer ersten Testserie mit Sand als Filtermedium war kein offensichtliches Eindringen des Zements in den Porenraum des Sandes festzustellen und ein klarer Übergang zwischen Sand und Zement zeichnete sich ab. Daher wurde in den folgenden Tests auf den Einbau des Sandes als Filtermedium verzichtet und ein Filterstein mit Filterpapier verwendet. In 19 Versuchsreihen wurde der Wassergehalt der Zementsuspension zwischen $w/z = 0,4$ und $0,6$ variiert und Verpressdrücke zwischen 2 und 15 bar verwendet. Die Versuche zeigen einen linearen Zuwachs der Filterkuchendicke mit $\sqrt{\text{Zeit}}$. Die festgestellte Filtrationsrate der Zementsuspension ist abhängig vom Wassergehalt der Suspension und vom Verpressdruck. Je höher der Druck und je geringer der Wassergehalt, desto schneller bildet sich ein Filterkuchen aus.

Zur Berechnung des Filtrationsvorganges von Zementsuspension wurden zwei verschiedene Ansätze gegenübergestellt: Zwei-Phasen-Filtrationstheorie (McKinley and Bolton, 1999) und Terzaghi-Konsolidierung (Lee et al., 2012; Picandet et al., 2011). Die Ansätze stellen eine obere und untere Grenze des tatsächlichen Filtrationsverhaltens dar (vgl. Bild 1). Für beide Modelle wurden Berechnungsparameter über Rückrechnung der Versuchsergebnisse ermittelt. Das verwendete Zwei-Phasen-Filtrationsmodell ist ein analytischer Ansatz, basierend auf der Ausfilterung von Feststoffteilchen aus einer Flüssigkeit. Die Berechnung mit diesem Modell ermöglicht die direkte Ermittlung der Filterkuchendicke. Bei der Berechnung mittels Konsolidierungstheorie hingegen geht diese nicht aus der Berechnung hervor, kann aber über den Konsolidierungsgrad abgeschätzt werden.

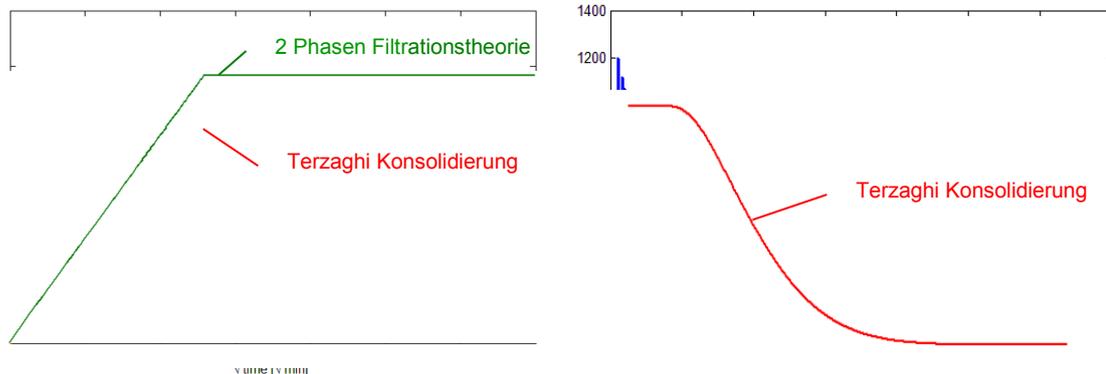


Bild 1: Typisches Ergebnis eines Filtrationstests. Vertikale Stempelbewegung (links) und Porenwasserdruck gemessen am Stempel (rechts)

Im Anschluss an die Filtrationsversuche erfolgte eine Untersuchung der Eigenschaften des noch nicht abgeordneten Filterkuchenmaterials. Der Wassergehalt des Filterkuchenmaterials lag für Verpressdrücke $\geq 500\text{kPa}$ im Mittel bei 0,29, während er für geringe Verpressdrücke 0,32 betrug. Die Wasserdurchlässigkeit des Filterkuchens liegt zwischen $k=3 \times 10^{-8}$ und 2×10^{-7} m/s, abhängig von der Porenzahl des Filterkuchens. Belastungstests des nicht ausgehärteten Filterkuchenmaterials im Einaxialen-Druckversuch zeigten eine Druckfestigkeit von über 200 kPa.

In Triaxialversuchen wurde ein Reibungswinkel von ca. 38° und eine Kohäsion von 30 kPa ermittelt. Ödeometerversuche zeigten eine spannungsabhängige Steifigkeit des Materials, die sich näherungsweise mit

$$E_{\text{Oed}} = 4.4 \dots 5.9 * \left(\frac{\sigma_v'}{100}\right)^{0.75}$$

beschreiben lässt. Bei Ent- und Widerbelastung wies das Material eine wesentlich höhere Steifigkeit auf. Doch bereits durch den Verpressvorgang wurde dem Filterkuchenmaterial eine Vorbelastung eingepreßt, welche sich in den Ödeometerversuchen durch eine anfänglich höhere Steifigkeit bei Vertikalspannungen unterhalb des jeweils angewandten Verpressdruckes auszeichnete.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Auf der Grundlage der Versuchsergebnisse erfolgt in der aktuellen Projektphase die Entwicklung eines numerischen Modells, mit dem der Verpressvorgang bei der Ankerherstellung zutreffend abgebildet und Einflüsse des Verpressens auf die Eigenschaften und den Spannungszustand im Verankerungsbereich ermittelt werden können.

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

- Lee, S.-W.; Kim, T.-S.; Sim, B.-K.; Kim J.-S., Lee, I.-M. (2012): "Effect of pressurized grouting on pullout resistance and group efficiency of compression ground anchor". *Canadian Geotechnical Journal*. 49 (8): 939-953.
- McKinley, J. D., Bolton, M. D. (1999): "A geotechnical description of fresh cement grout - filtration and consolidation behaviour". *MAGAZINE OF CONCRETE RESEARCH*. 51 (5): 295-308.
- Picandet, V.; Rangeard, D.; Perrot, A., Lecomte, T. (2011): "Permeability measurement of fresh cement paste". *Cement and Concrete Research*. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00716295>.

6 Veröffentlichungen

Stodieck, X., Benz, T. (2013): „Cement grout filtration in non-cohesive soils“. *International Conference on Installation Effects in Geotechnical Engineering*, Rotterdam.

Hydraulischer Grundbruch unter unterströmten Bauwerken mit luftseitigen Auflastfilter

Netzplan-Nr.: A39520370001

Projektleiterin: Dipl.-Ing. Ch. Laursen, Abteilung Geotechnik, Referat Grundwasser (G3)

E-Mail: charlotte.laursen@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Auf Grundlage numerischer Grundwasserströmungsberechnungen durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass für Baugruben mit unterströmten, relativ gering in den Untergrund einbindenden Wänden und baugrubenseitigem Auflastfilter der Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch gemäß den deutschen, aktuellen geotechnischen Regelwerken keine auf der sicheren Seite liegenden Ergebnisse liefert. Dies ist begründet durch die in diesem Fall signifikanten, vertikalen Strömungsanteile unterhalb des Wandfußes, die in üblichen Berechnungsansätzen nicht berücksichtigt werden. Zur sicheren Dimensionierung des Auflastfilters wurde von der BAW ein auf numerischen Strömungsberechnungen basierendes Verfahren vorgestellt, durch das auch die vertikalen Strömungskräfte unterhalb des Wandfußes sowie zusätzlich Sicherheiten nach DIN 1054 berücksichtigt werden (Odenwald, Herten, 2008).

1.2 Bedeutung für die WSV

Bei Baumaßnahmen an Schifffahrtskanälen werden in zunehmendem Maß tiefe Baugruben unmittelbar neben in Betrieb befindlichen Kanalstrecken erstellt, um den Schifffahrtsbetrieb auch während der Baumaßnahme aufrecht zu erhalten. Um die aus dem Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch resultierende, erforderliche Einbindetiefe der Baugrubenumschließungswände in den Baugrund zu reduzieren, erfolgt die Sicherung gegen hydraulischen Grundbruch oft durch einen Auflastfilter auf der Baugrubensohle. Die Entwicklung eines auf der sicheren Seite liegenden Berechnungsansatzes ist für die WSV von grundlegender Bedeutung für die sichere und wirtschaftliche Durchführung von Baumaßnahmen an Bundeswasserstraßen.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel des Forschungsvorhabens ist die Untersuchung des Versagensmechanismus des hydraulischen Grundbruchs bei luftseitig aufgebrachtem Auflastfilter. Auf Grundlage der im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführten Untersuchungen, die sich aus numerischen Berechnungen und Modelluntersuchungen zusammensetzen, soll der von der BAW entwickelte, vereinfachte Berechnungsansatz (Odenwald, Herten, 2008) validiert und ggf. weiterentwickelt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Der Fokus liegt auf der Durchführung von Versuchen zur Visualisierung des Bruchvorganges. Zur visuellen Auswertung der Versuche wird die Particle Image Velocimetry (PIV) Method eingesetzt. Ergänzend werden numerischen Berechnungen mittels Diskrete-Elemente-Methode (Particle Flow Code) durchgeführt um die Ergebnisse der Modellversuche nachzumodellieren.

3 Ergebnisse

Im Auftrag der BAW wurden von der Universität der Bundeswehr München (Prof. Boley) ein Versuchsstand zur Visualisierung des Versagens durch hydraulischen Grundbruch bei Unterströmung einer Spundwand erstellt und insgesamt 22 Versuche mit einer umfangreichen messtechnischen Begleitung durchgeführt. Im Rahmen dieser Versuche wurden die Einbindetiefe der Spundwand und die Einbaustärke des Filters variiert. Die Versuche zeigten, dass der zeitliche Ablauf des Versagensprozess bei den Versuchen mit geringer Filterdicke und denen mit größerer Filterdicke grundsätzlich verschieden ist und belegen somit, dass die Dicke des Filters einen bedeutenden Einfluss auf den Versagensprozess hat. Bei den Versuchen mit geringer Filterschichtdicke zeigten sich deutliche Hebungen in dem der Spundwand vorgelagerten Bereich bereits einige Potenzialstufen bevor der eigentliche Bruch eintrat. Bei den Versuchen, die mit großen Filterdicken durchgeführt wurden, trat der Bruch ein bis drei Minuten nach Beobach-

ung der ersten Hebungen auf. Beispielhaft sind in Bild 1 die absoluten Bewegungen im Bereich des Spundwandfußes für verschiedene Potenzialstufen dargestellt, die mit Hilfe der Particle Image Velocimetry (PIV) Method ausgewertet wurden.

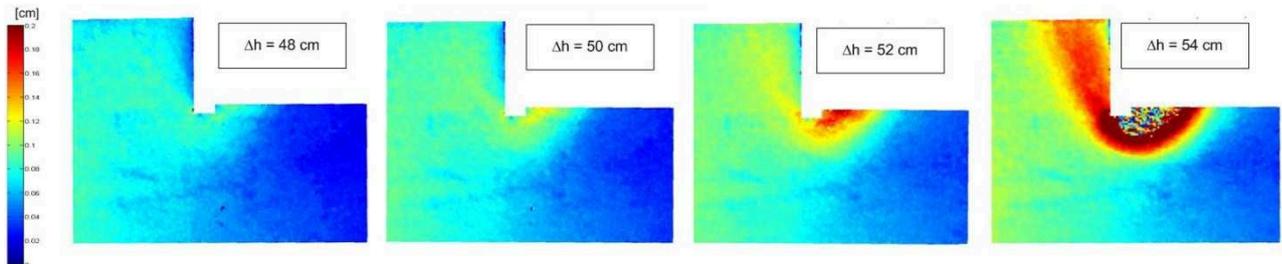


Bild 1: Absolute Bewegungen im Bereich des Spundwandfußes für verschiedenen Potentialstufen

Um eine direkte Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse mit dem Berechnungsansatz nach Odenwald und Herten (2008) zu schaffen, wurde der Berechnungsansatz an die Randbedingungen des Modellversuches angepasst. Bild 2 zeigt die im Versuch und anhand des Berechnungsansatzes ermittelten maximalen (kritischen) Potentialdifferenzen Δh_{krit} in Abhängigkeit der Einbindetiefe der Spundwand. Die Werte zeigen eine relativ gute qualitative Übereinstimmung. Quantitativ ist jedoch eine deutliche, mit zunehmender Dicke des Auflastfilters wachsende Abweichung zu erkennen.

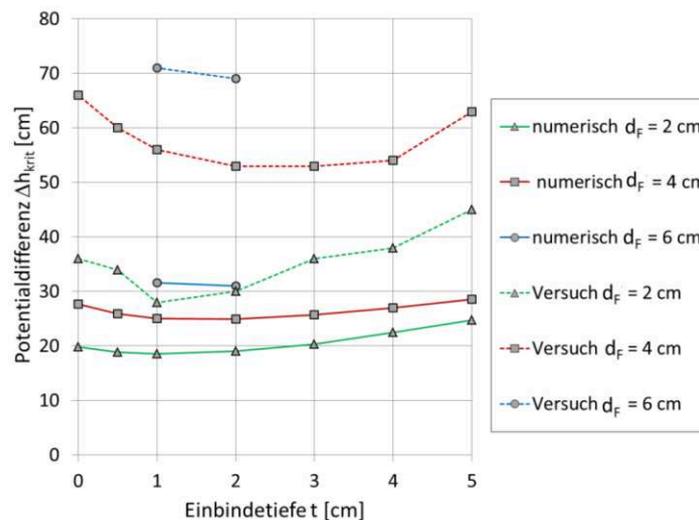


Bild 2: Vergleich Versuchsserie - Berechnungsansatz nach Odenwald und Herten (2008)

Zur Modifizierung des Berechnungsansatzes nach Odenwald und Herten (2008) wurden folgende Varianten betrachtet:

- Variante 1: Ersatzkörpergeometrie entsprechend der mittels PIV Methode erfassten Versagenskörpergeometrie und
- Variante 2: Ersatzkörpergeometrie auf Grundlage der Verteilung des kritischen hydraulischen Gradienten i_{krit} .

Bei beiden Varianten wurden außerdem zusätzlich Reibungskräfte berücksichtigt. Die beste Übereinstimmung mit den Versuchsergebnissen ergab sich für eine Ersatzkörpergeometrie entsprechend Variante 2.

Um die mechanische Wirkung eines Auflastfilters grundlegend zu analysieren, wurden in einem weiteren Schritt vereinfachte, eindimensionale Durchströmungsversuche durchgeführt. Dabei wurde eine zylindrische, mit einem Auflastfilter belastete Bodenprobe vertikal von unten nach oben durchströmt (Bild 3). Verwendet wurden die Böden aus der ersten Versuchsreihe sowie als weitere Abstraktion aus Glasku-

geln bestehende Körnungen. Auch bei diesem Versuchsaufbau wurden Porenwasserdrücke, Hebungen des Auflastfilters und der Durchfluss erfasst.

Dabei war geplant, die Glaskugelmodellversuche durch numerischen Berechnungen mittels Particle Flow Code (PFC) in Verbindung mit Coupled Computational Fluid Dynamics (CCFD) im Abbildungsmaßstab 1:1 nachzusimulieren. Die gekoppelten Berechnungen für die hier verwendete Kugelanzahl haben sich jedoch als so rechenintensiv und störungsempfindlich herausgestellt, dass sie im Rahmen der Projektbearbeitung nicht realisiert werden konnten. Die Berechnungen wurden daher mit einer verringerten Anzahl an Elementen durchgeführt, wodurch jedoch Modelleffekte zu berücksichtigen sind und eine repräsentative Abbildung der Strömungs-Verformungs-Interaktion nicht mehr möglich war. Die Ergebnisse sind daher nur eingeschränkt aussagefähig.



Bild 3: Versuchsaufbau der Zylinderdurchströmungsversuche

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Ergänzende numerische Simulationen der Zylinderdurchströmungsversuche mittels des Particle Flow Codes (PFC) in Verbindung mit Coupled Computational Fluid Dynamics (CCFD)
2015: Erstellung Schlussbericht

Laufzeit des Vorhabens von 2009 bis 2015.

5 Literatur

Odenwald, B; Herten, M. (2008): Hydraulischer Grundbruch: neue Erkenntnisse, Bautechnik 85/9, S. 585 – 595.

6 Veröffentlichungen

Schober, P., Boley, C., Odenwald, B. (2011): Research on hydraulic heaves at excavations with surcharge filters. 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE 2011), 12. - 15. September 2011, Athen, Griechenland, pp. 575 - 580

Schober, P., Boley, C., Odenwald, B., (2011): Hydraulic Heave Safety at Excavations with Surcharge Filters. 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk (ISGSR). 02. - 03. Juni 2011, Munich, Germany, pp. 677 - 684

Schober, P., Odenwald, B. (2012): Der Einfluss eines Auflastfilters auf die Bruchmechanik beim hydraulischen Grundbruch. BAWMitteilungen Nr. 95 „Johann-Ohde-Kolloquium“, Karlsruhe, S. 151 – 162.

Hydraulische Wechselwirkungen zwischen Grund- und Oberflächenwasser

Netzplan-Nr.: A39520370002

Projektleiter: Dr.-Ing. H. Montenegro, Abteilung Geotechnik, Referat Grundwasser (G3)

E-Mail: hector.montenegro@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Flussauen werden im Uferbereich durch die Überflutungsdynamik und mitunter bis weit ins Hinterland durch die Grundwasserdynamik geprägt. Änderungen der Abflussverhältnisse oder des hydraulischen Anschlusses an der Gewässersohle, beispielsweise durch Anpassungsmaßnahmen, wirken somit unmittelbar auf das Grundwasserregime und letztlich auf den Wasserhaushalt der Aue. Die 2009 erfolgte Deichrückverlegung in Lenzen eröffnet die Möglichkeit den komplexen Wirkungszusammenhang zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser im Naturmaßstab zu beobachten und derzeit verwendete Modellansätze kritisch zu überprüfen.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Austauschprozesse zwischen Oberflächen- und Grundwasser werden in der Regel über großräumige Wasserbilanzen abgeschätzt, da die einzelnen Austauschvorgänge im Feldmaßstab messtechnisch sehr schwer zu bestimmen sind. Derzeitige Modellvorstellungen gehen von einem von der Potentialdifferenz Δh zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser abhängigen Wasseraustausch Q_L aus, der durch einen „Übergangswiderstand“ (Leakagekoeffizient λ) gesteuert wird. Allerdings beobachtet man häufig unterschiedliche Leakageflüsse Q_L bei Infiltration und Exfiltration trotz identischer Potentialdifferenz Δh . Ferner gibt es Hinweise, dass die Beziehung zwischen Potentialdifferenz und Leakagefluss einen hysteretischen Verlauf im Auf- und Ablauf eines Hochwasserereignisses aufweist, was auf eine zeitliche Abhängigkeit hinweist.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aufgrund gesteigerter Anforderungen an die Belastbarkeit von Prognosen der Auswirkungen von wasserbaulichen Unterhalts- und Ausbaumaßnahmen auf die Grundwasserdynamik in Flussauen, ist ein besseres Verständnis der Austauschprozesse zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser unerlässlich. Voraussetzung hierfür sind Naturmessungen im relevanten Maßstab des Wasseraustauschs zwischen den Wasserkörpern.

1.3 Untersuchungsziel

Zentrales Ziel des Forschungsvorhabens ist es, das Prozessverständnis des Wasseraustauschs zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser zu vertiefen. Voraussetzung hierfür sind räumlich und zeitlich hinreichend aufgelöste Messdaten der Wasserstände im Oberflächen- und Grundwasser. In Phasen, in denen kein hydraulischer Anschluss zwischen Flutmulden und Fluss besteht, können, basierend auf einem digitalen Geländemodell (DGM), die in Flutmulden des Untersuchungsgebiets gemessenen Wasserstandsänderungen in Wasserflüsse Q_L aus oder zum Grundwasser (unter Berücksichtigung von Niederschlag und Evaporation) umgerechnet werden. Die für die einzelnen Flutmulden bestimmten zeitlichen Verläufe der Q_L - Δh -Beziehungen sind dahingehend zu untersuchen,

- ob eine generelle Richtungsabhängigkeit (In-/Exfiltration) vorliegt,
- wie die Veränderung der Kontaktfläche (infolge Wasserstandsänderung) zwischen Oberflächengewässer und Grundwasserleiter den Austauschbeeinflusst,
- ob eine Zeitabhängigkeit während der In- und/oder Exfiltration vorliegt und
- ob Erosions- und Sedimentationsphasen den Übergangswiderstand maßgebend beeinflussen.

Im Nachlauf hierzu werden mittels eines instationären Grundwasserströmungsmodells mit konventionellem Leakageansatz die Grundwasserstände sowie die für die Flutmulden berechneten Austauschraten Q_L zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser ermittelt und den Messwerten gegenüber gestellt. Die Abweichungen lassen eine Bewertung des Austauschansatzes zu und geben möglicherweise Hinweise, wie dieser zu erweitern ist, um die Austauschprozesse besser abbilden zu können.

2 Untersuchungsmethoden

Um das Ein- und Abfließen von Hochwasserereignissen im Deichrückverlegungsgebiet Lenzen detailliert zu erfassen, konnten mit Unterstützung der Bundesanstalt für Gewässerkunde (KLIWAS Vorhaben 5.06 „Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation der Flussauen“) und in Abstimmung mit dem BAW-Referat W2 Oberflächenwassermessstellen eingerichtet werden. Die Lage der Oberflächenwassermessstellen (OW), der Grundwassermessstellen (GW) sowie das Relief im Untersuchungsgebiet (schwarze Berandung) sind in Bild 1 dargestellt. Die Wasserstandsmessdaten werden in einem Datenlogger gespeichert und, sobald die Wasserstände unter den Messstellenkopf abgefallen sind, per Funk übertragen.

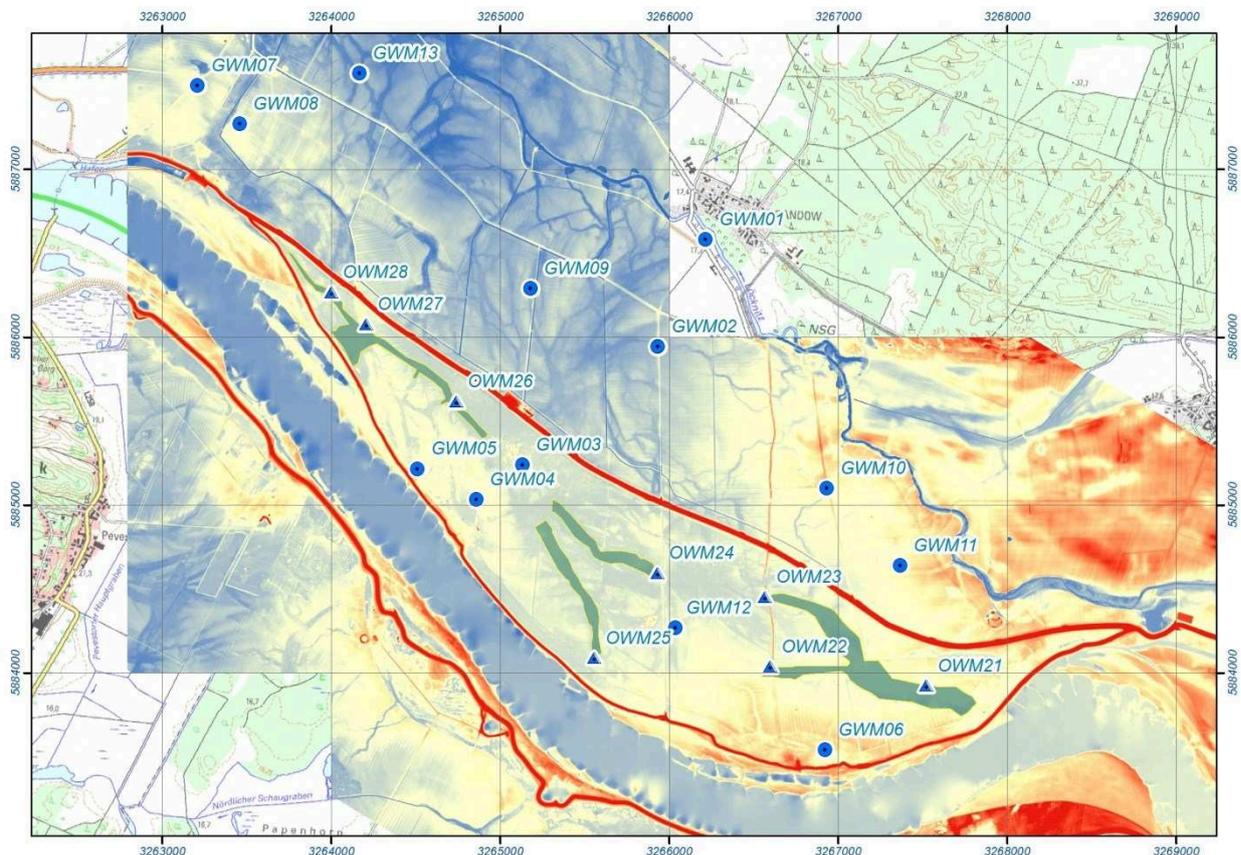


Bild 1: Relief (rot: hoch, blau: tief) im Deichrückverlegungsgebiet Lenzen, Lage der Oberflächenwassermessstellen (Dreiecke) und Grundwassermessstellen (Kreise) sowie der Flutrinnen (olivgrün) im Vordeichgebiet.

3 Ergebnisse

Das Jahr 2013 war geprägt von zeitlich kurz aufeinander auflaufenden Hochwasserereignissen, die zu einer Durchströmung des neu eröffneten Vorlandes führten, wie in Bild 2 dargestellt. Die Bewährungsprobe des Messsystems erfolgte beim Ereignis vom Juni 2013, bei dem Messstellen über mehrere Wochen bis zu 5 m überstaut waren. Die Wasserstandsdynamik konnte trotzdem lückenlos aufgezeichnet werden. Die Messungen liefern einen detaillierten Einblick in den Verlauf der Ein- und Durchströmung im Vorland. Bild 2 zeigt, wie die in den Oberflächenwassermessstellen erfassten Wasserstände von der in der Elbe (dargestellt als Wasserstand am Pegel Lenzen) auflaufenden Hochwasserwelle gesteuert werden. Sobald bei ablaufender Welle der hydraulische Anschluss zwischen Fluss und Flutmulden abreißt, erfolgt eine gegenüber der Elbe deutlich verzögerte Wasserstandsänderung, die im Wesentlichen über den Anschluss an das Grundwasser gesteuert wird.

Die Grundwasserströmung im Untersuchungsgebiet wurde auf Grundlage eines instationären 2D Finite-Elemente Modells für das Jahr 2012 untersucht. Trotz erheblicher Vereinfachungen war das Grundwassermodell in der Lage, die generelle Grundwasserdynamik während des Überflutungsereignisses plausibel abzubilden, wenn auch an manchen Stellen die gemessenen Grundwasserstandsganglinien nicht über den gesamten Berechnungszeitraum zufriedenstellend wiedergegeben werden konnten. In wie weit dies eine Folge des verwendeten Leakage-Ansatzes ist, konnte noch nicht abschließend geklärt werden.

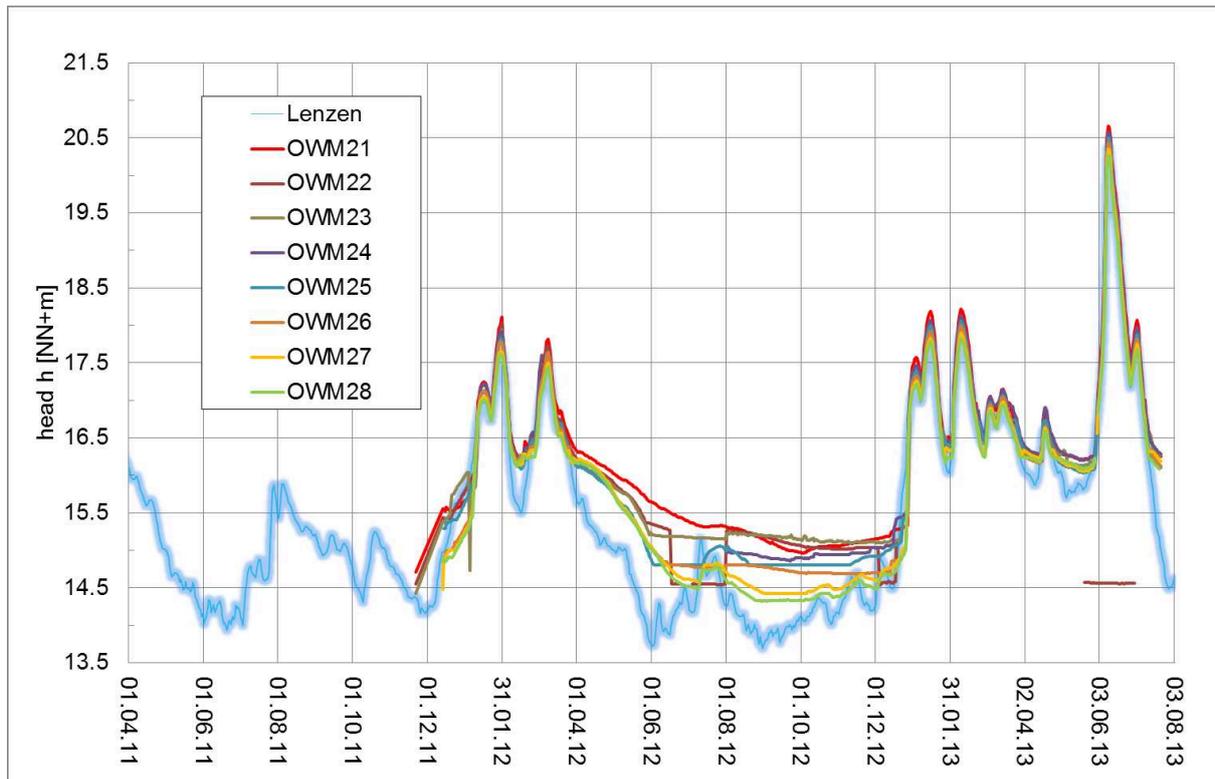


Bild 2: Im Deichrückverlegungsgebiet Lenzen erfasste Überflutungsereignisse.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Der für das Jahr 2013 vorgesehene Abschlussbericht konnte aus Zeitmangel nicht fertiggestellt werden und wird für 2014 angestrebt.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

Ein umfassender Überblick über die vielfältigen Untersuchungen verschiedener Fachdisziplinen zur Deichrückverlegung in Lenzen findet sich im:

BAW-Mitteilungsblatt Nr. 97, Dezember 2013, Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe.

6 Veröffentlichungen

Montenegro, Héctor (2013): Untersuchung des Wirkungszusammenhangs zwischen Abflussdynamik und Grundwasser. In BAW Mitteilungsblatt Nr. 97, Die Deichrückverlegung bei Lenzen an der Elbe

Kolmation als Schlüsselgröße der Wechselwirkung Oberflächenwasser – Grundwasser

Netzplan-Nr.: A39520370003

Projektleiter: Dipl.-Geol. D. Straßer, Dr.-Ing. H.J. Lensing, Abteilung Geotechnik,
Referat Grundwasser (G3)

E-Mail: daniel.strasser@baw.de, hoerby.lensing@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Interaktion zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser wird neben den hydrogeologischen Randbedingungen maßgeblich durch die Gewässerstruktur, Substratzusammensetzung der Gewässersohle und der Ausbildung des Grundwasserleiters gesteuert. Hierbei ist die Kolmation einer Gewässersohle, d.h. alle Vorgänge die zu einer Reduktion des Porenvolumens, einer Verfestigung des Filtermediums und zu einer Durchlässigkeitsabnahme der Gewässersohle führen, als Schlüsselgröße zu sehen. Prinzipiell wird zwischen einer äußeren Kolmation, d. h. einer Ablagerung von Wasserinhaltsstoffen auf der Gewässersohle, einer inneren Kolmation, d. h. einem Eintrag und einer anschließenden Ablagerung von Wasserinhaltsstoffen in der Gewässersohle, sowie einer biologischen und physiko-chemischen Kolmation, d. h. einer Förderung der Kolmationsbildung durch biologische sowie physiko-chemische Prozesse, unterschieden. Dabei wird die Kolmation von Gewässersohlen von zahlreichen zeitlich und räumlichen variablen Einflussfaktoren beeinflusst.

Die maßgebenden Parameter für die Kolmation sind nach SCHÄCHLI (1992) die Sohlenschubspannung, der hydraulische Gradient zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer, der Schwebstoff- und Geschiebehaushalt des Oberflächengewässers und die Kornverteilung der Gewässersohle. Die Verteilung der hydraulischen Durchlässigkeit im angrenzenden Grundwasserleiter hat zudem einen maßgeblichen Einfluss auf die Kolmation. Dadurch liegt i. d. R. ein heterogenes Strömungsfeld zwischen Oberflächengewässer und Grundwasser vor, das sowohl durch die Heterogenität des Grundwasserleiters als auch die Heterogenität der Gewässersohle geprägt wird. Zudem werden Gewässersohlstrukturen auch stark durch zeitlich variierende äußere Faktoren (z. B. jahreszeitlichen Unterschiede im Abflussregime und im Sedimenttransport) sowie durch das wasserbaulichen Regelungskonzept geprägt. Insgesamt ergeben sich dadurch sehr komplexe Wirkungszusammenhänge.

Die komplexen Wirkungszusammenhänge zahlreicher Einflussfaktoren sind durch zahlreiche Forschungsaktivitäten bereits identifiziert und untersucht sowie in der Fachliteratur beschrieben worden. Jedoch sind bisher kaum Untersuchungen durchgeführt worden, die die besonderen Randbedingungen, die an Bundeswasserstrassen anzutreffen sind, entsprechend berücksichtigen. Dadurch ist eine belastbare Prognose von Auswirkungen, die durch wasserbauliche Maßnahmen bedingt sind, auf die Wechselwirkung zwischen Oberflächengewässern und Grundwasser im Bereich der Bundeswasserstrassen nur unzureichend möglich.

Die Schwerpunkte der bisher durchgeführten Forschungsarbeiten auf diesem Themengebiet, beschränken sich zum größten Teil auf die Kolmationsphänomene bei freifließenden Gewässern in alluvialen nicht bindigen Ablagerungen (z. B. SCHÄCHLI, 1993), auf die Rolle der Wechselwirkungen zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser auf Flora und Fauna in der hyporheischen Zone (z. B. BRUNKE und GONSER, 1997) sowie auf ihre Bedeutung auf die natürliche Grundwasserneubildung (z. B. MITCHELL-BRUKER et al.) .

Für die im Rahmen des FuE-Vorhabens relevanten Einflussfaktoren wurden Laborversuchen durchgeführt (SCHÄCHLI, 1993). Wie bereits BLASCHKE et al. (2003) feststellt, erfolgte jedoch bisher noch keine Verifizierung der Ergebnisse dieser Laborversuche anhand von Feldversuchen. Zudem gibt es auch kaum Untersuchungen die die für Bundeswasserstrassen charakteristischen Randbedingungen berücksichtigen (z. B. Geschiebemanagement, Einwirkungen durch schiffsinduzierte Strömungen, Einfluss wasserbaulicher Bauwerke, Einfluss von Hochwasserereignisse, Stauhaltung, etc.).

1.2 Bedeutung für die WSV

Durch Unterhalts-, Ausbau und Renaturierungsmaßnahmen an Bundeswasserstrassen können die Wechselwirkungen zwischen Fließgewässer 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 aquatischen Ökosystemen, deren Schutz und deren Zustandsverbesserung als Ziel der EU-WRRL explizit formuliert sind, sowie im Einflussbereich konkurrierender Wassernutzungen (z.B. Uferfiltrat-fördernder Trinkwasserfassungen) zu einem erhöhten wasserwirtschaftlichen Konfliktpotenzial. Die fachlichen und juristischen Auseinandersetzungen bei der Bearbeitung aktueller Ausbauprojekte der WSV zeigen auf, dass insbesondere im Bereich grundwasserabhängiger Ökosysteme neben den naturschutzfachlichen Aspekten vor allem konkurrierende wasserwirtschaftliche Anforderungen für die Genehmigung maßgeblich sind.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel dieses 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 ihren Anwendungsgrenzen in Bezug auf die Kolmationsfragestellung. Dadurch soll zukünftig eine bessere Prognose und Bewertung der geohydraulischen Auswirkungen von wasserbaulichen Unterhalts- und Ausbaumaßnahmen mit der erforderlichen zeitlichen und räumlichen Auflösung ermöglicht werden, um wirtschaftlich und naturschutzfachlich optimierte Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen umsetzen zu können. Die Forschungsergebnisse bilden eine wichtige Grundlage um Flüsse, Seen und Kanäle als umweltverträgliche Verkehrswege zu erhalten und gleichzeitig eine Optimierung des ökologischen Zustands gemäß EU-WRRL (und damit assoziierte Umweltziele wie z. B. Erhaltung der Biodiversität usw.) zu erreichen und somit einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung der Bundeswasserstrassen leisten zu können.

2 Untersuchungsmethoden

Am Versuchsstandort Potsdam wurden im Zeitraum zwischen September 2012 und März 2013 zwei Transekte zur kontinuierlichen tiefenorientierten Untergrundtemperaturmessung installiert. Durch Verwendung der Temperatur als natürlichen Tracer können bevorzugte Infiltrationszonen in den Untergrund identifiziert und Infiltrationsgeschwindigkeiten sowie Verweilzeiten bestimmt werden. Der Sacrow-Paretzer-Kanal wurde hierfür gezielt als Versuchsstandort gewählt, da seit Mai 2013 bei Ausbauarbeiten die Sohle des Kanals vertieft wird. Hierbei wird die vorhandene Kolmationsschicht stark gestört und teilweise entfernt. Begleitet wird die Messung der tiefenorientierten Untergrundtemperatur durch Monitoring der Grundwasserstände und –temperaturen in 13 Grundwassermessstellen des WNA Berlin sowie der Stadtwerke Potsdam.

Ergänzend zu den Bodentemperaturmessungen sind in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Untersuchungen des Sauerstoffisotopenverhältnisses in Niederschlag, Grundwasser und Oberflächenwasser geplant. Die hierfür erforderliche wöchentliche Grundwasserbeprobung wird seit März 2013 an 12 Grundwasser- und 2 Oberflächenwassermessstellen durchgeführt.

Bereits im Vorfeld der Ausbauarbeiten wurde der „Ist-Zustand“ der Gewässersohle im Dezember 2012 durch eine flächendeckende Beprobung (Freeze-Core, Infiltrationsversuche) dokumentiert. Weitere Probenahmekampagnen werden begleitend zum Ausbau des Sacrow-Paretzer-Kanals durchgeführt um die Veränderung der Gewässersohle fortlaufend zu dokumentieren.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden darüber hinaus Grund- und Oberflächenwasser-Markierungsversuche durchgeführt. Die Ausführung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen im Bereich des Nedlitzer Durchstichs zeigen eine Infiltration von Oberflächenwasser in den Grundwasserleiter an (Bild 1). Die gemessenen Werte weichen deutlich von denen eines idealisierten Tiefenprofils der Bodentemperatur ohne Oberflächenwassereinfluss ab. Der hohe zeitliche Versatz des Durchschlags der Oberflächenwassertemperatur zum Messpunkt zeigt eine Kolmation des untersuchten Bereichs an. Nach Beginn der Baumaßnahmen im Mai 2013 hat dieser zeitliche Versatz deutlich abgenommen. Warmes Oberflächenwasser konnte im Sommer 2013 schneller in den Untergrund infiltrieren. Außerdem war ein signifikanter Anstieg des Grundwasserstands im kanalnahen Untergrund zu beobachten (Bild 2).

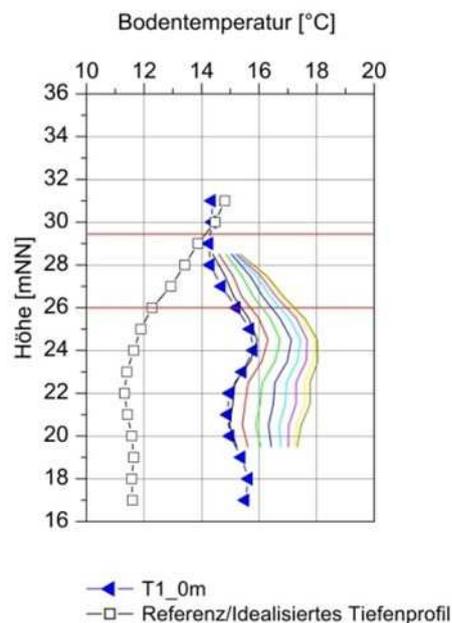


Bild 1: Ergebnisse der Bodentemperaturmessungen im Bereich Nedlitzer Durchstich

Die Ergebnisse der Gefrierkernprobenahmen wurden im Jahr 2013 in zwei Masterarbeiten dokumentiert. Durch ein auf die Gefrierkernprobenahme abgestimmtes Laborprogramm konnte die Anisotropie von Gewässersohlsedimenten räumlich hochaufgelöst und tiefenorientiert bestimmt werden.

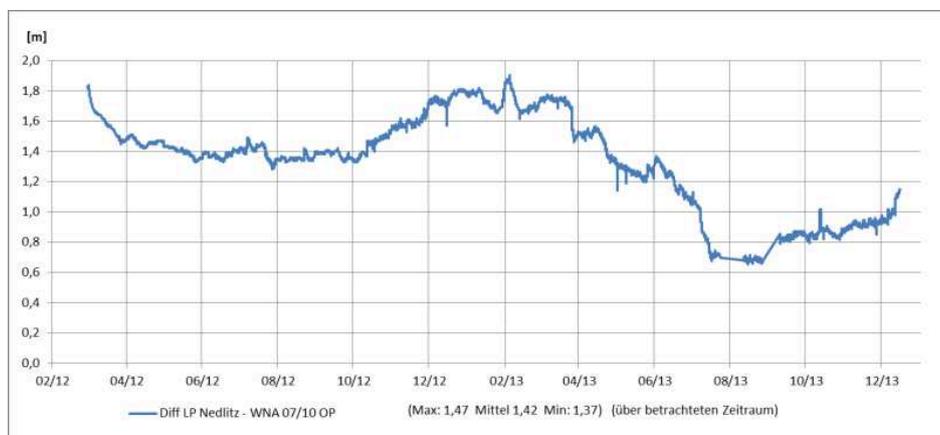


Bild 2: Differenz zwischen Oberflächenwasserstand und Grundwasserstand an Messstelle WNA07/10OP

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Weiterführung der Feldarbeiten;

Durchführung von 1-2 Gefrierkernprobenahmen zur Erkundung der Wiederherstellung der Kolmatonsschicht;

Aus- und Bewertung der Ergebnisse inklusive der Erstellung detaillierter Grundwasserströmungs- bzw. Transportmodelle in Zusammenarbeit mit dem Institut für Erd- und Umweltwissenschaften der Universität Potsdam;

Erstellung eines Abschlussberichts.

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

Blaschke, A. P., Steiner, K.-H., Schmalfuss, R., Gutknecht, D., Sengschmitt, D. (2003): Clogging Processes in Hyporheic Interstices of an Impounded River, the Danube at Vienna, Austria, *Internat. Rev. Hydrobiol.* 88, 397 – 413

Brunke, M., Gonser, T. (1997): The ecological significance of exchange processes between rivers and groundwater, *Freshwater Biology*, 37, 1-33

Mitchell-Bruker, S., Haitjema, H. M. (1996): Modeling steady state conjunctive groundwater and surface water flow with analytical elements – *Water Resources Research*, 32 2735 - 2732

Schälchli, U. (1993): Die Kolmation von Fließgewässersohlen: Prozesse und Berechnungsgrundlagen – Technische Hochschule Zürich (VAW) Nr. 124

6 Veröffentlichungen

-/-

Bestandsaufnahme vorhandener Deckwerke

Netzplan-Nr.: A39520410006

Projektleiter/in: Dipl.-Ing. P. Fleischer, Dr.-Ing. J. Kayser, Abteilung Geotechnik,
Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: petra.fleischer@baw.de, jan.kayser@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die derzeitige Bemessung von Deckwerken aus losen oder teil- bzw. vollvergossenen Wasserbausteinen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) erfolgt für Standardfälle nach dem „Merkblattes zur Anwendung der Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“ (MAR), ansonsten nach den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen“ (GBB), die die theoretischen Bemessungsgrundlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik beinhalten. Zur Erleichterung der Anwendbarkeit des GBB wurden die Berechnungsalgorithmen zusätzlich in einer Software „GBBSoft“ umgesetzt. 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 Deckwerken der WSV begonnen. Dabei werden möglichst viele unterschiedliche Wasserstraßenabschnitte hinsichtlich des Erhaltungszustandes der Deckwerke und des erforderlichen Unterhaltungsaufwandes unter Berücksichtigung der jeweils gegebenen Randbedingungen und der hydraulischen Belastung im Vergleich zu den theoretisch erforderlichen Deckwerksabmessungen begutachtet. Das Ziel besteht letztendlich darin, die Deckwerkbauweisen an Binnenwasserstraßen durch Präzisierung der theoretischen Grundlagen auf der Basis der Ergebnisse der Bestandsaufnahme sukzessiv weiter zu optimieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Einer hinsichtlich Standsicherheit und Kosten optimalen Bemessung der Deckwerke hinsichtlich der hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt kommt aufgrund des großen Investitionsvolumens bei Ufersicherungen in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ein hoher Stellenwert zu.

1.3 Untersuchungsziel

Auf der Grundlage der Bestandsaufnahme von Deckwerken 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. Auf der Grundlage der Ergebnisse werden die bestehenden Berechnungsgrundlagen validiert. Das Vorschriftenwerk der WSV wird dementsprechend immer wieder angepasst, so dass die Deckwerke hinsichtlich Standsicherheit und Kosten laufend weiter optimiert werden können.

2 Untersuchungsmethoden

Folgende Untersuchungsmethoden kommen zur Anwendung:

- Erfassung des Aufbaus und Erhaltungszustandes der Deckwerke und der technischen Randbedingungen (z. B. Geometrie, Baugrund) in situ sowie des Unterhaltungsaufwandes in ausgewählten Wasserstraßenabschnitten,
- Durchführung von Naturmessungen in ausgewählten Wasserstraßenabschnitten zur Ermittlung der hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt,
- Theoretische Berechnungen zur Ermittlung der erforderlichen Deckwerksabmessungen unter den ermittelten Randbedingungen unter Verwendung der Software GBBSoft, Vergleich mit den jeweils ermittelten Istzuständen,
- Auswertung der Ergebnisse, Validierung der Bemessungsansätze (GBB),

- Untersuchungen zu neuen Möglichkeiten der Erfassung des Zustandes des Deckwerks über und unter Wasser,
- Formulierung von Empfehlungen für eine optimale Bemessung und Ausführung von Deckwerken.

3 Ergebnisse

Bisher wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens Deckwerke in 8 unterschiedlichen Abschnitten folgender Wasserstraßen begutachtet:

- Süd- und Nordstrecke des Dortmund-Ems-Kanals,
- Wesel-Datteln-Kanal,
- Main-Donau-Kanal,
- Mittellandkanal,
- Untere Havel-Wasserstraße.

Dabei handelte 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 hinsichtlich Untiefen als Gefahr für die Schifffahrt ausgewertet werden, auch sehr gut zur Beurteilung der Deckwerksoberfläche hinsichtlich eines qualitätsgerechten Einbaus, aber auch langfristig hinsichtlich 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 möglich Gefährdung der Dichtung rechtzeitig zu erkennen.

Aus Zeitgründen und aufgrund anderer Prioritäten mussten die Arbeiten im Rahmen des Forschungsprojektes 2012 und 2013 unterbrochen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Folgende Arbeiten sind in den nächsten Jahren vorgesehen:

- Durchführung weiterer Untersuchungen zur Zustandserfassung von Deckwerken unter Wasser,
- Auswertung der Messungen an der UHW,
- Bilanz der bis jetzt untersuchten Strecken mit einem Zwischenfazit, danach Entscheidung über die Untersuchungen an weiteren Strecken.

Auf dieser Grundlage werden die Ergebnisse aus dem F/E-Projekt schwerpunktmäßig hinsichtlich der Beurteilung der Notwendigkeit und der Bemessung von Ufersicherungen an Wasserstraßen mit geringem Verkehrsaufkommen ausgewertet. Das weitere Untersuchungskonzept soll dahingehend angepasst werden. Dabei sind verstärkt auch die Ergebnisse des Projektes „Entwicklung des Zustandes von Deckwerken bei Absenkung des technischen Standards“ (A39520470004) zu berücksichtigen. Aufgrund der z. T. langjährigen Beobachtung von Teilstrecken und zur Umsetzung des Untersuchungsprogramms unter den neuen Fragestellungen wird das Forschungsvorhaben noch ca. 3 Jahre in Anspruch nehmen.

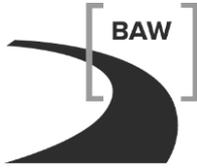
Laufzeit des Vorhabens von 1999 bis 2016.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Fleischer, P., Kayser, J. (2010) : Experience with revetments for inland waterways in Germany, 32. PIANC Congress, Liverpool, Großbritannien, 12. bis 14. Mai 2010.



Bemessung von geotechnischen Filtern unter instationärer Belastung

Netzplan-Nr.: A39520410076

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Kayser, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: jan.kayser@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In der Geotechnik werden Filter noch überwiegend nach geometrischen Kriterien bemessen, die an körnigen Materialien unter stationärer, einseitiger Durchströmung mit begrenzten hydraulischen Gradienten untersucht wurden. Unter dem Einfluss von Druckwechselbelastungen können hohe hydraulische Gradienten auftreten, welche insbesondere bei feinkörnigen Böden ohne Kohäsion zu Bodenverlagerungen führen können. Diese werden durch die gasförmigen Einschlüsse in den Poren und dem Porenwasser hervorgerufen, welche die Kompressibilität des Porenwassers signifikant verändern. Zur Beurteilung dieses Einflusses auf die Stabilität und Bemessung sowohl der geotextilen Filter als auch der Kornfilter fehlen derzeit noch eindeutige Kriterien.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Interaktion zwischen Filter und Boden wird an den Böschungs- und Sohlsicherungen der Bundeswasserstrassen im Unterwasserbereich maßgeblich von Wechselbelastungen bestimmt. Diese werden i. d. R. durch von der Schifffahrt induzierte Wellen hervorgerufen. Derzeit erfolgt die Filterbemessung für Kornfilter nach den Angaben des Merkblattes der BAW „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstrassen“ (MAK) und dem darin verwendeten Ansatz nach Cistin/Ziems. Hierbei ist jedoch noch weitgehend offen, inwieweit der Einfluss aus dynamischen Belastungen in den bestehenden Kriterien berücksichtigt werden muss oder ob vollkommen neu zu definierende Bemessungskonzepte für die geschilderte Fragestellung erforderlich sind.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, eindeutige Kriterien zur Beurteilung des Einflusses von Wechselbelastungen auf die Stabilität und Bemessung sowohl von geotextilen Filtern als auch von Kornfiltern zu erhalten.

2 Untersuchungsmethoden

Die Abteilung Erddammbau und Deponiebau des Instituts für Boden- und Felsmechanik (IBF) der Universität Karlsruhe (TH) hat von November 2003 bis zum Juni 2006 im Rahmen des FuE Vorhabens Versuche durchgeführt und die Versuchsergebnisse in einem Endbericht dokumentiert. Die hierbei angewendeten Untersuchungsmethoden wurden bereits erläutert.

Zur Untersuchung der hieraus abgeleiteten weiteren Fragestellungen wurde eine vollständige Überarbeitung der Wechseldurchströmungsanlage (WDA) erforderlich. Mit Hilfe der neuen Anlage sollen die üblicherweise an Wasserstraßen auftretenden hydraulischen Druckwechselbelastungen bei gleichzeitiger Durchströmung der Probe aufgebracht werden können. Bei den in der Wasserstraße üblichen Drücken bis 4 m Wassertiefe können hierbei Porenwasserüberdrücke entstehen. Wird hingegen dieselbe Druckwechselbelastung bei einem Druck von 50 m Wassertiefe aufgebracht, so wird die Bodenluft soweit komprimiert, dass nahezu keine Druckdämpfung mehr stattfindet und dementsprechend auch keine Porenwasserüberdrücke mehr entstehen. Zur Beurteilung dieses Effektes auf die Filterstabilität sollen Versuche auf unterschiedlichen Druckniveaus durchgeführt werden. Eine Skizze der neuen Versuchsanlage ist in Bild 1 dargestellt. Als WDA wird hier die gesamte Anlage allerdings ohne den eingezeichneten Versuchsbehälter bezeichnet. Der Versuchsbehälter ist getrennt von der WDA zu betrachten.

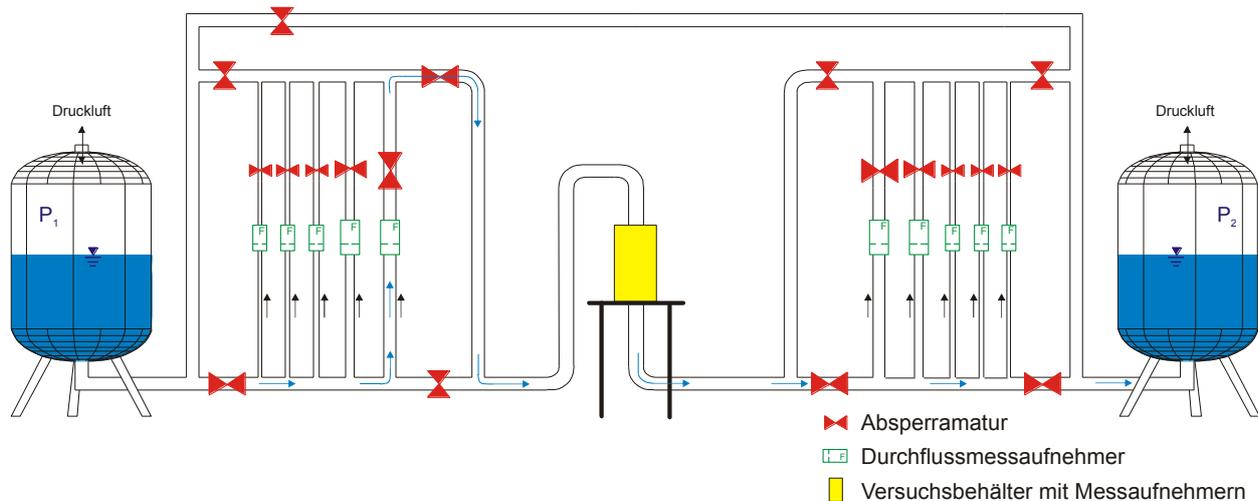


Bild 1: Skizze der neuen Wechseldurchströmungsanlage

3 Ergebnisse

Im Berichtszeitraum wurde die bereits vorgestellte Wechseldurchströmungsanlage weiter aufgebaut. Nunmehr können mit der Anlage die gewünschten Lastspiele aufgebracht werden. Damit konnten auch erste Kalibrierversuche mit der bereits vorhandenen Versuchszelle durchgeführt werden. Hierbei zeigte sich, dass mit dem vorhandenen Versuchsbehälter (s. Bild 1, gelber Versuchsbehälter) insbesondere mit der Messwertaufnahme (Differenzdruckaufnehmer in einer Messharfe) die Messziele nicht erreicht werden können. Es verbleibt zu viel Restluft im System und der Versuchsbehälter ist nicht ausreichend gegen Materialaustrag gedichtet.

In 2013 wurde eine Kooperation mit der TU Braunschweig, Leichtweißinstitut (LWI) begonnen. Das Institut wird die WDA im Rahmen des Forschungsprojektes KOFIMARS zu Untersuchung von Filtern unter großer hydraulischer Belastung einsetzen. Dieses Thema ist annähernd deckungsgleich mit den Fragestellungen der BAW.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

In 2014 ist der Aufbau eines Versuchsbehälters durch das LWI bis April 2014 geplant. Danach werden vom LWI Versuchsserien zur Filterbeständigkeit unter großen Wechselbelastungen mit Unterstützung durch die BAW durchgeführt.

Das Vorhaben soll zunächst um ein Jahr verlängert werden. Im Rahmen des verlängerten Zeitraums sollen die Versuche des LWI weiter begleitet werden und es ist der Bau eines eigenen Versuchsbehälters auf der Grundlage der Erfahrungen des LWI geplant. Für die Konzeption neuer Versuche ist dann ein neues Forschungsvorhaben vorgesehen.

Laufzeit des Vorhabens von 2002 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen – Quantifizierung ihrer Belastbarkeit und Möglichkeiten ihrer Anwendung an Binnenwasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39520410151

Projektleiter/in: Dipl.-Ing. P. Fleischer, Dr.-Ing. R. Soyeaux, Abteilung Geotechnik,
Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: petra.fleischer@baw.de, renald.soyeaux@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Um die Ufer von Binnenwasserstraßen dauerhaft vor Erosionen und anderen negativen Auswirkungen der hydraulischen Belastung aus Schifffahrt zu schützen, werden diese in der Regel mit technischen Deckwerken aus Steinschüttungen oder Spundwänden gesichert. Anwendungsgrundlage ist ein breites Regelwerk der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 sind bei allen Aus- und Neubaumaßnahmen sowie Unterhaltungsarbeiten an Wasserstraßen neben den technischen Anforderungen auch ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Naturnähere Ufersicherungen unter Einbeziehung von Pflanzen sind als Alternative zur klassischen Steinschüttung gefragt. Für deren Einsatz an Wasserstraßen gibt es bisher allerdings noch zu wenig Erfahrungen und vor allem keine Regelwerke. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren in einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit und ökologischen Wirksamkeit technisch-biologischer Ufersicherungen mit dem Ziel durchgeführt, Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für deren Einsatz an Binnenwasserstraßen zu erarbeiten.

1.2 Bedeutung für die WSV

Mit den Untersuchungsergebnissen werden dem planenden Ingenieur der WSV sukzessiv fundierte Grundlagen zur Anwendung von technisch-biologischen Ufersicherungen zur Verfügung gestellt. Damit steht eine wichtige Entscheidungshilfe zur Verfügung, wenn im Rahmen von Unterhaltungs-, Ausbau- und Neubaumaßnahmen anstelle konventioneller naturnähere Ufersicherungsmaßnahmen mit Pflanzen angewendet werden sollen.

1.3 Untersuchungsziel

Technisch-biologische Ufersicherungsarten, die sich aufgrund der Untersuchungen als geeignet für die Anwendung an Wasserstraßen erweisen, werden in einem Regelwerk zusammengestellt. Deren Belastbarkeit wird speziell hinsichtlich der besonderen Uferbelastungen infolge Schifffahrt quantifiziert. Dabei fließen auch die Ergebnisse des parallel laufenden Forschungsprojektes „Technisch-biologische Ufersicherungen – Theorie und Modellversuche zur Belastbarkeit“ (A39520470002) zur gleichen Thematik mit ein.

2 Untersuchungsmethoden

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

- Sichten und Bewerten vorhandener Literatur und praktischer Erfahrungen erster lokaler Anwendungen in der WSV,
- Durchführung von Naturmessungen und Untersuchungen in bestehenden und neu anzulegenden Versuchsstrecken, Durchführung von Naturversuchen, Erfassung aller technischen und biologischen Randbedingungen einschließlich der hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt,
- Begutachtung und Bewertung des Zustandes und der Entwicklung alternativer Ufersicherungen mit Pflanzen hinsichtlich Uferschutz sowie ökologische Bewertung der Vegetation und Fauna,

- Ermittlung der Belastbarkeit der in den Versuchsstrecken und Naturversuchen getesteten unterschiedlichen Ufersicherungsarten,
- Auswertung der Gesamtergebnisse, Formulierung von Empfehlungen und Bemessungsansätzen.

3 Ergebnisse

Alle bisher vorliegenden Ergebnisse sind auf dem zur Thematik der alternativen Ufersicherungen an Wasserstraßen eingerichteten Internet-Fachportal der BAW und BfG veröffentlicht (<http://ufersicherung.baw.de/de/index.html>). Der erste Bericht (BAW, BfG 2008) beinhaltet die Ergebnisse einer internationalen Literaturrecherche und einer Umfrage in der WSV zu bereits bestehenden ersten Erfahrungen mit alternativen Ufersicherungen. Im zweiten Bericht (BAW, BfG 2010) sind die Ergebnisse einer umfangreichen Detailuntersuchung in einer bereits vor etwa 20 Jahren angelegten Versuchsstrecke an der Mittelweser dargestellt. Die wichtigsten Ergebnisse aus beiden Berichten wurden außerdem in den BAW-Briefen 2/2006 bzw. 1/2011 veröffentlicht.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten 2013 bildete der Naturversuch am Rhein (km 440,6 bis km 441,6), bei dem seit 2011/12 am rechten Ufer neun verschiedene Varianten technisch-biologischer Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen getestet werden. Träger der Maßnahme ist das WSA Mannheim. In fünf Abschnitten wurde die vorhandene Steinschüttung oberhalb Mittelwasser entfernt und durch neue überwiegend pflanzliche Maßnahmen (Weidenspreitlagen, Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, Pflanzmatten) ersetzt. In einem Abschnitt blieb das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Abschnitten erfolgten ökologische Aufwertungen der weiterhin mit Wasserbausteinen gesicherten Böschung (Setzungen, Faschinen, Busch- und Heckenlagen). In einem schriftlichen Bericht (BAW, BfG, WSA 2012) wurden die einzelnen Bauweisen dokumentiert und das Monitoringprogramm detailliert erläutert (Kurzfassung im BAW-Brief 5/2012).

2013 wurde ein umfassender Bericht über die Monitoringergebnisse in der kritischen Anfangszeit nach Bauabschluss erstellt, in der die Pflanzen besonders gefährdet waren, weil sie erst Wurzeln und Sprosse ausbilden mussten. Dokumentiert und ausgewertet wurden die regelmäßigen Uferinspektionen und Ufervermessungen, die meteorologischen und hydrologischen Randbedingungen, die Messungen der Schifffahrtsbelastung und der Reaktionen (Porenwasserüberdrücke) im Boden sowie die Untersuchungen zur Vegetation und Fauna. Die neuen Ufersicherungsmaßnahmen mussten sich im ersten Jahr unter teilweise ungünstigen Bedingungen bewähren. Dazu zählten mehrere Hochwasser, die die Ufersicherungsmaßnahmen bereits unmittelbar nach Bauabschluss relativ hoch bis max. 1 m unter Böschungsoberkante einstauten, starker Frost ohne schützende Schneedecke und teilweise lang anhaltende Niedrigwasserstände. In den Sommermonaten war der untere Böschungsbereich bis etwa 1 m über Mittelwasser ohne Unterbrechung 6 Wochen überflutet und durch Auftrieb, hydraulische Einwirkungen infolge Schifffahrt und natürliche Strömung belastet.

Generell zeigte sich, dass die Uferschutzmaßnahmen, die durch zusätzliche technische Bestandteile ein signifikantes Eigengewicht unter Auftrieb besitzen, wie die Röhrichtgabionen und Steinmatratzen, von Anfang an ohne zusätzliche Befestigungen weitestgehend stabil auf der Böschung lagen. Rein pflanzliche Maßnahmen, wie die Weidenspreitlagen und die vorgezogenen Pflanzmatten, mussten dagegen mit Pflöcken, Querriegeln, Drahtverspannungen und z. T. Wasserbausteinen fixiert werden. Bei den Pflanzmatten, die im Vergleich zu den Spreitlagen keine Steifigkeit besitzen, war es schwierig, einen für das Anwachsen erforderlichen flächigen Kontakt zum Untergrund herzustellen. Hier mussten deshalb bereits lokal Sanierungsmaßnahmen (Überschüttung des unteren Böschungsbereiches mit Wasserbausteinen) durchgeführt werden. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes konnten sich ansonsten alle Maßnahmen, z. T. mit Nachbesserungsarbeiten (z. B. Erneuerung der planmäßigen Befestigungen und nachträgliche Ansaaten), gut entwickeln und den Uferschutz ausreichend gewährleisten. Aus ökologischer Sicht ist festzustellen, dass mit den neuen Ufersicherungsmaßnahmen eine naturnähere Vegetationsentwicklung und eine Strukturbereicherung im Uferbereich eingeleitet werden konnten. Verschiedene im aquatischen Bereich eingebrachte Totholzstrukturen zeigten erste positive Auswirkungen auf die Fischfauna. Ausführliche Informationen zu den technischen und ökologischen Monitoringergebnissen können dem 2. Zwischenbericht zur Versuchsstrecke entnommen werden (BAW, BfG, WSA 2013). Eine endgültige Beurteilung der eingebauten technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich Gewährleistung des Uferschutzes, Unterhaltungskosten und ökologischer Wirksamkeit ist erst nach mehreren Vegetationsperioden, frühestens 2016, möglich.

Die ersten Monitoringergebnisse wurden in zwei Vorträgen (BAW und BfG) auf der PIANC-Konferenz „Smart rivers“ im September 2013 in Liege vorgestellt (<http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/vortraege/index.html>). Außerdem wurde das Projekt im Sommer 2013 gemeinsam mit dem WSA Mannheim beim PIANC-Wettbewerb „Working with nature“ eingereicht. Hier werden herausragende Projekte an Wasserstraßen zertifiziert und prämiert, die von Beginn der Planung an nicht nur technische, sondern primär ökologische Ziele verfolgen und somit beispielhaft einen wirksamen Umweltschutz und eine nachhaltige Entwicklung der Schifffahrt und Wasserstraßen fördern. Im Juni 2013 besichtigten Vertreter des Geotechnikinstituts Göteborg die Versuchsstrecke und informierten sich über Ziele und erste Ergebnisse des Monitorings.

Im Februar 2013 hat ein Meeting mit Vertretern der Fraunhofer Gesellschaft und der Fa. Tecnaro GmbH stattgefunden, auf dem Möglichkeiten der Herstellung abbaubarer Geotextilien zur Anwendung als temporärer Filter in technisch-biologischen Ufersicherungen, die gleichzeitig die technischen Anforderungen erfüllen können, diskutiert wurden. Die Entwicklungen werden 2014 weiter verfolgt.

Weiterhin wurde im Rahmen des FuE-Projektes 2013 eine Umfrage innerhalb der WSV zu Projekten, bei denen in den letzten 8 Jahren technisch-biologische Ufersicherungen angewendet wurden, durchgeführt. Ziel war es, die aktuellen Erfahrungen zu sammeln, auszuwerten und zusammen zu stellen. 2014 werden die Ergebnisse auf dem Internetportal der BAW und BfG veröffentlicht, um einen breiten Erfahrungsaustausch in der WSV zu ermöglichen.

Vertreter des FuE-Projektes arbeiten seit 2008 in der DWA-Arbeitsgruppe WW 1.5/ 2.5 mit und bringen dort ihre Erfahrungen ein. Am 21. und 22.11.2013 fand in Karlsruhe ein gemeinsames Kolloquium der BAW, BfG, Gesellschaft für Ingenieurbiologie und DWA statt, auf dem der Entwurf des DWA-Merkblattes M519 „Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern“ vorgestellt und diskutiert wurde. Darin wird eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie technisch-biologische Ufersicherungen trotz derzeit noch fehlender Langzeiterfahrungen an schiffbaren Gewässern unter bestimmten Randbedingungen geplant werden können. Grundlage sind die ingenieurbiologischen Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt und die bisherigen Forschungsergebnisse der BAW und BfG sowie die aktuellen technischen Regelwerke.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das Monitoring im Rahmen des Naturversuchs am Rhein wird zunächst bis 2016 weitergeführt. Die Ergebnisse werden in einem Abschlussbericht dokumentiert. Zu den einzelnen Bauweisen und den bisher im Rahmen des Naturversuchs gewonnenen Erkenntnissen werden 2014 weitere Kennblätter erstellt. Das erste Kennblatt zu Weidenspreitlagen ist bereits auf dem Internetportal veröffentlicht. Parallel dazu werden die Untersuchungen in weiteren ausgewählten bestehenden Wasserstraßenabschnitten mit alternativen Ufersicherungen fortgesetzt. Zusammen mit den Erkenntnissen aus den Labor- und Modellversuchen (A39520470002) werden für Wasserstraßen fundierte Anwendungs- und Bemessungsempfehlungen für technisch-biologische Ufersicherungen erarbeitet. Insgesamt wird das Forschungsvorhaben noch mindestens 4 Jahre in Anspruch nehmen.

Laufzeit des Vorhabens von 2004 bis 2017.

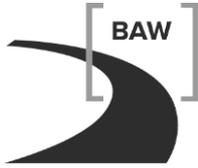
5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

BAW, BfG, WSA (2013): Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer, zweiter Zwischenbericht, erste Monitoringergebnisse 2012, 20.06.2013

Fleischer, P., Soyeaux, R. (2013): Technical-biological Bank Protection on Waterways with high Traffic Frequency – First Experience Gained from a Test Stretch at the River Rhine with regard to Bank Stability. PIANC – SMART Rivers Conference, 23.-27.09.2013, Maastricht/Liège



Behrendt, K., Kleinwächter, M., Liebenstein, H. (2013): Technical-biological river bank protection – a contribution to the ecological improvement of banks of Federal waterways in Germany – First experiences from a field test along the River Rhine. PIANC – SMART Rivers Conference, 23.-27.09.2013, Maastricht/Liège

Weitere Veröffentlichungen unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/vortraege/index.html>

Ausbildung von Dichtungsanschlüssen im Streckenbereich von Wasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39520410217

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Kayser, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: jan.kayser@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Dichtungen haben im Verkehrswasserbau eine zentrale Bedeutung. Ihre Aufgaben bestehen darin, Sickerwasserverluste aus der Wasserstraße zu verhindern bzw. zu begrenzen und so die Standsicherheit von Wasserbauwerken zu gewährleisten. Zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Wasserstraßen gibt es bereits ausführliche Empfehlungen (BAW, 2002). Die Qualität und Wirksamkeit einer hergestellten Dichtung wird auch maßgebend durch die Dichtungsanschlüsse bestimmt. Hierbei sind insbesondere Bau- und Herstellprozesse, durch welche die Dichtungsanschlüsse undicht werden können, von Bedeutung. Bei mangelhafter Anbindung der Dichtung an Bauwerke kommt es zu konzentrierten Durchströmungen des umgebenden Baugrundes bzw. Damms und in deren Folge ggf. zu erheblichen Standsicherheitsproblemen. Schadensfälle aus der vergangenen Zeit haben dies immer wieder sehr eindrucksvoll gezeigt.

Eine Zusammenstellung und Erläuterung von unterschiedlichen konstruktiven Lösungen für planmäßige Dichtungsanschlüsse, aber auch Konzepte für den Havariefall sowie Sanierungsmöglichkeiten sollen für die WSV eine Grundlage für Planung und Ausführung von Baumaßnahmen an der Wasserstraße, aber auch für schnelles Entscheiden und Handeln in einem Havariefall sein.

1.2 Bedeutung für die WSV

Der Anschluss einer Kanaldichtung an Bauwerke hat für die WSV erhebliche Sicherheitsrelevanz. Dies wurde u. a. wieder beim Bau der KÜ Elbeu (MLK) deutlich, wo es bei der Flutung eines neuen Kanalabschnitts zu Wasseraustritten im Damm kam. Deren Ursache ist noch nicht genau geklärt, möglich ist jedoch eine Undichtigkeit am Anschluss der Tondichtung an die Spundwand.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel besteht in der Erarbeitung von Empfehlungen zur Ausführung von Dichtungsanschlüssen im Streckenbereich von Wasserstraßen.

2 Untersuchungsmethoden

Folgende Schritte und Untersuchungsmethoden sind im Einzelnen vorgesehen:

1. Literaturstudie
2. Labor-, Modellversuche (Dichtungsmaterialien, Anschlusskonstruktionen)
3. Entwicklung eines numerischen Modells zur Durchdringung von Bauteilen durch Oberflächendichtungen aus Ton
4. Durchführung von geohydraulischen Berechnungen
5. Zusammenstellung der Ergebnisse

Im Rahmen der Grundsatzaufgabe wurde in einer Vorstudie geprüft, ob der Eindringvorgang eines Bauteils in eine Tondichtung numerisch simuliert werden kann. Das Ergebnis der Vorstudie zeigt, dass dies mit einer gewissen Entwicklungsarbeit grundsätzlich möglich sein sollte.

Für die Modellierung ist ein geeignetes Stoffgesetz zu finden. Hierbei ist das Verhalten des Dichtungstons bei Wechsellast abzubilden, da dieses für eine mögliche Spaltbildung wesentlich ist. Ggf. ist auch ein Spaltwasserdruck zu anzusetzen. Ebenso sind aufgrund der schnellen (dynamischen) Belastung und des hohen Sättigungsgrades Porenwasserdrücke zu berücksichtigen.

Ebenso ist der Eindringvorgang in die Dichtung zu simulieren (z. B. Henke und Grabe, 2009).

Es wurde ein entsprechender Forschungsauftrag an die TU Hamburg-Harburg, Institut für Geotechnik, erteilt. Gegenstand des Forschungsauftrags sind:

1. Erarbeitung einer StoffgesetZRoutine für Ton
2. Bodenmechanische Laborversuche
3. Numerische Untersuchungen
4. Modellversuche

3 Ergebnisse

Für die Versuche wurde von der BAW ca. 1.500 kg Ton homogenisiert und eine Festigkeit von ca. 20 kPa aufbereitet. An Teilproben führte die TUHH Laborversuche zur Ermittlung der bodenmechanischen Parameter durch. Im Vordergrund standen hier die Parameter für ein viskohypoplastische Stoffgesetz für den Ton. Entsprechende Parameter für den Sandboden sind bereits bekannt.

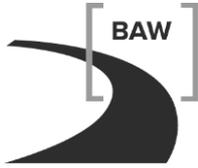
In 2013 wurden von der TUHH sowohl numerische Berechnungen als auch Modellversuche durchgeführt. In den numerischen Berechnungen zeigte sich, dass der Eindringvorgang einer Spundwand in den Ton am besten mit dem relativ einfachen Drucker-Prager-Stoffgesetz simuliert werden kann. Dies ist mit den Modellversuchen, die i. W. in 2013 abgeschlossen wurden, zu verifizieren. Ein typisches Bild für die Durchdringung der Tondichtung mit einer Stahlplatte im Modellversuch zeigt Bild 1.



Bild 1: Modellversuch zur Durchdringung einer Tondichtung mit einer Stahlplatte

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Neben der Auswertung und Ergänzung der oben bereits genannten Laborversuche und numerischen Berechnungen soll die Entstehung von Fugen an Dichtungsanschlüssen infolge von Herstellerarbeiten (z. B. Durchrammen einer Dichtung) numerisch simuliert und in Modellversuchen untersucht werden kann. Die entsprechenden Untersuchungen wurden an die TU Hamburg-Harburg, Institut für Geotechnik, vergeben.



In 1014 wird von der TUHH der Abschlussbericht erstellt. Danach wird über die Fortsetzung des Forschungsvorhabens und ggf. weitere Untersuchungen entschieden.

Laufzeit des Vorhabens von 2006 bis 2015.

5 Literatur

BAW (2002): Empfehlungen für die Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschungen an Wasserstraßen (EAO), Mitteilungsblatt Nr. 85, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 2002.

EAAW (2008): Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau (EAAW), Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Essen

Henke; S., Grabe, J. (2009): Zu den Möglichkeiten und Grenzen der numerischen Simulation der Herstellung von Baugruben, Bautechnik, Heft 9, 2009.

6 Veröffentlichungen

-/-

Filterstabilität grober Gesteinskörnungen

Netzplan-Nr.: A39520470001

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Stein, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: juergen.stein@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Eine Standard Bauweise zur Sicherung der Böschungsufer an den Bundeswasserstraßen ist die Schüttung loser Wasserbausteinen auf einem Kornfilter. Um eine langfristige Deckwerksstabilität zu gewährleisten, muss die Körnungslinie des Kornfilters auf die Größe der Deckwerkssteine abgestimmt sein. Der feinkörnigere Kornfilter darf nicht durch den Mechanismus der Kontakterosion in die Poren der Deckschicht eindringen. Gleichzeitig muss er den darunter anstehenden Boden zurückhalten.

Die hydraulischen und mechanischen Vorgänge bei der Durchströmung der Deckwerke durch die Wellenbelastung aus der Schifffahrt sind weitestgehend unbekannt und sollen mit diesem FuE Vorhaben untersucht werden. Mit Hilfe der Erkenntnisse sollen die aus der Literatur bekannten Filterregeln auf sehr grobe Gesteinskörnungen erweitert oder ggf. neue Regeln formuliert und auf die Bemessung von Filterstufen für die Wasserbausteinklassen der TLW 2003 angewendet werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Deckwerke sind ein großes Anlagevermögen der WSV. Durch die Ergebnisse der Untersuchungen soll die Bemessung der Deckwerke optimiert und die Unterhaltungsaufwendungen minimiert werden. Mit den Untersuchungen können die Einflüsse der Schifffahrt auf die Deckwerke genauer bestimmt werden. Die Entwicklung eines neuen und auf die groben Gesteinskörnungen angepassten Berechnungsansatzes zur Bemessung der Kornfilter gegen Kontakterosion führt zu einer sichereren und wirtschaftlicheren Durchführung von Baumaßnahmen an den Bundeswasserstraßen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen ist die Erforschung der hydraulischen und mechanischen Vorgänge im Filter und im Deckwerk bei der Durchströmung durch eine zyklische Belastung mit Hilfe von Modellversuchen. Prinzipiell soll gezeigt werden, in wie weit in einem großmaßstäblichen Modellversuch mit einem realitätsnahen Deckwerk eine Abbildung der Strömungsprozesse und Deckwerksverformungen möglich ist. Darauf aufbauend sollen Filterregeln für sehr grobe Gesteinskörnungen entwickelt und auf die Bemessung neuer Filterstufen für die neuen Wasserbausteinklassen der TLW 2003 angewendet werden.

2 Untersuchungsmethoden

Zur Erfassung der komplexen Strömungsverhältnisse und der daraus resultierenden Deckwerksverformungen werden großmaßstäbliche Modellversuche auf dem BAW Gelände durchgeführt. Bei einem Versuch wird ein Deckwerk bestehend aus Wasserbausteinen mit darunter liegendem Kornfilter in den Probekasten eingebaut. Der Deckwerksaufbau entspricht einer Standardbauweise nach MAR (2008). Dieser wird in einem Tauchbecken auf dem BAW Gelände zur Simulation der Strömungs- und Wellenbelastung mit Hilfe eines Mobilkrans zyklisch auf und ab bewegt.

Zur Erfassung der hydrodynamischen Belastung im Deckwerk ist der Probekasten in mehreren Ebenen mit Porendruckgeber, Erddruckkissen und Sonden zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit bestückt. Zur Begutachtung der Umlagerungen kann der Kasten nach den Versuchen an den Seitenwänden geöffnet werden. Zusätzlich hat er Sichtfenster zur Beobachtung von Umlagerungen des Filtermaterials während des Versuchs. Zur Bestimmung von Steinverlagerungen wird die Deckwerksoberfläche photogrammetrisch aufgenommen.

Der Versuchskasten ist so ausgelegt, dass nach der Durchführung und Auswertung der Versuche im Tauchbecken zur Verifizierung Messungen in situ durchgeführt werden können. Alternativ können in ein

Böschungsdeckwerk Porenwasserdruckgeber in mehreren Tiefenlagen, z. B. in der Basis, im Filter und im Deckwerk eingebaut werden. In mehreren Messkampagnen werden Messdaten erfasst. Die Körnungslinien der Materialien vor Ort werden bestimmt und mögliche Veränderungen aufgrund der Wellenbelastung dokumentiert.

Als Ergänzung zu diesem Forschungsvorhaben sind numerische Berechnungen vorgesehen, mit denen der Strömungsprozess und die daraus resultierenden Belastungen auf das Deckwerk abgebildet werden sollen. Im Allgemeinen sind dreidimensionale, instationäre Strömungsvorgänge mit den vorhandenen komplexen Randbedingungen sehr aufwändig und zeitintensiv und erfordern eine große Rechenleistung. Zur Bewältigung werden daher in der Berechnungspraxis zumeist vereinfachende Annahmen getroffen. Die Recherche nach einem geeigneten Verfahren hat ergeben, dass zurzeit mehrere Berechnungsmethoden vorhanden sind. Auf Grund der Komplexität wurde an der BAW der Arbeitskreis Numerik gegründet. Der erste Schritt ist die Findung einer geeigneten Software, mit der die komplexen Strömungsbedingungen im Deckwerk unter Berücksichtigung der flüssigen und festen Phase simuliert werden können. Erste Voruntersuchungen und Berechnungen werden im Rahmen anderer FuE Vorhaben durchgeführt.

3 Ergebnisse

Im Tauchbecken der BAW wurden mehrere Tauchversuche durchgeführt. Im ersten Schritt wurden der Versuchsaufbau getestet und die Messgeber kalibriert.

Die Versuchsserien wurde bisher mit einem 70 cm dicken Deckwerk aus 40 cm Wasserbausteinen CP_{90/250} unterlagert von jeweils 3 unterschiedlichen 30 cm dicken Filterkörnungen (2/16mm, 16/32 mm und 2/63 mm) durchgeführt. Bei jeder Versuchsserie wurde der Versuchskasten 100-mal zyklisch getaucht. Nach festgelegten Intervallen werden die Änderungen der Lagerungsdichten, die Oberflächensetzungen und die Eindringung des Filters in die Deckschicht bestimmt. Beim Ausbau werden aus 3 Tiefenlagen Siebproben zur Bestimmung von Änderungen in der Kornverteilung entnommen.

Bei allen Versuchen konnte ein Filtertransport an der Grenze Wasserbausteine zu Filter und eine Setzung der Oberfläche der Deckschicht gemessen werden. In Bild 1 sind beispielhaft 3D-Oberflächenscans für einen Versuch mit Filtermaterial 16/32 mm dargestellt. Die mittlere Setzung über alle Steine betrug nach 70 Tauchzyklen ca. 6 cm.

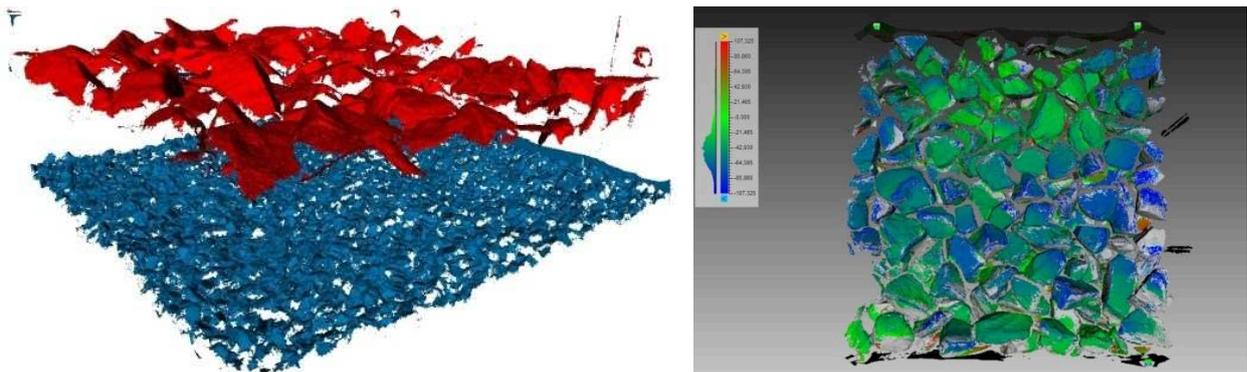


Bild 1: 3D-Scans, (li.) Deckschicht aus Wasserbausteinen (rot) mit Kornfilter (blau), (re.) Oberflächensetzungen der Deckschicht nach 70 Tauchzyklen

Das feine Filtermaterial (2/16 mm) drang am tiefsten in die Matrix der Wasserbausteine ein. Dabei sanken mit steigender Zyklenzahl die Wasserbausteine in die Filterschicht ein. Bild 2 zeigt beispielhaft die Differenz der Eindringtiefen von feinem und grobem Filtermaterial.

Die aus den Porenwasserdruckmessungen errechneten Gradienten wachsen mit steigender Anzahl an Tauchungen bis größer 1 an. Bild 3 zeigt den zeitlichen Verlauf des hydraulischen Potentials und des Gradienten beim ersten Zyklus mit Filtermaterial Grobsplitt 16/32. Der Gradient wurde aus der Potentialdifferenz zwischen Unterkante (Druck 1) und Oberkante (Druck 4) der Filterschicht ermittelt. Die Auswer-

Die weitere Messergebnisse sind in Arbeit. Im Rahmen des FuE-Vorhabens wird eine Bachelor Arbeit erstellt.



Bild 2: Vergleich Eindringtiefe des Filtermaterials, (li.) Filter 16/32 mm, (re.) Filter 2/16 mm

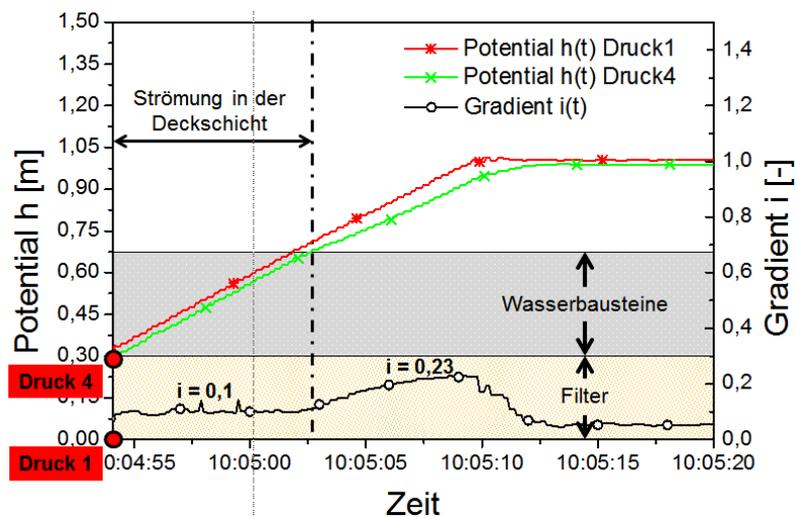
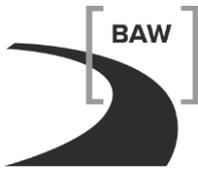


Bild 3: Darstellung des zeitlichen Verlaufs des hydraulischen Potentials an der Unterkante (Druck1) und der Oberkante (Druck4) des Filters und des hydraulischen Gradienten für einen Versuch mit Filtermaterial 16/32

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Um die Versuchsreihe abzuschließen werden weitere Versuche mit unterschiedlichen Materialien durchgeführt. Es ist geplant zur Verifizierung der Messergebnisse Naturmessungen an einer Kanalstrecke heranzuziehen. Weiterhin ist eine Machbarkeitsstudie für eine numerische Simulation der Versuche vorgesehen. Eine Recherche nach geeigneten Berechnungsverfahren hat ergeben, dass entsprechende Programme, welche die komplexen physikalischen Vorgänge berücksichtigen, noch in der Entwicklung sind. Im Allgemeinen sind dreidimensionale, instationäre Strömungs- und Materialtransportvorgänge mit den vorhandenen komplexen Randbedingungen sehr aufwändig und erfordern eine entsprechende Rechenleistung. Die Versuchsergebnisse werden zur Verifizierung herangezogen.

- 2014:
- Durchführung weiterer Modellversuche
 - Auswertung und Interpretation der Modellversuche
 - Vergleich der Ergebnisse mit den bekannten Filterregeln
 - Ggf. Formulierung von weiterem Entwicklungsbedarf



- Erstellung eines Abschlussberichtes

Laufzeit des Vorhabens: von 2011 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Technisch-biologische Ufersicherungen – Theorie und Modellversuche zur Belastbarkeit

Netzplan-Nr.: A39520470002

Projektleiterin: Dipl.-Ing. P. Fleischer, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: petra.fleischer@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Um die Standsicherheit technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen zu gewährleisten, müssen ihre Dauerhaftigkeit und die Belastbarkeit quantifizierbar sein. Es stellt sich die Frage, wie eine technisch-biologische Ufersicherung die Aufgabe eines rein technischen Deckwerks übernehmen kann: Eine Filterschicht wird benötigt, die den anstehenden Boden vor Erosion schützt. Daneben muss die Ufersicherung eine Lagestabilität gegenüber Strömungs- und Wellenangriff aufweisen. Die Böschung muss vor destabilisierenden Einwirkungen des u. U. auftretenden Porenwasserüberdrucks gesichert werden. So zielt die spezielle Fragestellung zum einen auf den Einfluss der technisch-biologischen Ufersicherung bzw. des durchwurzelten Bodens auf dessen Festigkeit, Erosivität und Durchlässigkeit ab. Zum anderen darauf, wie die technisch-biologische Ufersicherung die Böschung vor Versagensmechanismen schützen kann, die durch den Porenwasserüberdruck initiiert werden.

Grundlage sind unter anderem die Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt A39520410151 (siehe unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/vortraege/index.html>). Erfahrungen zu den von technisch-biologischen Ufersicherungen aufnehmbaren Fließgeschwindigkeiten bzw. Schubspannungen liegen bisher nur für kleine Fließgewässer ohne Schifffahrt vor (Gerstgraser, C. (2000), Rauch, H.-P. (2006)). Die Ergebnisse sind nur bedingt auf Wasserstraßen übertragbar.

1.2 Bedeutung für die WSV

In der WSV kommt der Gewährleistung der Standsicherheit der Ufer große Bedeutung zu. Da die natürliche Ufergestaltung von Binnenwasserstraßen mit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie zunehmend an Bedeutung gewinnt, sollen verstärkt technisch-biologische Ufersicherungen zur Anwendung kommen. Für technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen gibt es derzeit noch keine allgemeinen Bemessungsregeln. Die Untersuchungen sollen in Verbindung mit den Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt A39520410151 eine Grundlage für die Entwicklung von Bemessungsregeln für technisch-biologische Ufersicherungen bieten.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen ist die theoretische und modelltechnische Erforschung der Wirkung technisch-biologischer Ufersicherungen hinsichtlich geotechnischer und hydraulischer Aspekte. Quantifizierungen der Belastungsresistenz technisch-biologischer Ufersicherungen gegenüber schiffsinduzierten hydraulischen Einwirkungen sollen stattfinden. Mit Hilfe von theoretischen Betrachtungen soll eine weitere Grundlage für Standsicherheitsnachweise geschaffen werden.

2 Untersuchungsmethoden

Hauptuntersuchungsmethoden sind Modell- und Laborversuche: Die Untersuchungen der geotechnischen Aspekte beinhalten die für die Standsicherheit der Uferböschung maßgebenden Festigkeitsparameter des durchwurzelten Bodens. Auch der sich unter Absink ausbildende Porenwasserüberdruck, der u. a. von der Durchlässigkeit des Bodens abhängt, ist Untersuchungsgegenstand. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Erosionsstabilität des durchwurzelten Bodens unter Wellen- bzw. Strömungsangriff. Unter den hydraulischen Aspekten wird die Reduktion von Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen durch ingenieurbiologische Ufersicherungen erfasst.

In dem Wellenbecken der BAW (Bild 1) können großmaßstäblich Wellenbelastungen auf eine Uferböschung aufgebracht und technisch-biologische Bauweisen, wie z. B. Weidenspreitlagen oder vorgefertigte Elemente wie Vegetationsmatten, getestet werden. Einwirkungen wie Wellenhöhen, Absunkwerte, sich ausbildender Porenwasserüberdruck, lokale Strömungsgeschwindigkeiten werden gemessen und Widerständen wie z. B. der Scherfestigkeit der Boden-Wurzelmatrix gegenüber gestellt.

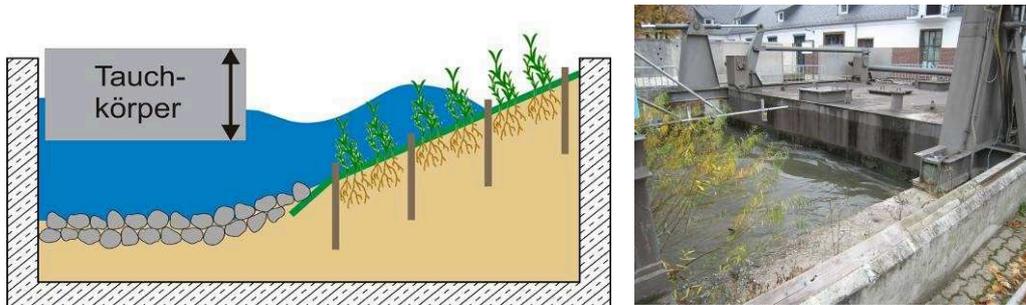


Bild 1: Systemskizze und Foto des Wellenbeckens mit einer technisch-biologischen Ufersicherung

3 Ergebnisse

2012 wurden Modellversuche mit Weidenspreitlagen als Ufersicherung im Wellenbecken der BAW auf einer 1:3 geneigten Böschung durchgeführt. Die 2011 eingebauten Spreitlagen aus Korb- und Purpurweiden wurden in 7 Messkampagnen nach einer Anwachszeit von 53, 63, 66, 70, 73 und 77 Wochen in mehreren Zyklen hydraulisch durch Wellen und Absunk belastet. Dabei wurde die Belastungsintensität langsam gesteigert. Eine Vielzahl von Messgrößen - Wasserspiegellagen, Wellen- und Absunkgrößen, Porenwasserdrücke im Boden in verschiedenen Tiefen unter den Weidenspreitlagen, Verformungen der Böschungsoberfläche (über Ketteninklinometer und selbst entwickelte Neigungsmessketten) - wurden aufgenommen. Im April 2013 wurde zum Abschluss der Versuchsserie mit den Weidenspreitlagen eine Dauerbelastung über mehrere Stunden mit maximal möglichen Einwirkungen durchgeführt. Alle Daten befinden sich noch in der Auswertung. Bereits jetzt kann jedoch festgestellt werden, dass die Spreitlagen alle Belastungen ohne größere Schäden aufnehmen konnten.

Parallel zu den Modellversuchen erfolgten Untersuchungen zum Wurzelwachstum der Weiden und zum Einfluss verschiedener Geotextilien auf das Wurzelwachstum. Dabei wurde festgestellt, dass sich bereits nach einer Vegetationsperiode ein relativ dichtes Wurzelwerk im Boden entwickelt. Nahe der Bodenoberfläche bildet sich ein sehr feines, fast flächiges System von Wurzeln, das vor Erosion schützen kann. Weiterhin zeigte sich, dass ein Kunststoffgeotextil mit 300 g/m^2 Flächengewicht die Wurzelbildung nicht behindert. Das Schafwollvlies (450 g/m^2) hatte sich dagegen im Zeitraum von ca. 10 Monaten fast vollständig biologisch abgebaut. Aufgrund des sehr schnellen Abbaus ist es als temporärer Filter an Wasserstraßen nicht geeignet.

