



Abzweig der Medemrinne vom Elbstrom (Blickrichtung von Westen)
Quelle: Befliegung WSA-HH, Mai 2008

Planungsleistungen für die Optimierung der Einfassungsbauwerke von Unterwasserablagerungsflächen zur weiteren Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außen- elbe an die Containerschifffahrt

Erläuterungsbericht

Auftraggeber:
Projektbüro Fahrrinnenan-
passung beim Wasser-
und Schiffsamt Ham-
burg

Moorweidenstraße 14
20148 Hamburg

Verfasser:
INROS LACKNER AG

Holstenplatz 18
22765 Hamburg

Planungsleistung:
Studie

AZ des AG:
231.2 PB-Elbe 11/3

Datum:
15.06.2009

Dokument Kontrollblatt

Projektdaten

Auftraggeber: Projektbüro Fahrrinnenanpassung beim
Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg
Moorweidenstraße 14
20148 Hamburg

Projektbezeichnung: Optimierung der Einfassungsbauwerke von Unterwasserablagerungs-
flächen zur weiteren Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe
an die Containerschifffahrt

AZ des AG: 231.2 PB-Elbe 11/3

Dokumentart: Studie

Dokumentdaten

Dokument: H:\FRSP\daten\Temp\Temp_Fahrrinnenanpassung\Bericht_220
80291_090330-D_rev01_Vorabzug.doc

Erstell-Datum: 15.06.2009

Revisions-Nr.: 02 (VORABZUG)

Bearbeitung und Dokumentprüfung

Geprüft, Bearbeitung Geprüft, Bearbeitung

.....
i.V. Dr. Franz-J. Specht
Projektleiter

.....
i.A. Prof. Dr. Horst Nasner

Bearbeitung

Bearbeitung

.....
i.A. Dr. Matthias Bleck
Projektingenieur

.....
i.A. Dipl.-Ing. Anne Scholz
Projektingenieurin

Inhaltsverzeichnis

Dokument Kontrollblatt	I
Inhaltsverzeichnis	II
Verzeichnis der Tabellen	IV
Verzeichnis der Abbildungen	IV
Verwendete Unterlagen	VI
Literaturverzeichnis	VI
1 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2 Bestehende Verhältnisse und Planungsgrundlagen	2
2.1 Allgemeiner Zusammenhang	2
2.2 Lage des Untersuchungsgebiets	2
2.3 Morphologische Situation	4
2.3.1 Bathymetrie	4
2.4 Sedimenteigenschaften im Untersuchungsgebiet	6
2.4.1 Baugrundverhältnisse, Eigenschaften des Baggergutes	6
2.4.2 Kornverteilungen des Baggergutes	7
2.4.3 Entnahme- und Verbringungsarten des Baggergutes	10
2.5 Hydrographische Randbedingungen	10
2.5.1 Einflussgrößen	10
2.5.2 Tidewasserstände und Oberwasser	11
2.5.3 Brackwasserzone	13
2.5.4 Strömungsverhältnisse	15
2.5.5 Seegang (Windwellen)	16
2.6 Kurzzusammenfassung der Strömungsmodellierungen und statistischen Analysen der BAW zur Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen	17
2.6.1 Vorbemerkungen	17
2.6.2 UWA Medemrinne und UWA Neufelder Sand	18
2.6.2.1 Vorgehensweise	18
2.6.2.2 Ergebnisse	19
2.6.3 UWA Glameyer Stack West/Ost	21
2.6.3.1 Vorgehensweise	21
2.6.3.2 Ergebnisse	21
2.6.4 UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf	22
2.6.4.1 Vorgehensweise	22
2.6.4.2 Ergebnisse	23
2.7 Zusammenfassung der hydraulischen Planungsparameter	24
3 Bemessung und Konstruktion der Unterwasserablagerungsflächen	26
3.1 Bemessungs- und Konstruktionsphilosophie	26
3.1.1 Vorbemerkungen	26
3.1.2 Tidedämpfende und strömunglenkende UWA	27
3.1.3 Unterwasserböschungssichernde UWA	28
3.2 Berechnungsgrundlagen	28
3.2.1 Vorbemerkungen	28
3.2.2 Geschiebetransportbeginn	29
3.2.2.1 Berechnungsansätze	29
3.2.2.2 Vergleich von Transportansätzen in der Literatur	31
3.2.2.3 Überprüfung der Ansätze für das Projektgebiet	32
3.2.3 Geschiebetransport	33

3.2.4	Deckwerksbemessung	34
3.2.5	Fazit der rechnerischen Betrachtungen.....	35
3.3	Bemessung der Teilbauwerke der UWA	35
3.3.1	Bemessungsrelevante Strömungsgeschwindigkeiten	35
3.3.2	Kritischer Korndurchmesser im Bereich der UWA - Grenzwertbetrachtung	36
3.4	Beschreibung der Konstruktion der UWA.....	39
3.4.1	Vorbemerkungen	39
3.4.2	UWA Medemrinne	39
3.4.3	UWA Neufelder Sand	43
3.4.4	UWA Glameyer Stack Ost/West.....	45
3.4.5	UWA St. Margarethen	48
3.4.6	UWA Scheelenkuhlen und Brokdorf	51
3.5	Bauablauf und Baugeräteeinsatz	52
3.5.1	Bauablauf	52
3.5.2	Geräteeinsatz	53
3.6	Wirtschaftlichkeit der Bauweisen.....	55
4	Zusammenfassung und weitergehende Empfehlungen	57
	Anlagen	59
	Anhang	82

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 2.1:	Beschreibung der UWA gemäß eingereichter Planfeststellungsunterlagen	2
Tab. 2.2:	Bodenarten des Baggergutes	6
Tab. 2.3:	Bodenarten des Baggergutes (Delegationsstrecke)	7
Tab. 2.4:	Tidewasserstände in der Elbe	11
Tab. 2.5:	Charakteristischer Seegang an den UWA Medemrinne und Neufelder Sand	17
Tab. 3.1:	Rechnerischer kritischer Korndurchmesser des Geschiebes im Untersuchungsgebiet nach HJULSTRØM und SHIELDS für verschiedene ausgewählte Strömungsgeschwindigkeiten über den UWA	37

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1.1:	Übersichtslageplan der Unterwasserablagerungsflächen, Quelle: Antragsunterlagen der Fahrrinnenanpassung	1
Abb. 2.1:	Lagepläne der UWA, Quelle: Planfeststellungsunterlagen	3
Abb. 2.2:	Morphologische Veränderung im Bereich der Medemrinne 1932 - 2004	5
Abb. 2.3:	Sedimente in der Fahrrinne der Elbe auf Basis der Unterhaltungsbaggerungen	7
Abb. 2.4:	Exemplarische Sieblinien im Bereich der UWA Medemrinne	8
Abb. 2.5:	Exemplarische Sieblinien im Bereich der UWA Brokdorf	8
Abb. 2.6:	Sedimentanteile des sehr feinen Sandes, Teilgebiet West (aus BAW 2006, Teilgutachten morphodynamische Prozesse)	9
Abb. 2.7:	Sedimentanteile des feinen Sandes, Teilgebiet West (aus BAW 2006, Teilgutachten morphodynamische Prozesse)	9
Abb. 2.8:	Differenz des Tidenhubs (AZ 385 - PIZ) bei niedrigem Oberwasser, BAW 2006a	13
Abb. 2.9:	Periodische Schwankungen des Salzgehaltes im Brackwassergebiet (schematisch)	14
Abb. 2.10:	Geschwindigkeitsprofile mit und ohne Salzwassereinfluss (schematisch)	14
Abb. 2.11:	Lage der Langzeit- (LZ) und Dauermessstationen (DZ) im Zuge der Beweissicherung zu Fahrrinnenanpassung 1999	16
Abb. 2.12:	Windrichtungshäufigkeit im Elbe-Gebiet (BAW, 2006a)	17
Abb. 2.13:	Exemplarische Häufigkeitsverteilung der tiefengemittelten Geschwindigkeiten (hier: Pkt. 24, Punkt mit den höchsten Geschwindigkeiten auf der UWA Medemrinne)	20
Abb. 2.14:	Exemplarische Häufigkeitsverteilung der tiefengemittelten Geschwindigkeiten (hier: Pkt. 70, Punkt der LZ2 mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeiten auf der UWA Neufelder Sand)	20