Um die Standsicherheit der Uferböschung mit Spreitlagen in Abhängigkeit vom Wurzelwachstum beurteilen zu können, wurde die Korrelation zwischen dem Durchwurzelungsgrad und der Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens untersucht und quantifiziert. Dazu wurden im März 2012 Weidenspreitlagen (Purpur- und Korbweide) in einzelnen 1 m hohen Versuchskästen mit einer Grundfläche von $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ eingebaut. Die Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens war nach 6 und 12 Monaten in verschiedenen Tiefen unter der Bodenoberfläche im Großscherversuch zu ermitteln (Bild 2). Vorher wurden umfangreiche Versuche im Großschergerät mit verschiedenen Böden ohne Wurzeln zur Festlegung der Versuchsdurchführung und -auswertung durchgeführt. Für die spezielle Fragestellung waren bauliche Veränderungen am Gerät erforderlich.



Bild 2: Versuchskästen zur Anzucht von Weidenspreitlagen für Scherversuche und Großschergerät

2013 wurden an den vorgezogenen Weiden Scherversuche in jeweils 3 verschiedenen Tiefen (15 cm, 45 cm und 75 cm unter der Oberfläche), separat für Purpur- und Korbweide durchgeführt. Zur Ermittlung der Scherfestigkeitsparameter des durchwurzelten Bodens erfolgte das Abschern bei verschiedenen Normalspannungen (25 kPa, 50 kPa, 75 kPa und 100 kPa). Parallel wurde jeweils die Wurzelmasse pro Volumeneinheit bestimmt. Die Auswertungen sind noch nicht abgeschlossen. Aber es zeigte sich bereits ein deutlicher Zusammenhang zwischen Durchwurzelungsgrad und Scherfestigkeit des Bodens. Mit zunehmender Tiefe unter der Oberfläche nehmen der Durchwurzelungsgrad und analog dazu auch die Scherfestigkeit des Bodens ab.

Alle Versuchsergebnisse werden gegenwärtig im Rahmen einer Dissertation ausgewertet.

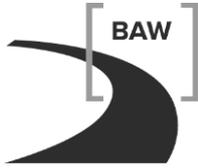
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2014: – Auswertung und Interpretation der Modellversuche im Wellenbecken
 – Auswertung und Interpretation der Scherversuche am durchwurzelten Boden
 – Entwicklung von Standsicherheitsnachweisen für technisch-biologische Ufersicherungen
 – Formulierung des weiteren Forschungsbedarfs
 – Erstellung des Abschlussberichtes

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

Gerstgraser, C. (2000): Ingenieurbio-logische Bauweisen an Fließgewässern - Grundlagen zu Bau, Belastbarkeit und Wirkungsweisen. Österreichischer Kunst- und Kulturverlag



Rauch, H.-P. (2006): Hydraulischer Einfluss von Gehölzstrukturen am Beispiel einer ingenieurbioologischen Versuchsstrecke am Wienfluss. Dissertation. Universität für Bodenkultur Wien. Band 63. Guthmann-Peterson

6 Veröffentlichungen

Eisenmann, J., Fleischer, P. (2012): Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen. Johann-Ohde-Kolloquium, BAW-Mitteilungen Nr. 95

Erosion von Dichtungstonen und bindigen Böden unter Strömungsbelastung

Netzplan-Nr.: A39520470003

Projektleiter: Dipl.-Ing. (FH) A. Schneider, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: achim.schneider@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

Mit Einführung der überarbeiteten ZTV-W, LB 210 im Jahr 2006 wurden gleichzeitig die Richtlinie zur Prüfung mineralischer Weichdichtungen im Verkehrswasserbau (RPW) zur Prüfung der Eignung von Erdstoffen zur Verwendung als Dichtungsbaustoff verankert. Zum Nachweis der Erosionsstabilität sind in dieser Richtlinie der Zerfallsversuch nach Endell und der Pin-Hole-Test aufgeführt. Für beide Verfahren gelten bisher keine wissenschaftlich abgesicherten Ausschlusskriterien. Ähnlich gelagerte Anwendungsfälle bzw. Materialuntersuchungen, z.B. aus dem Deponiebau liefern aufgrund der stark unterschiedlichen Einbausituation (Unter-Wasser-Einbau, Strömungsbelastung durch Schifffahrt bzw. auf Gewässersohlen) keine hinreichend übertragbaren Bewertungskriterien. Eindeutige und reproduzierbare Kriterien sind jedoch besonders im Hinblick auf länderübergreifende Ausschreibungsverfahren unerlässlich, um bei der Vergabe entsprechender Baumaßnahmen nachvollziehbare und gerichtlich nicht angreifbare Kriterien zur Verfügung zu stellen.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Eine Prognose zum Erosionsverhalten bindiger Böden ist bei vielen geotechnischen und hydraulischen Fragestellungen eine notwendige Eingangsgröße zur Beurteilung der Auswirkungen der hydraulischen Belastungen auf den hiervon betroffenen Boden. Ebenso ist die labortechnische d.h. versuchstechnische Abbildung dieses Verhaltens eine nicht hinreichend gelöste Fragestellung. Aus der Literatur sind einige Ansätze wie der Zerfallsversuch nach Endell und auch der Pin-Hole-Test nach British Standards bekannt. Beide Versuche sind nicht genormt. Auch ist über die versuchsspezifischen Anwendungsgrenzen im Hinblick auf die zu untersuchenden Böden und bezüglich der Grenzwerte der möglichen hydraulischer Belastungen wenig bekannt. Eventuell wird es erforderlich sein, neue und besser geeignete Tests und Untersuchungsverfahren zu entwickeln.

1.2 Bedeutung für die WSV

Neben der Notwendigkeit eindeutiger Materialparameter für eine konfliktfreie Vergabepaxis ist die Frage nach der Erosionsstabilität von Dichtungsbaustoffen auch vor den Hintergrund immer enger werdender Haushaltsmittel beim Bau neuer bzw. bei der Unterhaltung vorhandener Wasserstraßen zu betrachten. Zukünftig kann es erforderlich werden, vorhandene Kanalstrecken mit höheren Schiffsgrößen bzw. Abladetiefen als ursprünglich geplant zu beanspruchen. Es ist zu befürchten, dass die dabei auftretenden höheren Strömungsbelastungen in bisher ungedichteten Kanalstrecken abhängig von der Erosionsneigung des ungeschützten bindigen Sohlmaterials bzw. der Tondichtungen zu Schäden führen. Um dieses Schadenspotenzial besser einschätzen zu können, sind entsprechende Kenntnisse und Untersuchungen zur Erosionsneigung der im Sohlbereich anstehenden Böden unerlässlich.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen ist die Definition einfacher Versuchsmethoden zur Beschreibung des Erosionsverhaltens bindiger Böden, mit denen es möglich sein soll, reproduzierbare Parameter zu ermitteln.

2 Untersuchungsmethoden

Zur Verifizierung und zur Feststellung der Reproduzierbarkeit der bisher verwendeten Versuche ist vorgesehen, im geotechnischen Labor der BAW Karlsruhe mehrere unterschiedlich plastische Böden, vordergründig Dichtungstone, hinsichtlich Zerfall und Erosionsstabilität nach den bisherigen Testverfahren der RPW zu untersuchen. Hierzu sind Reihenuntersuchungen zur Optimierung der Versuchsparameter wie z.B. Einwirkdauer, Strömungsgeschwindigkeit, Probengröße etc. erforderlich. Sollte sich keine oder eine nicht ausreichende Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse abzeichnen, so werden die Untersuchungen auf die Ermittlung des Einflusses weiterer möglicher Parameter (Mineralbestand etc.) ausge-

dehnt. Werden nach einer eventuellen Modifikation d.h. Verbesserung der Untersuchungsweise auch weiterhin keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt, folgt eine Erweiterung der Arbeiten auf die Entwicklung neuer Testverfahren. In diesem Zusammenhang wird beabsichtigt, das Institut für Wasserbau der Universität Stuttgart mit entsprechenden Überströmversuchen zu beauftragen, da dort bereits aus vorhergehenden Studien eine entsprechende Versuchsanlage vorhanden ist.

3 Ergebnisse

In 2011 wurden erste Überströmungsversuche am Institut für Wasserbau in Stuttgart durchgeführt. In 2012 wurden in der BAW erste Vorversuche zum Zerfallsverhalten und zur Materialveränderung bzw. zur Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durchgeführt. 2013 wurden weitere Versuchsreihen (Zerfallsversuche nach Endell) mit Variation des Lagerwassers und der Materialfestigkeit (c_U -Festigkeit) begonnen, die in 2014 abgeschlossen und ausgewertet werden sollen. Daneben wurden umfangreiche Umbauarbeiten an der vorhandenen Pin-hole-Anlage vorgenommen, Testversuche durchgeführt und Versuche im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt. Ergänzend wurde zahlreiche Literatur zum Zerfall von Tonmaterial und zum Verhalten bei Durchströmung (Pin-Hole-Versuch) recherchiert. Eine Bewertung der Quellen steht noch aus.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

- Durchführung von Laborversuchen
- Auswertung und Vergleich der Messergebnisse
- Eventuell Erweiterung des Versuchsprogramms auf andere Testverfahren

2015:

- Abschluss der Laboruntersuchungen
- Erstellung eines Abschlussberichtes
- Ggf. Formulierung von weiterem Entwicklungsbedarf

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Entwicklung des Zustands von Deckwerken bei Absenkung des technischen Standards

Netzplan-Nr.: A39520470004

Projektleiter: Dr.-Ing. J. Kayser, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: jan.kayser@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Zur Förderung der Binnenschifffahrt in Deutschland ist es sinnvoll, eine weitest gehende Befahrbarkeit des Wasserstraßennetzes auch mit großen Binnenschiffen (GMS über 10 m Breite) zu ermöglichen. Dieses Ziel ist mit dem Ausbau vorhandener Wasserstraßen nach den „Richtlinien für Regelquerschnitte an Binnenschifffahrtskanälen“ des BMVBS mit Vertiefung, Verbreiterung und dementsprechend auch neuen, ausreichend bemessenen Böschungs- und Sohlensicherungen realisierbar. Dabei wird ein guter Standard für sichere, wirtschaftliche und unterhaltungsarme Deckwerke sowie hinsichtlich des Verhältnisses zwischen Gewässerquerschnitt und Schiffsgröße erreicht.

Aus ökologischen oder wirtschaftlichen Gründen ist dieser umfangreiche Ausbau der Wasserstraßen jedoch nicht in allen Fällen sinnvoll oder durchsetzbar. Um trotzdem eine möglichst weit gehende Befahrbarkeit des Wasserstraßennetzes für große Binnenschiffe zu erhalten, wird zunehmend eine Absenkung des technischen Standards (Standardabsenkung) in Betracht gezogen. Diese Standardabsenkung führt zu verhältnismäßig kleinen Querschnitten (Gewässertiefen und/oder Breite), zu Einschränkungen von Fahrsituationen (Richtungsverkehr, Überholverbote) und zu - bezogen auf die gängigen Bemessungsregeln - unterdimensionierten Deckwerken. Die Standardabsenkung kann zur Überlastung der Wasserstraßen führen, was sich wiederum negativ auf die Sicherheit und Langzeitstabilität der Ufersicherungen, die größtenteils als Deckwerke ausgeführt werden, auswirkt. Derzeit gibt es kein Verfahren, mit dem die Auswirkungen einer Überlastung von Deckwerken auf deren Zustandsentwicklung bzw. den erforderlichen Unterhaltungsaufwand quantifizierbar wäre.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es ein Verfahren zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Auswirkungen einer Standardabsenkung in der Wasserstraße auf die Standsicherheit und Langzeitbeständigkeit von Böschungs- und Sohlensicherungen projektspezifisch prognostiziert werden um dann über die technische und wirtschaftliche Notwendigkeit von Ausbau, Teilausbau oder Ertüchtigung von Ufersicherungen oder auch über verkehrliche Einschränkungen fundiert entscheiden zu können.

Deckwerke an Binnenwasserstraßen werden nach den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“ bemessen. Auf der Basis des GBB wurden die Regelbauweisen (MAR) entwickelt, die unter bestimmten Randbedingungen als standardisierte Bauweisen verwendbar sind. Die Standardbauweisen stellen einen ausreichenden Standard hinsichtlich der Belastbarkeit und der Langzeitbeständigkeit bei geringem Unterhaltungsaufwand dar. Wird dieser Standard abgesenkt, ist mit erhöhtem Unterhaltungsaufwand oder mit Uferabbrüchen zu rechnen. Hier ist eine differenziertere Betrachtung der technischen und wirtschaftlichen Folgen einer Standardabsenkung notwendig.

Die Kernfrage ist, wie sich unterbemessene Ufersicherungen mittel- und langfristig entwickeln werden. Bekannt ist derzeit nur, dass überlastete (unterbemessene) Deckwerke eine bis zu 8-fach höheren Unterhaltungsaufwand als normal belastete (standardgemäß bemessene) Deckwerke erfordern. Als wissenschaftliche Grundlage zur Bewertung der Belastung eignen sich die im GBB beschriebenen Bemessungsregeln.

1.2 Bedeutung für die WSV

Im Anlagevermögen der WSV sind ca. 20 Mrd. € in Ufersicherungen, ein großer Teil davon in Deckwerken enthalten. Ufersicherungen haben in Teilbereichen eine große Sicherheitsrelevanz.

Eine Standardabsenkung in der Ausführung von Ufersicherungen birgt daher große wirtschaftliche und technische Risiken. Die Abschätzung dieser Risiken ist eine wichtige Grundlage für Entscheidungen hinsichtlich zulässiger Schiffsverkehre und/oder Investitionen in das Gewässerbett und dessen Sicherung.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchungen ist die Entwicklung eines Verfahrens zur differenzierten Prognose der Zustands bzw. des Unterhaltungsaufwands für Deckwerke unter Berücksichtigung projektspezifischer Randbedingungen hinsichtlich der vorhandenen Ufersicherung und der hydraulischen Belastung. Die hydraulische Belastung wird wiederum maßgeblich durch der Geometrie des Gewässers und den Schiffsverkehr (Schiffsflotte, Fahrverhalten, Frequenz) bestimmt.

2 Untersuchungsmethoden

Für die Prognose von Bauwerkszuständen gibt es bereits verschiedene Verfahren. Für Deckwerke erscheint es sinnvoll, sich an Systemen der Fahrbahnunterhaltung für Straßen zu orientieren, die auf statistischen Verfahren basieren (Fastrich und Girmscheid, 2010). In Vorstudien hat sich gezeigt, dass hier Prognoseverfahren auf der Grundlage von Markov – Ketten unter Berücksichtigung der zufällig verteilten Einflussgrößen sinnvoll sind.

Die hierfür erforderlichen Basisdaten sollen über die Bemessung nach GBB mit der Software GBBSoft mit Monte-Carlo-Simulationen ermittelt werden. Die hydraulischen Belastungen, die Schiffsflotten und das Fahrverhalten der Schiffe sind hierfür statistisch zu beschreiben. Dies erfolgt zunächst beispielhaft an bereits vorhandenen Messungen an Wasserstraßen. Die dabei gewonnenen statistischen Modelle sollen möglichst allgemein formuliert werden, um auf zukünftige Projekte übertragbar zu sein.

Möglich ist auch die Beschaffung der Basisdaten aus einer Befragung von Experten aus der WSV und der BAW zu ihren Erfahrungen hinsichtlich der Entwicklung des Zustandes von Deckwerken (Delphi-Methode). Das Ergebnis der Befragung sollen Entwicklungskurven von Deckwerken unter verschiedenen Randbedingungen sein.

Eine erste Validierung dieser Basisdaten und des darauf basierenden Prognosemodells ist auf der Grundlage von Erfahrungen aus dem bereits seit längerer Zeit laufenden Forschungsvorhaben „Bestandsaufnahme Deckwerke“ möglich.

Durch gezielte Messungen insbesondere in der Natur sollen Lücken in den Basisdaten, die sich im Zuge der Modellerstellung zeigen, geschlossen und damit das Modell weiter entwickelt werden. Als Abschluss kann es sinnvoll sein, das Verfahren in eine Software zur projektspezifischen Prognose der Zustandsentwicklung von Deckwerken umzusetzen und so in der WSV-praxis eine gute Anwendbarkeit und Akzeptanz der Ergebnisse zu erreichen.

3 Ergebnisse

In 2013 wurden Untersuchungen angestellt, inwieweit sich ein Schiffsverkehr simulieren lässt. Datengrundlage dazu waren Messungen am DEK, WDK, der Berliner Nordtrasse und Silokanal. Die Simulation erfolgt in mehreren Schritten:

1. Auswertung des Schiffsverkehrs mit Feststellung von Korrelationen zwischen Ermittlung statistischer Kennwerte für die nachfolgenden bemessungsrelevanten Parameter
2. Simulation von 10.000 Schiffen auf der Grundlage der statistischen Verteilungen mit Hilfe von Zufallszahlen
3. Bemessung mit GGBSoft für die simulierten Schiffe
4. Vergleich der gemessenen und berechneten Bemessungsgrößen

Ein Vergleich der tatsächlichen mit den simulierten Heckwellen für einen Referenzabschnitt am Wesel-Datteln-Kanal zeigt Bild 1. Demnach ergibt die Simulation wesentlich größere Heckwellen als die Messungen. Das liegt zu einem großen Teil daran, dass die Berechnungen nach den Bemessungsregeln des GBB auf der sicheren Seite liegen.

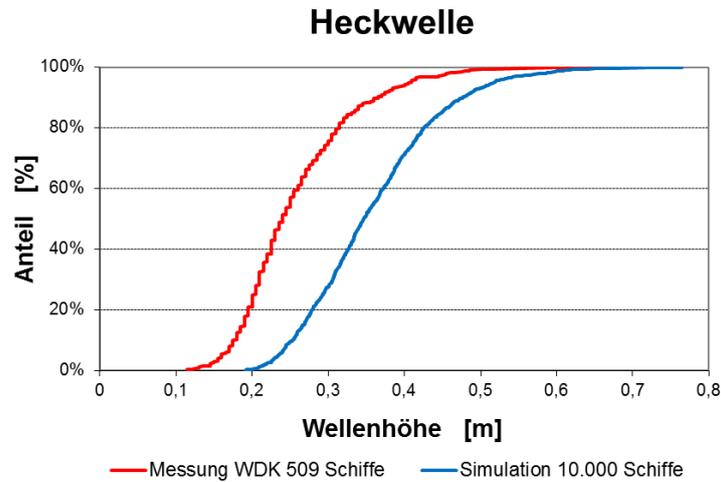


Bild 1: Gemessene und simulierte Höhen von Schiffsheckwellen

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das Vorhaben soll in 2014 abgeschlossen werden. Bis dahin sind keine weiteren Untersuchungen geplant, es wird allein ein Abschlussbericht erstellt. Die ursprünglichen Ziele des Vorhabens sind noch nicht erreicht, es ist aber sinnvoll das Vorhaben mit dem gegenwärtigen Kenntnisstand über die Möglichkeiten der Verkehrssimulation abzuschließen und anschließend ein neu ausgerichtetes Vorhaben auch auf der Basis von Naturuntersuchungen zu initiieren. Hierbei sind Impulse aus derzeit laufenden Aufträgen zur Standardabsenkung für Ufersicherungen an Wasserstraßen zu erwarten.

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

Fastrich, A., Girmscheid, G. (2010): Optimierungsmodell – Probabilistische Optimierung des Straßenunterhaltung mittels Markov-Ketten und Monte-Carlo-Simulation, Bauingenieur, Band 85, S. 471 – 481

6 Veröffentlichungen

-/-

Numerische Simulation von hydraulisch induziertem Sedimenttransport in Erdbauwerken

Netzplan-Nr.: A39520470005

Projektleiterin: H. Pfletschinger, Abteilung Geotechnik, Referat Erdbau und Uferschutz (G4)

E-Mail: heike.pfletschinger@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Durchsickerung von Erdbauwerken aufgrund hydraulischer Potentialunterschiede beeinflusst deren innere und äußere Stabilität. Mögliche Versagensmechanismen resultieren u.a. aus Partikeltransport im Erdbauwerk, der zu einer Veränderung der Porenstruktur und somit zu einer Veränderung der hydraulischen und mechanischen Bodeneigenschaften führen kann. Die Nicht-Linearität und starke Kopplung der hydraulischen Transport- und damit induzierten Strukturänderungsprozesse erschweren eine numerische Berechnung und Prognose der inneren Standsicherheit von Erdbauwerken. Bisherige numerische Modelle beschreiben i.d.R. nur Teilprozesse oder spezielle, kontrollierte Laborversuche. Erprobte kommerzielle Programme mit gekoppelten hydro-mechanischen Berechnungen basieren meist auf der Finite Elemente Methode und sind damit in ihrer Anwendung auf Fragestellungen, die Porenstruktur und Einzelkorngefüge betreffen, eingeschränkt (z.B. Plaxis, Code Bright).

Zur Erweiterung bestehender kontinuumsmechanischer mathematischer Beschreibungen nach der Theorie Poröser Medien (TPM) (z.B. de Boer, 2000) wurden u.a. am Lehrstuhl Kontinuumsmechanik der Ruhr-Universität Bochum Ansätze entwickelt, in denen die poröse Struktur eines Bodenkörpers als Mehrphasenkontinuum dargestellt wird. Entsprechend der Problematik der Beschreibung von Erosionsprozessen umfasst das Modell eine erodierbare Phase, eine feste Phase, sowie eine Fluid-Phase und eine Suspensions-Phase (z.B. Steeb und Scheuermann, 2012). Die Mikrostruktur des Bodens wird hierbei durch eine volumetrische Quantifizierung der einzelnen Phasen auf die makrostrukturelle Betrachtung übertragen. In weiteren Arbeiten gilt es, diese Ansätze zu verifizieren und zu erweitern.

1.2 Bedeutung für die WSV

Eine zuverlässige numerische Darstellung gekoppelter hydraulischer und geomechanischer Prozesse in Erddämmen ergänzt bestehende Stabilitätsberechnungen und Filterbemessungsmethoden. Die Berücksichtigung der Mikrostruktur und kontinuumsmechanische makrostrukturelle Berechnungsansätze ermöglicht die Simulation einsetzender Erosionsprozesse mit bestehenden Finite Elemente Programmen unter Einsatz relativ niedriger Rechnerleistung.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Arbeit ist es, geeignete numerische Methoden zur Darstellung von Fluid-Festkörper-Interaktionen in Erdbauwerken unter hydraulischem Potential zu testen bzw. weiterzuentwickeln. Hierbei sollen insbesondere Prozesse des hydraulischen Materialtransports und resultierende Änderungen der hydraulischen und mechanischen Bodeneigenschaften anhand der Theorie Poröser Medien simuliert werden.

2 Untersuchungsmethoden

Es werden sowohl anhand von Literaturstudien, als auch durch praktische Tests verschiedene numerische Methoden auf ihre Eignung zur Darstellung gekoppelter hydro-mechanischer Prozesse in porösen Medien geprüft.

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Kontinuumsmechanik der Ruhr-Universität Bochum werden bestehende mathematische Beschreibungen zur Simulation interner Erosion in Erdbauwerken anhand der TPM diskutiert, getestet und entsprechend der Fragestellung erweitert. Die Grundlagen der Methode liegen in der Erstellung eines thermodynamisch konsistenten Gleichungssystems unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Phasen eines Boden-Wasser-Gemischs. Zur numerischen Implementierung des mathematischen Konzeptes wird das Finite Elemente Programm COMSOL Multiphysics® verwendet.

Bestehende und entwickelte Modellansätze werden anhand von Mess- und Erfahrungswerten aus Versuchen und der Praxis evaluiert.

3 Ergebnisse

Nach Recherche für verschiedene numerische Methoden zur Eignung für die Darstellung gekoppelter hydro-mechanischer Prozesse in porösen Medien ist das vorgestellte Mehrphasenkonzept nach der Theorie Poröser Medien ein vielversprechender Ansatz und bildet den weiteren Schwerpunkt der Arbeit.

Das bestehende mathematische Modell wird bereits eingesetzt zur Simulation grundsätzlicher Prozesse der Infiltration (Schaufler et al., 2013). Da die an der BAW vorhandenen bodenmechanischen numerischen Simulationsprogramme Plaxis und Abaqus nicht zur Implementierung des gewählten mathematischen Ansatzes geeignet sind, wurde das Finite Elemente Programm Comsol Multiphysics® angeschafft. Innerhalb des mathematischen Moduls, in dem eigene partielle Differentialgleichungen implementiert werden können, wurde zunächst ein einfaches 2-Phasen-System zur Konsolidierung beschrieben.

Mit Implementierung des Erosionsmodells nach Steeb und Scheuermann (2012) in Comsol Multiphysics® wurden einfache 2-dimensionale Anfang-Randwertprobleme simuliert, um die Gültigkeit des mathematischen Modells zu testen. Mit zusätzlicher Implementierung eines linear-elastischen Bodenstoffgesetzes konnten die Abhängigkeiten der Primärvariablen des Modells nachvollzogen werden. Eine Parameterstudie verdeutlichte die hohe Sensitivität des im Modell implementierten Terms zur Simulation des Materialabtrags hinsichtlich der hydraulischen Leitfähigkeit des Materials. Zum besseren Verständnis von Materialabtrag in einer festen porösen Struktur wurden porenskalige Versuche entwickelt und konzeptuell erprobt. Im Weiteren sollen Versuche zur näheren Definition des im Modell implementierten Materialaustragsterms durchgeführt werden.

Erste Simulationen zur Modellvalidierung anhand von Literaturdaten aus Permeameter-Versuchen (Moffat und Fannin, 2006) zeigten, dass insbesondere im Modell implementierte Konstitutivbeziehungen noch stark vereinfacht sind. Lokale Versagensmechanismen der Versuche konnten nur annähernd qualitativ nachvollzogen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

2013:

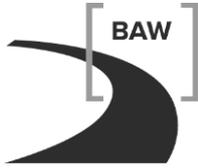
- Erweiterung des mathematischen Grundmodells entsprechend der Fragestellungen der BAW und Prüfung bestehender Modellannahmen
- Implementierung des Modells in COMSOL Multiphysics für standardisierte Anfangs-Randwertprobleme
- Entwicklung von kleinskaligen Modellversuchen zur Verifizierung des Modells für standardisierte Anfangs-Randwertprobleme

2014:

- Erweiterung der Modellkomplexität
- Durchführung von Porenskala-Versuchen zur Definition des Erosions-Austauschterms
- Modellvalidierung anhand von Literaturdaten aus Säulenversuchen (Moffat und Fannin, 2006)
- Sensitivitätsanalyse der Modellparameter
- Evaluation der gewählten Methodik
- Formulierung für weiteren Entwicklungsbedarf

5 Literatur

- de Boer, R. (2000): Theory of Porous Media. Highlights in the historical development and current state. Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Moffat, R.; Fannin, R. J. (2006): A Large Permeameter for Study of Internal Stability in Cohesionless Soils. Geo-technical Testing Journal. Vol. 29(3):273-270.



Schaufler, A.; Becker, C.; Steeb, H. (2013): Infiltration processes in cohesionless soils. Z. angew. Math. Mech., 93:138-146.

Steeb, H.; Scheuermann, A. (2012): Modelling internal erosion: A continuum based model enriched by microstructural information. Acta Geotechnica, submitted, 2012.

6 Veröffentlichungen

-/-

Statistische Auswertung von Erschütterungsemissionen

Netzplan-Nr.: A39520570002 (alt: A39560610020)

Projektleiter: Dipl.-Phys. R. Zierach, Abteilung Geotechnik, Referat Baugruddynamik (BD)

E-Mail: rahula.zierach@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Messergebnisse von sachgemäß und im erforderlichen Umfang durchgeführten Erschütterungsmessungen stellen bei Kenntnis der eingesetzten Technik und Energie der Erschütterungsquellen ähnlich wertvolle Aufschlüsse wie Bohrungen oder Sondierungen für die untersuchten Baugrundbereiche dar. Diese Ergebnisse gilt es für weitere Aufgaben der WSV zu nutzen. Nutzbare Veröffentlichungen darüber sind kaum vorhanden, da diese Kenntnisse einen Teil des „Know-how“ der einschlägigen Institutionen ausmachen. Die BAW verfügt inzwischen über große Datenmengen von Erschütterungsmessungen bei Baumaßnahmen an Wasserstraßen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Auf Baustellen der WSV ist die Nutzung erschütterungsintensiver Bauverfahren wie Rammen, Vibrationsrammen, Vibrationsverdichten, Sprengen, Meißeln u. ä. nach wie vor unverzichtbar. Auf Grund der z. T. anzutreffenden Erschütterungsempfindlichkeit moderner Produktionsanlagen und zunehmender Sensibilität von Menschen in Wohngebäuden gegenüber Erschütterungen sind in der Vorbereitung von Baumaßnahmen immer häufiger auch erschütterungsärmere Schwingungsquellen wie z.B. Schiffs-, Baustellen- und Straßenverkehr zu berücksichtigen. Zuverlässige Erschütterungsprognosen können entscheidende Hinweise für die Auswahl zulässiger Bauverfahren, für die Fahrweise (z.B. Drehzahl von Vibrationsrammen) von Baumaschinen sowie für Art und Umfang von Beweissicherungsmaßnahmen bei erschütterungsintensiven Baumaßnahmen liefern.

1.3 Untersuchungsziel

In dem FuE-Vorhaben sollen die in vielen Einzelaufgaben erarbeiteten und für Erschütterungsgutachten genutzten Messdaten der BAW in Abhängigkeit vergleichbarer Parameter aufbereitet und für Prognosen zur Verfügung gestellt werden. Ziel dieser Untersuchungen ist ein experimentell gesichertes Prognoseverfahren für Bauwerks-, Bauteil- und Bodenerschütterungen im Umfeld von erschütterungsintensiven Baumaßnahmen um eine Verbesserung der Zuverlässigkeit, Schnelligkeit und Anwendungsbreite künftiger Erschütterungsprognosen zu erreichen.

2 Untersuchungsmethoden

Die gesammelten Erschütterungsmessdaten von Rammungen, Sprengungen, Meißel- und Verdichtungsarbeiten u. a. werden in Abhängigkeit vom Abstand zur Erschütterungsquelle, von der eingesetzten Energie, von Boden- und Bauwerkseigenschaften sowie gegebenenfalls von weiteren Einflussgrößen, wie z. B. Bohlenlänge und Rüttelfrequenz statistisch ausgewertet. Die vorliegenden Messdaten werden zusammen mit den vorhandenen Angaben aller relevanten Parameter elektronisch archiviert, systematisiert und statistisch ausgewertet. Das Problem der Erschütterungsausbreitung wird dabei in drei Teilkomplexen untersucht, der Erschütterungserzeugung (System Baumaschine-Boden), der Erschütterungsausbreitung (System Boden-Boden) und der Erschütterungsübertragung (System Boden-Bauwerk-Bauteil). Dabei sollen sowohl allgemeine Zusammenhänge (z. B. Bauwerkserschütterungen pro eingesetztem Energiebetrag in Abhängigkeit vom Abstand, unabhängig von Bauwerksart und Baugrund) als auch detaillierte Zusammenhänge (z. B. Erschütterung je Energiebetrag in Abhängigkeit vom Abstand für schwere massive Bauwerke in Sandböden) herausgearbeitet werden. Im ersten Fall erhält man über den Mittelwert und die Standardabweichung einen schnellen Überblick über die im Mittel und mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (z. B. 95 % und 99 %) maximal möglichen Erschütterungen auch ohne Kenntnis des aktuell vorhandenen Baugrundes. Im zweiten Fall können bei Kenntnis bestimmter Parameter des Bauwerks und des Baugrundes genauere Angaben mit reduziertem Streubereich erhalten werden. Beide Fälle sind für die praktische Arbeit sinnvoll und notwendig.

3 Ergebnisse

Statistische Aussagen für die Schwingungsausbreitung aller gängigen erschütterungsintensiven Bauverfahren an Wasserstraßen liegen bereits vor. Hierin sind enthalten Analysen für Schlagrammungen von Spundwandelementen (Dieselrammen, Hydraulikrammen, Schnellschlagbäre) und Rammpfählen (Franki-Verfahren), Vibrationsrammungen (mit variablen und starren Unwuchten im Drehzahlbereich $f = 16 - 40$ Hz), Spundwandarbeiten mit hydraulischen Pressen, Meißelarbeiten (Abriss- und Felsmeißeln), Verdichtungsarbeiten (Rüttelplatten, Rüttelwalzen, Rüttelstopfverdichtung), Auflockerungssprengungen und Abbruchsprengungen sowie Erschütterungen aus Schiffsverkehr und herab fallenden Massen.

Um die durch regelmäßige Messungen ständig wachsenden Datenbestände besser handhaben zu können, wurde eine Software für die Erfassung, Analyse, Archivierung und Prognose von Erschütterungsdaten erarbeitet. Inzwischen liegt die 10. überarbeitete Version dieser Software vor. Es sind Module für Schlagrammungen, Vibrationsrammungen, hydraulische Pressen, Meißelarbeiten, Verdichtungsarbeiten, Sprengungen sowie Erschütterungen aus Schiffsverkehr und durch herabfallende Massen enthalten. Die Erfassung und Auswertung von Messdaten konnte damit insbesondere hinsichtlich der Korrelationen zu Verfahrens-, Boden- und Bauwerksparemern deutlich verbessert werden. Die Prognose der Schwingungsausbreitung ist damit sehr schnell und unter Heranziehung einer wesentlich größeren Datenbasis als bisher möglich. Für die Beurteilung der Mess- bzw. Prognosegrößen sind Rechenmodule für Vergleiche mit den Anhaltswerten aus der DIN 4150 integriert. Neben den Rechenmodellen mit numerischer Ausgabe der Ergebnisse für unterschiedliche Erschütterungsausbreitungen und Quellen können die berechneten Ergebnisse graphisch dargestellt werden. Für die Verarbeitung externer Daten wurde ein Modul für den Datenimport und Export programmiert. Bei der Bearbeitung der aktuellen Aufgaben stellt das oben beschriebene Programm bereits eine wertvolle Hilfe bei der Auswertung von Erschütterungsmessungen und der Erstellung von Prognosen dar.

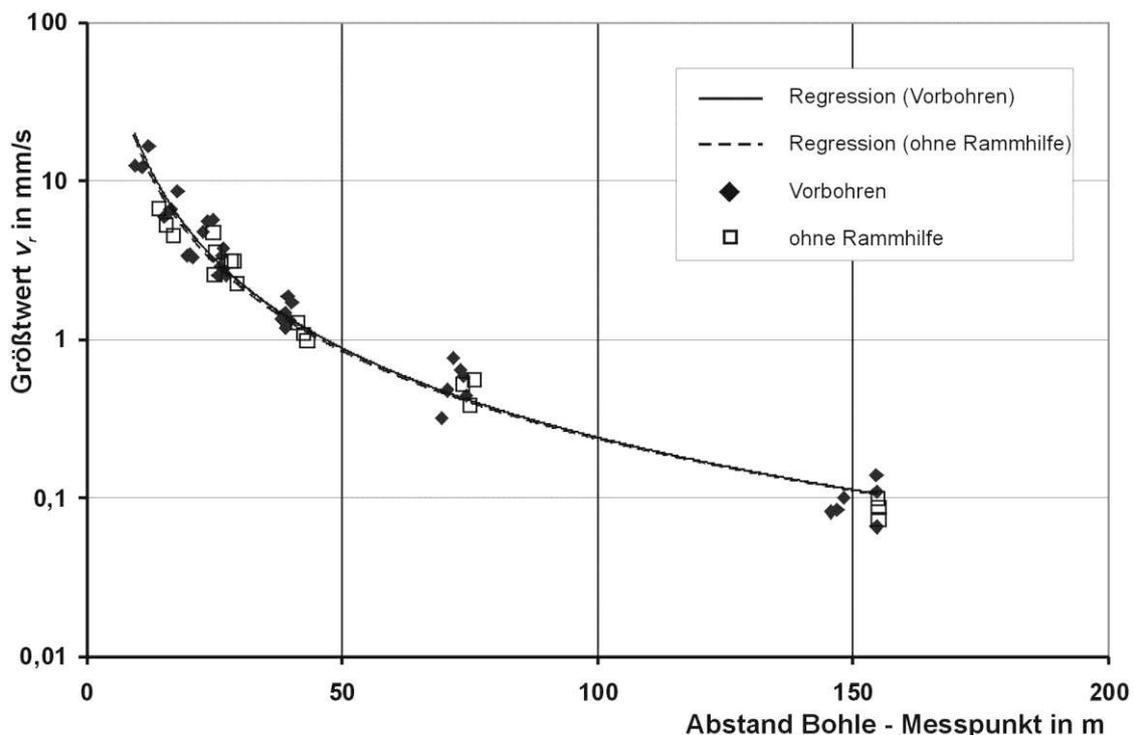


Bild 1: Größtwerte der Bodenschwingungen v_i je gerammter Spundbohle bei Vibrationsrammung

Im Jahr 2010/2011 wurden im Rahmen der Bautätigkeit des WSV sieben Proberammungen durch Schwingungsmessungen begleitet, bei denen am jeweils gleichen Standort verschiedene Rammhilfen getestet wurden. Dabei hat sich gezeigt, dass unter vergleichbaren Bedingungen (Rammelemente, Boden, Rammverfahren, Abstand) die Bodenschwingungen durch die Rammhilfen Vorbohren, Hochdruckvorschneiden und Niederdruckspülung nur sehr geringfügig (vernachlässigbar) beeinflusst werden. Im Bild 1 sind exemplarisch die Größtwerte der Bodenschwinggeschwindigkeit je Messpunkt und je gerammter Bohle bei Vibrationsrammung ohne Rammhilfe und mit Rammhilfe Vorbohren bei einer Proberammung dargestellt. Die Regressionskurven (Wellenausbreitung von Oberflächenwellen) beider Verfahren liegen nahezu übereinander.

Mit den bisherigen Ergebnissen können Erschütterungsprognosen und die Auswirkungen von Erschütterungen für Planfeststellungsverfahren in vielen Fällen auch ohne kostenaufwändige Probemaßnahmen zuverlässig getätigt werden. Erschütterungsmessungen bei Bau- und Probemaßnahmen können mit Hilfe der entwickelten Software bereits vor Ort vorausgewertet werden so dass auf Anfragen von Ämtern zu Erschütterungsproblemen inzwischen wesentlich kurzfristiger reagiert werden kann.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Geplanter weiterer Bearbeitungszeitraum ist bis zum 31.12.2014 vorgesehen.

Im Jahr 2013 werden weitere Verbesserungen und Anpassungen des entwickelten Prognoseprogramms vorgenommen.

Im Jahr 2014 werden die Ergebnisse in einem Abschlussbericht zusammengefasst.

Laufzeit des Vorhabens von 2001 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Konsolidationsverhalten von Baggergut (Schlick)

Netzplan-Nr.: A39550110100

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Pohl, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Geotechnik Nord (K1)

E-Mail: martin.pohl@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Erweiterte Kenntnisse über das Konsolidationsverhalten von Baggergut (Schlick) unter seinem Eigengewicht und nach einer Überdeckung mit Sand sind für die Umsetzung des WSV-Konzepts (Subaquatische Schlickablagerung) unverzichtbar. Zur Erfassung des physikalischen Verhaltens sind Messungen in der Natur erforderlich. Deren Ergebnisse sind mit Hilfe numerischer Verfahren zu simulieren, um durch Anpassungen im numerischen Modell die Bedingungen anderer subaquatischer Ablagerungsstätten berücksichtigen und deren Verhalten prognostizieren zu können.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Für die Prognostizierung des Verhaltens von Schlickablagerungen sind die sich zeitabhängig entwickelnden Setzungen und Porenwasserdrücke in situ von besonderem Interesse. Abgesehen von durchgeführten Langzeitmessungen der BAW sind die Messdaten von entsprechenden Naturmessungen nicht vollständig zugänglich.

Um das Verhalten des Schlicks im Naturversuch auf andere Schlickablagerungen übertragen und daraus deren Setzungsverhalten prognostizieren zu können, sind numerische Methoden erforderlich. Diesbezügliche numerische Simulationen haben in der Fachwelt aufgrund der fehlenden Datengrundlage (Messwerte), der großen Verformungen im Schlick und dessen rheologischer Eigenschaften nicht stattgefunden.

1.2 Bedeutung für die WSV

In der WSV fallen im Rahmen der Unterhaltungsbaggerung der Bundeswasserstrassen große Mengen an Schlick an. Diese werden u.a. subaquatisch abgelagert. Zur Zeit ist es Praxis, die Einspülhöhen und die zeitlichen Wiederaufspülungen an Beobachtungen des eingespülten Materials und am Erfahrungswissen festzumachen. Durch die numerische Simulation des zeitlichen Verhaltens von Schlickablagerungen unter variablen Randbedingungen kann das Verbringungskonzept hinsichtlich der o.g. Punkte optimiert werden. Die zeitlich zunehmenden Standsicherheiten der Schlickablagerungen infolge der Festigkeitszunahme des Schlicks und der Porenwasserabgaben können rechnerisch erfasst und bewertet sowie die Wiederaufspülung exakter terminlich festgesetzt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Das zeitliche Setzungsverhalten und die sich entwickelnden Porenwasserdrücke in einer Schlickablagerung sollen mit Hilfe eines numerischen Modells unter diversen Randbedingungen prognostizierbar sein.

2 Untersuchungsmethoden

Der Hamburger Rodewischhafen wurde im Jahr 1993 von der Hamburg Port Authority (HPA) mit Baggergut (Schlick) verfüllt. Von der BAW wurde dort 1994, unmittelbar nach dem Einspülen des Schlicks, eine Messanlage für Setzungs- und Porenwasserdruckmessungen installiert. Für die Messungen wurde ein spezifisches Messgerät entwickelt, das dem Setzungsverhalten des breiig / flüssigen Schlicks folgen kann. Diese Messanlage wurde im Jahr 2000 modernisiert und neu kalibriert. Im Jahr 2004 hatten die oberen Schlickschichten infolge Durchwurzelung und Austrocknung eine ausreichende Festigkeit, um auf dem Baggergut Geotextil- und Sandlagen zur Schaffung einer Containerstellfläche auszubringen. Somit konnten seit Messbeginn Daten von eingespültem Baggergut unter Eigengewicht und zusätzlicher Sandauflast gewonnen werden.

An frischen Schlickproben aus vergleichbaren Revieren wurden 2008 ergänzende Laborversuche durchgeführt, um die bodenmechanischen Eigenschaften für die numerischen Berechnungen eingrenzen zu

können. Für die numerische Simulation wurde wegen der messtechnisch erfassten großen Verformungen und der rheologischen Eigenschaften des Schlicks ein Finite-Differenzen-Programm (FLAC3D) verwendet. Aus zeitlichen Gründen, aufgrund der regulären Projektbearbeitung, wurde im Sept. 2008 das Institut für Geotechnik, Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau der Technischen Universität Bergakademie Freiberg beauftragt, ein Simulationsmodell aufzubauen und die Stoffparameter zu kalibrieren. Im Oktober 2010 wurde deren Endbericht vorgelegt.

3 Ergebnisse

Die Messergebnisse aus dem Naturversuch erlauben eine Beurteilung des Konsolidationsverhaltens von Schlick unter Eigengewichtsbedingungen und zusätzlicher Auflastspannung. Die Messdaten von 1994 bis 2010 wurden zusammenfassend ausgewertet.

Die bodenmechanischen Laborversuche wurden numerisch nachgefahren und hierüber die numerischen Stoffparameter ermittelt. Für die Nachrechnung der Laborversuche wurden verschiedene Stoffgesetze angewandt. Hierbei stellte sich das double-yield-model mit einer Volumen- und Scherverfestigung als das geeignete heraus. Berechnungen mit einem linear elastischen Stoffgesetz und dem modifizierten cam-clay-model lieferten keine realistischen Ergebnisse.

Mit den somit ermittelten Stoffparametern wurde der Naturversuch in einem numerischen hydro-mechanisch gekoppelten Simulationsmodell nachgerechnet (Bild1). Die numerische Simulation des Naturversuchs im Rodewischhafen wurde entsprechend den zeitlichen Vorgängen durchgeführt, d.h. Simulation des Schlickeintrags 1993 bis 1994, Austrocknung der obersten Schichten zwischen 1999 und 2004, Einbau von Vertikaldränagen und Ringdränagen sowie lagenweise Sandaufhöhungen bis 2005.

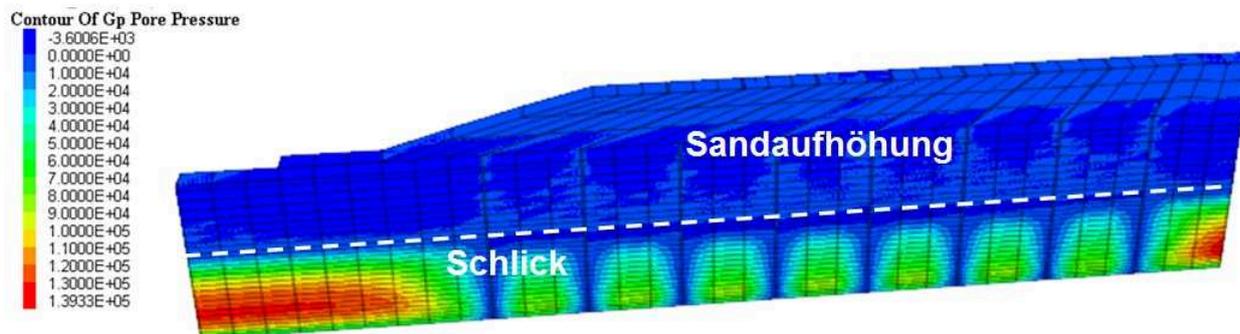


Bild 1: Porenwasserdruckverteilung im numerischen Simulationsmodell mit Vertikaldränagen und Sandaufhöhung

Insbesondere die numerischen Simulationsergebnisse für das zeitabhängige Setzungsverhalten (Bild 2 oben) sind in guter Übereinstimmung mit den physikalischen Messgrößen (Anmerkung: A0, K1-K7 sind Messpunkte über die Schlickschichtmächtigkeit). Die numerisch simulierten Porenwasserdrücke (Bild 2 unten) können ebenfalls als zutreffend bewertet werden, da die maßgeblichen Effekte, wie Sandaufhöhung mit nachfolgender Dissipation, qualitativ mit den physikalischen Messdaten übereinstimmen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass physikalische Effekte, wie Gasentwicklung im Schlick und größere Pflanzen auf der Schlickoberfläche numerisch nur indirekt, z.B. durch die Wahl eines geringeren Kompressionsmoduls für das Wasser und einer trockenen Schlickoberfläche, berücksichtigt worden sind.

Hinsichtlich der Einflussfaktoren Durchlässigkeit des Schlicks, Sättigungsgrad und Wasserstand im Schlick sowie Durchlässigkeit der Sohle wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Hierdurch zeigte sich, dass das Setzungsverhalten im numerischen Modell von den hydraulischen Randbedingungen und der Durchlässigkeit im Schlick dominiert wird.

Im Berichtszeitraum 2013 wurden Feldflügelsondierungen und Rammkernbohrungen ausgeführt, um die Schlickeigenschaften 20 Jahre nach der Einspülung zu erfassen und im Labor ermitteln zu können.

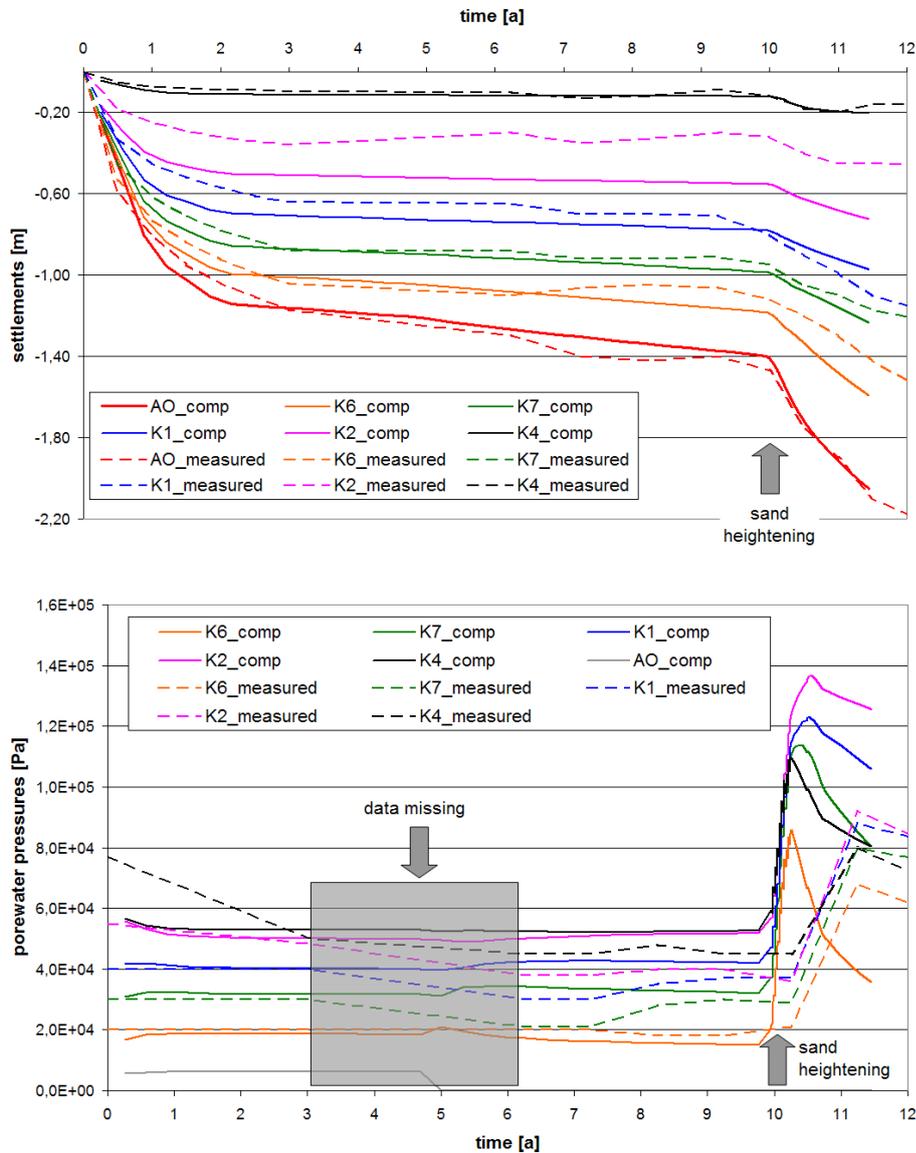


Bild 2: Vergleich der numerisch simulierten (Linien) mit physikalisch gemessenen (Strichlinie) Ergebnissen / oben: Setzungen, unten: Porenwasserdrücke

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014 - 2016: Auswertung der in situ Beprobungen und deren Abgleich mit den numerischen Modellergebnissen; dreidimensionale Simulation des Großversuchs mit Sandauflast.

Laufzeit des Vorhabens von 2002 bis 2016.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Bemessung korrodierter Stahlspundwände im Wasserbau

Netzplan-Nr.: A39550110158

Projektleiterin: Dipl.-Geol. A. Heeling (Mitarbeiterin: Dipl.-Ing. (FH) A. Jakobs),
Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Geotechnik Nord (K1)

E-Mail: anne.heeling@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Beurteilung des Korrosionszustandes einer Stahlspundwand erfolgt anhand der charakteristischen Werte der Korrosion „Mittlere Abrostung“ (→ Spannungsnachweis) und „Maximale Abrostung“ (→ Durchrostung), die sich derzeit zuverlässig nur mittels einer statistischen Auswertung von Ultraschall-Restwanddickenmessungen ermitteln lassen. Das Referat Geotechnik Nord hat dazu bereits in den 90er Jahren ein Verfahren zur Berechnung der Maximalen Abrostungen entwickelt.

1.2 Bedeutung für die WSV

Spundwände überbrücken Geländesprünge in Häfen und an Wasserstraßen und stellen daher ein im Zuständigkeitsbereich der WSV weit verbreitetes Bauteil dar, das wegen seiner statischen Funktion ständig hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zu beurteilen ist. Viele Spundwandbauwerke erreichen jedoch aufgrund lokaler Durchrostungen nicht die ursprünglich geplante Nutzungsdauer von 50 bis 80 Jahren. Darüber hinaus gibt es wirtschaftliche Bestrebungen „schlankere“, statisch höher ausgelastete Spundwandprofile einzusetzen, so dass eine Verminderung der Tragfähigkeit aufgrund korrosiver Wanddickenverluste von großer Relevanz ist.

Der zutreffenden Beurteilung des Korrosionszustandes auf Grundlage von Restwanddickenmessungen kommt somit eine hohe Bedeutung zu. Diese sind jedoch zeit- und kostenintensiv: Sie erfordern eine exakte Planung in Kenntnis der Örtlichkeiten. Die Vorbereitung (sorgfältige Reinigung der Messpunkte) und die Durchführung von Spundwanddickenmessungen erfolgen oft unter schwierigen Randbedingungen (Tauchereinsatz, strömendes bzw. trübes Wasser, Messeinsatz nahe intensiv genutzter Anlagen und bei Wellengang). Zudem gibt es zur Auswertung von Spundwanddickenmessungen auf dem freien Markt keine Standardsoftware; die BAW verwendet deshalb als Eigenentwicklung die Datenbankanwendung WaDiMe (= WandDickenMessung).

Für die WSV ist es von besonderem Interesse, den Aufwand bei der Durchführung von Restwanddickenmessungen zu verringern bzw. deren Aussagekraft zu vergrößern. Bisher werden Spundwanddickenmessungen von der BAW im Auftrag der WSV mittels Ultraschall durchgeführt. Zukünftig kann für bestimmte Ämter – mit Unterstützung der BAW – auch eine selbstständige Durchführung und Auswertung der Messungen oder eine Vergabe an (bisher auf dem freien Markt kaum vorhandene) qualifizierte Ing.-Büros sinnvoll sein.

Aus wirtschaftlicher Sicht wäre es zudem vorteilhaft, zukünftig das Abrostungsverhalten einer Spundwand aus Umgebungsparametern prognostizieren zu können.

1.3 Untersuchungsziel

Das im Referat Geotechnik Nord erarbeitete Verfahren zur Berechnung der Maximalen Abrostung, welches auf Grundlage von Restwanddickenmessungen eine qualifizierte Beschreibung des Korrosionszustandes eines Spundwandbauwerkes zulässt, ist kontinuierlich weiterzuentwickeln. Dazu ist es auch erforderlich, das Vorgehen bei der Durchführung von Spundwanddickenmessungen mittels Ultraschall weiter zu optimieren sowie alternative Messverfahren zu testen.

Mittels statistischer Verfahren ist die Vorhersage des Abrostungsverhaltens aus einer Vielzahl von Einflussfaktoren zu ermöglichen:

- Physiko-chemische Eigenschaften des Immersionsmediums Wasser
- Physiko-chemische Eigenschaften des Spundwandstahls

- Mechanische Beanspruchung des Bauwerkes (z.B. Fenderreibung, Eisgang, Wellen)
- Mikrobiologische Prozesse

Einzelne Faktoren wirken jedoch nicht einheitlich korrosionsfördernd oder –hemmend, sondern stehen miteinander in Wechselwirkung. Ziel des FuE-Vorhabens ist deshalb ein tieferes Verständnis der Korrosionseinflussfaktoren und –mechanismen und deren Wechselwirkungen.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind in Form von anwenderfreundlichen Auswerteroutinen in die Datenbankanwendung WaDiMe einzubinden.

2 Untersuchungsmethoden

Das FuE-Vorhaben unterstützte das Projekt „Design Method for Steel Structures in Marine Environments Including the Corrosion Behaviour“ der EU, das von der BAW bis 2005 gemeinsam mit Partnern aus Italien, Luxemburg und Frankreich durchgeführt wurde. Die Untersuchungsmethoden wurden detailliert im Endbericht (European Communities, 2007) beschrieben.

Die WaDiMe-Programme wurden zwischen 2007 und 2013 weiterentwickelt. Die Programmierarbeiten wurden von Fa. Skill Networks, Hamburg, durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit der Fa. Applus RTD, Bochum, wurden Wanddicken-Vergleichsmessungen mittels Ultraschall und pulsierendem Wirbelstrom im Labor (2006) und vor Ort (2007 und 2008) durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit der Fa. Evologics, Berlin, erfolgten 2009 Vergleichsmessungen im Labor zur Beurteilung der Aussagekraft und Praxistauglichkeit des Ultrabreitbandsonar-Verfahrens. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt nach den Aussagen der Fa. Evologics im – im Vergleich zur Ultraschallmessung – geringeren Aufwand, da nur eine grobe Reinigung der Messstellen erforderlich ist, bei gleichzeitig höherer Messgenauigkeit.

3 Ergebnisse

Das ECSC-Projekt lieferte folgende Ergebnisse, die detailliert dem Endbericht (European Communities, 2007) zu entnehmen sind:

- In Zusammenarbeit mit der Fa. Statsoft Europe GmbH, Hamburg, wurde ein modifiziertes Berechnungsverfahren für die charakteristischen Kennwerte der Korrosion und ein Prognosemodell vorgelegt, wonach sich mittlere Abrostungen mittels einer tiefenbezogenen Exponentialfunktion darstellen lassen:

$$\text{Mittlere Abrostung} = b_n \cdot e^{b_m \cdot \text{Tiefe}}$$

- Die Regressionskoeffizienten b_n und b_m lassen sich je Korrosionszone sowohl aus den Restwanddickenmessungen als auch aus Milieuparametern berechnen; die Tiefenangabe bezieht sich auf die jeweilige Korrosionszone definierenden Wasserstände.
- Um die Aussagekraft von Spundwanddickenmessungen zu erhöhen, wurde deren Durchführung aus statistischer Sicht hinterfragt und modifiziert. Es wurden Empfehlungen zur erforderlichen Anzahl von Einzelmesswerten pro Korrosionszone und Bauwerk sowie zur Verteilung und Anzahl der Messquerschnitte längs der Höhe einer Spundwandbohle gegeben.
- Es wurde festgestellt, dass die bei Spundwanddickenmessungen beobachteten Löcher häufig keinen (statistischen) Bezug zu den gemessenen Restwanddicken haben. Diese „anormalen“ Löcher lassen sich deshalb (im Gegensatz zu den „normalen“) weder mittels einer statistischen Analyse aus den gemessenen Restwanddicken prognostizieren noch dürfen sie bei der Berechnung der statistischen Kennwerte der Korrosion berücksichtigt werden.

Diese Ergebnisse wurden

- 2005 im Rahmen des K1-Kolloquiums „Erfahrungsaustausch zur Planung, Bemessung und Ausführung von Uferwänden aus Stahlspundbohlen“,
- 2006 auf dem 31th PIANC Congress in Estoril, Portugal,
- 2007 auf dem HTG-Kongress in Dresden,
- 2009 auf dem Workshop „Spundwände – Profile, Tragverhalten, Bemessung, Einbringung und Wiedergewinnung“ der TU Hamburg-Harburg und

– 2010 auf der Fachtagung „Bauwerksdiagnose 2010“ in Berlin vorgestellt.

2008 wurde das WaDiMe-Programmpaket vollständig überarbeitet und benutzerfreundlicher gestaltet. Seitdem wurden zahlreiche Fehlerkorrekturen und Anpassungen durchgeführt. 2013 erfolgte die Umstellung auf Windows 7 und Office 2010 sowie eine Plausibilisierung der Datenbankinhalte.

2006 wurde erstmalig eine Installation des WaDiMe-Programmpaketes an eine externe Stelle – das WSA Minden – zur selbstständigen Durchführung und Auswertung von Spundwanddickenmessungen weitergegeben; in diesem Zusammenhang wurde bereits 2004 eine zweitägige Schulung durchgeführt.

Nachdem die Laborvergleichsmessungen zwischen Wirbelstrommessung, Verfahren Incotest, und Ultraschall 2006 eine gute Übereinstimmung bzgl. der Bestimmung der Mittleren Abrostungen erwarten ließen, die vor-Ort-Vergleichsmessungen 2007 aber zu widersprüchlichen Ergebnissen führten, ergab eine erneute Messkampagne 2008, dass die Messungenauigkeit des Incotest-Verfahrens unter realen Einsatzbedingungen so groß ist, dass keine aussagekräftigen Ergebnisse erzielt werden können. Ohne eine Weiterentwicklung des Wirbelstromverfahrens sind deshalb keine weiteren Vergleichsmessungen geplant.

Erste Labormessungen zeigten 2009, dass das Ultrabreitbandsonar-Verfahren der Fa. Evologics erwartungsgemäß (da es sich ebenfalls um ein auf Ultraschall basierendes Verfahren handelt), zutreffende Restwanddickenwerte liefert. Weitere, seit 2010 geplante vor-Ort-Vergleichsmessungen scheiterten an den unzureichenden Kapazitäten der Fa. Evologics.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Damit Wanddickenmessungen von den Wasser- und Schifffahrtsämtern vermehrt an Ingenieurbüros vergeben werden können, ist geplant, in 2014 eine detaillierte Beschreibung zur fachgerechten Durchführung und Auswertung von Ultraschall-Messungen zu erarbeiten, die dann als Ausschreibungsgrundlage für Wanddickenmessungen dienen kann.

Weiterhin werden alternative Verfahren zur Spundwanddickenmessung auf ihre Praxistauglichkeit hin geprüft und bewertet. Voraussichtlich im 1. Quartal 2014 wird die Fa. Domesy GmbH & Co. KG, Bremen, der BAW ein speziell für den Tauchereinsatz entwickeltes Gerät zur Ultraschall-Schichtdickenmessung vorstellen, bei dessen Einsatz lt. Herstellerinformation auf eine Reinigung der Stahloberfläche weitestgehend verzichtet werden kann. Für Mitte 2014 ist eine Vor-Ort-Vergleichsmessung geplant.

Laufzeit des Vorhabens von 2001 bis 2014.

5 Literatur

European Communities (2007): Design method for steel structures in marine environment including the corrosion behaviour. Final report. ECSC Steel RTD program. Contract number 7210-PR/317. Final report.

6 Veröffentlichungen

-/-

Deckwerksanalyse mit der Distinct Element Method (DEM)

Netzplan-Nr.: A39550170270

Projektleiter/in: Dipl.-Ing. L. Mittelbach, Dr.-Ing. M. Pohl, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Geotechnik Nord (K1),

E-Mail: martin.pohl@baw.de, livia.mittelbach@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Kenntnisse über Schädigungsmechanismen und Widerstände von Deckwerken gegenüber hydraulischen Belastungen sind für eine wirtschaftliche Bemessung von Deckwerken in der WSV unverzichtbar. Für die komplexen und vielfältigen Randbedingungen in den Ästuarien sind die derzeitigen Bemessungsgrundlagen unzulänglich. Das Ziel ist, mit Hilfe numerischer Verfahren die Widerstände von Deckwerken gegenüber hydraulischen Belastungen für die jeweiligen lokalen Randbedingungen im Tidegebiet zu erfassen und eine integrierte Bemessung zu ermöglichen. Schädigungsmechanismen können auf Grundlage der Simulationen hergeleitet werden. Naturmessungen dienen der Validierung des numerischen Modells.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Bemessung von Deckwerken erfolgt derzeit auf Grundlage von Erfahrungswerten und physikalischen Modellansätzen (z.B. Hansen (1985), GBB (2010), EAK (1993 u. 2002)). Durch kleinmaßstäbliche Modellversuche und Beobachtungen in der Natur wird auf die Widerstandsfähigkeit des Deckwerks gegenüber den hydraulischen Einwirkungen geschlossen, wobei die Interaktion Seeschiff – Deckwerk bisher nur unzureichend untersucht wurde.

Bisher erfolgte eine Zusammenführung von Einwirkungen und Widerständen auf Grundlage der Finite Elemente Methode (FEM), wobei jedoch nur eine Massenbetrachtung angestellt werden kann. Bei einer numerischen Simulation des Deckwerks mit der DEM können sich die einzelnen Partikel hingegen „frei“ bewegen und unterliegen keinen finiten Begrenzungen. Eine Simulation mit der DEM hat bisher nicht stattgefunden, da die DEM in der Geotechnik derzeit vorwiegend für Grundlagenforschungen verwendet wird und die Methode mit vergleichsweise langen Rechenzeiten einhergeht. In der letzten Zeit finden erste Hochschulaktivitäten auf diesem Gebiet statt, jedoch häufig nur mit zweidimensionalen Betrachtungen, anderen Simulationsalgorithmen und dem derzeitigen Augenmerk auf der Schnittstellenproblematik.

1.2 Bedeutung für die WSV

In der WSV werden im Rahmen der Unterhaltung und des Neubaus große Mengen an Deckwerkssteinen als Ufersicherung eingebaut. Eine Bemessung von Deckwerken und Buhnen im Tidebereich ist häufig mit Unsicherheiten verbunden. Mitunter treten Deckwerksschäden auf, deren Ursachen nicht einhellig geklärt sind.

Durch eine numerische Analyse der lokalen Randbedingungen, d.h. hydraulische Belastung (Tide, Wind- und Schiffswellen, Grundwasserpotentiale), Bodenaufbau, Filtermaterial, Deckwerkssteine (Form, Größe, Masse) und Deckwerksdicke, kann die Ermittlung der Stabilität des Deckwerks mit / ohne Verklammerung verbessert werden und eine individuelle Bemessung erfolgen. Aufgetretene Schäden können durch die numerischen Simulationen auf verursachende Mechanismen zurückgeführt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Mit Hilfe numerischer Verfahren soll die Widerstandsfähigkeit von Deckwerken gegenüber hydraulischen Belastungen für die jeweiligen lokalen Randbedingungen im Tidegebiet erfasst werden und eine sichere sowie wirtschaftliche Deckwerksbemessung ermöglichen. Schädigungsmechanismen sollen auf Grundlage der Simulationen hergeleitet werden. Die numerischen Ergebnisse werden an Beobachtungen sowie Messungen in der Natur und im Modell sowie an Erfahrungswerten validiert.

2 Untersuchungsmethoden

Die Deckwerkssteine können in ihrer Form, Größe und Masse mit der DEM in drei Dimensionen (hier PFC3D – Particle Flow Code) weitgehend realistisch abgebildet werden (Bild 1). Durch die dreidimensionale Betrachtung werden alle Freiheitsgrade der Deckwerkssteine wirklichkeitsnah simuliert. Die hydraulischen Einwirkungen (Wellen und Strömung) werden mit einem CFD-Add-on (CCFD - Coupled Computational Fluid Dynamics) erfasst. Zur ganzheitlichen Modellierung der Interaktion Wasser – Deckwerk werden die Programme PFC3D und CCFD miteinander gekoppelt.

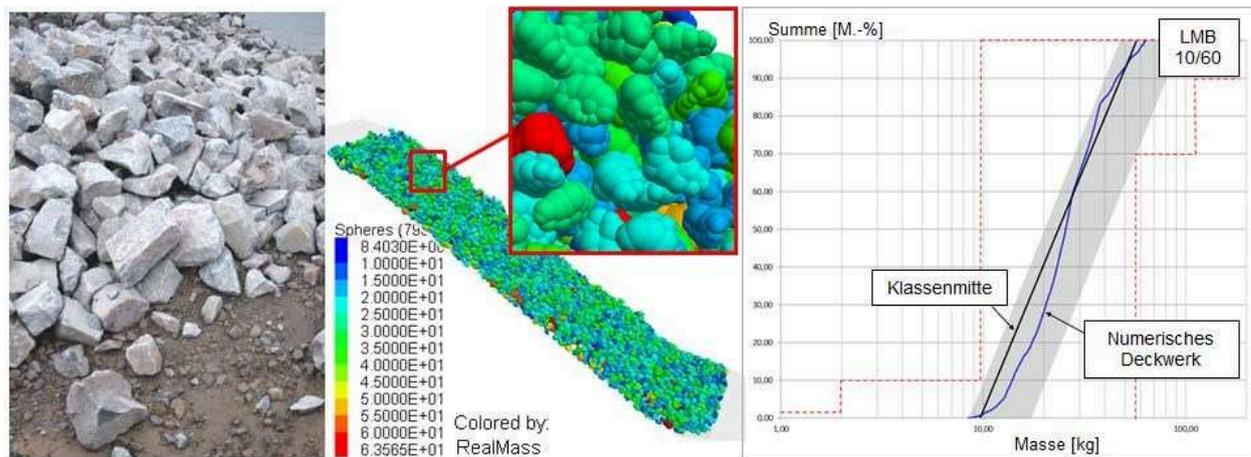


Bild 1: reale Deckwerkssteine (Beispiel), numerische Abbildung des Deckwerks LMB_{10/60} und dazugehörige Summenkurve

Mittels physikalischer Modellversuche in der großen hydraulischen Rinne der BAW-DH werden die numerischen Parameter für die Deckwerkssteine kalibriert. Hierbei wird ein Abschnitt mit losen Deckwerkssteinen durch eine böschungsparelle Strömung beansprucht. Steinverlagerungen werden messtechnisch und visuell erfasst, um die Messergebnisse im numerischen Modell simulieren zu können.

Reale Deckwerkssteine werden mit Messeinheiten zur Aufnahme von translatorischen und rotatorischen Bewegungen (Beschleunigungs- und Drehratensensoren) und mit Drucksensoren instrumentiert und in bestehenden Deckwerken sowie bei den Modellversuchen eingebaut. Über die Messung der Beschleunigung und Lageänderung infolge der hydraulischen Belastungen soll auf die wirkenden Kräfte rückgerechnet werden. Hierzu werden im Feld ergänzend Messungen der hydraulischen Einflussgrößen durchgeführt und eine videometrische Aufnahme der Wellenbilder vorgenommen. Im numerischen Modell sollen das hydraulische Ereignis und die resultierenden Beschleunigungen / Kräfte an den Deckwerkssteinen simuliert werden.

Des Weiteren werden die numerischen Ergebnisse an Beobachtungen in der Natur und Erfahrungswerten plausibilisiert und validiert. Aus zeitlichen Gründen wurde bereits im Sept. 2008 das Forschungsvorhaben an die Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, Lehrstuhl für Gebirgs- und Felsmechanik/Felsbau vergeben. Seit Sept. 2011 arbeitet neu eingestelltes Forschungspersonal in Hamburg an dem FuE.

3 Ergebnisse

Von der TU Freiberg wurden Algorithmen für die Generierung numerischer Deckwerkssteine unter Anwendung eines Zufallsprinzips bzw. anhand eines Oberflächennetzes realer Steingeometrien entwickelt. Die darauf aufbauende realistische Abbildung eines Deckwerkes in PFC3D entsprechend der Größen- bzw. Massenverteilung der jeweiligen Wasserbausteinklasse ist abgeschlossen (Bild 1). Erste Parametervariationen im numerischen Modell zur Untersuchung des Einflusses der Steinauflösung (Detailgenauigkeit bei der Generierung der numerischen Deckwerkssteine) wurden durchgeführt.

Im CCFD können Wellen- und Strömungsbelastungen grundlegend abgebildet werden. Die Simulation von Wellenbelastungen erfolgt über die Aufgabe von zeitlich veränderlichen Randbedingungen entsprechend der linearen Wellentheorie am Rand des Modells (zeitabhängige Variation der Auslenkung der freien Wasseroberflächen sowie der horizontalen vertikalen Orbitalgeschwindigkeit). Somit wird eine auf das Deckwerk auflaufende Welle erzeugt. Es wurden verschiedene Szenarios mit unterschiedlichen Anfangsbedingungen und resultierendem Wellenangriff untersucht und in der gekoppelten Berechnung die Reaktionen am Deckwerk betrachtet. Die realitätsnahe Simulation schiffserzeugter Wellen und Windwellen wird weiter präzisiert und auf den 3D-Fall erweitert.

In der hydraulischen Rinne wurden Vorversuche an einem Deckwerksabschnitt mit einer Neigung von 1:1,5 und stufenweiser Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit bis zu einem Maximum von 2,0 m/s durchgeführt. Die in den Modellversuchen gemessene Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit sowie der Abfall des Wasserspiegels und die Verlagerung der Deckwerkssteine konnten im gekoppelten numerischen Modell abgebildet werden (Bild 2). Weiterhin wurden im Rahmen der Modellversuche instrumentierte Deckwerkssteine in der hydraulischen Rinne eingesetzt. Die Messergebnisse zeigten qualitativ den Beginn der Bewegung der Wasserbausteine infolge Überströmung.

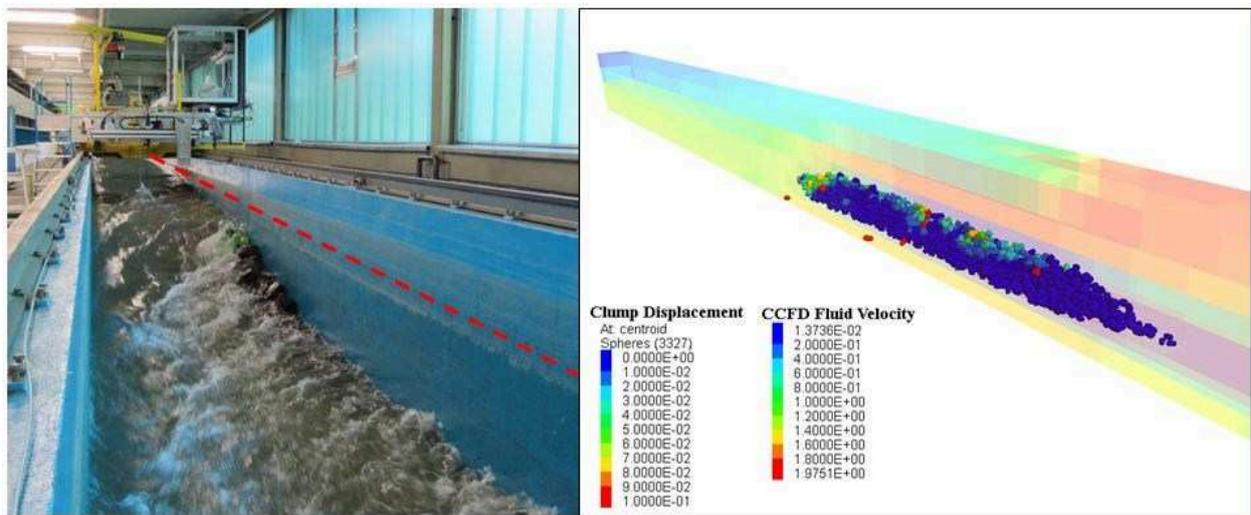


Bild 2: Modellversuch in hydraulischer Rinne und numerische Simulation

Für die Schaffung einer Datengrundlage zur Validierung der numerischen Modellierung anhand von Feldmessungen wurden weitere Wellen- und Strömungsmessungen unter Einsatz einer autarken Sonde in exponierter Lage auf der Elbinsel Lühesand im Rahmen einer Projektbearbeitung durchgeführt. Parallel dazu wurden Messungen mit instrumentierten Deckwerkssteinen in-situ im bestehenden Deckwerk vorgenommen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

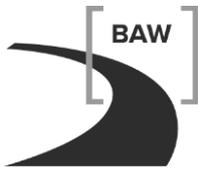
2014: Fortführung der Modellversuche und der Feldmessungen mit instrumentierten Deckwerksteinen einschließlich Datenanalyse und numerischer Simulation der Ereignisse und Reaktionen, Weiterentwicklung und Kalibrierung der Simulationsmodelle, Weiterentwicklung des Messsystems instrumentierter Deckwerkstein

2015: Ermittlung der optimalen Deckwerksteinformen, -größen, -massen, -verteilungen, Deckschichtdicken, Fußstützungsarten und der Arten des Deckwerkbaus für charakteristische Randbedingungen in den Ästuaren durch Parametervariationen und Programmweiterungen.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2015.

5 Literatur

-/-



6 Veröffentlichungen

- Mittelbach, L.; Pohl, M. (2012): Böschungsdeckwerke unter Wellenbelastung. BAW-Mitteilungen Nr. 95 „Johann-Ohde-Kolloquium“, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- Mittelbach, L. (2013): Numerical Simulation of Rip-Rap with the Distinct Element Method, AIP Conf. Proc. 1542, Seite 1178 – 1181, doi: 10.1063/1.4812147

Bestimmung der Widerstandsfähigkeit von Deichen

Netzplan-Nr.: A39550170318

Projektleiter: Dr.-Ing. T. Nuber, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Geotechnik Nord (K1)

E-Mail: thomas.nuber@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Die Deichabdeckung weicht in Abhängigkeit des Deichbaumaterials, der Einbaubedingungen, der Bodenstrukturbildung (Risse, Bioturbation, Alter), Einbauten, des Zustands der Grasnarbe, der Zeit und Höhe des hydraulischen Ereignisses, vorhergehender meteorologischer Ereignisse sowie Aufsättigung des Deichkerns unterschiedlich stark auf, was zu einem Deichversagen führen kann. Des Weiteren wirken im Sturmflutfall Wellenangriff und Wellenüberlauf auf die Grasnarbe und die Deichabdeckung, wodurch diese erodieren kann. Der Einfluss aller Faktoren und die jeweiligen Abhängigkeiten sollen im Feld bzw. im Labor ermittelt und in einem numerischen Modell zusammengeführt werden. Durch die Verwendung eines numerischen Modells, können sich Versagensmechanismen frei entwickeln und sich überlagernde physikalische Phänomene zusammen berücksichtigt werden.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Ausbildung von Deichen geschieht derzeit auf der Grundlage von Erfahrungswissen sowie physikalischen Modellansätzen und analytischen Gleichungen. Analytische Nachweisführungen bestehen für verschiedene einzelne Versagensmechanismen. Derzeitig werden einzelne Aspekte für die Widerstandsfähigkeit von Deichen unabhängig von einander untersucht, wie z.B. die Rissentwicklung, der Einfluss der Grasnarbe auf den Erosionswiderstand sowie die Erosion des Deichbaumaterials. Aus den Untersuchungen werden Empfehlungen und analytische Ansätze abgeleitet. Einzelne ungekoppelte numerische Verfahren zur Simulation von morphodynamischen und hydraulischen Prozessen werden verwendet.

Eine ganzheitliche Betrachtung aller Aspekte findet derzeit nicht statt. 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.

1.2 Bedeutung für die WSV

Für den Festlandsschutz sind funktionstüchtige und widerstandsfähige Deiche gegenüber den Einwirkungen aus Sturmfluten - vor dem Hintergrund eines säkularen Meeresspiegelanstiegs - 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 versehen, so dass sich die Verwendung von Baggergut als Deichbaumaterial anbietet. Zur Bewertung zu verstärkender Deichquerschnitte mit Baggergut (Kubatur, Zusammensetzung) 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 auf die Ausbaumaßnahmen zurückgeführt. Durch eine numerische Simulation sollen auftretende Schäden und verursachende Mechanismen untersucht werden. Die Ursachen können benannt und somit verhindert werden.

1.3 Untersuchungsziel

Mit Feld- und Laboruntersuchungen sowie numerischen Simulationen sollen die Widerstände von Deichen (sowie Deichverstärkungen) den hydraulischen Belastungen gegenübergestellt werden und somit letztendlich die Ermittlung der Widerstandsfähigkeit des Deiches inkl. der Ermittlung der Schwachstellen ermöglichen.

2 Untersuchungsmethoden

Anhand von Untersuchungen an bestehenden Deichen sowie an einem neu zu errichtenden Deich unter definierten Bedingungen soll der Einfluss von Alterungsvorgängen (Strukturbildung) und Wasserbelastung auf die Scherfestigkeit sowie Durchlässigkeit der Deichabdeckung ermittelt werden. An einem neu zu errichtenden Deich unter definierten Bedingungen sollen Untersuchungen durchgeführt werden, um prinzipielle Aussagen zu erhalten und die sonst üblichen - durch Inhomogenitäten - auftretenden Streubreiten bei bestehenden Deichen zu reduzieren.

Felduntersuchungen:

Zur Simulation von erhöhten (stationären) Wasserständen im Sturmflutfall wird auf der seeseitigen Böschung oder Deichkrone über geeignete Behältnisse eine Wasserauflast von bis zu 3 m erzeugt. Zu verschiedenen Zeitpunkten (nach 0 – 4 – 8 – 24 Stunden) werden Sonderproben über die Tiefe der Deichabdeckung entnommen. Diese werden anschließend im bodenmechanischen Labor untersucht. Während der Wasserbeaufschlagung werden die Infiltrationsraten protokolliert, wodurch die in situ Durchlässigkeiten unter Berücksichtigung der Strukturbildung ermittelt werden.

Zur Erfassung der zeitabhängigen Strukturbildung ist derzeit eine Versuchsdauer von 10 Jahren vorgesehen. In Beprobungsintervallen von 0 – 1 – 3 – 5 – 10 Jahren sollen zu den Jahreszeiten Herbst, Frühjahr und Sommer die o.g. Untersuchungen durchgeführt werden.

Laboruntersuchungen:

Die entnommenen Sonderproben werden in Triaxialversuchen - mit dem durch die Feldversuche eingestellten Wassergehalt – dräniert, ohne back-pressure mit geringen Konsolidationsspannungen (10 - 30 - 60 kPa) abgeschert. Des Weiteren sind Kompressionsversuche mit Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit durchzuführen. Somit werden alle wassergehaltsabhängigen Parameter für eine spezifische Deichabdeckung für die numerische Modellierung ermittelt.

Numerische Simulation:

Der Deichquerschnitt wird mit einem drei-dimensionalen Finite Differenzen Programm (FLAC3D) 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. Somit wird die Aufweichung auch infolge Wassereinstau im Deichkern oder stärkerer Infiltrationen durch Sandnester oder Wühlgänge berücksichtigt. Eine Durchsickerung des Deiches gemäß dem Ereignis und eine Änderung der Gebrauchstauglichkeit / Standsicherheit sind das Ergebnis der numerischen Simulation. Inhomogenitäten des Deichbaumaterials und des unterlagernden Bodens können durch eine Gauß-Verteilung der Bodenkennwerte berücksichtigt werden. Die Grasnarbe wird durch entsprechende Parameterzuweisung der Netzbereiche simuliert. Erosionsvorgänge der Grasnarbe und der Deichabdeckung sollen durch Auflösen des Kontinuums im entsprechenden Bereich und dem Ersetzen durch ein Diskontinuum (PFC3D) simuliert werden.

3 Ergebnisse

Im Jahr 2012 wurde mit dem Programm FLAC3D ein parametrisiertes Deichmodell für die Eingabe variabler Deichgeometrien erstellt. Eine lagegenaue sowie zeitabhängige Zuweisung von Bodenparametern entsprechend der Laborversuchsergebnisse durch hinterlegte Tabellen erlauben die numerische Ermittlung der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit.

Im November 2011 wurden Untersuchungen und Probenahmen an einem Altdeich und einem Neudeich aus Mergel in Dahme (Schleswig-Holstein) durchgeführt. Im Oktober 2013 wurde am Deichabschnitt des Neudeichs eine erneute Untersuchung und Probenahme durchgeführt. Mittlerweile hat sich auf dem Deich eine Grasnarbe mit einer Dicke von ca. 5 cm und mit einer Durchwurzelungstiefe von ca. 10 – 15 cm ausgebildet. An den Probenahmestellen wurden jeweils zwei Infiltrationsversuche mit einer Dauer von 4 h und einer Dauer von 24 h durchgeführt. Nach Abschluß der Infiltrationsversuche wurden in der Mitte

dieser Flächen sowie an einer Stelle, an der kein Infiltrationsversuch durchgeführt wurde, ungestörte Proben in verschiedenen Tiefen genommen. Der Wassergehalt wurde diesmal direkt vor Ort ermittelt.

Bei den Infiltrationsversuchen konnte für alle drei Probenahmestellen und unabhängig von der Dauer der Infiltration kein Wasser in den Deich infiltriert werden. Erhöhte Wassergehalte infolge der Infiltrationsversuche konnten nicht festgestellt werden. Durch vorangegangene Niederschlagsereignisse ist jedoch von einer gewissen Sättigung auszugehen. Die Bandbreite sowie der jeweilige Mittelwert der Wassergehalte über die Entnahmetiefe sind in Bild 1 dargestellt. Die höchsten Wassergehalte werden erwartungsgemäß im Bereich der Grasnarbe gemessen. Für den Mergelbereich liegen die mittleren Wassergehalte der einzelnen Probenahmetiefen zwischen 11,1 (Entnahmetiefe 1,2 m) und 15,2 Gew.-% (Entnahmetiefe 1,5 m).

Insgesamt zeigte sich der Deich hinsichtlich der gemessenen Wassergehalte als sehr heterogen. Derzeit laufen die weiteren Laborversuche mit den entnommenen ungestörten Proben.

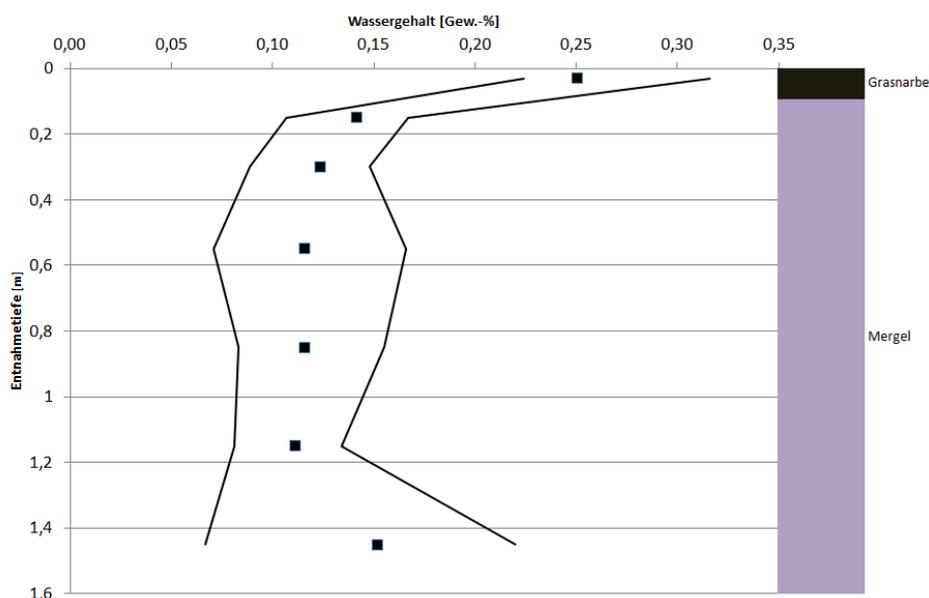


Bild 1: Wassergehalte in Abhängigkeit der Entnahmetiefen

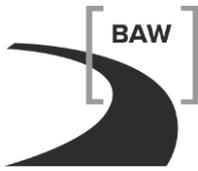
Für den Bau der Versuchsdeiche am Abz. Wedel des WSA Hamburgs wurde 2013 eine Machbarkeitsstudie an das Institut für Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg vergeben. Ziel dieser Studie war es, die organisatorische und zeitliche Umsetzung sowie die wirtschaftliche und technische Machbarkeit und ihre wissenschaftliche Verwertbarkeit zu untersuchen. Als Ergebnis dieser Machbarkeitsstudie lässt sich zusammenfassen, dass der vom WSA Hamburg zur Verfügung gestellte Standort auf dem Gelände des Abz. Wedel für den Bau von Versuchsdeichen geeignet ist. Unter Berücksichtigung der anhand gängiger Regelwerke festgelegten Qualitätsanforderungen wurde als mögliche Beschaffungsquelle das Klei-Abbaugelände Hamburg-Moorfleet genannt. Für die Beschaffung des Baggergut wurden Entnahmebereiche in der Tideelbe aufgezeigt und der rechtliche Hintergrund des gezielten Baggers zur Materialbeschaffung kritisch erörtert. Zur Beschaffung von Baggergut wurde die Nutzung von in Spülfeldern abgelagertem Material empfohlen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

Laborversuche an den entnommenen Proben der Bohrkampagne 2013 in Dahme (S-H)
Weiterentwicklung des numerischen Modells - Hinterlegung der Bodenzustandsparameter, Durchführung von Modellrechnungen und Parameterstudien mit dem numerischen Modell

2014-2015: Untersuchungen an bestehenden Deichen (Mergel, Klei, Baggergut) sowie an dem neu zu errichtenden Deich; Verifizierung von derzeitigen analytischen Modellvorstellungen



Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Störung des Baugrundes durch Kampfmittelsondierungen

Netzplan-Nr.: A39550170362

Projektleiterin: Dipl.-Geol. A. Heeling, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Geotechnik Nord (K1)

E-Mail: anne.heeling@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Vorwege einer Baumaßnahme ist die Kampfmittelfreiheit im Baufeld sicherzustellen. Die zur Kampfmittelsuche eingesetzten, überwiegend magnetischen und elektromagnetischen Sondierverfahren arbeiten selbst zwar zerstörungsfrei, erfordern aber häufig Aufgrabungen oder Bohrungen. Bei Tiefensondierungen wird die Messsonde dann vom Bohrloch aus eingesetzt. Das Bohrverfahren, das Erkundungsraster und die Erkundungstiefe werden vom Kampfmitteldienst (KRD) des jeweiligen Bundeslandes auf Grundlage länderspezifischer Verordnungen und Verwaltungsvorschriften und auch einzelfallbezogen nach eigenem Ermessen festgelegt. Für den Bund gelten zudem eigene Vorgaben.

Hier kommt es zu einem Interessenkonflikt zwischen dem KRD einerseits und dem Bauherrn bzw. dessen Baugrundgutachter andererseits. Während der KRD für gesicherte Aussagen zum Kampfmittelverdacht ein möglichst enges Erkundungsraster benötigt (s. Bild 1), bedeutet die Kampfmittelsondierung mittels Bohrungen für den Bauherrn in erster Linie eine Störung des Baugrundes, die es aus geotechnischer Sicht zu begrenzen gilt.



Bild 1: Kampfmittelsondierung für eine Baumaßnahme (Foto: KED, Hamburg)

Zum Ausmaß der durch Kampfmittelsondierungen verursachten Veränderung der Festigkeitseigenschaften des Baugrundes liegen derzeit keine gesicherten, belastbaren Informationen vor. Konkrete Informationen hierzu sind aber eine wichtige Grundlage für erdstatische Bemessungen, d.h. für die Dimensionierung von Bauteilen, und sind damit auch eine Argumentationsgrundlage in Besprechungen zwischen Bauherrn und KRD. Zudem können nur in Kenntnis der veränderten Festigkeiten Altaufschlüsse, die vor der Kampfmittelerkundung durchgeführt wurden, neu interpretiert werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Es obliegt dem Bauherrn, sich im Vorwege einer Baumaßnahme die Kampfmittelfreiheit des Baufeldes z.B. durch den KRD des jeweiligen Bundeslandes bescheinigen zu lassen. Für die WSV ergibt sich daraus folgende Problemstellung:

- Die Zuständigkeitsbereiche der einzelnen Wasser- und Schifffahrtsämter decken sich i.d.R. nicht mit den Grenzen der Bundesländer. Als Folge können für ein Bauprojekt größerer räumlicher Ausdehnung (z.B. die Vertiefung eines Kanals oder eines Flusses) mehrere KRDs zuständig sein, die dann für einzelne Baubereiche unterschiedliche Kampfmittelerkundungsprogramme auf der Grundlage unterschiedlicher Technischer Anleitungen festlegen. Zudem können bei Bundesliegenschaften neben länderspezifischen auch bundesspezifische Vorschriften gelten.
- Für Pfahlgründungen und Spundwände, die im Zuständigkeitsbereich der WSV häufig verwendete Bauteile sind, werden in den Technischen Anleitungen meist spezifische Anforderungen an die Kampfmittelsondierungen gestellt.
- In Kenntnis des zu erwartenden Baugrundes wird seitens des zuständigen KRD der sogenannte „Verdachtshorizont“ und damit die erforderliche Erkundungstiefe für die Kampfmittelsondierung festgelegt: in organischen oder bindigen Böden geringer Festigkeit ist auch in größeren Tiefen – lt. Hamburger TA Kampfmittelräumung bis 3 m unter deren Schichtunterkante – mit Bomben-Blindgängen zu rechnen. Solche Böden (z.B. Auelehm, Mudde, Klei) treten häufig gewässernah und damit im Zuständigkeitsbereich der WSV auf.
- Laut „Arbeitshilfen Kampfmittelräumung“ liegt *„bei Kriegsende von Soldaten oder Einheiten auf-gegebene andere Munition (... Munition für Handfeuer- und Maschinenwaffen, Granaten, Minen) ... nicht selten an verkehrsgünstiger Stelle in Flüssen oder Seen“* und damit im Zuständigkeitsbereich der WSV.

Aus den Ergebnissen des FuE-Vorhabens können für die WSV Vorschläge zur Planung, Ausschreibung und Durchführung von Kampfmittelerkundungen erarbeitet werden, um den anstehenden Baugrund in seiner Tragfähigkeit möglichst wenig zu beeinträchtigen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel dieses FuE-Vorhabens ist es, die durch die Kampfmittelerkundung entstandene Störung des Baugrundes, d.h. die Veränderung der Festigkeiten, qualitativ zu erfassen.

2 Untersuchungsmethoden

Das FuE-Vorhaben wurde 2013 in enger Zusammenarbeit von der BAW und dem Hamburger Ingenieurbüro Knabe Enders Dührkop Ingenieure GmbH (KED), das über mehrjährige Erfahrung mit der Betreuung von Kampfmittelsondierungen verfügt, gemeinsam durchgeführt. Wegen der Geschäftsaufgabe von KED wird 2014 ein neuer Kooperationspartner gesucht; im Januar 2014 findet dazu ein Gespräch statt.

2013 wurden die Kampfmittelverordnungen der Länder und des Bundes hinsichtlich geotechnisch relevanter Anforderungen (Bohrverfahren, Rasterabstand, Erkundungstiefe, etc.) gesichtet und tabellarisch aufbereitet. Es geben jedoch nicht alle Bundesländer schriftliche Kampfmittelverordnungen heraus und in Absprache mit dem KRD sind auch abweichende Erkundungsverfahren zulässig. Für 2014 ist deshalb eine Fragebogenaktion bei KRDs und Bohrfirmen geplant, um herauszuarbeiten, welche Bohrverfahren in der Praxis tatsächlich am häufigsten durchgeführt werden.