Abb. 3.1:	Transportbeginn von kohäsionslosen Sedimenten nach HJULSTRØM (1935).....	29
Abb. 3.2:	Transportbeginn von kohäsionslosen Sedimenten nach SHIELDS (1936).....	30
Abb. 3.3:	Kritische Schubspannung in Abhängigkeit des Korndurchmessers (nach LANE, 1953 aus GRAF, 1984).....	31
Abb. 3.4:	Kritische Schubspannung in Abhängigkeit des Korndurchmessers (nach CHIEN, 1954 aus GRAF, 1984).....	32
Abb. 3.5:	Streuung von Messwerten und Abweichungen zwischen Messung und Rechnung von Geschiebetransport (nach PERNECKER, VOLLMERS, 1965).....	33
Abb. 3.6:	Vergleich des kritischen Korndurchmessers für den Bewegungsbeginn nach verschiedenen Ansätzen.....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abb. 3.7:	Übersichtsplan der Wester Schelde (aus PLANCKE, 2006).....	43
Abb. 3.8:	Differenztopografie der Jahre 1992 bis 2002 im Bereich der UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf (aus BAW 2006b).....	49

Verwendete Unterlagen

- [1] „Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe für 14,5 m tiefgehende Containerschiffe; Planfeststellungsunterlage Teil B.2; Erläuterungsbericht - Beschreibung des Vorhabens (Technische Planung)“, Projektbüro Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe beim Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, 07.02.2007
- [2] „Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe für 14,5 m tiefgehende Containerschiffe; Änderung der Antragsunterlagen Teil 1; Aktualisierung der Beschreibung des Vorhabens (Technische Planung); (Bezug: Antragsunterlage B.2)“, Projektbüro Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe beim Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, 18.12.2007
- [3] „Vermerk zu ausbaubedingten Änderungen des Tidestromvolumens“, Projektbüro Fahrrinnenanpassung , 09.06.2007 und 23.07.2007
- [4] „Digitales Tiefenmodell Tideelbe 2004“, Förderkreis „Rettet die Elbe“ e.V.
- [5] Längsschnitte in Fahrrinnenmitte der Jahreshauptpeilungen 1995 bis 2006, bereit gestellt vom WSA Hamburg
- [6] <http://www.portal-tideelbe.de>
- [7] Sedimentkataster mit Körnungslinien, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg 2005
- [8] „Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen – hier: UWAs Medemrinne und Neufeld – Stand der Arbeiten / Ergebnisse“, Präsentation der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg vom 06.10.2008
- [9] „Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen – hier: UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf – Stand der Arbeiten / Ergebnisse“, Präsentation der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg vom 13.11.2008
- [10] „Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen – hier: UWA Glamayer Stack West/Ost – Stand der Arbeiten / Ergebnisse“, Präsentation der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg vom 06.03.2009

Literaturverzeichnis

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2003a): Gutachten „Machbarkeit einer weiteren Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe“, Hamburg, unveröffentlicht

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2003b): Gutachten „Systemanalysen zur hydraulischen Kompensation nachteiliger Entwicklungen der kennzeichnenden Tidewasserstände“, Hamburg, unveröffentlicht

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2003c): Gutachten „Machbarkeit einer weiteren Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe. Ergänzung Variante 4.4 unter Berücksichtigung des Verbringungskonzeptes“, Hamburg, unveröffentlicht

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2006a): „Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt.

- Gutachten zur ausbaubedingten Änderung von Hydrodynamik und Salztransport“, Planfeststellungsunterlage Teil H.1c, Hamburg, unveröffentlicht
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2006b): „Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Gutachten zur ausbaubedingten Änderung der morphodynamischen Prozesse“, Planfeststellungsunterlage Teil H.1c, Hamburg, unveröffentlicht
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2006c): „Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Gutachten zum Verbringungskonzept für Umlagerungen im Medembogen und im Neuen Luechtergrund“, Planfeststellungsunterlage Teil H.1c, Hamburg, unveröffentlicht
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (2006d): „Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. Gutachten zu den ausbaubedingten Änderungen der schiffserzeugten Belastung“, Planfeststellungsunterlage Teil H.1d, Hamburg, unveröffentlicht
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW), Dienststelle Hamburg (1999): „Fahrrinnenanpassung der Unter- und Außenelbe, Gutachten für Nassbaggerarbeiten“, Hamburg, unveröffentlicht
- BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE (BFG), 2004 (BfG-1380): „Umweltrisikoeinschätzung und FFH-Verträglichkeitseinschätzung für Projekte an Bundeswasserstraßen, Weitere Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt mit einem Salzwassertiefgang von rd. 14,50 m“, Koblenz, unveröffentlicht
- FICKERT, M. (2008): „Analyses of the Development of the Current Velocities in the Lower and Outer Elbe after the Fairway Deepening in 1999“, PIANC Magazine no 133
- GRAF, W.H. (1984): “Hydraulics of Sediment Transport”, ISBN-0-918334-56-X, Water Resources Publications
- HENSEN, W. (1941): „Die Entwicklung der Fahrwasserhältnisse in der Außenelbe“ Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 18, 1941
- HENSEN, W. (1964): „Probleme bei der Regelung von Tideflüssen“, Jahresheft der Staatlichen Ingenieurschule Suderburg, 1964
- HJULSTRØM, F. (1935): „Studies of the Morphological Activities of Rivers as Illustrated by the River Fyris“, Bulletin of the Geological Institute of the University of Uppsala, 1935
- HOLTHUIJSEN, L.H., BOOIJ, N. and RIS, R.C. (1993) A spectral wave model for the coastal zone, *Proc. of 2nd Int. Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, New Orleans, USA, 630-641.
- IMS INGENIEURGESELLSCHAFT mbH (2006): „Studie zur Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Einfassungsbauwerken für Unterwasserablagerungsflächen“, Hamburg, unveröffentlicht
- MITTEILUNGEN DES FRANZIUS-INSTITUTS DER TU HANNOVER, Heft 40 (1974): „Über das Verhalten von Transportkörpern im Tidegebiet“, Hannover

- MEERSSCHAUT, Y.M.A. ET. AL., (2004): „A Dredging and Disposal Strategy for Managing the Western Scheldt's Morphology and Ecology“, WODCON XVII, Hamburg, ISBN 90-9018244-6
- LEICHTWEISS-INSTITUT FÜR WASSERBAU, TU BRAUNSCHWEIG: „Gezeiten in Flussläufen“, Vorlesungsumdruck, Braunschweig, unveröffentlicht
- LEICHTWEISS-INSTITUT FÜR WASSERBAU, TU BRAUNSCHWEIG: „Küstennahe Strömungen“, Vorlesungsumdruck, Braunschweig, unveröffentlicht
- MITTEILUNGEN DER WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION-NORD NR. 16 (1967): Strömungsverhältnisse und Wassermengen der Tide-Elbe, Hamburg
- NASNER, H. (1974): „Über das Verhalten von Transportkörpern im Tidegebiet“ Mitteilungen des Franzius-Instituts der Technischen Universität Hannover, Heft 40, 1974
- NASNER, H. (1974): „Hydrodynamische und morphologische Vorgänge in brackwasserbeeinflussten Vorhäfen - In situ Messungen“, Die Küste, Heft 68, 2004
- PERNECKER, L., VOLLMERS, H.-J. (1965): „Neue Betrachtungsmöglichkeiten des Feststofftransports in offenen Gerinnen“, Die Wasserwirtschaft, 55. Jahrgang
- PLANCKE, IR Y. (2006): „A new Approach for Managing the Western Scheldt's Morphology and Ecology“, Flanders Hydraulics Research, Elbe Symposium, Hamburg
- RIS, R.C. (1997): “Spectral modelling of wind waves in coastal areas”, (Ph.D. Dissertation Delft University of Technology, Department of Civil Engineering), Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering, Report No. 97-4, Delft, The Netherlands.
- SHIELDS, A. (1936): „Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik und der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung“, Mitteilungen der Preuss. Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffsbau, Berlin, Heft 26
- VANONI, V.A. (1975): „Sedimentation Engineering“, ASCE Sedimentation Committee of the Hydraulics Division, New York

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Der Weltweite Handel, insbesondere zwischen Asien und Europa, wächst seit Jahren beständig. Die Containerschifffahrt stellt einen wesentlichen Baustein des Welthandels dar. Um den Hafen der Freien und Hansestadt Hamburg den Anforderungen der zukünftigen Containerschifffahrt anzupassen und wettbewerbsfähig zu bleiben, plant das Projektbüro Fahrrinnenanpassung (unter Federführung des WSA Hamburg und der HPA Hamburg) eine weitergehende Fahrrinnenanpassung der Elbe. Künftig sollen Containerschiffe mit einem maximalen Tiefgang von 13,50 m in Salzwasser (derzeit 12,50 m) unabhängig von der Tide die Hamburger Häfen ansteuern können. Unter Ausnutzung der Tide soll dies auch für bis zu 14,50 m tiefgehende Schiffe möglich sein (derzeit 13,50 m).

Das bei der Fahrrinnenanpassung anfallende Baggergut soll unter anderem in mehrere Unterwasserablagerungsflächen (UWA) verbracht werden (Abb. 1.1). Neben der längerfristigen Aufnahme des Baggerguts haben diese Flächen auch strombauliche Funktionen und sollen der Tideenergiedämpfung (UWA Medemrinne), der Strömungslenkung (UWA Neufelder Sand) und der Uferstabilisierung (UWA Glameyer Stack – Ost und West, St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf) dienen.

Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens, das im Jahr 2006 eingeleitet wurde, wurde vor allem die Nachhaltigkeit der Unterwasserablagerungsflächen in Frage gestellt. Ein zwischenzeitlich angedachtes Vorziehen einer Teilerrichtung der UWA Medemrinne als strombauliche Maßnahme zur Tideenergiedämpfung und zur Vorbereitung der Fahrrinnenanpassung wurde deswegen fallen gelassen.

Hinsichtlich der Ausbildung, Bemessung und Konstruktion der UWA erfolgte im Rahmen der Erarbeitung der Planfeststellungsunterlagen eine umfangreiche Variantenuntersuchung (IMS 2006). Aufgrund der Vielzahl der Einwände hinsichtlich der Unterwasserablagerungsflächen soll deren konstruktive Ausbildung in der vorliegenden Untersuchung unter Einbeziehung der neuesten Erkenntnisse und Kritikpunkte weitergehend optimiert werden. Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Nachhaltigkeit und der Wirkungsstabilität insbesondere der Unterwasserablagerungsflächen Medemrinne und Neufelder Sand.

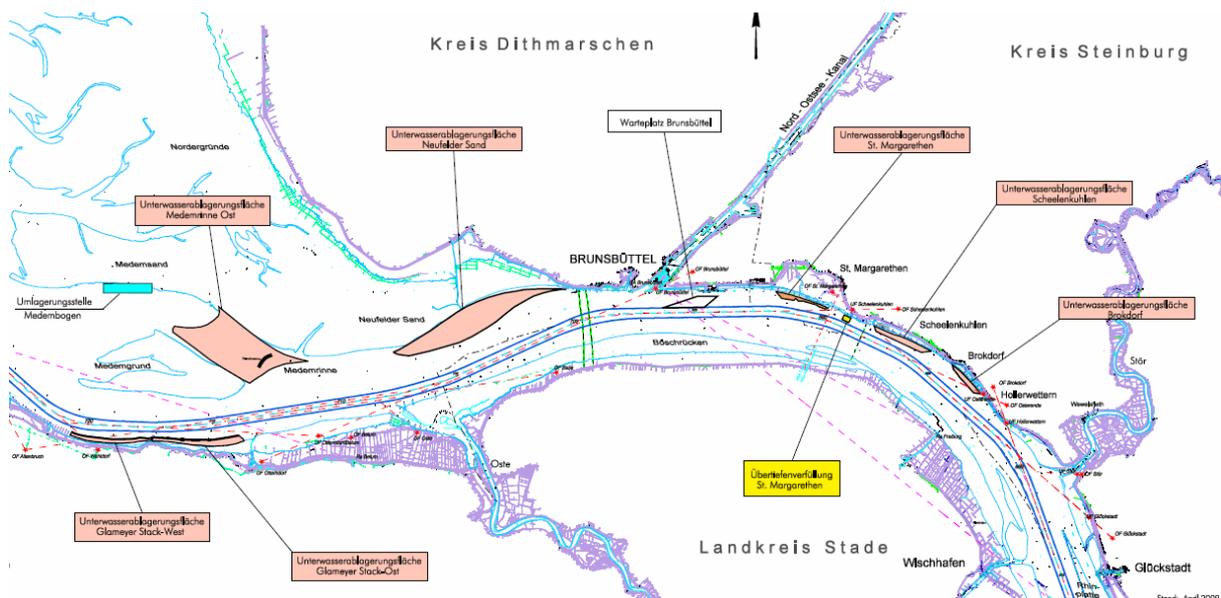


Abb. 1.1: Übersichtslageplan der Unterwasserablagerungsflächen, bereitgestellt vom Projektbüro Fahrrinnenanpassung, Stand April 2009

2 Bestehende Verhältnisse und Planungsgrundlagen

2.1 Allgemeiner Zusammenhang

Die Umsetzung der Fahrrinnenanpassung wird von einer gemeinsamen Projektgruppe von der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord sowie der Hamburg Port Authority (HPA), dem „Projektbüro Fahrrinnenanpassung“, wahrgenommen. 2006 wurde das Planfeststellungsverfahren eingeleitet. Im Zuge der Erstellung der Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren wurden im Rahmen einer Machbarkeitsstudie diverse Bauweisen der UWA untersucht und bewertet (IMS, 2006). Im Zuge des Planfeststellungsverfahrens traten jedoch weitere Fragen bezüglich der Nachhaltigkeit, der Wirkungsstabilität sowie der Wirtschaftlichkeit insbesondere in Bezug auf die UWA Medemrinne auf. Des Weiteren wurden im Planungsverlauf die UWA Glameyer Stack-West als weitere UWA hinzugefügt. Die INROS LACKNER AG (im Folgenden AN genannt) wurde durch das „Projektbüro Fahrrinnenanpassung“ (im Folgenden AG genannt) mit der Erstellung einer Studie zur „Optimierung der Einfassungsbauwerke von Unterwasserablagerungsflächen zur weiteren Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt“ beauftragt. Begleitend hierzu wurden durch die Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW) weitergehende Strömungsberechnungen zur Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen angestellt. Diese Ergebnisse wurden sukzessive in die Bearbeitung dieser Studie integriert.

Dem Charakter der Fahrrinnenanpassung folgend kommt der Nachhaltigkeit der geplanten Maßnahmen eine besondere Bedeutung zu. Die Unterwasserablagerungsfläche (UWA) Medemrinne als Maßnahme zur Tideenergiedämpfung ragt hierbei sowohl von ihrer strombaulichen Bedeutung wie auch von ihrer Baggertgut-Kapazität gegenüber den anderen UWA hervor. Nichtsdestotrotz sind die übrigen UWA ebenso wichtige Bausteine in der Gesamtmaßnahme.

2.2 Lage des Untersuchungsgebiets

Die Ausbaustrecke der Unter- und Außenelbe erstreckt sich vom Hamburger Hafen (Containerterminal Altenwerder, Süderelbe, km 619,5 bzw. mittlerer Freihafen, Norderelbe, km 624) bis zur Außenelbe (Tonne 7, km 755,3). Die zu betrachtenden UWA liegen im Gebiet der Unterelbe zwischen Elbe-km 682,9 und 720,0. Zu Lage und Geometrie der einzelnen UWA siehe Tab. 2.1 und Abb. 2.1.

Tab. 2.1: Beschreibung der UWA gemäß eingereichter Planfeststellungsunterlagen

Ort	Elbe-km	Länge [m]	Breite [m]	Oberkante [mNN]	Fläche [ha]	Aufnahmekapazität [Mio. m³]
UWA						
-Medemrinne	710,9 - 716,2	4.500	2.100	-5,10/-3,60	627,9	12,270
-Neuenfelder Sand	699,4 - 707,3	7.900	1.200	-4,50	490,3	10,200
-Glameyer Stack-West	714,0 - 717,0	3.000	170	-2,05	47,0	0,525
-Glameyer Stack-Ost	717,0 - 720,0	3.000	i.M. 210	-2,05	80,0	1,030
-St. Margarethen	689,7 - 691,9	2.200	i.M. 200	unbestimmt	27,6	1,300
-Scheelenkuhlen	685,4 - 687,9	2.500	230	unbestimmt	48,3	2,300
-Brokdorf	682,9 - 684,6	1.700	200	unbestimmt	26,7	0,750
Gesamtvolumen Unterwasserablagerungsflächen						28,375