Im Rahmen von Feldversuchen soll die Veränderung des Baugrundes als Folge einer Kampfmittelerkundung untersucht werden. Der Versuchsaufbau berücksichtigt die Einflussfaktoren *Baugrundtyp* (jeweils in unterschiedlichen Festigkeiten: nichtbindig über Grundwasser / nichtbindig unter Grundwasser / bindig), *Bohrraster* (0,5 m / 1,5 m / 3,0 m), *Bohrverfahren* (Hohlbohrschnecke / Bohrung mit glatter Verrohrung) und *Bohrlochverfüllung* (Bohrgut / Bentonit-Zement-Gemisch).

Für jeden Baugrundtyp wird auf vier Testfeldern mit einer Fläche von jeweils ca. 8 m x 10 m die in-situ-Festigkeit des Bodens vor und nach einer simulierten Kampfmittelerkundung bestimmt (s. Bild 2).

Jedes der vier Testfelder repräsentiert eine Kombination der o.g. Bohrverfahren und Bohrlochverfüllungen (Testfelder HB: Hohlbohrschnecke, Bohrgut / HZ: Hohlbohrschnecke, Zement / VB: Verrohrung, Bohrgut / VZ: Verrohrung, Zement).

Zuerst wird in jedem Testfeld die Vorher-Festigkeit mittels Sondierungen bestimmt. Danach werden im 0,5 m-, 1,5 m- und 3,0 m-Rasterabstand Bohrungen abgeteuft. Bei jeder Bohrung wird eine Mischprobe des Bodens genommen und später im geotechnischen Labor nach DIN EN ISO 14688 untersucht. Auf den Testfeldern wird anschließend im Zentrum der Bohrraster die Nachher-Festigkeit des Bodens wiederum mittels Sondierungen bestimmt. Weitere Sondierungen werden im Bereich des 1,5 m-Rasters senkrecht zu einer fiktiven, auf Kampfmittel erkundeten Spundwandachse (s. rote, gestrichelte Linie in Bild 2) abgeteuft, um so den Abstand zu ermitteln, bis zu dem der Baugrund noch als gestört anzusehen ist. Der Einfluss der Kampfmittelsondierung auf den Baugrund ergibt sich aus dem Verhältnis von Nachher- zu Vorher-Festigkeit.

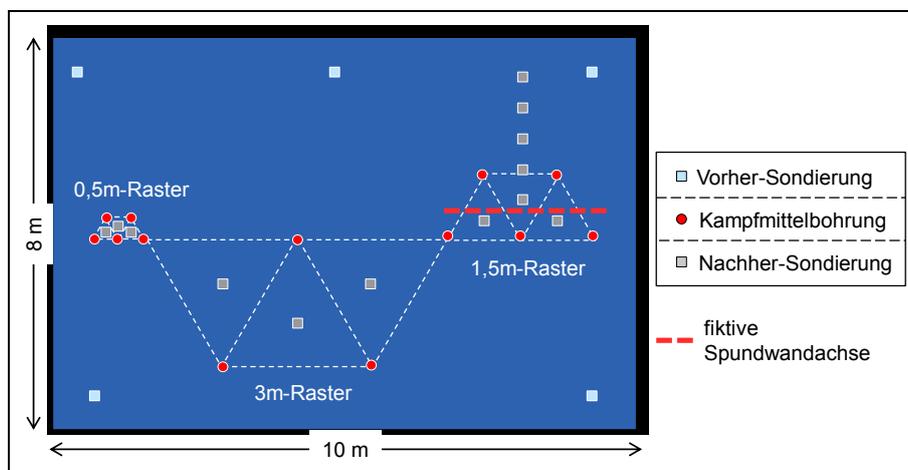


Bild 2: Aufbau eines Testfeldes

Im September 2013 wurde auf dem von der Hamburg Port Authority betriebenen Spülfeld Ellerholz ein Feldversuch für den Baugrundtyp „nichtbindiger Boden, über Grundwasser, locker bis mitteldicht gelagert“ durchgeführt (s. Bild 3). Bis in eine Tiefe von 3 m unter Spülfeldoberkante wurden auf den vier Testfeldern insgesamt 52 Bohrungen abgeteuft und die Vorher- und Nachherfestigkeit mittels 72 Sondierungen mit der Leichten Rammsonde (DPL) bis in eine Tiefe von bis zu 4 m erkundet.



Bild 3: Feldversuch auf dem Hamburger Spülfeld Ellerholz

Weitere Feldversuche sind in den kommenden Jahren geplant.

Mittels numerischer Simulation soll der Einfluss von Kampfmittelondierungen auf den Baugrund qualitativ abgeschätzt werden. Die Simulationsergebnisse sind an den Feldversuchen zu validieren.

3 Ergebnisse

Als Ergebnis einer Sichtung der Kampfmittelverordnungen der einzelnen Bundesländer wurde eine Liste der geotechnisch relevanten Anforderungen erzeugt, die die Planungsgrundlage für die Feldversuche ist.

Der Feldversuch vom September 2013 (s.o.) ist noch nicht vollständig ausgewertet. Es zeigt sich jedoch bereits jetzt, dass bei Kampfmittelondierungen im nichtbindigen, locker bis mitteldicht gelagerten Boden über Grundwasser

- es sowohl zur Auflockerung als auch (bei einer Bohrlochverfüllung mit Bentonit-Zement-Gemisch) zur Verdichtung des Baugrundes kommen kann,
- der Einfluss der Bohrlochverfüllung größer ist als der des Bohrverfahrens und dass
- vermutlich eine Tiefenabhängigkeit besteht.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2013: Literaturrecherche, insitu-Versuche im Sand oberhalb des Grundwassers, zugehörige Klassifikationsversuche

2014/16: Feldversuche an nichtbindigen, bindigen und organischen Böden; evt. weitere (Labor-)Versuche; numerische Simulation

2016: Auswertung

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2016.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Einfluss der Vorlandvegetation auf den Hochwasserabfluss und die Sohlstabilität in Bundeswasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39530110036

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Schröder, Abt. Wasserbau im Binnenbereich, Referat Flusssysteme I (W1)

E-Mail: michael.schroeder@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In der mehrdimensionalen Modellierung von Fließgewässern wird die Modellähnlichkeit im Wesentlichen durch die Kalibrierung von Rauheitsparametern erzielt, die den Strömungswiderstand des Gewässerbettes parametrisieren. Während der Strömungswiderstand eines sandig-kiesigen Mittelwasserbettes verhältnismäßig stringent aus der Sieblinie ermittelt werden kann, sind die Verhältnisse im Fall von über- und durchströmter Vegetation, die man außerhalb des Mittelwasserbettes im Bereich der Vorländer antrifft, wesentlich komplexer. Dies wird besonders deutlich an speziellen Eigenschaften von Pflanzen, wie Flexibilität unter Strömungsbelastung oder jahreszeitliche Veränderung der Belaubung. Darüber hinaus müssen für den Fall durchströmter Vegetation grundsätzlich andere Gleichungen als für den Fall überströmter Vegetation verwendet werden, da der Strömungswiderstand im ersten Fall mit steigendem Abfluss zunimmt, während er im zweiten Fall abnimmt.

In den 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts wurden im Rahmen eines DFG-Schwerpunktprogramms umfangreiche Forschungen initiiert, die sich genau mit diesem Problem – dem Strömungswiderstand von durchströmter Vegetation – befassten. Die Ergebnisse der Forschung mündeten in dem DVWK-Merkblatt 220 („Hydraulische Berechnung von Fließgewässern“, 1991). Mit dem Abschluss des DFG-Schwerpunktprogramms wurden aufgrund der bereits angesprochenen Komplexität des Themas bei Weitem nicht alle Forschungsziele erreicht, so dass sich bis heute zahlreiche Forschungsarbeiten mit dem Strömungswiderstand von Pflanzen beschäftigen. Hierbei stehen häufig Teilaspekte im Vordergrund, wie Flexibilität von Pflanzen oder neue Berechnungsansätze für über- und durchströmten Bewuchs, während sich andere Arbeiten mit der Katalogisierung von Vegetationsformen und deren Fließwiderstandsverhalten sowie mit der Erfassung von Bewuchsformen mithilfe der Fernerkundung beschäftigen.

1.2 Bedeutung für die WSV

In der Planung und Durchführung von Unterhaltungs- und Ausbaumaßnahmen an den frei fließenden und staugeregelten Bundeswasserstraßen sowie bei der Bewertung von Baumaßnahmen Dritter sind auch immer Hochwasserabflüsse zu betrachten, bei denen häufig dicht bewaldete Vorlandflächen das Abflussgeschehen dominieren. Die möglichst genaue rechnerische Berücksichtigung des Strömungswiderstands der Vegetation über ein weites Spektrum von Abflusszuständen ist bedeutend für die Ermittlung von Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten und folglich für die Abschätzung von morphodynamischen Prozessen (Geschiebetransport, Sohlstabilität und Fehlstellenentwicklung). Insbesondere in den folgenden drei Situationen ist die Verwendung von physikalisch-wissenschaftlich fundierten Berechnungsansätzen zur Ermittlung des Strömungswiderstands von Pflanzen zwingend erforderlich:

- Die Kalibrierung eines Strömungsmodells erfordert für den Lastfall Hochwasserabfluss auch entsprechende Naturmessdaten. Im Bereich von extremen Hochwasserabflüssen sind allerdings Naturmessdaten nur spärlich oder überhaupt nicht verfügbar, so dass häufig mit dem bei niedrigeren Abflüssen kalibrierten Strömungsmodell eine Extrapolation auf extreme Hochwasserstände erfolgen muss.
- Bei der instationären Strömungsmodellierung einer Hochwasserganglinie variiert der Strömungswiderstand von durch- und überströmter Vegetation in einem sehr weiten Bereich und kann mit konstanten Beiwerten der einfachen Fließgesetze nach Manning-Strickler, Nikuradse usw. nicht mehr beschrieben werden.
- Die planerischen Maßnahmen Dritter, die beispielsweise als Ausgleichsmaßnahmen im Vorlandbereich durchgeführt werden sollen, sind hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Belange der Schifffahrt sowie der Gewässerunterhaltung zu bewerten. Solche Maßnahmen haben häufig den Hochwasserschutz oder ökologische Aufwertungen zum Ziel (z. B. Veränderung des Hochwasserquerschnitts durch die Rückverlegung von Deichen oder Anbindung von nicht durchströmten Altarmen bzw. An-

pflanzung oder Tolerierung einer atypischen Vegetation). Eine Kalibrierung von Rauheitsparametern zur Beschreibung des Strömungswiderstands von Vegetation ist bei planerischen Maßnahmen vom Grundsatz her nicht möglich.

1.3 Untersuchungsziele

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Vorlandvegetation“ verfolgt die Ziele:

- Methoden zur Erfassung, Beschreibung und Parametrisierung der Vegetation zusammenzustellen und hinsichtlich der praktischen Eignung für den Bereich der Bundeswasserstraßen zu bewerten und zu erproben,
- Berechnungsverfahren gemäß dem aktuellen Stand der internationalen Forschung bereitzustellen und ggf. weiterzuentwickeln, die im Rahmen der mehrdimensionalen mathematisch-numerischen Modellierung zur Berücksichtigung des Widerstandsverhaltens durch- und überströmter Vorlandvegetation geeignet sind und
- typische Vegetationsformen im Vorlandbereich der Fließgewässer zu katalogisieren.

2 Untersuchungsmethoden

Aufgrund der zahlreichen Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Strömungswiderstands von Vegetation werden die verfügbaren Forschungsergebnisse in einem ersten Schritt und dann weiterhin kontinuierlich aus der einschlägigen Literatur entnommen. Auf der Grundlage dieser Literaturanalyse erfolgt im zweiten Schritt die Identifikation des heutigen Forschungsbedarfs. Hierbei steht die anwendungsorientierte Forschung im Vordergrund, deren Ergebnisse möglichst unmittelbar zur Qualifizierung der in der BAW eingesetzten mehrdimensionalen Berechnungsverfahren verwendet werden können. Eher grundlagenorientierte Forschungsarbeiten werden gefördert, beispielsweise durch die Kooperation mit Forschungsinstituten der Universitäten und Hochschulen. Durch eigene Aufträge an Forschungseinrichtungen wird die Durchführung von Modellversuchen in Wasserbaulaboratorien und von Naturversuchen im Bereich der Bundeswasserstraßen vergeben. Mit diesen Forschungsergebnissen erhält die BAW eine Datengrundlage, die unmittelbar zur weiteren Qualifizierung der eigenen Modellverfahren eingesetzt werden kann.

3 Ergebnisse

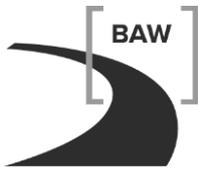
Der Kooperationsvertrag mit dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen und dem Aachener Ingenieurbüro *valitec simulations* wurde in 2013 nicht erneut verlängert; weitere Naturmessungen wurden nicht durchgeführt.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der BfG in dem BfG-Forschungsprojekt zur Vegetationserfassung aus Fernerkundungsdaten (LIDAR und Infrarotbilder) haben die beiden beauftragten Institute des KIT, Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF) und Wasser und Gewässerentwicklung (IWG), eine systematische Auswertung von LIDAR-Daten vorgenommen, die im Rahmen der Erstellung des Digitalen Geländemodells des Niederrheins erhoben wurden und als *full-waveform* LIDAR-Daten vorliegen. Hierbei soll das Potential von LIDAR-Daten erkundet werden, die manuelle Erfassung von Vegetationszonen mittels der Digitalisierung von Luftbildern durch eine automatische Erfassung zu ersetzen. Nach den bisherigen Ergebnissen ist davon auszugehen, dass eine vollständige Automatisierung der Vegetationserfassung mit den vorliegenden LIDAR-Daten nicht möglich ist. Im Vergleich zur manuellen Erfassung zeigt die automatische Klassifizierung eine Trefferquote von bestenfalls 60 – 70%.

In 2013 fanden zwei Sitzungen der DWA-Arbeitsgruppe WW-3.1 „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern mit Vegetation“ in Aachen und in Wien statt, um die gemeinsame Arbeit an der DWA-Schrift zur „Hydraulischen Berechnung von Fließgewässern mit Vegetation“ zu koordinieren. Mit dieser neuen Schrift soll das inzwischen veraltete Merkblatt 220 des DVWK abgelöst werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2000 bis 2014.



5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Untersuchung der Prognosefähigkeit von mehrdimensionalen Feststofftransportmodellen an spezifischen Fragestellungen aus dem Flussbau

Netzplan-Nr.: A39530110064

Projektleiterin: Dr.-Ing. R. Kopmann, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Numerische Verfahren im Wasserbau (W5)

E-Mail: rebekka.kopmann@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei den durch die BAW durchgeführten Untersuchungen zur Wirkungsweise flussbaulicher Maßnahmen muss zunehmend die morphodynamische Flussentwicklung einbezogen werden. Mehrdimensionale numerische Feststofftransport-Modelle (FT-Modelle) finden zunehmend Anwendung zur Lösung von instationären, großskaligen Problemen, da sie bereits einen beachtlichen Entwicklungsstand erreicht haben. Allerdings setzt eine erfolgreiche Anwendung dieser Verfahren ein grundlegendes Verständnis der physikalischen Phänomene sowie große Erfahrung in der numerischen Modellierung voraus. Dies ist bedingt durch die Vielfalt und enorme Komplexität der morphodynamischen Phänomene (insbesondere durch Rückkopplungsprozesse zwischen Strömung und sich umlagernder Sohle) und durch deren phänomenspezifische Beschreibung mittels semi-empirischer Gleichungen. Während die Überprüfung von rein hydrodynamischen Modellsystemen an analytischen Lösungen durchgeführt werden kann, fehlen diese für komplexere morphodynamische Prozesse. Die Zuverlässigkeit dieser Modellklasse ist daher an die Verifikation und Validierung durch Fallstudien und an die Erfahrung des Programmentwicklers und -anwenders gebunden. Verifikation, Validierung und Kalibrierung der Modelle müssen daher sehr sorgfältig und ausführlich durchgeführt werden. Für die BAW ist der Nachweis der Anwendbarkeit und der Grenzen für die praxisrelevanten Fragestellungen zu erbringen. Zentral ist dabei die Frage, mit welcher Sicherheit FT-Modelle bei welchen Fragestellungen zur Prognose von Sohlentwicklungen eingesetzt werden können.

1.2 Bedeutung für die WSV

Der Einsatz von prognosesicheren, auf die Fragestellungen der WSV zugeschnittenen FT-Modellen sichert die effiziente und qualitativ hochwertige Bearbeitung von Projekten mit morphodynamischen Fragestellungen. Als Ergänzung zu Naturuntersuchungen und gegenständlichen Modellen ist dieses Werkzeug optimal geeignet, die räumliche und zeitliche Wirkung vieler verschiedener Einflussgrößen mittels Szenarienrechnungen aufzuzeigen. Dies ist insbesondere im Zusammenhang mit Langzeitprognosen hilfreich und verbessert die Bewertung von Maßnahmen und deren Qualitätskontrolle.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des Projektes ist es, die Eignung numerischer FT-Modelle zur Abbildung grundlegender morphologischer Prozesse anhand von Messungen aus Labormodellen zu beurteilen. Als Ergebnis werden Weiterentwicklungspotenziale sowie eine beschleunigte Einführung dieser Modelle im Rahmen der Projektarbeit erwartet. Dafür werden folgenden Untersuchungsschwerpunkte verfolgt:

- Untersuchungen an Labormodellen mit beweglicher Sohle für die Herstellung von geeigneten Messdatensätzen zur Standard-Verifikation von FT-Modellen.
- Validierung bestehender FT-Modelle anhand geeigneter Messdatensätze. Ziel ist es, die Anwendbarkeit und Grenzen der Modelle aufzuzeigen. Dazu gehört auch die Einschätzung der erreichten Genauigkeit mit Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung.
- Weiterentwicklung bestehender FT-Modelle in Zusammenarbeit mit Universitäten.

2 Untersuchungsmethoden

Im Jahr 2013 wurde der Schwerpunkt auf die Validierung bestehender FT-Modelle gelegt. Dafür wurde zum einen im Rahmen einer Kooperation mit der EDF und der RWTH Aachen das algorithmische Differenzieren (AD) für das TELEMAC Programmsystem weiter vorangetrieben. Hierbei im Besonderen der

Aspekt der automatischen Kalibrierung. Darüber hinaus wurden dezidiert Turbulenzparameter zwischen Messungen an Rinnenversuchen und numerischen Modellen verglichen.

3 Ergebnisse

Die Kalibrierung ist ein zeitaufwändiger und insbesondere bei der Feststofftransportmodellierung mit den vielen zu kalibrierenden Parametern ein nicht eindeutiger Vorgang. Eine automatische Kalibrierung nach festgelegten Kriterien könnte die Bearbeitungsdauer erheblich verkürzen und die Abhängigkeit von der Erfahrung des Modellierers reduzieren. Allerdings ist eine automatische Optimierung durch viele Nebenbedingungen und u.U. inkonsistenten Rand- und Anfangsbedingungen keineswegs trivial. Mit Hilfe der algorithmischen Differenzierung können sehr effizient alle notwendigen Gradienten zur Verfügung gestellt werden, die für Optimierungsaufgaben, wie eine automatische Kalibrierung, benötigt werden. Für TELEMAC wurde eine AD Version erstellt und für verschiedene Beispielen angewendet (Merkel, Riehme, Naumann 2013, 1 und 2).

In einer Masterarbeit (Schäfer 2014) wurden 9 verschiedene Optimierungsalgorithmen für die automatische Kalibrierung der Rauheitswerte an drei Rinnenbeispielen getestet. Das Ziel der Optimierung war in allen Fällen ein vorher mit TELEMAC berechnetes Simulationsergebnis. Am Beispiel der Einschnürungsrinne der BAW sind in Bild 1 der Verlauf der automatischen Kalibrierung sowie die Anzahl der notwendigen Iterationsschritte abgebildet. Für das Beispiel wurden drei Rauheitszonen optimiert. Ausgehend von dem einheitlichen Rauheitswert von 0,05 m sollte die optimale Lösung E (0,0141 / 0,03 / 0,04 m) an allen 10180 Gitterknoten erreicht werden, wobei die Rauheitswerte auf den Bereich 0,001 – 0,1 beschränkt wurden. Es wurde eine Zielfunktion $f(x)$ definiert, wobei Φ für das gesamte TELEMAC Modell steht und x für die 3 Rauheitsparameter. Die Optimierung wurde beendet, wenn die Zielfunktion 10^{-5} erreichte.

$$f(x) = \frac{1}{2} \|\Phi(x) - E\|_2^2 \quad 0.001 \leq x_i \leq 0.1 \quad \forall_i = 1,2,3$$

Für dieses Beispiel kommen die Optimierungsalgorithmen für nichtlineare Probleme mit Grenzbeschränkungen (L-BFGS-B, SLSQP, SLSQP-B) am schnellsten zu der gesuchten Lösung. Leider zeigte keiner der Optimierungsalgorithmen einen eindeutigen Vorteil bei allen 3 Anwendungen. Es konnte aber für die automatische Kalibrierung eine erste Vorauswahl getroffen werden, die in weiteren Untersuchungen vor allem an realen Flussanwendungen bestätigt werden muss.

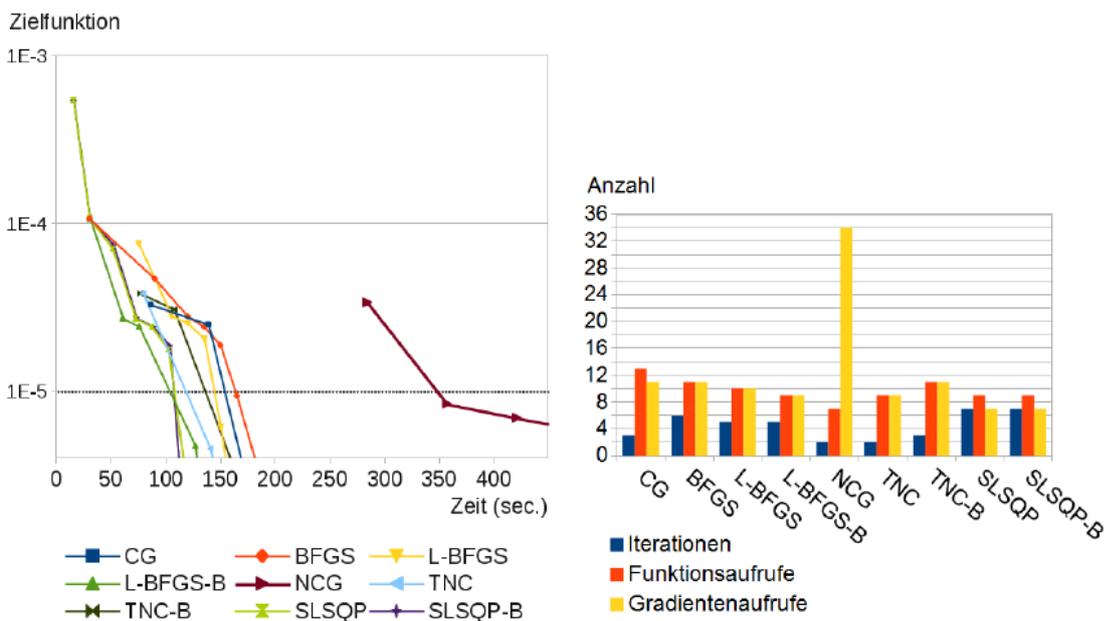


Bild 1: Verlauf der automatischen Kalibrierung (links) und die Anzahl der notwendigen Iterationsschritte für die Einschnürungsrinne

An einer Rinne der BAW wurde ein hochaufgelöster Datensatz von insgesamt 850 Messungen erstellt, um die Strömung über dreidimensionalen fixierten Dünen genau zu beschreiben. Aus diesen Messungen

wurden zur Validierung der Turbulenzparameter in den numerischen Modellen die turbulente kinetische Energie (TKE) und die Dissipation ε ermittelt. Standardmäßig wird die TKE über die Varianz der Geschwindigkeitsmessungen u' , v' , w' bestimmt.

$$TKE = \frac{1}{2}(u'u' + v'v' + w'w')$$

Durch eine Fourieranalyse der Autokorrelationen der Geschwindigkeitsmessungen wird das Energiespektrum $\hat{\varepsilon}(k)$ bestimmt. Die TKE kann somit auch über das Integral des Energiespektrums mit der Wellenzahl k berechnet werden:

$$TKE = \int_0^{\infty} \hat{\varepsilon}(k) dk$$

Zur Bestimmung der Dissipation betrachtet man den Inertialbereich der Energiekaskade, in dem das Gesetz von Kolmogorov/Obuchov gilt. Es beschreibt den Zusammenhang von Energiespektrum, einer Proportionalitätskonstante C , Dissipation und Wellenzahl. Mit einer linearen Regression für den $-5/3$ Bereichs kann die Dissipation berechnet werden. (Pope 2000)

$$\hat{\varepsilon}(k) = C \varepsilon^{\frac{2}{3}} k^{-\frac{5}{3}}; C = 1,5 - 2$$

In Bild 2 sind die TKE berechnet aus den Variationen (links) und aus dem Energiespektrum (Mitte), sowie die Dissipation (rechts) dargestellt. Beide Bestimmungsarten für die TKE stimmen sehr gut überein. Diese hochaufgelösten Messungen stellen ein enormes Potential für die Validierung von numerischen Turbulenzmodellen dar und sollen in Zukunft auch an anderen Labormodellen erhoben werden.

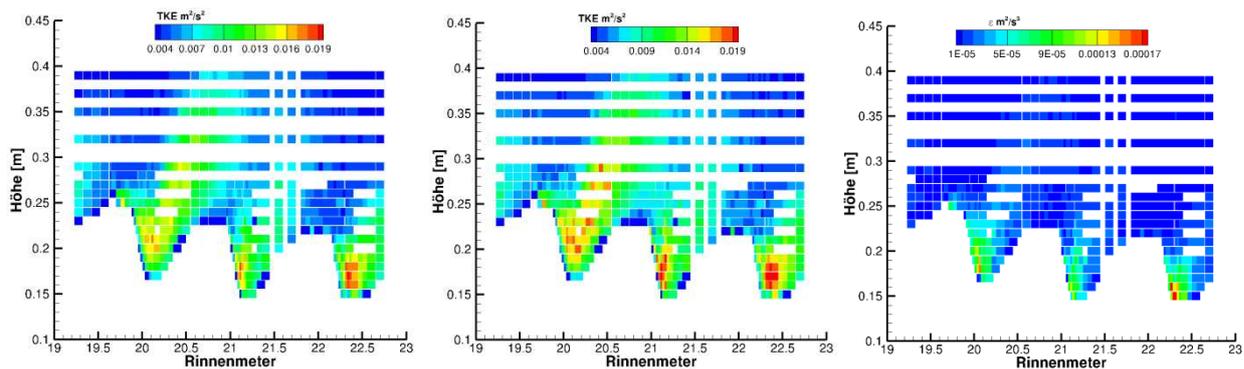


Bild 2: Aus Rinnenmessdaten berechnete TKE (links und Mitte) und Dissipation (rechts)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Arbeiten in dem Forschungsvorhaben sind abgeschlossen und werden in 2014 in einem Abschlussbericht zusammengefasst. Aus dem Forschungsvorhaben wurde in 2013 ein Forschungsantrag beim BMBF eingereicht. Darin sollen die Arbeiten im Themengebiet algorithmische Differenzierung fortgesetzt werden.

Laufzeit des Vorhabens von 2002 bis 2014.

5 Literatur

- Merkel, U.H., Riehme, J., Naumann, U. (2013): Rückrechnung von Rand- und Anfangsbedingungen mit Telemac und Algorithmischer Differentiation. Wasserwirtschaft H.12, 2013, S.22-27
- Merkel, U.H., Riehme, J., Naumann, U. (2013): Reverse Engineering of Initial and Boundary Conditions with TELEMAC and Algorithmic Differentiation. Proceedings XXth Telemac-Mascaret User Conference 2013, 16.-18.10.2013, Karlsruhe.
- Pope, S.B. (2000): Turbulent Flows. Cambridge University Press S.182 ff
- Schäfer, M. (2014): Erprobung von Optimierungsalgorithmen für die Kalibrierung eines Finite-Elemente Strömungsmodells auf Basis von Gradienten. Masterarbeit Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe.

6 Veröffentlichungen

-/-

Verkehrswasserbauliche Regelungs- und Anpassungsoptionen an klimabedingte Veränderungen des Abflussregimes

Netzplan-Nr.: A39530170001

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Schröder; Dr.-Ing. S. Wurms (Bearbeiter), Abteilung Wasserbau im Binnenbereich, Referat Flusssysteme I (W 1)

E-Mail: michael.schroeder@baw.de, sven.wurms@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Abflussprojektionen für den Rhein, zeigen, dass als eine Auswirkung des Klimawandels die Häufigkeit und Dauer extremer Abflussverhältnisse in der fernen Zukunft (Jahre 2071 bis 2100) zunehmen könnten. Bei extremen Niedrigwasserabflüssen ist eine zunehmende Beeinträchtigung der Schifffahrt festzustellen, wie dies beispielsweise während des Niedrigwassers 2003 zu beobachten war. Einerseits reduziert sich in solchen Fällen die maximal mögliche Abladetiefe, was unmittelbare Folgen für die Wirtschaftlichkeit des Transports per Schiff hat. Andererseits kommt es aber auch zu Breitereinschränkungen, die durch Untiefen in der Fahrrinne verursacht werden. Betroffen hiervon wären die Sicherheit und Leichtigkeit, mit der die Schifffahrt dann noch in Engpassbereichen zu navigieren vermag.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Zur Identifikation von Anpassungsmaßnahmen an die Folgen des Klimawandels bedarf es des Wissens um die Sensitivität des Gesamtsystems Wasserstraße, insbesondere der hydro- und morphodynamischen Komponenten gegenüber veränderten hydrologischen Eingangsgrößen. Im Rahmen des Forschungsvorhabens KLIWAS werden durch Anwendung eines Multimodellansatzes erstmalig belastbare Abflussprojektionen bis zum Jahr 2100 an den Hauptpegeln des Rheins in Form von Ergebnisbandbreiten generiert. Die Systemsensitivität gilt es daher konsequenterweise für die gesamte Bandbreite möglicher zukünftiger Abflussänderungen zu untersuchen. Dies wird zunächst exemplarisch an der Pilotstrecke Mainz bis St. Goar (Rhein-km 493,0 bis 557,5) durchgeführt.

2D-morphodynamische Berechnungen über die gesamte Länge der Pilotstrecke befinden sich heute im Bereich des technisch realisierbaren, jedoch sind Langzeitsimulationen, wie sie vor dem Hintergrund des Themas Klimawandel erforderlich sind, bisher nur mit deutlichen Abstrichen bezüglich der möglichen Feinheit der Modelldiskretisierung durchzuführen. In diesem Zusammenhang sind geeignete Strategien zu identifizieren, mit welchen morphodynamische Langzeitsimulationen in hinreichender Prognosequalität bei vertretbaren Rechenzeiten auf den zur Verfügung stehenden Großrechnern realisierbar sind.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aus dem Projekt resultieren Aussagen, mit welchem Aufwand, welche Verbesserungen für die Schifffahrt bei klimabedingt möglicherweise reduzierten Niedrigwasserständen erzielt werden können. Damit stehen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) frühzeitig Anpassungsoptionen als Antwort auf die Auswirkungen eines möglichen Klimawandels zur Verfügung, mit welchen die Leistungsfähigkeit des Transportträgers Binnenschifffahrt auch bei extremen Niedrigwasserabflüssen erhalten werden kann. Erkenntnisse, welche aus den Modelluntersuchungen resultieren, sowie die im Rahmen dieses Projekts generierten, kalibrierten und validierten Modelle wurden parallel in dem WSV-Projekt „Abladeoptimierung Mittelrhein“ eingesetzt.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel dieses Projektes ist es, mögliche verkehrswasserbauliche Anpassungsoptionen zu identifizieren und zu bewerten, mit denen in Niedrigwasserperioden Mindestfließtiefen in freifließenden Wasserstraßen über längere Zeiträume als heute garantiert werden können. Auf einer Schwachstellenanalyse aufbauend werden erforderliche Ausbaumaßnahmen konzipiert und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Abschließend ist der Unterhaltungs- und Regelungsaufwand hinsichtlich des Gewinns für die Schifffahrt zu ermitteln.

2 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen im Rahmen des Projektes werden exemplarisch für die Pilotstrecke von Mainz bis St. Goar (Rhein-km 493,0 bis 557,5) durchgeführt. Einer Analyse des heutigen Ausbaustandes der Wasserstraßen mit Hilfe des 2D-hydro-/morphodynamischen Modellierungssystems TELEMAC-2D/Sisyphus folgt die Planung und Bewertung verschiedener Optionen eines Niedrigwasserausbaus.

Klimabedingte Änderungen der Niedrigwasserabflüsse fließen in Form von Bandbreiten projizierter Änderungen an den Haupt- und Nebenpegeln in eine hydrodynamische Sensitivitätsuntersuchung ein, anhand derer die abflussabhängige Entwicklung der Engpassbereiche innerhalb der Pilotstrecke abgeschätzt wird. Für den Pegel Kaub wird eine Änderung der für Ausbau und Unterhaltung der Wasserstraße relevanten Niedrigwasserkenngroße GIQ von +15 % bis -5 % in der nahen Zukunft (Jahre 2021 bis 2050) erwartet. Die Projektionen für die ferne Zukunft (Jahre 2071 bis 2100) zeigen Änderungen des GIQ von -10 % bis -25 % (Nilson et al., 2013). Im Rahmen morphodynamischer Modellrechnungen wird der zukünftige, klimabedingt veränderte Unterhaltungsaufwand in Form von Baggermengen zum Erhalt des Status quo der Wasserstraße sowohl für ein Null-Szenario ohne Klimaänderungen als auch für klimabedingt veränderte Randbedingungen abgeschätzt (Wurms & Schröder, 2013). Hierfür werden für die Zeiträume der nahen und fernen Zukunft insgesamt 13 instationäre Abflussprojektionen verwendet, welche sich jeweils über 30 Jahre erstrecken. Auf Grundlage der hydraulischen und morphologischen Streckenanalyse werden die Abschnitte identifiziert, die bei den einzelnen Niedrigwasserszenarien zu Engpassstellen für die Schifffahrt werden und in welchen Regelungsmaßnahmen erforderlich sind, um den Unterhaltungsaufwand zur Aufrechterhaltung der Fahrrinntiefen zu minimieren.

Damit die Leistungsfähigkeit der Binnenschifffahrt auch bei extremen Niedrigwasserabflüssen erhalten bleibt, ist der Ausbau der Wasserstraßen in Form einer durchgehenden, gegebenenfalls breitenreduzierten Niedrigwasserfahrrinne unter Ausnutzung vorhandener Übertiefen erforderlich. Die Lage und Mindestbreite dieser Fahrrinne wird im Rahmen des KLIWAS-Projekts 4.04 „Ermittlung von Fahrrinnenmindestbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt“ ermittelt. Mit dieser bautechnischen Variante werden hydro- und morphodynamische Berechnungen durchgeführt, um die Unschädlichkeit der Baumaßnahmen hinsichtlich eines Wasserspiegelverfalls im Bereich von Niedrig- bis Mittelwasserabfluss nachzuweisen sowie Verlandungs- oder Erosionsprobleme zu erkennen. Zusätzlich zu untersuchende Regelungsmaßnahmen sind neben den üblichen Buhnen und Parallelwerken flexible, nur bei Niedrigwasserabflüssen wirkende Buhnen und Schwellen (Wurms & Schröder, 2011).

Zur erforderlichen Beschleunigung der morphodynamischen Simulationen unter Beibehaltung der Ergebnisgenauigkeit wird die Technik des morphologischen Faktors auf die Erfordernisse des instationär betriebenen Modells angepasst, welche sonst im Zusammenhang morphodynamischer Simulationen unter Verwendung stationärer oder periodischer Randbedingungen eingesetzt wird (Wurms & Schröder, 2012).

3 Ergebnisse

Die Untersuchung der potenziellen Wassertiefen innerhalb der Fahrrinne unter Verwendung des Status Quo der Wasserstraße zeigt, dass in der Pilotstrecke Mainz bis St. Goar mit einer Verschärfung der Engpassituation im Falle sinkender Niedrigwasserabflüsse zu rechnen ist. Während bis zu einer Verringerung des GIQ um 10 % aufgrund der vorhandenen Tiefenreserven in der Fahrrinne überwiegend ein Anwachsen der Volumina der bereits existierenden Fehlstellen zu erwarten wäre, würden bei einer weiteren Verringerung zahlreiche neue Fehlstellen in bislang unkritischen Fahrrinnenbereichen auftreten.

Die morphodynamischen Berechnungen zeigen, dass in der nahen Zukunft keine eindeutige Tendenz zur Erhöhung oder Verringerung der Unterhaltungsbaggermengen vorliegt, sollten die heutigen Fahrrinntiefen zukünftig aufrechterhalten werden. In der fernen Zukunft ist tendenziell mit einer Erhöhung der Unterhaltungsbaggermengen sowohl innerhalb des Geschiebefangs als auch der Fahrrinne zu rechnen. Die maximale projizierte Zunahme der Baggermengen innerhalb der Fahrrinne beträgt dabei +196 %. Ursächlich für den Anstieg der Baggermengen sind die folgenden Aspekte: Je ausgeprägter die Verringerung des aus den jeweiligen Abflussprojektionen resultierenden GIQs und damit des für die Baggerungen relevanten Bezugswasserstands ist, desto größer fällt die Erhöhung der Baggermengen aus. Deutlich wird weiterhin der Zusammenhang zwischen erhöhten Abflusskennwerten für Mittel- und Hochwasser der

Abflussprojektionen einerseits und einem Anstieg der erforderlichen Unterhaltungsmengen infolge des erhöhten Sedimenteintrags in die Strecke sowie einer erhöhten Sedimentdynamik andererseits.

Die verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen dienen dazu, den projizierten klimabedingten Mehraufwand auszugleichen, der zur Aufrechterhaltung der heutigen Fahrrinntiefen erforderlich wäre. Die Wirksamkeit der bislang im Rahmen der hydrodynamischen Modellierung identifizierten verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen wurde im 2D-morphodynamischen Modell untersucht. Als Randbedingung diente diejenige Abflussprojektion aus der fernen Zukunft, mit welcher der mit einem Wert von +196 % größte Anstieg der Unterhaltungsmengen innerhalb der Fahrrinne projiziert wurde. Eine mögliche Anpassungsoption ist die abgestufte Unterhaltung der Fahrrinne, d.h. einer auf reduzierter Breite durchgeführten Anpassung der Fahrrinne an den im Rahmen der genannten Abflussprojektion reduzierten Bezugswasserstand. Weiterhin wurden im morphodynamischen Modell Längswerke in den Bereichen Oestrich und Kemptener Fahrwasser untersucht, welche auf die Erhöhung der Schubspannungen und damit eine Verringerung der Anlandungsraten abzielen.

Durch die abgestufte Unterhaltung der Fahrrinne könnte eine deutliche Verringerung des erforderlichen Unterhaltungsaufwandes erzielt werden. Im betrachteten Szenario ließe sich der klimabedingte Anstieg der Baggermengen in der Fahrrinne zwischen Mainz und Trechtingshausen von insgesamt +196 % auf einen Wert von +122 % reduzieren. In Teilbereichen der untersuchten Strecke, z.B. der Teilstrecke Bingen, ließe sich durch die abgestufte Unterhaltung die klimabedingte Zunahme des Unterhaltungsaufwandes nahezu ausgleichen. In anderen Teilstrecken wäre die Wirkung teils weniger ausgeprägt. Hinsichtlich der Verringerung des klimabedingten Mehraufwands an Unterhaltung ist somit denkbar, die Anpassungsoption der abgestuften Unterhaltung der Fahrrinne auf ausgewählte Engpassbereiche zu begrenzen.

Durch ein Längswerk im Bereich der Rüdeshheimer Aue ließe sich der klimabedingte, projizierte Mehraufwand an Unterhaltung in der Teilstrecke Bingen von +137 % auf einen Wert von +69 % reduzieren und somit nahezu halbieren. Eine Kombination aus abgestuft unterhaltener Fahrrinne einerseits und Längswerken in den Bereichen Oestrich und Rüdeshheimer Fahrwasser andererseits würde insgesamt zu einer Verringerung der projizierten Zunahme des Unterhaltungsaufwandes von +196 % auf einen Wert von +88 % führen. In einzelnen Teilstrecken könnte die klimabedingte Zunahme des Unterhaltungsaufwandes vollständig ausgeglichen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- Schwachstellenanalyse und Entwicklung wasserbaulicher Anpassungsmaßnahmen
- Abschätzung des klimabedingt veränderten Unterhaltungsaufwands
- Morphodynamische Bewertung der einzelnen Ausbauvarianten sowie Anpassung von Unterhaltungsstrategien für unterschiedliche Abflussszenarien

Laufzeit des Vorhabens von 2009 bis 2014.

5 Literatur

Nilson, E.; Carambia, M.; Klein, B; Krahe., P.; Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.): Auswirkungen des Klimawandels auf das Abflussregime und die Binnenschifffahrt im Rheingebiet. Koblenz, 2013. – BfG-Bericht, in Vorbereitung.

6 Veröffentlichungen

Wurms, S., Schröder, M. (2011): Untersuchungen zu verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen an extreme Niedrigwassersituationen. In: BMVBS (2011): KLIWAS – Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen und Schifffahrt in Deutschland, Tagungsband zur 2. Statuskonferenz, 25. – 26. Oktober 2011, Berlin.

Wurms, S., Schröder, M. (2012): Evaluation of strategies for the acceleration of morphodynamic simulations against the background of waterways maintenance. In Murillo (Hrsg.), River Flow 2012, S. 1235 - 1241. San José, Costa Rica.

Wurms, S., Schröder, M. (2013): 2-D-morphodynamische Simulationen zur Anpassung des Verkehrswasserbaus an den Klimawandel. In: WasserWirtschaft 103 (2013) Nr. 12, S. 16-21.

Hydraulische Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen

Netzplan-Nr.: A39530170002

Projektleiter: Dr. sc. techn. R. Weichert, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme I (W1)

E-Mail: roman.weichert@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei zahlreichen Wehr- und Stauanlagen, welche zur Gewährleistung der Schifffahrt und/oder zur Nutzung der Wasserkraft errichtet wurden, besteht die Notwendigkeit zur Ergänzung von funktionsfähigen technischen Fischaufstiegsanlagen, um die ökologische Durchgängigkeit wieder herzustellen. Dabei ist die Bedingung für die Funktionsfähigkeit einer Fischaufstiegsanlage, dass sie für die große Mehrzahl der für die betrachtete Fließgewässerregion relevanten Fischarten durchgängig ist. Zur Bemessung von Fischaufstiegsanlagen wird auf Erfahrungswerte zurückgegriffen, die in technische Bemessungsregeln einfließen. Die Bemessung hat das Ziel, eine Strömungssituation zu erzeugen, die den Fischen ermöglicht, ein vorhandenes Querbauwerk zu überwinden.

Bei Planung und Bau von technischen Fischaufstiegsanlagen existieren bereits umfangreiche Erfahrungen vor allem für kleine und mittlere Fließgewässer, welche in entsprechenden Regelwerken zusammengefasst sind. Solche Regelwerke beziehen sich auf Erfahrungswerte aus den verschiedenen Studien der letzten Jahrzehnte und beinhalten eine Sammlung geometrischer Parameterintervalle aus den positiv bewerteten Varianten dieser Studien. Eine systematische Untersuchung des Zusammenspiels dieser Parameter und deren Auswirkungen auf die Strömung steht jedoch aus. Darüber hinaus existieren auch bei der Übertragung des Stands der Technik auf die Verhältnisse an Bundeswasserstraßen Unsicherheiten.

1.2 Bedeutung für die WSV

Das seit dem 1. März 2010 geltende Gesetz zur Neuregelung des Wasserrechts (WHG) verpflichtet die WSV zur Erhaltung oder Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an den Staustufen, die von ihr errichtet oder betrieben werden, soweit dies für die Erreichung der Ziele der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie erforderlich ist. Da die überwiegende Anzahl der WSV-Staustufen über keine ausreichend funktionsfähigen Anlagen verfügen, die die Fischwanderung und damit die Durchwanderbarkeit der Bundeswasserstraßen gewährleisten, wird an einer Vielzahl der Staustufen der Bau von Fischwechsellanlagen bzw. deren Ertüchtigung erforderlich. Es besteht demnach in der WSV ein großer Bedarf, die vorhandenen Erfahrungen bei Fischaufstiegsanlagen für die Verhältnisse an Bundeswasserstraßen zu prüfen und weiterzuentwickeln.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des FuE-Projektes ist allgemeingültige, objektunabhängige Gesetzmäßigkeiten als quantitative Handreichung zur Dimensionierung von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen zu erarbeiten. Das vorliegende FuE-Projekt beschäftigt sich mit dem Themenfeld der Passierbarkeit, d.h. mit den Verhältnissen innerhalb der eigentlichen Fischaufstiegsanlage. In dem hier beschriebenen FuE-Projekt liegt der Fokus auf dem sogenannten Schlitzpass, da dieser der am häufigsten eingesetzte Bautyp ist.

Im Rahmen des FuE-Projektes sollen die zugelassenen geometrischen Parameterintervalle vom Merkblatt DWA-M 509 systematisch untersucht werden, um deren Auswirkungen auf die Strömungseigenschaften in Schlitzpässen aufzuzeigen, insbesondere die Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsverteilung und Turbulenz innerhalb der Becken.

Die Untersuchungsergebnisse müssen später in fischbiologischer Hinsicht bewertet werden, um belastbare Bemessungsvorgaben abzuleiten. Dies ist derzeit wegen fehlender Ergebnisse aus Schwimmverhaltensuntersuchungen von Fischen sehr begrenzt möglich, da der Einfluss unterschiedlicher Strömungseigenschaften auf das Schwimmverhalten verschiedener Fischarten derzeit nur begrenzt zur Verfügung steht.

2 Untersuchungsmethoden

Die Auswirkungen der Geometrie auf die Strömungseigenschaften werden mittels physikalischer Modelluntersuchungen ermittelt, in dem die relevanten Geometrievarianten eingebaut und untersucht werden. Da sowohl die entstehende Anzahl der Varianten als auch der zeitliche Aufwand der Messung einzelner Varianten groß sind, werden unterschiedliche Aspekte in unterschiedlichen physikalischen Modellen, mittels unterschiedlicher Messverfahren in Kooperation mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung des KIT (IWG) in zwei Teilprojekten parallel untersucht. Die Auswirkungen auf die Turbulenz werden im Teilprojekt 1 in Laborräumen der BAW durchgeführt, die Auswirkungen auf die Geschwindigkeitsverteilung werden im Teilprojekt 2 in Laborräumen des IWG durchgeführt.

2.1 Teilprojekt 1: Untersuchungen zu Turbulenz

Die Auswirkungen der Beckengeometrie auf die Turbulenz (z.B. Skalen und Energieinhalt) werden in einem physikalischen Modell mit neun aufeinander folgenden Fischpass-Becken ermittelt. Die Sohlneigung des Modells ist auf 2,8% fixiert, die Beckendimensionen sind 78,5 x 99,0 cm. Die Schlitzpasseinbauten sind flexibel anpassbar. Das Modell entspricht einem Maßstab von ca. 1:4 in Bezug auf die Verhältnisse der geplanten Fischaufstiegsanlagen am Neckar. Die Messungen werden mittels der hochauflösenden Messverfahren PIV (Particle Image Velocimetry) und ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) durchgeführt.

2.2 Teilprojekt 2: Untersuchung der Geschwindigkeitsverteilung

Die Untersuchungen zur Geschwindigkeitsverteilung werden an einem physikalischen Modell eines Schlitzpasses mit 6 aufeinander folgenden Becken am IWG durchgeführt. Die Schlitzpasseinbauten sind als modulare Elemente installiert, um eine große Variabilität in Bezug auf die geometrischen Abmessungen der Becken und Schlitze zu ermöglichen. Die Sohlneigung des Modells ist variabel einstellbar. Im Rahmen der Voruntersuchung wird die Strömungssignatur in den Becken mittels Langzeitbelichtung aufgenommen. Die Messung der Geschwindigkeiten wird mit einem ADV durchgeführt.

3 Ergebnisse

3.1 Teilprojekt 1

Um in allen Becken die gleichen Wassertiefen und Wasserspiegeldifferenzen einstellen zu können, wurde jedes Becken des Modells im Laufe des Jahres mit Ultraschall-Sonden ausgestattet, die eine kontinuierliche Erfassung des Wasserstandes ermöglichen. Das Modell wurde darüber hinaus mit einer automatisierten Traversierung versehen, um die ADV-Sonde bewegen und steuern zu können. Die Messungen mit der ADV-Sonde sind vorgesehen, um vergleichend zur PIV-Messung das Strömungsfeld innerhalb des Schlitzpasses beurteilen zu können. Die Messungen in der Versuchsrinne werden aus messtechnischen Gründen ohne Sohlsubstrat durchgeführt. Um den Einfluss der Sohlrauigkeit auf das Strömungsfeld innerhalb eines Schlitzpasses abschätzen zu können, wurde parallel ein Versuchstand aufgebaut, in dem der Einfluss der Sohle gesondert untersucht wird.

3.2 Teilprojekt 2

Das Modell und die Modellsteuerung am KIT wurden im Laufe des Jahres umgebaut und optimiert. Außerdem wurde es mit zwei Ultraschall-Sonden ausgestattet, um eine kontinuierliche Erfassung des Wasserstandes zu ermöglichen. Für die ADV-Messungen ist am Modell eine automatische Traversierung vorhanden.

Für die Aufnahme der Strömungssignatur mittels Langzeitbelichtung wurden in einer umfangreichen Testphase die geeigneten Belichtungsparameter und Tracer festgestellt. Um die Tracer kontinuierlich zugeben zu können, wurde eine Zugabevorrichtung entwickelt.

Momentan werden die Blendeneinstellung und besonders die Beleuchtung des Untersuchungsbeckens weiter optimiert.

Es wurden zwei Geometrievarianten, die sich in der Größe des Schlitzwinkels unterscheiden mittels Langzeitbelichtung aufgenommen (Bild 1). Man kann deutlich die beiden unterschiedlichen Strömungsbilder erkennen. Das zeigt, dass der Schlitzwinkel einen starken Einfluss auf die Ausbildung der Strö-

mungsbilder hat. Neben der Optimierung des Versuchsstands stand die Erarbeitung des vorgesehenen Versuchskonzeptes im Fokus der nun abgeschlossenen Voruntersuchungsphase.

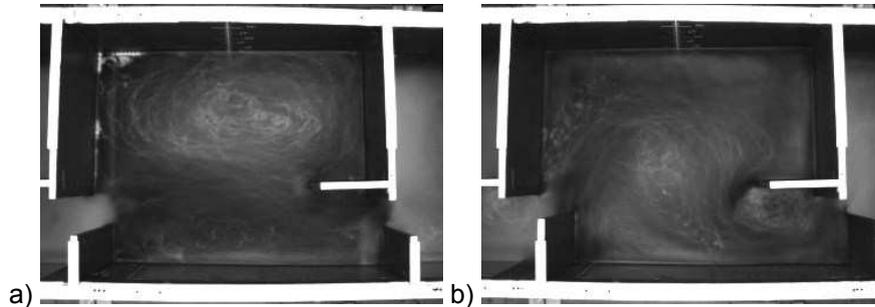


Bild 1: (a) Strömungsbild 1 bei einem Schlitzwinkel von 24° , (b) Strömungsbild 2 bei einem Schlitzwinkel von 56°

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

4.1 Teilprojekt 1

- 2014: – Optimierung und Auswertung der PIV-Daten
– Hydraulische Untersuchungen der Varianten in der PIV-Rinne
- 2015: – Hydraulische Untersuchungen der Varianten in der PIV-Rinne
– Ergebnissynthese und Ableitung eines hydraulischen Bemessungsverfahrens
– Dokumentation

4.2 Teilprojekt 2

- 2014: Optimierung der Langzeitbelichtung
Optimierung der Auswertung der ADV-Daten
Voruntersuchung verschiedener Varianten mittels Langzeitbelichtung und ADV
Hydraulische Untersuchungen verschiedener Varianten mittels ADV
- 2015: – Ergebnissynthese und Ableitung eines hydraulischen Bemessungsverfahrens
– Dokumentation

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2016.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Belz, V. (2013): Untersuchung der Strömungscharakteristik von Fischaufstiegsanlagen in Schlitzpassbauweise, Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft – Technische Universität Graz, 15. JUWI-Treffen, Fachbeiträge zur Tagung vom 31. Juli bis 2. August 2013 in Graz

Sokoray-Varga, B., Weichert, R., Lehmann, B., Nestmann, F. (2013) Hydraulische Untersuchungen zur Passierbarkeit von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft Nr. 128 – Beiträge zur Fachtagung Ökohydraulik am 27. und 28. Juni 2013 in Oberrach. ISBN 978-3-943683-04-2

Berücksichtigung dreidimensionaler Strömungseffekte und Transportphänomene in morphodynamischen Modellen von Binnenwasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39530170003

Projektleiter: Dr.-Ing. T. Wenka, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Numerische Verfahren im Wasserbau (W5)

E-Mail: thomas.wenka@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Analyse der sohnnahen und somit bettbildenden Prozesse in alluvialen Fließgewässern bedarf infolge des intensiven Zusammenspiels geometrischer, granulometrischer und strömungsmechanischer Effekte einer zeitlich und räumlich hoch auflösenden Betrachtungsweise. Obwohl die mikro- bis mesoskaligen Strömungsprozesse aufgrund der Turbulenz stochastischer Natur sind, kamen bisher in der Strömungsmodellierung vorrangig deterministische Methoden zum Einsatz, um zumindest die integralen Prozesse anhand statistischer Werte gut abbilden zu können. Dreidimensionale Effekte der Strömung spielen im Nahbereich von Baumaßnahmen und in Gerinnekrümmungen, d.h. im mesoskaligen Bereich hinsichtlich der bettbildenden Prozesse eine entscheidende Rolle. Neben der Untersuchung des Potentials der dreidimensionalen Strömungsmodellierung, morphologische Prozesse besser beschreiben zu können, stehen im Weiteren die Untersuchung, Implementierung und Anwendung von Schubspannungsansätzen im Vordergrund, die zusätzlich die vertikale Geschwindigkeitskomponente berücksichtigen.

Der als Bewegungsbeginn der Sohle bezeichnete Grenzzustand ist bei der numerischen Modellierung der Morphodynamik in Flüssen ein für die Prognose des Sedimenttransports und die daran gekoppelte Morphogenese der Stromsohle maßgeblicher Parameter. Von der Strömungsseite kommend, ist es die transportwirksame Sohlschubspannung, die es in Abhängigkeit des gewählten Verfahrens- bzw. Modellansatzes zu erfassen gilt. Von der Flusssohle kommend, sind es die Oberflächen- bzw. Formrauheiten und die Lagerungseigenschaften, die in Bezug auf den Bewegungsbeginn eine entscheidende Rolle spielen.

Da der Bewegungsbeginn bekanntlich schon in Laboruntersuchungen eine sehr große Streubreite aufweist, ist seine modelltechnische Abbildung, die bislang auf der Wahl möglichst repräsentativer Schwellenwerte oder Formeln beruht, mit einer entsprechenden Unschärfe gekoppelt, die sich wiederum maßgeblich auf die quantitative Erfassung von Sedimenttransport und Bettbildung in Binnenflüssen und -wasserstraßen auswirkt. Zur Erfassung der Extremwerte und Anisotropie der den Bewegungsbeginn beeinflussenden Wirbelstrukturen wäre der Einsatz von LES (Large Eddy Simulation) angebracht, der allerdings für praktische Strömungssituationen als noch zu aufwendig angesehen wird. Mittels „upscaling“ der aus LES gewonnenen Informationen ist jedoch eine Anwendbarkeit auf die Problemstellungen aus der Praxis anzustreben.

1.2 Bedeutung für die WSV

Den durch Bau-, Regelungs-, Instandhaltungs- und Geschiebebewirtschaftungsmaßnahmen an Bundeswasserstraßen induzierten „morphodynamischen Nachlauf“ möglichst exakt abschätzen und detaillierter planen zu können, ist eine wesentliche Aufgabe der Abteilung Wasserbau im Binnenbereich bei der Beratung der planenden und ausführenden Instanzen der WSV.

Hierzu bietet sich in der BAW der Einsatz numerischer Feststofftransportmodelle an. Solche Modelle liefern Prognosen zur Entwicklung der Sohle vor und nach einem baulichen Eingriff und können sowohl zum Nachweis der großräumigen und langfristigen Wirkung der Maßnahmen (1D-/2D-Modelle) wie auch zur Optimierung der Vorgehensweisen und Abläufe im Nahbereich des Eingriffs (2D-/3D-Modelle) eingesetzt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Als Ziel der Untersuchungen sollen dreidimensionale Strömungseffekte und die damit verknüpften Transportphänomene in den numerischen 2D- und 3D-Modellen, die auf der TELEMAC-SISYPHE Programm-

umgebung beruhen, adäquat erfasst werden. Ferner sollen die bisher in den numerischen Verfahren verwendeten Ansätze für den Bewegungsbeginn anhand von aktuellen Methoden, die ggfs. auf deterministischen, stochastischen oder gemischten Ansätzen beruhen, verfeinert werden. Durch deren Implementierung in die numerischen Modelle der BAW sollen die Planung von Bau- und Unterhaltungsmaßnahmen und die Vorhersage von morphodynamischen Entwicklungstendenzen in Bundeswasserstraßen künftig zuverlässiger und genauer werden (BAW 2010).

2 Untersuchungsmethoden

Da die Untersuchungen primär der Weiterentwicklung der numerischen Methoden der BAW im Bereich des Flussbaus dienen sollen, steht das TELEMAC-SISYPHE-Programmsystem im Vordergrund.

Zur Validierung der neuen Routinen sind u.a. vergleichende Untersuchungen in der Systemrinne der BAW vorgesehen. Sofern qualitativ angemessene Naturdaten zur Verfügung stehen, sind diese ebenfalls zur Validierung der neuen Ansätze heranzuziehen. Welche aktuellen Ansätze derzeit im Bereich des Flussbaus eingesetzt werden und inwiefern sich alternative Methoden auf die Problemstellungen der BAW anwenden lassen, wurde in einer Literaturstudie des Instituts für Wasser und Umwelt der TU München „Alternative Ansätze zur Berechnung des Geschiebetransports in Fließgewässern“ (TUM, 2011) untersucht.

Die Aufgabenpakete sind inhaltlich mit dem Fachkonzept des Referates W5 abgestimmt, so dass neue Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt unmittelbar Eingang in die Projektarbeit finden. Mit der fachlichen Integration der bestehenden Forschungsk Kooperation mit dem Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) in das FuE-Vorhaben ist eine möglichst enge Verknüpfung der einzelnen Forschungsarbeiten gegeben.

3 Ergebnisse

Zur weiteren Evaluierung der SISYPHE-Routinen zur Erfassung des Sekundärströmungseinflusses auf die Geschiebetransportrichtung in 2D-tiefengemittelten Modellen und zum Einfluss der Dimensionalität der Strömungsmodellierung auf die Geschiebetransportvorgänge (vgl. IWG 2011b) wurden im Vergleich TELEMAC-2D zu TELEMAC-3D sowohl Labor- wie auch Naturverhältnisse simuliert. Anhand eines Laborversuchs der Universität Innsbruck mit milderer Krümmungsverhältnissen sowie erhöhter Datendichte und -qualität als bei Wormleaton (2005) wurden ergänzende Studien zu den Untersuchungen am „Wormleaton“-Modell durchgeführt (Riesterer et al., 2014). Für die Modellierung einer Naturstrecke wurde das 2D-FTM „Mittlerer Niederrhein“ (Rhein-km 730,0 – 776,5), das zur Auftragsbearbeitung eingesetzt wird (Wenka et al., 2014), auf den Kernbereich der Krümmung und Gegenkrümmung (Rhein-km 739,0 – 749,0) reduziert und durch ein 3D-Modell ergänzt.

Der Vergleich der 2D- und 3D-Modelle hat gezeigt, dass mit Hilfe der im 2D-tiefengemittelten Modell verwendeten Parametrisierung auch in einem 2D-Modell die Auswirkungen der Sekundärströmungen in Krümmungsbereichen ausreichend berücksichtigt werden können. Durch die direkte Simulation solcher Effekte und die bessere Näherung an die Naturdaten kann der höhere Rechenaufwand des 3D-Modells jedoch in gewissen Fällen gerechtfertigt sein. Daher sollten insbesondere in Flussabschnitten mit starken Krümmungen beide Modellansätze betrieben werden. Auf diese Weise können die Ergebnisse des 2D-Modells überprüft und auf die Streckenspezifika eingestellt werden (Backhaus et al., 2014).

Aufgrund der in TELEMAC-3D bewusst gewählten Vereinfachung bei der Lösung der dreidimensionalen Strömungsgleichungen, die überwiegend auf der Vorgabe einer hydrostatischen Druckverteilung beruhen, wurden mittels eines sogenannten „Voll-3D-Verfahrens“ hydraulische Vergleichsrechnungen in der verkürzten Modellstrecke des FTM „Mittlerer Niederrhein“ (Rhein-km 739,0 – 749,0) durchgeführt. Hierbei kam an der TU München das Verfahren „Fast3D“ zum Einsatz (TUM, 2013). Die Strömungssimulationen zeigten generell eine gute Übereinstimmung zwischen beiden Verfahren. Trotz der in TELEMAC-3D vorhandenen Vereinfachungen wurden die in Gerinnekrümmungen auftretenden Sekundärströmungen bei beiden Modellverfahren sowohl hinsichtlich ihres Verlaufs als auch ihrer Intensität in gleicher Größenordnung erfasst. Die Ergebnisse zu den morphologischen Vergleichsrechnungen weisen in einer ersten Betrachtung teilweise wesentliche Differenzen auf. Diese müssen überprüft und einer umfassenden Analyse unterzogen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

1. Modellierung des Sekundärströmungseinflusses auf das Geschwindigkeitsfeld in 2D-tiefengemittelten Verfahren mittels entsprechendem Dispersionsansatz. Anwendung und Validierung des durch die EDF neu in TELEMAC-2D implementierten Dispersionsansatzes und ggf. Anpassung bzw. Erweiterung des bestehenden Ansatzes. Durchführung vergleichender 2D- und 3D-Simulationen anhand vorhandener Labormodelle bzw. Naturstrecken mit entsprechenden Messdaten und Bewertung des Einflusses des Dispersionsansatzes auf die hydraulischen und morphologischen Ergebnisse.
2. Analyse und Bewertung der im Rahmen des Modellvergleichs von TELEMAC/SISYPHE und Fast3D (TU München) festgestellten Unterschiede in den hydraulischen und morphologischen Ergebnissen des Niederrheinmodells bei Düsseldorf (Rhein-km 739,0 – 749,0).
3. Darstellung der bisherigen Ergebnisse zur Geschiebetransportmodellierung in Gerinnekrümmungen im Rahmen eines wissenschaftlichen Kolloquiums (Riesterer et al., 2014) mittels Vortrag sowie Tagungsbandbeitrag. Dokumentation der Arbeiten in einem Abschlussbericht und Fortschreibung des Konzepts zur Weiterentwicklung des zugrunde gelegten numerischen Verfahrens hinsichtlich einer verbesserten Prognosefähigkeit. Übergabe der Untersuchungsergebnisse an den Auftraggeber in digitaler Form und Vorstellung der wesentlichen Aspekte des Projektabschlussberichts in einer Präsentation.

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2014.

5 Literatur

- BAW (2010): Fachkonzept der Projektgruppe Mehrdimensionale Feststofftransportmodellierung, Vers. 1.0
- IWG (2011a): 1. Zwischenbericht zur Weiterentwicklung der TELEMAC-SISYPHE Programmumgebung. Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, März 2011.
- IWG (2011b): 2. Zwischenbericht zur Weiterentwicklung der TELEMAC-SISYPHE Programmumgebung. Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Dez. 2011.
- TUM (2011): Literaturstudie „Alternative Ansätze zur Berechnung des Geschiebetransports in Fließgewässern“. Institut für Wasser und Umwelt, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München.
- TUM (2013): „Validierung dreidimensionaler Feststofftransportmodelle für Fragestellungen an den Bundeswasserstraßen“. Vorläufiger Bericht, Institut für Wasser und Umwelt, Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Technische Universität München.
- Wormleaton, P.R.; Hey, R.D.; Sellin, R.H.J.; Bryant, T.; Loveless, J.; Catmur, S.E. (2005): Behaviour of Meandering Overbank Channels with Graded Sand Beds. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, No. 8, pp. 665 – 681.
- Wu, W.; Wang, S; Jia, Y. (2000): Non-uniform sediment transport in alluvial rivers. Journal of Hydraulic Research, Vol. 38, No. 6

6 Veröffentlichungen

- Backhaus, L.; Brudy-Zippelius, T.; Wenka, T.; Riesterer, J. (2014): Comparison of Morphological Predictions in the Lower Rhine River by Means of a 2-D and 3-D Model and in situ Measurements. Eingereicht zur Publikation im Konferenzband der River Flow 2014, International Conference on Fluvial Hydraulics, 3. – 5. September, Lausanne.
- Riesterer, J.; Brudy-Zippelius, T.; Wenka, T.; Nestmann, F. (2014): Multidimensional Bed Load Transport Modelling of a Secondary Flow influenced Curved Channel. Wird in einer korrigierten und erweiterten Fassung zur Veröffentlichung in einem internationalen Journal eingereicht.
- Riesterer, J.; Wenka, T.; Oberle, P.; Brudy-Zippelius, T. (2014): Numerische Modellierung des Geschiebetransports in gekrümmten Gerinnen. Eingereicht zur Publikation im Konferenzband des 37. Dresdner Wasserbaukolloquiums 2014, 13. – 14. März, Dresden.
- Wenka, T.; Backhaus, L.; Brudy-Zippelius, T. (2014): Artificial Bedload Supply in Waterways – Numerical Traceability. Eingereicht zur Publikation im Konferenzband der 11th International Conference on Hydroscience & Engineering, 28.09. – 02.10.2014, Hamburg.

Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen

Netzplan-Nr.: A39530170004

Projektleiter: Dipl.- Ing. W. Kampke, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme I (W1)

E-Mail: wolfgang.kampke@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

Zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit unserer Fließgewässer sind funktionstüchtige Fischaufstiegsanlagen (FAA) an Stauanlagen unabdingbare Bausteine. Die Funktionsfähigkeit dieser FAA hängt in erster Linie von zwei Faktoren ab, der Auffindbarkeit und der Passierbarkeit. Das Thema der Auffindbarkeit einer Fischaufstiegsanlage beinhaltet die Fragestellung, ob wanderwillige Fische, die direkt bis in das Unterwasser einer Staustufe gelangen, in der Lage sind, den Einstieg in die FAA ohne größere Verzögerungen zu finden. Die besondere Herausforderung an Bundeswasserstraßen ist, dass die mit der Strömung aus der Fischaufstiegsanlage konkurrierende Strömung im Auslaufbereich des Kraftwerks bzw. des Wehrs so dominant ist, dass eine für den Fisch wahrnehmbare Leitströmung schwierig zu realisieren ist. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, für die Verhältnisse an Bundeswasserstraßen Bemessungskriterien abzuleiten, die die kleinräumige Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen und die Erzeugung einer für den Fisch wahrnehmbaren Leitströmung verbessern und die es dem planenden Ingenieur erlauben, den Einstieg der FAA und dessen Beaufschlagung zuverlässig zu gestalten und zu dimensionieren.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Schwerpunkte der bisher durchgeführten Forschungsarbeiten zur Auffindbarkeit von FAA sowie der aktuelle Stand des Wissens, der im Wesentlichen in DWA-M 509 (DWA 2010), im Handbuch Querbauwerke (Dumont et al. 2005) und in einigen internationalen Publikationen dokumentiert ist, sind bislang nur unzureichend auf die Randbedingungen an größeren Fließgewässern bezogen.

Wesentlich für eine Weiterentwicklung der Bemessungsstandards ist eine verbesserte Kenntnis über das artspezifische Wanderverhalten von Fischen. Da die Untersuchung dieser Fragestellung mit lebenden Fischen mit großem Aufwand verbunden ist, wird in einem ersten Schritt die hydraulische Optimierung der Strömungssituation im Unterwasser von Wehr- und Wasserkraftanlagen angestrebt.

Ein wichtiger Aspekt ist hierbei die Untersuchung der Einflüsse von unterschiedlichen Turbinencharakteristika und Betriebsmodi auf die Strömungsverhältnisse und somit auf die Konkurrenzsituation zur Fischpass-Leitströmung.

Weiterer Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf die Möglichkeit durch ein geräumigeres Turbinen- und Wehrsteuerungsmanagement die hydraulischen Randbedingungen im Nahfeld der Fischaufstiegsanlage und somit die Auffindbarkeit zu verbessern.

1.2 Bedeutung für die 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 WSV. Im Hinblick auf die Dringlichkeit der Maßnahmen und der großen Zahl von ca. 250 durchgängig zu gestaltenden Stauanlagen, besteht ein großes Bedürfnis nach neuen Erkenntnissen und daraus abgeleiteten Bemessungskriterien für FAA an Bundeswasserstraßen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel der Untersuchung ist es, Kriterien abzuleiten, die es dem planenden Ingenieur erlauben, den Einstieg der Fischaufstiegsanlage und dessen Beaufschlagung für die Verhältnisse an den Bundeswasserstraßen zuverlässig zu gestalten und zu dimensionieren, sodass eine für den Fisch wahrnehmbare Leitströmung erzeugt wird (AP 1). Des Weiteren sollen die Auswirkungen von Wasserkraftanlagen auf die Strömungsverhältnisse im Unterwasser von Stauanlagen identifiziert werden, um zum einen die Auffindbarkeit der Fischaufstiegsanlagen zu verbessern und zum anderen die bestehenden numerischen Modellierungen

weiterzuentwickeln (AP 2). Darüber hinaus sollen die Aus- und Wechselwirkung von Kraftwerks-, Wehr- und Schleusensteuerungen auf die hydraulischen Randbedingungen an Stauanlagen untersucht und Steuerungskonzepte zur Optimierung der Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen entwickelt werden (AP 3).

2 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungsmethoden orientieren sich an den jeweiligen Fragestellungen innerhalb der einzelnen Arbeitspakete. Mittels physikalischen Modelluntersuchungen werden der Einfluss von baulichen Veränderungen auf die hydraulischen Randbedingungen im Nahfeld von FAA (AP 1), die Beschreibung des Strömungsfeldes im Unterwasser einer Stauanlage für verschiedene Kraftwerksausgestaltungen (AP 2), sowie die Aus- und Wechselwirkungen von Kraftwerks-, Wehr und Schleusensteuerungen auf die hydraulischen Randbedingungen an Stauanlagen analysiert (AP 3). Numerische Modelluntersuchungen werden zur Betrachtung des Unterwasserbereichs der Stauanlagen bzw. des Kraftwerkes durchgeführt (AP 1, 2 und 3). Ebenfalls im Rahmen aller Arbeitspakete werden Naturmessungen mit ADV bzw. ADCP an den Pilotstandorten durchgeführt. Ergänzend kommen zur Betrachtung unterschiedlicher Einstiegsgestaltungen von FAA ethohydraulische Untersuchungen zum Einsatz.

3 Ergebnisse

Im Rahmen des AP 1 konnten basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen zur Einstiegsgestaltung der FAA Lauffen / Neckar generelle Empfehlungen zur erforderlichen Leitströmungs- bzw. Dotationswassermenge von FAA an Bundeswasserstraßen abgeleitet werden (Weichert et al. 2013).

Im Zuge der Untersuchungen zur Auffindbarkeit der FAA Kochendorf / Neckar konnte anhand von numerischen 3D Modellierungen der hydraulisch erforderliche Leitabfluss der FAA ermittelt werden. (vgl. Bild 1):

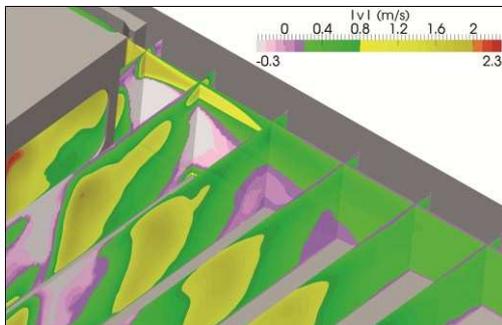


Bild 1: Ausbildung der Leitströmung im UW der Stauanlage Kochendorf am Neckar bei Q330

Die ermittelte Leitströmungsmenge konnte hierbei die oben genannten generellen Empfehlungen zur Leitströmungs- bzw. Dotationswassermenge für FAA an Bundeswasserstraßen bestätigen.

Im Rahmen von Untersuchungen zur Einstiegsgestaltung im Kontext der Auffindbarkeit von FAA wurden zwei unterschiedliche Varianten der Sohlbindung anhand von Studien in einem physikalischen Modells beurteilt. Die Messungen zeigten, dass prinzipiell beide Varianten der Sohlbindung geeignet erscheinen, um die Auffindbarkeit und das Einschwimmen der aufsteigenden Fische in die FAA zu ermöglichen (vgl. Bild 2).

Bestehende Unterschiede, wie die Ausbreitungslänge der Leitströmung und einen möglicherweise auftretenden Sackgasseneffekt, müssen hinsichtlich der Auswirkungen auf das Fischverhalten durch biologische Untersuchungen beurteilt werden.

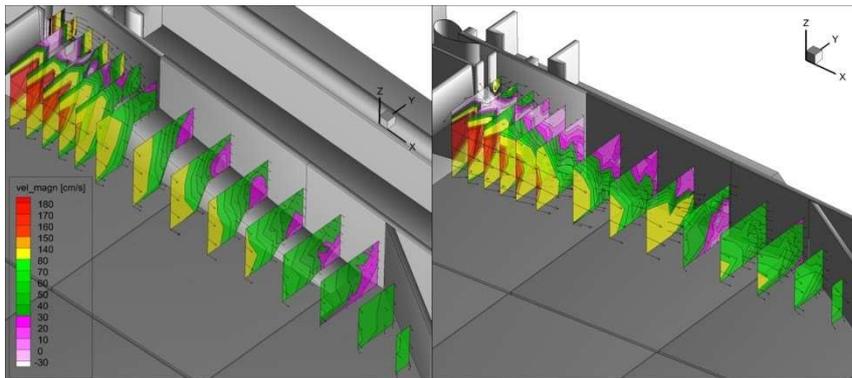


Bild 2: Ausbildung der Leitströmung im UW der Stauanlage im physikalischen Modell für die Einstiegsvarianten bei Q330 (links: mit Sohlrampe, rechts: mit Einstiegsöffnungen)

Der Turbinenversuchsstand an der TU München (AP 2) wurde neu eingerichtet und erste Testläufe konnten durchgeführt werden. Hier werden anhand der ermittelten charakteristischen Attribute typische Parameterkonstellationen und deren Auswirkungen auf die Strömungsverhältnisse im Unterwasser untersucht.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014:

- Untersuchung verschiedener Arten der Einstiegsgestaltung in FAA im physikalischen Modell (AP 1)
- Ethohydraulische Untersuchungen für verschiedene Einstiegsgestaltungen (AP 1)
- Naturmessungen an Pilotstandorten (AP 1, 2 und 3)
- Aufbau numerische 3D Modelle aller Pilotstandorte (AP 1, 2 und 3)
- Aufbau der Messeinrichtungen und Untersuchungen am Turbinenversuchsstand an der TU München (AP 2)
- Untersuchung von Wechselwirkung von Kraftwerks-, Wehr und Schleusensteuerungen mittels numerischem sowie physikalischem Modell (AP 3)
- Weiterentwicklung numerisches Modell zur Untersuchung von Wechselwirkung von Kraftwerks-, Wehr und Schleusensteuerungen (AP 3)

2015:

- Untersuchung verschiedener Arten der Einstiegsgestaltung in FAA im physikalischen Modell (AP 1)
- Ethohydraulische Untersuchungen für verschiedene Einstiegsgestaltungen (AP 1)
- Naturmessungen an Pilotstandorten (AP 1, 2 und 3)
- Weiterentwicklung numerisches 3D Modell durch Implementierung der Turbinencharakteristika (AP 2)

2016:

- Untersuchung verschiedener Arten der Einstiegsgestaltung in FAA im physikalischen Modell (AP 1)
- Weiterentwicklung numerisches 3D Modell durch Implementierung Turbinencharakteristika (AP 2)
- Entwicklung von Steuerungskonzepten zur Optimierung der Auffindbarkeit von FAA (AP 3)

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2016.

5 Literatur

- Dumont, U., P. Anderer & U. Schwevers (2005): Handbuch Querbauwerke. Düsseldorf (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und ländlichen Raum NRW), 212 S.
- DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2010): Merkblatt DWA-M 509 Fischaufstiegsanlagen und Fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. – Gelbdruck Februar 2010, 285 S

6 Veröffentlichungen

- Amerschläger, S. (2013): Wasserbauliche Modellversuche zur Beurteilung der Sohlenbindung der Fischaufstiegsanlage an der Staustufe Lauffen / Neckar. Bachelorarbeit an der Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung (HTWG)
- Heinzelmann, C.; Gisen, D. (2013): Hydraulische Untersuchungen zur Auffindbarkeit von Fischaufstiegsanlagen an Bundeswasserstraßen. Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU München, Fachtagung „Ökohydraulik –Leben im, am und mit dem Fluss“, 27.-28. Juli 2013, Obernach, S. 37-48.
- Weichert, R.; Kampke, W.; Deutsch, L.; Scholten, M., (2013): Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern. Wasserwirtschaft 103(1/2), 33–38.

Untersuchungen zur Herstellung bzw. Verbesserung der Sedimentdurchgängigkeit an der Staustufe Iffezheim

Netzplan-Nr.: A39530170005

Projektleiterin: Dr.-Ing. A. Wahrheit-Lensing, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme I (W1)
Dipl.-Phys. C. Seegers, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme I (W1)

E-Mail: andrea.wahrheit-lensing@baw.de
christina.seeger@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die erhebliche Verminderung der Strömungsgeschwindigkeiten oberhalb und im Nahbereich von Staustufen führt häufig zu regelmäßig wiederkehrenden Sedimentanlandungen, die unterschiedliche negative Auswirkungen auf den Betrieb und die Sicherheit der Stauhaltung haben können. Aus diesem Grund werden diese Anlandungen regelmäßig durch Baggerungen entfernt.

Im Bereich der Staustufe Iffezheim sind die gebaggerten Sedimente zudem durch HCB belastet, so dass das Baggergut als Schadstoff behandelt und deponiert werden muss, was zu einer enormen Kostensteigerung führt.

Die hydrodynamischen und sedimentologischen Prozesse, die die Anlandung in Stauhaltungen nach Ort und Menge beeinflussen, sind nicht hinreichend bekannt und untersucht. Daher besteht ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf insbesondere bei der Weiterentwicklung und Validierung numerischer Berechnungsverfahren, um Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Transport, der Sedimentation und Erosion von Sedimenten in Stauhaltungen zu modellieren und hinsichtlich ihrer schädlichen Auswirkungen zu minimieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Das WSA Freiburg hat in einem Sachstandsbericht die Problematik der Sedimentation im Wehrkanal Iffezheim und die damit zusammenhängenden Maßnahmetätigkeiten seit der Inbetriebnahme der Staustufe Iffezheim zusammengestellt. Aufgrund der seit 2005 ausgeschöpften Unterbringungsmöglichkeiten im Bereich der Staustufe und der nicht möglichen Verspülbarkeit des Baggergutes, ist das WSA Freiburg gezwungen neue Maßnahmen zur Verminderung der regelmäßig anfallenden Baggermengen und Möglichkeiten zur kostengünstigen Unterbringung des Baggerguts zu suchen. Deshalb sind in o.g. Sachstandsbericht Optimierungsmöglichkeiten, die kurz-, mittel- und langfristige Lösungswege aufzeigen, dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die Problematik im Wehrkanal Iffezheim nicht mit einem allumfassenden einmaligen Eingriff gelöst werden kann. Es sind daher mehrere Ansätze zu prüfen und zu präzisieren, die langfristig zu einer wirtschaftlichen Gesamtlösung der Problematik im Wehrkanal Iffezheim führen könnten.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist es, Handlungsanweisungen für das Sedimentmanagement unter Berücksichtigung verschiedener hydrologischer und baulicher Situationen zu erarbeiten.

Dazu wurde in der BAW bereits in den Jahren 2006 – 2008 ein TELEMAT-3D-Modell vom Nahbereich der Staustufe Iffezheim aufgebaut und zur Durchführung von ersten hydrodynamischen und morphologischen Berechnungen getestet.

Die Weiterentwicklung des 3D-Modells der Staustufe Iffezheim ist notwendig und zielt auf eine möglichst realistische Nachbildung derjenigen Prozesse, die zu den Anlandungen im Wehrkanal von rd. 150.000 m³/a führen. Die Modellrechnungen sollen auf Berechnungsgittern mit unterschiedlichen Auflösungen durchgeführt werden, um die relevanten Prozesse auf unterschiedlichen Skalen zu analysieren.

2 Untersuchungsmethoden

3D-hydrodynamisch-numerisches Modell der Staustufe Iffezheim

a) Mit einem sehr hoch aufgelösten **Modell A** wird eine Large-Eddy Simulation möglich, die ein weites Turbulenzspektrum abdeckt. Mit diesem Modell A soll das Prozess- und Systemverständnis zu den Anlandungen im (Teilgebiet) Wehrkanal verbessert werden. Der Simulationszeitraum wird sich dabei, aufgrund der erforderlichen Rechenkapazitäten und der resultierenden hohen Berechnungsdauer auf einen Bereich von einigen Stunden oder Tagen erstrecken.

b) Mit einem zweiten **Modell B** von geringerer Auflösung wird ebenfalls eine Large-Eddy Simulation durchgeführt, die dann nur noch die größten turbulenten Strukturen abbildet. Das Modell B soll einen Simulationszeitraum von rd. 3 Monaten abdecken, der etwa dem mittleren Zeitraum zwischen zwei Peilungen entspricht und damit eine konkrete Möglichkeit zur Modellkalibrierung und -validierung bietet.

c) Mit einem **Modell C** von noch geringerer Auflösung soll ein Simulationszeitraum von mehreren Jahren betrachtet werden, um die langfristigen hydrologischen Einflüsse zu berücksichtigen. Eine natürliche Begrenzung dieses längeren Simulationszeitraums ist durch die wiederkehrenden Baggerungen gegeben, die in den Jahren 2001, 2005 und 2011 erfolgten.

Die unterschiedlichen Modelle A, B und C sind hinsichtlich ihrer Aussagekraft aufeinander abzustimmen. Verschiedene Methoden der Laufzeitbeschleunigung sollen an den Modellen evaluiert werden.

An die Weiterentwicklung bzw. Adaption des 3D-Modells ergeben sich somit folgende Anforderungen hinsichtlich Modellauflösung und Abbildung der relevanten Strömungs- und Sedimentationsprozesse:

Modellauflösung. Aufgrund der seit 2006 gestiegenen Rechnerleistung kann die Modellauflösung gegenüber dem vorhandenen 3D-Modell deutlich erhöht werden. Dies betrifft insbesondere die Modelle A und B.

Vertikale Impulsbilanzierung. Das Absetzverhalten der sehr feinen Sedimente in der Stauhaltung wird insbesondere durch die vertikale Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst. Aus diesem Grund soll im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen auf die vereinfachende Vernachlässigung der vertikalen Impulsbilanz (hydrostatische Druckannahme) verzichtet werden.

Turbulenzmodellierung. Neben den klassischen statistischen Turbulenzmodellen ($k-\epsilon$ -Modell, $k-\omega$ -Modell) soll zumindest in den Modellen A und B die Large-Eddy Simulation (LES) zur Turbulenzmodellierung eingesetzt werden. Hierzu ist es im Modell A anzustreben, die das Sedimentationsgeschehen maßgeblich beeinflussenden Wirbelgrößen durch das Strömungsmodell abzubilden.

Sedimenttransportmodellierung. Mit den Weiterentwicklungen am hydrodynamischen Modell soll eine möglichst realitätsnahe Nachbildung der Strömungsprozesse im Bereich der Staustufe erzielt werden. Danach sollen nach Bedarf Weiterentwicklungen am Sedimenttransportmodell vorgenommen werden, die z.B. die Mehrkornmodellierung, das Konsolidierungsmodell, das Flockungsmodell sowie allgemein die Quell- und Senkenterme betreffen. Hierzu sind Veränderungen am Programmcode (Fortran 90/95) in enger Zusammenarbeit mit dem BAW-Referat W5 „Numerische Verfahren im Wasserbau“ vorzunehmen.

2D-hydrodynamisch-numerisches Modell der Staustufe Iffezheim

Untersuchungen, die für die gesamte Stauhaltung durchgeführt werden müssen, z.B. zur Bewertung des Hochwasserschutzniveaus anhand der Einhaltung der Freiborde, werden aufgrund der erforderlichen Modellausdehnung mit einem tiefengemittelten 2D-Modell vorgenommen.

Labor- und Naturuntersuchungen

Nach Bedarf sollen Laboruntersuchungen und Naturmessungen zur Ermittlung von Sedimentparametern durchgeführt werden, die für den Betrieb des 3D-Modells benötigt werden.

3 Ergebnisse

In Kooperation mit der RWTH Aachen wurde im November 2012 damit begonnen das bestehende 3D-TELEMAC-Modell aus dem Jahre 2006 zu reaktivieren. Es wurden sowohl neue Geländedaten eingefügt als auch die 5te Turbine hinzugefügt.

Untersuchungen mit Hinblick auf den Einfluss von Schwellbetrieb, Schleusungen und Hochwasserereignissen wurden begonnen.

Die Kalibrierung des Modells C anhand umfangreicher Datensätze aus dem Jahr 2007 liefert erste positive Ergebnisse, ist jedoch nicht abgeschlossen (s. Bild 1).

Der Betrieb eines Modells mit Large-Eddy – Turbulenzmodellierung erfordert (aufgrund der notwendigen Rechenkapazitäten), die Reduzierung auf den wesentlichen, feiner abzubildenden Bereich, die Arbeit daran wurde zunächst zurückgestellt (um anhand der Erfahrungen mit Modell C eine geeignete Wahl der Grenzen des Bereiches und der zu betrachtenden Prozesse treffen zu können), ein Berechnungszeitraum von 3 Monaten für ein Modell Typ B erscheint vorerst unrealistisch. Es wird daher nur ein Modell vom Typ A angestrebt.

Mit dem grob kalibrierten Modell wurden erste Berechnungen durchgeführt, um die ursprünglichen beim Planungsvorhaben der Stauhaltung vorgesehenen Sohlage im Vergleich zur heutigen Sohlage bei unterschiedlichen konstanten Abflüssen zu bewerten. Bei den Karlsruher Flussgebietstagen sowie dem Sommerkolloquium des IWW an der RWTH Aachen wurden das Projekt und die modelltechnische Vorgehensweise sowie erste Ergebnisse zur Verlandungsproblematik vorgestellt.

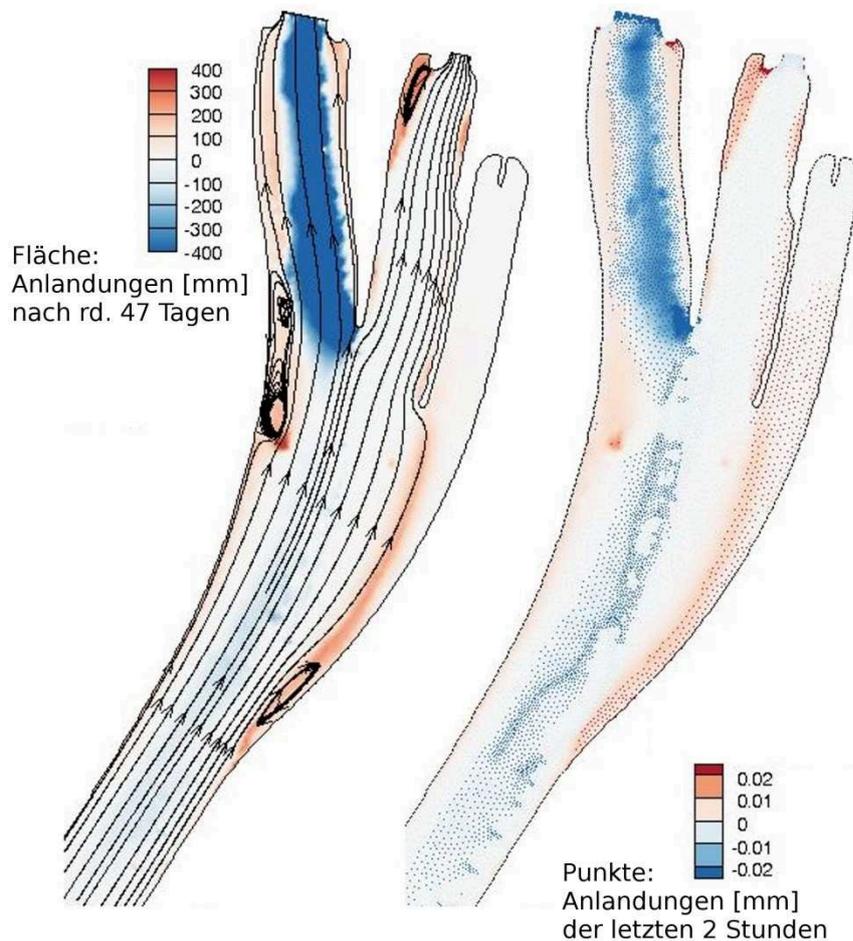


Bild 1: Simulierte Anlandungen in der Stauhaltung Iffezheim mit dem 3D-Modell

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Aufbau und Verbesserung der o.g. unterschiedlichen 3D-hydrodynamisch-numerischen Modelle, wobei die LES Modellierung von kürzeren Zeiträumen zur Unterstützung der gröber aufgelösten Modelle verwendet wird.

Durchführung von Natur- und Laboruntersuchungen,
Anwendung der Modelle auf folgende Fragestellungen

- Bauliche und betriebliche Maßnahmen, Unterhaltungsmaßnahmen
- Anlandungen und morphologisches Gleichgewicht
- Sedimentparameter
- Hochwasserschutzniveau und Freiborde

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

Westfahl, M. (2005): Weiterentwicklung eines Leitwerks zur Reduktion der Anlandungen im Oberwasser der Staustufe Iffezheim. Diplomarbeit.

Butz, B. (2006): Sedimentationsproblematik im Oberwasser der Staustufe Iffezheim - Abschätzung von morphologischen Gleichgewichtszuständen. Diplomarbeit.

BAW (2007): Gutachten zu Wasserspiegellagen und Freibord in der Stauhaltung Iffezheim unter Berücksichtigung verschiedener Sohlzustände im oberen Wehrkanal. Gutachten-Auftrags-Nr. A39530110058, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Brudy-Zippelius, T., Zentgraf, R. (2007): Gutachten zu Wasserspiegellagen und Freibord in der Stauhaltung Iffezheim unter Berücksichtigung verschiedener Sohlzustände im oberen Wehrkanal 01.06.2007 (A39530110058).

BAW (2009): Fachstellungnahme zu den hydraulischen Auswirkungen der geplanten Baggerung im oberen Wehrkanal der Staustufe Iffezheim; Auftrags -Nr. A39530110058, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

WSV (2011): Sachstandsbericht oberer Wehrkanal 2011

6 Veröffentlichungen

Seegers, C.; Brudy-Zippelius, T.; Wahrheit-Lensing, A. (2013): Sedimentation upstream the Iffezheim barrage on the river Rhine. **Karlsruher Flussgebietstage 2013.**

Hydraulische Wirkung von Stromregelungsbauwerken

Netzplan-Nr.: A39530210077

Projektleiter: Dipl.-Ing. B. Hentschel, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme II (W2)

E-Mail: bernd.hentschel@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Von der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung werden an den deutschen Wasserstraßen zur Gewährleistung und Verbesserung der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt Buhnen und Parallelwerke gebaut und unterhalten. Die Kenntnisse über die genauen Strömungsverhältnisse im Nahbereich dieser Flussregelungsbauwerke, insbesondere ihre Auswirkungen auf die Schifffahrt sowie die Morphologie der Flusssohle und der Buhnenfelder, sind für die heutigen hohen Anforderung an die Prognosefähigkeit von Modellen unzureichend. Basis für eine korrekte Berechnung der Auswirkungen von Stromregelungsbauwerken auf die Schifffahrt und den Feststofftransport ist eine genaue Kenntnis der Hydraulik. Insbesondere bei überströmten Bauwerken und bei der Betrachtung der Strömung in Nebenströmungsgebieten gibt es hier zum Teil noch erhebliche Defizite. Ziel ist es, die vorhandenen unterschiedlichen Modellierungsmethoden weiter zu entwickeln, um deren Prognosefähigkeit in dieser Hinsicht zu verbessern.

1.2 Bedeutung für die WSV

Eine detaillierte Kenntnis des Geschiebetransportes und der Bewegungsmuster von Sohlformen und deren Auswirkungen auf die Hydraulik ist für unterschiedliche Fragestellungen der WSV von hoher Bedeutung. Dazu gehören auch die Optimierung von Peil- und Unterhaltungsarbeiten an den frei fließenden Bundeswasserstraßen.

Im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung an Bundeswasserstraßen ist angedacht, gezielt Stromregelungsbauwerke im Rahmen der Unterhaltung zu modifizieren. Größere Veränderungen werden dabei voraussichtlich auch Auswirkungen auf den Geschiebetransport im Nahbereich der Bauwerke und in der Fahrrinne haben. Ziel der Untersuchungen ist es, diese Auswirkungen allgemeingültig sowohl hydraulisch als auch morphologisch quantifizieren zu können und Prognosen zugänglich zu machen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist es, systematisch die Auswirkungen von Stromregelungs- und Unterhaltungsvarianten auf den Geschiebetransport und die Sohlformen in alluvialen, frei fließenden Gewässern zu analysieren, um sie mittels numerischer und physikalischer Modellierungen prognostizierbar zu machen. Daneben sollen durch vergleichende Analysen von Naturuntersuchungen die Maßstabsgesetze für die Modellierung von Sedimentbewegungen in physikalischen Modellen weiterentwickelt werden. Derzeit gibt es keine publizierten Ansätze um Sohlformen bei unterschiedlichen Kornverteilungen in physikalischen Modellen über das ganze Abflussspektrum naturähnlich abbilden zu können.

2 Untersuchungsmethoden

Im Jahr 2013 wurden Untersuchungen zur Auswirkung von im Rahmen der Unterhaltung modifizierten Strombauwerken auf den Geschiebetransport in der Strommitte in einer Laborrinne (30 m x 5 m) durchgeführt. In Zusammenarbeit mit den Hochschulen in Karlsruhe und Braunschweig wurden dazu die Auswirkungen von Buhnenkerben und einer Deckwerksstrecke auf die Strömung und den Geschiebetransport im Flussbett analysiert. In Zusammenarbeit mit der Hochschule Magdeburg / Stendal wird versucht, das Spektrum möglicher Modellierungsphänomene in hydraulischen Modellen durch eine Variation des Einsatzgebietes von Ersatz-Geschiebegranulaten zu erhöhen, um zum Beispiel die Morphologie im Flussschlauch und im Buhnenfeld in einem einzigen Modell bei unterschiedlichen Abflüssen zu untersuchen.

Die Auswertungen und Analysen der Naturuntersuchungen an der Elbe an alternativen Buhnenformen (Knickbuhnen und Buhnenkerben sowie Referenzbuhnenfelder bei Schönberg) wurden im Jahr 2013 fortgesetzt. Das begleitende Langzeitmonitoring wird ergänzt durch Messungen zur Veränderlichkeit von

Buhnenfeldgeometrien in anderen Abschnitten der Elbe, um die Ergebnisse verallgemeinern können. Die Ergebnisse dieses Projektes werden in einer interdisziplinären Publikation zusammengefasst.

An einer flussbaulichen Laborrinne (30 x 5 m) können systematische Untersuchungen zum Geschiebetransport durchgeführt werden. Die Rinne verfügt dafür über ein hochentwickeltes und weitgehend automatisiertes Messequipment für Wasserspiegel- und Sohlvermessungen. Der Geschiebeein- und -austrag kann zeitabhängig automatisch quantifiziert werden. Im Jahr 2013 wurde ein kleine Kipp-Rinne (12,5 m x 0,4 m) beschafft, in der mit reduziertem Aufwand Prinzipuntersuchungen zum Geschiebetransport durchgeführt werden können. Diese Rinne kann sowohl über den BAW-Wasserkreislauf als auch über einen separaten Wasserkreislauf betrieben werden, so dass auch Untersuchungen mit suspendierten Feststoffen möglich sind.

3 Ergebnisse

Im Jahr 2013 wurden in der flussbaulichen Systemrinne Untersuchungen zur Wirkung von unterschiedlichen Buhnen-Geometrien (Buhnenkerben, Variation des Buhnenabstandes etc.) auf die Hydraulik und den Geschiebetransport fortgeführt. Die Untersuchungen wurden zum Teil im Rahmen von Promotionen, Diplom-, Bachelor- und Masterarbeiten in Zusammenarbeit mit den Hochschulen in Karlsruhe, Braunschweig, Magdeburg und Kassel durchgeführt (Henning 2013, Hübner 2013, Schneider 2013, Thielmann 2013).

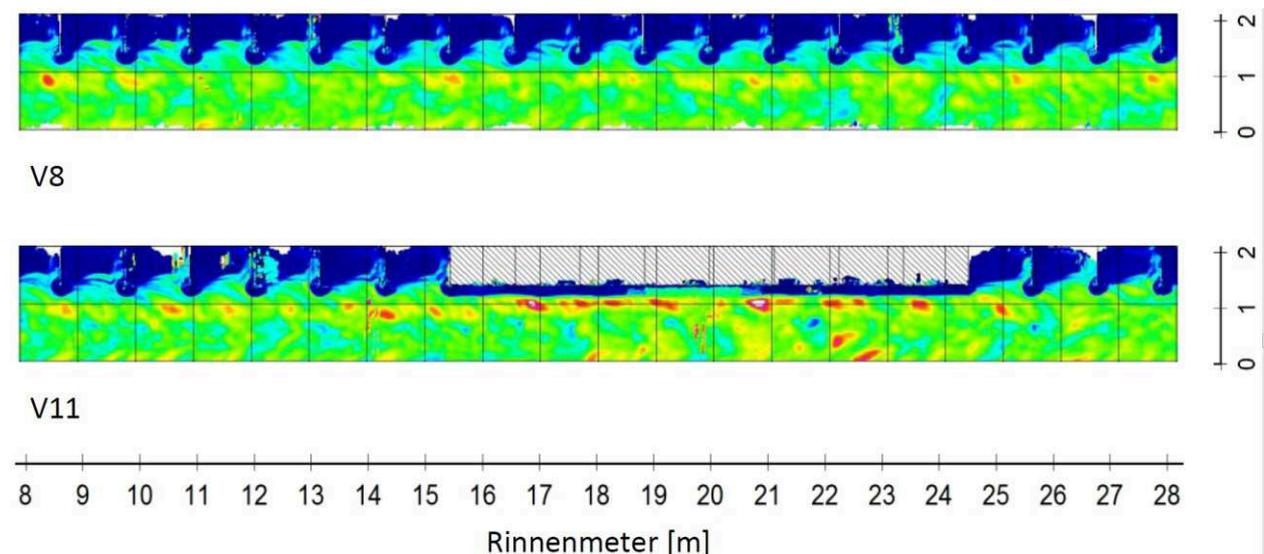


Bild 1: *Untersuchung an der flussbaulichen Systemrinne mit beweglicher Sohle, Sohlstruktur nach einem Versuch (oben ohne Einbauten, unten mit einer teilbefestigten Sohle)*

Bild 1 zeigt exemplarisch eine Modellsohle bei Untersuchungen mit einer teilbefestigten Sohle in der flussbaulichen Systemrinne. Diese Untersuchungen dienen der Analyse von Dünenformen und Düneneschwindigkeiten in anthropogen veränderten alluvialen Flüssen (zum Beispiel bei einem Kolkverbau).

Weitere Analysen an den hier gewonnenen Datensätzen werden in Zusammenarbeit mit dem Leichtweiss-Institut der Universität Braunschweig (LWI 2012) und der Hochschule Magdeburg-Stendal durchgeführt. Beispielsweise werden an der Hochschule in Magdeburg in einer Kooperation mit der BAW an einer Laborrinne die Auswirkungen unterschiedlicher sedimentologischer Kennwerte bei unterschiedlichem Modellgeschiebe auf die Dünenbildung und Dünenbewegung untersucht (Ettmer 2012).

Ein weiterer Schwerpunkt lag im Jahr 2013 in der Bereitstellung hochwertiger Modelldaten für die Weiterentwicklung und Verifikation von numerischen Modellverfahren. Diese Datenakquise wird auch in den nächsten Jahren ein zentrales Aufgabengebiet sein.

Die in Zusammenarbeit mit der BfG und Dritten durchgeführten Untersuchungen an Versuchsbuhnen an der Elbe bei Schönberg wurden fortgesetzt. Die Ergebnisse wurden interdisziplinär zusammengefasst und werden in einer gemeinsamen Schrift veröffentlicht.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- Fortführung der Untersuchungen an der flussbaulichen Systemrinne (Veränderung des Geschiebetransportes infolge Umgestaltung von Stromregelungsbauwerken im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung). Dazu werden weitere Buhnen ohne und mit „Kerben“ sowie Kopfschwellen und Deckwerke unterschiedlicher Dimensionen in der Rinne untersucht. Wesentliche Schwerpunkte liegen dabei in der Auswirkung dieser geometrischen Modifikationen auf den Geschiebetransport in der Gewässermitte und auf die Austauschvorgänge zwischen den Bühnenfeldern und der Hauptströmung. In einer Kooperation mit der TU Dresden werden diese Untersuchungen an einer beweglichen Sohle und an einer fixierten Dünensohle durchgeführt.
- Die Kooperation mit der Hochschule Magdeburg-Stendal zu künstlichen Sohlmaterialien für experimentelle Untersuchungen werden fortgesetzt (Ettmer 2012).
- Fertigstellung der interdisziplinären Publikation mit der BfG und Dritten zu alternativen Strombauwerken.
- Eine neue Kipprinne (40 cm) wird messtechnisch ausgerüstet und für morphologische Grundsatzuntersuchungen in Betrieb genommen.

Laufzeit des Vorhabens von 1999 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

- Ettmer, Bernd (2012): Nachbildung von Sieblinien aus künstlichen Sohlenmaterialien in experimentellen Untersuchungen, Hochschule Magdeburg-Stendal, Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft, Magdeburg 2012, Bericht im Auftrag der BAW
- Haber, Bernadette (2012): Physikalische Modellversuche zu Austauschprozessen zwischen Hauptströmung und der Bühnenfeldströmung von Kerbbuhnen, Diplomarbeit KIT-Karlsruhe, Angefertigt an der BAW, 2012
- Henning, Martin (2013): Mehrdimensionale statistische Analyse räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Oberflächen von Dünenfeldern, TU Braunschweig, Dissertation, angefertigt in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau
- Henning, M.; Hentschel, B. (2013): Sedimentation and flow patterns induced by regular and modified groyne on the River Elbe, Germany; Ecohydrology
- Hentschel, B.; M. Henning; Th. Hüsener (2012): Modifikation an Bühnenfeldern; Wasserbau Symposium 2012 „Wasser – Energie, Global denken – lokal handeln“, Graz, Österreich, 12.- 15. September 2012, Abdruck im Tagungsband
- Hübner, Oliver (2013): Messung und Analyse punktueller Geschwindigkeiten in einem La-borgerinne mit fester Kiessohle, KIT Karlsruhe, angefertigt bei der Bundesanstalt für Wasserbau
- Hüsener, Thorsten, Faulhaber, Petra, Baron, Manuela (2012): Modifikationen in bestehenden Stromregelungssystemen an Wasserstraßen Untersuchung mit gegenständlichen und numerischen Verfahren, Wasserbau Symposium 2012 „Wasser – Energie, Global denken – lokal handeln“, Graz, Österreich, 12.- 15. September 2012, Abdruck im Tagungsband
- LWI (2012): Durchführung der dauerhaften Befestigung der Sanddünensohle in einer Versuchsrinne, Leichtweißinstitut der Universität Braunschweig (LWI), Bericht 2025, 2012, im Auftrag der BAW. Fortsetzung der Naturuntersuchungen und -analysen (Buchveröffentlichung)
- Schneider, Michael (2013): Vergleich der Sohlentwicklung bei unterschiedlichen Regelungs-bauwerken; KIT Karlsruhe, Bachelorarbeit, angefertigt bei der Bundesanstalt für Wasserbau
- Thielmann, Steffen (2013): Messung und Auswertung punktueller Geschwindigkeiten über fixierten Sanddünen, Gesamthochschule Kassel, Bachelorarbeit, angefertigt bei der Bundesanstalt für Wasserbau

Adaptierung und Erweiterung von Casulli-Algorithmen für Parallelrechner mit Hardware-Beschleunigung und zur Anwendung von konservativen Advektionsverfahren

Netzplan-Nr.: A39530270001

Projektleiter: Dr.-Ing. J. A. Jankowski, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Numerische Verfahren im Wasserbau (W5)

E-Mail: jacek.jankowski@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Der sich in den letzten Jahren abzeichnende Übergang von der homogenen *multicore*- zur heterogenen *manycore*-Rechnerarchitektur wird durch die vereinfachte Nutzung von GPUs zur Hardware-beschleunigten Ausführung von Codes begleitet. Die dynamischen Entwicklungen im Bereich *General Purpose Computing on Graphics Processing Units* (GPGPU) werden seit 2007 durch die Bereitstellung von Entwicklungswerkzeugen ermöglicht, die eine direkte Verwendung einer GPU für arithmetisch intensive, hoch parallelisierte Operationen erlauben. Während die Nutzung der heterogenen Parallelität für die allgemeine Benutzersoftware die Bewältigung eines schwierigen Paradigmenwechsels sein kann, sind viele Codes aus dem Bereich der physikalischen Simulation bereits vor Jahrzehnten so strukturiert worden, dass die vorhandene feinkörnige Parallelität mit Vektorprozessoren stark beschleunigend wirkte und eine grobkörnige Parallelisierung (über mehrere Rechneinheiten) einfach zu realisieren war. Eines der Verfahren, das vor über einem Jahrzehnt an die Architektur eines parallelen Vektorrechners bestens angepasst und weiterentwickelt wurde, ist das FD/FV-Verfahren mit versetzten, strukturierten Netzen TRIM (Casulli, Cheng, 1992). Obwohl dieser Code durch die Neuentwicklungen für unstrukturierte Netze (UnTRIM (Casulli, Zanolli, 2002)) bereits vor einer Dekade ersetzt wurde, sind die Eigenschaften von Casulli-Algorithmen für Vierecksnetze besonders günstig für eine GPU-Implementierung.

Neben dem Potential für die erfolgreiche Nutzung der heterogenen manycore-Rechnerarchitektur spricht für ein Verfahren mit strukturierten Netzen auch die breite Verfügbarkeit von hochaufgelösten topographischen Daten in Rasterform und die Weiterentwicklung von vielen neuen numerischen Schemata für diese Art von Netzen. Von besonderem Interesse sind insbesondere die neuen konservativen Advektionsverfahren. Die bisher verwendeten Advektionsverfahren zu langfristigen Simulationen gewährleisteten lediglich Massen- und Energieerhaltung. Dadurch wird zwar eine korrekte Reproduktion des Übergangs zwischen strömender und schießender Strömung erreicht, aber nicht umgekehrt. Es existieren pragmatische Ansätze zur Lösung dieses Problems in versetzten Netzen, die sich abhängig von der Veränderung der Froude-Zahl entlang einer Stromlinie auf die Energie- oder Impulserhaltung umstellen (z.B. Kramer, Stelling, 2009). Erfahrungen sowohl zu der GPU-Implementierung als auch zu konservativen Advektionsverfahren, die in diesem Projekt gesammelt werden, sollen auch auf andere Verfahren, wie z. B. UnTRIM, übertragbar sein.

1.2 Bedeutung für die WSV

- Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Hochleistungsrechnens durch Verwendung von energieeffizienter Hardware (im Sinne der Anzahl der Rechenoperationen pro Watt verbrauchter Energie) durch die gezielte Anpassung der Software.
- Erhöhung der Prognosefähigkeit durch Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten der validierten BAW-Verfahren zur korrekten Erfassung der Übergänge im Strömungscharakter.
- Erzielen einer besseren Beurteilung der Hochwasserneutralität von Baumaßnahmen bei allen Wasserständen.

1.3 Untersuchungsziel

- Erarbeitung und Anwendung neuer Programmierparadigmen im Hochleistungsrechnen durch die Adaptierung von Casulli-Algorithmen für die neue Rechnerarchitekturen der Parallelrechner mit Hardware-Beschleunigung (Cluster bestehend aus Knoten mit Multi-Kern-CPU's und GPU's).

- Exemplarisch soll dies für das TRIM-Verfahren (Casulli, Cheng, 1992) erfolgen, bei dem die Erfolgsaussichten für eine erfolgreiche Implementierung als sehr hoch angesehen werden. Erfahrungen sollen auch auf andere Verfahren, z. B. UnTRIM (Casulli, Zanolli, 2002) direkt übertragbar sein.
- Entwicklung neuer Advektionsverfahren zur Erfassung der lokal und räumlich begrenzt auftretenden Übergänge in der Abflussart (über-/unterkritisch), die bisher teilweise außerhalb des Anwendbarkeitsbereiches der o. g. Verfahren liegen (Stelling, Duijnmeijer, 2003, Kramer, Stelling, 2009).

2 Untersuchungsmethoden

- Abhängig von den Resultaten der Ersatzbeschaffung des Compute-Servers der Abteilung W, entweder Arbeit auf dem neuen Großrechner oder auf einem getrennten Rechenknoten Multikern-CPU+GPU, der als ein leistungsfähiger PC realisierbar ist.
- Programmierarbeiten mit Nutzung von Entwicklerwerkzeugen für gegebene Hardware.
- Numerische Methoden für Advektionsverfahren.
- Kontakte mit führenden Instituten; Konferenzen; Veröffentlichungen.

3 Ergebnisse

In der ersten Phase des Projekts zeigte sich bereits, dass das Erreichen von höheren Beschleunigungsraten für die gegebenen Programme auf heutiger Hardware und mit aktuellen Entwicklungswerkzeugen nur durch erhöhte Programmieraufwände zu erreichen ist. In der zweiten Phase des Projekts wurde daher ein für TRIM bzw. UnTRIM grundlegender Algorithmus für die GPU-Ausführung portiert. Dazu wurde eine von Grund auf neue Portierung für GPU eines vertikal gemittelten (2DV) Finite-Differenzen-Verfahrens (TRIM-2D-Grundlage) mit der Einführung der nicht-linearen Betrachtung vom Trockenfallen/Überfluten programmiert. Dies erfolgte unter Verwendung der Programmiersprache CUDA C/C++ und den insb. für Speicherverwaltung, Datentransfer, Vektoroperationen und iterative Gleichungslöser für lineare Gleichungssysteme spezialisierten THRUST- und CUSP-Bibliotheken. Hiermit wurde eine komplette Adaptierung der gesamten Zeitschleife des gegebenen Verfahrens für eine GPU erreicht, die gleichzeitig Vergleiche der rechnerischen Performance auf einer GPU mit der seriellen Ausführung auf einem CPU-Kern ermöglicht. Das Verfahren erlaubt bei der verwendeten PC-Ausstattung Modellgrößen von 4,5 bzw. 9,5 Millionen Zellen bei doppelter bzw. einfacher Genauigkeit von Gleitkommazahlen. Bei vier unterschiedlichen Testfällen (ohne Ausgabe der Ergebnisse) wurden Beschleunigungen in der Größenordnung von 30 bzw. 20 für einfache bzw. doppelte Genauigkeit erreicht. Das 2DV Verfahren wurde an verschiedenen synthetischen Beispielen und einem existierenden BAW-Modell getestet. Darüber hinaus wurde ein Lagrange-Advektionsschema und konservatives Upwind-Advektionsverfahren nach (Stelling, Duijnmeijer, 2003) für GPUs implementiert.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Arbeiten im FuE-Projekt wurden Anfang 2013 mit einem Abschlussbericht (BAW, 2013) beendet, in dem Empfehlungen für mögliche weitere Vorhaben bezüglich der Verwendung von Hardware-Beschleuniger gegeben werden. Der Abschlussbericht wird 2014 erstellt. Laufzeit des Vorhabens 2010 bis 2014.

5 Literatur

- Casulli V, Cheng R. (1992): Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. *International Journal for Numerical Methods in Fluids* 15, 629–648.
- Casulli V, Zanolli P. (2002): Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. *Mathematical and Computer Modelling*, 36, 1131–1149.
- Stelling GS, Duijnmeijer SPA (2003): A staggered conservative scheme for every Froude number in rapidly varied shallow water flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 43, 1329-1354.
- Kramer SC, Stelling GS. (2009): A conservative unstructured scheme for rapidly varied flows. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 58, 183-212.
- Jankowski, J.A. (2012): A hardware-accelerated parallel implementation of a two-dimensional scheme for free surface flows. *Proceedings of 10th Int. Conf. on Hydroinformatics*, Hamburg, Germany.

6 Veröffentlichungen

-/-

Effizienz- und Genauigkeitssteigerung der Modellierung der Hydrodynamik der Flüsse mit einem kombinierten Multigrid- und Subgrid-Ansatz

Netzplan-Nr.: A39530270002

Projektleiter/in: Dr. R. Patzwahl, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Flusssysteme II (W2), Prof. G. S. Stelling, TU Delft

E-Mail: regina.patzwahl@baw.de, g.s.stelling@tudelft.nl

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei der numerischen Modellierung von Flüssen ergibt sich oft ein Zielkonflikt zwischen der Genauigkeit und Korrektheit der Berechnung von Strömungszuständen und der zur Verfügung stehenden Rechenkapazitäten. Eine Effizienzsteigerung der Verfahren kann nicht nur durch Anwendung leistungsfähiger Hardware und entsprechender Programmieretechniken erreicht werden, sondern auch durch methodische Entwicklungen. Die sich in der Entwicklung befindende Subgrid-Methode erlaubt eine Erhöhung der Genauigkeit der Repräsentation der Bodentopographie des zu modellierenden Gebiets, ohne die Rechenaufwände zu erhöhen, und gleichzeitig eine wesentliche Verbesserung der Reproduktion von Überflutungs- und Trockenfallen-Prozessen [Casulli V, Zanolli P. 2002; Casulli V. 2009; Casulli V. , Stelling G.S. 2010]. Die bereits etablierte Multigrid-Methode, die eine Hierarchie der Haupt- und Subnetze nutzt, bringt eine Verbesserung der Effizienz des Lösungsverfahrens mit sich, insbesondere für (quasi-)stationäre Strömungszustände.

1.2 Bedeutung für die WSV

- Wesentliche Effizienzsteigerung der Berechnung von quasi-stationären und auch stationären Strömungen in Flüssen bei gleichzeitiger Erhöhung der Genauigkeit (auch in Hinblick auf morphodynamische Berechnungen).
- Effiziente Nutzung der in immer höherer Genauigkeit vorliegenden Geländemodelle, mit dem Ziel, ein Gleichgewicht zwischen rechnerischem Aufwand und der Korrektheit der Modellierung zu finden.
- Vertiefung der fachlichen Beziehungen zwischen Deutschland und den Niederlanden und ihren wasserbaulichen Einrichtungen Rijkswaterstaat und Deltares sowie der TU Delft.

1.3 Untersuchungsziel

- Analyse des Ist-Zustandes der numerischen Modellierung von Flüssen im Hinblick auf mögliche Verbesserungen der Modellierungsmethoden und deren Effizienzsteigerung.
- Entwicklung der Methoden für eine zur Topographie konsistent hoch aufgelöste Abbildung des Geschwindigkeitsfeldes auf Subgrid-Niveau.
- Untersuchung der Effizienz eines kombinierten Multigrid-/ Subgrid-Ansatzes zur Beschleunigung der Berechnung von stationären Strömungszuständen in Flüssen.
- Untersuchung der Genauigkeit der Subgrid-Methode bezüglich der Wiedergabe von Sohlschubspannungsverteilungen auf Subgrid-Niveau im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Entwicklung in der Modellierung morphologischer Prozesse.

2 Untersuchungsmethoden

- Numerische Methoden für Strömungen mit freier Oberfläche und Morphodynamik der Flüsse, mit Betonung auf Multi- und Subgrid-Methoden.

3 Ergebnisse

Ziel unserer Arbeit ist es, einen Flussabschnitt mit ausreichender Auflösung und Dimensionalität unter optimaler Nutzung von Rechnerkapazität zu modellieren. Dabei soll die turbulente Strömung um und über Buhnen sowie vielerlei Topographien ausreichend genau abgebildet werden. Auf der Suche nach genauen und effizienten Methoden wurden Untersuchungen und Entwicklungen der vergangenen Jahre

konsolidiert und zusammengeführt. Die Arbeiten können in drei, einander gegenseitig beeinflussende Themenbereiche gegliedert werden:

Zunächst wurde die genaue Widergabe von turbulenter Strömung in geneigten Rinnen untersucht: dieses einfache Beispiel ist für manche numerische Verfahren, vor allem bei grober vertikaler Auflösung, eine Herausforderung. Zum Beispiel erfordert die vertikale Diskretisierung mittels horizontaler Schichten in Verbindung mit einem $k-\varepsilon$ -Turbulenzmodell entweder eine sehr feine vertikale Diskretisierung oder einen speziellen Ansatz zur genauen Berechnung von Sohlschubspannung und bodennaher Turbulenz. Der Ansatz zur verbesserten Berechnung der Bodenschubspannung in einem z -Schichten-Modell wurde mit einem $k-\varepsilon$ -Modell (Rodi, 1980) kombiniert. Dabei wurde die Diskretisierung der vertikalen Diffusionsterme des $k-\varepsilon$ -Modells modifiziert und an einer Rinne verifiziert (Bild 1, Platzek et al., 2014).

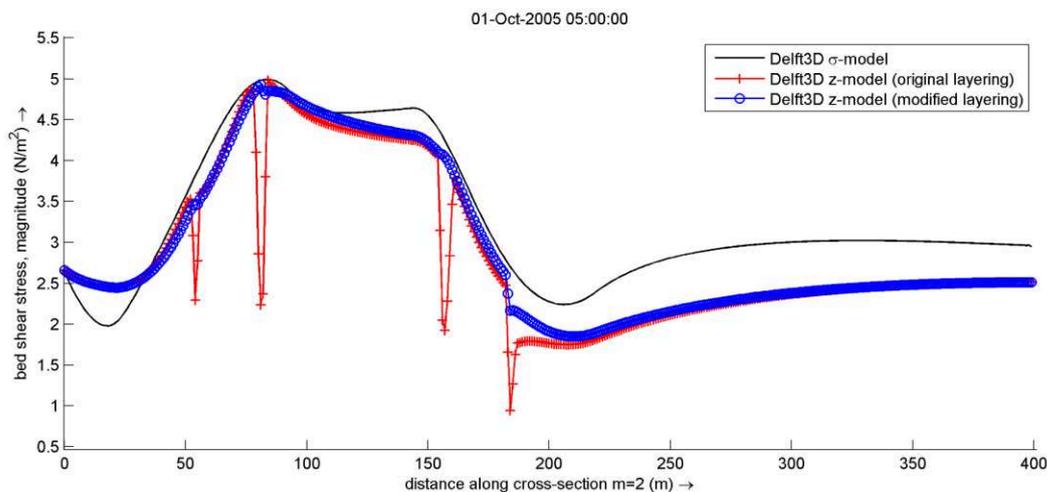


Bild 1: Berechnete Sohlschubspannung für eine Strömung über eine Bodenschwelle (Delft-3D) unter Verwendung einer σ -Schichtung (schwarze Linie), mit z -Schichten (rote Linie mit „+“-Markern) in der ursprünglichen Version sowie in mit modifiziertem Ansatz (blaue Linie mit „o“-Markern).

Zudem wurde die Möglichkeit zur Steigerung der Effizienz bei der Berechnung weiter untersucht. Dazu wurde das zwei-dimensionale, tiefengemittelte numerische Verfahren unter Verwendung der Subgrid-Methode (Bild 2a) in Kombination mit hierarchischen Netzen (Bild 2b) und einer Multigrid-Methode zur Anwendung an einem Flussabschnitt weiterentwickelt. Für die Untersuchungen wurde der Abschnitt der Elbe zwischen Lauenburg und Geesthacht *ausgewählt*. In der BAW wird bereits ein numerisches Modell mit 2×2 m horizontaler Auflösung und einer Gesamtlänge von 18 km betrieben. Eine Abfolge von sechs hierarchischen Netzen (mit 2×2 m-Subgrid-Topografie) ist für die Untersuchung geplant. Erste Untersuchungen zeigen eine wesentliche Beschleunigung.

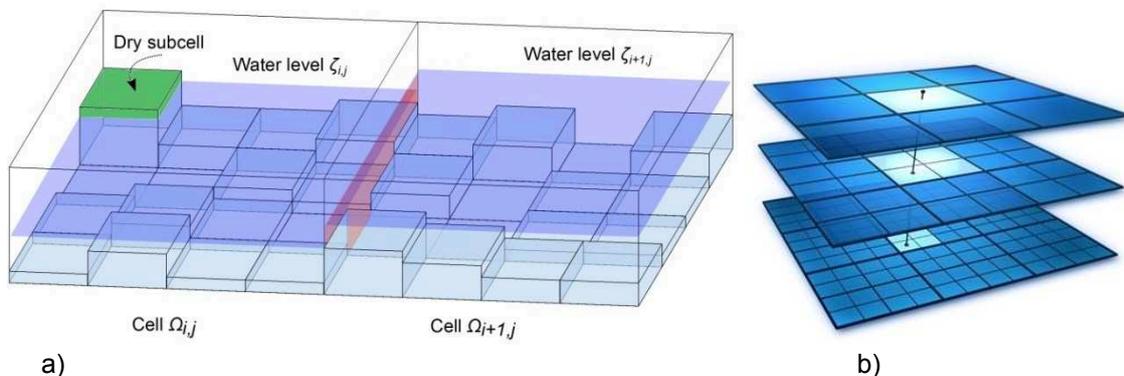


Bild 2: a) Verwendung der Subgrid-Methode innerhalb zweier Berechnungszellen auf einem strukturierten Vierecksgitter.; b) Eine Sequenz von drei hierarchischen (rechteckigen) Netzen. Die Berechnungen werden auf dem größten Gitter gestartet und die Ergebnisse auf das nächstfeinere interpoliert

Darüber hinaus wurde der Einfluss von Rechengittern, Advektionsverfahren und horizontalen Turbulenzmodellen auf die Berechnung einer Rezirkulationszone (Elbe-Seiten-Kanal) anhand von Verfahren, die in der Flussmodellierung im Einsatz sind (UnTRIM, Telemac) bzw. sein werden (D-FLOW FM) untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass die Ausdehnung sowie die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Wirbelsystems in der Rezirkulationszone von der Art des Rechengitters und dem verwendeten Advektionsverfahren und nur nachgeordnet vom horizontalen Turbulenzmodell abhängen. Das lässt den Schluss zu, dass die spezifische Anisotropie der numerischen Diffusion des jeweiligen Advektionsverfahrens aufgrund von Gitterstruktur und Orientierung das Berechnungsergebnis stark prägen. Dieses Ergebnis wurde durch systematische Untersuchungen in einer Laborrinne bestätigt (Patzwahl, Baron 2013).

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2013/2014

- Verifizierung und Dokumentation der entwickelten Multigrid-Subgrid Ansätze zur verbesserten Effizienz und Genauigkeit stationärer Flussberechnungen anhand der Elbe zwischen Lauenburg und Geesthacht. Vergleich mit Naturmessungen. Vorbereitung einer wissenschaftlichen Veröffentlichung zu diesem Thema.
- Untersuchungen geeigneter Modellieransätze für überströmte Buhnen. Verifizierung anhand von Messdaten und hydro-numerischen Rechnungen der grünen Rinne (Arbeit Frau M. Baron) unter Berücksichtigung von verschiedener Dimensionalität, Auflösung, (nicht-)hydrostatischer Ansatz, Advektionsschemata und Turbulenzmodellen.
- Weitere Verbesserungen des numerischen Codes zur Integration in BAW- und Deltares-eigene Systeme.
- Teilnahme an geeigneten Konferenzen/Workshops (auch UnTRIM).
- Dissertation, Veröffentlichung(en), Präsentationen.

Die Arbeiten sollen zur Hälfte durch Herrn Ing. Platzek (TU Delft / Deltares) im Rahmen seiner Doktorarbeit am Standort BAW Karlsruhe durchgeführt werden. Die zeitliche Gestaltung des Aufenthaltes richtet sich nach fachlichen Erfordernissen.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

- Casulli V, Zanolli P. (2002): Semi-implicit numerical modelling of non-hydrostatic free-surface flows for environmental problems. *Mathematical and Computer Modelling*, 36, S. 1131–1149.
- Casulli V. (2009): A high-resolution wetting and drying algorithm for free surface hydrodynamics. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 60, S. 391–408.
- Casulli V., Stelling G.S. (2010) Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows. Erschienen online, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, doi: 10.1002/fld.2361.

6 Veröffentlichungen

- Patzwahl, R., Baron, M. (2013): Influence of Numerical Schemes in Representing Flow Over and Around Groynes. *Proceedings XXth Telemac Users Conference*, Karlsruhe.
- Platzek, F.W., Stelling, G.S., Jankowski, J.A., Patzwahl, R. (2012): On the representation of bottom shear stress in z-layer models. *Proceedings of HIC 2012 - 10th International Conference on Hydroinformatics*, Hamburg, Germany, July 14-18, 2012.
- Platzek, F.W., Stelling, G.S., Jankowski, J.A., Pietrzak, J.D. (2014): Accurate vertical profiles of turbulent flow in z-layer models. *Water Resour. Res.*, 50, doi:10.1002/2013WR014411.

Bemessung und Konstruktion von Schlauchwehren

Netzplan-Nr.: A39530370001

Projektleiter: Dr.-Ing. M. Gebhardt, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Wasserbauwerke (W3)

E-Mail: michael.gebhardt@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Schlauchwehrtechnologie ist für die WSV verhältnismäßig neu und wird seit 2001 durch interdisziplinäre FuE-Vorhaben in der BAW begleitet. Mit dem Erscheinen des Mitteilungsblattes Nr. 91, Dezember 2007, wurde das gleichlautende FuE-Vorhaben „Untersuchungen zum Einsatz von Schlauchwehren an Bundeswasserstraßen“ abgeschlossen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Wurden in der Vergangenheit ausschließlich Wehrverschlüsse aus Stahl eingesetzt, hat sich in den vergangenen Jahren das Schlauchwehr als neuer Verschlusstyp in der WSV etabliert. Mittlerweile sind fünf Schlauchwehranlagen an Aller, Unterer-Havel-Wasserstraße und Müritz-Havel-Wasserstraße in Betrieb.

Die bisherigen Erfahrungen sind sehr positiv. Zurzeit werden an Neckar und Main Schlauchwehre mit Verschlusshöhen zwischen 4,50 m und 5,00 m geplant. Ferner zeichnet sich in der Expertengruppe „Wehre und Sperrtore“ der Standardisierungskommission ab, dass dieser Verschlusstyp als ein Standard für künftige Planungen festgelegt werden wird.

1.3 Untersuchungsziel

Untersuchungsziele sind das Füll- und Entleersystem (F1), die Automatische Abfluss- und Stauzielregelung von Schlauchwehren (ASR) (F2), Optimierung von Maßnahmen gegen Schwingungen (F3), Finite-Elemente-(FE) Berechnungen (F4), Relaxation und Retardation der Schlauchmembran in der Klemmkonstruktion (F5), Werkstoffuntersuchungen (F6), Materialwahl für die Verankerungsschienen (F7) und die Erstellung von Bemessungsbeispielen (F8). Aus aktuellem Anlass wurde der Fischabstieg über Schlauchwehre (F9) ergänzt. Ziel war es, die Schädigungsgefahr für Fische besser einschätzen zu können.

2 Untersuchungsmethoden

Je nach Fragestellung und Untersuchungsziel wurden mehrdimensionale numerische und hydraulische Modelluntersuchungen zur Strömungsmechanik, nichtlineare Finite-Elemente-Berechnungen zur Strukturmechanik sowie Untersuchungen an Normprobekörpern, dynamische Prüfungen und Beschusstests durchgeführt.

3 Ergebnisse

Im Rahmen der Masterarbeit von Rudolph (2013) wurden numerische und hydraulische Modelluntersuchungen durchgeführt, um die Überströmung von Schlauchwehren qualitativ und quantitativ zu charakterisieren. Die Untersuchungen zeigen, dass bei einem Schlauchwehr mit Standard-Ablagetisch die Abflusszustände mit einer Schlauchhöhe unter $h_d/h_1 = 0,54$ unbeeinflusst von der Wehrschwelle sind und daher als unkritisch für den Fischabstieg angesehen werden (Bild 1c). Der Überfallstrahl fällt direkt ins Unterwasser und ein Kontakt des abwandernden Fisches mit der Wehrschwelle ist nicht zu erwarten. Für Schlauchhöhen größer als $h_d/h_1 = 0,64$ trifft der Überfallstrahl hingegen auf den Ablagetisch und durchschlägt das geringe Wasserpolster (Bild 1a). In diesem kritischen Bereich sind äußere und innere Verletzungen bei Fischen nicht auszuschließen. Zu diesem kritischen Bereich ist allerdings anzumerken, dass gegenwärtig unklar ist, ab welcher Überströmungshöhe die Abwanderungsmöglichkeit von Fischen wahrgenommen wird und diese dann tatsächlich über den Verschluss absteigen. Je nach Fischart kann

dadurch der kritische Abflussbereich mit einem erhöhten Verletzungsrisiko kleiner werden. In einem Übergangsbereich wird der Strahl zwar noch vom Schwellenende beeinflusst, fällt aber in großen Teilen bereits ins Unterwasser (Bild 1b). Hier ist in Relation zum kritischen Bereich von einem geringen Verletzungsrisiko auszugehen. Weitere Untersuchungen an modifizierten Wehrschwellen führten zu einem Ausführungsvorschlag, mit dem der für den Fisch kritische Bereich beim Abstieg minimiert wird. Durch eine verkürzte Wehrschwelle kann der kritische Bereich von $h_d/h_1 \geq 0,64$ auf $h_d/h_1 \geq 0,70$ verkleinert werden, das heißt der Überfallstrahl fällt bereits bei kleineren Abflüssen ins Unterwasser (Gebhardt et al., 2013 und Gebhardt et al., 2014).

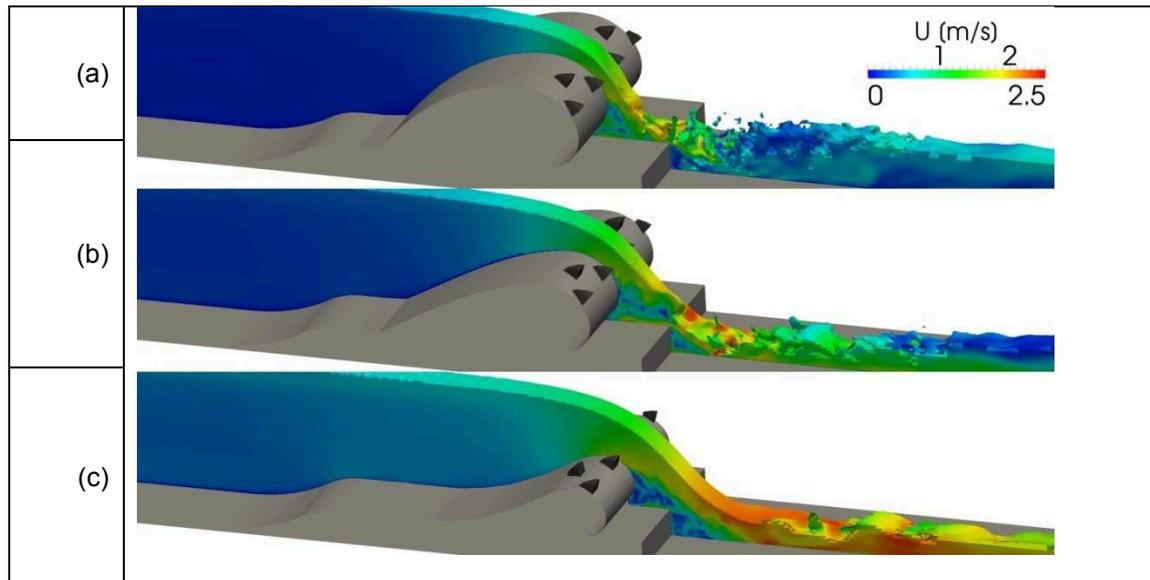


Bild 1: Simulationsergebnis für drei Schlauchgeometrien: (a) $h_d/h_1 = 0,70$, (b) $h_d/h_1 = 0,59$ und (c) $h_d/h_1 = 0,42$ (Gebhardt et al., 2013)

Im Rahmen der Diplomarbeit von Gurt (2013) wurde ein FE-Modell entwickelt, welches es erlaubt, Vorspannungen in der Schlauchmembran, die durch den Einbauvorgang eingetragen werden, bei der Initialisierung zu berücksichtigen. Hierzu wurden zwei Modelle entwickelt: ein Streifenmodell und ein Modell einer Wehrfeldhälfte. Beide Modelle erlauben eine realitätsnahe, werkstoffabhängige Initialisierung der Schlauchmembran, eine anschließende Füllung und ein Aufbringen der ober- und unterwasserseitigen Belastung. Mit den Modellen wurden Parameterstudien durchgeführt und, auf Basis einer Datengrundlage von 370 Berechnungen, die Spannungskonzentrationen und die Faltenbildung analysiert.

Die Untersuchungen zeigen beispielsweise, dass je größer die Biegesteifigkeit der Membran ist, desto größer muss der erforderliche Innendruck sein, um eine vorgegebene Verschlusshöhe zu erzielen (Bild 2a). Außerdem ist festzustellen, dass die auftretenden (Biege-) Spannungen weniger von der Membrandicke als vom E-Modul abhängig sind (Bild 2b). Die Maximalspannungen sind dabei am Übergang von der Wehrschwelle zur Wehrwange zu beobachten (Bild 2c).

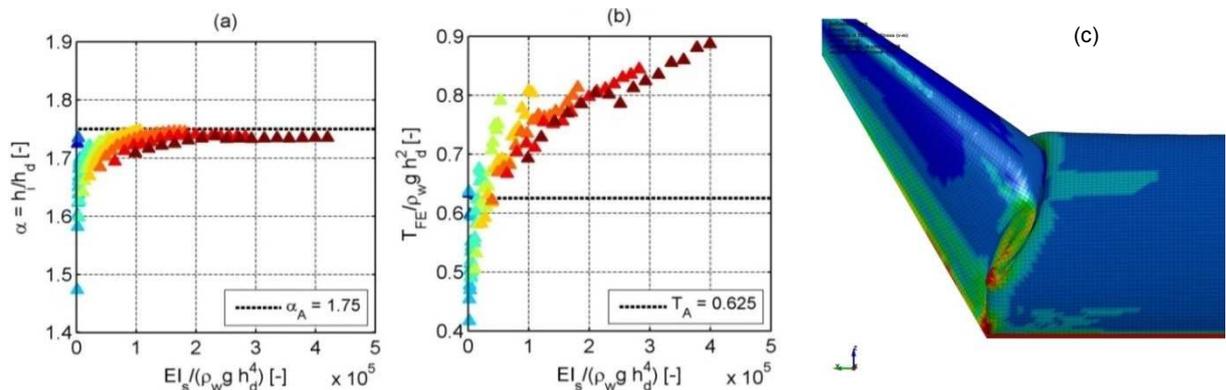


Bild 2: (a) Innendruckkoeffizient, (b) dimensionslose maximale Membrankraft in Abhängigkeit von der dimensionslosen Biegesteifigkeit, (c) Verteilung der Von-Mises-Vergleichsspannung (Gurt, 2013)

Aus Schadensfällen in der Vergangenheit war bekannt, dass Schlauchwehre aufgrund ihrer elastischen Struktur zu Schwingungen angeregt werden können. Im Modellversuch erwies sich eine Reihe von Störkörpern als wirkungsvolle Abhilfemaßnahme, die seit 2006 bei allen Anlagen in der WSV realisiert wurde und sich im Betrieb erfolgreich bewährt hat. Die Höhe der Störkörper beträgt aktuell 10 % der Schlauchhöhe, so dass sich bei großen Verschlusshöhen auch große Störkörper ergeben, deren Installation zunehmend schwieriger wird. Ziel der Bachelorarbeit von Freise (2013) war es, mit Hilfe von Laboruntersuchungen zu prüfen, wie Größe und Anordnung der Störkörper (Bild 3) das Schwingungsverhalten beeinflussen. Der Vergleich zeigte allerdings, dass die kleinen Störkörper Resonanzschwingungen nur bedingt unterdrücken und ihre Amplituden eine zu große Variabilität aufweisen. Aus diesen Gründen ist in der Praxis die Anwendung kleinerer Störkörper weniger geeignet.

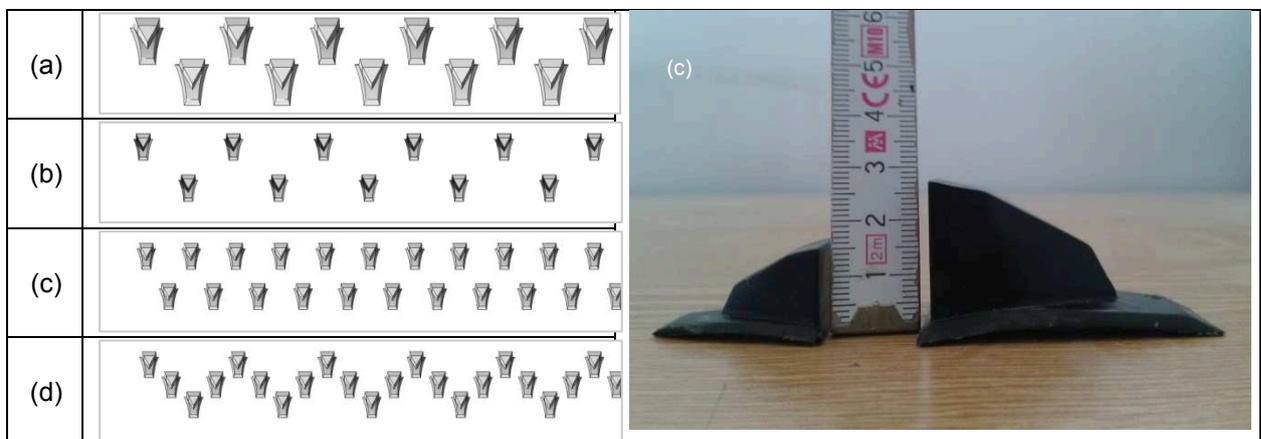


Bild 3: Untersuchte Störkörperreihen im Labormodell: (a) Original, (b) bis (d) Anordnungsvarianten kleinerer Störkörper und (e) Modelle der Störkörper (Freise, 2013)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das FuE-Vorhaben ist abgeschlossen, der Abschlussbericht wird zum Jahresbeginn 2014 vorliegen. Ursprünglich war geplant, die Ergebnisse zusätzlich in Form eines Merkblattes zusammenzufassen. Dies wird jetzt im Rahmen der Arbeit der PIANC Working Group 166 "Inflatable Structures in Hydraulic Engineering" erfolgen, die im Oktober 2013 ihre konstituierende Sitzung in Maastricht hatte.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2014.

5 Literatur

- Freise, S. (2013): Selbstinduzierte Schwingungen bei Schlauchwehren. Untersuchung verschiedener Abhilfemaßnahmen in einem Laborgerinne. Bachelor-Thesis am Institut für Wasser- und Gewässerentwicklung, Karlsruher Institut für Technologie, Bundesanstalt für Wasserbau (unveröffentlicht).
- Gebhardt, M. (2013): Inflatable Structures in Hydraulic Engineering. In: Proceedings of "SMART RIVERS Conference 2013", Liège, Belgien und Maastricht, Niederlande, 23.-27. September 2013.
- Gebhardt, M., Rudolph, T., Kampke, W., Eisenhauer, N. (2013). Untersuchungen der hydraulischen Bedingungen beim Fischabstieg über Schlauchwehre. In: BAW-Brief 03/2013.
- Gebhardt, M., Rudolph, T., Kampke, W., Eisenhauer, N. (2014): Fischabstieg über Schlauchwehre: Untersuchungen der Strömungsverhältnisse und Identifizierung der Abflussbereiche mit erhöhtem Verletzungsrisiko, Wasserwirtschaft, 1. Quartal 2014 (zur Veröffentlichung angenommen).
- Gurt, R. (2013): Untersuchungen zur Spannungskonzentration und Faltenbildung bei Schlauchwehren mit Hilfe nichtlinearer FEM-Analysen. Diplomarbeit am Institut für Mechanik, Karlsruher Institut für Technologie, Bundesanstalt für Wasserbau (unveröffentlicht).
- Rudolph, T. (2013): Untersuchungen zum Fischabstieg an Wehranlagen mit überströmten Wehrverschlüssen, Master-Thesis Hochschule Karlsruhe Wirtschaft und Technik, Bundesanstalt für Wasserbau (unveröffentlicht)

6 Veröffentlichungen

-/-

Entwicklung eines vereinfachten Füllsystems für Sparschleusen

Netzplan-Nr.: A39530370002

Projektleiter: Dr.-Ing. C. Thorenz, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Wasserbauwerke (W3)

E-Mail: carsten.thorenz@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Für Sparschleusen mit großer Hubhöhe hat sich in Deutschland ein Füllsystem mit einer Druckkammer unter der eigentlichen Schleusenkammer als einfache Gestaltungsvariante bewährt. Hierbei dient die Druckkammer zur gleichmäßigen Verteilung des einströmenden Füllwassers von Oberstrom und den Sparbecken. Die Einläufe werden dabei aufwändig gestaltet und möglichst tief angeordnet, um das Einziehen von Luft in das Füllsystem zu verhindern. Im Zuge der Bearbeitung der hydraulischen Gestaltung des Füll- und Entleersystems der neuen Schleusen Erlangen und Kriegenbrunn wurde die Idee verfolgt, auf Umläufe (und die zugehörigen Schütze) sowie einen tiefliegenden Einlaufbereich zum Anschluss an das Oberwasser vollständig zu verzichten. Hierzu wurde ein Konzept entwickelt, bei dem das Druckkammerfüllsystem direkt über ein Drucksegmentobertor beaufschlagt wird. Erste numerische Untersuchungen zeigten, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit bei Normalbetrieb den Anforderungen entspricht (*Thorenz und Strybny*, 2012). Im gestörten Betrieb ohne Sparbecken ist jedoch mit einem verstärkten Eintrag von Luft in das Füllsystem zu rechnen, welche die globalen Strömungseigenschaften des Systems maßgeblich beeinflussen könnten. Möglichst genaue Informationen über das Verhalten der Luft-Wasser-Strömung im untersuchten System sind daher von großer Bedeutung. Im Bereich der gegenständlichen Maßstabsmodelle ergeben sich durch die Skalierung unvermeidbare Maßstabeffekte, die bei Luft-Wasser-Gemischen dazu führen, dass der tatsächliche Lufteintrag und die daraus entstehenden Effekte nicht maßstabsgetreu abgebildet werden. Dies resultiert vor allem daraus, dass an der Phasengrenzfläche die Oberflächenspannung des Wassers eine entscheidende Rolle spielt, welche selbst bei der Verwendung eines Ersatzfluids mit entsprechender Oberflächenspannung das Verhalten der Luftblasen im Wasser nur fehlerhaft abbilden kann (*Chanson*, 1999). Bei der Untersuchung von Strömungen mit Hilfe von numerischen Werkzeugen können nur dann brauchbare Ergebnisse erzielt werden, wenn alle physikalisch relevanten Prozesse im Modellansatz hinreichend genau abgebildet werden. Die im Wasserbau üblichen computergestützten Modelle, die auf den Navier-Stokes-Gleichungen mit einem Volume-of-Fluid-Ansatz basieren, sind nur bei sehr hoher Gitterauflösung geeignet, den erwarteten Lufteintrag abzubilden. Es muss daher ein alternativer Ansatz gefunden werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Das vereinfachte Füllsystem hätte erhebliche Vorteile: Kein großer und tiefer Einlauf wie bei anderen Sparschleusen mit großer Hubhöhe, durch den Verzicht auf Umläufe eine reduzierte Anzahl von schlecht erreichbaren Betriebsverschlüssen, eine reduzierte Größe der Baugrube und des Gesamtbauwerks. Es ist davon auszugehen, dass dieses Konzept bei Realisierbarkeit zu einer erheblichen Reduzierung der Baukosten und der Betriebskosten großer Sparschleusen führt.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, ein vorentworfenes, neuartiges Füllsystem für Sparschleusen auf seine Praxistauglichkeit zu untersuchen und ggf. zu verbessern. Dazu ist es erforderlich, auch die numerischen Werkzeuge für die Berechnung von Luft-Wasser-Gemischen sowie die Bewegung von Schiffen in der Kammer weiterzuentwickeln. Diese Weiterentwicklungen stellen ein wichtiges Nebenziel dar, da sie für vielfältige weitere Aufgaben anwendbar sind.

2 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des Vorhabens soll ein anwendungsorientierter numerischer Ansatz für die Beschreibung von Zweiphasenströmungen entwickelt werden, mit dem die Modellierung von unterschiedlichen Strömungsregimes für Luft-Wasser-Gemische innerhalb eines Rechengebietes ermöglicht wird. Mit Hilfe dieses Ansatzes soll es möglich werden, ingenieurwissenschaftliche Fragestellungen im Bereich von Luft-

Wasser-Strömungen besser untersuchen zu können. Der entwickelte Ansatz soll möglichst in eine frei verfügbare CFD-Software (z.B. OpenFOAM, *Weller et al.*, 1998) implementiert werden. Parallel sollen die verfügbaren numerischen Methoden im Hinblick auf Luft-Wasser-Gemische sowie die Bewegung des Schiffs in der Kammer weiterentwickelt werden. Zum Vergleich wird ein Labormodell des vorgestellten Schleusenkonzepts erstellt. Da die Naturähnlichkeit der Luftblasenbewegung im Labormodell nicht gegeben ist, soll das Labormodell verwendet werden, um die Entwicklungen im numerischen Modell im Labormaßstab zu validieren, um dann mit dem numerischen Modell die Skalierung auf den Naturmaßstab durchzuführen.

3 Ergebnisse

Durch eine intensive Literaturrecherche wurde die Anwendbarkeit der bestehenden numerischen Modellansätze für die Modellierung von Luft-Wasser-Gemischen für die oben beschriebene Problematik überprüft. Für Flüssigkeit-Gas-Strömungen sind momentan die folgenden Modellansätze üblich:

- Phasengrenzen auflösende Verfahren über Volume-of-Fluid-Methode (VoF-Methode) oder Level-Set-Methode
- Euler-Euler-Verfahren (u.a. Zwei-Fluid-Modell)
- Euler-Lagrange-Verfahren

In Verfahren, die die Phasengrenze auflösen, werden die Erhaltungsgleichungen wie für einphasige Strömungen gelöst. Durch das Einführen einer zusätzlichen Indikatorfunktion kann die Lage der Phasengrenze und damit die lokal anzusetzenden Fluideigenschaften bestimmt werden. Geeignet ist diese Methode besonders für Systeme mit Luft und Wasser, in denen keine große Vermischung auftritt. Luftblasen im Wasser oder Wassertropfen in der Luft können mit diesem Ansatz nur bei sehr feiner Gitterauflösung (Blasen-/Tropfengröße \gg Gitterweite) abgebildet werden.

Das Euler-Euler-Verfahren dagegen eignet sich für die Abbildung von Strömungen, in denen sich die Phasen gegenseitig durchdringen, da hier für jede Phase ein Satz Erhaltungsgleichungen gelöst wird. Hier werden die Gasblasen parametrisiert und es kann das summarische Verhalten auch kleinster Gasblasen im Wasser abgebildet werden. Um das verschiedene Verhalten von verschiedenen Blasengrößen im Zwei-Fluid-Modell möglichst genau abzubilden, werden die Partikelgrößen (hier: Blasen) entweder mit Hilfe einer Größenverteilungsgleichung („population balance equation“ vgl. *Silva, Lage 2011*) abgebildet oder es wird ein Mehrphasen-Ansatz gewählt, bei dem jede Blasengröße als Einzelphase behandelt wird (vgl. *Krepper et al. 2008*). Die größte Herausforderung dieses Ansatzes stellt die empirische Ermittlung der Terme dar, über welche die Interaktion zwischen den Phasen (Blasenerzeugung und -zerfall, Koaleszenz) gesteuert wird.

Beim Euler-Lagrange-Verfahren werden für die disperse Phase Newtonsche Bewegungsgleichungen für jedes einzelne disperse Partikel aufgestellt, die kontinuierliche Phase wird wie bei den anderen Verfahren über die Erhaltungsgleichungen als variable Funktionen von Raum und Zeit dargestellt. Bei einem hohem Anteil der dispersen Phase führt dieses Verfahren schnell zu einem sehr großen Rechenaufwand.

Um die oben beschriebenen Verfahren zu verbessern und anwendungstauglich zu gestalten, wurden in letzter Zeit verschiedene Methoden entwickelt, mit deren Hilfe einige der genannten Nachteile kompensiert werden können. Zum einen wird versucht, die verschiedenen Modelle zu koppeln, zum anderen werden die bestehenden Ansätze verändert und/oder erweitert.

Für eine Simulation des Luft-Wasser-Gemisches im Schleusenfüllsystem, bei dem Prozesse sehr unterschiedlicher Skalen von Bedeutung für die Abbildung des gesamten Strömungsregimes sind, stellt das von Damian (2013) veröffentlichte „Extended Algebraic Slip Mixture Model“ eine gute Grundlage dar. Das Modell koppelt ein vereinfachtes Euler-Euler Modell, das sogenannte „Algebraic Slip Mixture Model“ (ASMM), mit der VoF Methode. Beim ASMM wird das Gleichungssystem für beide Phasen auf eine Massenerhaltungs- und eine Impulsgleichung für die Fluidmischung reduziert, eine zusätzliche algebraische Gleichung ermöglicht jedoch das in Betracht ziehen der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der zwei Phasen. So wird der Impulsaustausch zwischen den Phasen nicht wie beim VoF Modell komplett vernachlässigt, sondern über einen algebraischen Zusammenhang modelliert. Über die Formulierung der Gleichungen beider Modelle in gleicher Art und Weise schafft es Damian die beiden Modelle über einen

„switching factor“ zu koppeln, der in Abhängigkeit vom Gradienten des Phasenanteils in den Zellen bestimmt, welches Modell in welchen Zellen verwendet wird. Die im Fall des ASMM Ansatzes benötigte Relativgeschwindigkeit zwischen den Phasen wird bei Damian über drei Variablen bestimmt, die für den jeweiligen Anwendungsfall zu kalibrieren sind.

Im Rahmen des FuE Vorhabens wird der beschriebene Ansatz in die OpenSource Software OpenFOAM implementiert und ist dann für den beschriebenen Anwendungsfall zu testen und zu verbessern. Insbesondere müssen die empirischen Faktoren, von denen die Relativgeschwindigkeit zwischen den Phasen abhängt, kalibriert und/oder über andere Modelle hergeleitet werden. Außerdem ist zu untersuchen, ob sich der vorgeschlagene „switching factor“ für die untersuchte Anwendung eignet.

Im Weiteren ist zu prüfen, ob eine Erweiterung mit einem Modell notwendig ist, welches den Lufteintrag des fallenden Strahles im Fallschacht der Schleuse modelliert (z.B. in Analogie zum Ansatz von Ma et al., 2010), oder ob der Lufteintrag durch eine hohe lokale Gitterauflösung ausreichend genau abgebildet werden kann.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Numerik: Test und Verbesserung des implementierten Extended ASMM Ansatzes. Test des Ansatzes an geeigneten Beispielen.

Labormodell: Fertigstellung des Labormodells und Test der neuen Messverfahren für Luftanteilmessung.

2015: Numerik: Vergleich der Ergebnisse zwischen numerischen Modell und Labormodell. Anschließende Verbesserung des numerischen Ansatzes.

Labormodell: Messreihen für verschiedene Schleusenfahrpläne, zur Untersuchung der Skalierungseffekte ist eventuell ein Ausschnittsmodell des Füllschachtes geplant.

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2015.

5 Literatur

Chanson, H. (1999): *Air-water bubbly flows – Theory and applications*, Dissertationsschrift, School of Engineering, The University of Queensland, Australien.

Damian, S. M. (2013). *An Extended Mixture Model for the Simultaneous Treatment of Short and Long Scale Interfaces*, Dissertationsschrift, Universidad Nacional del Litoral, Argentinien. Krepper, E., Lucas, D., Frank, T., Prasser, H.-M., & Zwart, P. J. (2008). *The inhomogeneous MUSIG model for the simulation of polydispersed flows*. Nuclear Engineering and Design, 238(7), 1690–1702.

Ma, J., Oberai, A. a., Drew, D. a., Lahey, R. T., & Moraga, F. J. (2010). *A quantitative sub-grid air entrainment model for bubbly flows – plunging jets*. Computers & Fluids, 39(1), 77–86. Silva, L. F. L. R., Lage, P. L. C. (2011). *Development and implementation of a polydispersed multiphase flow model in OpenFOAM*. Computers & Chemical Engineering, 35(12), 2653–2666.

Weller, H.G., Tabor G., Jasak, H., Furby, C. (1998): *A Tensorial Approach to CFD using Object Orientated Techniques*, Computers in Physics, Vol. 12 No. 6, pp 620–631.

6 Veröffentlichungen

Thorenz, C., Strybny, J. (2012): *On the numerical modelling of filling-emptying systems for locks*, 10th International Conference on Hydroinformatics.

Schulze, L., Thorenz C. (2013): *Towards the CFD-modelling of multiscale-multiphase flow phenomena in a navigation lock*, PIANC – SMART Rivers Conference 2013.

Koordinierte Bewirtschaftung von Staustufenketten – Modellierung und Betrieb

Netzplan-Nr.: A39530370003

Projektleiter: Dr.-Ing. P. Schmitt-Heiderich, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Wasserbauwerke (W3)

E-Mail: peter.schmitt-heiderich@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die lokale OW/Q-Regelung einer einzelnen Stauhaltung 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 und die Ergebnisse sind in den BAWMitteilungen 96 (BAW, 2012) dokumentiert.

Das aktuelle FuE-Projekt konzentriert sich auf eine Kette von Stauhaltungen, deren Betrieb gegenüber einer reinen lokalen Regelung dann verbessert werden kann, wenn die lokalen Regler in vorgegebenen Grenzen „richtig gesteuert“ werden. Der BAW ist kein allgemeingültiges Verfahren bekannt, mit dem Ketten von Staustufen koordiniert bewirtschaftet werden. Die in der Forschung diskutierten Ansätze der modellprädiktiven Regelung (MPR) scheiden aus, da eine größere Zahl zu koordinierender Stauhaltungen (> 4 Stauhaltungen) eine klassische Optimierung nur mit massivem Rechneinsatz zulässt (Mehrkernprozessoren oder PC-Cluster) und die Zielfindung aufgrund der hohen Dimensionalität der Optimierung nicht zwangsläufig gegeben ist (Arnold und Sawodny, 2008).

Die Verbesserung der Bewirtschaftung einer Stauhaltungskette erfordert Eingriffe und komplexe Berechnungsalgorithmen auch auf der Ebene einer lokalen OW/Q-Regelung. Daraus resultieren Fragen, wie aufwändig und sicher diese Algorithmen auf eine echtzeitfähige Zielplattform übertragen werden können. Weiterhin kann am Beispiel der Stauhaltungskette Mosel schon heute erkannt werden, wie mehrere lokale Regelungen zusammenwirken. Erkenntnisse aus dieser nicht koordinierten Bewirtschaftung mehrerer Stauhaltungen liefert Aufschluss über Unsicherheiten und Verbesserungsmöglichkeiten. Um diese unterschiedlichen Fragestellungen zu bearbeiten, wurde das vorliegende FuE-Vorhaben für die Untersuchung der folgenden drei Themenkomplexe beantragt:

1. Entwicklung eines allgemeingültigen Ansatzes einer koordinierten Bewirtschaftung;
2. Portierung des Reglercodes auf die Zielplattformen eines Industrie-PCs und einer Siemens SPS;
3. Auswertung der Betriebsdaten und Analyse der Wirkungen unsicherer Eingangsparameter.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Entwicklung einer standardisierten und optimierten Bewirtschaftung von Stauhaltungsketten bietet zahlreiche Vorteile für die WSV, da die Standardisierung die Einrichtung einer koordinierten Bewirtschaftung erheblich vereinfacht und den Übertrag auf andere Stauketten ermöglicht. Vorteile einer koordinierten Bewirtschaftung sind eine Abflussvergleichmäßigung, ein Ausgleich von Defiziten, ein Ausgleich von Störungen, beispielsweise durch Pumpspeicherbetrieb oder Mischwassereinleitungen und eine bessere Beherrschung extremer Wetterereignisse. Im Hinblick auf eine zukünftige Zentralwarte, die eine Staustufenkette mit begrenztem personellem Aufwand führen soll, stellt eine koordinierte Bewirtschaftung die dafür notwendigen Informationen bereit.

In der WSV wird häufig auf die weit verbreiteten SPS der Bauarten S5 und S7 der Firma Siemens zurückgegriffen. Durch die direkte Portierung des Regelungscode auf die Zielplattform einer Siemens SPS wird die Implementierung beschleunigt und die Wartung durch WSV Mitarbeiter möglich. "Hardware in the Loop (HIL)" ermöglicht der BAW die Prüfung des umgesetzten Reglercodes durch ein Zusammenspiel der SPS und einem auf einem PC laufenden Modell der Regelstrecke. Dies trägt maßgeblich zur Qualitätssicherung bei.

Die Analyse der Betriebsdaten aus der ASR ermöglicht die sukzessive Verbesserung des Wirkbetriebes. Hierin unterstützt die BAW die WSV seit Inbetriebnahme der lokalen Regelung an der Moselstaustufe

Detzem. Die bisher durchgeführten lokalen Betrachtungen werden nun auf die Betrachtung der Stauhaltungskette erweitert.

1.3 Untersuchungsziel

Die Untersuchungsziele wurden in Kapitel 1.1 definiert. Die Punkte 2 und 3 können aufgrund der personellen Veränderungen im Referat voraussichtlich innerhalb der vorgesehenen Projektlaufzeit nicht vollumfänglich beantwortet werden. Für Punkt 1 ist über die Projektlaufzeit gewährleistet, dass er fundiert und mit der notwendigen intensiven fachlichen Auseinandersetzung bearbeitet wird. Damit lassen sich die voraussichtlich erfüllbaren Ziele des FuE-Vorhabens wie folgt formulieren:

- Einrichtung und effektive Parametrisierung einer koordinierten Bewirtschaftung an Stauhaltungsketten. Hierfür sind die Algorithmen für die Bewirtschaftung allgemeingültig zu formulieren.
- Erarbeitung von vertieften Kenntnissen der Modellierung der Regelstrecke in Zusammenspiel mit Regelalgorithmen.

2 Untersuchungsmethoden

Allgemeingültiger Ansatz einer koordinierten Bewirtschaftung

Die Umsetzung der koordinierten Bewirtschaftung ist an der Mosel und am Neckar vorgesehen. Die Bearbeitung erfordert ein vertieftes Wissen über partielle Differentialgleichungen im Zusammenspiel mit der Regelung und der Optimierung gekoppelter Systeme. Die Regelungstechnik spricht bei Regelstrecken, deren Verhalten durch partielle Differentialgleichungen beschrieben wird, von Strecken mit verteilten Parametern. Die Regelung von Strecken mit verteilten Parametern ist ein aktuelles Forschungsgebiet der Universitäten. Die BAW ist aufgrund begrenzter Personalkapazitäten nicht in der Lage, diese Fragestellungen in der notwendigen Tiefe und Schnelligkeit zu bearbeiten. Das dafür notwendige Spezialwissen ist in der Universität Stuttgart (Prof. Sawodny) vorhanden, die daher über einen FuE-Kooperationsvertrag mit der Entwicklung eines allgemeingültigen Algorithmus zur koordinierten Bewirtschaftung von Staustufenketten beauftragt wurde.

3 Ergebnisse

Nachfolgend werden auf die Untersuchungen der Universität Stuttgart Bezug genommen, die u. A. in einem Konferenzbeitrag (Amann et al., 2013) veröffentlicht wurden. Eine modifizierte Modell-Prädiktive Regelung (MPC ohne Rückkoppelung) im Zusammenspiel mit einem inversen Streckenmodell ersetzt die Vorsteuerung bzw. die Störgrößenaufschaltung eines OW/Q-Reglers. Dazu wird aus dem Zufluss und einem als optimal erachteten Wasserstand ein idealer Abfluss aus der Staustufe ermittelt (Bild 1). Der lokale PI-Regler arbeitet weiter (OW-Anteil) mit dem für die Abflussvergleichmäßigung optimalen Wasserstand als Sollwasserstand, wobei der ermittelte Sollwasserstand nur innerhalb zulässiger Toleranzen um das Stauziel geändert wird (Ausnutzung der Stauzielreserve).

Die Anforderungen an ein Streckenmodell sind vielfältig: Es muss die Wasserstands- und Abflussentwicklung an vorgegebenen Stellen in der Stauhaltung realitätsnah wiedergeben, es muss auf einer SPS oder einem Industrie-PC lauffähig sein und synchron zur Leittechnik in Echtzeit eine numerisch stabile Lösung ermitteln und es muss im Betrieb robust gegen Modellfehler sein. Für einen realisierbaren und effizienten Vorsteuerungsentwurf soll das Modell außerdem analytisch invertierbar sein. Aufbauend auf dem Diffusionswellenansatz (Schmitt-Heiderich und Gebhardt, 2012), deren Gleichungen um einen stationären Abflusszustand linearisiert werden (Hayami-Gleichungen), gelingt es über eine Reihenentwicklung analytisch eine Näherungslösung für den optimalen Abfluss zu entwickeln (Amann et al., 2013). Eine Vergleichsrechnung an der Moselstauhaltung Fankel zeigt am Beispiel eines Zuflusssprunges die gute Übereinstimmung zwischen 1-D-HN-Modell und den angepassten Hayami-Gleichungen (Bild 2). Die Rechenzeit mit den angepassten Hayami-Gleichungen ist dabei um den Faktor 10 kleiner.

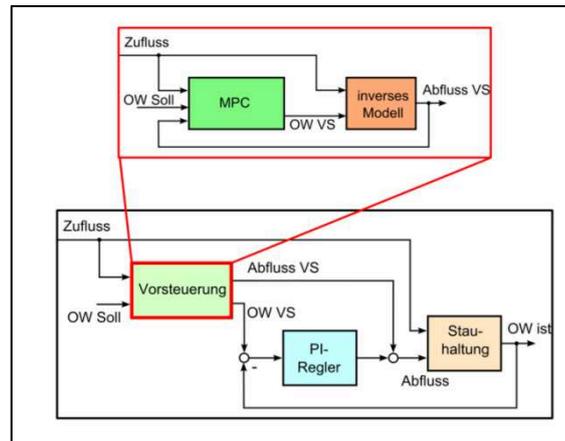


Bild 1: Lokale OW/Q-Regelung mit Antizipationsterm und Ersetzung der Störgröße (Vorsteuerung) durch eine modifizierte MPC in Kombination mit einem inversen Streckenmodell (nach Amann et al., 2013)

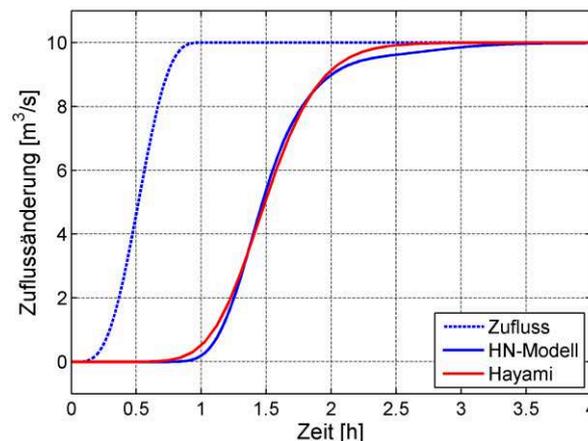


Bild 2: Zuflusssprung und Reaktion des HN-Modells im Vergleich zu einem angepassten Hayami-Modell am Beispiel der Moselstaustufe Fankel (Basisabfluss: 300 m³/s)

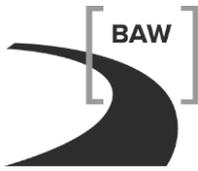
Weiterer Untersuchungsbedarf besteht für Niedrigwasserabflüsse, wenn die Retentionszeiten kleiner als die Laufzeiten sind, da dann die Stauhaltungen zum Überschwingen neigen. Hierfür ist der Algorithmus weiter zu verbessern.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Arbeiten der Universität Stuttgart zum allgemeingültigen Ansatz einer koordinierten Bewirtschaftung; 2014-2015:

- Modellinversion: Direkte Ableitung der Regelungsvorschrift aus den Saint-Venantschen Gleichungen (Modellinversion) mit differential-algebraischen Methoden. Die Komponenten des Lösungsansatzes zur Vorsteuerung sind entwickelt und müssen für Niedrigwasser weiter angepasst werden.
- Implementierung und Test mit Sensitivitätsuntersuchungen.
- Das Entwurfsverfahren ist allgemeingültig zu formulieren, damit es als "Standardvorgehensweise" einer koordinierten Bewirtschaftung einer Staukette genutzt werden kann.
- Dokumentation.

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2015.



5 Literatur

Amann, K.-U., Arnold, E. und Sawodny, O. (2013): An inversion based model-predictive feed-forward discharge controller for impounded rivers. Proceedings of the 8th International Workshop on Multidimensional Systems (nDS), 9. – 11 Sept. 2013, Erlangen, Germany

Schmitt-Heiderich, P., Gebhardt, M. (2012): Der Einfluss der Regelstrecke Stauhaltung auf die Abfluss- und Stauzielregelung (ASR). In: BAWMitteilungen Nr. 96, 2012, S. 81-98.

6 Veröffentlichungen

-/-

Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen

Netzplan-Nr.: A39530410035

Projektleiter: BOR T. Dettmann, Dipl.-Ing. R. Zentgraf, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich, Fachgruppe Schiffsführungssimulation (W 4), Referat Flusssysteme I (W 1)

E-Mail: thorsten.dettmann@baw.de, rolf.zentgraf@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Eine Optimierungsmethodik zur Befahrbarkeit von Flüssen unter Beachtung hydrodynamischer, fahrdynamischer und morphodynamischer Kriterien soll am Beispiel einer Referenzstrecke auf dem Rhein entwickelt werden. Das Forschungsvorhaben zielt darauf ab, mittels instationärer numerischer Modelle wasserstandsabhängig hydraulische Parameter zu ermitteln. Diese Parameter wie Fließgeschwindigkeiten und Wassertiefen sind Eingangsgrößen für ein zu entwickelndes Modell zur Berechnung und Bewertung fahrdynamischer Kenngrößen. Mit den Kenntnissen von Schiffsgeschwindigkeiten, Driftwinkeln, Fahrspurbreite u. a. m. können Verkehrsszenarien simuliert und der Verkehrsflächenbedarfs ermittelt werden. Mit der anschließenden Tiefenanalyse wird eine wasserstands- und verkehrsabhängige Bewertung der Befahrbarkeit einer Wasserstraße möglich.

Ziel ist es, eine Entscheidungshilfe zur Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen auf der Grundlage von berechneten Verkehrsflächenbedarf und der zugehöriger Tiefenanalyse zu erhalten.

Bei Beginn des Forschungsvorhabens existierten als einzige Berechnungsgrundlagen für die Einschätzung des Verkehrsflächenbedarfs von Binnenschiffen die Richtlinien für die Bemessung von Profilen in Schifffahrtskanälen und das Trassierungsverfahren TRASSE (seit 2011 Bestandteil der „Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen“), welches Schleppkurven eines sich bewegenden Schiffes ermittelt. Beide Verfahren gelten ausschließlich für nicht fließende Gewässer. Für fließende Gewässer standen HN-Modelle zur Verfügung, allerdings ohne Bezug zur Fahrdynamik von Binnenschiffen. Um auch Anfragen aus der WSV, die die Fahrdynamik in fließenden Gewässern betreffen, bearbeiten zu können, soll ein Modell entwickelt werden, welches mit den HN-Modellen der Flüsse gekoppelt wird und die Fahrdynamik von Binnenschiffen in fließenden Gewässern beschreibt.

1.2 Bedeutung für die WSV

Mit einem derartigen Modell wird es möglich werden, in schiffbaren Flüssen Breiten- und Tiefenengstellen zu identifizieren, deren Auswirkungen auf den Schiffsverkehr einzuschätzen und die Befahrbarkeit des Flusses zu optimieren. Darüber hinaus soll die Verwaltung bei der Zulassung neuer Schiffstypen beraten werden, indem die fahrdynamischen Eigenschaften neuer Schiffe schon bei Vorlage der Baupläne ermittelt und die Auswirkungen auf den Verkehr bei unterschiedlichen Abflüssen bewertet werden können.

1.3 Untersuchungsziel

Untersuchungsziel ist die Entwicklung eines Werkzeuges zur Unterstützung der WSV bei Fragestellungen zur

- Durchführung von fahrdynamischen Engpassanalysen (z. B. bei inzwischen abgeschlossenen Projekten am Rhein, Neckar),
- Beurteilung der Befahrbarkeit eines Flusses (z. B. bei inzwischen abgeschlossenen Projekten an der Saar, Weser),
- Festlegung von maximal möglichen Schiffsabmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen (z. B. bei inzwischen abgeschlossenen Projekten am Rhein in der Gebirgsstrecke).

2 Untersuchungsmethoden

Flussbauliche Modellierung

Der Bereich von Mainz (Rhein-km 498) bis Koblenz (Rhein-km 592) wurde zunächst als Modellstrecke für die Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen gewählt. Das 1D-HN-Modell stand bereits zur Verfügung und konnte im Laufe der Zeit für den gesamten frei fließenden Rhein zwischen Iffezheim (Rhein-km 333) und Lobith (Rhein-km 865) erweitert werden. Aus der Kenntnis des Ist-Zustandes heraus können für die Beurteilung der Fahrdynamik notwendige Parameter pegelbezogen für jeden Wasserstand und für jedes Querprofil berechnet werden. Für die Weiterentwicklung zu einem 2D-fahrdynamischen Modell stehen inzwischen 2D-HN-Modelle für zahlreiche Rheinabschnitte zur Verfügung, die in nächster Zeit zu einem geschlossenen 2D-HN-Modell des frei fließenden Rheins zusammengeführt werden. Sowohl die Fließgeschwindigkeiten als auch die Wassertiefen werden für die Nutzung innerhalb des Schiffsführungssimulators aufbereitet.

Fahrdynamische Modellierung

Zur Berechnung der Fahrspurbreiten wurde ein hydronumerisch/fahrdynamisches Modell für die stationäre Kreisfahrt entwickelt, wobei die Berechnung der Trägheitskräfte auf den Kirchhoffschen Bewegungsgleichungen für starre Körper beruht [Brix, J., 1993]. Unter Verwendung der Theorie schlanker Körper wird mit Hilfe einer lokalen Impulsanalyse im schiffsnahen Kontrollraum die auf den Schiffskörper wirkende hydraulische Querkraftverteilung ermittelt. Zusätzlich zu den Bewegungsgleichungen wurde das Modell mit einer virtuellen Navigation ausgestattet, welche auf der Grundlage der Wasserstraßengeometrie, der Abflussverhältnisse und der Verkehrsregeln ein Befahrbarkeitspotenzial des Gewässers ermittelt und daraus ein Optimum nahe Kursachse konstruiert. Unter dem Arbeitstitel PeTra 2D wurden auf Grundlage des beschriebenen fahrdynamischen Modells die 3 Bewegungsgleichungen für eine horizontale Bewegung hergeleitet, wobei Strömungsgeschwindigkeiten eines tiefengemittelten 2D-Strömungsfeldes berücksichtigt werden [Kolarov, P., 2006]. In diesem Verfahren werden die Schiffe nicht mehr geschleppt, sondern durch aufbringen von Ruderkräften gesteuert. Nach ersten erfolgreichen Tests des Verfahrens stellte sich heraus, dass die Schiffe mit Hilfe von Autopiloten nur begrenzt gefahren werden können. Eine Manöverfahrt ist nur durch einen Schiffsführer zu simulieren. Mit der Beschaffung des Schiffsführungssimulators im Dezember 2009 wurde eine leistungsfähige Plattform für die Weiterentwicklung fahrdynamischer Berechnungsansätze geschaffen. Damit können zukünftig qualitativ hochwertig Themen zur Navigation in Flüssen behandelt werden. Die Entwicklungen im Zusammenhang mit dem Binnenschiffsführungssimulator erfolgen im Rahmen des Forschungsvorhaben A39530410099 - Binnenschiffsführungssimulation.

3 Ergebnisse

Mit dem Abschluss dieser Grundlagenentwicklung gingen auch der Abschluss der Entwicklungen und Tests der Verfahren PeTra 1D und BoatSim einher. Das Verfahren PeTra 1D liegt als MicroStation-Applikation vor, so dass es direkt in der Arbeitsumgebung der WSV eingebettet ist. Das Verfahren BoatSim wird weitgehend vom Schiffsführungssimulator ersetzt. Die fahrdynamische Richtigkeit dieses Verfahrens wurde an Hand von Vergleichen mit Naturmessungen im Rahmen von Projekten, bei denen das Verfahren eingesetzt und dokumentiert wurde, getestet. Mit Einführung der neuen „Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen“ wird für fahrdynamische Bewertungen der Einsatz von dem Verfahren PeTra1D in Zusammenarbeit mit einem HN Modelle des zu untersuchenden Flusses empfohlen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

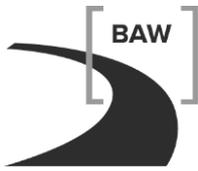
Die Entwicklungsarbeiten dieses FuE-Vorhabens sind abgeschlossen. Der Forschungsbericht wird im Jahr 2014 fertig gestellt.

Laufzeit des Vorhabens von 1996 bis 2014.

5 Literatur

Brix, J. (1993): Manoeuvring technical manual, Seehafenverlag Hamburg

Kolarov, P.(2006): Simulation von Schiffsbewegungen im Fließgewässer, Forschungsbericht der Universität Rostock, Fakultät für Maschinenbau und Schiffstechnik, Lehrstuhl Meerestechnik, Rostock



Dettmann,, T. Zentgraf, R. (2014): Forschungsbericht zum Forschungsvorhaben "Optimierung der Befahrbarkeit von Flüssen", Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

6 Veröffentlichungen

-/-

Wartezeiten vor Engstellen

Netzplan-Nr.: A39530410036

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. B. Söhngen, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Wegen der anhaltenden Tendenz zum Bau größerer Fahrzeuge und der veränderten Zulassungsbedingungen für Fahrzeuge auf Binnenwasserstraßen, die generell größere Verbandszusammenstellungen erlauben, wird es vermehrt Wasserstraßenabschnitte geben, in denen nur bestimmte Fahrzeuge begegnen oder überholen können bzw. im Grenzfall sogar nur im Richtungsverkehr befahrbar sind wie am Mittelrhein im Bereich Jungferngrund-Loreley. Dies gilt vor allem für Bereiche, in denen es ggf. künftig zu Einschränkungen der Fahrrinnenbreiten zugunsten größerer Fahrrinntiefen kommen könnte oder in denen es bereits Abschnitte gibt, in denen die Solltiefe der Fahrrinne nur auf eingeschränkter Breite vorliegt wie an der Donau im Abschnitt Straubing-Vilshofen oder am Rhein zwischen Koblenz und Köln. Ein besonderes Problem sind hierbei extreme Niedrigwasserereignisse, die im Zeichen der Klimawandels voraussichtlich vermehrt auftreten werden und bei denen eine geringere verfügbare Fahrwasserbreite mit einem vermehrten Verkehrsaufkommen zusammenfällt, wie es jüngste Niedrigwasserereignisse auf dem Rhein gezeigt haben. Zur Erkennung und Bewertung von Engpässen und daraus folgenden Empfehlungen für Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen bzw. zur Neufestlegung der Fahrrinne, wie sie für den Rhein seitens des BMVBS und der beteiligten Außenstellen der GDWS am Rhein in einem Auftrag an die BAW zu untersuchen ist, sind deshalb, neben der Kenntnis des Verkehrsflächenbedarfs von Bemesungsschiffen im Vergleich zur vorhandenen Fahrwasserbreite, auch die verkehrlichen Randbedingungen zu beachten. Hierzu ist das Verkehrsgeschehen zu simulieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Wartezeiten vor Engstellen oder begrenzte Überholmöglichkeiten mindern den volkswirtschaftlichen Nutzen des Verkehrsträgers Binnenschiff. Dieser muss u. a. dem Aufwand zur Engstellenbeseitigung gegenübergestellt werden. Wenn dieser unverhältnismäßig hoch ist, können Engpässe, die Begegnungen oder Überholungen von Fahrzeugen ausschließen, hingenommen werden.

1.3 Untersuchungsziel

Die Untersuchungen zielen auf die Entwicklung, Verifikation und Anwendung eines Verkehrssimulationsmodells für Binnenschiffe in Gewässern, das mit möglichst wenigen Eingabedaten, z. B. hinsichtlich der Schiffsankünfte an Kontrollstellen, auskommt. Wegen eines Ende 2011 gestarteten Grundsatzauftrages der WSV zur Überprüfung von Fahrrinnenbreiten am freifließenden Rhein hat das Vorhaben eine besondere Aktualität und einen erweiterten Fokus erhalten. So soll nicht nur die Grenze möglicher verkehrlicher Situationen ausgelotet werden, sondern es sollen durch Einbeziehung des menschlichen Verhaltens der Schiffsführer auch Fahrsituationen einbezogen werden, die im Grunde technisch nicht zulässig oder möglich wären. Damit soll die Lücke zur Unfallanalyse geschlossen werden.

2 Untersuchungsmethoden

Die Simulation des Verkehrsgeschehens erfolgte bisher mit dem Verfahren BISS (Binnenschiffahrts-Simulator), das nach vorgegebenen fahrdynamischen Algorithmen der BAW von einer externen Firma im Auftrag der BAW entwickelt wurde. Die Verfahrensentwicklung ist algorithmisch abgeschlossen. Das Verfahren wurde erfolgreich auf Abschnitte der Mittelweser angewendet. Defizite zeigten sich bei der Implementierung in der BAW und vor allem bei der Handhabung des Programms von BAW-Mitarbeitern. Die Analyse der Programmarchitektur im Rahmen eines vorgesehenen Reengineering des Programms zeigte, dass diese den zukünftigen Anforderungen nicht genügt. Deshalb wurde eine Neuentwicklung in Angriff genommen, wobei das Institut für Wirtschaft und Verkehr der Uni Dresden als Entwickler gewonnen werden konnte. Dort werden seit vielen Jahren Verkehrssimulationsmodelle für Straßenverkehr

entwickelt und angewendet, bei denen das dynamische Verhalten jedes einzelnen Fahrzeugs durch entsprechende Bewegungsgleichungen und zusätzlich das menschliche Verhalten der Fahrzeugführer abgebildet wird. Alle Fahrzeugführer reagieren aufeinander nach festzulegenden Regeln, die denen des Schiffsverkehrs sehr nahe kommen. Dabei wird von einem Verkehr auf mehreren, jedoch dynamisch angepassten Spuren mit Wechsel der Fahrspuren bei Begegnungen oder Überholungen ausgegangen. Der Verkehrsflächenbedarf, der die Spurbreite bestimmt, wird dabei für jedes Fahrzeug, jede Fahrzeugkombination und zu jedem Zeitpunkt errechnet und bestimmt die mögliche verkehrliche Situation. Die zugehörigen semiempirischen Algorithmen zu den Zusatzbreiten bei Kurvenfahrt, aus der Abdrift im Querströmungsfeld, der Instabilität des Schiffspfades oder aus der Fahrt in der Nähe von geböschten Ufern oder von Bühnen sowie aus der Interaktion zweier Schiffe bei Begegnungen oder Überholungen, wurden im Rahmen des KLIWAS TP 4.4 entwickelt und inzwischen implementiert. Die Gleichungen zur Längsbewegung eines Schiffes, die die mögliche Schiffsgeschwindigkeit bestimmen, wurden für die Entwicklung des Programmes PeTra2D hergeleitet und anhand von Modell- und Naturdaten kalibriert. Hierzu gehören der Propellerschub, der Schiffswiderstand sowie die kritische Schiffsgeschwindigkeit, wobei diese Formeln Querprofilinformationen mit zugehörigen Strömungsgeschwindigkeiten benötigen, die alle 100 m bereitgestellt werden. Der Einfluss des „human factor“ auf die Längsbewegung wird derzeit über ein angepasstes „Intelligent Driver Modell“ erfasst.

3 Ergebnisse

Nachdem die Programmcodierung hinsichtlich der physikalischen Ansätze im Jahre 2013 weitgehend abgeschlossen werden konnte, stand die Codierung eines Begegnungsalgorithmus im Vordergrund. Er wurde am Beispiel einer Engstelle, in der Schiffe vom Typ 1 (großes Schiff) und Typ 2 (kleineres Schiff) untereinander mit Ausnahme Typ1 mit Typ1 begegnen können getestet. Das folgende Bild zeigt hierzu ein Weg-Zeit-Diagramm der Trajektorien von Berg- (im Bild 1 von links oben nach rechts unten) und Talfahrern (von unten links nach oben rechts), wobei die einfache Regel umgesetzt wurde, dass Talfahrer Vorrang haben, wenn der Platz für Begegnungen nicht ausreicht. Abhängig vom Typ der Fahrzeuge fahren die Bergfahrer vor der rot eingefärbten Engstelle langsamer, damit sie die Talfahrer durchlassen, bis sie selbst an der Engstelle ankommen und dort zügig weiterfahren können.

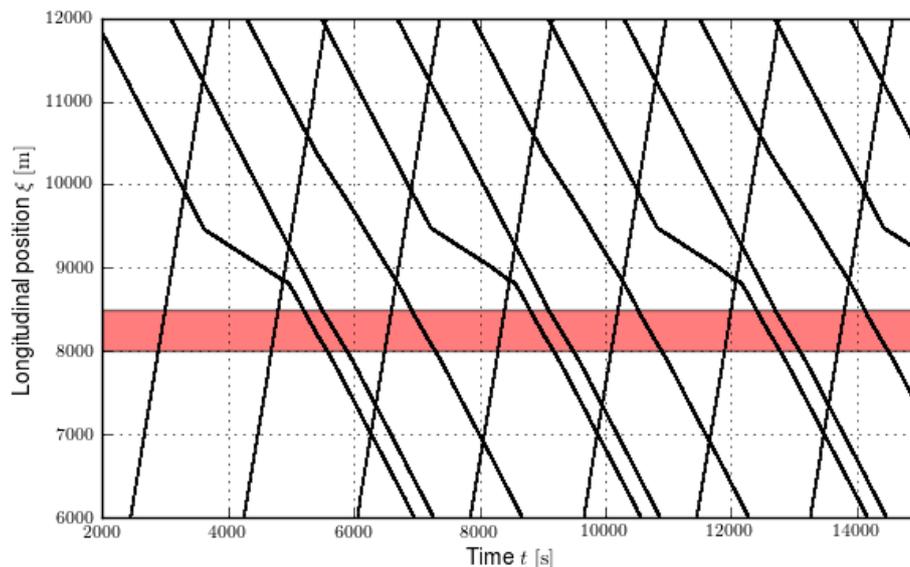


Bild 1: Weg-Zeit-Diagramm der Trajektorien von Berg- und Talfahrern in einer schematischen Engstelle (roter Balken)

Das nächste Bild 2 zeigt ein sogenanntes Fundamentaldiagramm, bei dem jeder Punkt dem durchschnittlichen Verkehrsfluss (Durchsatz pro Querschnitt, Ordinate) und der zugehörigen Verkehrsdichte (Abszisse) mehrerer Fahrzeug in einem festgelegten Zeit- und Wegfenster vor der Engstelle der Bergfahrer entspricht. Dabei wurden 50 % Typ1 und Typ 2-Fahrzeuge eingesetzt. Das Diagramm zeigt, dass der erreichte Verkehrsfluss mit der Dichte steigt, dass er aber bei zunehmender Dichte schwächer ansteigt oder sogar abfallen kann. Dies ist dann der Fall, wenn die Kapazitätsgrenze der Engstelle erreicht ist.

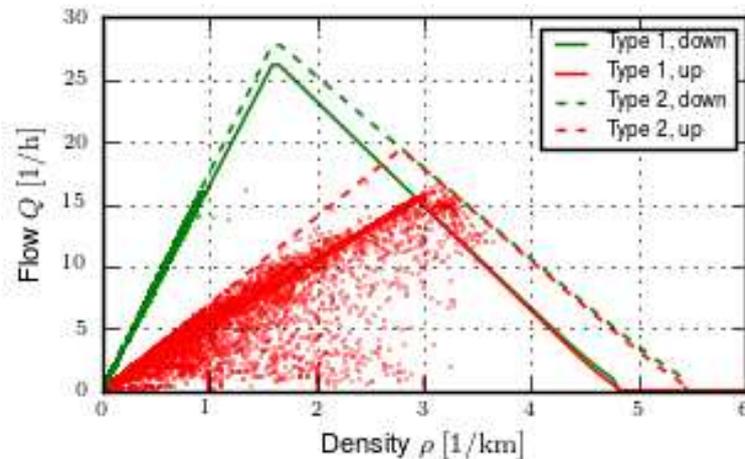


Bild 2: Fundamentaldiagramm mit durchschnittlichem Verkehrsfluss und zugehöriger Verkehrsdichte vor der Engstelle

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Im Arbeitsjahr 2014 sollen Überholvorgänge umgesetzt werden. Sie erfordern ein weitaus längeres vorausschauendes Fahren als Begegnungen. Die Interaktionen der Fahrzeuge untereinander an Engstellen werden dabei größer. Schließlich soll eine begrenzte Voraussicht umgesetzt werden, bei der dann nicht mehr alle möglichen Konflikte durch Anpassung der Fahrweise numerisch gelöst werden. Es kann dann auch zu rechnerischen Kollisionen kommen. Schließlich soll das Modellverfahren auf einen Abschnitt am Mittelrhein angewendet werden. Die Eingangsdaten kommen aus Videobeobachtungen der BAW. Die beobachteten Verkehrsbehinderungen können dann mit den Modellierungsergebnissen verglichen werden.

Laufzeit des Vorhabens von 2001 bis 2016.

5 Literatur

Treiber, M., Kersting, A. (2010): Verkehrsdynamik und -simulation. Springer-Verlag.
Fischer, N., Treiber, M., Söhngen, B. (2014): Modeling and simulating traffic flow on inland waterways. PIANC Weltkongress, San Francisco, Juni 2014.

6 Veröffentlichungen

-/-

Mindestabstände Schiff-Sohle zur Vermeidung von Steinschlägen

Netzplan-Nr.: A39530410037

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. B. Söhngen Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Bei einer grobkörnigen Gewässersohle können bei kleinen Flottwassertiefen Sohlpartikel vom Schiffspropeller angesaugt werden und ihn dadurch beschädigen. Das Mindestflottwasser, mit dem Steinschlag Schäden vermieden oder zumindest begrenzt werden können, stellt eine wichtige Eingangsgröße bei der Dimensionierung von Sohlsicherungsmaßnahmen dar.

In den vergangenen Jahren wurden bereits an einigen Forschungsinstituten Untersuchungen zu diesem Thema durchgeführt. Bisher konnte aber noch kein befriedigender Ansatz für eine Bestimmung bzw. die Bewertung des potentiellen Steinschlags infolge des Ansaugens durch einen Schiffspropeller gefunden werden. Eine genauere Beschreibung und Berechnung dieses Problems ist aber aufgrund der größer werdenden Tiefgänge und damit der stärkeren Nutzung der Tiefenverhältnisse, der stärker werdenden Motorisierung der Schiffe und des daraus resultierenden Anstiegs der Tendenz zum Ansaugen von Steinen von großem Interesse.

1.2 Bedeutung für die WSV

Das Mindestflottwasser bestimmt in Kanälen die erforderliche Kanalwassertiefe bzw. in einem natürlichen Fluss, der z.B. mit einer Grobkornanreicherung gegen Erosion geschützt werden soll, bei vorgegebener Wassertiefe die mögliche Abladetiefe. Die Steinschlagproblematik hat somit Einfluss auf die volkswirtschaftlichen Kosten bzw. Nutzen einer Wasserstraße.