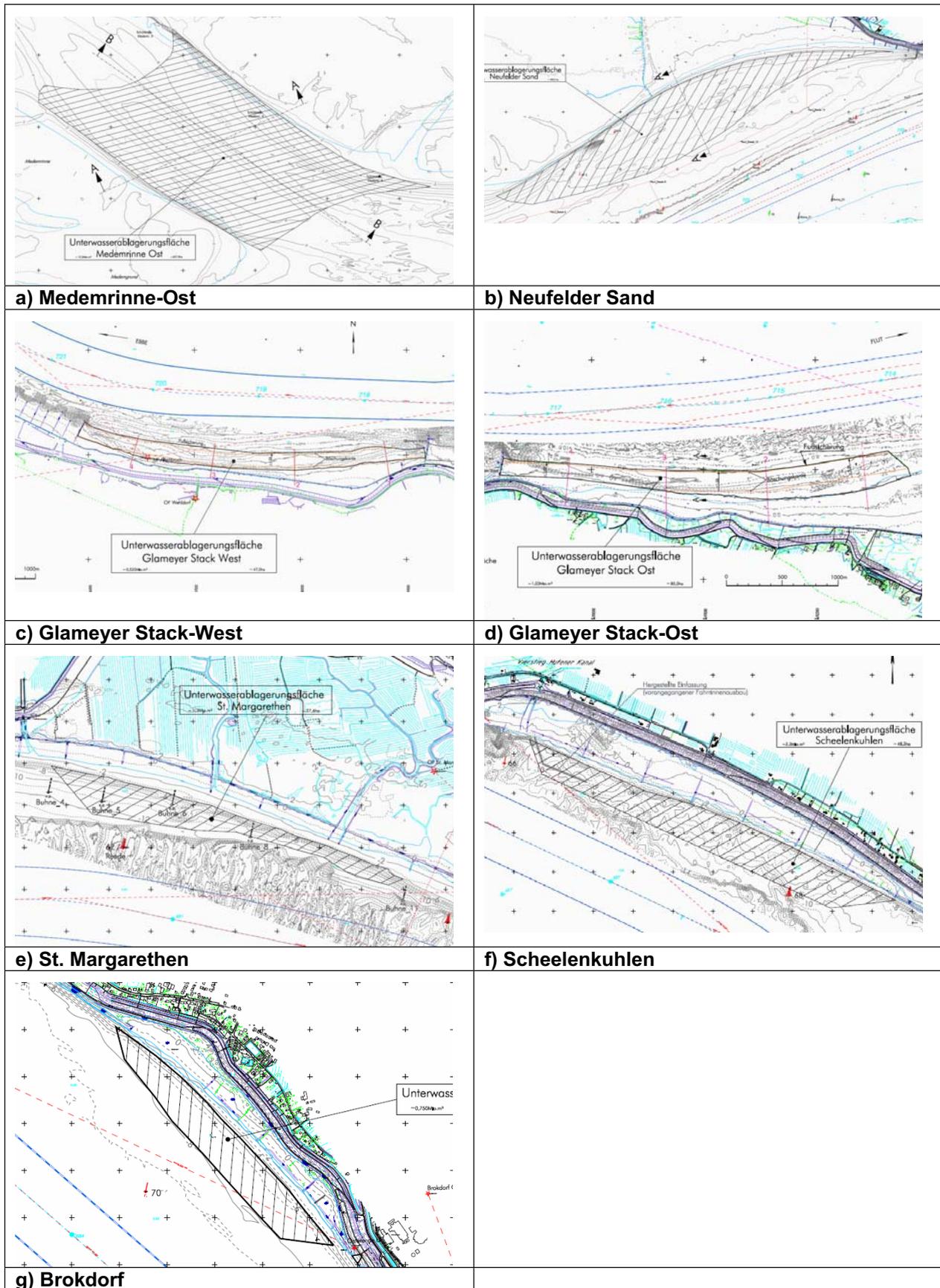


Abb. 2.1: Lagepläne der UWA, Quelle: Planfeststellungsunterlagen

2.3 Morphologische Situation

2.3.1 Bathymetrie

Die Tideelbe des Untersuchungsgebietes ist von ständigen, morphologischen Veränderung gekennzeichnet. Diese werden einerseits durch natürliche Prozesse und Vorgänge wie Tidedynamik, Abflussverhalten vom Oberwasser, in geringerem Umfang durch Sturmfluten oder Seegang wie auch künstliche Maßnahmen wie Eindeichungen, Strombaumaßnahmen oder Fahrrinnenvertiefungen bedingt. Durch diese Einwirkungen entstand das typische Flachlandästuar der Elbe mit einer Anzahl von Nebenarmen, unterschiedlichen Wassertiefen und sich verlagernden Sanden und Watten.

Bathymetrische Peilungen der letzten 10 Jahre zeigen, dass die Tideelbe und insbesondere die Medemrinne von starker Materialumlagerung geprägt sind. So „wandert“ die Medemrinne seit Anbeginn ihrer Ausbildung zu Beginn der 60er Jahre kontinuierlich nach Norden. Damals entstand die Medemrinne durch die mittige Verlandung des Hauptarmes der Elbe. Diese Verlandung wuchs nach und nach zum heutigen Medemgrund an. Durch die Verlagerung der Medemrinne nach Norden in den Medemsand tritt eine immer stärkere Krümmung der Medemrinne auf, die zunehmend mehr Tideenergie verbraucht. Im weiteren morphologischen Verlauf wird sich die Medemrinne voraussichtlich wieder zurückbilden, so wie es auch beim Klotzenloch in der Vergangenheit der Fall war. Mit der Nutzung der Medemrinne als UWA wird dieser Vorgang unterstützt und beschleunigt.

Vergleicht man Karten aus den 30er Jahren mit heutigen Karten, so fällt die Ähnlichkeit des damaligen Klotzenlochs mit der Form der heutigen Medemrinne auf. Das Klotzenloch verlandete damals innerhalb von rd. 20 Jahren stark. Insofern ist ein Ziel dieser Studie, diesen natürlich auftretenden Prozess zu analysieren und daraus mögliche sinnvolle Konstruktionen für die UWA, insbesondere für die UWA Medemrinne und Neufelder Sand, abzuleiten. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass nach Aussage des AG ein Durchbruch von der Medemrinne zum Klotzenloch festgestellt wurde. Dieser Durchbruch, der sich zwangsläufig aufweitet hat, kann gravierendere, naturbedingte Auswirkungen auf das hydraulisch-morphologische Geschehen ausüben als es durch die geplante Fahrrinnenanpassung der Fall sein könnte. Abb. 2.2 zeigt die morphologischen Veränderungen im Bereich der Medemrinne der letzten Jahrzehnte.