1.3 Untersuchungsziel

Ein grundlegendes Untersuchungsziel besteht in der Klärung der Randbedingungen, bei denen Steine angesaugt werden („Tornado“-Phänomen), um bestehende Ansätze zur Prognose der Ansaugwahrscheinlichkeit zu verifizieren bzw. zu verbessern. Langfristiges Ziel des Vorhabens ist es, die in der BAW entwickelten Verfahren zur Befahrbarkeitsanalyse im Hinblick auf den Aspekt Steinschlagsschäden weiter zu entwickeln. Dadurch sollen insbesondere Prognosen zur Ermittlung praxisnaher Abladetiefen verbessert werden. Dabei ist der betriebswirtschaftliche Nutzen größerer Abladetiefen, insbesondere bei Niedrigwasser, den möglichen Schäden an den Schiffspropellern, gegenüber zu stellen, um die Entscheidung der Schiffsführer nachzuvollziehen.

2 Untersuchungsmethoden

Zur Vertiefung theoretischer Grundlagen zum Ansaugen von Steinen durch Schiffspropeller und verbesserten Prognosen von Mindestabständen zur Vermeidung von Steinschlägen wurden Sondierungsgespräche mit dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der Universität Braunschweig durchgeführt, um nach abschließenden Untersuchungen zum Forschungsvorhaben „Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle“ (Netzplan-Nr.: A39530410038) mit der vorhandenen Versuchseinrichtung weiterführende Untersuchungen zum vorliegenden Forschungsvorhaben durchzuführen. Hierzu wurde vom LWI ein Angebot unterbreitet, das die nachstehenden Bearbeitungsschwerpunkte beinhaltet:

1. Literaturrecherche und Analyse der bisher durchgeführten Modell- und Naturversuche
2. Bestimmung der Randbedingungen für die „Tornado“-Entstehung
3. Untersuchung des Tornadoströmungsfeldes in der Manöversituation mit unterschiedlichen Schiffspropellern
4. Transportweg und Menge des angesaugten Sohlmaterials - Manöverversuche

5. Untersuchungen zum Einfluss von Strömung und Fahren

3 Ergebnisse

Die bisherigen Erkenntnisse stützen sich überwiegend auf Modelluntersuchungen am DST in Duisburg und Naturuntersuchungen zum Zusammenhang von Mindestflottwasser und Ansaugbeginn sowie zu den Propellerschäden bei angesaugten Steinen. Hieraus konnte ein vereinfachtes Modell für die Ansaugwahrscheinlichkeit und die Schadensakkumulation bei bestimmten schiffahrtlichen und sedimentologischen Randbedingungen entwickelt werden. Obwohl es nunmehr durch das Verfahren BSquat möglich wird, die wichtigsten Eingangsgrößen zur Ermittlung der Ansaugwahrscheinlichkeit, das Flottwasser, die Schiffsgeschwindigkeit und die Propellerdrehzahl eines Binnenschiffes bei gegebener Abladetiefe und praxisüblichem Leistungseinsatz der Antriebsorgane realitätsnah zu berechnen, sind Prognoseberechnungen der Ansaugwahrscheinlichkeit und des damit verbundenen Schadenspotenzials, wegen der noch nicht verifizierten Ansätze derzeit nicht verlässlich möglich. Dies vor allem deshalb, weil immer noch nicht vollständig geklärt ist, welcher Mechanismus das Ansaugen der Steine tatsächlich auslöst. Um diese Frage abschließend zu klären, sind die im Punkt 2 angeführten Modellversuche am Leichtweiß-Institut der Universität Braunschweig (LWI) vorgesehen. Diese Untersuchungen wurden jedoch zugunsten des Vorhabens A39530410038, das wegen seines Bezugs zu laufenden Aufträgen zügig zum Abschluss gebracht werden soll, zeitlich zurückgestellt.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Der Beginn der experimentellen Untersuchungen im Ansaugbereich von Schiffspropellern am LWI ist nach Abschluss des Vorhabens A39530410038 ab Juli 2014 vorgesehen.

Laufzeit des Vorhabens von 2001 bis 2015.

5 Literatur

Maaß, D. , Söhngen, B. (2008): Ruderquer- und Längskräfte für Düsenpropeller - Berechnungsansätze und Kalibrierung anhand von Modellversuchen des DST (Bericht 1889). 1. Praxisbericht für das BA – Studium von Herrn Maaß in Karlsruhe. BAW-intern, Dezember 2008.

Wassermann, S., Söhngen, S., Dettmann, T., Heinzemann, C. (2010): Untersuchungen zur Bestimmung von Fahrrinnenmindestbreiten für Binnenwasserstraßen. PIANC-Kongress Liverpool (mit Widerstandsformel).

6 Veröffentlichungen

-/-

Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässersohle

Netzplan-Nr.: A39530410038

Projektleiter: Dipl.-Ing. D. Spitzer, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: detlef.spitzer@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Infolge immer größerer und stärker motorisierter Fahrzeuge gewinnt die Belastung von Gewässersohle und -ufer durch Schraubenstrahlen auf vielen Bundeswasserstraßen an Bedeutung und kann die Bemessung von Deckwerken maßgebend bestimmen. Unsicherheiten bei der Anwendung vorliegender Verfahren zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen auf Schraubenstrahlbelastungen gaben Anlass dazu, den Kenntnisstand über hydraulische Belastungen der Wasserstraße durch Propulsionsströmungen grundlegend aufzuarbeiten. Dies erfolgte im Rahmen des FuE-Projekts in enger Zusammenarbeit der BAW mit dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der TU Braunschweig zunächst auf Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche und der Auswertung vorliegender Messdaten. Die Analysen führten zu neuen Berechnungsansätzen für die zeitliche Entwicklung des Schraubenkolks und die Endkolkentiefe. Mit diesen kann die schraubenstrahlinduzierte Kolkentiefe mit einer höheren Genauigkeit und in einem größeren Gültigkeitsbereich prognostiziert werden als mit bisherigen Ansätzen, allerdings zeigte sich ein erheblicher Forschungsbedarf. Um bestehende Unsicherheiten bei der Beschreibung der Wirkungen von Schiffsantrieb, Heckform und Ruderausbildung auf die Strahlausbreitung, bei der Bestimmung des sohnahen Strömungsfeldes und der Sohlenschubspannung sowie in der Erfassung der zeitlichen Entwicklung des Kolks in unterschiedlichen Sohlenmaterialien zu minimieren, sind weiterführende physikalische Modelluntersuchungen erforderlich.

Die durch den Schraubenstrahl induzierte Sohlenerosion ist ein sehr komplexer Vorgang und daher durch einfache analytische Ansätze nur schwer zu erfassen. Ein Lösungsweg zur Verbesserung und Erweiterung vorhandener semiempirischer Berechnungsmethoden zum Einfluss des Schraubenstrahls auf die Stabilität von Sohlen- und Ufersicherungen wird in der Entwicklung geeigneter Modelle für zeitabhängige turbulente Strömungen in Verbindung mit hocheffizienten Verfahren gesehen. Die numerische Behandlung komplexer Geometrien und Strömungen ist gegenwärtig aufgrund der hohen Rechenzeiten mit konventionellen CFD-Verfahren nur begrenzt möglich. Innovative mathematische Modellverfahren wie z. B. die Lattice-Boltzmann-Methode (LBM) aus der Gasdynamik erfordern durch ihre Eignung für massiv-parallele Hardware (insbesondere General Purpose Graphics Processing Units, sog. GPGPUs) deutlich weniger Rechenzeit. Um ihre Anwendbarkeit für die Simulation der Schraubenstrahlausbreitung und der resultierenden Sohlenerosion nachzuweisen, werden im Rahmen des Projekts Validierungs- und HN-Berechnungen am Institut für rechnergestützte Modellierung im Bauingenieurwesen (iRMB) der TU Braunschweig durchgeführt.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Untersuchungen führen zu einer Verbesserung der bestehenden Berechnungsverfahren zum Einfluss von Schraubenstrahlen auf die Sohlenerosion, die u. a. Eingang finden in die von der BAW für die Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen entwickelten Software GBBSOFT. Zudem können die Messdaten aus experimentellen Untersuchungen für die Kalibrierung und Weiterentwicklung von numerischen Verfahren herangezogen werden. Das Fernziel besteht im Einsatz eines geeigneten numerischen Verfahrens als Schnittstelle zum Softwarepaket GBBSOFT, wodurch die Erweiterung und Verbesserung von analytischen Ansätzen für die Schraubenstrahlbelastung ermöglicht werden kann.

1.3 Untersuchungsziel

Die bereits in experimentellen Untersuchungen am stationären Schiffsmodell mit zwei untersuchten Propeller-Ruder-Anordnungen registrierte Kolkentwicklung war im Verlauf der weiterführenden Untersuchungen des LWI im Berichtszeitraum näher zu analysieren, um vom Hinterschiff, der Schiffsschraube,

der Düse, dem Ruder und der Sedimentkorngröße ausgehenden Einflüsse auf die Kolkgeometrie parametrisieren zu können. Die aufbereiteten Versuchsergebnisse zur Kolkentwicklung waren in einem Abschlussbericht zusammenzufassen und den vom LWI zuvor erarbeiteten semiempirischen Ansätzen zur Kolkentwicklung gegenüberzustellen. Zur Ermittlung der Geschwindigkeitsverteilung im Schraubenstrahl und der sohlennahen Strahlgeschwindigkeiten waren Messungen mittels „Particle Image Velocimetry“ (PIV) in Versuchen über einer festen Sohle bei Variation von Schiff-Propeller-Ruderkonfigurationen durchzuführen. Zielstellung dieser Untersuchungen war auch die Ermittlung der Turbulenzeigenschaften der induzierten Strahlströmung.

Abschließende hydronumerische Validierungsberechnungen am iRMB zum Naturversuch am Wesel-Datteln-Kanal von 2005 mit dem Lattice-Boltzmann-Verfahren verfolgten die Zielstellung, eine genauere Analyse der Schraubstrahldynamik zum vorherigen hochaufgelösten Simulationslauf unter Verwendung des Smagorinsky-Ansatzes mit einem verbesserten Turbulenzmodell (CLB) zu ermöglichen. Zu dieser weiterführenden Validierung war die zeitliche Mittelung des Strömungsfeldes in den GPGPU-Kernels zu integrieren.

2 Untersuchungsmethoden

Experimentelle Untersuchungen

Die Erfassung der Kolkentiefe und -geometrie im Sand- und Kiesbett für Manövriersituationen am stationären GMS-Hinterschiffsmodell (Gesamtabmessungen in der Natur: 110 m Länge, 11,45 m Breite) im Maßstab 1:16 erfolgte mit Stechpegeln und zeitlich hoch aufgelöst mit Ultraschallsonden. Das PIV-Messsystem zur Ermittlung des räumlichen Geschwindigkeitsfeldes der Propulsionsströmung hinter dem Schiff besteht im Wesentlichen aus einer Belichtungseinheit, einer bildverstärkten Hochgeschwindigkeitskamera, einem Steuerungs-PC zur Datenaufzeichnung und Auswertung sowie dem sog. Sequenzer zur Synchronisierung des Messsystems. Das Messprinzip beruht darauf, die Geschwindigkeit im Wasser enthaltener Partikel (Tracer) mittels Auswertung von jeweils zwei kurzzeitig hintereinander aufgenommenen Bildern anhand ihrer zeitlichen Verschiebung innerhalb einer erzeugten dünnen Lichtschnittebene zu bestimmen. Als Alternative zu üblichen laser-basierten Belichtungssystemen wird in den Untersuchungen am LWI als Belichtungssystem eine am Institut für Hydromechanik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) entwickelte LED-Linienbeleuchtung (LED-Array) verwendet.

Dreidimensionale hydronumerische Simulation der Schraubstrahlausbreitung

Dem Simulationsmodell liegt ein Lattice-Boltzmann(LB)-Verfahren in einer neuentwickelten Cascaded-Lattice-Boltzmann(CLB)-Variante zugrunde, das als implizites Grobstruktur-Turbulenzmodell alternativ zu Smagorinsky-Ansätzen am iRMB weiterentwickelt wurde. Als geometrische Randbedingungen wurden die Schiffsgeometrie mit Antrieb (Propeller, Düse mit Spoiler, Doppeleruder) und die vertikale Begrenzung durch die Wasseroberfläche sowie eine feste glatte bzw. raue Sohle mit einer Rauheit von etwa 20 cm berücksichtigt. Die Bewegung der Schiffsschraube wurde durch eine Geschwindigkeitsrandbedingung (Impulsscheibe) modelliert. Die radiale und tangentielle Geschwindigkeitsverteilung wurde aus dem zuvor im Rahmen der Projektbearbeitung durchgeführten hoch aufgelösten Simulationslauf mit dem drehenden Propeller übertragen. Zur weiteren Beschleunigung der Berechnung wurde eine Verringerung der räumlichen Auflösung des Rechengebietes durch die Herabsetzung der Anzahl der Gitterpunkte und die Verwendung von Grafikprozessoren (GPGPUs) vorgenommen (Krafczyk, M. (2012)).

3 Ergebnisse

Die **experimentellen Untersuchungen** bestätigten, dass der durch einen Schraubenstrahlgriff hervorgerufene Erosions- bzw. Kolkvorgang durch eine Vielzahl von Einflussgrößen bestimmt wird und somit äußerst komplex ist. Wird, wie unter den vorliegenden Randbedingungen, vereinfachend die Sohlenerosion infolge eines an der Stelle verharrenden Einschraubers ohne den Einfluss aus Strömungen und seitlichen Begrenzungen analysiert, so ergeben sich neben den von der Hinterschiffs- und Rudergeometrie ausgehenden Wirkungen als maßgebende Parameter für die Kolkbildung die induzierte Strahlgeschwindigkeit, der Propellerdurchmesser, der Abstand der Propellerachse von der Sohle, der Korndurchmesser und ggf. die Dichte des Sediments (Geisenhainer, P., Aberle, J., Spitzer, D., Söhngen, B. (2013)). Bei der Vielzahl von Variationsmöglichkeiten der Versuchsparameter führten die durchgeführten Untersuchungen teilweise zu unerwarteten Resultaten, die nicht im Einklang mit früheren Darstellungen in der Literatur stehen. Ein Versuch, die zeitliche Kolkentiefe mit drei vom LWI im Verlauf der Projektarbeit

entwickelten Verfahren sowie einem bekannten Verfahren aus der Fachliteratur umfassend zu beschreiben, gelang aufgrund des vorstehend dargelegten Sachverhaltes nicht. Zufriedenstellende Kolkentwicklungsprognosen sind mit den verfügbaren Ansätzen gegenwärtig nur bei einer reduzierten Anzahl von Einflussgrößen sowie in einem eingeschränkten Gültigkeitsbereich möglich (LWI (2013)).

Die Anwendung des 2D-PIV-Verfahrens ergab, dass die Auswertung des Geschwindigkeitsfeldes eines Schraubenstrahls in größeren Abständen von der Propellerebene mit dem gewählten Messsystem infolge der hohen turbulenten Schwankungen relativ zu den zeitlichen Mittelwerten der Geschwindigkeiten, d. h. infolge des mit dem Abstand zunehmenden Turbulenzgrades im Schraubenstrahl, problematisch ist. Zufriedenstellende Ergebnisse ließen sich daher nur im unmittelbaren Nahbereich der Propellerebene erzielen. Die physikalischen Randbedingungen setzen dem verwendeten Messsystem Grenzen in der Anwendung, da mit der Hochgeschwindigkeitskamera zwar Bildfolgen mit einer Frequenz von maximal 1000 Hz aufgenommen werden können, die Anzahl der Bilder jedoch aufgrund der verwendeten Messkarte begrenzt blieb (LWI (2013)).

Trotz der im Vergleich zu früheren **hydro-numerischen (HN)-Berechnungen** deutlich reduzierten Diskretisierung führt die reduzierte Gesamtgebietsgröße zu einer großräumigen Oszillation. Bevor endgültige Aussagen im Vergleich zum hochaufgelösten CPU-Lauf unter Verwendung des Smagorinsky-Modells getroffen werden können, war eine zeitliche Mittelung der Geschwindigkeiten vorzunehmen. Bei dieser Bearbeitung haben sich Verzögerungen aus technischen Gründen ergeben. Im Zuge der Implementierung des Strömungslösers auf einer GPU wurde die Gittergenerierung völlig neu implementiert und damit deutlich robuster gemacht, da in der ursprünglichen Version bei den für die GPUs vorgesehenen größeren Gittern numerische Artefakte an einigen Gitterübergängen auftauchten. Infolge der Zusatzarbeiten bei der Gittergenerierung konnten die noch ausstehenden statistischen Auswertungen im Berichtszeitraum noch nicht abgeschlossen werden.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die komplexen Zusammenhänge der Kolkbildung durch Propellerstrahlen und messtechnische Probleme bei der Anwendung des 2D-PIV-Verfahrens erfordern weitergehende experimentelle Untersuchungen am LWI mit dem Ziel, eine semi-empirische Methode zur Kolkiefenbestimmung infolge eines Schraubenstrahlgriffs zu entwickeln. Die Experimente beinhalten ausgewählte Zusatzuntersuchungen zur Kolkbildung und zum Einfluss des Schiffsrumpfes auf den Schraubenstrahl. Als alternatives Messverfahren zur PIV erfolgen im LIW die Geschwindigkeitsmessungen im Schraubenstrahl mit ADV-Sonden. Der Abschluss der Untersuchungen erfolgt Ende August 2014.

Verzögerungen bei abschließenden Validierungen von LBM-Berechnungen zu experimentellen Schraubenstrahluntersuchungen traten infolge technischer Detailprobleme bei Gitterverfeinerung an der Schiffswand auf, die bei den hohen Reynoldszahlen zu Artefakten führten. Die Behebung des Problems wird derzeit mit einem verbesserten Ansatz für die Haftrandbedingung verfolgt. Die Validierung des Ansatzes und Durchführung der noch ausstehenden Berechnungen soll Ende März 2014 erfolgen.

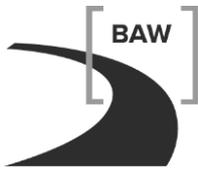
Laufzeit des Vorhabens von 2001 bis 2014.

5 Literatur

Krafczyk, M. (2012): Bericht zur Durchführung von Validierungs- und HN-Berechnungen zur Untersuchung der Schraubenstrahlausbreitung hinter einem stationären Großmotorgüterschiff mit dem Lattice-Boltzmann-Verfahren unter Verwendung von GPGPUs. Consultant Computational Engineering, Braunschweig.

Geisenhainer, P., Aberle, J., Spitzer, D., Söhngen, B. (2013): Experimentelle Untersuchungen zur Kolkbildung durch Propellerstrahlen. KW – Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 5, 262–269.

LWI (2013): Modellversuche zur Kolkbildung infolge eines Schraubenstrahlgriffs in einer Manövriersituation. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Bericht Nr. 1041, TU Braunschweig.



LWI (2013): Physikalische Untersuchungen des Geschwindigkeitsfeldes in einem schraubenstrahl.
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Bericht Nr. 1045 (Entwurf), TU Braunschweig.

6 Veröffentlichungen

-/-

Ermittlung notwendiger Fahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt

Netzplan-Nr.: A39530470001 (KLIWAS PJ 4.04)

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. B. Söhngen, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/ Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de, michael.paprocki@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Das Forschungsprogramm KLIWAS des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung soll klimabedingte Änderungen auf Wasserstraßen für den Zeitraum bis 2100 abschätzen. KLIWAS trägt dazu bei, den umweltfreundlichen Verkehrsträger Wasserstraße leistungsfähig zu erhalten und dabei ökologische und ökonomische Aspekte gleichermaßen zu berücksichtigen. Die BAW ermittelt im Teilprojekt 4.04 u. a. am Beispiel der Anpassungsoption der abgestuften Fahrrinne die notwendigen Mindestfahrrinnenbreiten. Im Rahmen der wasserbaulichen Untersuchungen im KLIWAS-Teilprojekt 4.03 wird geprüft, ob durch Reduzierung der Breite der Fahrrinne mit begrenztem Aufwand bei Niedrigwasser durchgängig eine größere Tiefe erreichbar ist.

Technischer Standard bei der Fahrrinnendimensionierung ist die Anwendung von Trassierungsverfahren. Diese sind nach Ergebnissen eines früheren BAW-FuE-Vorhabens nur bei schwach eingeschränktem Fahrwasser und geringen Querströmungsgeschwindigkeiten aussagefähig. Zudem müssen Einflüsse z.B. aus dem „human-factor“ oder starker Turbulenz durch Zuschläge berücksichtigt werden. Hinsichtlich des Verkehrsflächenbedarfs können die Ergebnisse solcher Trassierungen z.T. weit auf der unsicheren Seite liegen.

Die Anwendung von Schiffsführungssimulatoren haben diese Einschränkungen generell nicht. Einflüsse aus instationärer Turbulenz oder extrem eingeschränkter Fahrwasserverhältnisse in Tiefe oder/und Breite führen allerdings auch diesen genauen Verfahren immer noch an ihre Grenzen. Deshalb und vor allem wegen des großen Aufwandes zur statistisch angemessenen Berücksichtigung des „human-factor“ durch eine entsprechend große Anzahl von Simulatorfahrten mit verschiedenen Schiffsführern werden im Rahmen des vorliegenden KLIWAS-Projektes sowohl empirische Methoden, die möglichst nahe an Messwerten zum Verkehrsflächenbedarf bleiben und deterministische Simulationsverfahren mit Autopilotierung eingesetzt. Die letzteren vor allem deshalb, weil sie einen direkten Variantenvergleich ermöglichen, der diesbezüglich nicht von „human-factor“-Effekten überprägt ist.

Hierzu dient das experimentelle fahrdynamische Modell PeTra2D, das die BAW zusammen mit der Universität Rostock entwickelt hat. Es ist der Lage, den Verkehrsflächenbedarf im seitlich und tiefenmäßig begrenzten Fahrwasser mit begrenztem Aufwand für verschiedene Fahrzeuge realistisch abzubilden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Um die volkswirtschaftlichen und ökologischen Vorteile der Binnenschifffahrt als Verkehrsträger zu erhalten, muss die WSV geeignete Maßnahmen für den Fall treffen, dass extreme Wasserstände zukünftig tatsächlich häufiger eintreten und länger andauern. Da die Effizienz vieler Anpassungsoptionen stark von der angestrebten Fahrrinnenbreite abhängt, sind nicht nur aus wirtschaftlichen Gründen, sondern auch aus Gründen der Sicherheit zuverlässige Modellprognosen notwendig. Die geplanten Modellverbesserungen, die Auswertungen von Naturdaten im Rahmen von KLIWAS und die resultierenden Empfehlungen für Anpassungsoptionen bedienen gleichzeitig Fragestellungen der Projektgruppe „Abladeoptimierung Mittelrhein“.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des Projektes ist es, Mindestbreiten der Fahrrinne für eine sichere und leichte Schifffahrt in Abhängigkeit verschiedener zukünftig möglicher hydrologischer und nautischer Bedingungen, Flotteneigenschaften, Informationssysteme und flussbaulicher Anpassungsoptionen am Beispiel der abladebeschränkenden Tiefenengpässe des Mittelrheins zwischen Mainz und St. Goar abzuleiten. Weiteres Ziel ist,

nachzuweisen, dass die am Mittelrhein entwickelte und erprobte Systematik zur Ableitung von Mindestbreiten zur Anwendung auf andere Wasserstraßenabschnitte übertragbar ist.

2 Untersuchungsmethoden

Die erforderlichen Mindestbreiten werden mit Hilfe von Naturdaten und fahrdynamischer Modelle bestimmt. Diese müssen die Instabilität des Schiffspfades, die verminderte Ruderwirkung bei geringen Wassertiefen, den Einfluss moderner Steuereinrichtungen, Autopiloten und verbesserte Informationssysteme auf zukünftigen Schiffen berücksichtigen. Der Einfluss von menschlichen Fähigkeiten und einer evtl. Häufung von Fahrfehlern aufgrund der erhöhten Anforderungen an den Schiffsführer unter Engpassbedingungen ist gleichfalls zu berücksichtigen. Hierfür werden derzeit überwiegend semi-empirische Ansätze auf Basis von Naturdaten angewendet. In einem weiteren Schritt ist die Entwicklung eines „human-factor“-Modells in einem Autopiloten, der die zweidimensionalen fahrdynamischen Modelle steuert, vorgesehen. Die um den „human-factor“ erweiterte Autopilotierung soll künftig statistisch vergleichbare Simulationen für verschiedene denkbare Zukunftsszenarien und für verschiedene Anpassungsoptionen ermöglichen. Sie soll so eine Entscheidungsgrundlage für die Konzeption zukünftiger Maßnahmen liefern.

Das oben erwähnte semi-empirische Modellverfahren (EMP) beruht auf einer Vielzahl von Messdaten ausgewählter Fahrzeuge, deren Kurswege, Schiffsgeschwindigkeiten, Quer- und Drehbeschleunigungen und Fahrspurbreiten aufgezeichnet wurden. Diese Daten werden geometrisch und spektralanalytisch hinsichtlich deterministischer und zufälliger, turbulenzbedingter und dem „human-factor“ zugeordneter Zusatzbreiten ausgewertet. Aus der Analyse dieser Daten werden semi-empirische Gleichungen z.B. zum Einfluss der Instabilität des Schiffspfades und der Reaktion der Schiffsführer auf die Zusatzbreiten abgeleitet. Diese Ansätze werden genutzt, um, aufbauend auf den Messdaten, die Mindestbreiten für nicht beobachtete Randbedingungen hinsichtlich Größe der Schiffsgefäße oder Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Wasserstände abzuleiten. Darauf folgen dann, letztlich abgeleitet aus Naturdaten aus dem Projektgebiet, die gesuchten Mindestbreiten.

Diese Methodik kann auch auf andere Wasserstraßen angewendet werden. Der zugehörige Aufwand ist begrenzt, da die Naturdaten durch Dauermessungen, ohne dass eine Messmannschaft auf den Fahrzeugen zugegen sein muss, erhoben werden können. Auch die Analyse der Daten konnte weitgehend automatisiert werden. Voraussetzung zur Anwendung der Verfahren, ist die Verfügbarkeit mehrdimensionaler numerischer Strömungsmodelle, um z.B. den Einfluss von Querströmungen analysieren zu können.

3 Ergebnisse

Auf Grundlage der in den vorangegangenen Berichtszeiträumen erhobenen und ausgewerteten fahrdynamischen Naturuntersuchungen, wurde ein vorhandenes Verfahren, welches für Fahrinnenbemessungen am Neckar Verwendung fand, für die Anwendung am Mittelrhein herangezogen und es wurden Anpassungen und Erweiterungen an die hier obliegenden Erfordernisse durchgeführt. Die in den Naturdaten enthaltenen Informationen, die mit den Programmen FAHRDYN (u.a. Kursachsen, Schleppflächen, generell deterministische Anteile der Fahrinnenbemessung) und CfAA (Quer- und Drehbeschleunigungen und daraus ermittelte Zusatzbreiten aus Instabilitäten und „human-factor“) aufbereitet werden, wurden in Verbindung mit 2D-Strömungsgeschwindigkeiten aus den TELEMAT-Simulationen im TP 4.03 zur Bestimmung idealisierter Fahrspuranteile aus Kurvenfahrt, Traversierung und Instabilitäten herangezogen. Durch einen SOLL-IST-Abgleich zwischen Theorie und Messung werden die Formeln zur Ermittlung der Fahrspuranteile kalibriert. Im Ergebnis ergeben sich Mindestbreiten der Fahrinne mit ihrer Streubreite, denn die Prognosen erfolgen auf Basis verschiedener Messfahrten, siehe folgende **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Hierfür wurde auf Grundlage der Messdaten (Auswahl aus je 11 Tal- und Bergfahrten) Prognosen für das genannte Szenarium ermittelt und diese gemittelt.

Für die Aufteilung der aus Naturdaten abgeleiteten Fahrinnenbemessungsanteile (nach Anteilen der Kurvenfahrt, des Vorhaltens gegen Querströmungen, der Abdrift im Querströmungsfeld und des „human-factors“ im Abgleich mit der Theorie), die Extrapolation auf bemessungsrelevante Szenarien, die Durchführung der Mittelung mehrerer Fahrten und die Berechnung von Sicherheitsabständen, wurde eine Nutzeroberfläche entwickelt (Bild 2).

Das Verfahren wird für Anwendungen, die über das KLIWAS-Projekt hinausgehen, konkret zur Bearbeitung eines Auftrages zur Überprüfung der Fahrinnenbreiten am gesamten freifließenden Rhein, stetig weiterentwickelt. Ohne die im Rahmen des FuE-Vorhabens erfolgten Modellentwicklungen wäre dies nicht möglich gewesen.

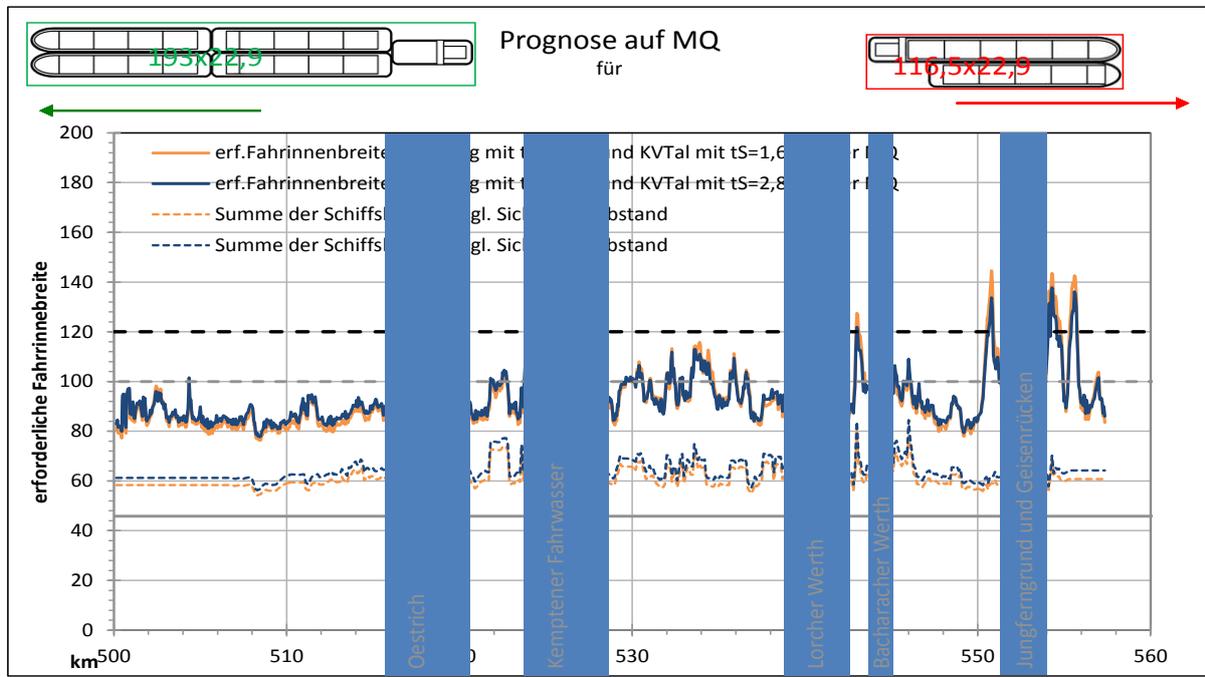


Bild 1: Begegnung eines 4er-Schubverbands zu Berg und eines Koppelverbands zu Tal

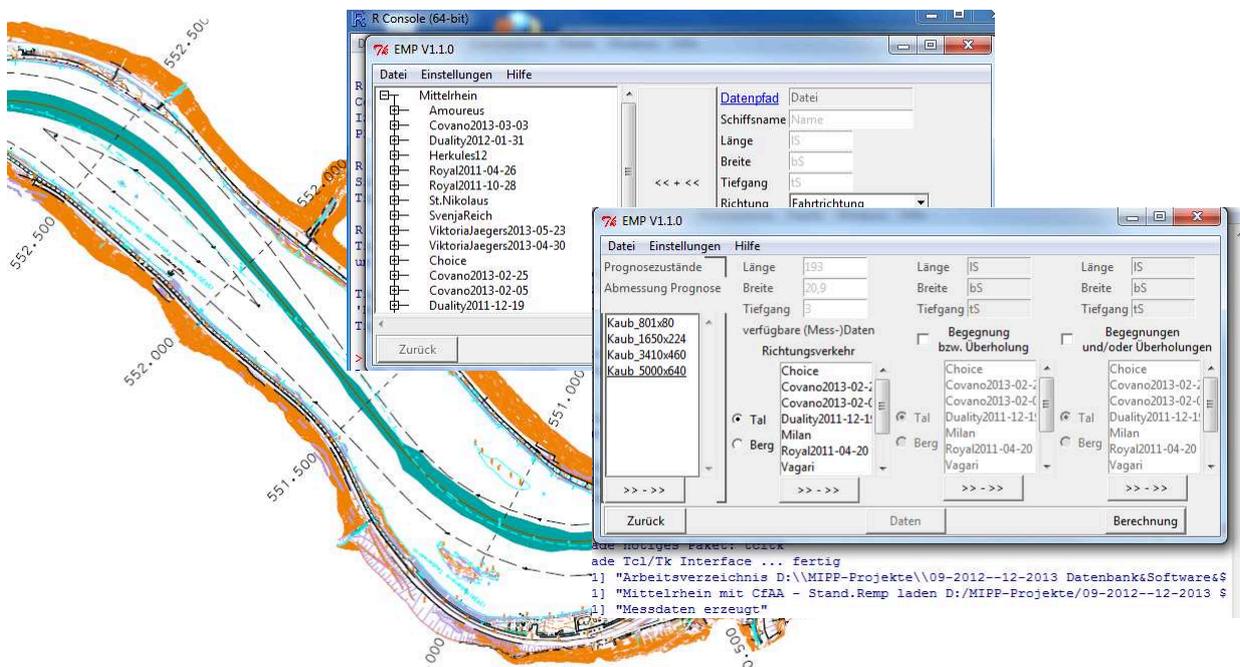


Bild 2: Nutzeroberfläche EMP

Weiter wurden die ermittelten Mindestbreiten aus dem skizzierten semi-empirischen Ansatz mit denen des zweidimensionalen fahrdynamischen Modellverfahrens PeTra2D hinsichtlich der deterministischen Bemessungsanteile an kritischen Engstellen verglichen. Die Übereinstimmung war unter Beachtung des in der Praxis häufig erfolgten Bugrudereinsatzes an Breitenengstellen gut.

Die ursprünglich angedachte Entwicklung eines „human-factor“-Ansatzes im Rahmen eines modifizierten Autopiloten für PeTra2D konnte im TP.4.04 nicht mehr erfolgen, u.a. weil die Modellentwicklung von PeTra2D den Anforderungen nicht Schritt halten konnte. Die Weiterentwicklung dieses Konzeptes ist in den KLIWAS-Folgevorhaben vorgesehen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Entsprechend der genannten Untersuchungsschwerpunkte wurden bis Ende 2013 die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt und im Abschlussbericht des Vorhabens dargelegt:

- Vervollständigung und Auswertung der Naturuntersuchungen zur Validierung, Kalibrierung und Modellverbesserung Konzept und Kodierung zur Modellierung des „human-factor“ im Autopiloten
- Durchführung der Modellrechnungen mit verbesserten Modellen in den Musterstrecken, Ermittlung der erf. Fahrrinnenbreiten und Ableitung von Anpassungsoptionen in Zusammenarbeit mit PJ 4.03
- Sensitivitätsbetrachtungen: Potenzial bessere Infosysteme, optimale Steuerung, flussangepasste Binnenschiffe.
- Prognosen der Mindestbreiten mit dem semi-empirischen Modellansatz
- Entwicklung einer Nutzeroberfläche für das Verfahren EMP
- Weiterentwicklung der Methodik und Anwendung mit Perspektiven für die Nutzung auf anderen Wasserstraßen.

Laufzeit des Vorhabens von 2008 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

- Dettmann, T.; Söhngen, B.: Fahrdynamische Modellverfahren. Vortrag: BAW-Kolloquium „Forschung und Entwicklung im Binnenverkehrswasserbau“. Karlsruhe, 2./3. März 2010. Veröffentlichung: Tagungsband
- Heinzelmann, C.; Söhngen, B.: Von Taktischen Drehpunkt zum Schiffsführungssimulator - Modellverfahren zur Fahrrinnenbemessung. Vortrag: 40. Internationales Wasserbausymposium Aachen (IWASA) „Innovative Methoden und Ansätze in Wasserbau und Wasserwirtschaft“, Aachen, 7. Januar 2010. Veröffentlichung: Tagungsband (Heinzelmann, C.; Söhngen, B.; Dettmann, T.)
- Schmidt, A.: Untersuchungen zu verkehrswasserbaulichen Anpassungsoptionen an extreme Niedrigwassersituationen am Beispiel des Rheins. Vortrag: HTG-Kongress, Würzburg, 7. bis 10. September 2011. Veröffentlichung: Tagungsband (Schmidt, A.; Wurms, S.; Hahne, L.; Söhngen, B.)
- Söhngen, B.; Wassermann S.: Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Schifffahrtsverhältnisse am Rhein. Vortrag: ZKR Kongress „Rheinschifffahrt und Klimawandel – Herausforderung und Chance“, Bonn, 26./27. Juni 2009.
- Söhngen, B.: Investigations to define minimum fairway widths for inland navigation channels. Vortrag: 32. PIANC Congress, Liverpool, Großbritannien, 12. bis 14. Mai 2010. Veröffentlichung: Tagungsband (Söhngen, B.; Dettmann, T.; Heinzelmann, C.)
- Söhngen, B.; Wassermann, S.: Ermittlung notwendiger Mindestfahrrinnenbreiten für eine sichere und leichte Schifffahrt. Vortrag: KLIWAS-Plenum, BfG, Koblenz, 6. September 2010.
- Söhngen, B.: Erforderliche Fahrrinnenbreiten in Flüssen. Vortrag: Workshop zum Thema „Zukunftsorientierte Fahrrinnenparameter für die Wasserstrasse Donau“, Donaukommision, Budapest, Ungarn, 29. September 2010.
- Söhngen, B.: Untersuchung einer Fahrrinne in der Fahrrinne für Teilstrecken des Mittelrheins als einer der möglichen Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel. Veröffentlichung: Tagungsband zum 31. Duisburger Kolloquium Schiffstechnik/Meerestechnik 2010 (erschienen 2011)
- Wurms, S.: Additional navigational width of inland vessels passing cross current fields. Vortrag: Smart Rivers 2011 Conference, New Orleans, Louisiana, USA, 13. bis 16. September 2011. Veröffentlichung: Homepage der Smart Rivers 2011 Conference (http://smart11.pianc.us/ag_techprog.cfm) (Söhngen, B.; Maedel, N.; Hahne, L.; Verdugo, I.; Iribarren, J.)
- Söhngen, B.; Paprocki M.: Mindestbreiten der Fahrrinnen für eine sichere und Leichte Schifffahrt. Schlussbericht Teilprojekt 4.4 Koblenz, 2013 KLIWAS Schriftenreihe

Erweiterung des Binnenschiffsführungssimulators um die Berechnung schiffsinduzierter Wellen und Verbesserung des fahrdynamischen Modells

Netzplan-Nr.: A39530470003

Projektleiter: BOR T. Dettmann, Dipl.-Ing. R. Zentgraf, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich, Fachgruppe Schiffsführungssimulation (W 4), Referat Flusssysteme I (W 1)

E-Mail: thorsten.dettmann@baw.de, rolf.zentgraf@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Ende 2009 wurde durch die Bundesanstalt für Wasserbau für den Bereich Binnenschifffahrt der Schiffsführungssimulator ANS5000 beschafft. Ziel dieser Beschaffung war, diese Simulatoren soweit zu ertüchtigen, dass sie als Werkzeug für die Beantwortung verkehrswasserbaulicher Fragestellungen einsetzbar sind. Im Vorfeld der Beschaffung des Schiffsführungssimulators ANS5000 wurde durch einen international anerkannten Fachexperten eine Analyse hinsichtlich der Möglichkeiten und Grenzen der in Europa vorhandenen Schiffsführungssimulatoren bezüglich der Bemessung von Schifffahrtsstraßen erstellt, die unter anderem zu folgenden Ergebnissen führte:

Stand der Technik bei den Herstellern:

- Von fast allen Herstellern wurde bestätigt, dass in den vorangegangenen Jahren die Verbesserung des Sichtsystems vorrangig betrieben wurde und weniger eine Verbesserung der mathematischen Modelle.
- Viele Simulatoren wurden überwiegend als STCW-konforme (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers) und damit relativ einfache Simulatoren geordert und verkauft.
- Die Entwicklung neuer und verbesserter mathematischer Modelle ist sehr kostenintensiv, was bei dem steigendem Konkurrenz- und Preisdruck nicht durchsetzbar war.
- Bei den kommerziellen Herstellern fehlt in vielen Fällen das notwendige direkte Know-how im Bereich Hydrodynamik/Hydraulik.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aus dem Trend, dass immer größere Schiffe in den vorhandenen Wasserstraßen fahren (überlange Verbände auf dem Rhein, üGMS auf dem Neckar), gewinnen Fragestellungen wie z. B. nach dem Einfluss von Querströmungen auf die Fahrt eines Binnenschiffes, nach der Wechselwirkung Schiff/Schiff bzw. Schiff/Wasserstraße, nach dem Verkehrsflächenbedarf in der Manöverfahrt und nach Squat und Banking immer mehr an Bedeutung. Viele dieser Fragen lassen sich nur noch durch komplexe Simulationen der Schiffsbewegung beantworten, in denen das Schiff durch einen Bahnregler oder durch einen Schiffsführer nach Sicht gesteuert wird.

1.3 Untersuchungsziel

Der in der BAW Karlsruhe vorhandene Schiffsführungssimulator ANS5000 wurde seitens des Herstellers soweit an die Belange der Binnenschifffahrt angepasst, dass die Steuerung des Simulationsschiffes über eine Binnenschiffsbrücke nach Sicht und Radar mit originalen Bedienelementen erfolgt. Alle notwendigen Anzeigeelemente erscheinen generisch auf Bildschirmen und gewährleisten so ein Höchstmaß an Flexibilität, indem die Anzeigeelemente an die unterschiedlichsten Schiffstypen bzw. Untersuchungsziele angepasst werden können.

Die in dem ANS5000 enthaltenen Modellverfahren sollen durch in der BAW entwickelte Verfahren erweitert werden, um den ANS5000 im Zusammenspiel mit den flussbaulichen HN-Modellen zum Werkzeug zur Beantwortung verkehrswasserbaulicher Fragestellungen zu ertüchtigen. Damit soll es möglich werden, insbesondere Manöversituationen wie z. B. Schleusen- oder Hafeneinfahrten, Fahrsituationen mit Wechselwirkung Schiff/Schiff und Schiff/Wasserstraße oder die Durchfahrung von 2D-Strömungsfeldern, die die Fahrt des Schiffes beeinträchtigen, untersuchen und beurteilen zu können.

2 Untersuchungsmethoden

Numerische Methoden:

- Entwicklung von Rudermodellen (Heck- und Bugstrahlruder) basierend auf Ansätzen aus der Seeschifffahrt. Überarbeitung dieser Ansätze mittels Ergebnissen aus Modellversuchen sowie numerischen Berechnungen (BAW (2005), Müller, S.-B.; Tenzer, M. (2009), SNAME (1988/1989), Söding, H. (1986))
- Entwicklung eines Wellenmodells auf Basis der zuerst von Boussinesq 1872 für konstante Wassertiefe veröffentlichte und nach ihm benannten Boussinesq-Wellengleichungen (BoWave 2D) (Schröter, A. (2007-2010))
- Erhöhung der Auflösung des fahrdynamischen Modells des ANS5000 durch Implementierung von in der BAW entwickelten Modellverfahren z.B. durch Erweiterung des Ansatzes von Abkowitz (siehe z.B. Brix, 1993)
- Verbesserung der Kollisionserkennung und -modellierung (z.B. Simulation von Gleitmolen in der Binnenschifffahrt)

Physikalische Methoden:

- Einmessung von fahrenden Binnenschiffen und Aufzeichnung aller Maschinen- und Ruderkommandos mit anschließender Kalibrierung der Schiffsmodelle für den ANS5000 und Erstellung zugehöriger Validierungsdokumente (Cap. Brix, J. (1993))
- Durchführung von Schleppversuchen mit unterschiedlichen Schiffsmodellen inklusive Messung der Kräfte, die auf das Schiff wirken, und Messung der schiffsinduzierten Wellen und deren Ausbreitung.

3 Ergebnisse

Im Jahr 2013 wurden ein sechsgliedriger Großschubverband und das Schubboot in der Alleinfahrt eingemessen. Die Modellierung des Schubverbandes und des Schubbootes sowie aller übrigen eingemessenen Schiffe wurde abgeschlossen. Damit verfügt die BAW inzwischen über 6 Schiffseinheiten unterschiedlicher Abmessungen. Diese Flotte wird im Jahr 2014 erweitert.

Die Umsetzung des Verfahrens BoWave 2D auf eine Grafikkarte sowie die Verifizierung auf der Grundlage von physikalischen Modellversuchen wurden abgeschlossen. Sobald die neue PlugIn-Schnittstelle in Betrieb geht, wird BoWave an den ANS5000 angeschlossen. Eine umfangreiche Validierungsstudie, in der die Versuche mit den Berechnungen aus BoWave verglichen werden, zeigt, dass die schiffsinduzierten Wellen in sehr guter Näherung mit den Ergebnissen aus den physikalischen Modellversuchen übereinstimmen (Bild 1). Die nächsten Entwicklungsarbeiten konzentrieren sich auf die Vorhersage der dynamischen Schwimmelage.

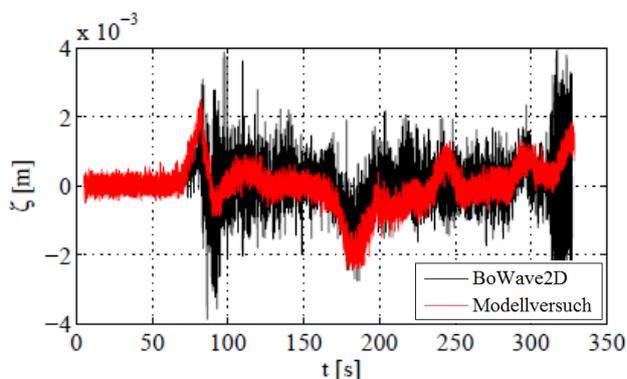


Bild 1: berechneter und im Modell gemessener Wellenhöhen

Von dem Hersteller des ANS5000 wurde in enger Zusammenarbeit mit der BAW die PlugIn-Schnittstelle, mit deren Hilfe neue Modellverfahren in den Simulator integriert werden können, in ihrer Leistungsfähigkeit deutlich erweitert. Gegenwärtig wird die neue Schnittstelle getestet.

Innerhalb des Simulators erfolgt die Kollisionserkennung auf der Grundlage von 4 Tiefenlinien in der ENC. Von diesen aus wird die Entfernung zur Mittschiffsachse bestimmt und die halbe Schiffsbreite abgezogen. Da mit dem Simulator in der BAW die Wirkung von Gleitmolen untersucht werden soll, ist diese Art der Kollisionserkennung zu ungenau. Aus diesem Grund wurde eine Kollisionserkennung durch Vergleich der 3D Geometrie des Schiffes und der Wasserstraße entwickelt.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Laufzeit des Forschungsvorhabens ist von 2010 bis Ende 2016 veranschlagt.

In diesem Zeitraum sind folgende Forschungsaktivitäten vorgesehen:

Entwicklung von Schnittstellen zwischen den Ergebnissen aus den HN-Modellen der BAW und dem ANS5000 (abgeschlossen)
Entwicklung eines Prä- und Postprozessors für das Wellenmodell BoWave, Anbindung an den ANS5000 und Portierung auf einen Grafikkartenrechner zur Reduzierung der Rechenzeiten (Bis Ende 2014)
Verschmelzung fahrdynamischer Modellverfahren der BAW mit den im ANS5000 enthaltenen Verfahren
Modellierung der Wechselwirkung Schiff/Wasserstraße durch die Überführung der Ergebnisse aus dem Modellverfahren BoWave in die Strömungsdatenbasis des ANS5000 (Bis Ende 2014)
Entwicklung, Validierung und Codierung eines Modells zur Berechnung der Kraftwirkung von Bugrunderanlagen (abgeschlossen)
Entwicklung, Validierung und Codierung des Modells zur Berechnung der Kraftwirkung von Heckrunderanlagen (abgeschlossen)
Erweiterung der Kollisionsmodelle des ANS5000, Modellierung von Gleitmolen (Bis Ende 2014)
Entwicklung eines neuen Squat-Modells durch Einführung einer Schwimmbedingung auf der Grundlage der Ergebnisse aus den Verfahren BoWave (Bis Ende 2014)
Modellierung der Ansaugeffekte zum Ufer auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse aus dem Verfahren BoWave und alternativ durch Erweiterung des Ansatzes von Abkowitz [siehe z.B. Brix, 1993]
Entwicklung eines Autopiloten für Manöverfahrt (abgeschlossen)
Durchführung von CFD-Berechnungen (Feldmethoden) zur Kalibrierung einzelner Modellverfahren

Darüber hinaus erfolgt bis Ende 2014 eine Anpassung der peripheren Software zum ANS5000 an die erweiterten Modellverfahren. Die Reihenfolge der Abarbeitung der Aktivitäten richtet sich nach den Anforderungen laufender und eingehender Aufträge aus der WSV.

5 Literatur

- BAW (2005): Abschlussbericht zum FuE Projekt 8154 Einwirkung des Propellerstrahls auf die Gewässerberandung. BAW-Bericht, Karlsruhe
- Cap. Brix, J. (1993): Manoeuvring technical manual, Seehafenverlag Hamburg
- Müller, S.-B.; Tenzer, M. (2009): Ruder- und Bugstrahlruderkräfte (Kurzbezeichnung); Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT); Universität Duisburg-Essen, Bericht Nr.: F-007/2009
- Schröter, A. (2007-2010): Numerische Modellierung schiffsinduzierter Wellen im regulären Projektbetrieb der BAW auf Basis der Boussinesq-Wellengleichungen, Untersuchungsabschnitt 1 bis 4, Bad Sachsa
- SNAME (1988/1989): Principles of naval architecture; Band 1: Stability and strength; Band2: Resistance, propulsion and vibration; Band 3: Motions in waves and controllability
- Söding, H. (1986): Kräfte am Ruder; In: Handbuch der Werften XVIII, S. 47–57

6 Veröffentlichungen

-/-

Integration mehrdimensionaler Modelle in die GBBSoft

Netzplan-Nr.: A39530470004

Projektleiter/in: S. Doychev, Prof. Dr. B. Söhngen, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: Svetlana.Doychev@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die bestehende GBB-Software berechnet die schiffserzeugten Belastungen aus dem Primärwellenfeld, den Sekundärwellen und dem Schraubenstrahl. In Bezug auf die Schiffsförm und die Schiffsgeschwindigkeit basieren die dafür entwickelten Algorithmen auf worst-case-Szenarien. Das Ergebnis liegt somit zwar immer auf der sicheren Seite, ist aber für spezielle Schiffstypen, z.B. mit schlanken Bug- und Heckformen, ungenau. Durch die Einbindung eines mehrdimensionalen Modells, das die Schiffsförm berücksichtigt und flexibel bezüglich der Schiffsgeschwindigkeit ist, wird ein genaueres und detailliertes Ergebnis erwartet. Ein weiterer Vorteil des mehrdimensionalen Modells besteht in der freien Vorgabe der Sohltopografie, was die Berechnung für Kanäle und Flüsse mit nichtregulären Querschnitten ermöglicht.

1.2 Bedeutung für die WSV

Gegenüber der aktuellen Version GBBSoft erlaubt das zweidimensionale Modell genauere Aussagen über die Wellenhöhen und Geschwindigkeiten, insbesondere bei der Fahrt in Gewässern mit einer kleinen Böschungneigung. Des Weiteren wird die Berechnung der Uferbelastungen in nichtregulären Kanal- und Flussquerschnitten möglich. Da die Bug- und Heckform eine entscheidende Rolle bei der Bildung des Wellensystems spielen, besteht ein zusätzlicher Vorteil des Modells darin, dass die Schiffsförm mit in die Berechnung einfließt. Der wirtschaftliche Nutzen der erweiterten Version besteht darin, dass mit genaueren Vorhersagen der Wellenhöhen und der Strömungsgeschwindigkeiten die erforderliche Steingröße nicht mehr überschätzt wird und somit die Materialkosten reduziert werden.

1.3 Untersuchungsziel

Es soll ein numerisches Programm erstellt werden, das in Abhängigkeit vom Kanalquerschnitt, von der Schiffsförm und der Schiffsgeschwindigkeit das Wellenbild eines stationär fahrenden Schiffes berechnet. Dabei werden der Grenzschichteinfluss am Schiff, der Sohlreibungswiderstand und die Schwimmbedingung am Schiff berücksichtigt. Das Endziel des Vorhabens ist eine neue Version der GBBSoft, die die Möglichkeit bietet, schiffserzeugte Wellen und deren Auf- und Rücklauf am Ufer auf einem handelsüblichen PC innerhalb weniger Minuten numerisch zu simulieren und daraus die schiffsinduzierten Uferbelastungen zu ermitteln.

2 Untersuchungsmethoden

Das Modell nutzt für die Wellenberechnung den potentialtheoretischen Ansatz, bei dem das Geschwindigkeitsfeld als Gradient eines Geschwindigkeitspotenzials dargestellt wird. In Übereinstimmung mit der Schlankkörpertheorie wird anstelle vom Schiff eine Verdrängungsrandbedingung gesetzt, die von der Schiffsförm und der Schiffsgeschwindigkeit abhängt.

3 Ergebnisse

In 2013 wurde das validierte Programm ShipWave in den Projektbetrieb einbezogen. In dem Projekt „Beurteilung der Ufersicherung an Wasserstraßen der Kategorie C“ wurde es am stärksten eingesetzt. Dazu wurde eine Reihe von Fallstudien für die typischen Kanalgeometrien sowie Schiffsförm durchgeföhrt. Die ersten Ergebnisse der Fallstudien wurden im Rahmen der Arbeitsbesprechungen im BMVBS sowie auf der Konferenz in Gent, Belgien („Third International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water“) vorgestellt.

Parallel dazu wurden die Definition sowie die Implementierung der Schnittstellen zu GBBSoft begonnen. Dies beinhaltet die Übergabe der Eingabedaten von der Benutzeroberfläche der GBBSoft, sowie die 3D-Darstellung der Ergebnisse von ShipWave in GBBSoft. Das Einlesen und die Bearbeitung der unregelmäßigen Gewässerprofile waren in der ursprünglichen GBBSoft-Version nicht enthalten und musste deshalb konzipiert und ShipWave-konform eingebaut werden. Derzeit sind die beiden Programme in einer vorläufigen Testversion zusammengeführt. Das Bild 1 zeigt die erweiterte Benutzeroberfläche der GBBSoft. Die ersten Tests der Version stehen noch aus.

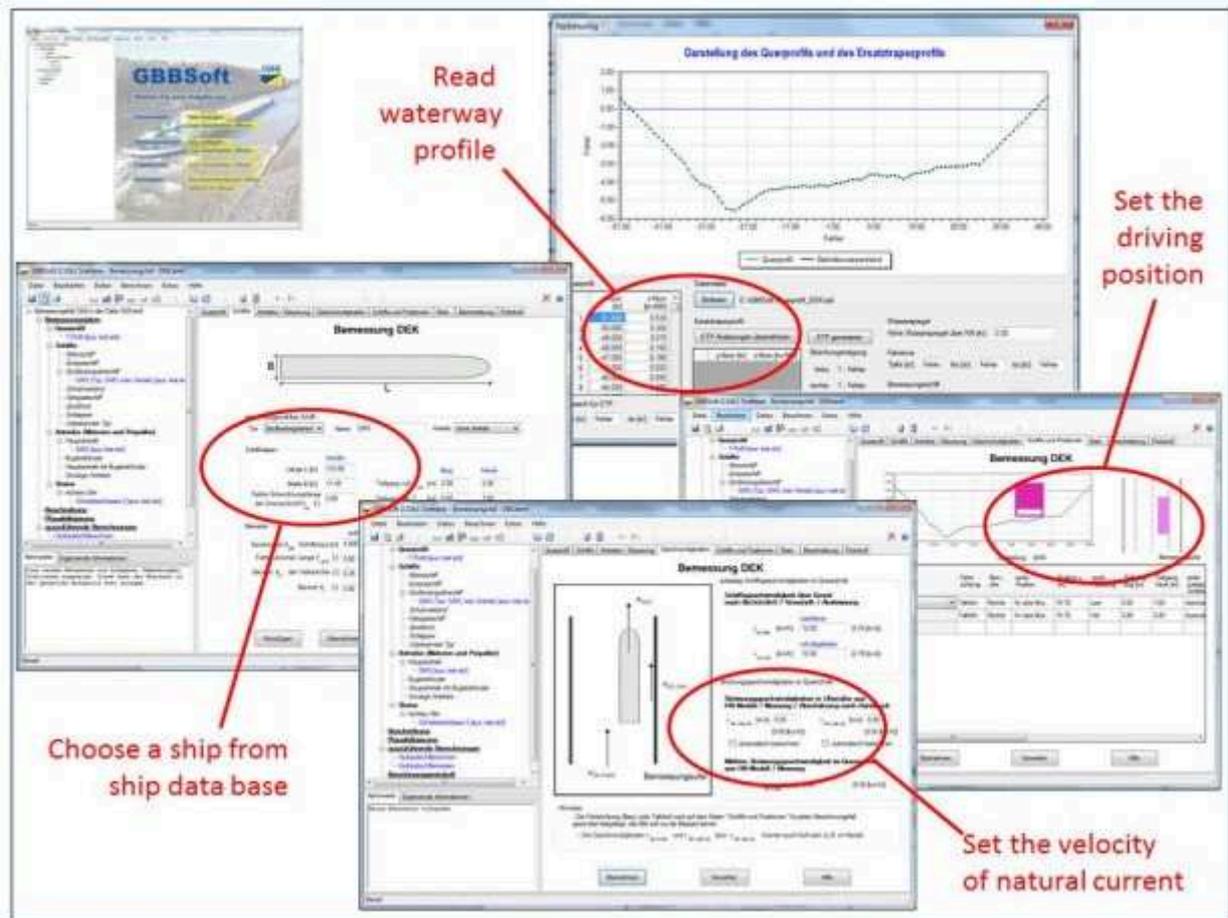


Bild 1: Die erweiterte Bedienoberfläche der GBBSoft

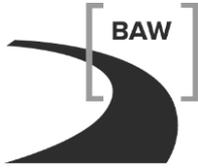
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

In Zukunft soll das Programm ShipWave stärker in den Projektbetrieb sowohl als Stand-alone-tool als auch als Teil der GBBSoft miteinbezogen werden. Auch der Anwenderkreis soll kontinuierlich erweitert werden.

Des Weiteren soll die Einbindung von ShipWave in die GBBSoft fortgesetzt werden. Während der ersten Phase der Einbindung sowie durch Diskussionen mit künftigen Anwendern ergaben sich zusätzliche Anforderungen an das Programm. Zum Beispiel sollen die Schiffe vom Benutzer durch die Wahl der Bug- und Heckform sowie die Vorgabe der Abmessungen definierbar sein. Dies erfordert einen tiefen Eingriff in den Quellcode, da die Gittererstellung stark an die Schiffslänge gekoppelt ist. Deshalb soll das Projekt verlängert werden.

Arbeitsplan für das Jahr 2014:

- Erweiterung des Programms um die Möglichkeit der Erstellung der Schiffe beliebiger Abmessungen
- Tests der neuen GBBSoft-Version (GBBSoft+ShipWave). Bei Bedarf werden Anpassungen des Quellcodes vorgenommen



- Weitere Validierungstests, insbesondere zur Bewegung der Sportboote sind in Planung

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

Xue-Nong Chen, 1999, Hydrodynamics of Wave-Making in Shallow Water, Dissertation, Universität Stuttgart, Shaker Verlag

Doychev, S., Söhngen, B., 'Impact of ship size on induced waves and currents in confined waters', Third International Conference of Ship Maneuvering in Shallow and Confined Water, 2013

6 Veröffentlichungen

-/-

Untersuchungen zur Sohl- und Uferbeanspruchung aus Schlagflächenantrieben

Netzplan-Nr.: A39530470005

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. B. Söhngen, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Schiff/Wasserstraße, Naturuntersuchungen (W4)

E-Mail: bernhard.soehngen@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Schiffspropeller verursachen insbesondere bei kleinen Flottwassertiefen große Sohlbeanspruchungen, die zu Auskolkungen bis hin zur Resuspension von Sohlmaterial führen können. Dies liegt u. a. an der Ausbreitungscharakteristik des drallbehafteten Propellerstrahls, der eine große Erhaltungstendenz aufweist. Es stellt sich deshalb die Frage, ob es alternative Antriebssysteme von Binnenschiffen zu heute üblichen Schiffspropellern gibt, die bei gleichem Schub geringere Sohlbeanspruchungen verursachen und ggf. sogar günstigere Wirkungsgrade aufweisen, um Treibstoffkosten einzusparen. Eine mögliche alternative Antriebsform ist die Schlagfläche. Hierbei muss man sich eine auf- und ab bzw. seitwärts schwingende Fläche vorstellen wie bei der Schwanzflosse eines Delphins oder eines Fisches. Erste Berechnungen und eine umfangreiche Literaturrecherche zeigen, dass Schlagflächenantriebe höhere Wirkungsgrade aufweisen können als herkömmliche Binnenschiffspropeller und voraussichtlich wesentlich geringere Sohlbelastungen verursachen. Diese Aussagen sollen im Rahmen des Vorhabens durch experimentelle Untersuchungen mit einem Schlagflächenroboter gestützt werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Durch den Einsatz von Schiffsschrauben als Standardantrieb von Wasserfahrzeugen können Fundamente von Wasserbauwerken unterspült, Ufer beschädigt und Gewässerböden erodiert werden. Weiterhin leiden Pflanzen und Tier-Populationen in den Gewässern. Alternative Antriebe, wie z.B. Schlagflächenantriebe, können dazu beitragen, die propulsionsbedingten Belastungen zu begrenzen. Weiterhin könnten sie bekannte Nachteile von Schraubenantrieben reduzieren, die bei wechselnden Einsatzbedingungen wie unterschiedliche Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten, Beladungszustände, Fahrt als Einzelfahrzeug oder im Verband, Propellerwirkungsgrade aufweisen, die im Durchschnitt bei 0,3 – 0,5 liegen, obwohl theoretisch Werte bis etwa 0,6 erreichbar wären.

Schlagflächenantriebe haben nach Literaturrecherchen diesbezüglich Vorteile, wenn die Hubbewegungen auf die Fahrtgeschwindigkeit adaptiert werden. Dies zeigen z. B. Untersuchungen u.a. von Anderson (1998) und eigene Ansätze auf Basis der Tragflügeltheorie, die Wirkungsgrade bis ca. 0,8 für erreichbar halten.

2 Untersuchungsziel

Im Rahmen dieses Vorhabens werden experimentelle Untersuchungen zum Wirkungsgrad und zur Sohlbeanspruchung aus einem Schlagflächenantrieb durchgeführt. Die Ergebnisse der Modelluntersuchungen sollen in einen FuE-Antrag münden, mit dem externe Forschungsmittel erschlossen werden. Das BAW-FuE-Vorhaben dient der Vorbereitung dieses Antrags.

3 Untersuchungsmethoden

Zur Durchführung der Experimente wurde am Institut für Wasserbau der Hochschule für Wirtschaft und Technik Karlsruhe mit Unterstützung des Ingenieurbüros Kauppert ein Versuchsstand aufgebaut. Die Versuche werden quasistationär durchgeführt, d. h. das Antriebsorgan ist ortsfest installiert und wird von vorne angeströmt. Die Strömungsgeschwindigkeit entspricht dabei der Schiffsgeschwindigkeit.

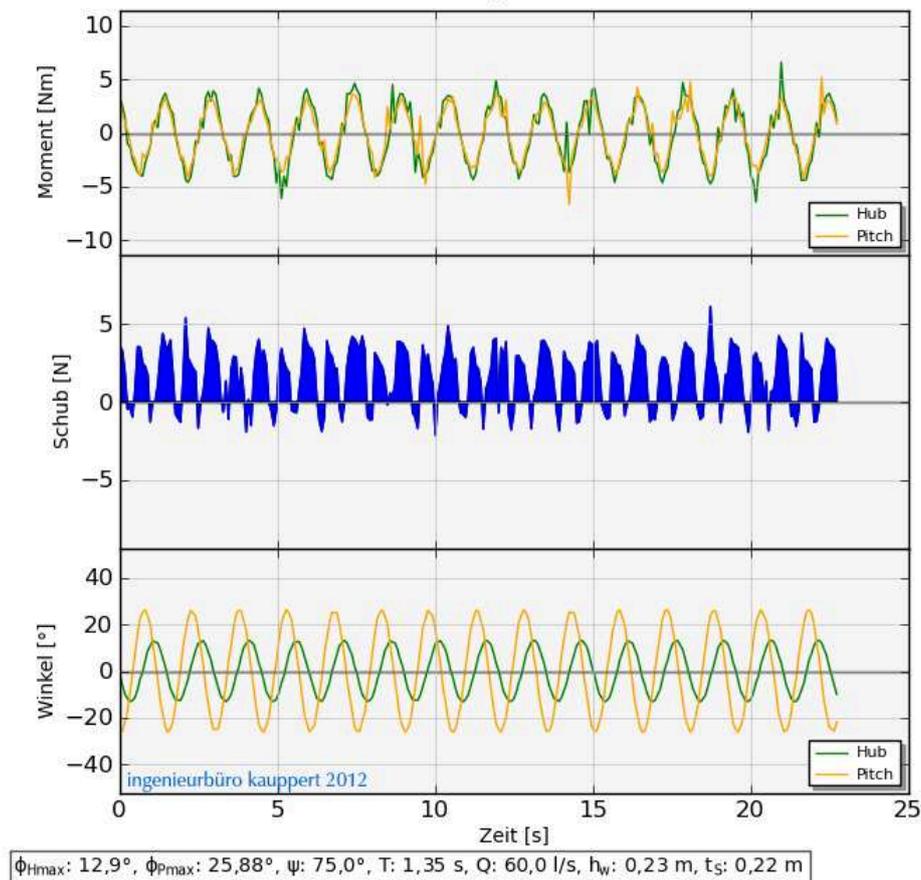
Der Schlagflächenantrieb besteht aus zwei Drehhebeln, die die Hub- (analog zum Schlagen einer Flosse) und Pitchbewegung (analog zur Drehung der Flosse während der Schlagbewegung) nachbilden, wobei die Schwingungsperiode T , die maximalen Hubbewegung (Φ_{Hmax}) und der Pitchwinkel (Φ_{Pmax}) sowie die

Phasenverschiebung (Ψ) zwischen Hub- und Pitchbewegung frei ansteuerbar sind. Am zweiten Hebel ist die Schlagfläche (Flosse) angebracht.

Die Flosse kann bis zu 0,3 m ins Wasser eintauchen. Dadurch kann das gesamte Spektrum denkbarer Streckungen der Schlagfläche variiert werden. Alle Drehkräfte und Drehgeschwindigkeiten sowie der Schub werden gemessen, sodass daraus der mechanische Wirkungsgrad als Verhältnis von Nutz- zu Gesamtleistung berechenbar wird. Die Messungen und Auswertungen werden im Rahmen von Hilfsassistententätigkeiten sowie Bachelor- und Studienarbeiten bei Prof. Eisenhauer durchgeführt.

3 Ergebnisse

Der Schwerpunkt der Modellversuche im Jahre 2013 lag auf der Optimierung der Flossenbewegung für verschiedene hydraulische Randbedingungen (Eintauchtiefe der Flosse, Wassertiefe, Anströmgeschwindigkeit). Dabei konnten die Phasen mit negativem Schub minimiert werden. Dennoch ist insbesondere in den Umkehrpunkten der Bewegung ein negativer Schub unvermeidbar. Dies zeigt das folgende Diagramm für eine Variante, bei der die Flosse nahezu bis zur Kanalsole eingetaucht war. Die Anströmgeschwindigkeit betrug ca. 0,3 m/s. Dennoch konnte ein sehr hoher Wirkungsgrad erreicht werden, wenn gleich der erreichbare Schub insgesamt noch unbefriedigend war.



4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Da nicht auszuschließen ist, dass die Flosse von den starken turbulenten Fluktuationen in ihrer Bewegung unterstützt wurde und deshalb Strömungsenergie aufnahm, sind in einem nächsten Schritt Freifahrtversuche auf einem Baggersee vorgesehen, bei denen der Schlagflächenantrieb auf einem kleinen Boot montiert wird. Hierzu soll eine Stromversorgungseinheit beschafft werden. Aus Messungen des geschwindigkeitsabhängigen Schiffswiderstandes kann dabei die Schubkraft zusätzlich kontrolliert werden. Bei diesen Messungen sind Einflüsse aus dem turbulenten Anströmungsfeld ausgeschlossen.

Erst nach diesen Messungen sind wieder Versuche in der Modellrinne zur Sohlbeanspruchung vorgesehen. Anschließend wird darauf aufbauend ein FuE-Antrag in Kooperation mit dem Bionik-Labor der Hochschule für Wirtschaft und Technik, Karlsruhe gestellt (Prof. Dr.-Ing. **Ramon Estaña**).

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

- Neil Bose (2009): Marine Powering Prediction and Propulsors. Society of Naval Architects.
- Iosilevskii, G., Weihsdoi, D.(2008): Speed limits on swimming of fishes and cetaceans. J. R. Soc. Interface Vol 5.
- Anderson, J. M., Streitlien, K., Barrett, D. S., Triantafyllou, M. S. (1998). Oscillating foils of high propulsive efficiency. J. Fluid Mech.,Vol 360.
- Weiler, C. (2012): Der Schwanzflossenantrieb als alternativer Antrieb von Booten. Bachelor-Thesis, Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft.

6 Veröffentlichungen

-/-

Numerische Modellierung von Transportkörpern (Dünen) in Binnenwasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39530570001

Projektleiterin: A. Goll, Abteilung Wasserbau im Binnenbereich,
Referat Numerische Verfahren im Wasserbau (W5)

E-Mail: annalena.goll@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Form des Gewässerbodens bestimmt nicht nur den hydraulischen Widerstand, Sedimenttransport, Morphodynamik und die Habitatentwicklung. Sie stellt die Schifffahrt mitunter vor große Probleme: Obwohl sowohl Sedimentcharakteristiken, Flussgeometrie und Abfluss bekannt sind, lässt sich der zu erwartende Sedimenttransport und damit die Wassertiefe nur ungenau bestimmen. Die Entwicklung von Transportkörpern wie Dünen und Bänken trägt hierbei eine nicht unerhebliche Teilschuld. Die Wassertiefen der Schifffahrtsstraßen genau zu prognostizieren bzw. zu beeinflussen ist also unverzichtbar. Dies ist einer der Gründe, warum in der Literatur Dünen als wichtigste Sohlform in der praktischen Ingenieurstätigkeit bezeichnet werden.

Zumeist wird in der numerischen Modellierung mittels geschätzter oder gemessener Dünenlänge und -höhe eine angepasste Sohlrauheit berechnet, welche den Einfluss der Transportkörper auf die Strömung abbilden soll. Die Sohlrauheit kann z.B. kumulativ aus der Kornrauheit und der Formrauheit von Riffeln und Dünen berechnet werden. Damit wird eine globale Anpassung der Sohlrauheit vorgenommen. Der sich zeitlich und örtlich ändernden Geometrie der Dünen wird damit gar nicht oder nur ungenügend Rechnung getragen.

Verschiedene jüngere Publikationen berichten von der expliziten Modellierung von Dünen, z.B. Rüther et al (2008) und Nabi (2010). Dabei kommen dreidimensionale RANS-Modelle oder auch LES-Modelle zum Einsatz. In verschiedenen Konferenzbeiträgen (Goll & Kopmann 2012a+b) konnte 2012 gezeigt werden, dass es prinzipiell mit dem in der BAW eingesetzten dreidimensionalen Feststofftransportmodell (FT-Modell) Telemac / Sisyphé möglich ist, die Dünenentstehung und ihre Propagation zu simulieren.

1.2 Bedeutung für die WSV

Eine wesentliche Aufgabe der Abteilung ist die möglichst genaue Berechnung und Vorhersage der morphologischen Entwicklungen infolge von Bau-, Regelungs-, Instandhaltungs- und Geschiebemanagementmaßnahmen an Bundeswasserstraßen für die Beratung der planenden und ausführenden Instanzen der WSV. Eine kontinuierliche Verbesserung der in der BAW eingesetzten Modelle führt zu einer steten Optimierung und einem erweiterten Anwendungsspektrum der Modelle für die Projektarbeit. Langfristig sollen mit Hilfe von numerischen Modellen Dünenänderungen infolge von baulichen oder geschiebewirtschaftlichen Änderungen an den Wasserstraßen prognostiziert werden können. Diese Ergebnisse sind entscheidend für eine möglichst genaue Prognose und Beeinflussung der Wassertiefen.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, die Möglichkeiten der numerischen Modellierung von Transportkörpern / Dünen mittels FT-Modell zu untersuchen. Ausgehend von der These, dass Dünen mit numerischen dreidimensionalen Verfahren direkt (also nicht mit Hilfe von Parametrisierungen) simuliert werden können, sollen die Möglichkeiten und Grenzen zur Dünenprognose mit Hilfe dieser Verfahren abgesteckt werden. Die Validierung der Ergebnisse soll an Messergebnissen aus in der BAW laufenden Rinnenversuchen mit Dünen erfolgen. Die Anwendung der Dünenprognose soll dann an realen Flussmodellen geprüft und ggf. auf die Projektarbeit übertragen werden.

2 Untersuchungsmethoden

Da die Physik der Dünen noch nicht vollständig verstanden ist, sind vergleichende Untersuchungen im Labor unabdingbar. In einer Laborrinne („blaue Rinne“) der BAW finden Untersuchungsreihen zu Dünen

statt. Dabei handelt es sich um Versuche mit bewegter Sohle und verschiedenen Einbauten, und um rein hydraulische Messungen über natürlich geformten, fixierten, unbeweglichen Dünen. Numerisch begleitet können durch diese Experimente sowohl hydrodynamische als auch morphodynamische Modelle validiert werden.

Für die explizite Modellierung von Dünen mittels FT-Modell müssen zunächst die Parameter detektiert werden die Dünenentstehung, Dünenhöhe und Dünenlänge bestimmen. Die Wirkung dieser Parameter muss systematisch untersucht und verstanden werden. Ggf. sind weitere Ansätze zu implementieren und zu testen (z.B. gravitationeller Transport, Turbulenzmodellierung, nicht-hydrostatischer Druckansatz). Da Dünen eine sehr komplexe Hydrodynamik erzeugen, spielen die Auflösung des Gitternetzes sowohl horizontal als auch vertikal, sowie die Turbulenz eine große Rolle. Diesem Umstand sind durch die Wahl von verschiedenen Turbulenzmodellen sowie durch unterschiedliche räumliche und zeitliche Auflösungen bis hin zu LES-Simulationen Rechnung zu tragen. Die Messungen über der fixierten Dünensohle bieten hier eine sehr gute Datengrundlage zur Validierung.

Zum Einsatz kommt das Verfahren Telemac / Sisyphé der EDF (Software), da diese opensource Software eine exzellentes Morphodynamik-Modul beinhaltet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen in einem projektrelevanten Anwendungsfall eingesetzt werden. Wenn möglich, soll dabei eine direkte Dünenmodellierung durchgeführt werden. Andernfalls sind Parametrisierungen abzuleiten, die eine verbesserte Berücksichtigung von Dünen ermöglichen.

3 Ergebnisse

Die aktuellsten Ergebnisse wurden im März des Jahres 2013 auf der MARID IV (Marine and River Dune Dynamics Conference) präsentiert (Goll et al., 2013a). Des Weiteren erschien im Dezember eine Sonderausgabe der Wasserwirtschaft, in der in einem Beitrag ebenfalls die Validierung des morphodynamischen Moduls Sisyphé anhand der Laborversuche mit Dünen dargestellt wurde (Goll et al., 2013b).

Es konnte gezeigt werden, dass ein explizites Modellieren von Dünen und ihren Bewegungen mit Telemac3D und Sisyphé möglich ist. Weiter wurde eine neue Transportformel nach Yang und Lim (2003) sowie eine neue Formel zur Beschreibung der Ablenkung (deviation) im gravitationellen Transport nach Apsley und Stansby (2008) getestet. Die Formeln zeigen gegenüber den Standardformeln (MPM) verbesserte Ergebnisse in Bezug auf Dünenhöhen und -längen sowie Dreidimensionalität (Bild 1). Die Hydrodynamik über eingefroren, natürlichen, dreidimensionalen Dünen konnte ebenfalls gut reproduziert werden (Bild 2). Besonderes Augenmerk wurde hier auf die Abbildung der turbulenten Strömungsparameter gelegt, da diese für Dünenbildung und -transport als essentiell eingeschätzt werden.

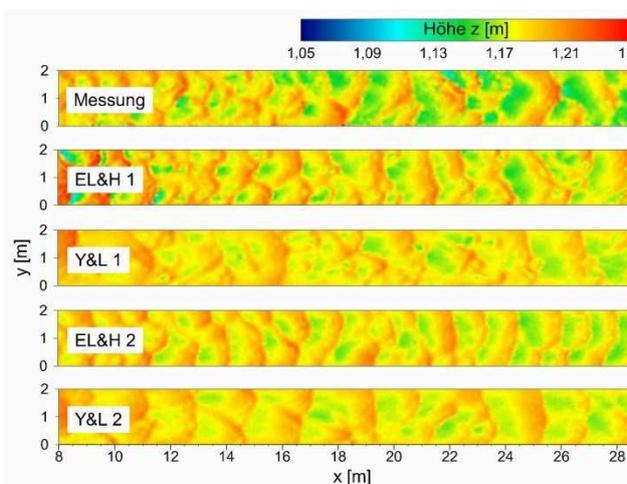


Bild 1: Dünenimulationen im Vergleich zum Modellversuch nach 18h Versuchszeit mit verschiedenen Slope Effect und Deviation Formeln

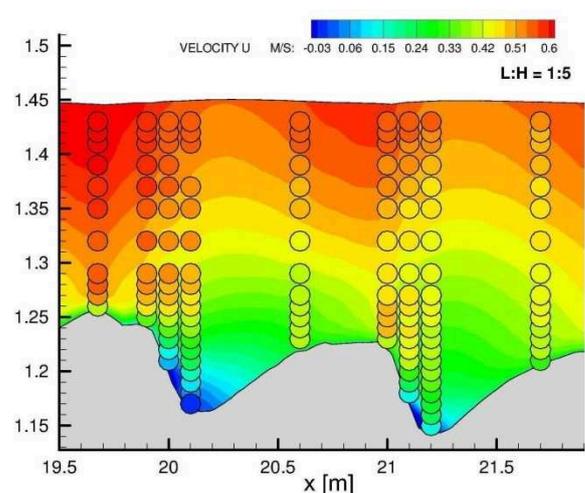


Bild 2: Simulationen der Hydrodynamik (Geschwindigkeit U [m/s]) im Vergleich zu Vectrino II - Messungen (Punkte)

Die turbulente kinetische Energie (TKE) aus den Standardabweichungen der Strömungsmessungen und aus der Simulation (berechnet aus Turbulenzmodell und den Geschwindigkeitsschwankungen auf dem Rechenetz) wurde ebenfalls verglichen (Bild 3). Hier zeigen sich qualitativ gute Übereinstimmungen, quantitativ gibt es größere Abweichung, daher wurden die Simulationsergebnisse mit Faktor 2 skaliert.

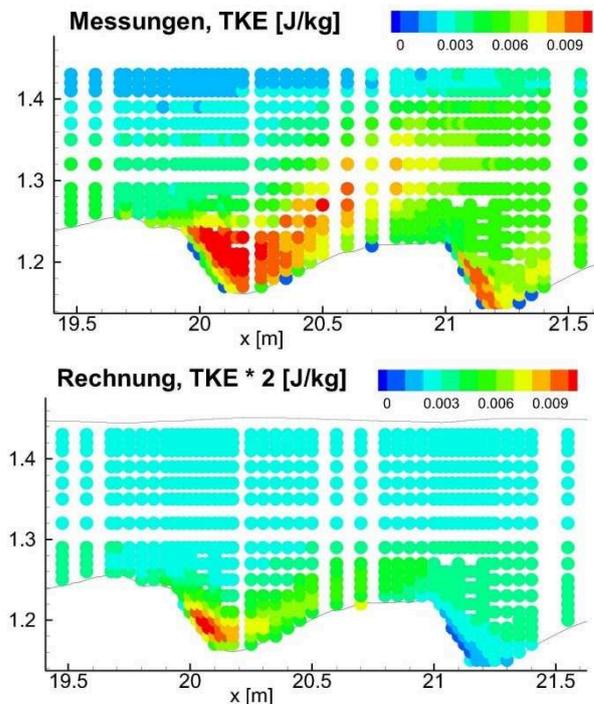


Bild 3: Turbulente kinetische Energie (TKE), Vergleich Messung und Rechnung (mit Faktor 2 skaliert)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2012-2014

- Kalibrierung der numerischen Untersuchungen mit den Messungen an einer Laborrinne („blaue Rinne“) zu den Dünenuntersuchungen
- Begleitung der Dünenuntersuchungen an der Systemrinne für die verschiedenen Varianten (Teilbefestigung, Buhnen, Buhndurchrisse, ...)
- Systematische Untersuchung der für die Dünenentstehung, Dünenhöhe und Dünenlänge relevanten Parameter. Vergleich von unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung

Anwendung und ggf. Erweiterung oder Ergänzung von Ansätzen zur Berechnung des gravitationellen Transports / der Schubspannung / der Turbulenz / des nicht-hydrostatischen Druckansatzes

2012-2013

- Validierung der Hydrodynamik anhand von natürlich geformten Dünen aus dem Laborexperiment
- Einbindung von Turbulenzparametern in den Geschiebetransport

2013-2014

- Vorteile und Möglichkeiten der LES-Modellierung abschätzen und ggf. einsetzen
- Projektrelevanter Anwendungsfall
- Bericht, ggf. Promotionsarbeit
- Journal paper

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

- Apsley, D. D., Stansby, P. K. (2008): Bed-load sediment transport on large slopes: Model formulation and implementation within a RANS solver. *Journal of Hydraulic Engineering*, Heft 134, S. 1440-1451.
- Goll, A., Kopmann, R. (2012). Numerical simulations of groyne influenced dunes. *Proceedings of River Flow 2012*, San José, Costa Rica. CRC Press.
- Goll, A., Kopmann, R. (2012). Dune simulation with TELEMAC3D and SISYPHE: A parameter study. *Proceedings of the 19th Telemac and Mascaret User Club*, 17-19 October 2012, HRW.
- Goll, A., Kopmann, R., Villaret, C. (2013). Numerical Modelling of flumes with moving dunes – TELEMAC3D and Sisyphe. *Proceedings of Marine and River Dune Dynamics – MARID IV*, 15. & 16. April, Bruges, Belgium. VLIZ Special Publication 65.
- Goll, A., Kopmann, R., Baron, M. (2013). Kontinuierliche Validierung hydrodynamischer und morphodynamischer Modelle mit physikalischen Modellversuchen. *Wasserwirtschaft*, Ausgabe 12/2013, S 28-33, Springer Verlag.
- Nabi, M. (2010): Computational modelling of three dimensional bedform evolution. *Proceedings of River Flow 2010*, TU Braunschweig.
- Ruether, N., Olsen, N., Eilertsen, R. (2008): 3D modeling of flow and sediment transport over natural dunes. *Proceedings of 4th International Conference on Fluvial Hydraulics*, River Flow 2008, Cesme/ Izmir, Turkey.
- Yang, S.-Q., Lim, S.-Y. (2003): Total load transport formula for flow in alluvial channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, Heft 129, S. 68-72.

6 Veröffentlichungen

-/-

Wechselwirkung Seeschiff / Seeschiffahrtsstraße - Schiffsdynamik

Netzplan-Nr.: A39550210055

Projektleiter: Dr.-Ing. K. Uliczka, Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

Bearbeiterin: Dipl.-Ing. (FH) H. Jansch, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: klemens.uliczka@baw.de; hanne.jansch@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Fachaufgabe Wechselwirkung Seeschiff / Seeschiffahrtsstraße (WSS) erfordert aufgrund der Größenentwicklung der Seeschiffe und der daraus notwendigen Befahrbarkeitsanalyse der Tideästuar fortlaufende Forschungsanstrengungen auf den Gebieten der schiffserzeugten Belastungen, der Schiffsdynamik und der Schiffsführungssimulation.

Dieses Forschungsgebiet wird in drei verschiedenen Teilprojekten bearbeitet, deren Schwerpunkte zum einen auf der Schiffsdynamik (u.a. Squat, Trimm, Bank-Effekt), zum anderen auf der Weiterentwicklung mathematischer Verfahren zur Wechselwirkung Seeschiff/Seeschiffahrtsstraße sowie auf der Entwicklung der Schiffsführungssimulation für die Belange der WSV liegen. Das aus dem Forschungsprojekt WSS entwickelte Teilprojekt Schiffsdynamik erarbeitet u.a. Basisdaten zum fahrdynamischen Verhalten sehr großer Containerschiffe bei Revierfahrt (z.B. Squat, Trimm) sowie zur Wechselwirkung dieser großen Fahrzeuge mit verschiedenen Uferböschungen (z.B. abstands- und von der Böschungsneigung abhängige Querkkräfte und Giermomente infolge des Bank-Effekts). Die jeweils parallel mit zu erfassenden schiffserzeugten Wasserspiegelauslenkungen (Schiffswellen) und Strömungen ermöglichen eine ganzheitliche Betrachtung der physikalischen Prozesse bei der Revierfahrt eines großen Fahrzeugs.

Abgesicherte, quantitative Prognosen des dynamischen Fahrverhaltens (Squat und Trimm) im seitlich begrenzten, extremen Flachwasser sind mit der Methode des hydraulischen Modellversuchs in einem fachlich hinreichenden Maßstab gewährleistet. Des Weiteren sind derzeit für eine abgesicherte Bearbeitung der Aufgabenstellung validierte und international anerkannte hydrodynamisch-numerische RANSE-Verfahren als annähernd gleichwertig zum Modellversuch anzusehen.

Die Weiterentwicklung potentialtheoretischer Verfahren im Auftrag der BAW für die Belange der WSV zeigte bei engen Seeschiffahrtsstraßen wie z.B. dem NOK die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten dieser Verfahren auf, so dass nach intensiver Fachdiskussion vorerst die Methodenentwicklung sowohl zur Erfassung weiterer Validierungsdaten in der Natur als auch Verfahren zur Qualitätssicherung der Daten Dritter durch die BAW als vordringliche Entwicklungsarbeit erachtet wurde.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aufgrund der Größenentwicklung der Containerschiffahrt (Inbetriebnahme von 18.000 TEU-Containerschiffen in 2013, Länge ca. 400 m, Breite ca. 60 m) und der begrenzten Ausbaupazität der Seeschiffahrtsstraßen wird zukünftig deren Befahrbarkeitsanalyse für eine optimale Nutzung durch die Schiffahrt eine wachsende Bedeutung hinsichtlich der Schiffsdynamik, aber auch bezüglich der wirtschaftlichen Unterhaltung der Schiffahrtsstraßen (z.B. schiffserzeugte Belastungen der Ufer) bekommen. Eine detaillierte Kenntnis u.a. der Schiffsdynamik (Squat, Trimm, Bank-Effekt und Schiff-Schiff-Interaktion) der zukünftig in den Revieren der WSV verkehrenden großen Fahrzeuge ermöglicht u.a. eine fachlich abgesicherte und für die WSV-Revier validierte Anwendung von z.B. Tidefahrplänen zur Optimierung der Befahrbarkeit der Seeschiffahrtsstraßen.

1.3 Untersuchungsziel

Das wesentliche Ziel der Untersuchungen des Teilprojekts *Schiffsdynamik* ist die Bereitstellung von fachlich abgesicherten Daten zur Diagnose und Prognose des Verhaltens großer Seeschiffe (Squat, Trimm und Bank-Effekt) beim Befahren der Flachwasserreviere durch die BAW.

Weiterhin sind die schiffsspezifischen Squat- und Trimmwerte, Querkräfte und Giermomente u.a. in Abhängigkeit der Schiffsgeschwindigkeit (Fahrt durch Wasser), des Teilquerschnittsverhältnisses, des Passierabstands vom Ufer und der Neigung der Uferböschung für den wasserstraßenabhängigen maximal zulässigen Tiefgang (Bemessungstiefgang für die Fahrrinne) zu bestimmen.

2 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des Forschungsprojekts Wechselwirkung Seeschiff / Seeschiffahrtsstraße werden Validierungsdaten für die Weiterentwicklung numerischer Verfahren erfasst, ausgewertet und aufbereitet. Die umfangreichen Untersuchungen im hydraulischen Maßstabsmodell (M 1:40) zur Quantifizierung von Querkräften und Giermomenten in Abhängigkeit der Schiffsgeschwindigkeit und Schiffsgöße, der Uferneigung, des Passierabstands sowie der Kieľfreiheit wurden abgeschlossen. Derzeit werden die Ergebnisse für die Implementierung in die Schiffsführungssimulation vorbereitet, wobei für eine weitergehende Analyse Kooperationsvereinbarungen mit nautischen Hochschulen vorgesehen sind (vgl. FuE-Projekt A39550270132).

Die Methodenentwicklung zur Qualitätssicherung von Messungen in der Natur ist ein grundlegender Baustein für eine effiziente und wirtschaftliche Beratung der WSV.

3 Ergebnisse

Für die WSV wurde anhand der Fachdiskussion die Erkenntnis abgeleitet, dass eine direkte Berechnung des fahrdynamischen Verhaltens von Schiffen für geometrisch enge Querschnitte wie z.B. dem NOK mit zeitlich aufwändigen, hochauflösenden, reibungsbehafteten validierten RANSE-Modellen für die Tauchung (Squat) und den Trimm vorerst noch auf den Weg zu Stand von Technik und Wissenschaft zu bewerten ist.

Zur Evaluierung des potentiellen Marktes über die bisher bekannten Institute hinaus erfolgte in 2012 / 2013 von Seiten der BAW eine Beteiligung an der internationalen Ausschreibung des Benchmark-Tests PreSquat zusammen mit dem Institut für Schiffstechnik, Meerestechnik und Transportsysteme (ISMT) der Universität Duisburg-Essen und dem Germanischen Lloyd SE, Hamburg (http://www.uni-due.de/IST/ismt_presquat.shtml). Die Ergebnisse wurden auf dem internationalen Workshop „Numerical Prediction of Squat in Restricted Waters“ in Duisburg vorgestellt und diskutiert. Am Benchmark-Test beteiligten sich fünf Wissenschaftlergruppen aus vier Nationen. Weitere Details sowie entsprechende Berechnungen der BAW sind dem FuE-Bericht „Numerische Berechnungen – Schiffshydrodynamik“ (A39550270133) zu entnehmen. Der Abschlussbericht wird im ersten Quartal 2014 erwartet.

Die BAW berät derzeit das WSA Hamburg zur weiteren Absicherung und Validierung des Tidefahrplans Elbe hinsichtlich der Vergabe, Durchführung und Analyse von Messungen zur Schiffsdynamik großer Containerschiffe bei Revierfahrt. Im Rahmen des FuE-Projekts erfolgte die Methodenentwicklung sowohl zur Erfassung der Validierungsdaten in der Natur als auch zur erforderlichen Qualitätssicherung der Daten Dritter durch die BAW.

Der Schwerpunkt des abgelaufenen Jahres lag in der qualitativen Bewertung der Angebote Dritter sowie in der Qualitätssicherung der ersten Messkampagnen anhand der bisher entwickelten methodischen Ansätze sowie deren Überprüfung und Weiterentwicklung anhand real gemessener Daten. Ein Augenmerk wurde u.a. auf einen möglichen Genauigkeitsverlust der dreidimensionalen Positionsbestimmung bei der Satellitennavigation in Abhängigkeit einer zeit- und ortsabhängigen Abschattung durch das Ladungsbild von Containerschiffen gelegt (Bild 1; Beispielrechnung Bug; Verfahren © 2001-2010 by Trimble Navigation on Limited). Diese Teilmaßnahme der Qualitätssicherung bei der Planung jeder Messkampagne zeigte gerade bei den derzeit größten Containerschiffen (Brücke im vorderen Fahrzeugdrittel) die Notwendigkeit einer Erhöhung der Anzahl von Satellitenempfängern sowie deren Anordnung an Bug, Nock und Heck.

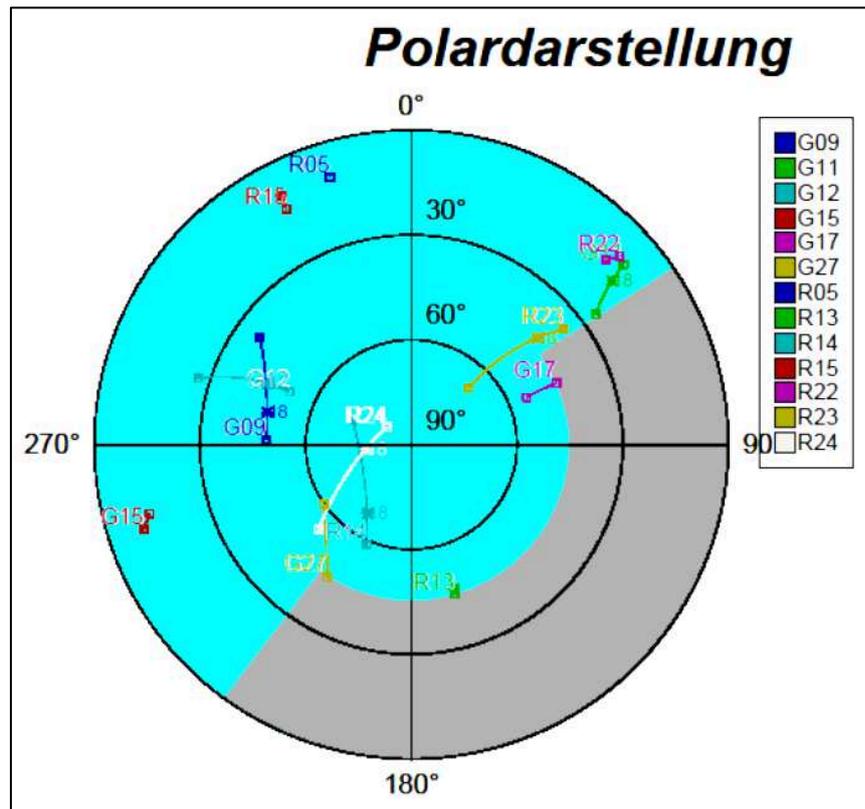


Bild 1: Berechnungsbeispiel zur Qualitätssicherung für eine orts- und zeitabhängige Abschätzung bei der 3D-Satellitennavigation am Bug eines Containerschiffs (Verfahren © 2001-2010 by Trimble Navigation on Limited)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Mit der Vergabe sowohl des Projektmanagements als auch der Durchführung und Analyse der Messkampagnen sind für die BAW umfangreiche Entwicklungsarbeiten zur Qualitätssicherung bezüglich der durch den Auftragnehmer (AN) zu erfassenden und zu bearbeitenden Daten angefallen. Die von der BAW zu entwickelnde Methodik zur Qualitätssicherung wird nach den bisherigen Erkenntnissen über die gesamte Zeit der Projektdauer (ca. 30 Monate für ca. 20 Messkampagnen) an die Erfahrungen mit dem AN anzupassen sein.

Laufzeit des aktuellen Vorhabens von 2002 bis 2015.

5 Literatur

- / -

6 Veröffentlichungen

- / -

AufMod - Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht

Netzplan-Nr.: A39550270116

Projektleiter: Dr.-Ing. H. Heyer, Dienststelle Hamburg

E-Mail: harro.heyer@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

Seit etwa drei Jahrzehnten werden mathematische, prozessbasierte Simulationsmodelle entwickelt und gepflegt, mit denen Wasserstände, Strömungen, Seegang und der Transport im Wasserkörper gelöster Substanzen berechnet werden, und darüber hinaus auch der Transport von Sedimenten abgeschätzt werden kann. Darauf aufbauend werden mögliche Veränderungen der Bathymetrie (Morphodynamik) und der Sedimentologie bestimmt. Diese Simulationsergebnisse zur Morphodynamik können die Natur nicht vollkommen nachbilden. Bis heute ist es nicht gelungen, Methoden bereit zu stellen, mit denen ein skalenübergreifendes Simulationsmodell als zusammenhängendes Untersuchungsgebiet für die variable ortsspezifische Morphodynamik in einem sehr großen Gewässersystem umfassend validiert und analysiert werden kann.

Zur Beurteilung und Verbesserung der morphodynamischen Simulation werden in einem gemeinsamen interdisziplinären KFKI-Forschungsvorhaben (03KIS084) Modellsysteme für die großräumige und langfristige Morphodynamik in der Deutschen Bucht in Wechselwirkung mit den Ästuaren (Seeschiffahrtsstraßen) schrittweise aufgebaut. Die erforderlichen Grundlagen, Methoden und Modellbausteine werden von den Ressortforschungseinrichtungen BAW und BSH, den Universitäten in Kiel (Institut für Geowissenschaften, Exzellenzcluster „Future Ocean“, Forschungs- und Technologiezentrum Westküste) und in Bremen (Zentrum für marine Umweltwissenschaften), der Universität der Bundeswehr in München, der Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung in Wilhelmshaven und der smile consult GmbH in Hannover entwickelt und deren Ergebnisse zur gegenseitigen Nutzung zur Verfügung gestellt. Das Vorhaben wurde Anfang 2010 unter der Leitung der BAW gestartet und wird über drei Jahre gefördert; es endete am 31.12.2012. Es ist geplant, wesentliche Ergebnisse des Vorhabens für den Aufgabenkatalog der Ressortforschung zu übernehmen, um Herausforderungen der Zukunft bewältigen zu können, die mit wichtigen Fragen zu den zukünftigen Belastungen und Veränderungen der Küstengewässer (Klimawandel) und zum vorausschauenden Management der Seeschiffahrtsstraßen verbunden sind.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die morphodynamischen Aktivitäten und Wechselwirkungen in der Nordsee, der Deutschen Bucht mit ihrer amphibischen Küstenzone (Wattenmeer) und den Tideästuaren werden im Detail untersucht und analysiert. Die eingesetzten Simulationsmodelle sind in der Lage, das Spektrum der kleinen, mittleren und großen Raumskalen zu berücksichtigen. Die Simulation erfolgt auf Grundlage vorhandener Modellverfahren, die dem Stand der Wissenschaft entsprechen. Es werden alle vorhandenen Daten zur Sedimentologie und zur Formenvielfalt des Gewässerbodens zusammengetragen und durch aktuelle innovative Messungen ergänzt. Auf dieser Grundlage können realitätsnahe Modellparameter für die Simulationen gewonnen werden. Als meteorologische Randwerte werden Windfelder in ihrer zeitlichen und räumlichen Variabilität berücksichtigt. Diese enthalten somit auch die Extremereignisse.

Die BAW trägt zum Gesamtvorhaben durch 3D-Modellierungen des Gesamtsystems Nordsee, Deutsche Bucht, Wattenmeer und Ästuare in hoher Auflösung bei. Die Modellvalidierung erfolgt für Zeitspannen von mehreren Jahren auf der Grundlage konsistenter bathymetrischer Daten. Eingesetzt werden Modellverfahren zur Berechnung der Wasserstände, Strömungen, Salzgehalte, Schwebstofftransporte, Sedimenttransporte am Boden, des Seegangs und der von diesen Prozessen ausgelösten Veränderungen der Morphologie. Zur Einschätzung der numerischen Lösungsverfahren werden zwei verschiedene Modellsysteme verwendet: Das unstrukturierte hydrodynamische Modellverfahren UnTRIM gekoppelt mit dem Sedimentmodul SediMorph und dem Seegangmodell UnK einerseits und das hydro-morphodynamische Verfahren Delft3D mit dem Seegangmodell SWAN andererseits.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die WSV benötigt im Rahmen der Unterhaltung und des Ausbaus spezielle Beratungsleistungen der BAW. Die BAW benötigt hierfür eine umfangreiche Wissensbasis zur Einschätzung der Sedimentbewegung und der geomorphologischen Entwicklungen im Küstenvorfeld und in den Ästuaren. Hieraus sollen zukünftig notwendige Grundlagen und Eingangsgrößen für die vielfältigen lokalen Untersuchungen und Prognoserechnungen gewonnen werden.

Die Modellsysteme sollen für heutige Verhältnisse und für zukünftig mögliche Verhältnisse unter erwarteten Klimaänderungen langfristig eingesetzt und weiter entwickelt werden.

1.3 Untersuchungsziel

Das Forschungsziel des Verbundprojektes ist die Vertiefung der Kenntnisse über die großräumige und langfristige Morphodynamik in der Deutschen Bucht. Die für die Aufgaben der WSV zu gewinnende Wissensbasis wird durch das interdisziplinäre Vorgehen gesichert. Vorhandene Methoden und Verfahren sind zu erweitern und fachlich zu qualifizieren. Der Fokus liegt dabei auf der deutschen Nordseeküste mit dem Küstenvorfeld, den Vorstränden / Stränden, den Inseln und Wattgebiete sowie den Mündungsbereichen der Tideflüsse. Im konzeptionellen Projektansatz werden insbesondere Computermodelle berücksichtigt. Die Prognosefähigkeit der Modelle ist systematisch und vergleichend zu bewerten. Der Anforderungskatalog ist sehr umfangreich und kann deshalb nur im Rahmen eines multidisziplinären Verbundprojektes bewältigt werden.

2 Untersuchungsmethoden

Unverzichtbare Grundlage der gesamten Untersuchungen ist der Aufbau eines umfassenden Bodenmodells, das plausibilisierte, konsistente Daten für Bathymetrie, Bodenformen und Sedimentologie für mehrere Jahre enthält. Das Bodenmodell dient einerseits als Datengrundlage für den Betrieb der Simulationsmodelle und andererseits erzeugt es Informationen zur Validierung / Kalibrierung dieser Modelle. Darüber hinaus wird von einem Projektpartner eine Studie zur Verteilung, Dynamik und Wirkung von Bodenformen (Transportkörper, Dünen am Gewässerboden) erarbeitet. Resultate dieser Untersuchungen sollen als Elemente in den numerischen Modellsystemen zur Verbesserung der Simulationsergebnisse beitragen.

Zur Untersuchung und Dokumentation der Streubreite verschiedener morphodynamischer Modelle werden in der Bundesanstalt für Wasserbau, dem Institut für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München und der smile consult GmbH umfassende Untersuchungen mit vergleichbaren Grundlagen aber verschiedenen Modellverfahren und Zielrichtungen durchgeführt. Diese Simulationen sind aufeinander abgestimmt und ergänzen sich in sinnvoller Weise, so dass mit dem Abschluss des Projekts die derzeitigen Möglichkeiten und Grenzen der morphodynamischen Simulation umfassend dokumentiert werden können.

3 Ergebnisse

Um in der Lage zu sein, die morphodynamische Entwicklung naturähnlich zu berechnen, ist es zunächst erforderlich die Schwebstofftransporte möglichst korrekt abzubilden.

In Bild 1 ist dazu eine Analyse der mittleren advektiven Schwebstofftransportvektoren für eine Zeitspanne von einem Jahr (2006) dokumentiert. Die zu Grunde liegenden Berechnungen kombinieren die Wirkung von Gezeiten, Seegang und windgetriebener Zirkulation mit sechs unterschiedlichen Fraktionen (Feinsand, sehr feiner Sand, Grob-, Mittel- und Feinschluff, sowie sehr feiner Schluff). Aus der kombinierten Wirkung von Gezeiten, Seegang und windgetriebener Zirkulation wurden die resultierenden Sedimenttransportgrößen (Vektoren) ausgewertet. Auf diesem Vektorfeld wurden im Sinne einer Tracerverfolgung die Pfade der resultierenden Transporte berechnet (siehe Bild 2).

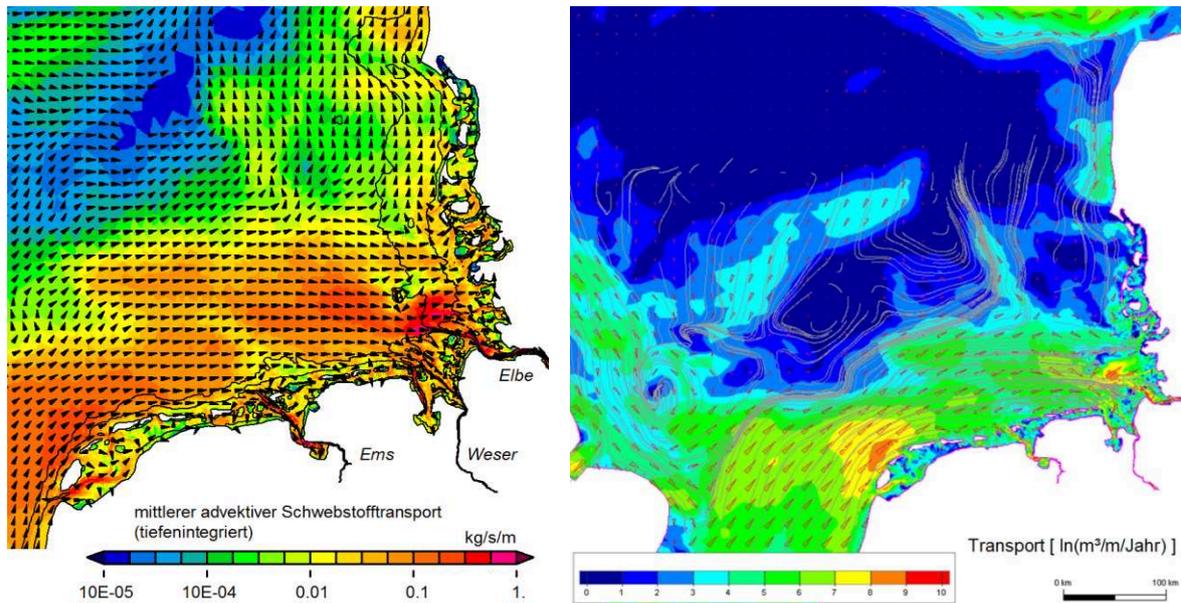


Bild 1: links: Mittlerer advektiver Schwebstofftransport in der Deutschen Bucht (Jahresmittel 2006)

Bild 2: rechts: Sedimenttransportpfade (Analyse aus den resultierenden Transportvektoren eines Jahres)

Die im Projekt AufMod erarbeiteten Untersuchungsergebnisse werden in einer Datenbank offen für die Nutzung durch Dritte eingestellt und bilden somit die Grundlage zur Beantwortung weitergehender Fragestellungen im Bereich der Ästuar- sowie der Bundeswasserstrassen. Die Recherche / Nutzung der Ergebnisse erfolgt über die im Rahmen des Forschungsprojektes NOKIS bereits aufgebaute Daten- und Informationsplattform. Erweitert wird der Zugriff durch das Forschungsprojekt Marine Dateninfrastruktur Deutschland (MDI-DE) in das dieses Verbundprojekt eingebunden ist. Unter anderem werden auf einer eigenen Projektseite Daten beschrieben und bereitgestellt (<http://projekt.mdi-de.org/services/verwandte-projekte/40-aufbau-von-integrierten-modellsystemen.html>) wie zum Beispiel ein Atlas von berechneten Tidekennwerten (vgl. Bild 3).

Tidekennwertatlas

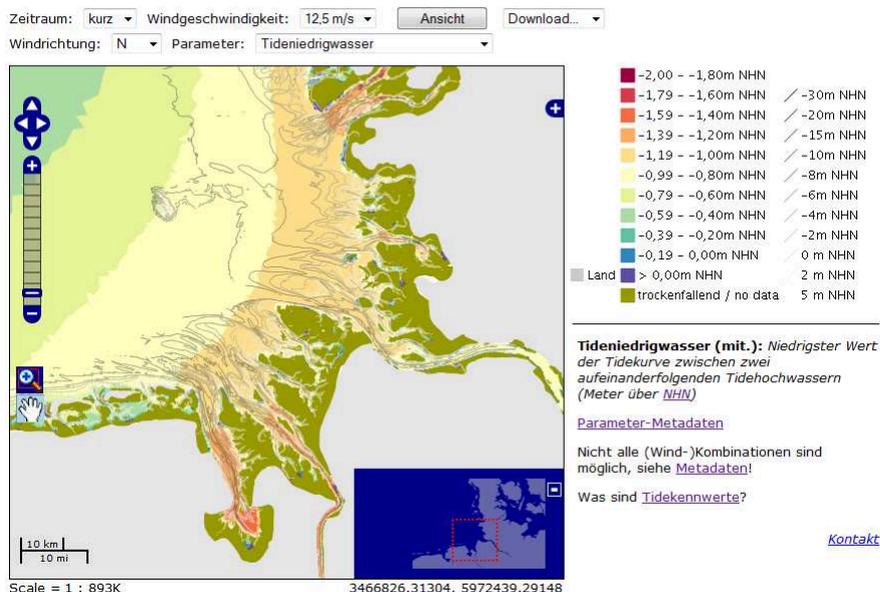


Bild 3: Tidekennwertatlas auf der MDI-DE Seite für AufMod

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2013: Erstellung eines abgestimmten Abschlussberichtes für jedes Teilprojekt sowie ein gemeinsamer Abschlussbericht für das Verbundprojekt. Veröffentlichung in wissenschaftlichen Fachzeitschriften (Die Küste-Heft 80).

Laufzeit des Vorhabens von 2009 bis 2014.

5 Literatur

Winter, C. 2011. Macroscale morphodynamics of the German North Seacoast. *Journal of Coastal Research* (57)

6 Veröffentlichungen

- Heyer, H. und Schrottke, K., 2013. Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht : AufMod - gemeinsamer Abschlussbericht für das Gesamtprojekt mit Beiträgen aus allen 7 Teilprojekten, DOI: 10.2314/GBV:780783271
- Kösters, F. 2011. "Using UnTRIM2007 in large scale applications: the BAW North Sea model", UnTRIM User meeting, 09.05.2011, Trient, Italien
- Kösters, F., A. Plüß, M. Kastens und H. Heyer, 2011. „Long-term morphodynamic modeling of the German Bight – model set-up and validation“, 5th Short Conference on Applied Coastal Research (SCACR), 07.06.2011, Aachen, Deutschland
- Kösters, F. 2011. Using UnTRIM2007 in large-scale applications: the BAW North Sea model UNTRIM Users Workshop, Trient, Italien, 9. bis 11. Mai 2011
- Kösters, F. and Plüß, A. 2012. Large-scale morphodynamic modeling of the German Bight – Assessing meteorological effects, PECS 2012, New York, August 2012
- Kösters, F. 2012. Sediment transport in the German Bight - Numerical modeling and observational results from the AufMod project, Invited talk at PACE Workshop, Texel, Netherlands, September 2012
- Kösters, F., Putzar, B., Milbradt, P., Plüß, A. 2013. Aufbau eines morphodynamischen Simulationsmodells für die Deutsche Bucht zur Abschätzung von Sedimenttransportwegen und -mengen. Vortrag: 16. Gewässermorphologisches Kolloquium, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Bremerhaven, 6./7. November 2013 Veröffentlichung: Tagungsband
- Kösters, F., Winter, C.: Exploring German Bight coastal morphodynamics based on modelled bed shear stress. Veröffentlichung: *Geo-Marine Letters* (2014) 34: 21 - 36
- Milbradt, P. 2013. Datenbasierte geomorphologische Hindcast-Simulationen in der Deutschen Bucht – Möglichkeiten und Grenzen, 18. KFKI-Seminar Bremerhaven, 29.10.2013
- Plüß, A. und Kösters, F., 2013. Morphodynamic modelling for the entire German Bight: an initial study on model sensitivity and uncertainty, *Advances in Geoscience*, 1-2014, DOI: 10.5194/adgeo-1-1-2014
- Valerius, J. und Kösters, F. 2012. Aufbau von integrierten Modellsystemen zur Analyse der langfristigen Morphodynamik in der Deutschen Bucht, KFKI Kolloquium, Bremerhaven, November 2012
- Wosniok, C.; Valerius, J. und Lambers-Huesmann, M.: Das Projekt AufMod in der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland. In: Traub, K.-P., Kohlus, J. und Lüllwitz, T. (Hrsg.): *Geoinformationen für die Küstenzone*. Hamburg, 125-134. 2013.

Schiffsführungssimulation der Revierfahrt (SFS-R)

Netzplan-Nr.: A39550270132

Projektleiter: Dr.-Ing. C.-U. Böttner, Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: carl-uwe.boettner@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Schiffsführungssimulatoren werden seit den 60er Jahren erfolgreich in der Aus- und Weiterbildung von nautischem Personal eingesetzt. Da seither die Schiffsgrößen kontinuierlich gesteigert werden, sind auch die Kosten für die Bereitstellung und Unterhaltung der Wasserstraßen überproportional gestiegen. Einsparungen sind nur möglich, indem der Dimensionierung der Seeschiffahrtstraße ein hohes Gewicht eingeräumt wird und diese nur in den Dimensionen bereitgestellt wird, die tatsächlich nötig sind, um die geforderte Sicherheit und Leichtigkeit des Verkehrs zu gewährleisten.

Für die Bemessung bedeutet dies, dass ergänzend zu den bewährten Ingenieuransätzen und Richtlinien der tatsächliche Raumbedarf festgestellt werden muss. Hierfür muss zum einem die mathematisch numerische Simulation der Schiffsdynamik und zum anderen die Schiffsführungssimulation eingesetzt werden. Der virtuellen Befahrung kommt eine zentrale Bedeutung zu, wenn die Dimensionen auf das erforderliche Maß begrenzt werden sollen, da sie eine Überprüfung auf nautische Schwachstellen ermöglicht, die sonst möglicherweise erst nach Fertigstellung auffielen und deren Korrektur dann meist sehr kostspielig würde.

Um diese Funktion erfüllen zu können, muss der Schiffsführungssimulator das Verhalten und die Fahrdynamik des Seeschiffs nicht nur physikalisch ähnlich abbilden, wie es für eine Ausbildung gemäß STCW-95 vollkommen ausreichend ist, sondern mit hoher Präzision vorhersagen und berücksichtigen. Für die Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse sind alle Prozesse bei Fahrt im seitlich begrenzten Flachwasser von übergeordneter Bedeutung und somit im Simulator naturähnlich abzubilden, die sonst in der Ausbildung von nautischem Personal an einem Simulator nur als Phänomen spürbar und erfahrbar sein müssen.

Ziel dieses Vorhabens ist es daher, fahrdynamische Modelle bestehender Schiffsführungssimulatoren so zu verfeinern, dass sie für die Simulation der Revierfahrt von Seeschiffen erweitert und ergänzt werden. Dies soll nach Möglichkeit so erfolgen, dass die WSV diese Entwicklungen in einer Simulation zur Bemessung verwenden kann, ohne dafür in der Wahl des Simulators oder Simulatorbetreibers eingeschränkt zu sein.

1.2 Bedeutung für die WSV

Eine fachlich abgesicherte Möglichkeit zur verbesserten Ausnutzung der Seeschiffahrtsstraßen bietet ein immenses Einsparpotential bei den Unterhaltungskosten. Dabei muss im Vorfeld der Nachweis der Gewährleistung der Leichtigkeit und Sicherheit des Verkehrs trotz möglichst wirtschaftlicher Bemessung erbracht werden können, um erhöhte Folgekosten für nachträgliche Anpassung der Wasserstraße und Reparaturen durch Unfälle auszuschließen.

1.3 Untersuchungsziel

Ermittlung und Festlegung der notwendigen Präzision der fahrdynamischen Modelle in der Schiffsführungssimulation zur Absicherung der Bemessung. Parallel dazu Entwicklung von Modellen und Ansätzen der Fahrdynamik von Seeschiffen bei Flachwasserbedingungen entsprechend den ermittelten Vorgaben und deren Bereitstellung zur Einbindung in Schiffsführungssimulationen zur Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse.

2 Untersuchungsmethoden

Es werden verschiedene Methoden verfolgt und eingesetzt. Zunächst wird eine Sensitivitätsstudie zur Bedeutung der unterschiedlichen Anteile der Fahrdynamik für die Bemessung der Wasserstraße durchgeführt. Hier werden die einzelnen fahrdynamischen Größen und Effekte gemeinsam mit der jeweiligen notwendigen Genauigkeit für eine belastbare, wirklichkeitstreu Simulation der Revierfahrt ermittelt. Daraus ergeben sich direkt die Aufgaben für die Entwicklung der einzelnen analytischen Ansätze und fahrdynamischen Modelle. Im letzten Schritt werden diese in Form von Modellmodulen zur Verwendung bei Simulationen der Revierfahrt in Schiffsführungssimulatoren aufbereitet und der WSV bereitgestellt. Die Entwicklung der analytischen Ansätze und fahrdynamischen Modelle baut auf den Ergebnissen (in Form von Validierungsdaten und analytisch funktionalen oder tabellarischen Eingabewerten) der beiden anderen Teilprojekte der Fachaufgabe Wechselwirkung Seeschiff – Seeschiffahrtstraße auf.

3 Ergebnisse

Im Jahr 2013 lag der Fokus der Tätigkeit bei der Definition und Vorbereitung einer erweiterten PlugIn-Schnittstelle, die ergänzende Funktionalität gegenüber der bestehenden aufweisen wird. Dies ist nötig, da die Schnittstelle zum Simulator eine Voraussetzung für die Zielerreichung dieses Forschungsprojekts ist. Für die neue Schnittstelle ist als erste Anwendung die Erstellung eines PlugIns zur präzisen Simulation des Squat-Verhaltens eines Seeschiffes in der Seeschiffahrtstraße vorgesehen. Dieses Ziel schließt die Berücksichtigung der Verblockung des Wasserstraßenquerschnitts durch das Schiff ein. Den Grad des Einfluss' haben Messungen am großen Umlauftank in Berlin im Rahmen des FuE-Projekts „Schiffshydrodynamik im Flachwasser“ (SHD-F) in 2013 aufgezeigt. Die Messergebnisse wurden analysiert und zusammengestellt zur Vorbereitung des geplanten Squat-PlugIn. Ergänzend hierzu wurde als Testfall für den Einsatz auf einem fremden Simulator eines Betreibers ein einfaches PlugIn inklusive GUI (Bild 1) erstellt und ausgeliefert. Die Funktionalität besteht hier im Eingriff in rotatorische Freiheitsgrade des Schiffs während laufender Simulation. Die fehlerfreie Funktion beim Simulator des Betreibers dient als erster Test des vorgesehenen Konzepts zum Einsatz von PlugIns bei Schiffsführungssimulationen zu Bemessung und Befahrbarkeitsanalysen von Seeschiffahrtstraßen für die WSV.

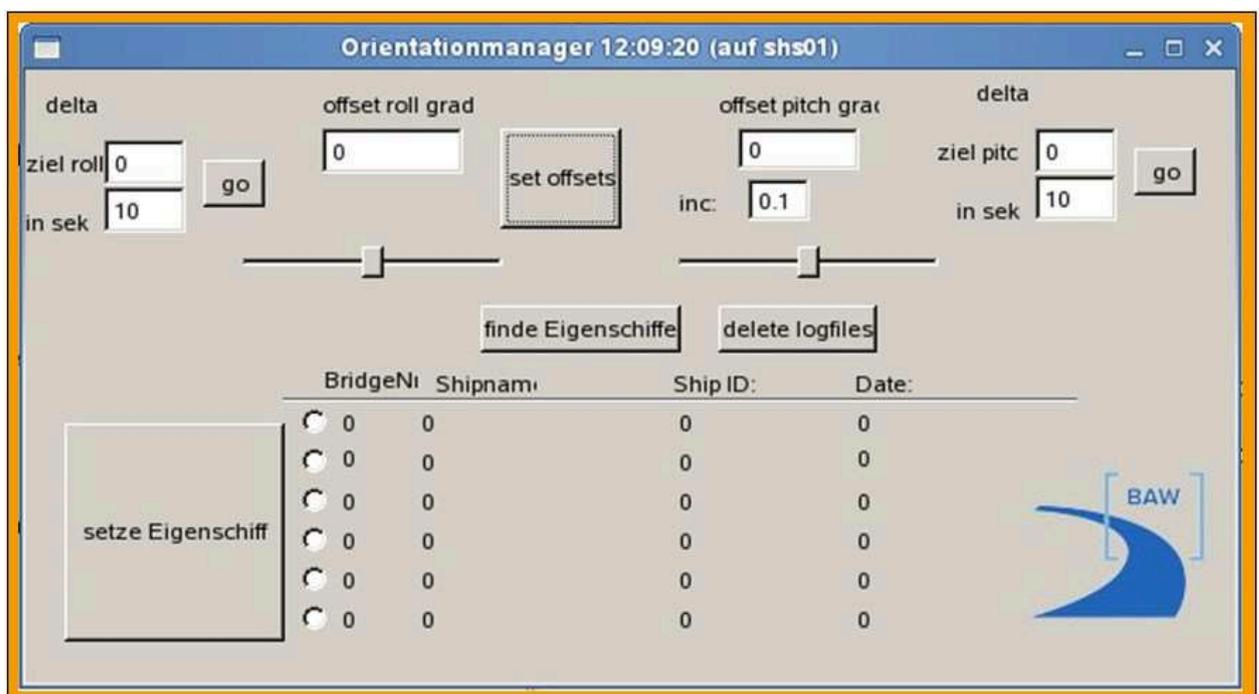


Bild 1: Bedienerfenster (GUI) des ersten PlugIn zur Weitergabe und Versuchsweise Einsatz bei einem Betreiber.

Anfragen aus der WSV waren der Anlass für die Wiederaufnahme von **Sensitivitätsstudien**. Die wachsenden Hauptabmessungen der Seeschiffe erhöhen die Bedeutung der Schiff-Schiff-Interaktion auf den Seeschiffahrtsstraßen. Hierzu wurde die Sensitivität des Modells zur Schiff-Schiff-Interaktion im Schiffsführungssimulator untersucht (Bild 2). Ergebnis dieser ersten Studie ist, dass das vorhandene Modell die Interaktion in der Simulation wiedergibt, die Kalibrierung des Modellverhaltens aus heutiger Sicht sensibel ist. Für jeden Einzelfall müssen Mess- oder Rechenwerte bekannt sein. Dieses Ergebnis wurde zum Anlass genommen im FuE-Projekt SFS-R diese Kräfte systematisch numerisch zu berechnen.

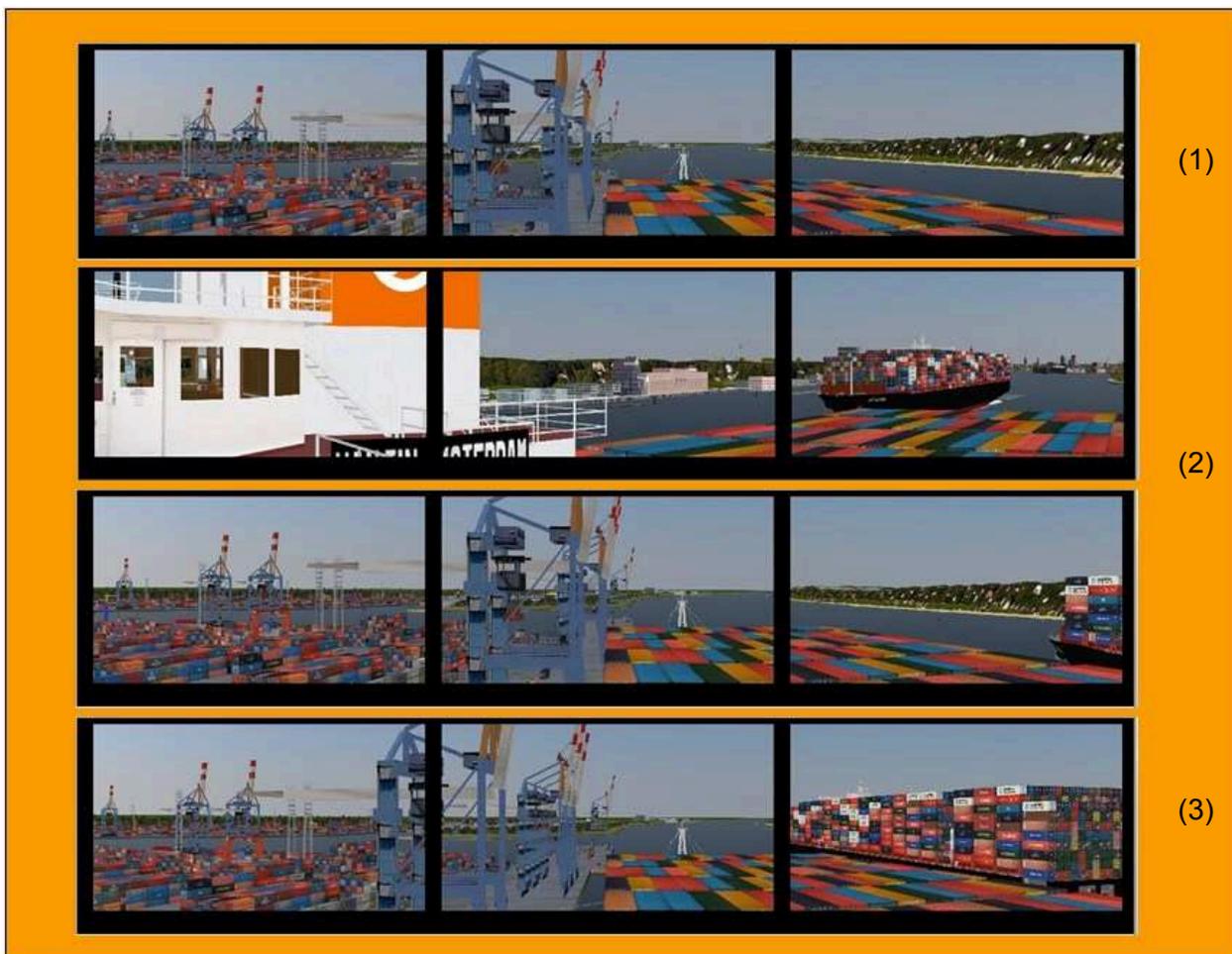
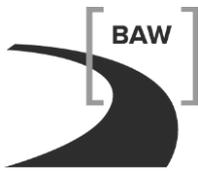


Bild 2: Sensitivitätsstudie zum Passing-Ship-Effect, exemplarischer Verlauf von oben nach unten: Schiff liegt am Kai (1), Passierer kommt von achtern (2), Schiff wird bei Annäherung an den Kai gedrückt (3), anschließend weggezogen (4).

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Mit Verfügbarkeit der erweiterten Plug-In Schnittstelle wird in 2014 die Erstellung zweier Plugins für die Simulation der Revierfahrt den Schwerpunkt der Arbeiten bilden. Das eine dient der Berechnung des Squat in Abhängigkeit der Verblockung in der Wasserstraße und das andere zur Berechnung der Bank-Kräfte. Hierfür ist ein weiterer Tätigkeitsschwerpunkt die systematische Auswertung der abgeschlossenen Versuchsreihe zu Bank-Kräften in der Halle 1.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2015.



5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Carl-Uwe Böttner, Klemens Uliczka, Dirk Carstens, Johannes Sponholz: „Free Sailing Manoeuvres for Tuning of Analytical Shallow Water Models“ Vortrag und Artikel im Tagungsband, Third International Conference on Ship Manoeuvring in Shallow and Confined Water, June 03 - 05, 2013, Ghent, Belgium

Carl-Uwe Böttner: „Manövrersimulation für den Wasserbau bei Bemessung und Befahrbarkeitsanalyse von Wasserstraßen“ Vortrag, Kolloquium „Sea the Future“, 13. Dezember 2013, Berlin

Numerische Berechnung der Schiffshydrodynamik und Manövrierfähigkeit im Flachwasser (SHD-F)

Netzplan-Nr.: A39550270133

Projektleiter: Dr.-Ing. C.-U. Böttner, Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: carl-uwe.boettner@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Fragestellung besteht aus der Bestimmung der Strömungsverhältnisse und Transportvorgänge in der Umgebung des Schiffs und in der Wasserstraße. Während in den vergangenen Jahrzehnten eine rege Forschungs- und Entwicklungstätigkeit bei der Schiffsumströmung zu verzeichnen ist, wurde der Aspekt des Flachwassereinflusses und der geringen Kieffreiheit bisher wenig beachtet. Das liegt darin begründet, dass dieser Fahrzustand in der Dienstzeit eines Schiffes nur zu einem geringen Teil vorkommt und daher für die Schiffseigner eine untergeordnete Rolle spielt, aber auch darin, dass die mathematisch numerische Modellierung noch erheblich anspruchsvoller ist, wenn Verblockungseffekte und sich vereinigende Grenzschichten zu berücksichtigen sind. Für die WSV ist hingegen die Revierfahrt unter Flachwassereinfluss der einzig relevante Fahrzustand. In der jüngsten Vergangenheit haben Rechnerleistung und Speicherkapazitäten einen Stand erreicht, der es ermöglicht, Kräfte, Momente und die auftretende Fahrdynamik mathematisch numerisch vorherzusagen und zu beschreiben. Damit werden dringend benötigte Daten und Werte für die Bemessung und die wirtschaftliche Ausnutzung der Seeschiffahrtsstraßen erreichbar, die sich experimentell, aus dem physikalischen Modellversuch oder aus Naturmessungen, nur sehr aufwändig oder gar nicht gewinnen lassen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Verfügbarkeit eines Verfahrens zur Vorhersage fahrdynamischer Größen im Flachwasser ist bei vielen Aufgaben der WSV hilfreich. Häufig existieren die Schiffe, zu denen die Fragestellung erarbeitet wird, nicht oder noch nicht, dennoch müssen Aussagen zur Befahrbarkeit gemacht und verbindliche Entscheidungen getroffen werden. Hierfür ist die Verfügbarkeit einer verlässlichen Datenquelle in Form eines mathematisch numerischen Verfahrens ein wichtiges Werkzeug von großer Bedeutung.

1.3 Untersuchungsziel

Das Ziel in diesem Teilprojekt der Fachaufgabe Wechselwirkung Seeschiff-Seeschiffahrtsstraße ist es, bestehende und verfügbare mathematisch numerische Verfahren zur Berechnung der Schiffshydrodynamik zu validieren, zu erweitern und zu ergänzen um künftig Verfahren bereit zu stellen, die als verlässlich zur Vorhersage von Kennwerten der Schiffsdynamik im Flachwasser anerkannt sind.

2 Untersuchungsmethoden

Verfügbare bestehende Verfahren werden anhand von experimentellen Werten aus Naturmessungen und dem physikalischen Modellversuch überprüft, validiert und gezielt weiterentwickelt. Die hierfür benötigten experimentellen Daten werden zum Teil im Rahmen des hier beantragten Projekts ermittelt, zum Teil aus parallelen Teilprojekten und aus Kooperationen, sowie aus der Literatur und aus Vergabeleistungen zusammen gestellt. Die Weiterentwicklungen der Verfahren werden von Fremdleistungsnehmern als Vergabeleistung und durch die Projektmitarbeiter im Referat K2 betrieben.

3 Ergebnisse

Im Berichtszeitraum lagen die Schwerpunkte der numerischen Berechnungen bei der Vorhersage des Squat von Seeschiffen bei geringer Kieffreiheit. Ein Modellsetup mit Gitterdeformation steht nun validiert zur Verfügung. Eingesetzt wird hier das Softwarepaket StarCCM+ von CD adapco. Die Validierung des derzeitigen Modellsetups erfolgte anhand von Squat-Messwerten aus dem physikalischen Modellversuch (Bild 1). Die Vorhersage des Squat mittels numerischer Lösung der Reynolds gemittel-

ten Navier-Stokes Gleichungen auf verformbaren Gittern ist rechen- und zeitintensiv. Für kurzfristige und für umfangreiche Varianten Untersuchungen wird ein schnelleres Werkzeug benötigt. Das war der Anlass für die Durchführung eines internationalen Workshops zur numerischen Berechnung des Squat. An PreSquat nahmen Forschergruppen aus Deutschland, Russland, Frankreich und Australien teil. Besonders interessant aus Sicht der kurzfristigen Verfügbarkeit von Ergebnissen ist der australische Beitrag in Bild 2. Hier wurde ein potentialtheoretischer Ansatz mit Messwerten kalibriert. Diese einmalige Korrektur reichte für den in PreSquat verwendeten Schiffstyp und die zu untersuchenden Fahrzustände aus, um eine vielversprechende Übereinstimmung mit den Messergebnissen zu erreichen.

Das Ziel ist weiterhin numerische Squat Vorhersagen mit verlässlicher Genauigkeit für beliebige Schiffe durchführen zu können.

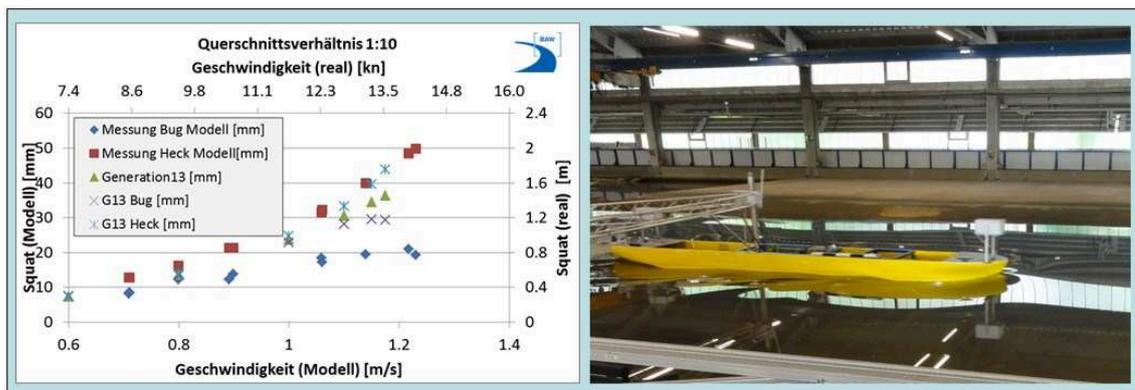


Bild 1: Validierung des numerischen Modellsetup zur Squatvorhersage mit Messwerten aus dem physikalischen Modellversuch.

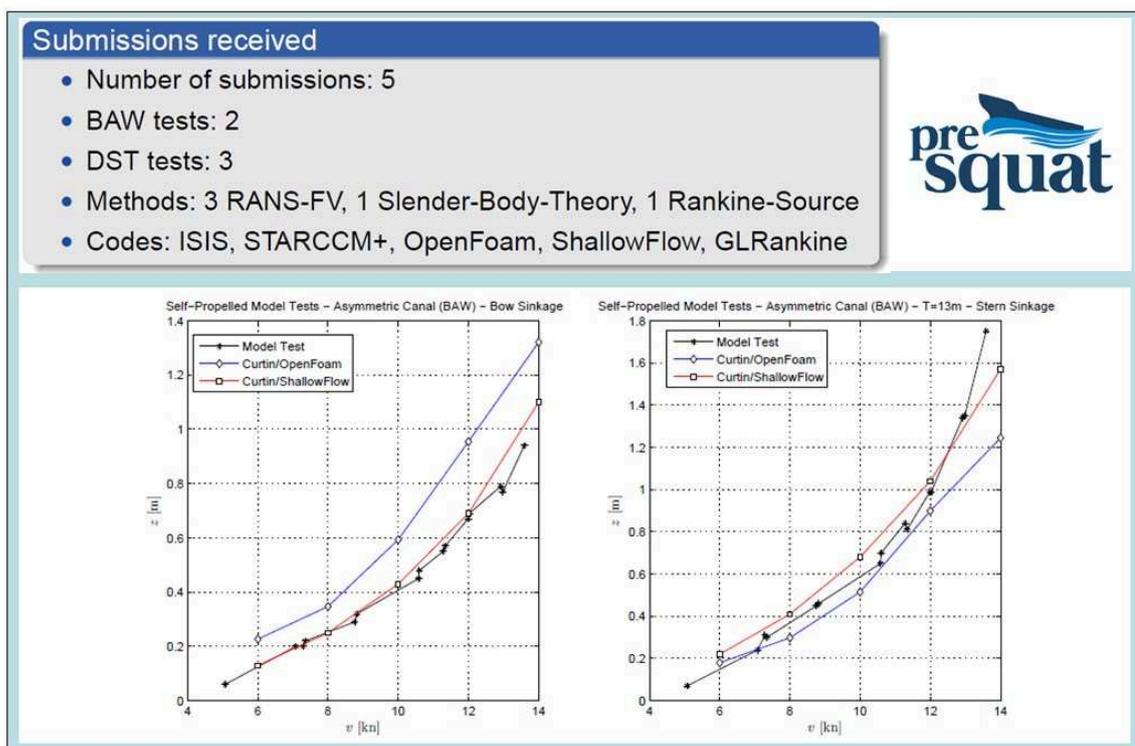


Bild 2: Vergleich der Rechenergebnisse aus OpenFOAM und ShallowFlow (Slenderbody Approach) der Curtin University (AUS) mit den Messwerten aus dem physikalischen Modellversuch der BAW im Rahmen des internationalen Workshops PreSquat.

Weiterer Schwerpunkt war die Schiff-Schiff Interaktion und dabei besonders die Kräfte auf einen Festlieger bei einer Passage. Die numerischen Berechnungen wurden ebenfalls mit StarCCM+ durchgeführt, aber abweichend zu den Squat-Vorhersagen mit der Technik der Overset-Meshes. Darunter ist ein weiteres Gitter, das körperfest um einen beweglichen Körper erstellt wurde, zu verstehen, das sich frei im Rechenraum des Hintergrundgitters bewegen kann. In Bild 3 ist die Passage als numerische Simulation zu erkennen, im kleinen Teilbild ist der Verlauf der Kräfte auf den Rumpf des Festliegers dargestellt.

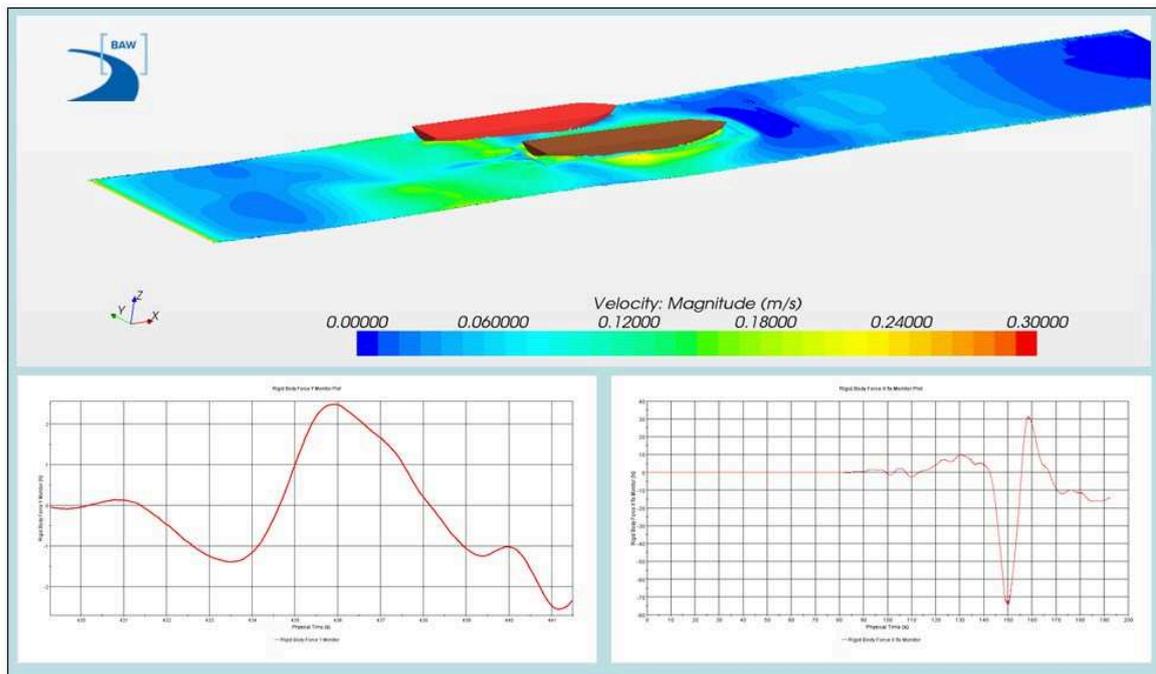


Bild 3: Numerisch berechnete Kräfte auf einen Festlieger bei der Passage zweier Schiffe, Grafiken unten zeigen den zeitlichen Verlauf im Modellmaßstab, links: Querkraftkomponente, rechts: Längskraftkomponente.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Im Bearbeitungsjahr 2014 werden in diesem Projekt weiterhin die Kräfte auf Schiffe bei Revierfahrt im Vordergrund stehen. Zusätzlich zu den Schwerpunkten aus 2013, die weiterhin bearbeitet werden, sind die numerische Berechnung von Manövrierkräften und die Ableitung von Modellkoeffizienten vorgesehen. Diese numerischen Ergebnisse sollen mittels parallel durchzuführenden Modellversuchen mit frei manövrierenden Modellen in der Halle 1 validiert und erprobt werden. Das FuE-Projekt ist im ursprünglich geplanten Zeitrahmen.

Obwohl nicht hydrodynamischer Natur, sollen Untersuchungen zu Windabschattungen und Windkräften auf Containerschiffen hinzukommen. Diese Ergebnisse werden für Schiffsführungssimulationen bei langsamer Revierfahrt wie sie in Hafensituationen üblich sind benötigt, sind aber auch bei der Entscheidung über Windstärken der Fahrtbeschränkung hilfreich und nützlich.

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2015.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

Carl-Uwe Böttner: „Experimental Investigation of Squat of a 14000 TEU CS (Duisburg Test Case)“
Vortrag PreSquat international Workshop, 4. September 2013, Duisburg

Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen

Netzplan-Nr.: A39550270141

Projektleiter: Dr.-Ing. K. Uliczka, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: klemens.uliczka@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, berät die für den Bereich der Küstenregionen zuständigen Wasser und Schifffahrtsämter (WSÄ) der Wasser und Schifffahrtsverwaltung (WSV) u.a. hinsichtlich Funktion und Stabilität von Strombauwerken an den Seeschiffahrtsstraßen (SeeSchStr) der Tideästuare, der Ostsee sowie dem Nord-Ostseekanal.

Schadensfälle an Leitwerken und Buhnen sowie Deckwerken an den Seeschiffahrtsstraßen aufgrund schiffserzeugter Belastungen wurden in der letzten Dekade verstärkt in der Außenweser sowie in der Untere Elbe festgestellt. Für eine Abschätzung der schiffserzeugten, langperiodischen hydrodynamischen Belastung der Deckschichten als Basis für die Ermittlung der erforderlichen Steingrößen / -gewichte konnten nur vorhandene theoretische, fachlich nicht exakt zutreffende und nur bedingt gültige Ansätze verwendet werden (BAW, 2010). Hoch instationäre und turbulente hydrodynamische - zudem in Tideästuaren wasserstandsabhängige - schiffserzeugte Belastungen führen zu komplexen Untersuchungsaufgaben. Diese zeichnen sich aus durch eine hohe Zahl an zu erfassenden und physikalisch zu beschreibenden hydrodynamischen Parametern, verteilt über verschiedene zu bemessende Abschnitte von Leitdämmen und Buhnen einschließlich deren Anbindung an die Ufersicherungen.

Durch die Kooperation mit universitären Einrichtungen wie dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau (LWI) der TU Braunschweig sowie dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen werden wichtige Impulse für - über dieses Projekt hinausgehende - weitere Grundlagenforschungen erwartet, so dass dadurch ein zusätzlicher Mehrwert auf diesem WSV-relevanten Forschungsgebiet durch ebendiese Universitätsinstitute geschaffen wird.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aufgrund der weiterhin zunehmenden Größenentwicklung der Containerschiffahrt mit der Inbetriebnahme von 14.000 TEU-Containerschiffen in 2010 und der Inbetriebnahme von 18.000 TEU-Containerschiffen mit Längen von ca. 400 m und Breiten bis ca. 60 m in 2013 erhält die nachhaltige Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken und Ufersicherungen an den Seeschiffahrtsstraßen der Tideästuare bei der Kenntnis der bemessungsrelevanten Parameter der schiffserzeugten Belastungen eine wachsende Bedeutung. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden in Form von Bemessungshinweisen für Vorhabensträger der WSV an Seeschiffahrtsstraßen erarbeitet und von der BAW veröffentlicht. Die Dringlichkeit des FuE-Projekts ergibt sich aus der akut erforderlichen, fachgerechten und nachhaltigen Sanierung der Schadensfälle (z.B. Außenweser Langlütjennord und Untere Elbe Juelssand).

1.3 Untersuchungsziel

Dieses FuE-Projekt hat zum Ziel, fundierte Unterlagen für den Bereich der Seeschiffahrtsstraßen der WSV an Nord und Ostsee zu erarbeiten, die eine fachlich abgesicherte und nachhaltige Bemessung auf die langperiodischen, schiffserzeugten Lastfälle durch Wellen und Strömung bzw. Überströmen ermöglichen. Dazu sind im Wesentlichen folgende Untersuchungsschwerpunkte zielführend:

- Grundsätzliche Erfassung der kurz- und langperiodischen schiffserzeugten physikalischen Prozesse im Nahbereich von Leitdämmen und Buhnen.
- Ableitung analytischer Ansätze zur nachhaltigen Bemessung von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen mit Bestimmung bemessungsrelevanter Parameter anhand von Messdaten.

- Aufbereitung abgesicherter Validierungsdaten für numerische Verfahren u.a. aus fachübergreifenden Forschungsgebieten der Geotechnik.
- Anwendung / ggf. Entwicklung hydrodynamisch-numerischer Verfahren zur schiffserzeugten Belastungssituationen von Deckschichten an Strombauwerken.
- Vergleichende Bewertung probabilistischer Bemessungsverfahren zum Einsatz in der WSV.

2 Untersuchungsmethoden

Im Rahmen des Projekts mit LWI und IWW sind umfangreiche methodenübergreifende Untersuchungen an Seeschiffahrtsstraßen zur langperiodischen schiffserzeugten Belastungen im Nahbereich von Leitdämmen und Buhnen wie u.a. das Prüfen von vorhandenen empirisch-analytischen Ansätzen, klein- und ggf. großmaßstäbliche 2D und 3D-Untersuchungen, hydrodynamisch-numerische Simulation, Monitoring in der Natur sowie die Erarbeitung von probabilistischen Bemessungsansätzen parallel zur deterministischen Bemessung vorgesehen. Des Weiteren sind hinsichtlich einer ganzheitlichen Betrachtung der Aufgabenstellung enge projektübergreifende Kontakte mit dem FuE-Projekt A39550170270 der BAW aus dem Fachgebiet Geotechnik vorgesehen.

3 Ergebnisse

Nach der in 2012 abgeschlossenen Schadensanalyse (Arbeitspaket AP1; BAW, 2012) liegen die Berichte der Prozess- und Wissensstandsanalyse (AP2; IWW, 2012), der Parametrisierung von gemessenen Schiffswellen in Modell und Natur (AP3; LWI, 2012), zu den kleinmaßstäblichen 2D-Untersuchungen zur Erfassung der maßgebenden Prozesse und zur hydraulischen Stabilität (AP4; IWW, 2013) sowie zur Entwicklung eines 3D-CFD/CSD-Modells und numerische Stabilitätsuntersuchungen (AP5; LWI, 2013) vor.

Als ein Beispiel aus den bisherigen umfangreichen zweidimensionalen kleinmaßstäblichen Modellversuchen wurden aus dem AP4 die in gemessenen mittleren Überlaufsraten für kurzperiodische Wellen sowie stationären Überfallbedingungen bei einem Freibord von $R_C = 0$ dargestellt (Bild 1; aus IWW, 2013). Anhand der Darstellung werden zudem die noch anstehenden Untersuchungen zur (schiffserzeugten) dynamischen, langperiodischen Wellenbelastung deutlich (Bild 1, Mitte).

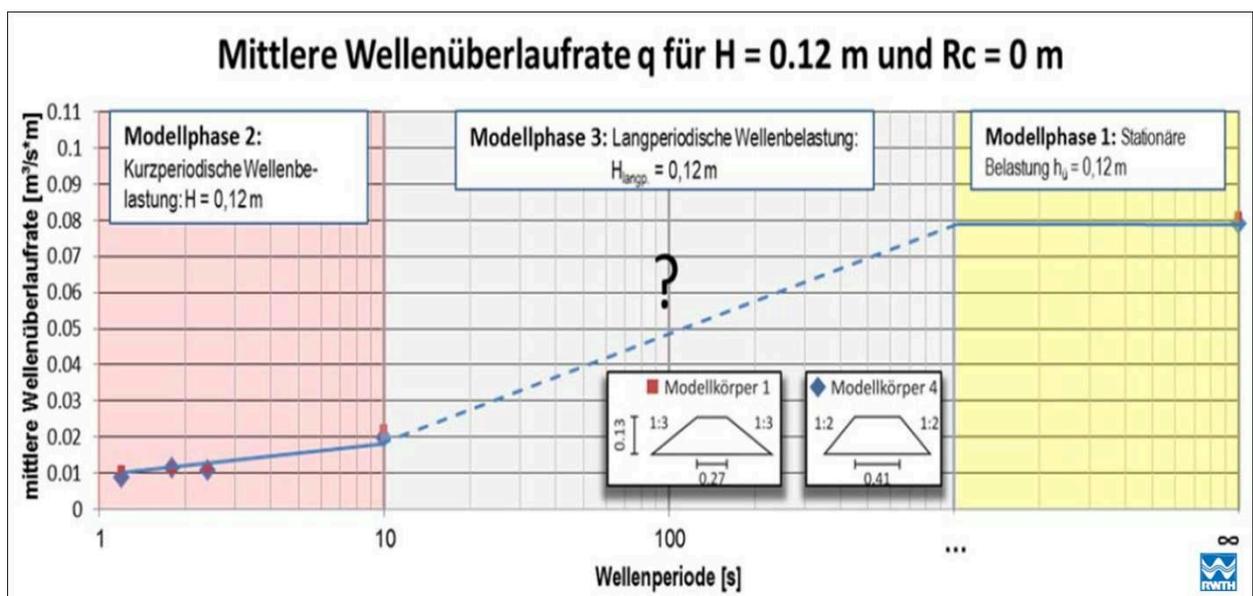


Bild 1: Mittlere Wellenüberlaufsraten (Beispiel) mit Zuordnung zu den Modellphasen des FuE-Projekts-AP4a und noch anstehende Untersuchungen (aus: IWW, 2013)

Mit dem Ziel, die Besonderheiten der langperiodischen schiffserzeugten Belastung mittels physikalischer Parameter zu beschreiben, werden weitere Untersuchungen im zweidimensionalen physikalischen Modell vorgenommen. Dabei wird der Einfluss der Dynamik der langperiodischen Welle in Abhängigkeit der Geometrie des Bauwerkskörpers sowie der Porosität und Rauheit betrachtet. Anhand der Stabilitätsuntersuchungen werden die Grenzbedingungen entsprechender Deckschichten für verschiedene Modelkörper ermittelt. Auf Grundlage der Ergebnisse der 2D-kleinmaßstäblichen Versuche werden die dann noch erforderlichen großmaßstäblichen Untersuchungen herausgearbeitet.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das AP4 (2D-Kleinmaßstäbliche Untersuchungen – Langperiodische Belastung) wurde auf der Basis der Projektskizze an das Institut IWW vergeben. Die Vergabe weiterer AP's an Hochschulen ist vorgesehen. Die bisher geplanten, noch abzuarbeitenden Arbeitspakete (u.a. kleinmaßstäbliche und großmaßstäbliche Untersuchungen, Monitoring von Pilotprojekten in der Natur, Bewertung probabilistischer Bemessungsverfahren) werden voraussichtlich einen Bearbeitungszeitraum von rund drei Jahren in Kooperation mit den Küstenämtern der WSV, den Universitätsinstituten sowie wissenschaftlich orientierten Ingenieurbüros in Anspruch nehmen. Zudem wird erwartet, dass aufgrund der Initiierung des Forschungsprojekts durch die BAW weitergehende Grundlagenforschungen von den beteiligten wissenschaftlichen Institutionen gesehen und in Rahmen einer Verbundforschung aufgegriffen werden.

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2016.

5 Literatur

- BAW (2010): Bemessung der Strombauwerke in der Außenweser unter Berücksichtigung von Schiffswellenbelastungen. Gutachten BAW-Nr. A39550210120, Hamburg (*unveröffentlicht*)
- BAW (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP1 – Schadensanalyse. BAW-Nr. A39550270141, Hamburg (*unveröffentlicht*)
- HPA (2011): BAW-FuE-Projekt „Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten an Seeschiffahrtsstraßen“ - Schadensfälle an Hamburger Stacks, Hamburg (*unveröffentlicht*)
- IWW (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP2 – Wissensstandsanalyse der an der Wellen-Strombauwerk-Interaktion beteiligten Belastungsprozesse. RWTH Aachen (*unveröffentlicht*)
- IWW (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP4 – Kleinmaßstäbliche Untersuchungen zur Erfassung der maßgebenden Prozesse und zur hydraulischen Stabilität (Projektskizze), RWTH Aachen (*unveröffentlicht*)
- LWI (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP3 – Bestimmung der bemessungsrelevanten Parameter schiffserzeugter Wellen in SeeSchStr (Parametrisierung der Schiffswellen. TU Braunschweig (*unveröffentlicht*)
- IWW (2013): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP4 – Kleinmaßstäbliche Untersuchungen zur Erfassung der maßgebenden Prozesse und zur hydraulischen Stabilität, RWTH Aachen (*unveröffentlicht*)
- LWI (2013): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen, AP5 – Entwicklung eines 3D-CFD/CSD-Modells und numerische Stabilitätsuntersuchungen (Numerische Simulation). TU Braunschweig (*unveröffentlicht*)

6 Veröffentlichungen

- Uliczka, K. (2012): Schiffserzeugte langperiodische Belastung zur Bemessung der Deckschichten von Strombauwerken an Seeschiffahrtsstraßen – FuE-Kooperation von LWI (TU BS) / IWW (RWTH) / HPA / BAW. BAW-Kolloquium 21.09.2012, Hamburg

Schiffserzeugter Sedimenttransport in Seeschiffahrtsstraßen

Netzplan-Nr.: A39550270142

Projektleiter: Dr.-Ing. K. Uliczka, Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

Bearbeiter: Dipl.-Ing. (FH) B. Kondziella, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: klemens.uliczka@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Rahmen der Betrachtung des tidebedingten Sediment- und Schwebstofftransports in den Seeschiffahrtsstraßen und der verstärkten Sedimentation in den anliegenden Hafenanlagen der Ästuare nach den vergangenen Ausbaumaßnahmen der Fahrrinnen stellte sich vermehrt in den letzten 10 Jahren die Frage nach dem Anteil von Schiffspassagen der immer größer werdenden Fahrzeuge am residuellen Sedimenttransport.

Nach einer ersten Schriftumsrecherche ist festzustellen, dass der schiffserzeugte Sedimenttransport zum einen hinsichtlich der Resuspension oder Erosion von Uferzonen in Binnengewässern oder an Küstenstreifen durch schiffserzeugte Wellensysteme untersucht wurde. Des Weiteren wurden die schiffserzeugte Suspensionserhöhung integral im Gewässerquerschnitt im Vergleich zu natürlich induzierten Werten abgeschätzt, hauptsächlich aber Binnengewässer und Flüsse bei Passagen von Schubschiffen, Küstenmotorschiffen oder kleineren Schiffseinheiten wie auch Sportbooten untersucht. Darüber hinaus wurden einfache analytische Ansätze entwickelt, mathematische Modellierungen eingesetzt und verglichen sowie z.B. hinsichtlich der Auswirkungen des Propellerstrahls vorhandene Ansätze auf der Basis neuer numerischer Modelle und Messungen in der Natur überprüft.

1.2 Bedeutung für die WSV

Aufgrund der weiterhin zunehmenden Größenentwicklung der Containerschiffahrt (Inbetriebnahme von 18.000 TEU-Containerschiffen in 2013) und der erneut geplanten Anpassung der Fahrrinnen der Seeschiffahrtsstraßen an die Containerschiffahrt erhält die Kenntnis des schiffserzeugten Sedimenttransports als Teil des Sedimentregimes der Tideästuare eine wachsende Bedeutung. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen im Rahmen von Strombau- und Sedimentmanagementkonzepten der Wasser- und Schiffahrtsverwaltung (WSV) für die Seeschiffahrtsstraßen berücksichtigt werden.

Grundsätzlich werden mit entsprechendem Vorlauf die betroffenen Ämter der WSV sowie die zuständigen Lotsenbrüderschaften in das Vorhaben eingebunden.

1.3 Untersuchungsziel

Die wesentlichen, abschnittsunabhängigen Ziele der Untersuchungen für die Seeschiffahrtsstraßen sind:

- Grundsätzliche Erfassung des schiffserzeugten Sedimenttransports (SeST) mit u.a. instationärer schiffserzeugter Wasserspiegeländerung, instationärer schiffserzeugter Strömung in Betrag, Richtung und Verteilung, Turbulenzmaß und -ausbreitung, Suspensionskonzentration und deren vertikale/horizontale Verteilung, Sedimentologie des Gewässerbetts, lokale Sohl- und Böschungsänderungen sowie relevante Daten der Schiffe und deren Passagen.
- Differenzierung des SeST, räumlich und prozessorientiert: Im Nahfeld des Schiffs mit dessen Anteilen, bewirkt durch die Verdrängungsströmung, durch strömungsinduzierte Druckänderung, durch den Propellerstrahl und/oder Nachstrom. Im Fernfeld mit den Anteilen aus Verdrängungsströmung, welleninduzierter Orbitalströmung. Im ufernahen Bereich mit Anteilen aus Verdrängungsströmung, welleninduzierter Orbitalströmung, welleninduzierter Druckänderung/Turbulenz und Wellenumformungsprozessen.
- Entwicklung empirisch-analytischer Ansätze zur Abschätzung des SeST in Seeschiffahrtsstraßen für das Nahfeld, das Fernfeld sowie die Uferzone sowie
- Ermittlung des Anteils des SeST am Gesamttransport in einem Tideästuar.

2 Untersuchungsmethoden

Aufgrund der Abhängigkeit der tidebedingten und schiffserzeugten physikalischen Prozesse, die den SeST in einer Seeschiffahrtsstraße beeinflussen, können nur Messungen in der Natur über die Wirkzusammenhänge Aufschluss geben. Zur ganzheitlichen Betrachtung sind SeST-Messungen im Nah- und Fernfeld sowie in der Uferzone vorgesehen. Dazu sind neben einer vertieften Prozess- und Wissensstandsanalyse (AP1) verschiedenste Arbeitspakete erforderlich, die u.a. unter den folgenden Aspekten abgearbeitet werden. Im AP2 wurden in 2012 Messungen, u.a. als Erprobung von Verfahren, unter kontrollierten Bedingungen bei geringem „Grundrauschen“ in der Seeschiffahrtsstraße Nordostsee-Kanal (NOK) vorgenommen, um dann mit den geprüften Messverfahren in einem weiteren Schritt weitere Messkampagnen unter Tidebedingungen fortzuführen.

Analysen im Nahfeld von Schiffspassagen sollen detaillierte Einblicke in die physikalischen Prozesse der Schiffsumströmung und des SeST hinsichtlich des Einflusses z.B. der Verdrängungsströmung, des Propellerstrahls und/oder des Nachstroms geben. Zur ganzheitlichen Beschreibung des SeST in einem Querprofil ist die parallele Erfassung des SeST im Fernfeld und in der Uferzone denkbar.

Verschiedene Messverfahren wie u.a. stationäre ADCP-Messungen, instationäre ADCP- und SES-Messungen mit begleitender Probenentnahme und weitere Systeme wie z.B. Fächersonarsysteme waren bei der Messkampagne am NOK in 2012 zu erproben und auf ihre Einsatztauglichkeit für die Messaufgabe zu überprüfen. Die Messergebnisse der Hydrodynamik sowie des bereichsweisen schiffserzeugten Sedimenttransports sind prozessorientiert zu analysieren, als empirisch/analytische Ansätze zu formulieren und hinsichtlich des Genauigkeitsmaßes sowie der Gültigkeitsgrenzen zu betrachten.

Die in der Natur erfassten hydrodynamischen Prozesse bei der Umströmung eines Schiffs bei Revierfahrt werden zudem als weitere Validierungsdaten in dem laufenden FuE-Projekt Schiffshydrodynamik in Flachwasser SHD-F (BAW-Nr. A39550270133) verwendet.

3 Ergebnisse

Um einen Einblick in die Vielfalt der Verhältnisse in der Wassersäule nach der Passage eines Schiffs zu erhalten, waren im AP2 stichprobenartig über einen längeren Zeitraum zeitlich und räumlich hochauflösende (Sonar-) Profilmessungen zur Erfassung der akustischen Signatur des Nachstroms im Nahfeld eines passierenden Seeschiffs sowohl in der Tideelbe bei Wedel als auch im Nordostsee-Kanal vorgenommen worden (HCU, 2011; HCU, 2012).

An der im Rahmen des AP2 vorgenommene Messkampagne am NOK im September 2012 waren neben der BAW der Partner AquaVision, Utrecht, NL sowie der ABz. Hochdonn des WSA Brunsbüttel beteiligt. Die umfangreichen Ergebnisse wurden nach fachlich relevanten Kriterien dokumentiert und an sohnahen Einzelpositionen, im Vertikalprofil sowie im Gewässerquerschnitt ausgewertet und untereinander abgeglichen. Zur Verdeutlichung der Schwierigkeiten bei der Zuordnung der Rückstreuungssignale (Sediment oder akustische Störung?) bei der Analyse der ADCP-Querprofilfahrten unmittelbar im Nachstrom eines Fahrzeugs wurde beispielhaft eine der Ergebnisdarstellungen aufbereitet und bewertet (Bild 1; aus Uliczka / Kondziella, 2013 nach AquaVision, 2012).

Die Messungen in einem „stehenden“ Gewässer, hier dem NOK, veranschaulichten die Möglichkeiten, aber auch Grenzen der verschiedenen Messverfahren zur Erfassung der durch ein fahrendes Schiff erzeugten erhöhten Sedimentkonzentration in der Wassersäule. Bei der Analyse der akustischen Rückstreuungssignale im Nachstrom der Schiffe müssen die Anteile sowohl aus u.a. propellerinduzierten Turbulenzen bzw. Luftpneumaten als auch aus erhöhter Sedimentkonzentration separiert und eine mögliche gegenseitige Beeinflussung berücksichtigt werden. Der Einsatz redundanter, u.a. optischer Messverfahren ermöglicht hierbei eine fachlich abgesicherte Bewertung und gibt erste Einblicke in die fahrzeugabhängige Größenordnung einer erhöhten, schiffserzeugten Sedimentkonzentration.

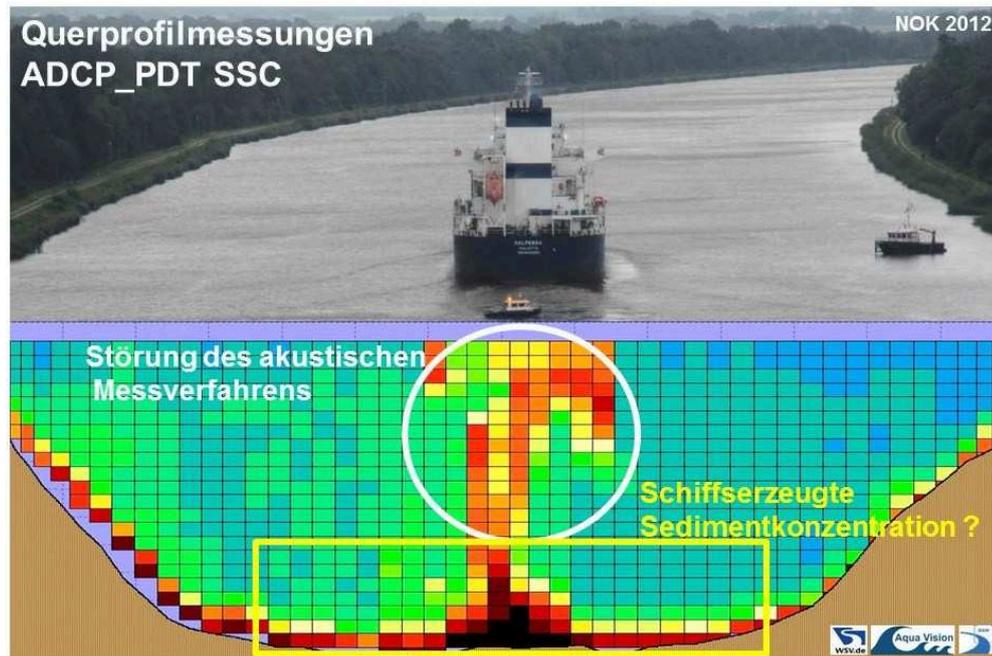


Bild 1: Analyse und Bewertung von ADCP-Querprofilfahrten im unmittelbaren Nachstrom einer Schiffspassage im NOK hinsichtlich der Verwertbarkeit dieses Messverfahrens zur Bestimmung des schiffserzeugten Sedimenttransports (aus Uliczka / Kondziella, 2013 nach AquaVision, 2012)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die umfangreichen Messdaten der BAW und des Partners AquaVision am NOK vom September 2012 werden weitergehend analysiert sowie hinsichtlich möglicher Rückschlüsse auf die vorgesehenen Messkampagnen in der Tideelbe bewertet. Im Rahmen eines in 2013 vorbereiteten Kooperationsvertrags mit dem fwu der Universität Siegen werden darüber hinaus die weiteren AP's des FuE-Projekts neu definiert und gemeinsam bearbeitet.

Laufzeit des Vorhabens von 2011 bis 2016.

5 Literatur

- AquaVision (2012): Suspended sediment measurements in the Nord-Ostsee-Kanal. AquaVision BV, Utrecht, The Netherlands (in Englisch; *unveröffentlicht*)
- HCU (2011): Akustische Signatur des Nachstroms im Nahfeld passierender Seeschiffe auf der Unterelbe. Northern Institute of Advanced Hydrographics / HafenCity Universität Hamburg (*unveröffentlicht*)
- HCU (2012): Erfassung des Gewässerbetts und von Sedimenten im Nordostseekanal (NOK) mit hydroakustischen Methoden. Northern Institute of Advanced Hydrographics / HafenCity Universität Hamburg (*unveröffentlicht*)

6 Veröffentlichungen

- Kondziella, B., Böder, V., Prokoph, A., Sauer, A. (2013): Forschung und Entwicklung zum schiffserzeugten Sedimenttransport (SeST) im NOK und in der Elbe. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Tagungsband BfG-Kolloquium 11/29012: Neue Entwicklungen in der Gewässervermessung, Koblenz 5/2013 - ISSN 1866 – 220X, http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst5_2013.pdf
- Uliczka, K., Kondziella, B.(2013): Auswirkungen der Schiffsgrößenentwicklung auf Seeschiffahrtsstraßen. Vortrag und Kurzfassung, BAW-Kolloquium 19.09.2013: Projekte und Entwicklungen für aktuelle Fragestellungen im Küstenwasserbau, Hamburg

Berücksichtigung von beweglichen oder fixen Strukturen (Schiffe) an der freien Wasseroberfläche im hydrodynamisch numerischen Modell UnTRIM

Netzplan-Nr.: A39550270149

Projektleiter: M. Kastens, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: marko.kastens@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In dem Forschungsprojekt der BAW soll geklärt werden, welchen Einfluss Schiffe auf die Hydrodynamik und damit schließlich auch auf den Sedimenttransport z.B. eines Tideästuars haben. Da sich die komplexen natürlichen Prozesse im Ästuar mit denen der Wechselwirkung eines Seeschiffs mit seiner Seeschiffahrtsstraße überlagern, liegt die Anwendung eines mathematischen Simulationsmodells nahe, um die Anteile der Veränderung der Hydrodynamik durch ein oder mehrere Schiffe zu quantifizieren.

Das mathematische Verfahren UnTRIM ermöglicht die numerische Simulation vieler für das Tidegebiet bedeutsamer physikalischer Prozesse. Hierzu zählen u. a. die Ausbreitung der Tidewelle, der Wechsel von Ebbe- und Flutstrom, der Transport von Salz, Wärme und Schwebstoffen im Wasserkörper. Die derzeit aktuellste Version von UnTRIM (UnTRIM², siehe FuE-Projekt UnTRIM-Subgrid Topographie, A39550370150) kann zusätzlich höhere als durch das Berechnungsnetz aufgelöste Informationen der Bathymetrie an der Gewässersohle verarbeiten (SubGrid-Technologie).

Noch nicht möglich ist zurzeit eine Be-/Einschränkung der freien Wasseroberfläche durch feste und/oder bewegliche Strukturen, wie beispielsweise Schiffe oder von z.B. oben eintauchende Sperrwerkstore - im Folgenden allgemein Verblockung der Wasseroberfläche genannt.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die gutachterliche Beratung der WSV ist die zentrale Kernaufgabe der BAW. Zur Unterstützung der gutachterlichen Aussagen kommen sehr häufig hydrodynamische numerische Modelle zum Einsatz. In der BAW in Hamburg ist das mathematische HN-Verfahren UnTRIM das meistgenutzte Werkzeug.

Mit zunehmender Häufigkeit wird von den Ämtern der WSV der Einfluss von Schiffen auf die Hydrodynamik und den Sedimenttransport nachgefragt (siehe dazu auch das FuE-Projekt Schiffserzeugter Sedimenttransport in Seeschiffahrtsstraßen, A39550270142). Die Berücksichtigung der oben beschriebenen Verblockungen der freien Wasseroberfläche in dem HN-Verfahren UnTRIM eröffnet die Möglichkeit, den Einfluss von Schiffen auf die Hydrodynamik in einer ersten Näherung zu ermitteln.

1.3 Untersuchungsziel

Das Untersuchungsziel ist die Berechnung der veränderten Hydrodynamik aufgrund der Querschnittsverblockung an der freien Wasseroberfläche durch ein Schiff.

Dazu soll im HN-Modell UnTRIM die SubGrid-Technologie auf die freie Wasseroberfläche übertragen werden, so dass eine dynamische Verblockung der Wasseroberfläche im Modell als eine weitere Randbedingung mit berücksichtigt werden kann.

2 Untersuchungsmethoden

Erweiterung des HN-Modells UnTRIM (Programmierung) und numerische Modellierung mit dem HN-Modell UnTRIM.

3 Ergebnisse

Durch die zusätzliche Randbedingung einer verblockten oder gespannten Oberfläche, wurde es nötig einen Lösungsalgorithmus zu entwickeln, der der zusätzlichen Randbedingung Rechnung trägt und trotzdem Lösungen findet, die robust sind. Casulli & Zanolli (2012) haben einen solchen Algorithmus aufgestellt und dokumentiert.

Dieser Algorithmus wurde ebenfalls von V.Casulli an der Universität Trient in den Programmcode UnTRIM² implementiert und getestet. UnTRIM² beinhaltet bereits die SubGrid-Technologie (Casulli, 2011), mit der auch Topographiedetails, die kleiner sind als die Diskretisierung des Berechnungsgitters berücksichtigt werden können.

Ferner wurde ein Rahmenmodul in Fortran 95 entworfen und programmiert, dass als Schnittstelle für eine zukünftige Bewegung von Schiffen im Modell UnTRIM² dienen soll. Dieses Modul bedient den UnTRIM²-Kern mit dem Setzen der Randbedingung für die gespannte Oberfläche. Es wurde in seiner jetzigen Funktionalität getestet, für gut befunden und muss zukünftig noch weiter entwickelt werden. Durch das Vorhandensein dieses Moduls mit den noch sehr beschränkten Möglichkeiten konnten die ersten Plausibilitätstests mit dem neuen UnTRIM²-Kern durchgeführt werden. Diese Plausibilitätstests umfassten einen Block, der in das Wasser eingetaucht wurde (s. Bild 1Bild).

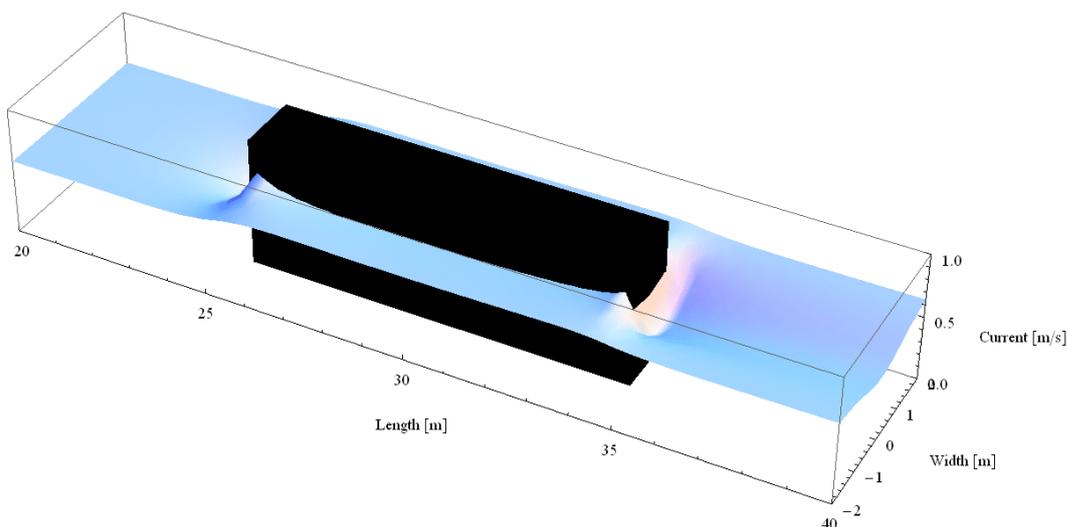


Bild 1: Anströmung eines Blocks, der Teilweise in die Wasseroberfläche eingetaucht ist. Die Anströmung erfolgt von Links; dargestellt ist nur die x-Komponente der Strömung

Analysiert wurden die Strömungen um den Block sowie die Wasserspiegelauslenkung. Der bei einer Schiffsumströmung erkennbare Bernoulli-Effekt (Erhöhung der Geschwindigkeiten/kinetische Energie und Absenk des Wasserstandes/Potenzielle Energie) konnte hier prinzipiell im Modell abgebildet werden (s. Bild 2).

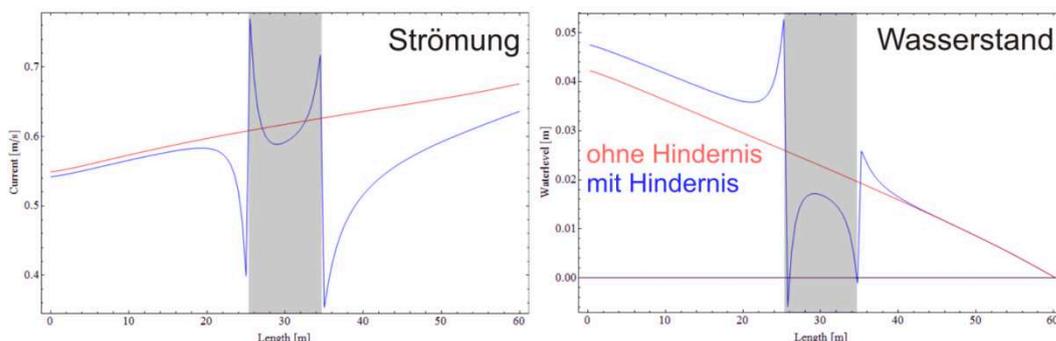


Bild 2: Strömung und Wasserstand entlang der Kanalmitte

Damit ist der Simulationskern in der Lage von oben eintauchende Gegenstände zu berücksichtigen. Die Simulation verlief darüber hinaus ohne wahrnehmbare Geschwindigkeitsverluste gegenüber einer Simulation ohne eingetauchten Körper. Auch war die Robustheit der Lösung bei den Tests immer gegeben: es gab keine unkontrollierten Modellzustände oder Abbrüche.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Nach der Implementierung des neuen UnTRIM-Kerns in die BAW-Umgebung folgten die ersten Funktions- und Plausibilitätstests der Schnittstelle und des neuen Kerns. Im nächsten Schritt soll die Schiffshülle via Schnittstelle in den Modellcode importiert werden. Es folgen weitere Funktions- und Plausibilitätstests (Arbeitspaket 3). Die Bewegung (Arbeitspaket 2) entlang einer Bahnlinie erfolgt erst nach zufriedenstellenden Ergebnissen des oben genannten nächsten Schritts.

Arbeitspaket 1: Softwareentwicklung, Implementierung und Plausibilitätstests des HN-Modells UnTRIM

Die Entwicklung soll folgende Bedingungen/Annahmen erfüllen:

- Die Hülle des Schiffes soll grob wiedergegeben werden (z.B. der Bugwulst muss nicht mit abgebildet werden) - die Auflösung des Schiffes hat dieselbe Subgrid-Auflösung wie die Bathymetrie unter dem Schiff (gleiche Struktur und Größe)
- Um die Berechnungsgeschwindigkeiten praktikabel beizubehalten wird Hydrostatik vorausgesetzt
- Der Fokus liegt auf langen Wellen. Kurzperiodische Wellen werden nicht betrachtet.
- Die Kräfte auf das Schiff und die daraus resultierende Lageveränderung des Schiffes werden nicht berechnet (Squat und Trimm)
- In einer ersten Version wird der Schiffskörper statisch an einer Position im Modellgebiet positioniert
- Plausibilitätstests

Arbeitspaket 2: Softwareentwicklung, Implementierung und Plausibilitätstests des HN-Modells UnTRIM

Die Entwicklung soll folgende Bedingungen/Annahmen erfüllen:

- Der Schiffskörper wird über eine durch externe Daten beschriebene Bahn durch das Wasser geführt
- Diese externen Daten beschreiben die Position, den Tiefgang, den Kurs und die Geschwindigkeit über Grund
- Plausibilitätstests

Arbeitspaket 3: Schnittstellen, Analysen, Visualisierungen und Validierung

- Literaturrecherche
- Entwicklung von eigenen Datenformaten oder Bereitstellung von Schnittstellen schon verfügbarer Datenformate
 - der Schiffshülle für die Simulation
 - der Schiffsposition, Kurs sowie der Geschwindigkeit
- Schnittstellen zur Datenausgabe von UnTRIM (Schnittprofile und Nahfeldergebnisse)
- Visualisierung und Darstellung (von z.B. Schiffspassagen)
- Parameteranalyse (Wasserstand, Strömung, ...)
- Plausibilitätstests
- Validierungen
- Benchmarks
- Dokumentation
- Anforderungsanalyse zur Erweiterung der vorhandenen Post-Prozessoren Software (Tidekennwertanalyse, Darstellungssoftware, ...)

Arbeitspaket 4: Validierung der Methode mit Naturmessdaten aus dem FuE-Projekt Schiffserzeugter Sedimenttransport in Seeschiffahrtsstraßen

Zeitplan:

2012/13: Arbeitspaket 1 (abgeschlossen)

2013/14: Arbeitspaket 2

2012-14: Arbeitspaket 3

2015: Arbeitspaket 4

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2015.

5 Literatur

Casulli, V. & Stelling, Guus S. (2011): Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows, *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Volume 67, Issue 4, Pages 441-449, 10.1002/flid.2361

Casulli, V. & Zanolli, P. (2012): Iterative solutions of mildly nonlinear systems, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Volume 236, Issue 16, Pages 3937-3947, 10.1016/j.cam.2012.02.042.

6 Veröffentlichungen

Kastens, M. (2013): First application of the new ceiling boundary condition and further outlook; Vortrag auf dem Untrim Users Meeting 2013, Prof. Casulli, Universität Trient, Italien, 27.-29.5.2013

Kastens, M. (2013): Einsatz numerischer Methoden für die Fachaufgabe Schiff – Wasserstraße; Vortrag im Rahmen des BAW-Kolloquiums, Hamburg, 19.9.2013

Feststofftransport in Ästuaren

Netzplan-Nr.: A39550270150

Projektleiter: Dipl. Ing. (FH) Ch. Maushake, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme I (K2)

Bearbeiter: Dr. rer. nat. S. Grünler, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: christian.maushake@baw.de, steffen.gruenler@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Das Verständnis der räumlichen und zeitlichen Veränderung der Hydrodynamik, des Sedimenttransports und der Morphodynamik ist von zentraler Bedeutung für die Unterhaltung von Gewässern als auch für Prognosen der physikalischen Gewässereigenschaften in der Zukunft. Um die in der BAW eingesetzten numerischen Modell- und Berechnungsverfahren kalibrieren und validieren zu können, spielen die Messungen von geophysikalischen Gewässerparametern eine wichtige Rolle. Daraus lassen sich folgende Verwendungszwecke ableiten:

- Erfassung von geophysikalischen Gewässergrößen und ästuarspezifischen Eigenschaften für die Validierung von numerischen Modellen bezüglich:
 - Tidedynamik
 - max. Strömungsgeschwindigkeiten
 - Durchflussmengen
 - Strömungsverteilung
 - Residuelle Transporte
 - Schwebstoffgehalte
 - Durchfluss
 - Lage und Dynamik der Trübungszone
 - Schichtenaufbau in der Bodengrenzschicht
 - Großräumige Morphologie (Bodenformen)
- Analyse hydrologischer und sedimentologischer Teilprozesse in den Tideästuaren und Küstengewässern:
 - Turbulenz, insbesondere in der bodennahen Schicht
 - Sinkgeschwindigkeiten der Feststoffe in der Wassersäule in charakteristischen Tidephasen
 - Flüssigschlickdynamik, insbesondere Dynamik der Lutokline
 - Zusammenhang zwischen Fluid-Dichten (bulk density) und Feststoffkonzentrationen
 - Bodenformen und sohnaher Sedimenttransport
 - Schwebstoffdynamik und Flokkulationsprozesse in der Wassersäule

Die BAW verfügt über eine ganze Reihe an geeigneten Datensätzen aus Naturmessungen der drei deutschen Hauptästuare (Elbe, Weser, Ems), die hinsichtlich der oben genannten Verwendungszwecke erst oberflächlich ausgewertet worden sind. Die Validierung der numerischen Modellsysteme ist unabdingbar für das Verständnis der Ästuardynamik und für die Prognosen möglicher naturräumlicher und anthropogener Veränderungen. Die verfügbaren Datensätze aus den Naturuntersuchungen müssen für die Validierung vertieft wissenschaftlich evaluiert werden. Daneben lassen sich mit den Naturmessungen besonders kleinskalige geophysikalische Prozesse studieren, die von elementarer Bedeutung für die Weiterentwicklung und Qualitätssicherung der numerischen Modellsimulationen sind. Ferner ist die Implementierung weiterer physikalischer Teilprozesse in die bei der BAW verwendeten Modellierungssysteme mit Bezug zum Feststofftransport schrittweise fortzuführen. Hierzu sollen durch wissenschaftliche Analysen der vorhandenen Datensätze fachlich gesicherte Vorgehensweisen erarbeitet werden. Da für einige Teilprozesse wie „Sinkgeschwindigkeiten“ und „Flüssigschlickdynamik“ bisher nur eine unzureichende Datengrundlage besteht, sollen aus den Analysen geeignete Messverfahren abgeleitet und entwickelt werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Neben dem weiteren Verständnis der Ästuardynamik stellen die aus den Analysen gewonnenen Erkenntnisse einen elementaren Bestandteil für die Validierung und Weiterentwicklung der numerischen Modellsysteme dar. Die Expertise der Modellierung der langfristigen Feststofftransporte ist im Hinblick für die geplanten Ausbauprojekte der Seeschiffahrtsstraßen (zurzeit: Elbe, Weser, Ems) von großer Bedeutung. Die Prognose der Feststofftransporte stellt z.B. für Fragen des Sedimentmanagements eine zentrale Aufgabe im Rahmen der gutachterlichen Tätigkeit der BAW gegenüber der WSV dar. Die Validierung und Qualitätssicherung der Berechnungsergebnisse ist ohne robuste in-situ-Daten aus Naturuntersuchungen in planrechtlichen Verfahren nicht mehr darstellbar. Damit sind die im Abschnitt 1.1 genannten Mess- und Analyseverfahren von unverzichtbarer Bedeutung für die fachlich gesicherte Aufgabenerfüllung der BAW und für die WSV.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des Forschungsprojektes ist die Validierung und Weiterentwicklung der bei der BAW eingesetzten in-situ Methoden zur Untersuchung der Feststoffdynamik und der Austauschprozesse in der Bodengrenzschicht in den Hauptästuaren der Deutschen Bucht (Elbe, Weser, Ems) mit folgenden Teilaufgaben:

- Generierung von Validierungsdaten für die numerische Modellierung
 - Konvertierung akustischer Rückstreuintensitäten in Schwebstoffkonzentrationen aus ADCP-Messungen
 - Analyse der einzusetzenden akustischen Frequenzen (z.B. 300, 600 kHz)
 - Vergleich und Bewertung der Ergebnisse aus akustischen (ADCP, ADV) und optischen Messungen (OBS, LISST)
 - Korrelationsbetrachtungen der gefundenen Schwebstoffbilanzen mit Korngrößenanalysen und Dichteprofilen, sowie der hydrologischen Randbedingungen
 - Ästuarübergreifender Vergleich der Ergebnisse
- Entwicklung und Test von Beobachtungskonzepten, um vorhandene Lücken bei der Beschreibung physikalischer Teilprozesse zu schließen:
 - Fließgeschwindigkeiten in hochkonzentrierten Suspensionen
 - Untersuchungen zur Beschreibung der Lutokline (dynamisch)
 - In-situ Erfassung von Sinkgeschwindigkeiten
 - Weitere Entwicklung bzw. Erprobung von Methoden zur Beobachtung der Charakteristik von Schwebstoffen und der Flockendynamik

2 Untersuchungsmethoden

Die in der BAW umfangreich verfügbaren Naturmessdaten wurden hinsichtlich der forschungsrelevanten Größen erst in Ansätzen untersucht (AquaVision 2009-2011). Zunächst werden vorhandene wissenschaftliche Analysemethoden eingesetzt (AP1-3), um daraus Konzepte für die weitergehenden Untersuchungen (AP4-5) abzuleiten.

3 Ergebnisse

Das marum – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen ist als externer universitärer Partner in die Durchführung des FuE-Vorhabens eingebunden. Im Rahmen dieser Kooperation hat in der ersten Phase des Projektes eine Aufarbeitung und Analyse der vorliegenden Ergebnisdatensätze stattgefunden. Dieses Vorgehen entspricht den Arbeitspaketen AP1 und AP2 des vorliegenden Bearbeitungskonzeptes. Insgesamt wurden 21 Datensätze (ADCP, CTD, OBS, LISST Messungen) verschiedener Messkampagnen hinsichtlich der Strömungsgeschwindigkeit und teilweise des Sedimenttransportes aus den Ästuaren Elbe, Weser und Ems aufbereitet, analysiert, dokumentiert (AP3) und in einem einheitlichen Datenformat abgelegt.

Zudem wurde in enger Abstimmung mit Verantwortlichen aus den Referaten K2 und K3 ein Datenaustauschprotokoll zwischen den numerischen Modellergebnissen und den Naturmessungen (NetCDF

mit dem CF Metadatenstandard) definiert. Erstens kann damit ein vereinfachter Ergebnisaustausch mit dem marum erfolgen. Zweitens, und weit wichtiger ist, dass mit der standardisierten Prozessierungs- und Analysestrategie für die Messergebnisse eine konsistente Validierung von numerischen Modellergebnissen garantiert wird.

Die Ergebnisse einer ersten ästuarübergreifender Abschätzung der Nettotransportmengen (Elbe, Weser, Ems) für die vorliegenden Datensätze (Bild 1) wurden auf der Intercooh (International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes) in Gainesville, FL, USA (Grünler & Maushake, 2013) sowie auf internen Veranstaltungen der BAW präsentiert und diskutiert. Anlehnend an die AP3-5 und den genannten Veranstaltungen konnte die weitere Vorgehensweise und das Arbeitsprogramm für 2014 und 2015 festgelegt werden.