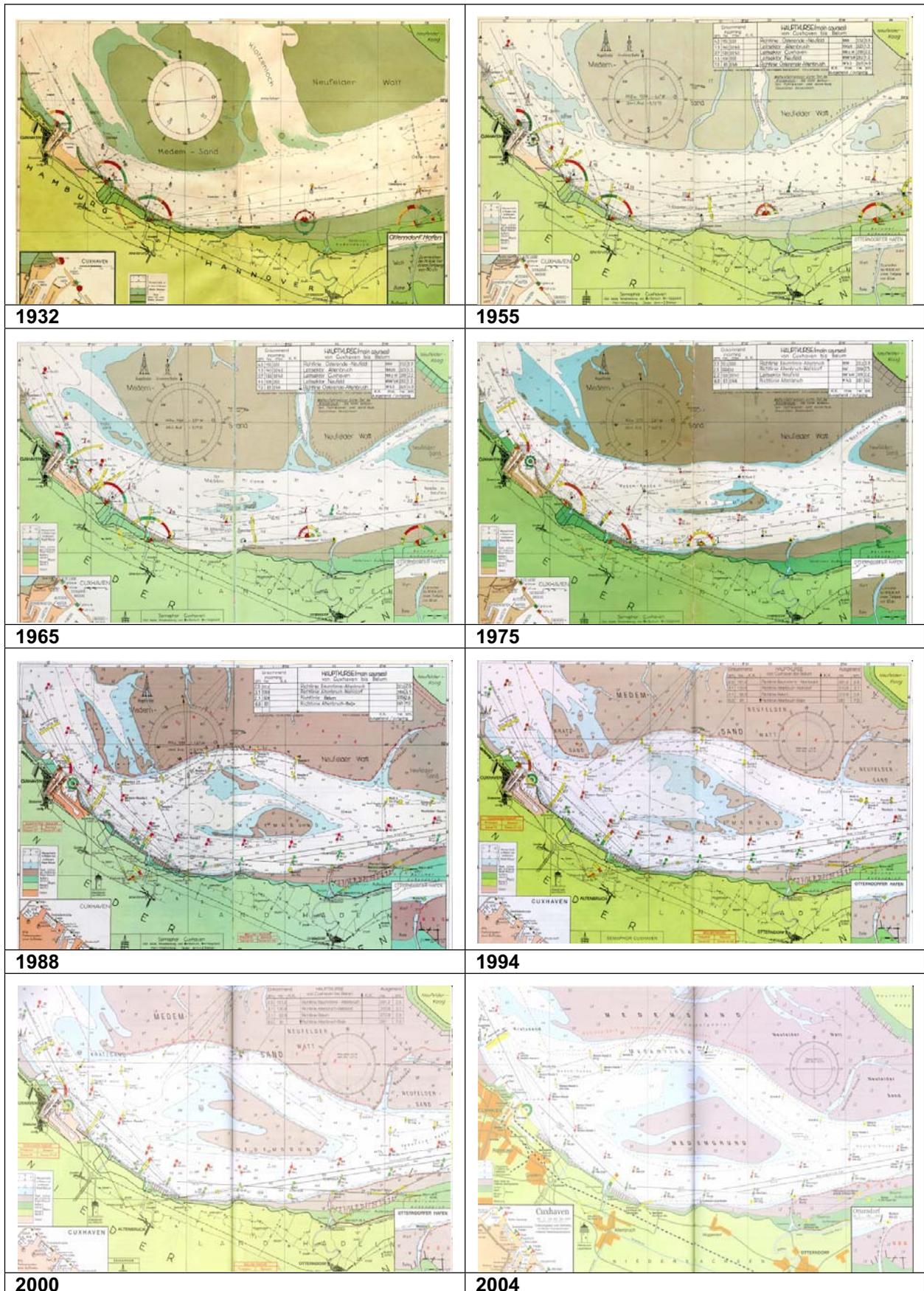


Abb. 2.2: Morphologische Veränderung im Bereich der Medemrinne 1932 - 2004

2.4 Sedimenteigenschaften im Untersuchungsgebiet

2.4.1 Baugrundverhältnisse, Eigenschaften des Baggergutes

Die Bodeneigenschaften wurden dem Baggergutachten der Fahrrinnenanpassung von 1999 (BAW, 1999) entnommen. Unterstützend dazu wurden die vom AG zur Verfügung gestellten Körnungslinien aus dem Jahr 2005 ausgewertet. Nach der vorliegenden Datenlage sind im Vertiefungsbereich der Außen- und Unterelbe überwiegend mit holozänen Kleien, Fein- und Mittelsanden zu rechnen. Die Mittelsande sind teilweise von Kiesen, die Feinsande von Schluff, Mudde oder Torf durchlagert, und deutlich enggestuft ($U < 6$). Im Hangbereich der Elbe liegen häufig humose Beimengungen in den Sanden vor. Die Lagerungsdichte der Sande variiert zwischen locker über mitteldicht bis dicht. Der vorliegende Klei wurde meist als schwach toniger bis toniger, feinsandiger und humoser Schluff, z.T. fein gebändert, mit örtlichen Einlagerungen von Mudde, Torf oder Pflanzenresten angesprochen. Die Plastizität sowie der Wassergehalt des Kleis schwanken, die Konsistenz wird mit überwiegend weich bis steif, bereichsweise breiig, angegeben. Oberflächennah ist bereichsweise mit flüssigem bis breiigem Schlick (Bodenklasse A) zu rechnen. Diese Anteile sind aber vergleichsweise gering gegenüber den zu baggernden Sanden. Lokal wurden Geschiebemergel, aber auch Torfbänder, Schlacke oder Lagen von Holzstücken angetroffen. Richtung Küste treten vermehrt feiner Muschelbruch oder Muschelschillagen auf.

Die Bodenarten des Baggerguts der einzelnen Baggerabschnitte sind entsprechend der Planfeststellungsunterlage in Tab. 2.2, Tab. 2.3 dargestellt.

Tab. 2.2: Bodenarten des Baggergutes

Elbe-km	Bereich	Bodenarten der derzeitigen Fahrrinne	Zusätzl. Bodenarten bei Ausbau
638,9 - 643	Tinsdal - Wedel	Mittelsand - Feinkies, Geschiebemergel	Geschiebemergel
643 - 644	Wedeler Au	Feinsandiger Schluff, schluffiger Feinsand - Feinkies	Klei
644 - 651	Lühesand	Feinsand - Grobkies	Klei
651 - 654	Juelssand	Feinsandiger Schluff, schluffiger Feinsand	Klei
654 - 658	Stadersand	Feinsand - Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	Klei
658 - 661	Pagensand	Feinsand - Grobsand, feinsandiger Schluff	Klei
661 - 667	Pagensand	Feinsand - Feinkies, z.T. Schluffbeimengungen	Klei
667 - 670	Steindeich	Feinsand - Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	
670 - 676	Rhinplatte	Feinsandiger Schluff, schluffiger Feinsand - Mittelsand	
676 - 689,7	Glückstadt - St. Margharethen	Mittelsand - Feinkies, z.T. Schluffbeimengungen	
689,7 - 699	Brunsbüttel	Feinsand - Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	
699 - 705	Osteriff	Feinsandiger Schluff, Feinsand - Grobsand	
705 - 708	Oste	Mittelsand - Grobsand	
708 - 716	Medemgrund	Feinsand, Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	
716 - 729	Altenbruch - Cuxhaven	Feinsand, Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	
729 - 736	Leitdamm - Kugelbake	Feinsand, Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	Steiniges Material
736 - 748	Östl. - Westl. Mittelrinne	Feinsand, Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	Feinsand - Grobsand
748 - 755,3	Seeseitiges Ausbauende	Feinsand, Grobsand, z.T. Schluffbeimengungen	

Tab. 2.3: Bodenarten des Baggergutes (Delegationsstrecke)

Elbe-km	Bereich	Bodenarten
619,5 - 621,3	Süderelbe	Sand, Kies (30%); Mergel, Ton, Geröll (70%)
624,5 - 621,3	Köhlbrand	Sand, Kies (30%); Mergel, Ton, Geröll (70%)
624,3 - 625	Norderelbe	Sand, Kies (30%); Mergel, Ton, Geröll (70%)
625 - 627,9	Untereelbe	Sand, Kies (40%); Mergel, Ton, Geröll (60%)
627,9 - 633,5	Untereelbe	Sand, Kies (40%); Mergel, Ton, Geröll (60%)
633,5 - 636,4	Untereelbe	Sand, Kies (20%); Mergel, Ton, Geröll (80%)
636,4 - 638,9	Untereelbe mit Begegnungsstrecke	Sand, Kies (70%); Mergel, Ton, Geröll (30%)

2.4.2 Kornverteilungen des Baggergutes

Im Projektgebiet liegen sehr einheitliche Sedimentfraktionen im Wesentlichen aus dem Feinsandbereich ($d = 0,05$ bis $0,2$ mm) vor, nur in der Fahrrinne selbst sind die Sedimente etwas gröber (Mittelsande). Dies ist sowohl anhand der exemplarisch dargestellten Sieblinien (s. Abb. 2.4 und Abb. 2.5) als auch anhand der flächenhaften Darstellungen (s. Abb. 2.6 und Abb. 2.7) zu erkennen.

In Längsrichtung der Elbe zeigt sich eine tendenzielle Abnahme der Korndurchmesser in der Fahrrinne Richtung Unterwasser, s. Abb. 2.3.

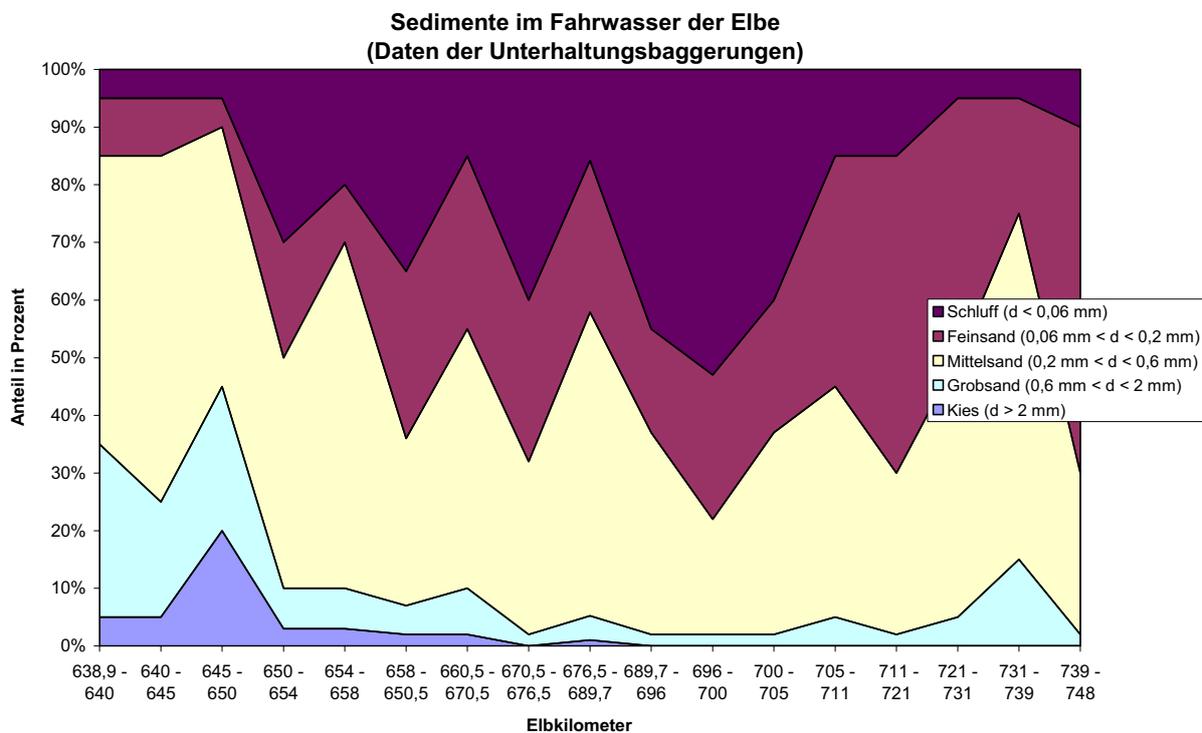


Abb. 2.3: Sedimente in der Fahrrinne der Elbe auf Basis der Unterhaltungsbaggerungen