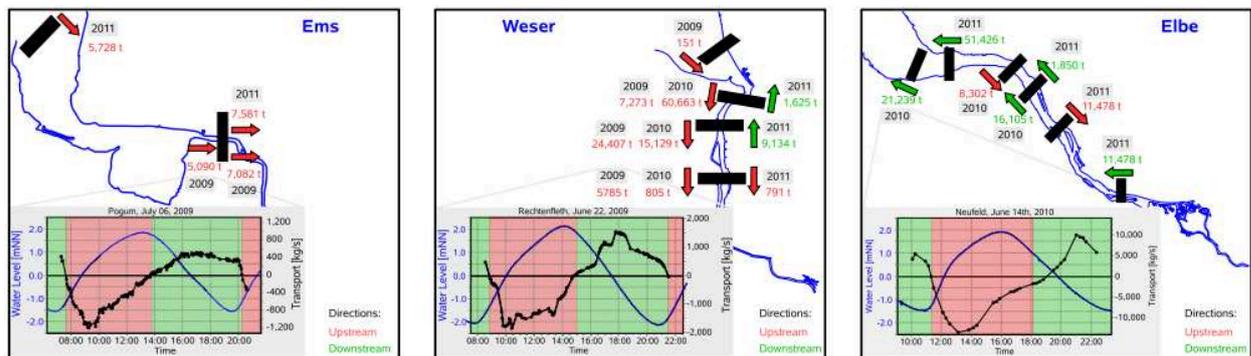


Bild 1: Vorläufige Abschätzungen der Nettosedimenttransporte über einen Tidezyklus für die Ästuarie Elbe, Weser und Ems. An ausgewählten Querprofilen ist der Verlauf des Wasserstandes und der abgeschätzten Schwebstofftransporte über einen Tidezyklus dargestellt.

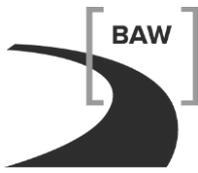
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2016.

2013: (AP1-3) Erstellung eines Analysekonzeptes für bereits vorliegende Datensätze. Überprüfen der Vollständigkeit und Verwendbarkeit. Entwicklung von Beobachtungskonzepten für vorhandene Lücken bei der Beobachtung physikalischer Teilprozesse. Hierbei wird vor allem die Dynamik der hochkonzentrierten Suspensionen, wie sie z.B. in der Ems vorherrschen, von Interesse sein.

2014: (AP3-6) Vertiefte Analysen der ADCP-Kalibrierung mittels CTD, OBS, LISST der vorliegenden Datensätze, um die ersten Abschätzungen der Nettotransporte aus den deutschen Ästuaren Elbe, Weser, Ems zu verbessern. Aus der Entwicklung von Beobachtungskonzepten der physikalischen Teilprozesse (AP4) ergibt sich neben eines ästuarübergreifenden Analyseansatzes, dass ein Schwerpunkt der Arbeiten auf den hochkonzentrierten Suspensionen der Ems liegen wird. Ein weiterer Schwerpunkt soll die Elbe in den Bereichen der baroklinen Wechselzone und der Verklappstellen der Feinsedimente darstellen. Hierbei werden bestehende Messdaten für diese Bereiche detaillierter analysiert. Die gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Planung spezieller Messkampagnen zur Sedimenttransportdynamik in der baroklinen Zirkulationszone und der kurzfristigen Sedimentdynamik an den Verklappstellen der Elbe ein. Ferner werden die bisherigen Arbeiten und Ergebnisse detailliert dokumentiert, im BAWiki öffentlich präsentiert und in Fachzeitschriften und wissenschaftlichen Konferenzen veröffentlicht.

2015: (AP3, AP5-7) Weitere Planung und ggf. Durchführung entsprechender Messkampagnen in Elbe und Ems. Die wissenschaftliche Analyse spezieller Teilprozesse aus den jeweiligen Messkampagnen wird fortgeführt. Die Resultate werden auf Konferenzen und in Fachzeitschriften präsentiert und veröffentlicht. Basierend auf den Erkenntnissen wird ein Validierungsdokument



(numerische Modellergebnisse/ Naturmessungen) für die deutschen Hauptästuare (Elbe, Weser, Ems) erstellt. Im Anschluss wird ein zitierungsfähiger Abschlussbericht verfasst.

5 Literatur

AquaVision (2009-2011), Suspended Sediment Measurements, *Reports on 7 field surveys conducted by commission of the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW), Germany.*

6 Veröffentlichungen

Grünler, G. & Maushake, C. (2013), Field Studies of Suspended Sediment Dynamics in Estuaries. Poster at the International Conference on Cohesive Sediment Transport Processes (Intercoh) 2013. In: <http://ewisa.baw.de/publication/1097>.

KLIWAS – K3 (<http://www.kliwas.de/>)

Projekt 2.04: Betroffenheit wasserbaulicher Anlagen der deutschen Küste und der Ästuar durch Klimaänderungen;

Projekt 3.02: Anpassungsoptionen für Wasserstraßen und Häfen an der deutschen Küste sowie für den Küstenschutz bei Extremereignissen

Netzplan-Nr.: A39550310162

Projektleiter: Dr. N. Winkel, Dr. E. Rudolph, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II (K3)

Bearbeiter/in: Dipl.-Geol. F. Hesser, Dr. R. Seiffert, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: norbert.winkel@baw.de, elisabeth.rudolph@baw.de

1 Problemstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die deutschen Küsten und Ästuar werden in weiten Bereichen als Schifffahrtsstraßen genutzt. Die Folgen des Klimawandels können die Schifffahrt, den Zustand der Wasserstraßen und die angrenzenden Lebensräume verändern. Die möglichen Betroffenheiten werden hauptsächlich durch einen Anstieg des Meeresspiegels, veränderte Sturmtätigkeiten und ein verändertes Abflussregime beeinflusst. Die BAW erforscht in Zusammenarbeit mit den anderen drei Fachbehörden des BMVI die Folgen des Klimawandels für die Wasserstraßen und für die Schifffahrt und entwickelt Anpassungsoptionen. Ziel ist es einerseits, die Leistungsfähigkeit des Verkehrsträgers zu sichern, und andererseits, die Gewässerqualität und Lebensräume in den Flüssen und an den Küsten zu gewährleisten.

Eine Änderung des Klimas wirkt sich auf die deutschen Küsten und deren Ästuar in vielfältiger Weise aus. Wasserbaulich relevant sind hier besonders die bisher unbekanntenen Veränderungen in Wasserständen, Strömungsgeschwindigkeiten sowie dem Transportverhalten von Salz und Sediment. Die durch Klimawandel veränderte hydrologische Situation stellt eine Herausforderung dar für Betrieb, Unterhaltung und Ausbau der Seeschifffahrtsstraßen, z.B. über Zunahme der Strömungen, große unerwünschte Sedimentumlagerungen oder veränderte nautische Zugangsbedingungen zu den Häfen.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Langfristigkeit von Investitionen und Planungen im Küstenwasserbau erfordert es, Anpassungsoptionen an Klimatrends bereits heute zu entwickeln und so zu gestalten, dass ein kurzfristiges Handeln im Hinblick auf zukünftige Randbedingungen optimiert werden kann. Daher ist der erfolgreiche Verlauf des Programms für die WSV von großer Bedeutung.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist die Schaffung einer für Wasserstraßen und Häfen sowie den Küstenschutz optimierte Datenbasis von Klimaänderungsinformationen sowie die Entwicklung von Methoden, die das Erproben von Anpassungsmaßnahmen mit Hilfe dieser Datenbasis ermöglichen. Geplant ist die standardmäßige Einbindung von Untersuchungen unter Klimawandelbedingungen für laufende und zukünftige Projekte der WSV.

2 Untersuchungsmethoden

Mithilfe dreidimensionaler hydrodynamisch-numerischer Modelle der Nord- und Ostsee, der Ästuar von Elbe, Jade-Weser und Ems sowie der Schlei werden in verschiedenen Szenarien zentrale Aspekte möglicher Zukünfte untersucht. Die Haupteinflussfaktoren Meeresspiegel, Oberwasserzufluss und Wind werden im Rahmen der durch den Klimawandel erwarteten Änderungen variiert. Mittels dieser Sensitivitätsstudien lassen sich klare Wenn-Dann Aussagen formulieren und mögliche Betroffenheiten

ableiten. Im zweiten Schritt werden ausgewählte Sensitivitätsuntersuchungen in Kombination mit Anpassungsoptionen wiederholt.

3 Ergebnisse

Die Simulationen mit dem Ostseemodell mit und ohne Meeresspiegelanstieg zeigen, dass die Variabilität des Wasserstandes an der offenen Ostseeküste und in Buchten mit offenem Zugang zur Ostsee unverändert bleibt. In dem Binnenrevier Schlei verstärkt dagegen der Anstieg des Meeresspiegels die Variabilität der Wasserstände.

Ein aus dem Atlantik kommender Meeresspiegelanstieg erreicht die deutsche Nordseeküste räumlich und zeitlich unterschiedlich. Der Meeresspiegelanstieg hebt die Tidewelle nicht nur an, er beeinflusst auch die Form der Tidekurve. Die Verformung der Tidekurve ist in den Außenbereichen der Nordseeästuare klein.

Innerhalb der Nordseeästuare verändert sich die Tidedynamik durch den Meeresspiegelanstieg dagegen erheblich. Das mittlere Tidehochwasser wird stärker angehoben als das mittlere Tideniedrigwasser (Bild 1). Der Tidehub nimmt zu. Die Flutstromgeschwindigkeiten nehmen in vielen Bereichen stärker zu als die Ebbestromgeschwindigkeiten. Durch eine verstärkte Flutstromdominanz erhöht sich der stromaufgerichtete Sedimenttransport. Für die Unterhaltung der Ästuare als Seeschiffahrtsstraßen bedeutet der Meeresspiegelanstieg zum einen eine größere für die Schifffahrt nutzbare Wassertiefe, zum anderen erhöhten Aufwand und erhöhte Kosten für die Unterhaltungsbaggerung aufgrund des verstärkten stromaufgerichteten Sedimenttransports. Die Brackwasserzone wird sowohl durch einen Meeresspiegelanstieg als auch durch langanhaltend niedrige Oberwasserzuflüsse stromauf verschoben. Durch einen Meeresspiegelanstieg erhöht sich die Schwebstoffkonzentration in der Trübungszone der Elbe. Dies führt zu einer etwas niedrigeren Gesamtbelastung von Schadstoffen in der Wassersäule, da der Anteil geringer belasteter Sedimente ansteigt.

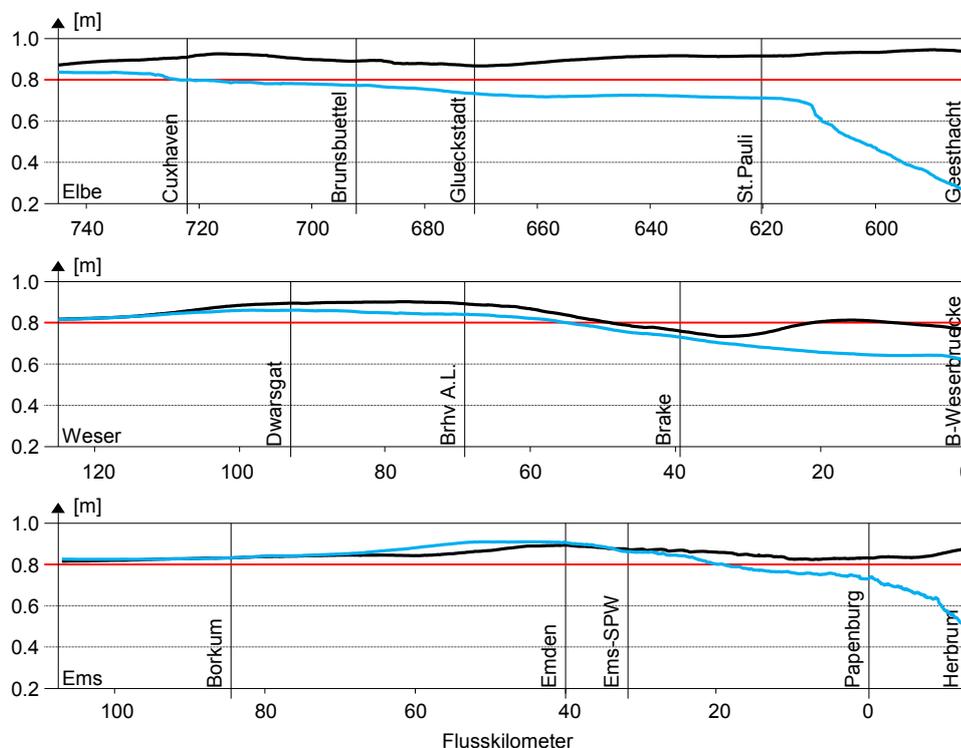


Bild 1: Differenz des mittleren Tidehochwassers (schwarz) und Tideniedrigwassers (blau) zwischen der Simulation mit erhöhtem Meeresspiegel und dem Vergleichszustand entlang der Fahrrinne des jeweiligen Ästuars. Die Abbildung zeigt das Wehr rechts und die Nordsee links.

Zur nachhaltigen Verminderung des seeseitigen Schwebstoffeintrags in der Unterems wird eine Sohlschwelle am Emssperrwerk untersucht. Sowohl bei lang anhaltendem niedrigem Oberwasserzufluss als auch bei einem Meeresspiegelanstieg zeigt die Sohlschwelle eine Wirkung. Der stromaufgerichtete Schwebstofftransport wird durch die Sohlschwelle vermindert. Die Sohlschwelle wirkt der Verschiebung der Brackwasserzone durch veränderte Klimabedingungen entgegen.

Die maximalen Wasserstände während Sturmfluten werden insbesondere durch einen Meeresspiegelanstieg erhöht. Aber auch sehr hohe Oberwasserzuflüsse oder eine Verstärkung des lokalen Winds führen zu einer Zunahme der Sturmflutscheitelwasserstände. Die betrachteten Szenarien führen außerdem zu einer früheren Eintrittszeit der Sturmflutscheitelwasserstände und einer längeren Dauer hoher Wasserstände.

Sturmflutsperrwerke bieten einen wirksamen Schutz vor Sturmfluten. Insbesondere bei Meeresspiegelanstieg schützen sie das Hinterland effektiv vor erhöhten Sturmflutscheitelwasserständen. Die Scheitelwasserstände stromauf des Sperrwerks hängen nur vom Oberwasserzufluss, vom Schließzeitpunkt des Sperrwerks und der Schließdauer des Sperrwerks ab. In den ungeschützten Bereichen auf der Seeseite des Sperrwerks nimmt der Scheitelwasserstand dagegen durch den Meeresspiegelanstieg zu. Zusätzlich können dort durch das Sperrwerk selbst erhöhte Scheitelwasserstände auftreten. Das Emssperrwerk bei Gandersum schützt bereits heute die Ems vor Sturmfluten. Die Sensitivitätsstudie zeigt, dass das Sturmflutsperrwerk auch bei einem Meeresspiegelanstieg Schutz bietet. Bei einem sehr hohen Meeresspiegelanstieg versagt jedoch die Schutzfunktion des Sperrwerkes.

Einengungsmaßnahmen im Mündungsgebiet bieten eine Alternative zum kompletten Verschließen des Ästuars bei Sturmflut. Der Grad der Dämpfung des Sturmflutscheitelwasserstands ist abhängig vom Grad der Einengung des hydraulisch wirksamen Fließquerschnitts. Maßnahmen im inneren Mündungsbereich engen den hydraulisch wirksamen Fließquerschnitt stärker ein als gleich große Maßnahmen im äußeren Bereich. Zusätzlich muss bei der Entwicklung solcher Maßnahmen berücksichtigt werden, dass deutlich erhöhte Fließgeschwindigkeiten auftreten können, die z.B. zu problematischen Erosionsraten führen können. Während Sperrwerke Sturmfluten vollständig kehren, reduziert diese Maßnahme den Effekt des Meeresspiegelanstiegs auf den Sturmflutscheitelwasserstand nur teilweise.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2009: Thematische Einarbeitung, Erstellung eines Testdatensatzes
2010: Modellierung und Auswertung der Sensitivitätsstudien
2011: Modellierung und Auswertung der Sensitivitätsstudien
2012: Entwicklung von Anpassungsoptionen
2013: Dokumentation der Ergebnisse

Laufzeit des aktuellen Vorhabens von 2009 bis 2014.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen (Auswahl)

Holzwarth, I., Hesser, F., Schulte-Rentrop, A. (2011): Auswirkungen klimabedingter Änderungen auf das Strömungs- und Transportverhalten deutscher Nordseeästuare – ein Vergleich von Ems, Jade-Weser und Elbe. Tagungsband HTG-Kongress 07.-09.09.2011 in Würzburg.
Rudolph, E, Schulte-Rentrop, A., Schüßler, A., Johannsen A. (2012): Influence of climate change on storm surge conditions in German Estuaries and testing of probable adaptation strategies. Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics - HIC 2012 Hamburg: Understanding Changing Climate and Environment and Finding Solutions; TuTech 2012.

- Rudolph, E., Seiffert, A., Büscher, A., Bockelmann, A. (2013a): Protecting German North Sea Estuaries in Times of Climate Change. European Climate Change Adaptation Conference – Integrating Climate into Action, 18. März 2013, Hamburg.
- Seiffert, R., Hesser F.B., Schulte-Rentrop, A., Seiß, G. (2012): Potential effects of climate change on the brackish water zone in German estuaries. Proceedings of 10th International Conference on Hydroinformatics – HIC 2012 Hamburg: Understanding Changing Climate and Environment and Finding Solutions; TuTech 2012.
- Seiffert, R., Rudolph, E., Winkel, N. (2013): Investigating Impacts and Developing Adaptation Strategies on Local Scale - An Example. Impacts World 2013 Conference Proceedings. Potsdam. Potsdam Institute for Climate Impact Research, S. 580–587.

KLIMZUG-Nord – Strategische Anpassungsansätze zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg (KLIMZUG-NORD: News)

Netzplan-Nr.: A39550370163

Projektleiter/in: Dr. N. Winkel, Dr. E. Rudolph, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: norbert.winkel@baw.de, elisabeth.rudolph@baw.de

Bearbeiterin: Dr.-Ing. A. Büscher, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme II (K3)

1 Problemstellung und Ziel

Die Tideelbe gehört zu den wichtigsten europäischen Schifffahrtsstraßen. Der Klimawandel wird die nautischen Verhältnisse, den Zustand der Wasserstraße und die ästuartypischen Lebensräume verändern. Die möglichen Betroffenheiten werden hauptsächlich durch einen Anstieg des Meeresspiegels, veränderte Sturmtätigkeiten und ein verändertes Abflussregime beeinflusst. Die BAW untersucht im Rahmen dieses Projektes die Folgen des Klimawandels für die Metropolregion Hamburg (MRHH) und entwickelt in Kooperation mit den Betroffenen entsprechende Anpassungsstrategien. Ziel ist es einerseits, die Leistungsfähigkeit des Verkehrsträgers zu sichern, und andererseits, die Gewässerqualität, Lebensräume und vielfältige Nutzung der Tideelbe zu gewährleisten. Das Projekt liefert Beiträge für ein „Kursbuch“, mit dem in der MRHH die Herausforderungen des Klimawandels bearbeitet werden können.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Tideelbe ist durch ihre geographische Lage und den vorherrschenden Windrichtungen den Gezeiten, Tidenhub und der Sturmflutgefahr ausgesetzt. Sie wird daher besonders von den Folgen des Klimawandels betroffen sein, z. B. durch Anstieg des Meeresspiegels, Veränderung der Wind-, Wellen- und Niederschlagsausprägung. Die möglichen Konsequenzen gefährden das Elbeästuar zum einen durch potentielle Extremereignisse wie Sturmfluten, und zum anderen durch schleichende Veränderungen wie Verschlickung von Hafenflächen, Erosion von Wattflächen oder Salzintrusion. Um mögliche Systemantworten auf den Klimawandel abschätzen und Anpassungsoptionen für die betroffenen Sektoren zu entwickeln, wird im Projekt ein integrativer Ansatz verfolgt, der alle Interessensgruppen der Metropolregion aktiv einbezieht. Um die Bandbreite von möglichen Klimaänderungen in den Untersuchungen abzubilden, ist die Modellierung der möglichen zukünftigen Zustände als Sensitivitätsstudie angelegt. Denkbare Anpassungsmaßnahmen umfassen beispielsweise konservative Maßnahmen im Mündungsbereich oder zusätzliche Überschwemmungsgebiete.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die durch den Klimawandel veränderte hydromorphologische Entwicklung der Tideelbe ist bislang zum Großteil unbekannt. Zur langfristigen Gewährleistung der Schiffbarkeit, des Küstenschutzes und der Funktionalität des natürlichen Lebensraums ist die Abschätzung der Systemreaktion dringend erforderlich. Aufbauend auf dem im Projekt geschaffenen Verständnis können sinnvolle Anpassungsoptionen und -strategien entwickelt, auf ihre Effektivität getestet und ggf. optimiert werden. Außerdem wird ein Netzwerk aus Interessensgruppen und Expertisen aller betroffenen Sektoren aufgebaut und die WSV im Projektverlauf aktiv in den Planungs- und Entscheidungsprozess eingebunden. Der Methodenkatalog für Anpassungsoptionen und die geschaffene Infrastruktur soll die WSV bei einer nachhaltigen Gewässerbewirtschaftung unter veränderten Klimabedingungen unterstützen.

1.3 Untersuchungsziel

Die BAW führt in KLIMZUG-NORD die Klimafolgenmodellierung für die Tideelbe durch. Es werden sowohl die Auswirkungen der Klimafolgen Szenarien auf die Tide- und Transportdynamik untersucht als auch auf dieser Grundlage Anpassungsmaßnahmen entwickelt und in ihrer Effektivität dargestellt. Die

Auswahl der zu simulierenden Sensitivitätsstudien und Anpassungsmaßnahmen erfolgt in Abstimmung mit den betroffenen Teilprojekten.

2 Untersuchungsmethoden

Aufgrund der komplexen Wirkungskette zwischen den globalen Klimaänderungen und den lokalen Auswirkungen sind Aussagen zu Betroffenheiten, die für Planungen genutzt werden können, mit Unsicherheiten behaftet. Daher verwendet die BAW in KLIMZUG-NORD eine Methode basierend auf Sensitivitätsstudien, s. auch Kwadijk et al. (2010). In einem hochaufgelösten 3D-hydrodynamischen Modell werden die Haupteinflussfaktoren auf die Tideelbe einzeln und in Kombination variiert und die Reaktion der Zustandsgrößen Wasserstand, Strömung, Salzgehalt, Schwebstoffgehalt an die veränderten Randbedingungen berechnet. Somit kann festgestellt werden, unter welchen Bedingungen eine mögliche Klimaänderung zu Betroffenheiten in der MRHH führen kann. Darauf aufbauend werden Anpassungsmaßnahmen entwickelt. Eine Maßnahme wird untersucht, indem sie in das numerische Modell integriert und bestimmte Szenarien der Sensitivitätsstudien wiederholt werden. Ein Vergleich zwischen den Simulationen mit und ohne Anpassungsoption bildet deren Wirksamkeit ab. Die Tidekennwertanalyse deckt zudem Vor- und Nachteile der Anpassungsoption auf und ermöglicht einen Vergleich verschiedener Zustände bzw. Maßnahmen.

3 Ergebnisse

In Kooperation mit der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) hat die BAW als mögliche Anpassungsmaßnahme an einen Meeresspiegelanstieg zusätzliche Überflutungsbereiche in den Elbe-Nebenflüssen Este und Krückau untersucht. Hierbei analysierte die BAW den Einfluss dieser Polder auf Wasserstände in der Tideelbe. Die Polder (Fläche jeweils ca. 2,5 km²) sind im Elbemodell an die Nebenflüsse Este und Krückau angeschlossen. Es wurden konstante Abflüsse eingesteuert sowie vier Meeresspiegelszenarien untersucht (+0cm, +40 cm, +80 cm, +120 cm). Es zeigt sich, dass die beiden Polder keinen nennenswerten Einfluss auf die Wasserstände in der Tideelbe haben. Zwar wirken die Maßnahmen von etwa Elbe-km 680 bis stromauf von Hamburg positiv auf die Tidedynamik in der Elbe durch ein Absenken des Tidehubs, jedoch sind die Auswirkungen mit kleiner als 1 cm gering. Demnach stellen die untersuchten Überflutungsflächen keine geeigneten Anpassungsoptionen für das Elbeästuar dar. Es sind weiterführende Untersuchungen erforderlich, die neben unterschiedlichen Lagen der Maßnahme am Ästuar auch größere Flächen und verschiedene Anschlussmöglichkeiten in Kombination berücksichtigen.

Des Weiteren wurde die Wirkung der Wattflächen im Elbeästuar auf die Tide- und Schwebstoffdynamik bei mittleren Verhältnissen untersucht (Paesler und Weilbeer, 2013). Hierfür wurden mögliche zukünftige Topographien der Außenelbe gezielt variiert und der Einfluss mit und ohne Meeresspiegelanstieg von 80 cm auf die Tidedynamik analysiert. Im *worst-case* Szenario wird 644 Mio. m³ Wattvolumen aus der Topographie entfernt, s. Bild 1. Dies führt zu einem Anstieg des mittleren Tidehubes von km 730 – 680 um 10 cm und in Hamburg um 8 cm, was vor allem durch ein Absenken des Tideniedrigwassers zustande kommt. Ein Meeresspiegelanstieg von 80 cm erhöht den mThb im Außenbereich zusätzlich, was zu einer Verstärkung des Tidal Pumpings, bzw. des Nettoschwebstofftransports stromauf um ca. 40 % führt. Auflandungen im Bereich Neuer Lüchtergrund im Außenbereich können jedoch die negativen Auswirkungen eines möglichen Meeresspiegelanstieges kompensieren. Die Maximalvariante mit einer Auflandung von 201 Mio. m³/s im nördlichen Bereich des Fahrwassers kann die eingetragene Tideenergie deutlich dämpfen. Das mTnw wird um ca. 10 cm angehoben und der mThb um wenige Zentimeter abgesenkt. Auch beim Anstieg des Meeresspiegels ist die positive Wirkung der Maßnahme auf den Wasserstand gewährleistet. Es ergeben sich lokal erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Maßnahme. Durch eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten in der Fahrrinne wird aber der stromaufgerichtete Schwebstofftransport vermindert.

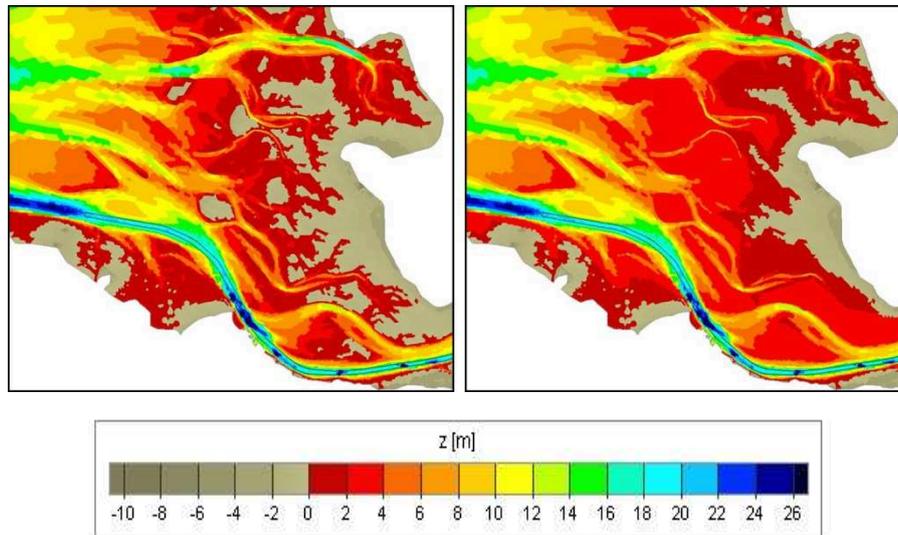


Bild 1: Topographie der Außenelbe, links: Jahrestopographie 2006 (Vergleichszustand), rechts: modifizierte Topographie (erodierte Wattflächen)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

- 2009: Thematische Einarbeitung, Erstellung eines Testdatensatzes für Projektpartner, Modellierung des heutigen Zustandes (typische Verhältnisse)
- 2010: Definition und Auswahl von Sensitivitätsstudien in Kooperation mit Projektpartnern, Modellierung der Sensitivitätsstudien und Auswertung
- 2011: wie 2010
- 2012: wie 2010, Entwicklung, Testen und Optimierung von Anpassungsoptionen
- 2013: Entwicklung, Testen und Optimierung von Anpassungsoptionen, Dokumentation der Ergebnisse
- 2014: Dokumentation der Ergebnisse

Laufzeit des aktuellen Vorhabens von 2009 bis 2014.

5 Literatur

Kwadijk, J.C.J., Haasnoot, M., Mulder, J.P.M., Hoogvliet, M.M.C., Jeuken, A.B.M., van der Krogt, R.A.A., van Oostrom, N.G.C., Schelfhout, H.A., van Velzen, E.H., van Waveren, H., de Wit, M.J.M. (2010): Using adaptation tipping points to prepare for climate change and sea level rise, a case study for in the Netherlands. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, Vol. 1, Issue 5, pp.729–740.

6 Veröffentlichung

Seiffert, R., Bockelmann, A.J., Rudolph, E. (2013): Anpassungsoptionen an einen Meeresspiegelanstieg bei Sturmflut. *Dialog Küstenforschung, Küstennutzung und Küstenschutz*, 04.-06. März 2013, Hamburg.

Rudolph, E., Seiffert, A., Büscher, A., Bockelmann, A. (2013a): Protecting German North Sea Estuaries in Times of Climate Change. *European Climate Change Adaptation Conference – Integrating Climate into Action*, 18. März 2013, Hamburg.

Seiffert, R., Rudolph, E. (2013): Investigating adaptation strategies for German estuaries during storm surge and climate change. *6th International Conference on Water Resources and Environment Research*, 07. Juni 2013, Koblenz.

Rudolph, E., Seiffert, R., Büscher, A., Bockelmann, A. (2013b): Sturmflutschutz in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems – Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. *DACH Meteorologentagung*, 02.-06. September 2013, Innsbruck.

- Rudolph, E., Seiffert, R., Büscher, A., Paesler, A. (2013c): Sturmflutschutz in den Ästuaren von Elbe, Jade-Weser und Ems - Eine Sensitivitätsstudie vor dem Hintergrund des Klimawandels. 8. Extremwetterkongress, 23.-27. September 2013, Hamburg.
- Paesler, A., Weilbeer, H. (2013): Sensitivitätsstudien zu Topographieveränderungen im Elbeästuar vor dem Hintergrund eines möglichen Klimawandels. Dialog Küstenforschung, Küstennutzung und Küstenschutz, 04.-06. März 2013, Hamburg.
- Klöpffer, M., Bockelmann, A., Seiffert, R. (2014): Maßnahmen im Mündungstrichter der Elbe als Werkzeug für ein integriertes Ästuar-Management und als Anpassungsmaßnahme an die Herausforderungen klimabedingter Änderungen. HTG-Kongress, 21.-23. Mai 2014, Berlin (akzeptiert).

Verbesserung der Validität und der Prognosefähigkeit des morphodynamischen Verfahrens SediMorph – Phase 2

Netzplan-Nr.: A39550370178

Projektleiter: Dr.-Ing. H. Weilbeer, Dipl.-Geoök. B. Fricke, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II (K3)

Bearbeiter: Dipl.-Geoök. B. Fricke, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat K3

E-Mail: holger.weilbeer@baw.de; benjamin.fricke@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Fragen nach Veränderungen der Hydrodynamik, des Sedimenttransportregimes und damit auch nach 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. 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 Weiterentwicklungen der Modelltechnik und der Computerressourcen im letzten Jahrzehnt haben es ermöglicht, einen großen Abschnitt auf dem Weg 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 weiter verbessert werden.

1.2 Bedeutung für die 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.

1.3 Untersuchungsziel

Mit Hilfe des FuE-Vorhabens soll die Zuverlässigkeit der morphodynamischen Modellprognosen gesteigert werden. Ein neues Bodenmodell, das eine bessere Repräsentation der natürlichen Variabilität eines Bodens vor allem in der Vertikale ermöglicht, soll entwickelt werden. Ausgehend von der Sedimentverteilung und der Zusammensetzung der deponierten Sedimente soll die vertikale Schichtung über die Einteilung in Bodenarten definiert werden.

2 Untersuchungsmethoden

- Literaturrecherche

- Softwareentwicklung
- Numerische Modellierung

3 Ergebnisse

Im Mittelpunkt steht die Entwicklung eines stratigrafischen Bodenmodells zur detaillierten Abbildung von Sedimenttransportprozessen.

In einer Literaturstudie wurden die Entwicklung und der Forschungsstand der Beschreibung und Klassifizierung von Böden und der numerischen Simulation von Sedimenttransportprozessen untersucht.

Die Übertragung von tiefenstrukturierten Informationen aus Bohrungen, die den Untergrund beschreiben, in eine dreidimensionale numerische Struktur wird in den Bereichen Geologie und der Grundwassermodellierung bereits länger angewandt. Lemon und Jones (2003) stellen einen Ansatz vor, um Informationen aus Bohrkernen nach manueller Bearbeitung der Daten (Definition von Horizonten und Ergänzung von Querprofilen) zu einem dreidimensionalen Körper zu vereinen. Das so hergeleitete Modellgebiet setzt sich aus einzelnen Zellen zusammen, was den Einsatz für die hier untersuchte Fragestellung möglich macht. Dieses Verfahren wird in der Grundwassermodellierung verwendet (GMS 8.3 User Manual 2012).

Bei der Beschreibung von Böden geprägt durch hydrodynamisch angetriebene Sedimenttransportprozesse ist der momentane Standard ein System von Schichten, deren Eigenschaften vom Benutzer vorgegeben werden. Die wichtigsten Steuerungsgrößen sind dabei die maximale Anzahl an Schichten sowie die maximale Mächtigkeit, die eine einzelne Schicht annehmen kann (Warner et al. 2008; Jagers 2012; Villaret et al. 2011; Le Hir et al. 2011). Ein weiterer Ansatz beschreibt den Boden mit Hilfe einer kontinuierlichen vertikalen Verteilung für jede Sedimentfraktion (Blom et al. 2008).

Aufbauend auf dieser Literaturstudie wurde ein Konzept für einen Ansatz zur vertikalen Diskretisierung des Bodens erstellt. Die Diskretisierung erfolgt dabei nicht über räumliche Parameter wie z.B. feste Mächtigkeiten oder Tiefenvorgaben, sondern die Entstehung neuer Schichten ist abhängig von Änderungen der Sedimentverteilung. Unterscheidet sich die Zusammensetzung des deponierenden Sediments ausreichend von der des oben anliegenden Sediments, wird eine neue Schicht eingerichtet. Dieses Prinzip ist in Bild 1 dargestellt.

Ob die Unterschiede zwischen zwei Sedimentverteilungen ausreichend groß sind, wird über die Zuordnung von Bodenarten entschieden. Die Bestimmung von Bodenarten erfolgt über die Verteilung der Sedimentklassen Sand, Schluff und Ton.

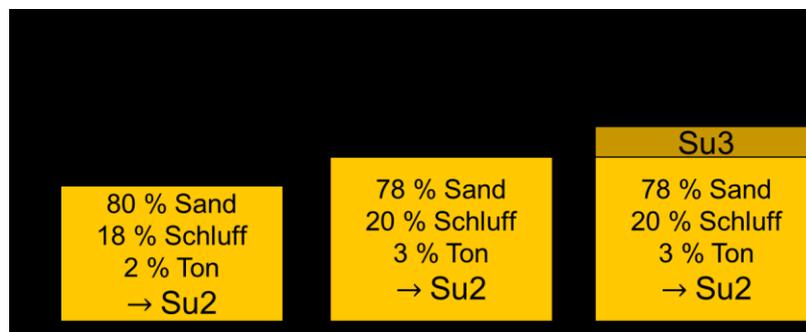


Bild 1: Entstehung von neuen Schichten: a) Deposition von Sedimenten, die sich in ihrer Zusammensetzung nur geringfügig von dem vorhandenen Material unterscheiden (Su2 = Bodenart leicht schluffiger Sand). b) Ablagerung in die bestehende Schicht ist erfolgt; Sedimentanteile des Depositionsflusses unterscheiden sich ausreichend stark (Su3 = mittel schluffiger Sand). c) Deposition erfolgt in neuer Schicht.

Diesem Konzept folgend wurde ein vertikales 1-D Bodenmodell in Matlab entwickelt. Die Wassersäule wird in der ersten Entwicklungsphase nicht vertikal diskretisiert, sondern dient nur als Speichermedium für erodierte Sedimente, bis diese wieder deponieren. Als Antrieb für die Erosion wird eine sinusförmige Zeitreihe der Bodenschubspannung verwendet.

In dieser Entwicklungsumgebung konnten sehr effizient die neu entwickelten Algorithmen des Bodenmodells umgesetzt und getestet werden. Eine automatische Diskretisierungsvorschrift mit massenerhaltenden Algorithmen konnte entwickelt werden. In Bild 2 sind exemplarisch erste Ergebnisse zu sehen.

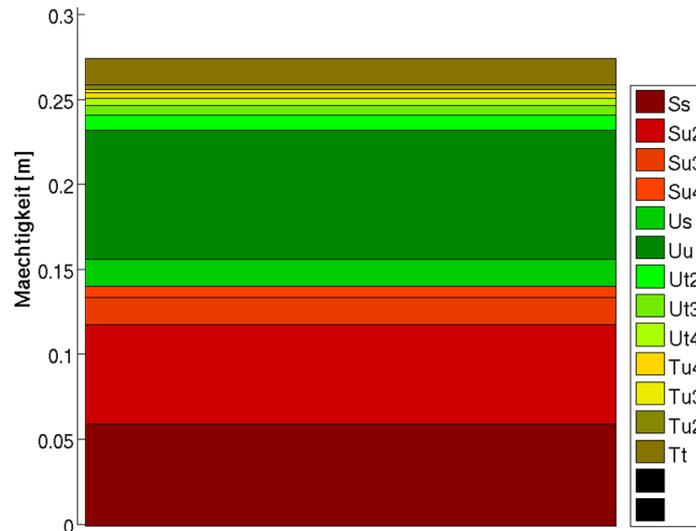


Bild 2: Resultierendes Bodenprofil nach dem Absetzen einer Suspension, die zu gleichen Teilen aus einer Sand-, einer Schluff- und einer Tonfraktion besteht. Allein aufgrund der unterschiedlichen Sinkgeschwindigkeiten findet eine Sortierung der Sedimente statt, die durch die Diskretisierung des Bodens dargestellt wird.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2015.

Es wird ein Ensemble an morphodynamischen Testfällen aus dem Labor und der Natur weiterentwickelt. Diese Testfälle sind unterschiedlicher Komplexität, so dass die Stärken und Schwächen des Modellverfahrens erkennbar werden. In einem iterativen Prozess zwischen Verbesserung des Modellverfahrens und Durchlaufen der Testfälle werden die Validität und die Prognosefähigkeit verbessert.

Allgemeine Aufgaben:

- a) Modellaufbau für ausgewählte Laborversuche
- b) Simulation und Analyse der Laborversuche
- c) Modellaufbau für ausgewählte Testfälle aus den Ästuaren
- d) Simulation und Analyse der Testfälle aus den Ästuaren
- e) Entwicklung und Integration neuer Ansätze
- f) Morphodynamische Validierung der Ästuarmodelle

Aufgaben Bodenmodell:

- 1) Literaturstudie zum Thema Strukturierung des Bodens
- 2) Entwicklung eines tiefenstrukturierten Bodenmodells
- 3) Implementierung des Bodenmodells in das Sedimenttransportmodell SediMorph
- 4) Tests mit ausgewählten Laborversuchen
- 5) Test am komplexen System (Elbe-Ästuar)

Zeitplan:

Jahr 2013: Unterpunkte 1, 2 und 3

Jahr 2014: Unterpunkte 3, 4 und 5

Jahr 2015: Unterpunkte 3, 4 und 5

5 Literatur

- GMS 8.3 User Manual. The Groundwater Modeling System (2012). Online verfügbar unter <http://xmswiki.com/xms/GMS:GMS>, zuletzt aktualisiert am 31.12.2012.
- Blom, Astrid; Ribberink, Jan S.; Parker, Gary (2008): Vertical sorting and the morphodynamics of bed form-dominated rivers: A sorting evolution model. In: J. Geophys. Res. 113 (F1).
- Jagers, B. (2012): Sediment Mixtures and Bed Stratigraphy. Deltares Academy: Webinar. Deltares, 10.10.2012.
- Le Hir, Pierre; Cayocca, Florence; Waeles, Benoît (2011): Dynamics of sand and mud mixtures: A multi-process-based modelling strategy. In: Continental Shelf Research 31 (10), S. S135.
- Lemon, A. M.; Jones, N.L. (2003): Building Solid Models from Boreholes and User-defined Cross-Sections. In: Computers & Geosciences 29, S. 547–555.
- Villaret, C.; Hervouet, J.-M.; Kopmann, R.; Merkel, U.; Davies, A.G. (2011): Morphodynamic Modeling using the Telemac Finite-Element System. In: Computers & Geosciences.
- Warner, J.C.; Sherwood, C.R.; Signell, R.P.; Harris, C.K.; Arango, H.G. (2008): Development of a Three-Dimensional, Regional, Coupled Wave, Current, and Sediment-Transport Model. In: Computers & Geo-sciences 34, S. 1284–1306.

6 Veröffentlichungen

-/-

Interaktion von Größen des Sedimenttransports und der Wasserqualität in dreidimensionalen Ästuarmodellen

Netzplan-Nr.: A39550370190

Projektleiterin: I. Holzwarth, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: Ingrid.Holzwarth@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Untersuchungen der BAW zu Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen an den Ästuaren berücksichtigen zurzeit ausschließlich abiotische Größen. Aussagen zu biologisch stark beeinflussten Größen, wie etwa dem Nährstoff- und Sauerstoffhaushalt, werden auf Grundlage anderer Untersuchungen getroffen. Eine getrennte Betrachtung abiotischer und biotischer Parameter entspricht nicht den in der Natur herrschenden Bedingungen, da es zahlreiche Wechselwirkungen zwischen ihnen gibt, die ihre Konzentrations- und Transporteigenschaften nennenswert beeinflussen. Beispielsweise bestehen Schwebstoffe zu variierenden Anteilen aus anorganischem sowie lebendem und totem organischem Material und entsprechend ihrer Zusammensetzung besitzen sie unterschiedliche Eigenschaften. In Erweiterung zu den bisher an der BAW durchgeführten Untersuchungen müssen bei der Simulation biologischer und chemischer Prozesse Stoffumsetzungen berücksichtigt werden. Dieses kann durch Gewässergütemodelle geleistet werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Ein Untersuchungswerkzeug, das es erlaubt, gleichzeitig abiotische und biotische Größen zu betrachten, ermöglicht eine umfassende Analyse der komplexen, im Ästuar auftretenden Prozesse. Dadurch wird es perspektivisch möglich sein, anthropogene Eingriffe hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Wasserstands- und Strömungsverhältnisse, den Salz- und Sedimenttransport sowie Größen mit einem starken biologischen Einfluss (z.B. gelösten Sauerstoff) anhand konsistenter Datensätze zu ermitteln.

1.3 Untersuchungsziel

Langfristiges Ziel ist die gekoppelte Simulation abiotischer Größen mit biotischen Größen wie Phytoplankton und Mikrophytobenthos im Bereich der deutschen Küstenwasserstraßen.

Aus den vorangegangenen Arbeiten hat sich ergeben, dass DelWAQ (DELTA RES, 2013), als Modul zur Simulation der Gewässergüte geeignet ist, um in die Software-Umgebung der BAW eingegliedert zu werden. Die notwendigen technischen Arbeiten sind bereits definiert und begonnen worden. Sie müssen nun abgeschlossen werden, um ein Gewässergütemodell zunächst für das Ästuar der Elbe aufbauen zu können. Nach erfolgreicher Validierung eines Modells für die Elbe wird ein vergleichbares Modell für das Ästuar der Ems angestrebt.

2 Untersuchungsmethoden

Es werden zunächst Messdaten aus der Tideelbe analysiert um die relevanten Prozesse zu identifizieren. Auf Basis der so gewonnenen Erkenntnisse werden sukzessive numerische Modelle aufgebaut, beginnend mit wenigen Dimensionen und groben Auflösungen hin zu einem dreidimensionalen Modell mit einer hohen vertikalen und horizontalen Auflösung.

3 Ergebnisse

3.1 Messdaten Elbe

Im Ästuar der Elbe wurden und werden Messungen zur Wasserqualität (WQ) durchgeführt. Im Rahmen des FuE-Projektes wurde eine Vielzahl der Messergebnisse bei den erhebenden Institutionen

erfragt bzw. aus öffentlich verfügbaren Datenportalen abgerufen. Diese Daten werden im geodata-Bereich der BAW Hamburg geprüft und abgelegt.

Es handelt sich einerseits um Daten von Dauermessstellen, die punktuell in hoher zeitlicher Auflösung Größen messen, die sich mit automatischen Sonden erfassen lassen. Derartige Messungen finden in der Tideelbe an der Messstelle Grauerort des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz sowie den Messstellen Bunthaus, Seemannshöft und Blankenese des Wassergütemessnetzes Hamburg statt. Diese Messstellen haben in den 1980er Jahren ihren Betrieb aufgenommen und im Laufe der Zeit einige Messgrößen hinzugenommen. Aktuell werden dort Wassertemperatur, Leitfähigkeit, pH-Wert, Sauerstoffgehalt/Sauerstoffsättigung, Trübung und an den Messstellen Bunthaus sowie Seemannshöft darüber hinaus noch der Chlorophyll-a-Gehalt gemessen. Zusätzlich zu den kontinuierlich messenden Einrichtungen gibt es in Grauerort, Seemannshöft und Zollenspieker (Bunthaus) erweiterte Wassergütemessungen, die 14tägig bis monatlich durchgeführt werden. Aus dem Rahmen dieser Messungen wurden insbesondere die Nährstofffraktionen, die Kohlenstoffbelastung sowie eine nach Algenklassen detailliertere Aufschlüsselung von Chlorophyll-a erfragt, abgelegt und analysiert.

Neben den Dauermessstellen gibt es Daten aus Kampagnen. Die in der Elbe wichtigste und älteste Kampagne ist die Längsbefliegung der Tideelbe mit dem Helikopter durch die ARGE/FGG Elbe. Seit 1979 wird die Tideelbe mehrmals jährlich tidephasengleich zu Ebbstrom befliegen und dabei werden an 36 Positionen Messungen durchgeführt. Für dieses FuE-Projekt wurde der gesamte Datenumfang abgerufen.

Es wurde begonnen, die Messdaten zu analysieren. Die Betrachtung des gesamten Messzeitraums zeigt, dass die Belastung der Tideelbe mit organischem Material sowie das sommerliche Sauerstoffdefizit bis heute abgenommen haben. Eine genauere Betrachtung der Messungen aus den Jahren 2010 und 2011 deuten auf eine Abhängigkeit der biochemischen Prozesse von der Oberwassersituation hin. Bei lang anhaltend niedrigen Oberwasser in der warmen Jahreszeit scheint sich das Sauerstoffdefizit stärker auszuprägen als bei höheren Oberwasserzuflüssen.

Erfragt, aber noch nicht erhalten, wurden auch die Messungen der FerryBox des Helmholtz Zentrums Geesthacht, die sich zwischen September 2007 und Mitte 2012 an Bord eines Handelsschiffs befand, das auf der Route Hamburg-England-Norwegen fuhr und etwa alle 30 Minuten Nährstoffe und Chlorophyll-a maß.

3.2 Programmtechnische Entwicklungen

Es wurde ein Modul entwickelt, das UnTRIM2009 (CASULLI & STELLING, 2010) ertüchtigt, die von DelWAQ zur offline-Kopplung benötigten Dateien zu schreiben. UnTRIM2009 ist mit diesem Modul bereits mehrfach in 2D tiefengemittelten Systemen erprobt worden. Es ist in der Lage, auf Basis eines 2D-Modells mit Subgrid-Bathymetrie die für DelWAQ erforderlichen Daten in Dateien zur Verfügung zu stellen. Nach einigen kleineren Modifikationen im Programmcode von DelWAQ, die von Deltares durchgeführt wurden, ist es damit möglich, eine WQ-Simulation zu steuern.

Das Kopplungs-Modul wurde für die Ausgabe von Wassertemperaturen und Salzgehalten erweitert, sodass es möglich ist, diese beiden Größen bereits in der UnTRIM-Simulation zu berechnen und DelWAQ zur Verfügung zu stellen. In ähnlicher Weise wird aktuell die Übergabe der Schwebstoffkonzentration implementiert und getestet.

Es zeigt sich, dass im Rahmen dieses FuE-Projektes eine online-Kopplung nicht notwendig ist. Diese Art der Kopplung wird notwendig, wenn ein merklicher Einfluss von in DelWAQ modellierten Größen auf die Ergebnisgrößen des UnTRIM-Modells besteht. Derzeit ist dies nicht der Fall. Diese Annahme ist dann wieder zu überprüfen, wenn der biogeochemische Einfluss auf die Schwebstoffdynamik modelliert wird und somit gegebenenfalls das Sinkverhalten der Sedimente oder deren Erosionsstabilität beeinflusst werden. Das Arbeitsprogramm ist unter Abschnitt 4 entsprechend aktualisiert worden.

3.3 DelWAQ-Modellaufbau Elbe

Die derzeitige Basis bildet ein hydrodynamisches Modell der Tideelbe mit Subgrid-Bathymetrie, das in dem FuE-Vorhaben UnTRIM SubGrid-Topografie (A39550370150) entwickelt wurde. Dieses Modell wird tiefengemittelt betrieben. Zur Entwicklung des WQ-Modells werden sukzessive Größen und Prozesse hinzugenommen, um das Modell zu einer realitätsnahen Komplexität aufzubauen. Die aktuelle Konfiguration ist in Bild 1 skizziert. Mit dieser Konfiguration gelingt es bereits, für einige Zeitabschnitte zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen. Durch eine grundsätzlich überarbeitete neue DelWAQ-Version sind hier allerdings Nacharbeiten notwendig, um die mit der alten Version implementierte Konfiguration in die neue DelWAQ-Version zu übertragen.

Neben der Notwendigkeit einer besseren Kalibrierung des Modells bildet vor allem der Mangel von Messwerten zur Steuerung der Modellränder, insbesondere am Wehr Geesthacht, ein grundsätzliches Problem.

Zusätzlich zu den Arbeiten mit dem räumlich hoch auflösenden Elbe-Modell wird zurzeit im Rahmen einer Masterarbeit das Modell eines schematischen Ästuars entwickelt. Dieses soll generell zur schnellen Erprobung unterschiedlicher DelWAQ-Konfigurationen dienen. Als erstes ist eine Untersuchung zur Abhängigkeit unterschiedlicher Prozesse (insbesondere Akkumulation von organischem Material, Sauerstoffdefizit) vom Oberwasserzufluss geplant.

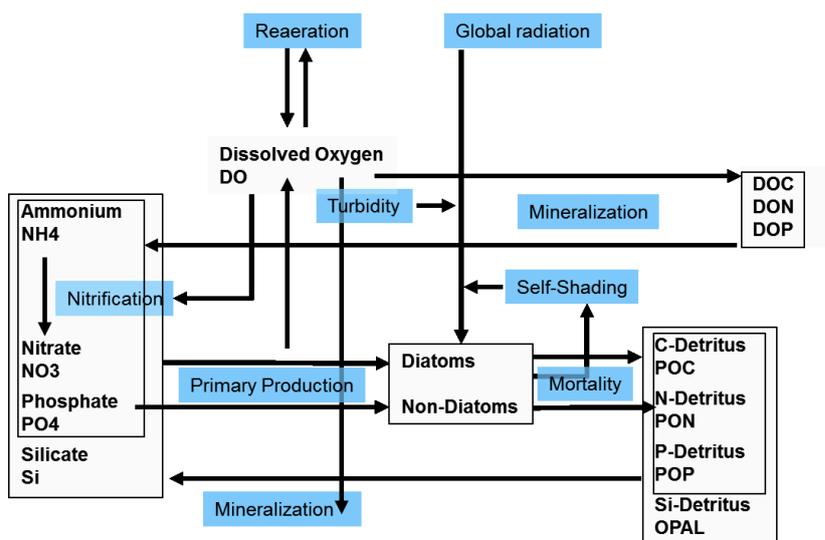


Bild 1: Bisher in DelWAQ realisierte Substanzen (schwarzer Rand) und Prozesse (blau)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

Das Arbeitsprogramm bis zu einer validierten Version eines Wasserqualitätsmodells der Tideelbe erstreckt sich über 31 Monate. Die Dokumentation der Arbeiten und Ergebnisse ist dabei eine Daueraufgabe und im Arbeitsprogramm nicht separat aufgeführt.

- 06/2012 – 12/2012 Ertüchtigung von UnTRIM2009 und DelWAQ zur offline-Kopplung ohne SubGrid-Bathymetrie; Aufbau eines groben 2D-Ästuarmodells der Elbe in der Konfiguration Delft3D-Flow – DelWAQ und Sammeln erster Erfahrungen in der Modellierung des gelösten Sauerstoffs
- 01/2013 – 06/2013 Erweiterung der Kopplung auf Verfahren mit SubGrid-Bathymetrie; Beschaffung, Aufbereitung und Analyse von Messdaten, Dokumentation der Ergebnisse; Aufbau eines ersten groben 1D-Modells des Elbe-Ästuars in der Konfiguration UnTRIM2009 – DelWAQ und erste Sensitivitätsstudien

- 07/2013 – 12/2013 Erweiterung der Kopplung für Salzgehalt, Wassertemperatur und Schwebstoffe. Aufbau eines ersten 2D-Modells in DelWAQ, das Nährstoffumsetzungen sowie Algenwachstum berücksichtigt.
- 01/2014 – 06/2014 Aufbau eines schematischen Ästuars für Sensitivitätsstudien; Aufbau eines 3D Modells des Elbe-Ästuars; Weiterentwicklung der WQ-Konfiguration
- 07/2014 – 12/2014 Untersuchungen mithilfe der Modellfamilie, bestehend aus schematischem Ästuar sowie 2D- und 3D-Modellen der Elbe; Formulierung der Problempunkte mit Blick auf den Aufbau eines Gewässergütemodells für das Ästuar der Ems

5 Literatur

- DELTARES (2013) *D-Water Quality Process Library Description – Technical Reference Manual*. Delft, The Netherlands
- CASULLI, V., STELLING, G.S. (2010) *Semi-implicit subgrid modelling of three-dimensional free-surface flows*. Int. J. Numer. Meth. Fluids 67(4): 441–449

6 Veröffentlichungen

- HOLZWARTH, I. (2013) *Coupling of Untrim2 and DelWAQ – Progress and first results*. Vortrag, Untrim Users Meeting, Trento
- HOLZWARTH, I. (2013) *(Modelling) Biogeochemical Processes in the Elbe Estuary*. Vortrag in der Seminarreihe der Abteilung Ökosystemmodellierung am Helmholtz-Zentrum Geesthacht

Weiterentwicklung der Methoden zur Analyse von Simulationsergebnissen

Netzplan-Nr.: A39550370200

Projektleiter: Dr.-Ing. G. Lang, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: guenther.lang@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Mathematische Verfahren wie *UNTRIM* und *UNTRIM²* (mit *SubGrid*) ermöglichen die numerische Simulation vieler für das Tidegebiet bedeutsamer physikalischer Prozesse [Casulli, V., 2008], [Casulli, V., Stelling, G. S., 2010]. Hierzu zählen u. a. die Ausbreitung der Tidewelle, der Wechsel von Ebbe- und Flutstrom, der Transport von Salz, Wärme oder Schwebstoffen im Wasserkörper, der sohlnahe Sedimenttransport, sowie der Austausch von Sedimenten zwischen Wasserkörper und Boden (Deposition und Erosion) zusammen mit der daraus resultierenden Veränderung der Morphologie.

In der Regel werden die Berechnungsergebnisse, beispielsweise Wasserspiegelauslenkung, Strömungsgeschwindigkeit und Salzgehalt, in äquidistanten Zeitabständen (z. B. alle 10 Minuten) in Dateien geschrieben. Diese *synoptischen* Datensätze können im Anschluss an die Simulation *visualisiert*, zu *Animationen* zusammengefasst oder weitergehend *analysiert* werden.

Wichtige Fragen zu den Konsequenzen anthropogener Eingriffe in das Tidegebiet, oder zu den Auswirkungen natürlicher Veränderungen (z. B. säkularer Meeresspiegelanstieg) auf das Systemverhalten, können in dem von hoher zeitlicher und räumlicher Variabilität geprägten Tidegewässern nicht, oder nur unzureichend durch ausschließliche Verwendung synoptischer Datensätze beantwortet werden. Hier bedarf es einer weiter gehenden Analyse der Simulationsergebnisse.

Derartige Analysemethoden werden seit Anfang der 1990er Jahre intensiv und erfolgreich in vielen Projekten eingesetzt. Sie sind unverzichtbarer Bestandteil praktisch aller für die WSV durchgeführten Arbeiten sowie verschiedener Forschungsprojekte. Allerdings bestehen folgende Beschränkungen:

- Es können nur Daten an den Knoten des Berechnungsgitters analysiert werden.
- Die Daten müssen in dem Dateiformat BDF (Binäres Daten Format) vorliegen, welches ausschließlich in der BAW benutzt wird.
- Eine Analyse von Daten mit *SubGrid* (HN-Verfahren *UNTRIM²*) ist nicht möglich.
- Die Softwarearchitektur der Analyseprogramme ist „in die Jahre gekommen“.
- Die Laufzeit der Analyseprogramme ist teilweise (zu) lang.
- Kenngrößen analog zu den in der Meteorologie benutzten *klimatologischen Statistiken* - also auf die Zeiteinheiten Tag, Monat, Quartal, Jahr, klimatologische Periode bezogene Größen – werden für „unsere“ Größen Wasserstand, Strömung usw. derzeit nicht berechnet.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Berechnung von Kenngrößen aus den Ergebnissen mathematischer Verfahren ist integraler und daher unverzichtbarer Bestandteil praktisch aller für die WSV in Bezug auf Fragestellungen an den Seeschiffahrtsstraßen in der BAW durchgeführten Untersuchungen.

Bei den berechneten Kenngrößen handelt es sich in vielen Fällen um die in DIN 4049-3 Hydrologie definierten Größen. Daher sind die aus den Simulationsergebnissen abgeleiteten Kenngrößen allgemein bekannt, verständlich, und von unmittelbarem Nutzen für die Projektpartner in der WSV. Aber auch Dritte, beispielsweise externe Gutachter, die im Rahmen von Planfeststellungsverfahren für die WSV tätig sind, bauen ihre Gutachten zu einem guten Teil auf den von der BAW berechneten Kenngrößen auf.

In dem FuE-Projekt „UnTRIM SubGrid-Topografie“ (A39550370150) wurde das mathematische Verfahren UnTRIM² eingehend erprobt. Um UnTRIM² sinnvoll einsetzen zu können, müssen die Analysemethoden für die SubGrid-Technologie (SGT erweitert werden.

1.3 Untersuchungsziel

Überarbeitung vorhandener und Neuentwicklung fehlender Methoden zur Analyse von Simulationsergebnissen:

- Verbesserung der Softwarearchitektur – konzeptioneller Entwurf (**WP1**).
- Verwenden eines international gängigen Datei- und Metadatenstandards (**WP2**).
- Re-Integration der Analyse für knotenorientierte Daten (**WP3**).
- Erweiterung der Analyse für nicht knotenorientierte Daten: Kanten, Polygone, Zellen und Zellen-seitenflächen (**WP4**) .
- Erweiterung der Analyse für Daten mit SubGrid (HN-Verfahren UNTRIM²) (**WP5**) .
- Reduzieren der Laufzeit (**WP6**) .
- Integration neuer Analysemethoden (**WP7**) .

2 Untersuchungsmethoden

Um die unter 1.1 aufgezählten Defizite beseitigen und die neuen Ziele erreichen zu können, muss zunächst ein konzeptioneller Entwurf für die neuen Datenanalyse-Programme erstellt werden. Teilweise müssen die Definitionen der Analysegrößen überarbeitet werden, um die aus der SubGrid Technologie resultierenden Anforderungen berücksichtigen zu können

3 Ergebnisse

Arbeitspaket WP1

Die Software wird in Fortran95 entwickelt. Zur besseren Strukturierung werden Module eingesetzt. Module, die von mehreren Anwendungen genutzt werden können, werden in Paketen zusammengefasst. Die Berechnung der Kenngrößen wird über externe Konfigurationsdateien gesteuert. Neue Kenngrößen können damit häufig durch Erweiterung der Konfigurationsdatei hinzugefügt werden.

Arbeitspaket WP2

In Zusammenarbeit mit *Deltares* (Delft) wurde das NetCDF Dateiformat zusammen mit dem CF Metadatenstandard für die Speicherung der Daten und Metadaten ausgewählt. Hierbei wurde CF für Daten auf unstrukturierten Gitternetzen erweitert. NetCDF und CF sind international weit verbreitet. Die wesentlichen Aspekte sind ausführlich in dem BAWiki dokumentiert (siehe „Veröffentlichungen“).

Arbeitspakete WP3, WP4 und WP5

Das in Entwicklung befindliche Programm NCANALYSE kann NetCDF Dateien mit knoten-, kanten- sowie polygonorientierten Daten lesen und analysieren. Bislang wurden die Tide- sowie Langzeit-Kennwerte des Wasserstands implementiert. Daten mit SubGrid werden unterstützt.

Das ebenfalls in Entwicklung befindliche Programm NCPLOT kann Daten mit und ohne SubGrid visualisieren (siehe Bild 1). Darüber hinaus wurde die Firma smile consult (Hannover) mit der Erweiterung des Visualisierungsprogramms DAVIT für CF NetCDF Daten beauftragt.

Arbeitspaket WP6

Das Analyseprogramm NCANALYSE wurde mit OpenMP und MPI parallelisiert.

Arbeitspaket WP7

Neue Kenngrößen für Wasser- und Salztransporte werden berechnet. Mit dem in Entwicklung befindlichen Programm NCAGGREGATE können Daten für Kontrollvolumina aggregiert werden.

Die jeweils aktuellen Versionen der Programme NCANALYSE und NCPLOT stehen in PROGHOME (Software-Sammlung der BAW DH) allgemein zur Verfügung.



Bild 1: Mittelwert (links) sowie Median (rechts) des Wasserstands im Analysezeitraum (4 Wochen) für das Ems-Ästuar. Die Analyseergebnisse sind für jede Zelle des Berechnungsgitters konstant. Die Bathymetrie variiert demgegenüber auf der SubGrid-Skala. Die Daten wurden mit Hilfe von NCPLLOT aus einer CF NetCDF Datei importiert und visualisiert.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: WP4, **WP5**, **WP7**.

Laufzeit des Vorhabens von 2012 bis 2014.

5 Literatur

Casulli, V., Stelling, G. S. (2010): Semi-implicit sub grid modelling of three-dimensional free-surface flows. International Journal for Numerical Methods in Fluids, Band 67, Heft 4, 441 – 449, Okt. 2011. Online in 2010 veröffentlicht..

Casulli, V. (2008): A high resolution wetting and drying algorithm for free-surface hydrodynamics. International Journal for Numerical Methods in Fluids, Band 60, Heft 4, 391 - 408.

6 Veröffentlichungen (BAWiki und Internet)

BAW Analyse: http://www.baw.de/methoden/index.php5/Analyse_der_Berechnungsergebnisse.

BAW NetCDF: <http://www.baw.de/methoden/index.php5/NetCDF>.

BAW NCANALYSE: <http://www.baw.de/methoden/index.php5/NCANALYSE>.

BAW NCPLLOT: <http://www.baw.de/methoden/index.php5/NCPLLOT>.

Marine Dateninfrastruktur Deutschland; Vorhaben: Küsteningenieurwesen und Küstenschutz**Netzplan-Nr.:** A39550670400**Projektleiter:** Dr.-Ing. R. Lehfeldt, Dienststelle Hamburg, Geschäftsstelle KFKI**E-Mail:** rainer.lehfeldt@baw.de**1 Problemdarstellung und Ziel****1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens**

In den letzten Jahren haben sich Standards und Technologien im Umfeld von Informationssystemen etabliert, die eine Kommunikation zwischen heterogenen und verteilten Datenhaltungen unterstützen. Dazu gehört der ISO19115-Standard für Metadaten, der ISO19119-Standard für Web-Services, die CS-W-Schnittstelle für Katalog-Dienste zur Kommunikation zwischen Metadaten-Servern und die OGC-konformen Dienste Web Mapping Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Processing Service (WPS) und Web Coverage Service (WCS) für Daten aus Geoinformationssystemen. Diese Grundlagen werden in allen nationalen und internationalen Informations-Systemen angewandt. Als Beispiele seien hier die Nationale Geodateninfrastruktur GDI-DE und das Umweltportal Deutschland PortalU angeführt. Derzeit besteht noch ein erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um die vorhandenen und zukünftig erhobenen Küstendaten in vernetzte Informationssysteme einzubinden, sie darüber standardisiert bereitzustellen und nutzbar zu machen. Dies gilt auch für Untersuchungsszenarien mit numerischen Modellen bei der BAW.

1.2 Bedeutung für die WSV

Durch eine geeignete Vernetzung der Datenquellen wird es zukünftig möglich, in einem ökonomisch vertretbaren Aufwand umfassende Fachdaten und Informationen aus dem Küsten- und Meeresbereich für Wissenschaft, Planung, Öffentlichkeit, Politik und Verwaltung gemäß den Anforderungen bereit zu stellen. der INSPIRE-Richtlinie [EPC, 2007] und der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie [EP, 2008] umzusetzen. Die geplanten Verzeichnisse mariner Datenbestände aus unterschiedlichen Quellen realisieren auf einer einheitlichen fachlichen Datengrundlage einen standardisierten Zugang zu Fachdaten, der die Partnerdienststellen von Dienstleistungs-Routearbeiten entlastet.

1.3 Untersuchungsziel

Die wesentlichen Datenquellen an der Küste aus den thematisch und sektoral ausgerichteten Aufgabenbereichen des KFKI, des Meeresschutzes, des marinen Naturschutzes, der Raumordnung sowie der Küstenforschung werden vernetzt. Dazu werden das beim BSH entwickelte GeoSeaPortal und das Nord-Ostsee-Küsten-Informationssystem NOKIS in konzeptioneller, technologischer und inhaltlicher Form zu einem übergreifenden, nationalen Meeres- und Küsteninformationssystem zusammengeführt.

2 Untersuchungsmethoden

Um die Anforderungen von INSPIRE zu erfüllen, sind einheitliche, grenzüberschreitende Datenmodelle erforderlich. Die verteilten Daten müssen dazu **harmonisiert**, durch standardisierte **Metadaten** beschrieben und über ebenfalls standardisierte Dienste **interoperabel** von den Datenerzeugern bereitgestellt werden. Das MDI-DE **Portal** bildet dann den gemeinsamen Einstiegspunkt zu diesen Daten und Informationen aus der deutschen Küstenzone und den angrenzenden Meeresgebieten. Es ermöglicht das **Suchen** nach Daten sowie deren **Visualisierung** und **Herunterladen**.

3 Ergebnisse

Das Portal der MDI-DE unter <http://www.mdi-de.org> [Lehfeldt, R., Melles, J., 2011] in der Bild 1 wurde im Juli 2012 freigeschaltet. Es wird dauerhaft beim BSH unterhalten und ist als Fachportal in die GDI-DE eingebunden. Die Ergebnisse der vier Teilprojekte Küsteningenieurwesen (BAW), Meeresumweltschutz (BSH), Meeresnaturschutz (BfN) und Technisch-wissenschaftliche Begleitforschung (Uni Rostock) werden hier als Hintergrundinformationen zu den Daten und Diensten des Fachportals

dargestellt. Auf dem Abschluss-Workshop Workshop am 25./26. April 2013 in Hamburg wurden die gewählten Ansätze und Methoden externen Fachkollegen vorgestellt und im Kontext der Zielsysteme GDI-DE und WasserBLiCK diskutiert.



Bild 1: Das Portal der Marinen Dateninfrastruktur Deutschland mit den Komponenten Geodatensuche, Themeneinstiege, Hintergrundinformationen und Visualisierung von Karten.

Bei der konkreten Zusammenführung von Daten aus verschiedenen Quellen stellt die technische Interoperabilität von flächenhaften Daten auch aus numerischen Simulationsmodellen keine besondere Hürde dar. Die Hauptarbeit liegt in der inhaltlichen Harmonisierung der Daten, d.h. Vereinheitlichung von Legenden, Referenzsystemen und Darstellungssymbolen und -farben. Beim BSH wurde für die MSRL der Deskriptor 5 zur Eutrophierung (vom Menschen verursachte Nährstoffanreicherung in Gewässern) als Geodatendienst realisiert. Die Daten stehen als Kartendienste, die unterschiedlich visualisiert werden können, zur Verfügung. Die Erfahrungen bei der Datenharmonisierung sind in Leitfäden dokumentiert.

Aus der BAW sind sämtliche Daten für das KFKI-Projekt AufMod über die MDI-DE verfügbar. Beim WSA Hamburg wurde das Planungsmaterial der KFKI-Arbeitsgruppe „Synopsis“ zu Seevermessungen von Bundes- und Landes-Behörden aus den Jahren 2004 bis 2012 als Kartendienst aufbereitet. Zusammen mit dem LKN wurden die bereits im Projekt NOKIS++ begonnenen Arbeiten zu einem deutschen Küsten-Gazetteer weitergeführt, so dass das Namensgut vom Ständigen Ausschuss für geographische Namen [StAGN, 2005] digital verfügbar ist.

Das Netzwerk der MDI-DE (Bild 2) wird von Infrastrukturknoten [Lehfeldt, R., et al., 2011] bei der BAW, dem BSH, dem BfN und bei den Küstenländern Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern getragen. 13 Bundes- und Landesbehörden und Forschungsinstitute mit Zuständigkeiten an den Küsten und im Meer sind Partner im Netzwerk der MDI-DE. Metadaten und Daten verbleiben bei den Datenerzeugern. Es gibt keine zentrale Datenhaltung.

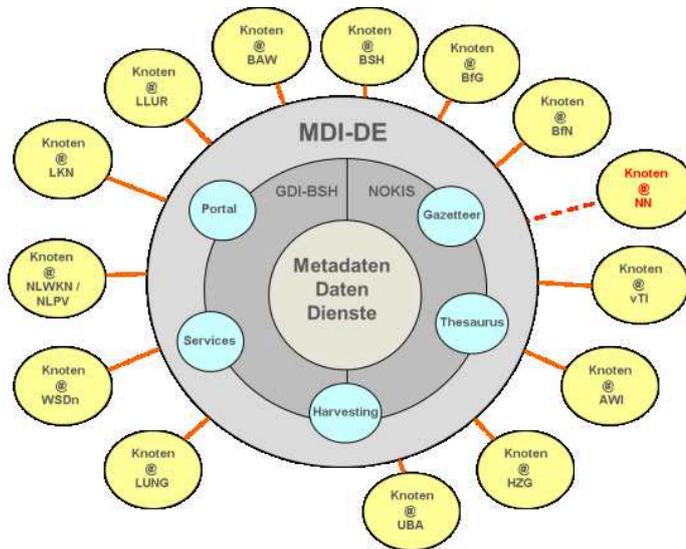


Bild 2: Das offene Netzwerk der MDI-DE aus Bundes-/Landesbehörden und Forschungsinstituten

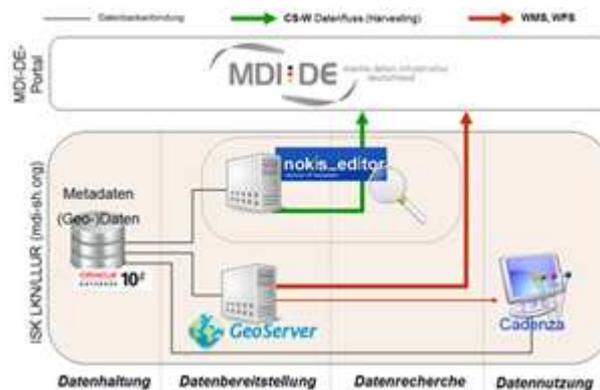


Bild 3: Infrastrukturknoten der MDI-DE stellt Metadaten und Daten über Dienste bereit

An diesen Infrastrukturknoten (Bild 3) werden die Hard- und Software einer lokalen Serverarchitektur eingerichtet, mit der (Geo-)Daten und Metadaten verwaltet und über standardisierte Dienste bereitgestellt werden. Sie betreiben die CS-W Katalogdienste zur Recherche und WMS, WFS und WPS für Darstellung, Download und Bewertung von Daten nach den Vorgaben der INSPIRE Richtlinie [Lehfeldt, R., 2013]. Um es zukünftigen Partnern der MDI-DE einfacher zu machen, einen Infrastrukturknoten aufzubauen, steht ein entsprechender Leitfaden auf dem Portal bereit.

Ein ministeriell besetztes Lenkungsgremium hat die Projektarbeiten von 2010 bis 2013 begleitet und bei Projektende 2013 einen Antrag zur Aufnahme der MDI-DE in die Verwaltungsvereinbarung Umwelt-Informationssysteme VKoopUIS gestellt. Damit wird die Verstetigung der MDI-DE als Arbeits- und Informationsplattform angestrebt. Durch einen gemeinsamen Finanzierungsplan der VKoopUIS-Partner wird sichergestellt, dass das System MDI-DE auf Dauer technisch und inhaltlich veränderten Rahmenbedingungen angepasst und weiterentwickelt werden kann.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Die Planung bei BAW, BSH und BfG sah vor, folgende Aufgaben im Projekt MDI-DE zu bearbeiten:

- Wichtigstes Ziel war Einrichtung eines MDI-DE Portals im Internet.

- Die Infrastrukturknoten bei den Projektpartnern bilden dazu die technische Infrastruktur.
- Darstellungs- und Download- Dienste sollten in das MDI-DE Portal integriert werden.
- Der Küsten- Gazetteer und ein Thesaurus sollten im Portal zur Verfügung gestellt werden.
- Die Metadatenprofile aus NOKIS sollten weiter ausgearbeitet werden, so dass z.B. Modelle, Zeitreihen und Dienste hinreichend beschrieben werden könnten.
- Vorhandene Werkzeug wie der „DataDiver“ beim BSH zur Visualisierung von Zeitreihen, Profilen und Schnitten sollten, basierend auf einem SOS-Diensten in das MDI-DE Portal, eingebunden werden.
- Für MSRL-Deskriptoren sollte die nötige Harmonisierung und Interoperabilität hergestellt werden.
- Es sollte eine Schnittstelle zum Wasserblick (<http://www.wasserblick.net>) bei der BfG aufgebaut werden.

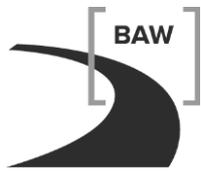
Laufzeit des Vorhabens von 2010 bis 2014.

5 Literatur

- EUROPEAN PARLAMENT AND COUNCIL, EPC (2007): Directive 2007/2/EC establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). Official Journal of the European Union L108, pp. 1-14.
- Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Gemeinschaft, EP (2008): Richtlinie 2008/56/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie). Amtsblatt der Europäischen Union, L 164/19-40.
- Lehfeldt, Rainer (2013): Die Marine Daten-Infrastruktur Deutschland MDI-DE im Kontext von INSPIRE und GDI-DE. In: K.-P. Traub, J. Kohlus und T. Lüllwitz (Hg.): Geoinformationen für die Küstenzone: Beiträge des 4. Hamburger Symposiums zur Küstenzone. Karlsruhe: Sokrates & Freunde GmbH, S. 55–62.
- Lehfeldt, R.; Melles, J.; Bauer, M. (2011): Concept And Implementation Of The German Marine Data Infrastructure. In: Roger Longhorn und Stefania de Zorzi (Hrsg.): Proceedings of CoastGIS 2011: 10. International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Zone Management. Marine and Coastal Spatial Planning, Vol.2. Venezia: Corila, pp. 50-54.
- Lehfeldt, R., Melles, J. (2011): Die Marine Dateninfrastruktur Deutschland MDI-DE. In Traub, K.-P., Kohlus, J., Lüllwitz, T. (Hrsg.): Geoinformationen für die Küstenzone - Band 3. Points Verlag Norden Halmstad, pp. 107-116.
- Ständiger Ausschuss für geographische Namen (Hrsg.) StAGN (2005): Geographische Namen in den deutschen Küstengewässern 1:200 000, Blatt 1 bis 4. In Zusammenarbeit mit den Landesvermessungsämtern Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern. Frankfurt a. M.

6 Veröffentlichungen

-/-



III. Neue FuE-Vorhaben in 2013

Entwicklung eines Verkehrslastmodells für typische Brücken der WSV

Netzplan-Nr.: A395 101 70004

Projektleiter: Dipl.-Ing. H. Becker, Dipl.-Ing. R. Ehmann, Abteilung Bautechnik, Referat Massivbau

E-Mail: holger.becker@baw.de, rainer.ehmann@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Mit der Einführung der DIN-Fachberichte für den Brückenbau wurden die bisherigen unterschiedlichen Brückenklassen für Straßenverkehr zugunsten eines einheitlichen Verkehrslastmodells aufgegeben, welches unabhängig von Straßenkategorie bzw. den Einwirkungsverhältnissen ist. In der Nachrechnungsrichtlinie für bestehende Straßenbrücken ist die Möglichkeit vorgesehen, in Abhängigkeit des täglichen Schwerverkehrs (DTV-SV) und der Art des Verkehrs (Ortsverkehr, Regionalverkehr oder Fernverkehr) bei bestehenden Straßenbrücken ein reduziertes Ziellastniveau in Anlehnung an die früheren Brückenklassen 60/30, 60/0 oder 30/30 zu bestimmen. Bei vielen schwach frequentierten WSV-Brücken würde die formale Anwendung dieser Richtlinie zu ungerechtfertigten Tragfähigkeitsdefiziten führen, da das Ziellastniveau höher als die Brückenklasse ist.

Die in der Nachrechnungsrichtlinie formulierte Methodik zur Bestimmung des Ziellastniveaus beruht auf Verkehrsmessungen an 3 verschiedenen Autobahnbrücken. Eine Übertragung auf untergeordnete Straßen und auf Brücken mit 2-spurigem Verkehrsquerschnitt ist unter diesen Voraussetzungen zu hinterfragen

1.2 Bedeutung für die WSV

Die WSV besitzt eine Vielzahl von Brücken alter Brückenklassen im untergeordneten Verkehrsnetz (mit und ohne Verkehrsbeschränkung), welche einer Nachrechnung gemäß der Nachrechnungsrichtlinie mit dem dort formulierten Ziellastniveau nicht standhalten und in weiterer Konsequenz durch einen Neubau ersetzt werden müssten. Aufgrund der vergleichsweise schwachen Frequentierung dieser oftmals als Wirtschaftswegbrücke oder im Ortsverkehr genutzten Bauwerke liegt die Vermutung nahe, dass der aktuell vorhandene und auch in Zukunft zu erwartende Verkehr mit den heute geltenden Lastmodellen überschätzt wird und viele der betroffenen Bauwerke nach wie vor ausreichend dimensioniert sind.

1.3 Untersuchungsziel

Das Untersuchungsziel ist, für die Straßenbrücken der WSV zutreffende Verkehrslastmodelle in Anlehnung an die aktuell für Neubau gültigen Belastungsmodelle nach Eurocode DIN EN 1991-2 zu ermitteln. Dabei sollen folgende Kriterien Berücksichtigung finden:

- Die Kategorie der überführten Straße wie Bundesstraße, Landesstraße, Kreisstraße und Gemeindestraße, Wirtschaftsweg.
- Die Konstruktionsart typischer WSV-Brücken (häufig: Stabbogenbrücken).
- Die Anzahl der Fahrstreifen: überwiegend 2 Fahrstreifen, vereinzelt auch nur 1-spurig.
- Die gewichtsbeschränkende Beschilderung älterer Brücken.
- Die Verkehrscharakteristik der Straßen. Zum Beispiel sind einige Brücken überwiegend durch landwirtschaftlichen Verkehr belastet.

In die Betrachtungen einbezogen werden sollen sowohl bestehende Brücken (analog der Nachrechnungsrichtlinie) als auch eventuell abweichende Verkehrslastmodelle für Neubauten.

Bei den zu entwickelnden Verkehrslastmodellen ist wiederum zu unterscheiden zwischen dem Lastmodell für statische Nachweise (früher Brückenklasse genannt) und dem zugehörigen Ermüdungslastmodell.

2 Untersuchungsmethoden

An ausgewählten Brücken der WSV werden die durch den laufenden Verkehr ausgelösten Bauwerksreaktionen gemessen. Gleichzeitig ist vorgesehen, den vorhandenen Verkehr in Menge, Fahrzeugart und Abstände der passierenden Fahrzeuge zu erfassen. Die Erstellung einer aussagekräftigen Messkonzeption erfolgt durch eine realitätsnahe Tragwerksmodellierung und Belastung mit entsprechenden Verkehrsszenarien. Eine Kalibrierung der rechnerischen Bauwerksreaktionen (Dehnungen, Verdrehungen usw.) erfolgt durch Vergleich mit gemessenen, die bei Überfahrten mit vermessenen und gewogenen Fahrzeugen in unterschiedlichen Konstellationen gewonnen werden. Das Messprogramm berücksichtigt die vorhandene messtechnische Ausstattung sowie die Verhältnisse und Möglichkeiten an der Brücke. Die Messdauer beträgt ca. 3 Monate bis zu einem Jahr, angepasst an das Brückenobjekt und den zugehörigen Randbedingungen. Die Messwerte der hochfrequenten Messungen sind entsprechend aufzubereiten und auszuwerten. Sofern messtechnisch erfasst, wird eine Verbindung zur zugehörigen Verkehrskonstellation hergestellt.

Die Messungen spiegeln das momentane zufällige Belastungsbild der Brücke wider. Ausgehend von der gemessenen Verkehrscharakteristik können durch statistische Betrachtungen und durch Simulationen andere Verkehrsszenarien und Verkehrszusammensetzungen berücksichtigt und deren Auswirkungen analysiert werden. Daraus wird dann ein angenähertes, auf der sicheren Seite liegendes Verkehrslastmodell entwickelt, welches alle Beanspruchungsarten (z.B. Querkraft, Biegemoment) und Bauteile (z.B. Längsträger, Fahrbahnplatte, Hänger usw.) gleichermaßen abdeckt.

3 Ergebnisse

Das FuE- Projekt wurde Mitte 2013 gestartet. Dazu wurden Forschungsk Kooperationen mit den Ingenieurbüros Prof. Dr. U. Freundt und Dr. Schütz Ingenieure eingegangen. Zwei Brücken der WSV wurden bisher als geeignete Untersuchungsobjekte ausgewählt:

1. Die Drucksbrücke überführt eine mit Schwerverkehr hoch belastete Landesstraße über den Dortmund-Ems-Kanal. Es handelt sich um eine stählerne Stabbogenbrücke mit einer Spannbeton-Fahrbahnplatte, bemessen für Brückenklasse 60/30. Im Zuge einer gutachtlichen Bearbeitung zur Ermüdungsgefährdung war eine Messeinrichtung für Dauermessungen installiert. Diese Messanlage wurde im September 2013 erweitert zur Erfassung der Verkehrsbelastung an maßgebenden Bauwerksteilen im Hinblick auf die Tragfähigkeit. Die Auswertungen von 2-monatigen Messungen zeigen, dass in dieser Zeit eine Maximalbelastung aufgetreten ist, die an Querträgern Beanspruchungen von 41% der Brückenklasse 60/30 erzeugte.
2. Die Dreierwalder Brücke bei Rheine kreuzt ebenfalls den DEK und überführt dabei eine Kreisstraße. Die 55m weit gespannte Stabbogenbrücke mit orthotroper Fahrbahnplatte wurde für die Tragfähigkeit einer Brückenklasse 30 bemessen, das Ziellastniveau gemäß Nachrechnungsrichtlinie soll BK 60 sein. Das Messkonzept wurde in 2013 entwickelt und umfasst neben Dehnungsmessungen am Tragwerk auch Sensoren zur Verkehrserkennung inklusive Geschwindigkeit und Abstände der Fahrzeuge.

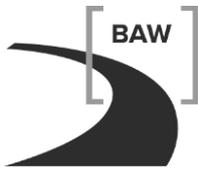
4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2016

2014: Messungen und Auswertungen an der Drucksbrücke und Dreierwalder Brücke. Beginn der Messungen an der Lingener Dammbücke (Bundesstraße) und an der Herbrumer Brücke, eine einspurige Wirtschaftswegbrücke.

2015: Auswertung der Messungen an der Lingener Dammbücke, Fortführung der Messungen an der Herbrumer Brücke mit paralleler Auswertung,

2016: Messungen an weiteren ausgewählten Brücken.



5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Entwicklung eines Ingenieurmodells zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit schubunbewehrter Stahlbetonquerschnitte bestehender Wasserbauwerke

Netzplan-Nr.: A39510170005

Projektleiter: M. Lutz, Bautechnik, Abteilung Bautechnik, Referat Massivbau (B1)

E-Mail: matthias.lutz@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

Im Rahmen der Nachrechnung von bestehenden Wasserbauwerken aus Stahlbeton muss immer wieder festgestellt werden, dass die Nachweisformate der geltenden Regelwerke (DIN 1045-1, DIN EN 1992-1-1 EC 2) hinsichtlich der Querkrafttragfähigkeit nicht erfüllt werden. Wegen unterschiedlicher Bemessungsmodelle weisen die Stahlbetonbauwerke, die auf Grundlage älterer Regelwerke bemessen wurden, im Allgemeinen nicht die erforderliche Querkraftbewehrung und damit die rechnerische Tragfähigkeit auf, die nach derzeit geltenden Normen vorliegen müsste. Ferner bleiben die Besonderheiten massiver Wasserbauwerke (z.B. Abmessung, Beanspruchung, System), die im Allgemeinen einen günstigen Einfluss auf die Querkrafttragfähigkeit haben, auch in aktuellen Bemessungsregeln unberücksichtigt.

Ziel ist es, ein praxisgerechtes Ingenieurmodell zur Abschätzung der Querkrafttragfähigkeit von WSV-Bestandsbauwerken zu erarbeiten, um diese unter Berücksichtigung ihrer wasserbauspezifischen Besonderheiten im Rahmen einer Nachrechnungsrichtlinie besser bewerten zu können

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die Regelungen zur Querkraftbemessung von Stahlbetonquerschnitten haben sich im Laufe der Zeit mehrfach geändert. Obwohl der WSV zur Zeit keine Bauwerksschäden bekannt sind, die nachweislich auf Querkraftversagen zurückzuführen sind, weisen bestehende Bauwerke oftmals große Standsicherheitsdefizite auf. Das Bemessungsmodell für die Querkraft in der derzeit geltenden Massivbaunorm EC 2 ist ein halbempirisches Modell. Die Hauptparameter des Modells wurden durch Auswertung von Versuchen kalibriert, die vorwiegend mit Einzellasten und großen Schubschlankheiten durchgeführt wurden. Die tatsächliche Querkrafttragfähigkeit der meist dicken, plattenartig beanspruchten Wasserbauwerke wird oftmals unterschätzt. Nach ersten Voruntersuchungen von Prof. Tue ist die Querkrafttragfähigkeit wesentlich von dem Spannungsverhältnis im Schubfeld abhängig. Es konnte bewiesen werden, dass die Querkrafttragfähigkeit bei Bauteilen mit Gleichstreckenlast unter sonst gleichen Randbedingungen deutlich höher als bei Bauteilen mit Einzellasten ist. Ursache hierfür ist die günstigere Momenten-Querkraft-Kombination im Schubfeld bei Gleichstreckenlast, so dass die Fortpflanzung der geneigten Risse im Schubfeld erst bei höheren Beanspruchungen stattfindet. Weiterhin spielt die Schubschlankheit eine große Bedeutung. Bei geringer Schubschlankheit kann sich der fachwerkartige Kraftfluss nach Erreichen der sog. Schrägrisslast in ein Sprengwerk umlagern, so dass die aufnehmbare Last weiter gesteigert werden kann, während dies bei großer Schubschlankheit nicht möglich ist.

1.2 Bedeutung für die WSV

Ein Großteil der WSV-eigenen Wasserbauwerke wurde auf Grundlage älterer Normen erstellt. Bei Nachrechnungen im Rahmen von Umbaumaßnahmen, Zustandsbewertungen oder der Neuerstellung statischer Berechnungen nach den schärferen, neuen Regeln weisen diese Ingenieurbauwerke oft rechnerische Defizite in der Querkrafttragfähigkeit auf, auch wenn sich die Bauwerke augenscheinlich in einem guten Zustand befinden. Wirksame Querkraftverstärkungen sind meist extrem aufwändig, greifen stark in die Bausubstanz ein oder aus konstruktiven Gründen überhaupt nicht möglich.

Mit Hilfe einer Bemessungsregel, die die wasserbauspezifischen Besonderheiten auf Grundlage der neueren Erkenntnisse realitätsnah berücksichtigt, könnte das Sicherheitsniveau bestehender Bauwerke besser eingeschätzt, Verstärkungsmaßnahmen besser dosiert bzw. unnötige Verstärkungen oder Stilllegungen vermieden werden. Sie soll in das BAW-Merkblatt zur Untersuchung der Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke eingebunden werden.

1.3 Untersuchungsziel

Erstellung eines praxisgerechten Ingenieurmodells zur Ermittlung der Querkrafttragfähigkeit schubunbewehrter Bauteile unter Berücksichtigung ihrer wasserbauspezifischen Besonderheiten. Einbindung in das BAW-Merkblatt „Tragfähigkeit bestehender Wasserbauwerke“

2 Untersuchungsmethoden

Die Bewältigung dieser Forschungsaufgabe erfolgt in Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Nguyen Viet Tue vom Institut für Betonbau der Technischen Universität Graz. Neben umfänglichen Literaturrecherchen werden grundsätzliche Parameter massiver Wasserbauwerke herausgearbeitet und beschrieben. In nichtlinearen FE- Simulationen werden grundsätzliche Erkenntnisse zum Tragverhalten gewonnen sowie eine Nachrechnung ausgewählter Versuchsergebnisse der Schubdatenbank durchgeführt. Sie dient ferner zur Ermittlung wesentlicher Versagenskriterien.

Auf Grundlage der Erkenntnisse wird ein Ingenieurmodell für die Nachrechnung schubunbewehrter bzw. gering schubbewehrter Wasserbauwerke erstellt. Zur Verifizierung sind zusätzliche Versuche durchzuführen. Das Ingenieurmodell wird durch die Anwendung an einem ausgewählten Wasserbauwerk auf seine Anwenderfreundlichkeit geprüft.

3 Ergebnisse

In einem ersten Bericht vom Juli 2013 wurde ein allgemeiner Überblick über den Stand der Technik durch Analyse der derzeit vorhandenen wesentlichen Querkraftmodelle sowie der Bemessungsmodelle nach internationalen Normen erarbeitet und diskutiert. Es wurden deren resultierende Querkrafttragfähigkeiten verglichen und experimentell ermittelten Werten von Schubversuchen gegenübergestellt.

Weiter erfolgte ein Vergleich von Versagenszeitpunkten bei FEM-Berechnungen mit den Schubtragfähigkeiten nach Norm. Hier fällt auf, dass die Werte bei Ansatz von Einzellasten akzeptable Übereinstimmungen aufweisen, während das Lastniveau bei Gleichstreckenlast der FEM- Untersuchungen eine mehrfach höhere Schubtragfähigkeit aufweist.

Bei der aktuellen Entwicklung eines neuen Ingenieurmodells wird als Kriterium für die Begrenzung der Schubtragfähigkeit die Bildung eines kritischen Schubrisses definiert und Kriterien zu dessen Bestimmung vorgestellt (zweiter Bericht vom Dezember 2013). Analysiert wird das Spannungsverhältnis im gesamten Schubfeld unter Berücksichtigung der vorhandenen Biege- und Querkraftbeanspruchungen sowie die Querkrafttragfähigkeit werden für unterschiedliche Systeme und Belastungen betrachtet. Die rechnerisch ermittelten Querkrafttragfähigkeiten des neuen Modells werden mit Ergebnissen der Ansätze aus aktuellen Regelwerken und mit den Werten aus Schubversuchen verglichen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2016.

2013/2014 Entwicklung eines Querkraft-Ingenieurmodells,
zusätzlich Durchführung von Versuchen

2014 / 2015 Anwendung des Ingenieurmodells und Prüfung an einem ausgewählten Wasserbauwerk auf seine Anwenderfreundlichkeit,

2015 / 2016 Einbindung der Erkenntnisse in eine Bemessungsregel zur Nachrechnung der älteren Wasserbauwerke, Anpassung von Sicherheitsbeiwerten und Materialparameter, Formulierung konstruktiver Randbedingungen

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Einfluss von Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit von Stahlwasserbaukonstruktionen

Netzplan-Nr.: A39510270005

Projektleiter: Dipl.-Ing T. Hesse, Abteilung Bautechnik, Referat Stahlbau und Korrosionsschutz (B2)

E-Mail: thomas.hesse@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In den aktuell gültigen Bemessungsregeln für den Stahlbau (Eurocode) ist ein negativer Einfluss von Korrosion auf die Ermüdungsfestigkeit nicht berücksichtigt. Stahlwasserbauteile sind ihrer Bestimmung entsprechend, im Normalfall, einer permanenten Belastung durch Süß- oder Seewasser ausgesetzt. Die praktische Erfahrung zeigt, dass bei Stahlwasserbauteilen der Korrosionsschutz nicht über die gesamte Lebensdauer in einem einwandfreien Zustand ist, sondern dass es insbesondere im Bereich von Kanten, Ecken, Anschlüssen und Schweißdetails zu Korrosionsschäden kommt.

Es stellt sich daher die Frage, ob eine Überprüfung der Ermüdungsfestigkeit nach Eurocode für Stahlwasserbaukonstruktionen ausreichend ist, oder ob durch Korrosionseinfluss die Ermüdungsfestigkeiten so weit reduziert werden, dass sich daraus eine signifikante Verringerung der ertragbaren Lastspielzahlen ergibt.

Recherchen zum bereits vorliegenden Wissen zu diesem Thema haben ergeben, dass eine negative Beeinflussung der Ermüdungsfestigkeit durch Korrosion zu vermuten ist. Gesicherte Erkenntnisse, insbesondere zur genauen Größe der Beeinflussung, liegen aber noch nicht vor.

1.2 Bedeutung für die WSV

Im Bereich der WSV gibt es zahlreiche ermüdungsbeanspruchte Stahlwasserbaukonstruktionen (Schleusentore), die sich dauerhaft im Wasser bzw. im Wasserwechselbereich befinden. Daher ist es notwendig, zu überprüfen, ob die Bemessung auf Ermüdungsfestigkeit nach Eurocode für den Spezialbereich Stahlwasserbau in jedem Fall zutreffend und ausreichend sind.