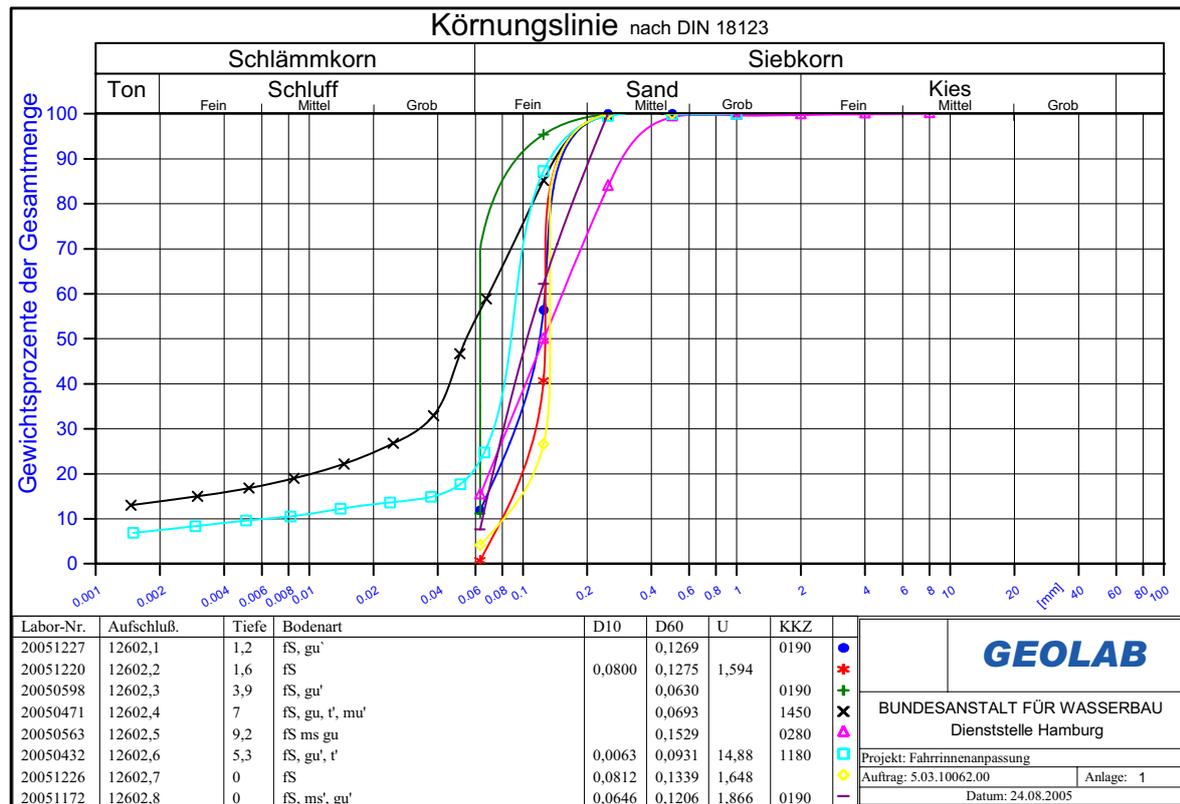


Abb. 2.4: Exemplarische Sieblinien im Bereich der UWA Medemrinne

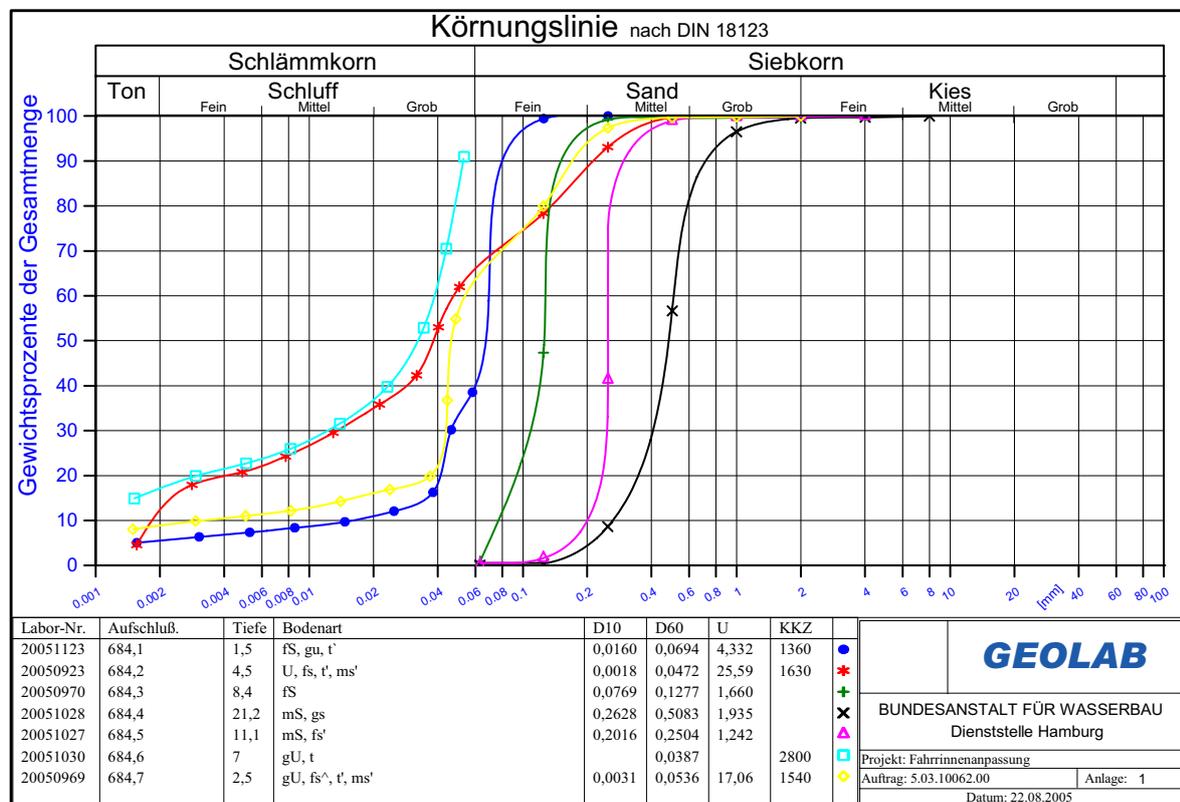


Abb. 2.5: Exemplarische Sieblinien im Bereich der UWA Brokdorf

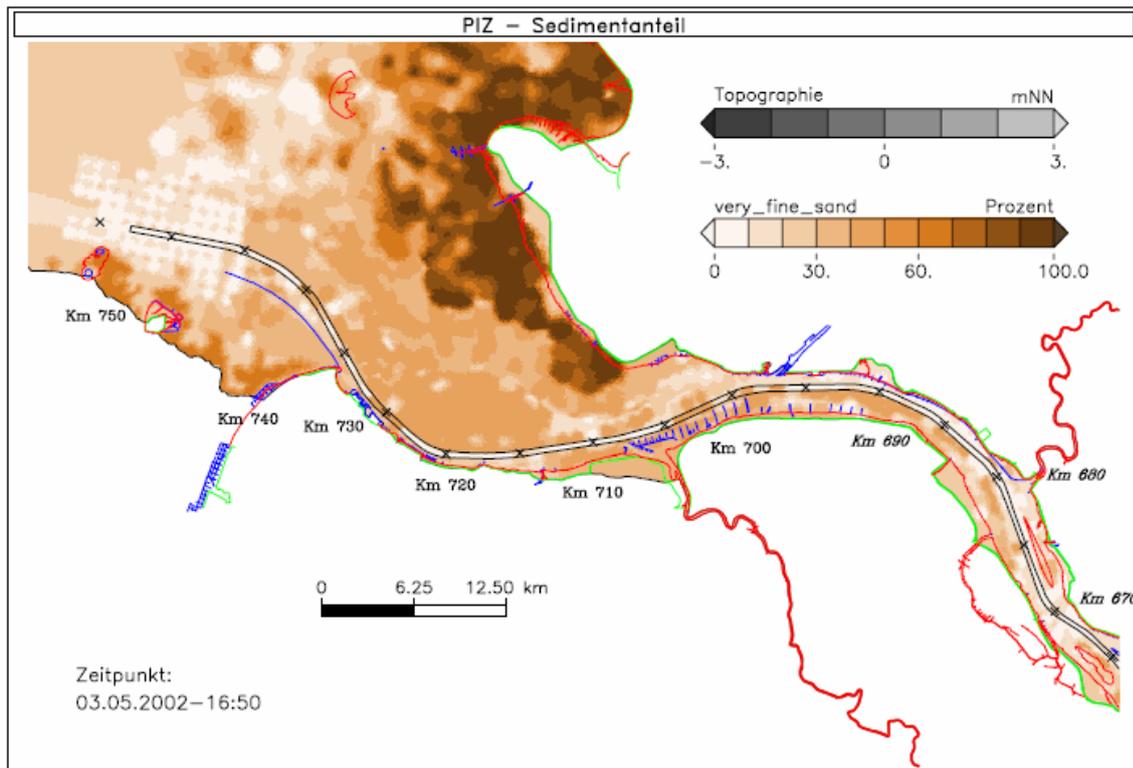


Abb. 2.6: Sedimentanteile des sehr feinen Sandes, Teilgebiet West (aus BAW 2006b, Teilgutachten morphodynamische Prozesse)

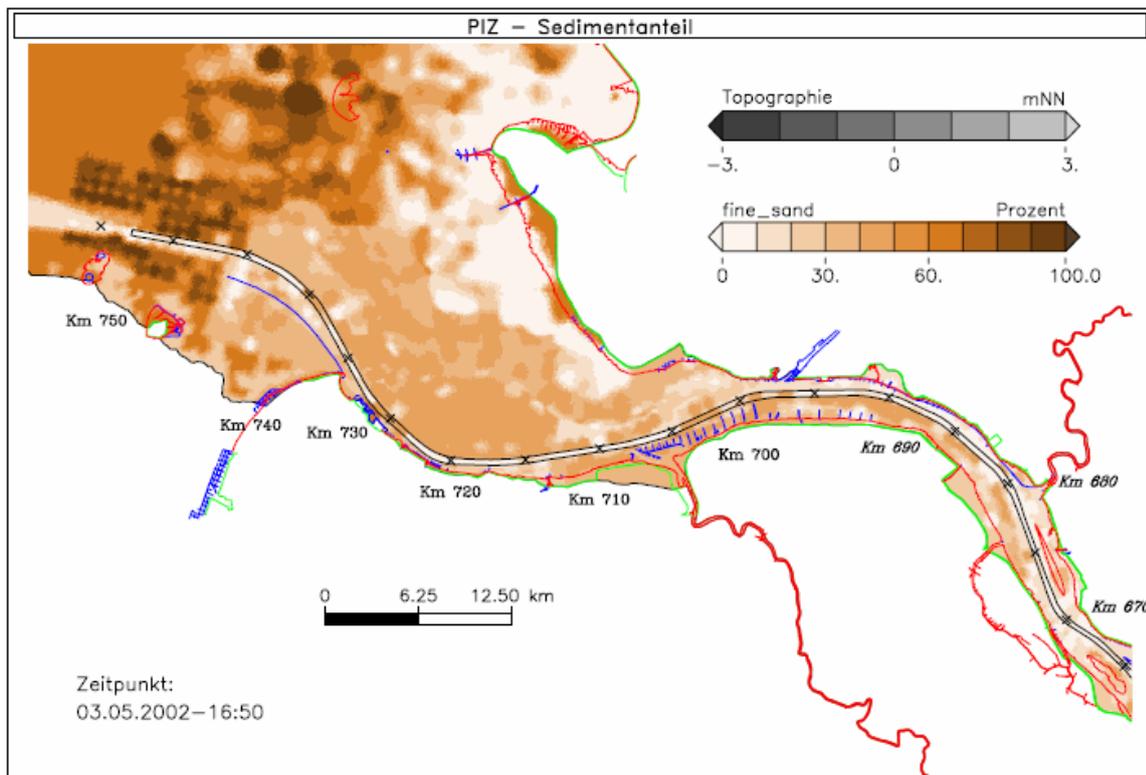


Abb. 2.7: Sedimentanteile des feinen Sandes, Teilgebiet West (aus BAW 2006b, Teilgutachten morphodynamische Prozesse)

2.4.3 Entnahme- und Verbringungsarten des Baggerguts

Die vorliegenden Sande im Entnahmegebiet lassen sich überwiegend den Bodenklassen D bis H zuordnen. Die anstehenden Kleie fallen überwiegend in die Bodenklasse B, bereichsweise auch Bodenklasse A und C. Zur Entnahme von nichtbindigem, fein- bis grobkörnigem Bodenmaterial (Bodenklasse E bis H) werden vorrangig Hopperbagger (Laderaumsaugbagger) eingesetzt, die das Baggergut im eigenen Laderaum zur Einbringstelle transportieren und dort verklappen oder einspülen. Die untergeordneten fließenden, bindigen (Bodenklasse A bis D) oder auch felsigen Böden (Bodenklasse L und M) müssen mit weniger leistungsstarken Eimerkettenbaggern gefördert werden, das Baggergut wird in diesem Fall über Schuten zum Verbringungsort transportiert. Bei dem anstehenden Baggergut kann überschlägig davon ausgegangen werden, dass rd. 75% des Baggerguts (Sand, Kies) mit Hopperbaggern gefördert werden können und die übrigen 25% (Klei, Mergel, geringfügig Geröll) mit Eimerkettenbaggern gefördert werden müssen. Weitere Baggerarten, bei denen das Bodenmaterial über Rohrleitungssysteme zum Verbringungsort befördert wird, scheiden aufgrund der langen Transportwege aus.

2.5 Hydrographische Randbedingungen

2.5.1 Einflussgrößen

Die hydrologischen Verhältnisse des Elbeästuars sind vor allem durch die von der Nordsee einlaufende Tide, den binnenseitigen Oberwasserzufluss sowie die herrschenden Windverhältnisse gekennzeichnet. Die einzelnen hydrographischen Einflussgrößen beeinflussen sich wechselseitig, so dass Wasserstände, Tidezeiten und Strömungsverhältnisse ein Ergebnis dieser Wechselwirkungen sind. Zusätzlich haben natürliche morphologische Veränderungen im Küstenvorland und anthropogene Eingriffe (z.B. Ausbaumaßnahmen, Schiffsverkehr, etc) eine Bedeutung, die aber für die UWA von geringer Bedeutung sind.

Von der Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg (BAW) wurden im Vorfeld der geplanten neuerlichen Fahrrinnenanpassung umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Anpassung auf die Tide- und Morphodynamik im Elbeästuar durchgeführt (BAW, 2006a - 2006f). Die Untersuchungen erfolgten durch die Nachrechnung eines Spring-Nipp-Tidezyklus vom Mai 2002. Das Modell wurde umfangreich anhand der gemessenen Werte kalibriert. Darauf erfolgten mehrere Berechnungsszenarien mit unterschiedlichen Oberwasserzuflüssen sowie für niedrige Sturmfluten, stattgefunden schwere Sturmfluten und eine Bemessungssturmflut.

Die oben beschriebenen Modellberechnungen der BAW beziehen sich auf die Nachrechnung der gewählten Szenarien und variieren einzelne Eingangsgrößen (z.B. den Oberwasserzufluss). Sturmflutszenarien haben für die UWA praktisch keine Relevanz; sie sind aber maßgebend für z.B. Wasserstände, Hochwasserschutz und Deichsicherheit. Der Einfluss der windwelleninduzierten Orbitalgeschwindigkeit auf die morphologischen Verhältnisse ist gering bis vernachlässigbar, s.a. Abschnitt 2.6.

Ergänzend zu den Modellberechnungen wurden durch die BAW als Grundlage für die Bemessung der UWA weitergehenden Modellberechnungen und statistische Auswertungen mit dem Ziel vorgenommen, ein Abgleich zu langzeitstatistischen Größen herzustellen, s. [8], [9] und [10]. Diese Informationen sind insofern bedeutend, da der 2-wöchige Berechnungszyklus zwar ein Spring-Nipp-Tide-Zyklus abdeckt, aber nicht unbedingt die morphologisch relevanten Strömungsgrößen repräsentativ erfasst. Auch Extremereignisse, die für diese Studie eine untergeordnete Bedeutung haben, sind i.d.R. nicht erfasst. Diese ergänzenden Berech-

nungsergebnisse dienen zusammen mit den Gutachten der Antragsunterlagen als wesentliche Grundlage für diese Studie.

Die Untersuchungen der BAW sind ein wichtiges Hilfsmittel für die Festlegung der Bemessungskennwerte, sie können jedoch keineswegs eins zu eins übernommen werden. Hierzu ist vielmehr ein wesentlich längerer Zeitraum zu betrachten, wobei z.B. gewonnene Messdaten systematisch ausgewertet werden. Da diese Daten derzeit nicht in dem erforderlichen Umfang bzw. nur an wenigen Langzeit- und Dauermessstellen vorliegen, sollten günstigstenfalls neue Langzeitmessstellen eingerichtet werden, die die vorhandenen Strömungsverhältnisse an den einzelnen UWA in den nächsten Jahren dokumentieren und auswerten. So können mögliche auftretende lokale Effekte, die derzeit nicht fassbar sind, aufgenommen und gegebenenfalls erforderliche Unterhaltungsmaßnahmen eingeleitet werden.