1.3 Untersuchungsziel

Projektziel ist die Ermittlung der Reduktionsraten der Ermüdungsfestigkeit infolge Korrosion für verschiedene Randbedingungen. Weiterhin soll überprüft werden, ob trotz Verminderung der Ermüdungsfestigkeit infolge Korrosion die für den entsprechenden Kerbfall maßgebenden Wöhlerlinien nach Eurocode 3 erreicht werden.

2 Untersuchungsmethoden

Die Ermüdungsfestigkeit durch Korrosion geschädigter Probekörper soll durch Schwingversuche verifiziert werden. Die entsprechenden Probekörper werden aus Blechen gewonnen, die über einen Zeitraum von zwei Jahren unter für den Stahlwasserbau üblichen Umgebungsbedingungen (ungünstigster Fall: Wasserwechselbereich) gelagert werden.

3 Ergebnisse

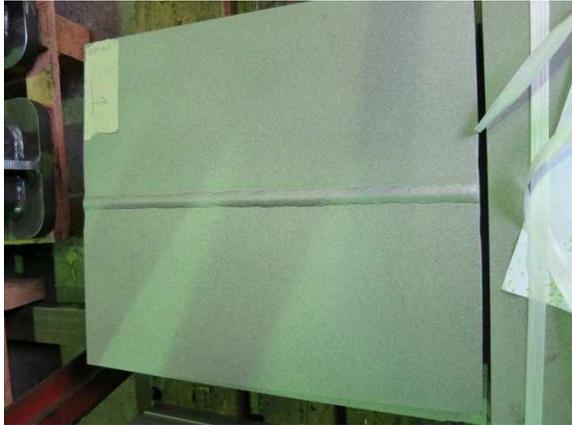
Der Projektantrag wurde am 12./16. April 2013 vom FuE-Koordinator und dem Forschungsmanagement der BAW bewilligt.

Die Projektplanung und -vorbereitung wurde im Mai/Juni 2013 durchgeführt. Für die Herstellung der Prüfbleche und für die Durchführung der Schwingversuche wurden Spezifikationen erstellt, die die Grundlage für die Vergabe dieser Leistungen bilden.

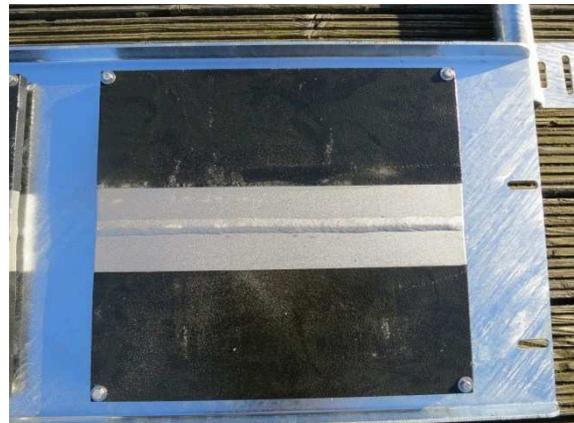
Als Auslagerungsstandort Meerwasser wurde der bestehende BAW-Auslagerungsstand in Kiel ausgewählt. Dieser befindet sich im Zuständigkeitsbereich des WSA Lübeck, Außenbezirk Kiel. Als Auslage-

rungsstandort Süßwasser wurde ein schwimmender Schiffsanleger im Rheinhafen Karlsruhe ausgewählt. Der Eigentümer des Anlegers, die Karlsruher Versorgungs- Verkehrs- und Hafen GmbH, erteilte seine Zustimmung und unterstützt das Projekt.

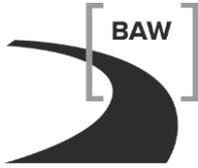
Für die Vergabe der Stahlbauarbeiten und der Schwingversuche wurden entsprechende Vergabeverfahren durchgeführt. Die Stahlbauarbeiten wurden im Juni 2013 an ein Karlsruher Stahlbauunternehmen vergeben. Nachdem die Fertigung Anfang November 2013 abgeschlossen war, wurden die Prüfbleche im November/ Dezember 2013 ausgelagert.



Bilder 1 und 2: Prüfbleche nach den Sandstrahlen



Bilder 3 bis 6: Prüfbleche für Binnenauslagerung auf Befestigungskonstruktion montiert



Die Schwingversuche wurden im September 2013 an das KIT Stahl- und Leichtbau, Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine in Karlsruhe vergeben.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2016.

2013: Projekt- und Versuchsplanung, Herstellung und Auslagerung der Prüfbleche
2014/ 2015: Auslagerungszeit der Prüfbleche (Bleche stehen unter Bewitterung)
2016: Durchführung der Schwingversuche und Auswertung

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Textilbewehrte Mörtel für die Instandsetzung von Wasserbauwerken

Netzplan-Nr.: A39510370010

Projektleiter: Dipl.-Ing. A. Westendarp, Abteilung Bautechnik, Referat Baustoffe (B3)

E-Mail: andreas.westendarp@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Das bereits im Rahmen des FuE-Vorhabens A39510310238 nachgewiesene Vermögen von Textilbewehrung, Bewegungen von Einzelrissen im Altbeton auf mehrere Risse im Instandsetzungsmörtel zu überführen, ist nur ein Baustein im Hinblick auf die Eignung textilbewehrter Spritzmörtel/Spritzbetone für die Instandsetzung massiger, geringfester und gerissener Bauteile von Verkehrswasserbauwerken. In der Praxis werden sich die im Rahmen des vorangegangenen FuE-Vorhabens zunächst vereinfachend angenommenen Randbedingungen (vollflächig ausreichender Adhäsionsverbund, kein Durchtritt von Wasser durch das Bauteil hindurch an die Rückseite der Instandsetzungsflächen, keine Ausbildung von Spaltwasserdruck) keineswegs immer einstellen. In einem nächsten Schritt sind deshalb geeignete Verankerungssysteme für textilbewehrte Spritzmörtelschichten zu konzipieren. Für das Gesamtsystem sind geeignete Bemessungsansätze zu erstellen, die es dem sachkundigen Planer derartiger Instandsetzungsmaßnahmen ermöglichen, Textilbewehrung und Verankerung in Abhängigkeit bestimmter Bauwerksgegebenheiten (u.a. Größenordnung eines etwaigen Spaltwasserdrucks) zu konzipieren. Zu prüfen ist weiterhin, inwieweit neben Spritzmörtel/Spritzbetonen auch in Schalung eingebrachte Mörtel oder Betone in Verbindung mit Textilbewehrung Anwendung finden können.

1.2 Bedeutung für die WSV

Mit dem Ersatz korrosionskritischer Bewehrung aus Stahl durch Textilbewehrung könnte der WSV ein Verfahren zur Verfügung gestellt werden, mit dessen Hilfe sich Instandsetzungen insbesondere an älteren massiven Wasserbauwerken wie beispielsweise Wehrpfeilern zielsicherer und kostengünstiger als bislang realisieren ließen.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist es, das Instandsetzungssystem „Textilbewehrte Mörtel und Betone“ dahingehend weiter zu entwickeln, dass der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung geeignete, ausschreibungsreife Lösungen für bestimmte Randbedingungen (freibewittert/Wasserwechselbereich; mit/ohne Spaltwasserdruckansatz etc.) zur Verfügung gestellt werden können. Als potentielles Anwendungsgebiet für derartige Instandsetzungsmaßnahmen sind hierbei insbesondere die alten Wehranlagen an Main, Neckar, Weser etc. in den Fokus zu nehmen.

2 Untersuchungsmethoden

Das Forschungsvorhaben soll in drei Teile gegliedert werden:

Teil 1: Begutachtung der am Wehr Horkheim im Rahmen des FuE-Vorhabens A39510310238 angelegten Probestellen inkl. Auswertung der begleitenden Bauwerksmessungen; Erstellung Untersuchungsbericht

Teil 2: Fachliche Begleitung des DFG-Transferprojektes T09 „Schutzschichten aus textilbewehrtem Spritzmörtel zur Instandsetzung von Wasserbauwerken“ der RWTH Aachen

Anmerkung: Im dem in Teil 2 genannten DFG-Transferprojekt T 09 werden wesentliche noch offenen Fragen zu textilbewehrten Spritzmörteln behandelt, eigene Aufwendungen seitens der BAW sind hier, von der fachlichen Begleitung und Steuerung abgesehen, nicht erforderlich.

Teil 3: Fachliche Begleitung der Instandsetzung von Wehrpfeilern des Neckarwehrs Horkheim mittels textilbewehrtem Mörtel/Beton im Rahmen der Grundinstandsetzung

Anmerkung: In Teil 3 sollen in Umsetzung der bisherigen Arbeiten und Untersuchungen die Grundlagen für Planung und Ausschreibung einer Instandsetzung unter Verwendung textilbewehrter Mörtel bzw. Betone erarbeitet werden. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein geeigneter Verankerungselemente und Textilbewehrung am Markt. Sollte dies bis Herbst 2013 nicht sichergestellt sein, wird die Anwendung des Verfahrens am Wehr Horkheim auf den nächsten Instand zu setzenden Wehrpfeiler verschoben.

3 Ergebnisse

Zu Teil 1:

In 2013 wurden die im Rahmen des FuE-Vorhabens A39510310238 an Wehrpfeilern der Wehranlage Horkheim erstellten Probeflächen (Spritzmörtel mit unterschiedlicher Textilbewehrung) durch die RWTH Aachen begutachtet, der Entwurf des Untersuchungsberichtes liegt vor. Der endgültige Bericht wird erstellt, sobald die Untersuchung der letzten, unterwasserseitig angeordneten und bislang nicht zugänglichen Probefläche im Frühjahr 2014 erfolgt ist. Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- An keiner der bislang untersuchten Probeflächen konnten Defizite (Abplatzungen, Hohllagenetc.) an den SPCC-Schichten festgestellt werden.
- Die maximal im Zeitraum 9/2010 bis 6/2013 gemessenen Rissbreitenänderungen lagen bei etwa 0,28 mm.
- Alle im Rahmen der Untersuchungen detektierten Rissbreiten in den textilbewehrten SPCC-Schichten sind kleiner als 0,1 mm.
- Bei den textilbewehrten Probefläche kann ein direktes „Durchschlagen“ der im Untergrund vorhandenen Risse, anders als bei der unbewehrten Probefläche, zielsicher vermieden werden.
- Die Messungen mittels Dehnungsmessstreifen zeigen, dass die textilbewehrte Schicht im enthafteten Bereich neben den Rissen bei Rissöffnung wie geplant Zugspannungen aufnimmt.

Zu Teil 2:

Im Rahmen einer Arbeitsgruppe aus RWTH Aachen, Fa. w+s und BAW wurden Lastansätze für die Beanspruchung des Verbundes zwischen Altbeton und textilbewehrter Mörtelschicht definiert, welche als Grundlage für die Entwicklung von Ankersystemen dienen sollen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2015.

2013: Arbeiten zu Teil 1

2014: Arbeiten zu Teil 2; Erstellung Instandsetzungskonzept Wehrpfeiler Horkheim (zu Teil 3)

2015: Begleitung Instandsetzungsmaßnahme Horkheim (Teil 3); Abschlussbericht

Anmerkung: Der für die Lieferung der Textilbewehrung verantwortliche Partner im Projekt T09 hat sich Anfang 2014 aus dem Vorhaben zurückgezogen. Aus diesem Grund wird es voraussichtlich zu Verzögerungen bei der Realisierung der Teile 2 und 3 dieses FuE-Vorhabens kommen.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Bestimmung des Tragverhaltens von offenen Stahlrohrpfählen

Netzplan-Nr.: A39550170378

Projektleiter: Dipl.-Ing. M. Kidane, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Geotechnik Nord (K1)

E-Mail: mussie.kidane@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Offene Stahlrohrpfähle werden in der WSV vornehmlich bei kombinierten Rohrspundwänden, Tiefgründungen im offenen Wasser sowie als Anlegedallen eingesetzt. Die Belastungsrichtungen variieren stark zwischen vorwiegend vertikal und vorwiegend horizontal. Des Weiteren werden offene Stahlrohrpfähle mit ähnlichen Durchmessern wie im Bereich der WSV als Gründungselemente von Offshore-Windenergieanlagen eingesetzt.

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 Arbeitsausschusses „Uferneufassungen“ Häfen und Wasserstraßen (EAU) ab. Diese führen zu unterschiedlichen rechnerischen axialen Pfahltragfähigkeiten, wodurch sich Unsicherheiten bei der Dimensionierung dieser Bauwerke ergeben.

Nachfolgende geotechnischen Inhalte sind in der derzeitigen wissenschaftlichen Diskussion und bedürfen einer näheren sowie systematischen Betrachtung, um Bauwerke wirtschaftlich und insbesondere sicher bauen zu können:

Pfropfenbildung und innere Mantelreibung:

Derzeitig wird oft davon ausgegangen, dass ab einem Rohrdurchmesser von ca. 1,5 m keine maßgebliche Pfropfenbildung im Pfahlinnern stattfindet sondern der Pfahl über innere und äußere Mantelreibung trägt. Das Auftreten eines Pfropfens innerhalb eines offenen Rohrfahles bei der Rammung verändert dessen Tragverhalten maßgeblich. Neben den Eigenschaften des anstehenden Bodens ist die aufgebrauchte Rammenergie ein maßgebliches Kriterium für die mögliche Pfropfenbildung. Dies ist derzeit nur unzureichend erforscht.

Anwachsen:

Bei einigen dynamischen Pfahlprobelastungen konnte durch re-strikes (erneute Probelastung zu einem späteren Zeitpunkt) an Rohrfählen mitunter eine zeitabhängige Zunahme der Tragfähigkeit beobachtet werden. Die Bandbreite reicht jedoch oft von 1- (keine Zunahme) bis etwa 2-fachen Zunahme in ähnlichen Zeiträumen. Verlässliche Ergebnisse und Ansätze liegen nicht vor.

Statische Pfahltragfähigkeit:

Die rechnerisch eindeutige und zutreffende Prognose der statischen Pfahltragfähigkeit ist derzeit nicht möglich. Verschiedene Prognoseverfahren existieren zwar, jedoch wurden diese zum einen nur an wenigen Pfahlprobelastungen kalibriert und führen zum anderen oft zu unterschiedlichen Ergebnissen bei gleichen vorgegebenen Randbedingungen.

Verhalten unter zyklischer Belastung:

Das Tragverhalten und die Auswirkung zyklischer Lastamplituden auf das Boden- sowie das Boden-Pfahl-Verhalten sind derzeit nur unzureichend erforscht. Unterschiedliche Ansätze liegen vor, welche jedoch große Streubreiten in den Ergebnissen liefern und mitunter auf vergleichsweise geringer Datengrundlage basieren. Diese Thematik ist insbesondere für die Gründungselemente von Offshore-Windenergieanlagen von großem Interesse.

1.2 Bedeutung für die WSV

Erweiterte Kenntnisse zu den o.g. Punkten erlauben eine wirtschaftliche und sichere Bemessung von offenen Stahlrohrpfählen für WSV-Bauwerke sowie von Gründungen von Offshore-Windenergieanlagen. (Die BAW unterstützt das BSH bei der Genehmigung von Offshore-Windenergieanlagen und Konverterplattformen mit ihrem Expertenwissen.)

1.3 Untersuchungsziel

Bemessungsmethoden zum Pfahltragverhalten sollen unter Berücksichtigung der vorgenannten physikalischen Zusammenhänge (siehe 1.1) ermittelt bzw. angepasst werden.

2 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. Zusätzliche Drucksondierungen im Pfahlinnern sind vorgesehen.

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 ($t = 28 \text{ d}$, 180 d) durchgeführt werden. Ggf. sind in ergänzenden Modellversuchen Anwachseffekte unter definierten Bedingungen (Chemismus, Biologie) zu untersuchen.

Der Einfluss aus zyklischen horizontalen Belastungen auf das Pfahltragverhalten soll durch hydraulische Pressen mit unterschiedlichen Lastzyklen sowie Amplituden simuliert werden. Dies kann bei entsprechenden Randbedingungen von Land aus erfolgen oder durch Setzen eines Reaktionspfahles. Die o.g. messtechnische Instrumentierung wird hierfür weiter verwendet und ggf. ergänzt.

3 Ergebnisse

Das FuE-Vorhaben wurde im November 2013 gestartet.

In einer Literaturrecherche wurden Ergebnisse bisher durchgeführter statisch- sowie zyklisch-lateraler Pfahlprobelastungen gesichtet. Des Weiteren wurden vorhandene Bemessungsmethoden für lateral belastete Gründungspfähle den zugrundeliegenden Feld- sowie Laborversuchen gegenübergestellt, nach denen diese kalibriert worden sind.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Planung der Feldversuche unter Einbeziehung der WSV sowie von Universitätsinstituten
2014-2017: Durchführung sowie Auswertung der Feldversuche und Durchführung der weiteren Forschungsinhalte

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2017.

5 Literatur

-/-

6 Veröffentlichungen

-/-

Evaluierung und Adaptierung der SPH-Methode für wasserbauliche Fragestellungen an Bundeswasserstraßen

Netzplan-Nr.: A39530570002

Projektleiter: J. A. Jankowski, E. Rustico,
Referat Numerische Verfahren im Wasserbau (W5)

E-Mail: jacek.jankowski@baw.de, eugenio.rustico@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Die in den Abteilungen W und K derzeit sowohl in ingenieurpraktischen, als auch Forschungsprojekten verwendeten numerischen Verfahren für die Strömungssimulation sind ausschließlich netzbasiert. In diesen konventionellen Verfahren, die üblicherweise mit den Finite-Elementen-, -Differenzen- und -Volumen-Methoden (FEM, FDM, FVM) aufgebaut sind, wird abgesehen von der teilweise in der Advektion verwendeten Lagrange'schen Methode der Charakteristiken ausnahmslos die Euler'sche Betrachtung des zu modellierenden Fluids angenommen.

Obwohl äußerst erfolgreich, haben diese netzbasierten Verfahren gewisse Anwendbarkeitsgrenzen, an die man sich nur ausnahmsweise und oft mit klaren Verlusten an der rechnerischen Effizienz nähern kann. Hiermit sind Strömungen gemeint, die charakterisiert sind durch größere geometrische Deformationen bzw. stärkere Schubspannungen an Kontaktflächen zwischen der sich in Bewegung befindenden physikalischen Phasen (wie Wasser, Luft, Feststoffe), bzw. diesen Phasen und beweglichen Objekten, oder durch eine stärkere, sich dynamisch verändernde Vermischung. Dazu zählen verschiedene Strömungsprozesse, die relevant für wasserbauliche Fragestellungen sind (Kapitel 1.2).

SPH, *Smoothed Particle Hydrodynamics*, ist eine alternative Methode zur Modellierung dieser o.g. Strömungen, die mit konventionellen – netzbasierten – numerischen Methoden schwer zu erfassen sind. Sie basiert auf der konsequent angewendeten Lagrange'schen Form der Betrachtung der Gleichungen der Strömungsmechanik (Violeau 2012). Im Gegensatz zu Netzmethode werden die physikalischen Eigenschaften des Fluids Partikeln und nicht fixierten Punkten im Raum zugeordnet. Es wird kein Netz benötigt, um diese Eigenschaften zu interpolieren bzw. Operatoren der Gleichungen zu formulieren: Das Fluid wird durch eine endliche Anzahl makro- oder mesoskopischer (im Sinne der Mechanik des Kontinuums) Objekte abgebildet. Diese Objekte haben eine konstante Masse und ein gegebenes Volumen, das genügend klein ist, um annähernd als miteinander wechselwirkende Fluidpartikel betrachtet zu werden. Die Genauigkeit des Verfahrens hängt dann wesentlich von Partikeldichte und damit von der Anzahl der betrachteten Partikel ab.

Obwohl die mathematische Theorie komplex und die Begriffe abstrakt sind, zeichnen sich die resultierenden numerischen Codes durch elegante Geradlinigkeit aus. Der rechnerische Aufwand in SPH-Codes wird durch die Komplexität der Kernelfunktionen, den Suchalgorithmus für die Nachbarpartikel und die Begrenzung der Zeitschrittlänge bestimmt. Insbesondere diese letzte Limitierung ist für die SPH-Methode besonders kritisch: Um die Inkompressibilität der Strömung korrekt wiederzugeben, muss zur Einhaltung von Stabilitätskriterien die Zeitschrittlänge des numerischen Verfahrens umgekehrt proportional zu der (sehr großen) Schallgeschwindigkeit im gegebenen Fluid sein, was theoretisch zu sehr kleinen Zeitschritten zwingt. Dies kann als größter Nachteil des SPH-Verfahrens für die Anwendung mit längeren Zeitskalen der zu reproduzierenden Prozesse aufgefasst werden. Wegen der algorithmischen Geradlinigkeit und der resultierenden einfachen Datenstrukturen ist diese Methode jedoch für massive Parallelisierung besonders geeignet. In den letzten Jahren erlaubt die Verfügbarkeit preisgünstiger paralleler Hardware sowohl die Überwindung des rechnerischen Aufwands aufgrund der Limitierung durch die Zeitschrittweite, als auch die Steigerung der Qualität der Simulation durch Verwendung von größeren Partikelzahlen (Rustico 2012).

1.2 Bedeutung für die WSV

Bei Steigerung der rechnerischen Effizienz eröffnet die SPH-Methode (Smoothed Particle Hydrodynamics) neue Möglichkeiten bei der Bearbeitung von wasserbaulichen Fragestellungen, bei denen die

traditionellen netzbasierten Methoden an ihre Anwendbarkeitsgrenzen stoßen. Insbesondere Strömungen mit folgenden Eigenschaften sind von Interesse: größere Deformationen der freien Oberfläche (z.B. brechende Wellen und deren Einfluss auf wasserbauliche Strukturen), Übergänge zwischen schießenden und strömenden Strömungszuständen (Wehre, überflutete Dämme und Bühnen), Kräfte auf schwimmende Objekte (Schleusungsvorgang), turbulente Strömungen bei komplizierten Geometrien (Fischpässe), Bodenfracht, Erosion (Kolkung), bewegliche Bodenformen, suspendierte Sedimente und deren Aufwirbelung, Multiphasen-Strömungen (Eisgang) etc.

1.3 Untersuchungsziel

Im Rahmen des Projektes soll ein existierender SPH-Code (GPUSPH) (Héroult et al. 2010, 2011) für die Berechnungen mit neuen Rechnerarchitekturen (GPU-Nutzung) weiter optimiert werden, so dass eine Evaluierung und Adaptierung der SPH-Methode für die ausgewählten, spezifischen wasserbaulichen Probleme an den Wasserstraßen möglich ist. Als erste Testanwendungen werden Fischpässe, Wehre und Schleusen gewählt. Ggf. kommt eine Erweiterung hinsichtlich des Sedimenttransports in kleineren Zeitskalen in Betracht. Am Ende des Projekts soll ein neues Modellierungssystem zur Verfügung stehen, das man einerseits in der täglichen Projektarbeit anwenden und andererseits weiter im Hause entwickeln kann.

2 Untersuchungsmethoden

Die ausgewählten Anwendungen sollen die Anwendbarkeit der SPH-Methode und der entwickelten Software-Umgebung zur Bewältigung ingenieurpraktischer Probleme an Wasserstraßen demonstrieren. Hiermit sind Vergleiche mit den Resultaten von Laboruntersuchungen und numerischen Simulationen unter Mitwirkung der Referate W1, W3 und W4 notwendig.

Die ersten Entwicklungsarbeiten erfolgten zuerst auf einem mit einer für numerische Berechnungen geeigneten leistungsfähigen GPU-Karte ausgestatteten PC. Seit Mitte 2013 stehen 8 Knoten mit je zwei Nvidia Tesla K20M als Erweiterung des Compute-Servers der Abteilung W zur Verfügung, was Arbeiten an der Multi-GPU-Multi-Node Version des Codes erlaubt. Programmierarbeiten erfolgen weitgehend mit Open Source bzw. frei zur Verfügung stehenden (Nvidia CUDA) Entwicklungswerkzeugen. Es wird ein gemeinsames Code-Repository (git) für alle Konsortium-Mitglieder organisiert und verwaltet. Alle Entwicklungen bleiben Open Source unter der GPL-Lizenz.

Die Arbeiten erfolgen im Rahmen eines internationalen Konsortiums (ATHOS). Die Arbeit im Konsortium erfordert die Teilnahme an halbjährlichen Treffen, in denen die Richtung der weiteren Forschung bestimmt wird und die zu erledigenden Arbeiten samt der zur Verfügung stehenden Mitteln definiert werden. Es werden regelmäßige Arbeitstreffen organisiert. Die relevanten Ergebnisse der Arbeit werden publiziert, wobei der jährliche SPHERic Workshop als wichtigste Plattform für die Kommunikation bevorzugt wird.

3 Ergebnisse

Im ersten Jahr des Projektes (2013 mit Vorarbeiten in 2012) haben sich die Arbeiten auf die Erstellung eines Validierungsbeispiels zur Abschätzung der Anwendbarkeit des Codes auf Strömungen in einem Fischpass und programmtechnische Verbesserungen an dem bisher vorhandenen Code konzentriert. Ab Mitte 2013 erfolgte die Erstellung der Multi-GPU-Multi-Node Version des GPUSPH Codes. Die in 2013 erzielten Ergebnisse können wie folgt kurz aufgelistet werden:

- Parallelisierung des GPUSPH-Codes mit MPI für das mit GPUs ausgestattete Rechnercluster.
- Bei der gleichzeitigen Nutzung von 12 GPUs (Tesla K20M mit 8GB lokalen Speicher) in 6 Rechenknoten sind Simulationen mit 50 Millionen Partikeln praktisch realisierbar. (Mit 16 GPUs mit 8 Knoten steigt diese Zahl auf 10^8 Partikel.)
- Erste Resultate von SPH-Simulationen zeigen gute Übereinstimmungen mit den Strömungen im Fischpass-Labormodell der BAW (siehe Abbildung).
- Technische Fortschritte und Verbesserungen des Codes an: Genauigkeit (Koordinaten relativ zu lokalen Zellen), Robustheit (Entfernung einiger Codeanteile, Code-Refactoring, Modularisierung für laufende und zukünftige Entwicklungen), Effizienz (kompakte Nachbarliste für Partikel), Funktionalität (semi-analytische Berandungen, schwimmende Objekte).

Es wurden mehrere Arbeitstreffen mit anderen Mitgliedern des ATHOS Konsortiums durchgeführt. In diesem Rahmen wurde das Arbeitsprogramm laufend auf die Entwicklungen der Beteiligten angepasst. Über die Fortschritte der Arbeit wurde intern systematisch berichtet.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

2014: Alle Module im SPH-Rechenkern des Programms, die für die Bearbeitung wasserbaulichen Fragestellungen notwendig sind, sollen implementiert werden. Es sollen fortlaufende Arbeiten am Pre- und Postprocessing erfolgen. Die Fähigkeiten der erstellten Software sollen kontinuierlich mit neuen hydrodynamischen Beispielen getestet und dokumentiert werden. Das Arbeitsprogramm beinhaltet weitere Validierungen mit Labormodellen, Anwendung höherer Auflösungen und semi-analytischen Berandungen insbesondere in anderen relevanten praktischen Beispielen als dem bisher betrachteten Fischpass. Für das Testen der schwimmenden Objekte soll nach Möglichkeit ein Beispiel mit einem Schiff in einer Schleuse einbezogen werden. Für praktische Anwendungen sollen Entwicklungen für die vereinfachte Berücksichtigung von digitalen Geländemodellen (DGM) und ein einfaches User-Interface (insb. für die Problemdefinition) durchgeführt werden. Es sind Konferenzbeiträge für die Tagungen SimHydro, SPHeric und ICHE in 2014 geplant.

2015: Das Arbeitsprogramm für 2015 wird abhängig von den Resultaten der ersten zwei Jahre und in Abstimmung mit dem ATHOS-Konsortium im Laufe des Projekts formuliert werden. In diesem Jahr soll ein neues Modellierungssystem zur Verfügung stehen, das man in der täglichen Projektarbeit anwenden kann. Dazu soll die vollständige Bearbeitungskette einer praktischen Problemlösung auf generische Weise berücksichtigt werden. Falls Entwicklungen anderer Mitglieder des Konsortiums es erlauben, sollen Erweiterungen des Modells für den Sedimenttransport (Bodenfracht, Suspension, Erosion) integriert werden. Die Dokumentation und Veröffentlichung der Ergebnisse wird vervollständigt.

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2015.

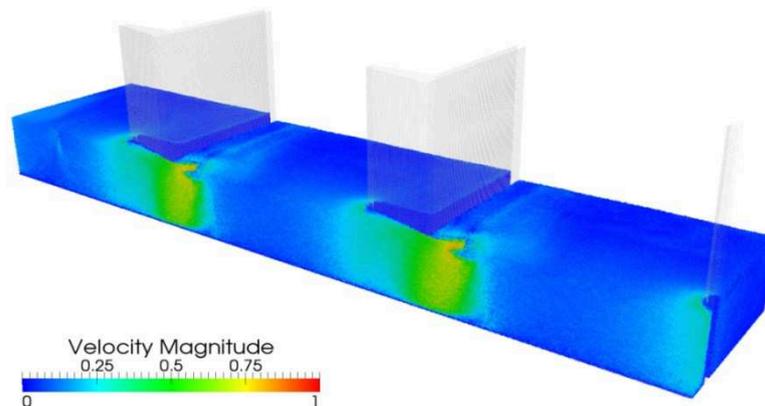


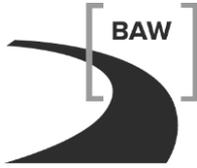
Bild 1: SPH-Simulation eines Fischpasses (BAW-Labormodell); skalare Fließgeschwindigkeiten

5 Literatur

- Violeau, D. (2012): Fluid Mechanics and the SPH Method: Theory and Applications, Oxford University Press, 640p.
- Héroult, A., Bilotta, G., Darlymple, R.A. (2010): SPH on GPU with CUDA. Journal of Hydraulic Research, 48:S1, 74-79.
- Héroult A, Bilotta G, Darlymple, R.A. (2011): GPUSPH Users Manual, August 1, 2011.
- Rustico, E. (2012): Fluid dynamics simulations on multi-GPU systems. PhD thesis, Università degli Studi di Catania, Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali.

6 Veröffentlichungen

- Rustico, E., Bilotta, G., Héroult, A., Del Negro, C., Gallo, G. (2014): Advances in Multi-GPU Smoothed Particle Hydrodynamics applications. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 25 no.1.



Modulares System für Schelfmeere und Küsten (MOSSCO)

Netzplan-Nr.: A39550270155

Projektleiter: Dr. F. Kösters, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme I (K2)

Bearbeiter: Dr.-Ing. M. Hassan Nasermoaddeli, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme I (K2)

E-Mail: Frank.Koesters@baw.de, Hassan.Nasermoaddeli@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Im Rahmen des Forschungsprogramms „Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)“ wurde in dem Forschungsauftrag „Küstenmeerforschung für Nord- und Ostsee“ die Notwendigkeit zum Aufbau eines modularen Modellsystems für die Küstenforschung als wesentlicher Punkt adressiert. Genau dieser Forderung kommt das BMBF geförderte Projekt „Modulares System für Schelfmeere und Küsten“ (MOSSCO) nach. MOSSCO ist ein Verbundprojekt des Helmholtz-Zentrums Geesthacht, Institut für Küstenforschung (HZG), des Leibniz-Instituts für Ostseeforschung Warnemünde (IOW) und der BAW. Von der BAW wird das Teilprojekt „Anwendung für den Sedimenttransport: Die Rolle der Biologie“ durchgeführt, um bestehende Modellsysteme für die Abbildung des Bodens (Sedimenttransport, Deposition und Erosion), sowie Modelle der bodennahen (benthischen) Flora und Fauna für die Nutzung im integrierten Modellsystem vorzubereiten und zu implementieren.

Die heute im Küsteningenieurwesen eingesetzten Modellverfahren berücksichtigen zum Großteil keine biologischen Einflüsse sondern sind auf eine rein abiotische Betrachtungsweise ausgelegt. Insbesondere bei der Betrachtung des Transports suspendierter Sedimente stellt diese Entkopplung ein potenzielles Defizit der Ergebnisqualität dar, da die Beeinflussung biologischer Prozesse auf das Absetzverhalten suspendierter Sedimente nicht berücksichtigt wird. Hinzu kommt, dass die Erosion von Sedimenten maßgeblich durch biologische Parameter wie der Häufigkeit und der Wirkung von Makrofauna oder mikrobieller Stabilisierung der oberen Sedimentschicht beeinflusst sein können (z.B. Krumbein, 1995; Jacobs et al., 2011). Die Erosionseigenschaften werden heute zumeist nur durch eine statische Beschreibung der Rauheit an der Sohle beschrieben, prognostische Modelle sind derzeit nicht verfügbar. Diese möglichen Defizite sollen in einem voll gekoppelten Modell näher betrachtet und als neue Parametrisierungen in bestehende Verfahren integriert werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die BAW kann mit diesem Teilprojekt ihre schon heute herausragende wissenschaftliche Kompetenz insbesondere im Hinblick auf die zunehmende Verzahnung von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit den vielfältigen (öffentlichen und privaten) Planungsvorhaben im Ästuar- und Küstenbereich weiter ausbauen und somit die Beratungsqualität für die WSV weiter steigern. So werden die an den Universitäten und Großforschungseinrichtungen erarbeiteten Methoden direkt für die angewandte Forschung in der BAW genutzt und fördern die kontinuierliche Weiterentwicklung der Methoden und Verfahren. Die von der BAW im Projekt erarbeiteten und dokumentierten Ergebnisse werden für die WSV im Hinblick auf die Aufgaben des Sedimentmanagements und Wasserstraßenunterhaltung aufbereitet und zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Somit bildet MOSSCO einen Baustein zur integrierten Betrachtung kohäsiver Sedimentdynamik und biogeochemischer Nährstoffzyklen. Dies ist bereits heute eine drängende Frage der WSV, deren Bedeutung in Zukunft noch weiter zunehmen wird.

1.3 Untersuchungsziel

Das Teilprojekt der BAW bearbeitet schwerpunktmäßig die Schnittstelle zwischen Wassersäule und Boden. Im Rahmen dieses Teilprojektes werden bestehende Modellsysteme für die Abbildung des Bodens (Sedimenttransport, Deposition und Erosion), sowie Modelle des Einflusses der bodennahen (benthischen) Flora und Fauna auf den Sedimenttransport für die Nutzung im integrierten Modellsystem vorbereitet und implementiert. Es ist notwendig dieses neu aufgebaute Modellsystem zunächst zu validieren, um es später für Fragestellungen der Wechselwirkung zwischen Biologie und Sediment nutzen zu kön-

nen. Das modulare Modellsystem soll dazu dienen die Wechselwirkung zwischen Biologie und Sediment näher zu untersuchen. Schwerpunkte bilden dabei zunächst 1D-Systemstudien zur biologisch beeinflussten Flokkulation kohäsiver Sedimente in der Wassersäule, sowie durch z.B. Algenauflage veränderte Erosionseigenschaften der Sedimente am Boden. Im nächsten Schritt soll die Erweiterung auf reale Systeme (3D) und die Bewertung der hinzugenommenen biologischen Prozesse für die Sedimentdynamik in Nord- und Ostsee erfolgen.

- Ziel 1: Aufbau und Validierung eines Geoökologiemoduls zur Nutzung im Rahmen des modularen Modellsystems
- Ziel 2: Beschreibung gekoppelter biologischer und sedimentologischer Prozesse für die Dynamik kohäsiver Sedimente im Flachwasserbereich und Ableitung möglicher Parametrisierungen (Publikation 1)
- Ziel 3: Quantifizierung des Einflusses benthischer Makrofauna und des Mikrophytobenthos für den Sedimenttransport (Publikation 2)

2 Untersuchungsmethoden

Der wesentliche Bestandteil des Projekts ist die Entwicklung und Anwendung numerischer Untersuchungsmethoden, dazu werden numerische Verfahren zur Simulation der Hydrodynamik, des Stofftransports und biogeochemischer Stoffkreisläufe eingesetzt. Im ersten Schritt wird eine geeignete Kopplungsstrategie der einzelnen Verfahren entwickelt. Für den Austausch zwischen Erdsystemkompartimenten (z.B., Benthos – Pelagial) wird das „Earth System Modeling Framework (ESMF)“ aus der Klimaforschung eingesetzt. Innerhalb eines Kompartiments erfolgt die Kopplung mittels des „Framework for Aquatic Biogeochemical Models (FABM)“.

Die Anwendbarkeit des Systems wird zunächst anhand von 1D Modellen gezeigt und für Systemstudien zur näheren Untersuchung der gegenseitigen Beeinflussung von Biologie und suspendiertem Sediment genutzt. Im Anschluss erfolgt die Erweiterung auf dreidimensionale Modelle. Mit einer bestehenden Modellkonfiguration für die Nord- und Ostsee werden zwei Referenzjahre berechnet, um die großräumigen Sedimenttransporte genauer zu untersuchen. Diese Untersuchungen werden durch die Analyse von bestehenden Messdaten im Sinne einer Modellvalidierung ergänzt.

3 Ergebnisse

WP-A: Im Rahmen einer Literaturrecherche wurde die in Nordsee und Ostsee dominanten Makrofaunagemeinschaften identifiziert und deren räumliche Aufteilung abgeschätzt. Anschließend wurden die Sedimentaustauschprozesse und -parameter, die durch die benthische Fauna beeinflusst werden, untersucht. Diese umfassen die kritische Bodenschubspannung, bodennahe Strömung, Rauheit, Erodierbarkeit, Flokkulation, Biodeposition und -erosion. Laut Davis (1998) kann die biologische Veränderung des Sediments zu einer 3 bis 6-fachen Erhöhung des Sedimentaustausches am Boden führen. Ebenfalls kann Mikrophytobenthos durch die Produktion von Biofilmen die kritische Schubspannung auf das 3- bis 10-fache erhöhen, also zu einer drastischen Verminderung der Erosionsrate beitragen.

Die bestehenden Modelle sind noch nicht in der Lage alle zuvor genannten Prozesse zu beschreiben. Insbesondere sind sie auf bestimmte Tierarten beschränkt, so werden in der Regel nur einzelne Organismen separat betrachtet und nur einzelne Prozesse parametrisiert. Aktuell werden deswegen „trait-basierte“ Ansätze verfolgt, die anstelle einzelner Arten typische Eigenschaften von ganzen Klassen abbilden (z.B. Neumann und Krönke, 2011). Die von der BAW durchgeführte Übersicht zum aktuellen Stand des Wissens wird durch eine Vergabe an das Institut für Angewandte Ökologie (IfAÖ) unterstützt, die eine Klassifizierung der Nordsee Makrobenthosarten im Hinblick auf deren Wirkung auf den Sedimenttransport durchführen.

WP-B: Basierend auf bestehenden Ansätzen wurde ein konzeptionelles Modell zur Beschreibung des Sedimentaustausches unter Einfluss von Mikrophytobenthos, Makrofauna und Makrophyten entwickelt. Zur Berechnung des abiotischen Sedimentaustausches zwischen benthischen und pelagischen Komponenten wurde auf das open-source Deltares Bodenmodell („bed module“) zurückgegriffen. Ergänzend wurden bestehende Ansätze zur Parametrisierung der biologischen Effekte von Mikrophytobenthos,

Makrofauna (zunächst nur *Macoma Balthica*) auf die kritische Schubspannung und Erodierbarkeit objektorientiert implementiert. Das Modell wurde so aufgestellt, dass es beliebig auf weitere benthische Organismen und dazugehörige Prozesse erweitert werden kann und deren Effekte linear überlagert werden. Das Modell wurde nach softwaretechnischer Modularisierung als ESMF-Komponente implementiert und an das von den Projektpartnern neu aufgebaute MOSSCO System gekoppelt. Ein 1D Setup wurde aufgestellt, um das gesamt gekoppelte Model im nächsten Schritt zu testen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2016.

WP	Aufgabe	Jahr
A	Aufbau eines konzeptionellen Modells der Grenzschicht Wasser-Boden auf Basis bestehender Ansätze aus der Literatur; Bewertung bestehender physikalischen und biologischen Ansätze im benthischen Bereich; Erweiterung der Prozessbeschreibungen für Mikrophytobenthos und Makrobenthos zur Simulation von Bio(de)stabilisierung und Filterwirkung	2013
B	Softwaretechnische Umsetzung des in (A) entwickelten Modells als separate Module: abiotische Geologie-/Sedimenttransportmodul, unter Verwendung des Deltares Bodenmodells, benthisches Ökologiemodul auf Basis bestehender Ansätze. Anpassung der Schnittstelle des Geomoduls an den MOSSCO Standard und Aufbau eines modularen Testfalls	2013
C	Zusammenstellung, Aufbereitung und Analyse verfügbarer Messdaten an Stationen (Zeitreihen) sowie Raumdaten (Makrofauna-Verteilung: NOAH Atlas; Oberflächen-SPM: Satellitendaten), zur Validierung sowie als (ESMF-)Daten-Komponente als Modell-Randwerte; Definition geeigneter Validierungsmethoden	2014
D	Modellvalidierung der Schwebstoffdynamik für den 1D Fall (Wassersäule); Sensitivitätsanalysen der Schwebstoffdynamik des komplett gekoppelten physikalischen biologischen Modells für den für unterschiedliche Randbedingungen (z.B. Tiefe) und Zeitskalen (Tiden – Jahre)	2014
E	Sensitivitätsanalyse im Hinblick auf die Wechselwirkung Schwebstoffdynamik und Biologie; Synthese der Ergebnisse und erste Publikation	2014
F	Anwendung im 3D Fall: Quantifizierung der Rolle von Makrofauna für den Sedimenttransport; Quantifizierung der Rolle von Mikrophytobenthos für den Sedimenttransport	2014 / 2015
G	Berechnung von Sedimentbudgets und Vergleich mit Ergebnissen anderer Projekte (AUFMOD, PACE, WIMO)	2015
H	Analyse potentieller biologischer Effekte bzgl. Mikrophytobenthos / Biostabilisierung	2015
I	Test des modularen Austausches Geoökologiemodul (an/aus); Sensitivitätsanalysen zur Abbildung der Geoökologie	2015
J	Szenariorechnung mit voll gekoppeltem Geoökologiemodul; Synthese der Ergebnisse und 2. Publikation	2015 / 2016

5 Literatur

- Davis, Wayne R. (1993): The role of bioturbation in sediment resuspension and its interaction with physical shearing. In: Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 171 (2), S. 187–200. DOI: 10.1016/0022-0981(93)90003-7.
- Jacobs, W., Le Hir, P., Kesteren, W. van, & Cann, P. (2011): Erosion threshold of sand-mud mixtures. Continental Shelf Research 31, pp. 14-25.
- Krumbein, W.E., Paterson, D.M. & Stal, L.J. (1995): Biostabilization of Sediments. BIS Oldenburg, 529pp.
- Neumann, H., Krönke, I. (2011) The effect of temperature variability on ecological functioning of epifauna in the German Bight, Marine Ecology 32 (Suppl. 1) 49–57.

6 Veröffentlichungen

-/-

Verbesserung von Methoden und Verfahren der BAW zur Entwicklung und belastbaren Beurteilung von Maßnahmen zur Reduzierung des Schwebstofftransportes in die Unterems

Netzplan-Nr.: A39550370211

Projektleiter: Dr. rer. nat. N. Winkel, Wasserbau im Küstenbereich, Ästuarsysteme II (K3)

Bearbeiterin: Dipl.-Ing. M. Naulin, Wasserbau im Küstenbereich, Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: norbert.winkel@baw.de, marie.naulin@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Das Emsästuar ist ein ausgeprägtes flutstromdominantes System. Dies führt durch den stromaufgerichteten Schwebstofftransport zu einer erheblichen Verschlickung der Unterems. Um Maßnahmen zur Reduzierung des Schwebstofftransportes in die Unterems zu untersuchen und belastbar zu beurteilen, sollen Methoden und Verfahren der BAW im Rahmen dieses FuE-Projekts weiterentwickelt und verbessert werden. Basierend auf den Ergebnissen des Aktionsprogramms Ems (BAW, 2010) sollen die dafür notwendigen Untersuchungen mit den hydrodynamisch morphologisch numerischen Modellen der BAW durchgeführt werden. Das Projekt umfasst folgende Forschungsschwerpunkte:

- Es sollen wasserbauliche Maßnahmen zur Reduzierung des stromaufwärtsgerichteten Schwebstofftransportes sowie der Verschlickung der Unterems entwickelt und objektiv eingeschätzt werden. Hierfür sind verschiedene Lösungsvarianten mit dem HN-Modell UnTRIM, welches mit dem numerischen Sedimenttransportmodell SediMorph gekoppelt wird, zu untersuchen und soweit möglich in ihrer Wirksamkeit zu optimieren.
- Die entwickelten wasserbaulichen Maßnahmen umfassen zudem hydraulische Querbauwerke deren Wirkung im Nahbereich durch das UnTRIM-Modell unter bestimmten Bedingungen nicht ausreichend physikalisch (und numerisch) genau berechnet werden kann. Hierfür sollen ggf. Modelle, die die lokale Wirkung von Bauwerken auf die Hydrodynamik adäquat berücksichtigen können, zur Absicherung der UnTRIM-Ergebnisse herangezogen werden.
- Die numerischen Modelle UnTRIM und SediMorph unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung und Optimierung. Neue oder überarbeitete Modellansätze, wie z.B. zur Modellierung der Turbulenz oder der Sinkgeschwindigkeit (konzentrations- und turbulenzabhängig), sowie weitere Modellverfahren, wie z.B. Delft3D, sollen überprüft werden. Auch die Wechselwirkung zwischen Wasserkörper, Flüssigschlick und (fester) Sohle ist ein entscheidender Prozess für die Hydro-, Schwebstoff-, und Morphodynamik der Unterems. Mit dem im KFKI-Forschungsvorhaben entwickelten Flüssigschlick-Modell MudSim (Wehr, 2012) sollen hierfür weitere Analysen sowie eine Integration der Software in die Programmumgebung der BAW erfolgen.
- Untersuchungen zu den Folgen eines Klimawandels wurden in den Forschungsprojekten KLIWAS (Seiffert et al., 2014) und KLIMZUG-Nord bei der BAW durchgeführt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass sich sowohl durch einen Meeresspiegelanstieg als auch durch veränderte Abflussverhältnisse die Unterhaltungssituation der Schifffahrtsstraßen in den Ästuaren weiter verschlechtern wird. Deswegen sollten Lösungsvarianten hinsichtlich dieser möglichen Veränderungen geprüft werden.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Bedeutung des Sedimentmanagements ist in den letzten Jahren in allen Ästuaren der Deutschen Bucht gewachsen. Aufgrund ihrer relativ hohen Schwebstofffracht stellt die Ems hierbei eine besondere Herausforderung dar und bietet somit ein repräsentatives Ästuarsystem zur Erforschung der Sedimentdynamik. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen in zukünftige Projekte einfließen und auch auf andere Ästuar übertragen werden, somit ergibt sich folgende Bedeutung für die WSV:

- Regelmäßig entstehen an der Ems hohe Kosten aufgrund von Baggerungen, die es zu reduzieren gilt. Die Wirkungsweise und der Wirkungsgrad verschiedener Lösungsvarianten sollen untersucht, eingeschätzt und beurteilt werden.
- Die Weiterentwicklung und Verbesserung der in diesem Vorhaben eingesetzten Methoden und Verfahren werden auch in anderen WSV-Projekten zukünftig nutzbar sein.
- Die Qualitätssicherung der Erkenntnisse aus Simulationsdaten ist grundlegend für gutachterliche Aussagen der BAW. Dafür ist es notwendig, Defizite/Unzulänglichkeiten der einzelnen Untersuchungsmethoden mit zusätzlichen Methoden (hier ein Bauwerks-Modell) auszugleichen.

- Das erhöhte Vorkommen von Fluid Mud und hochkonzentrierten Schlicksuspensionen in der Ems ist weiter zu untersuchen, um Fragestellungen zur Entwicklung und Optimierung von Unterhaltungsstrategien, zur Wechselwirkung und Beeinflussung der Gewässergüte sowie der nautischen Sohle beantworten zu können.
- Die Auswirkungen eines Klimawandels auf die Unterhaltungssituation in der Unterems sollen analysiert und möglichst reduziert werden.

1.3 Untersuchungsziel

Es ergeben sich folgende Untersuchungs- bzw. Forschungsschwerpunkte:

- Entwicklung und Optimierung wasserbaulicher Maßnahmen zur Reduzierung des stromauf gerichteten Schwebstofftransports sowie der Reduzierung der Verschlickung der Unterems (**WP1**).
- Zur Absicherung der Modellergebnisse im Nahbereich der entwickelten wasserbaulichen Maßnahmen (z. B. Querbauwerk) sollen die Gültigkeit der Modelle überprüft und ggf. Bauwerks-Modelle eingesetzt werden (**WP2**).
- Die Wechselwirkung zwischen den Schwebstoffen im Wasserkörper und der Bildung hochkonzentrierter Schlicksuspensionen bis hin zu Fluid Mud ist in der Unterems ein nicht zu vernachlässigender physikalischer Prozess. Neu integrierte Modellansätze, beispielsweise zur Modellierung der Turbulenz oder der Sinkgeschwindigkeit (konzentrations- und turbulenzabhängig), um die Sediment- und Schwebstoffdynamik naturnäher zu prognostizieren, sollen angewandt werden. Langfristig wird die Entwicklung und Integration des Flüssigschlick-Modells MudSim in die vorhandene Simulationssoftware angestrebt (**WP3**).
- Prüfung der Wirkung der im Rahmen des FuE-Projekts entwickelten wasserbaulichen Maßnahmen sowohl bei Extremereignissen (Sturmflut, Oberwasserzufluss) als auch bei möglichen Folgen eines Klimawandels (z. B. Meeresspiegelanstieg) (**WP4**).

2 Untersuchungsmethoden

Die Untersuchungen werden mit hydrodynamisch morphologisch numerischen Modellen (UnTRIM mit SediMorph und Delft3D) sowie teilweise mit dem Flüssigschlick-Modell (MudSim) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Arbeitspakt WP1: Wasserbauliche Maßnahmen

Es wurde eine Übersicht möglicher wasserbaulicher Maßnahmen zur Schwebstofffrachtreduzierung erstellt. Zu diesen Maßnahmen zählen u. a. eine Verlängerung des Emsästuars (Bild 1), eine Sohlschwelle sowie Tidepolder. Hierbei wurde auch der Einfluss eines Anschlusses von Tidepoldern mit einer Wehrsteuerung zur Generierung eines Spülstoßes untersucht. Für die möglichen Lösungsvarianten erfolgte eine Simulation (UnTRIM und SediMorph) und Analyse. Die Dokumentation der Wirkung zur Reduzierung des Schwebstofftransports in die Unterems ist in Bearbeitung. Weiterhin wurde die technische Machbarkeit einer Simulation von beweglichen Elementen einer Sohlschwelle, d.h. eine Wehrlegung, mit dem Simulationstool DredgeSim erfolgreich geprüft.

Arbeitspakt WP2: Modellierungen des Nahbereichs von Wasserquerbauwerken

Die Eignung bzw. Nicht-Eignung des BAW-Modells zur Prognose der Hydrodynamik im Nahbereich von Querbauwerken wie der Sohlschwelle wurde untersucht. Die Abschätzung und Bewertung der Aussagefähigkeit der Simulationsergebnisse ist in Bearbeitung.

Arbeitspakt WP3: Systemstudien, Modellentwicklung und -optimierung

Ein Modellaufbau und eine erste Kalibrierung eines Modells des Emsästuars wurden mit Delft3D durchgeführt.

Für die Erstellung eines Flüssigschlick-Modells der Unterems erfolgten ein Modellaufbau und eine erste Kalibrierung mit MudSim. Weiterhin wurde mit der Integration von MudSim in die vorhandene Simulationssoftware der BAW begonnen und die Ausgabe der Simulationsergebnisse im NetCDF CF Format ermöglicht.

Arbeitspakt WP4: Extremereignisse und Klimawandel

Es erfolgte eine Untersuchung möglicher Szenarien eines Klimawandels (Meeresspiegelanstieg und niedrige Abflussverhältnisse).

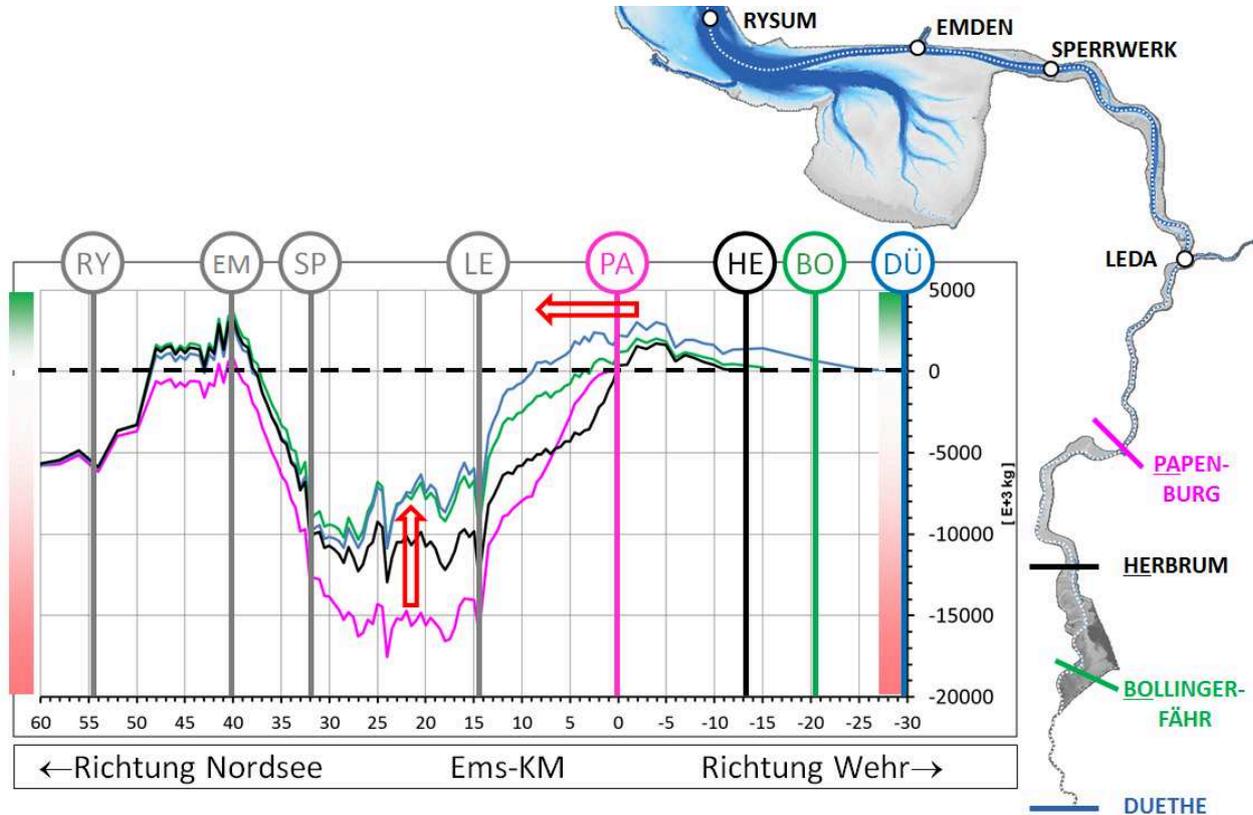


Bild 1: Netto-Schwebstofftransport für verschiedene Varianten der Verlängerung des Emsästuars. Die Ästuarverlängerung reduziert den Netto-Stromauf-Transport und erweitert den Bereich der Ebбетransport-Dominanz (Jürges, 2013).

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2014.

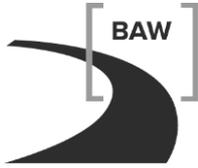
2013 bis 12/2014: **WP1, WP2, WP3, WP 4**

5 Literatur

BAW (2010): Aktionsprogramm des Bundes zur Reduzierung seines Unterhaltungsaufwandes und der Minimierung der Verschlickung der Unterems – Gutachten zur vertieften Wirkungsanalyse. Gutachten, BAW-Nr. A3955 03 10143, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg. Unveröffentlicht.

Wehr, D. (2012): An Isopycnal Numerical Model for the Simulation of Fluid Mud Dynamics; Dissertation; Mitteilungen Institut für Wasserwesen, Heft 115, Universität der Bundeswehr München, 228 S.

Seiffert, R., Hesser, F., Büscher, A., Fricke, B., Holzwarth, I., Rudolph, E., Sehili, A., Seiß, G., Winkel, N. (2014): Auswirkungen des Klimawandels auf die deutsche Küste und die Ästuar. Mögliche Betroffenheiten der Seeschiffahrtsstraßen und Anpassungsoptionen hinsichtlich der veränderten Hydrodynamik und des Salz- und Schwebstofftransports - Schlussbericht KLIWAS-Projekt 2.04/3.02



6 Veröffentlichungen

- Jürges, J. (2013): Grundsatzuntersuchung zur Verlängerung des Emsästuars, Tagungsband BAW-Kolloquium, Projekte und Entwicklungen für aktuelle Fragestellungen im Küstenwasserbau, 19.09.2013, Hamburg
- Weilbeer, H.; Jürges, J., Wehr, D. (2013): Hydrodynamic and Sediment Transport Characteristics in the Ems-Dollart Estuary – An Insight into the Daily Work of BAW, Ems-Schelde-Workshop, 14.-15.02.2013, Delmenhorst

Resilience-Increasing Strategies for Coasts - toolKIT (RISC-KIT)

Netzplan-Nr.: A39550370213

Projektleiter: Dr. rer. nat. G. Seiß, Wasserbau im Küstenbereich, Referat Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: guntram.seiss@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Aktuelle und historische extreme Hochwasserereignisse mit niedriger Häufigkeit haben die Risiken aufgezeigt, denen exponierte Küstenregionen in Europa ausgesetzt sind. Risiko kann als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses und seiner Konsequenzen verstanden werden. Beide Faktoren werden in der Zukunft nach heutigem Wissenstand zunehmen, berücksichtigt man die Auswirkungen des Klimawandels.

Die Konsequenzen eines Flutereignisses setzen sich aus der Exponiertheit und der Dichte der Besiedelung und Bebauung zusammen. Letztere wächst mit der wirtschaftlichen Entwicklung einer Region. Die Empfindlichkeit einer Region steigt zudem, wenn beispielsweise unangemessene Bauweisen verwendet werden. Durch indirekte Zusammenhänge wirken sich Flutschäden auch auf das Hinterland und dessen Ökonomie aus.

Der Anstieg des Risikos entlang der Küsten erfordert eine Neubewertung der Katastrophenvorsorge und Risikomanagementstrategien (disaster risk reduction, DRR) und eine neue Mischung aus Prävention (z.B. Deichschutz), Minderung (z.B. Begrenzung der Besiedelung hochwassergefährdeter Gebiete) und Vorsorgemaßnahmen (z.B. Frühwarnsysteme (EWS)). Bereitstehende Gelder aus Hochwasserversicherungen können zu einer schnelleren Erholung der betroffenen Regionen führen.

Auch sinkende öffentliche Budgets und eine wachsende Wertschätzung des ökologischen Wertes der Küstenregion machen eine Neubewertung von Ansätzen zur Risikoreduktion erforderlich. Hochwasserschutzmaßnahmen und DRR-Strategien müssen sich im Einklang mit Umweltbelangen, wirtschaftlichen Nutzungen und Tourismus bewegen.

RISC-KIT ist ein EU-Forschungsprojekt unter FP7 (Grant Agreement Number 603458). In RISC-KIT soll DRR als integrierte Kette von Aktionen betrachtet werden. Diese Kette beinhaltet das Verständnis der gegenwärtigen und historischen Situation im Kontext mit einer Region, die Beurteilung des Küstenrisikos für gegenwärtige und zukünftige Gefährdungswahrscheinlichkeiten, Identifizierung kritischer (Hot-Spot-) Bereiche höheren Risikos, der Gestaltung von DRR-Plänen einschließlich geeigneter Prävention, Eindämmung von Risiken und Vorsorgemaßnahmen (wie EWS), um die Risiken zu reduzieren und den Aufbau von Vertrauen und gesellschaftlicher Akzeptanz für solche Maßnahmen. Auf diese Weise kann eine wirksame Katastrophenvorsorge mit einer starken gesellschaftlichen Basis erreicht werden und wird Teil der Kultur. Die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen, um Risiken zu verringern und die Widerstandsfähigkeit der Küstenregionen zu erhöhen, erfordert einen interdisziplinären Ansatz. Durch das Zusammenwirken der 18 Projektpartner- aus unterschiedlichen Küstenregionen entsteht ein Wissensaustausch über das Thema. Folgende Institutionen sind neben der Bundesanstalt für Wasserbau in das Consortium als Partner eingebunden:

- [Stichting Deltares](#), Delft, Niederlande
- Ecologic Institute, Berlin, Germany
- Consorzio Ferrara Ricerche, Ferrara, Italien
- University of Algarve, Faro, Portugal
- International Marine and Dredging Consultants, Antwerpen Belgium
- Institute of Oceanology, Varna, Bulgarien
- Littoral ENvironnement et Sociétés UMR 7266, La Rochelle, Frankreich
- Delft University of Technology, Delft, Niederlande
- World Meteorological Organisation, Genf, International
- Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spanien

- CIMA Research Foundation, Savona, Italien
- EurOcean Foundation, Lissabon, Portugal
- Stockholm Environment Institute, Stockholm, Schweden
- Middlesex University, Flood Hazard Research Center, London, Vereinigtes Königreich
- University of Caen, Caen, Frankreich
- University of Cambridge, Cambridge Coastal Research Unit, Cambridge, Vereinigtes Königreich
- UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, International.

1.2 Bedeutung für die WSV

Die Wasser- und Schifffahrtsämter sind über das Meldewesen in den Katastrophenschutz bei Hochwasserereignissen eingebunden. Die im Projekt erarbeiteten Werkzeuge können den Ämtern helfen, frühzeitig gezielte Warnungen an betroffene Gemeinden weiter zu leiten.

Ereignisse wie das Sturmhochwasser 1989 (NEEMANN 1994) in der westlichen Ostsee können erhebliche Schäden bei der Sportschifffahrt verursachen. Gesunkene Fahrzeuge können Zufahrten zu Hafenanlagen blockieren, Treibgut kann zu Behinderungen im Schiffsverkehr führen. Eine Minimierung der Risiken durch solche Ereignisse hilft somit auch, die Sicherheit der Wasserstraßen zu verbessern.

1.3 Untersuchungsziel

Die Bundesanstalt für Wasserbau hat im Rahmen des Projektes die Betreuung der Fallstudienregion Kieler Förde übernommen. Im Arbeitspaket 1 wird ein Review der Gefährdung der Küstenregion in der Fallstudienregion anhand historischer Ereignisse erarbeitet. Dabei werden vorhandene Maßnahmen zur Minimierung der Risiken beschrieben und vorhandene Verwundbarkeiten ermittelt. Im Arbeitspaket 2 werden Daten zur Entwicklung eines Werkzeugs zur Risikoanalyse aufbereitet. Hierzu werden aus der Fallstudienregion für ihre Verletzlichkeit gegenüber Hochwasser bekannte Objekte ermittelt und tiefenabhängige Risikokurven aufgestellt. Das Arbeitspaket 3 beschäftigt sich mit der Entwicklung eines modellgestützten Frühwarnsystems für Überflutungsereignisse. Hierfür wird ein Modell zur Ermittlung von Wasserständen und Wellenparametern für die Fallstudienregion aufgebaut. In Arbeitspaket 4 werden auf Grundlage der in Arbeitspaket 1 erarbeiteten Bestandsaufnahme Strategien entwickelt, mit bestimmten Gefährdungsmustern umzugehen. Arbeitspaket 5 beschäftigt sich mit dem Test des in Arbeitspaket 3 entwickelten Frühwarnsystems und der Überführung in einen operationellen Betrieb in der Fallstudienregion.

2 Untersuchungsmethoden

Für das Arbeitspaket 1 werden die physikalischen Daten aus den verfügbaren Quellen wie Datenbanken, Literatur und geographischen Informationssystemen zusammengetragen und für die Weiternutzung im Projekt sinnvoll aufbereitet.

Für die Risikobewertung werden Risikokurven für die Nutzung typischer Marinas an der Kieler Förde sowie der Strände und Campingplätze erarbeitet.

Für die Nutzung des von Deltares für den Küstenbereich zu erweiternde Frühwarnsystems FEWS (WERNER et al. 2013) wird ein hydronumerisches Modell auf der Basis des Verfahrens DELFT3D aufgebaut. Das System FEWS wird hierzu auf einem PC der BAW installiert werden, auf dem bereits das Verfahren DELFT3D installiert ist. Mehrere historische Ereignisse werden zum Testen und Anpassen des Systems gerechnet.

3 Ergebnisse

Das Projekt startete im November 2013, daher sind im Berichtszeitraum bisher nur Grundlagen im Rahmen des ersten Arbeitspaketes erarbeitet worden.

So wurde begonnen, eine Literatursammlung für das Projekt aufzubauen und verfügbare Datenbestände zu sichten und die im Rahmen des Arbeitspaketes zu führenden Interviews mit Personen aus der Region Kiel vorzubereiten.

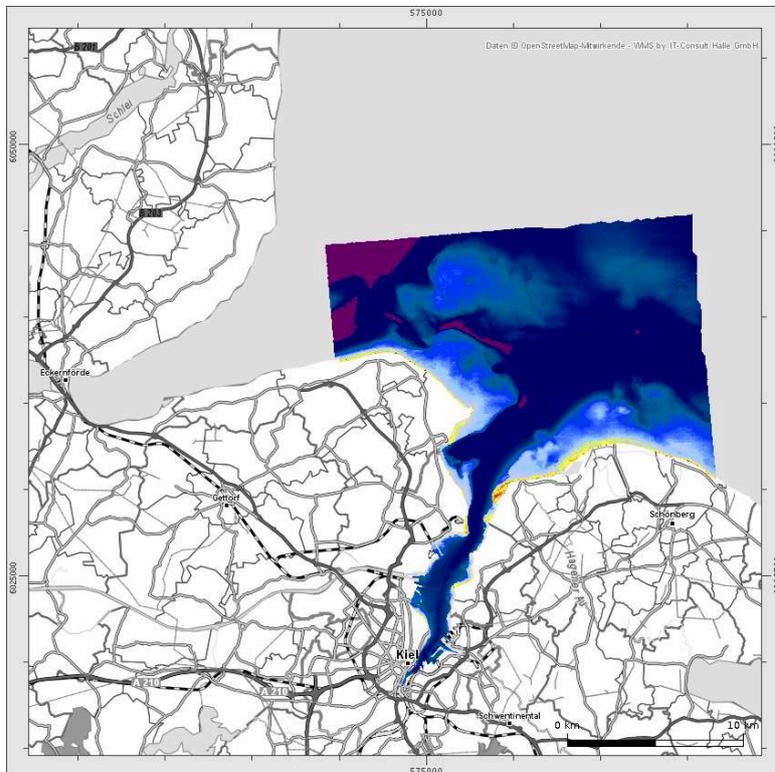


Bild 1: Karte der Fallstudienregion Kieler Förde mit digitaler Bathymetrie. Quelle des Kartenhintergrundes: © OpenStreetMap, Mitwirkende WMS IT Consult Halle GmbH

Vom 20. Bis 22.11.2013 fand das „RISC-KIT Startup Meeting“ in Delft statt. Hier wurden die Projektabschnitte organisatorisch besprochen und ein grober Arbeitsrahmen erstellt.

Bis Ende des Jahres konnte eine digitale Bathymetrie der Kieler Förde in einem 5-mal-5-Meter-Raster aus den in der BAW vorliegenden Peildaten abgeleitet werden (

Bild 1: Karte der Fallstudienregion Kieler Förde mit digitaler Bathymetrie. Quelle des Kartenhintergrundes: © OpenStreetMap, Mitwirkende WMS IT Consult Halle GmbH

(SEIB 2013). Dieses bildet die Grundlage für das hydronumerische Modell, welches über das Frühwarnsystem FEWS betrieben werden soll. Nach reiflicher Überlegung wurde entschieden, dieses Modell mit Hilfe des Modellsystems DELFT3D aufzubauen.

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2017.

2013: Im Bearbeitungsjahr 2013 fand das Startup-Meeting zum Projekt statt. Es wurden die Inhalte der Arbeitspakete präzisiert. Die Interviews für Arbeitspaket 1 wurden vorbereitet, vorhandene Datenbestände und Literatur ermittelt und sortiert sowie eine digitale Bathymetrie der Kieler Förde aus Peilungen abgeleitet.

2014: Im Bearbeitungsjahr 2014 wird das Arbeitspaket 1 (historischer Rückblick und Datenerhebung) mit einem internen Bericht abgeschlossen. Von Ecologic, Berlin wird ein zusammenfassender Bericht

(„synthesis report“) über diesen Abschnitt erstellt, der eine Zusammenfassung aller Fallstudienorte beinhaltet.

Weiter wird ein hydronumerisches Modell auf der Basis des Modellverfahrens DELFT3D aufgebaut und das System FEWS installiert. Für das Risikoanalysetool CRAF werden vom Wasserstand abhängige Risikokurven für die Objekte Campingplatz, Marina und Badestrand erarbeitet.

Es werden zwei Tagungen zum Fortschritt des Projektes in Cambridge im May und in Bologna im Oktober stattfinden.

5 Literatur

- NEEMANN, V.: Beschreibung des Sommerhochwassers an der westlichen Ostseeküste von Schleswig-Holstein am 28.08.1989 mit Vergleich anderer Hochwasser. In: Gewässerkundliches Jahrbuch 1989. 2-14. 1994.
- SEIß, G.2013 : Digital bathymetry model of Kiel Fjord 1982-2008. ESRI-ASCII grid, resolution 5 by 5 m.
- WERNER, M.; SCHELLEKENS, J.; GIJSBERS, P.; VAN DIJK, M.; VAN DEN AKKER, O. und HEYNERT, K.: The Delft-FEWS flow forecasting system. In: Environmental Modelling & Software, Jg. 40, 65-77. doi: 10.1016/j.envsoft.2012.07.010, 2013.

6 Veröffentlichungen

-/-

Schaffung von tidebeeinflussten Marschen an der Tideelbe zur Verbesserung des physikalisch-biologischen Systems

Netzplan-Nr.: A39550370214

Projektleiter: Dr. N. Winkel, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme II (K3)

Bearbeiterin: Dr.-Ing. A. Büscher, Abteilung Wasserbau im Küstenbereich,
Referat Ästuarsysteme II (K3)

E-Mail: norbert.winkel@baw.de, annette.buescher@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

In diesem Projekt wird der Einfluss von neugeschaffenen tidebeeinflussten Marschen auf die hydrodynamischen Bedingungen in der Tideelbe sowie auf den Sedimenthaushalt untersucht. Dafür wird eine Landfläche, die gegenwärtig noch eingedeicht ist und deutlich unter NHN liegt, als Sedimentationsfläche genutzt. Diese könnten einen entscheidenden Beitrag leisten, die Auswirkungen bisheriger Ausbaumaßnahmen und eines möglichen zukünftigen Klimawandels ausgleichen zu können. Im Projekt soll geprüft werden, ob die Fläche so angeschlossen werden kann, dass die Tidedynamik und der Sedimenthaushalt positiv beeinflusst werden können. Zusätzliche Fragen ergeben sich im Zusammenhang mit der Wechselwirkung Physik – Biologie (z.B. Einfluss der Vegetation auf die Sedimentation), der Entwicklung der Brackwasser- und Trübungszone sowie der Schadstoffbelastung. Außerdem wird untersucht, ob diese Fläche auch als Vorfluter dienen könnte, um den NOK und den Binnenfluss Stör bei Extremereignissen bezogen auf die Entwässerung zu entlasten. Eine weitere wichtige Fragestellung besteht darin, ob und in welchem Maße die angeschlossene Fläche zu einer verbesserten Wechselwirkung zwischen dem Oberflächengewässer und dem Grundwasser führen kann (Beurteilung durch K1).

Für die Tideelbe ist bislang noch keine derartige Maßnahme untersucht worden. Den aktuellen Stand der Forschung geben die Untersuchungen wieder, die im Rahmen des Projektes zum Tideelbekonzept (BAW 2012, HPA 2013) durchgeführt werden. Hier werden jedoch speziell Retentionsräume und Sedimentationsflächen im Bereich der Trübungszone untersucht.

1.2 Bedeutung für die WSV

Baggerungen zur Gewährleistung der planfestgestellten Tiefe des Fahrwassers dienen der Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt. Seit dem Jahr 2000 sind die im Zuge dieser Wassertiefenunterhaltung umzulagernden Baggermengen stromauf von Stade und insbesondere im Hamburger Raum stark angestiegen. Die Zunahme der Feinmaterialmengen, die Schadstoffbelastung der Sedimente und die sommerlichen Sauerstoffdefizite prägen die bestehenden ökologischen Defizite in der Tideelbe. Die Zunahme der zu baggernden Feinmaterialmengen ist zum einen durch verstärkten Eintrag und Stromauftransport von marinem Feinmaterial sowie eine verstärkte Mobilität von Sedimenten (höhere Strömungsgeschwindigkeiten) und zum anderen durch eine Zunahme von Baggerkreisläufen bedingt. Die Menge des umgelagerten Feinmaterials, der Bereich der Unterbringung und der Oberwasserzufluss stellen die maßgeblichen Randbedingungen dar, welche die Intensität von Baggerkreisläufen und die Baggermentwicklung bestimmen (BfG 2013 in Verbindung mit BAW 2012). Für die WSV könnte die Schaffung von tidebeeinflussten Marschen eine Reduzierung der Unterhaltungsaufwendungen und eine Verbesserung des ökologischen Zustands der Tideelbe bedeuten.

1.3 Untersuchungsziel

Ziel ist das Potenzial und die Realisierbarkeit derartiger Maßnahmen an der Tideelbe zu ermitteln (Vorforschung).

2 Untersuchungsmethoden

Für das Projekt wird das aktuelle Modell der Tideelbe (Jahrestopographie 2010) der BAW Dienststelle Hamburg herangezogen. Die potenzielle Fläche wird an das Elbmodell angeschlossen, die Geländehö-

hen aus einem digitalen Geländemodell auf die Fläche projiziert und die notwendige Sedimentvorbelegung festgelegt. Es erfolgen Testrechnungen zur Optimierung der Anfangs- und Randwerte und des numerischen Gitters. Anschließend wird das Elbmodell mit und ohne Anschlussfläche betrieben und die Tide- und Schwebstoffdynamik numerisch berechnet. Es erfolgen eine Datenanalyse nach der DIN 4049 sowie der Vergleich der beiden Modellläufe. Aus dem Vergleich wird die Wirksamkeit der Anschlussfläche ermittelt und das Ergebnis bewertet. So können Vor- und Nachteile sowie das Potenzial aufgezeigt werden.

3 Ergebnisse

Zu Beginn des Projektes wurde in enger Absprache mit dem Fremdleistungsnehmer Universität Hamburg die Lage der potenziellen Fläche festgelegt, s. Bild 1. Es handelt sich um einen Bereich der Wilster Marsch zwischen dem Nord-Ostseekanal und dem Binnenfluss Stör mit einer Fläche von ca. 100 km². Diese Fläche liegt großräumig unter NHN. Das numerische Gitter wurde für diesen Bereich erstellt und bis zur Verfügbarkeit des digitalen Geländemodells 2010 als erste Näherung auf eine Geländehöhe von NHN -2 m gesetzt. Das Gitter wurde an das vorhandene Elbmodell mit der Jahrestopographie 2010 angeschlossen und eine numerische Testrechnung durchgeführt.

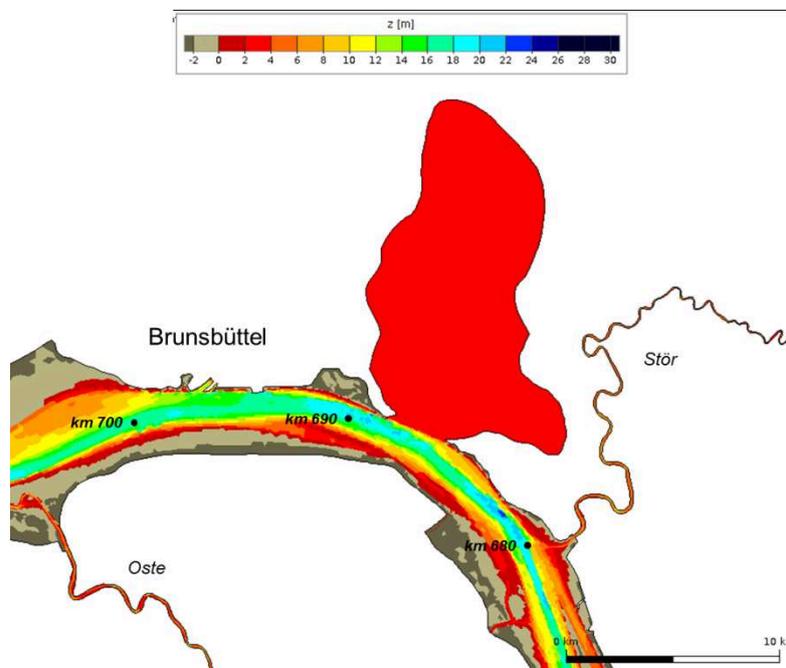


Bild 1: Lage des angeschlossenen Sedimentationsraums (vorläufige Topographie) im numerischen Elbmodell (Jahrestopographie 2010)

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2014.

In der Zeit vom 1. Oktober 2013 bis 31. Dezember 2014 Jahr sollen folgende Arbeiten durchgeführt werden:

- 2013:
 1. Festlegung einer potenziellen Sedimentationsfläche auf der schleswig-holsteinischen Elbseite und Datenbeschaffung
 2. Einbau einer potenziellen Sedimentationsfläche in das vorhandene Modell der Tideelbe.
- 2014:
 1. Erste Abschätzung, welchen Einflusses die Sedimentationsfläche auf die Tidedynamik und Sedimentationshaushalt hat.
 2. Einschätzung des Sedimentationsverhaltens des Modells in Vegetationsgebieten.

3. Auf der Grundlage von Modellergebnissen, soll eine erste Einschätzung über den Einfluss der tidebeeinflussten Marsch auf die Grundwasserverhältnisse abgegeben werden in Zusammenarbeit mit dem Referat Geotechnik Nord (K1).
4. Es wird phänomenologisch erarbeitet, ob die Fläche als Vorfluter genutzt werden kann.

5 Literatur

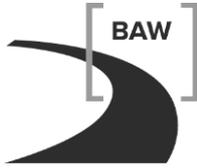
BAW (2012): Untersuchung des Strombaus und des Sedimentmanagements im Rahmen des "Tideelbe-konzeptes". Bericht zur Wirkung der Maßnahmen im Bereich Spadenland. BAW-Nr. A3955 03 10172-4, Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg, Wedeler Landstraße 157, 22559 Hamburg. Unveröffentlicht.

BfG (2013): Sedimentmanagement Tideelbe - Strategien und Potenziale - Systemstudie II. Ökologische Auswirkungen der Unterbringung von Feinmaterial. Band 1, Endbericht. Im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Hamburg. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, BfG-1763.

HPA (2013): Towards Integrated Estuarine Management. Tidal River Development. Manfred Meine, Hamburg Port Authority, Neuer Wandrahm 4, 20457 Hamburg. März 2013

6 Veröffentlichungen

-/-



RichWPS - Effizientere Nutzung von Geodaten mit Web Processing Service

Netzplan-Nr.: A395550670201

Projektleiter: Dr.-Ing. Rainer Lehfeldt, Dienststelle Hamburg, Geschäftsstelle KFKI

E-Mail: rainer.lehfeldt@baw.de

1 Problemdarstellung und Ziel

Web Processing Services (WPS) [Schut, P., 2007] stellen ein wesentliches Konzept web-basierter Geodaten-Infrastrukturen dar. Im Rahmen des Projekts RichWPS werden sie für Pilotanwendungen der BAW mit datenaufwändigen Simulationskomponenten praxistauglich konkretisiert und erweitert. Die Ergebnisse werden in die deutsche Marine Dateninfrastruktur MDI-DE integriert.

1.1 Ingenieurwissenschaftliche Fragestellung und Stand des Wissens

Geodaten bzw. Daten mit Orts- und Raumbezug sind heute bereits für vielerlei Zwecke wichtig (öffentliche Verwaltung, Wissenschaft, Geomarketing, Verkehrsplanung, -steuerung und -logistik, Energieerzeugung und -versorgung, Tourismus u.v.m.) und bieten Ansatzpunkte zur Erzeugung von Mehrwerten, auch und gerade aus Daten der öffentlichen Verwaltung [Fornfeld, M. et al., 2010]. Sowohl verfügbare Datenmengen als auch innovative Ideen zu deren Nutzung erfahren zurzeit einen Boom, befeuert durch verschiedenste Trends wie bspw. die explosionsartig wachsende Nutzung mobiler Endgeräte mit GPS und Internetzugang für die mobile Datenerzeugung und die ortsbezogene Datennutzung, die Veröffentlichungspflichten und Open Data Initiativen der öffentlichen Verwaltung (z.B. INSPIRE-Direktive der EU) oder die internationalen Großinitiativen zur Erdbeobachtung (GMES) u.ä..

Eine unabdingbare Voraussetzung für die breite Nutzung von Geodaten und für interoperable Geodateninfrastrukturen (GDIn) ist die Verwendung offener Standards für Daten- und Metadatenmodelle, für Kommunikationsarchitekturen und -protokolle [Tsu, M.-H. und Buttenfield, B. P., 2002]. Eine weltweit in ihrer Bedeutung kaum zu überschätzende Rolle spielen dabei die Standards des Open Geospatial Consortium (OGC), die praktisch konkurrenzlos die verschiedensten Aspekte der Nutzung und des Austausches von Geodaten reglementieren und in Industrie und Wissenschaft gleichermaßen Verwendung finden. Das OGC hat sich seit seiner Gründung 1994 zur maßgeblichen internationalen Organisation für Standards im Geodatenbereich entwickelt. Zusammen mit den Normen der ISO schaffen die OGC-Standards die Voraussetzung für moderne und zukunftssichere Geodateninfrastrukturen. Mit der europäischen Geodateninitiative INSPIRE werden sie zudem Grundlage für den überregionalen und internationalen Austausch von Geodaten in der öffentlichen Verwaltung.

Dabei sind die einfacheren OGC-Standards zur Informationsbereitstellung im Web (Web Feature Service WFS für Geodatenzugriff und Web Map Service WMS für den Landkartenzugriff) bereits stabil und in der praktischen Nutzung weit verbreitet. Noch nicht dasselbe Maß an Verbreitung und selbstverständlicher Nutzung hat dagegen der Web Processing Service WPS zum Anbieten und Nutzen komplexer räumlicher Verarbeitungen und Analysen im Internet erreicht [Schäffer, B., 2008; Foerster, T. et al., 2012].

Der WPS Standard beschreibt wie räumliche Verarbeitungsprozesse über eine Web-Schnittstelle angesprochen werden können. Solche Verarbeitungsprozesse umfassen jegliche Algorithmen, Berechnungen oder Modelle, die räumlich referenzierte Vektor- oder Rasterdaten verarbeiten. Ein WPS kann einfache Berechnungen anbieten, wie die Subtraktion einer räumlich referenzierten Zahl von einer anderen (z.B. die Ermittlung der Differenz der Anzahl der Grippeerkrankungen zwischen zwei Jahren an einem bestimmten Ort) oder komplexe Vorgänge wie ein globales Modell der Klimaveränderung. Bei umfangreichen Vorgängen können mehrere Prozesse verknüpft werden, wofür die interoperable Struktur der OGC Dienste genutzt werden kann [Peltz, C., 2003].

1.2 Bedeutung für die WSV

Die BAW sammelt Erfahrungen und Kenntnisse, die helfen sollen, die eigenen Geodateninfrastrukturen effizienter und effektiver zu gestalten sowie Planungen für zukunftsfähige Weiterentwicklungen zu erstellen. Dabei sollen auch die neuen Werkzeuge zum Einsatz kommen. Pilotimplementierungen zu den Geodatenverarbeitungsprozessen im Kontext der deutschen Meeresdateninfrastruktur MDI-DE sollen

überführt werden. Außerdem wird die BAW eine Rolle bei der Ergebnisverbreitung und Projektvernetzung für wasserwirtschaftliche Planungen und Analysen sowie bei Meeresdateninfrastrukturen übernehmen.

Die Vorteile von WPS bei der Geodatenverarbeitung entsprechen denen, die man sich allgemein von der Dienstorientierung im Internet verspricht:

- Reduzierung der Komplexität bei der Datenverarbeitung durch Bereitstellung von plug&play-Algorithmen;
- Verkettung von Verarbeitungsschritten zu komplexen Prozessen;
- einmalige Bereitstellung von Verarbeitungsfunktionalität, die überall einfach genutzt werden kann;
- vereinfachte Pflege, weil Prozesse und Modelle zentral von denjenigen gewartet werden, die sie erzeugt haben;
- erweiterte Möglichkeiten zur Nutzung der Rechenleistung zentraler Hochleistungsrechner, von Grid- und Cloud-Architekturen u.ä.;

1.3 Untersuchungsziel

Ziel des Projekts RichWPS ist es, die Standards des Open Geospatial Consortium für WPS praxistauglicher zu konkretisieren, zu erweitern und softwaretechnisch besser zu unterstützen. Dazu werden eine benutzerfreundliche Modellierungsumgebung entworfen und prototypisch umgesetzt, innovative WPS-Server und –Clients realisiert, Best-Practice Implementierungen anhand konkreter Geodaten-Verarbeitungsprozesse aus der öffentlichen Verwaltung geschaffen und daran die technischen Projektansätze validiert. Da die WPS-Konzepte ihrer praktischen Umsetzung und Verbreitung weit voraus sind, ist es das Ziel des Vorhabens, die zeitgemäße Weiterentwicklung und breitere Nutzung von WPS zu unterstützen.

2 Untersuchungsmethoden

Im Forschungsverbund wird eine Architektur entworfen und exemplarisch implementiert, die die wesentlichen Systembausteine eines RichWPS-Dienste-Systems identifiziert und initiale Beschreibungen der Schnittstellen zwischen den Komponenten realisiert. Dazu erhebt die BAW die Anforderungen für WPS-Nutzungsszenarien und –werkzeuge, setzt Beispielprozesse prototypisch um und validiert und bewertet aus Benutzersicht die technischen Konzepte und Prototypen. Die BAW vertritt in diesem Projekt die Perspektive einer großen und verteilten, stark vernetzten Bundesoberbehörde. Technisch werden insbesondere Prozesse mit rechen- und datenaufwändigen numerischen Simulationskomponenten betrachtet. Dazu werden Realdaten für Test- und Untersuchungszwecke als OGC-Dienste aufbereitet und auf Basis der MDI-DE bereitgestellt. Das notwendige Metadatenkonzept für Modelldaten wird weiterentwickelt und Testbedingungen definiert. Die Projektergebnisse werden prototypisch in die MDI-DE integriert.

Die disy Informationssysteme GmbH arbeitet als Konsortialführer und etabliertes Softwareunternehmen in der Verarbeitung von Geodaten mit der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Informatik der Hochschule Osnabrück (HS-OS) zusammen, welche die anwendungsorientierte Forschung zum Software-Engineering beisteuert. Die beiden Pilotanwender aus der öffentlichen Verwaltung, die BAW und der schleswig-holsteinische Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz (LKN) stellen sicher, dass die Technik- und Methodenentwicklungen von disy und HS-OS an den Bedürfnissen und Möglichkeiten von Praktikern orientiert sind.

3 Ergebnisse

Konkrete Projektergebnisse sollen praxistaugliche Vorschläge und eine neuartige benutzerfreundliche Modellierungsumgebung für WPS-Prozesse mit innovativer Server- und Client-Software umfassen. Dazu wird in der BAW zunächst das in Abbildung 1 dargestellte Nutzungsszenario einer dienstebasierten Datenanalyse und -visualisierung von Modellergebnissen auf die dabei notwendigen Komponenten und deren weitgehend automatisiertes Zusammenspiel untersucht. Um ein Höchstmaß an Kompatibilität zu etablierten Informationsinfrastrukturen zu gewährleisten, kommen aktuellen Standards und Methoden für den Datentransfer (NetCDF) und die Weiterverarbeitung von Daten im Kontext von Webdiensten zum Einsatz. Mit dem OGC Observations and Measurements (O&M) Schema zur Beschreibung von Daten, die in diesem Fall aus Modellanwendungen stammen, und dem zugehörigen Sensor Observation Service (SOS) zur Bereitstellung dieser Daten, können die Workflows technisch standardisiert werden. Im An-

wendungsfall von Zeitreihen lassen sich so z.B. Messdaten und Modelldaten interoperabel darstellen und in dienstebasierte Informationssysteme wie die MDI-DE einbinden.

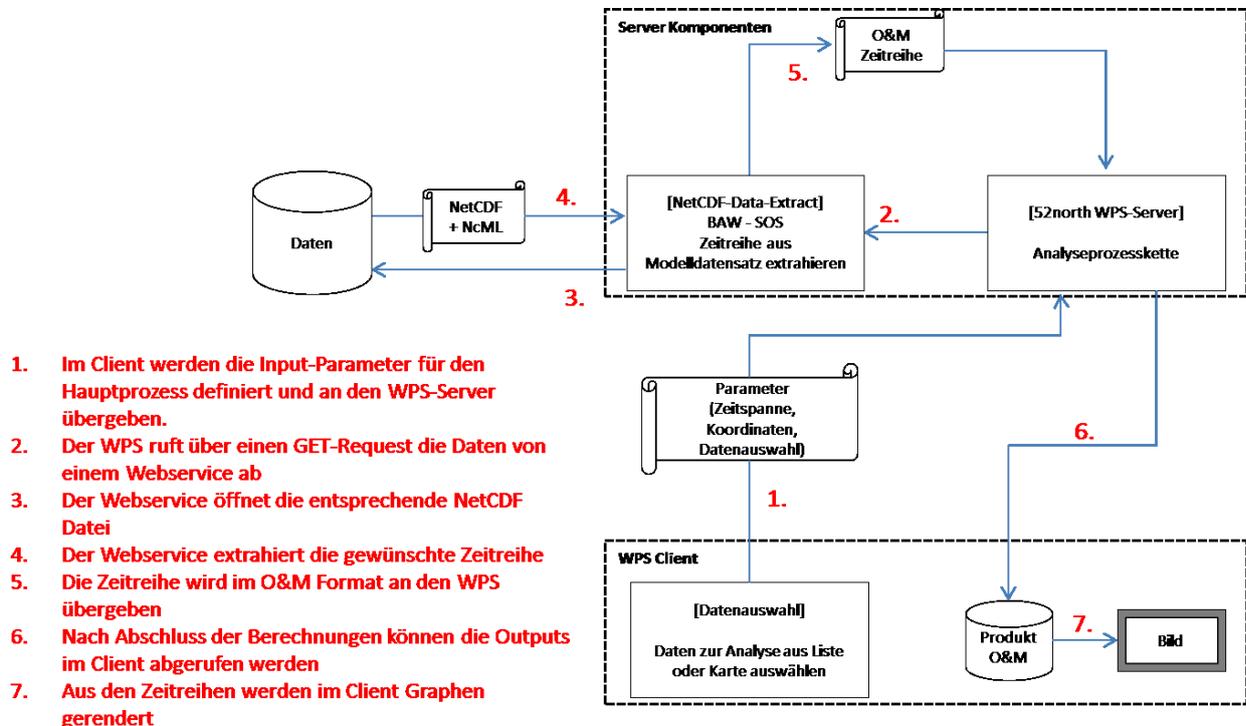


Bild 1: Workflow im Web Processing Service am Beispiel von Zeitreihen

4 Arbeitsprogramm und Zeitplan

Das Vorhaben wird im Zeitraum 01.01.2013 bis 31.12.2014 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms KMU-innovativ gefördert. Es wird im Verbund bearbeitet von

- disy Informationssysteme GmbH, Karlsruhe
- Hochschule Osnabrück, Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik, Osnabrück
- Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg
- Landesbetrieb Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein, Tönning

Die BAW ist insgesamt 21 Monate beteiligt.

Das Arbeitsprogramm des Forschungsverbundes gliedert sich in 6 Arbeitspakete

- AP1 Anforderungen und Spezifikationen
- AP2 RichWPS Model-Builder
- AP3 Rich-WPS Client- und Serverkomponenten
- AP4 Pilotanwendungen & Konzeptvalidierung
- AP5 Ergebnisverbreitung und Projektvernetzung
- AP6 Projektmanagement und Qualitätssicherung

Die BAW ist maßgeblich an AP1, AP4, AP5 und AP6 beteiligt.

Der Projektfortschritt wird durch konkrete Meilensteine markiert und durch die halbjährlichen Zwischenberichte an den Projektträger Softwaresysteme und Wissenstechnologien (PT-SW) im DLR dokumentiert.

Laufzeit des Vorhabens von 2013 bis 2014.

5 Literatur

- Foerster, T.; Schäffer, B.; Baranski, B. und Brauner, J.: Geospatial Web Services for Distributed Processing. In: Zhao, P. und Di, L. (Hrsg.): Geospatial Web Services. 245-286. doi: 10.4018/978-1-60960-192-8.ch011, 2010.
- Fornefeld, M., Beckmann, G. und Fischer, F.: Die europäische Gesetzgebung als Motor für das deutsche GeoBusiness. Studie im Auftrag des BMBF, MICUS Consult, 2010.
- Peltz, C.: Web services orchestration and choreography. In: Computer, Jg. 36, 10, 46-52. doi: 10.1109/MC.2003.1236471, 2003.
- Schäffer, B.: Towards a Transactional Web Processing Service (WPS- T). In: Bishr, M., Pebesma, E. und Bartoschek, T. (Hrsg.): Proceedings of the 6th Geographic Information Days. Münster, 2008.
- Schut, P. (Hrsg.): OpenGIS Web Processing Service. Open Geospatial Consortium (OGC 05-007r7), 2007.
- Tsou, M.-H. und Buttenfield, B. P.: A Dynamic Architecture for Distributing Geographic Information Services. In: Transactions in GIS, Jg. 6, 4, 355-381. doi: 10.1111/1467-9671.00118, 2002.

6 Veröffentlichungen

-/-