2.5.2 Tidewasserstände und Oberwasser

Die halbtägigen Gezeiten an der Deutschen Nordseeküste sind ständigen Schwankungen unterworfen. Für vergleichende Betrachtungen sind langjährige Mittelwerte des am Pegel Neu Darchau (Strom-km 536,4) gemessenen Oberwassers (Q_o) der Elbe und der Tidewasserstände hilfreich. Die folgenden Daten sind dem Gewässerkundlichen Jahrbuch entnommen (HAMBURG PORT AUTHORITY AöR, 2007).

Abflüsse Q_o am Pegel Neu Darchau (Strom-km 536,4):

$MQo_{1926/2003}$	=	713 m ³ /s
$MNQo_{1926/2003}$	=	278 m ³ /s
$MHQo_{1926/2003}$	=	1.920 m ³ /s
$NNQo$	=	128 m ³ /s (01.09.1904)
$HHQo$	=	3.840 m ³ /s (07.04.1895)

Tidewasserstände an ausgewählten Pegeln:

Tab. 2.4: Tidewasserstände in der Elbe

Pegel	Strom-km	MThw	MTnw	MT ^{1/2} w	MThb
		1994/2003			
		cm a. P.	cm a. P.	cm a. P.	cm
Cuxhaven Steubenhöft PNP=NN-5,02m	724,0	654	355	504,5	299
Glückstadt PNP=NN-5,00m	674,3	657	375	516,0	282
Stadersand PNP=NN-5,02m	654,8	677	373	525,0	304
		1999/2003			
UF. Blankenese PNP=NN-5,00m	634,8	701	362	531,5	339
Seemannshöft PNP=NN-5,00m	628,9	706	356	531,0	360
Hamburg St. Pauli PNP=NN-5,00m	623,1	711	351	531,0	360
Bunthaus PNP=NN-5,00m	609,8	725	396	560,5	329

Pegel	Strom- km	MThw	MTnw	MT ^{1/2} w	MThb
		1994/2003			cm
		cm a. P.	cm a. P.	cm a. P.	
Zollenspieker PNP=NN-5,01m	598,2	749	496	622,5	253

Zum Einlaufen in den Mündungstrichter der Elbe ist die Tide Reflexionen unterworfen was zu einer Erhöhung des Tidehubs in Cuxhaven führt. Im Mündungsbereich sind dabei die sehr dynamischen morphologischen Vorgänge von Bedeutung. Die Materialumlagerungen im Bereich der Medemrinne (s. Abb. 2.2) und im Fahrwasser unterhalb von Cuxhaven (s. Anlage 15 oben) haben sicher Auswirkungen auf die von der Nordsee einlaufende Tidewelle.

Zwischen Cuxhaven und Stadersand wird relativ wenig Tideenergie umgewandelt. Bis zum etwa 70 Strom-km oberhalb gelegenen Pegel Stadersand verändern sich die Wasserstände und der Tidehub relativ geringfügig. Die Scheitelwasserstände und Tidehalbwasserstände sind gegenüber Cuxhaven um 23 cm (MThw), 18 cm (MTnw) und 20,5 cm (MT^{1/2}w) erhöht. Bemerkenswert ist die Dämpfung des Tidehubs oberhalb Cuxhavens mit -17 cm am Pegel Glückstadt bei einer Erhöhung des MTnw um 20 cm und Absenkung des MThw um 3 cm. In dem anschließenden Stromabschnitt ist die Tide durch Krümmungen und Stromspaltungen wieder stärkeren Teilreflexionen unterworfen. Bis Stadersand erhöht sich der Tidehub um 22 cm. Er ist dort 5 cm höher als in Cuxhaven.

Bedingt durch die sich verändernden topografischen Verhältnisse oberhalb von Stadersand treten stärkere Reflexionen auf. Bis zum rd. 32 km oberhalb von Stadersand gelegenen Pegel Hamburg St. Pauli erhöht sich das MThw gegenüber Stadersand um 34 cm und das MTnw sinkt um 22 cm. Folglich vergrößert sich der Tidehub um 56 cm auf 360 cm am Pegel Hamburg St. Pauli. Oberhalb wird das Arbeitsvermögen durch weitere Teilreflexionen und Reibungsverluste zunehmend geschwächt, was an dem abnehmenden Tidehub bis zum rd. 13 km oberhalb gelegenen Pegel Bunthaus um 31 cm auf 329 cm zu erkennen ist. Etwa 25 km oberhalb von Hamburg St. Pauli beträgt der Tidehub noch 253 cm. Das MThw ist dabei 38 cm und das MTnw um 145 cm höher, was zusammen die Verkleinerung des MThb um 107 cm ergibt.

In der Elbe werden etwa ab oberhalb von Glückstadt bei höheren Abflüssen aus dem Binnenland die Ebbedauer und Ebbestromdauer verlängert und gleichzeitig Flutdauer und Flutstromdauer verkürzt. Mit abnehmenden Tidewassermengen verstärkt sich der Oberwasser-einfluss auf die Tidewasserstände und den Tidehub.

Das Oberwasser kann sich im oberen Abschnitt der Elbe auf die Tidewasserstände bis zu mehreren Dezimetern auswirken. Auch die Sedimentbewegungen werden entscheidend durch die jeweiligen Oberwasserverhältnisse geprägt. Das ist im Übrigen bei Sturmfluten nicht der Fall. Neben den periodischen und aperiodischen Einflüssen auf die Tidewasserstände werden die hydrologischen Randbedingungen auch durch anthropogene Eingriffe wie Strombau und Regelungsmaßnahmen verändert.

Die Veränderung des Tidehubs, die sich rechnerisch aus der Fahrrinnenanpassung einschließlich der strombaulichen Maßnahmen der UWA ergibt, ist exemplarisch in Abb. 2.8 dargestellt.

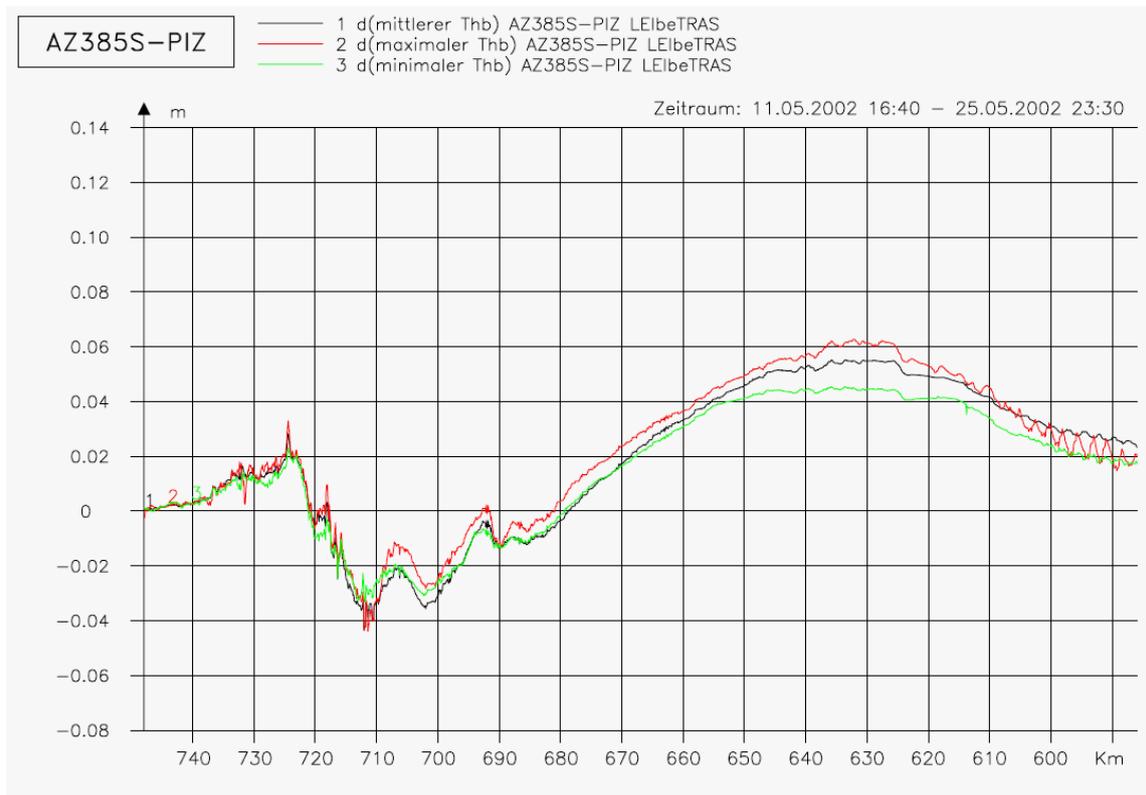


Abb. 2.8: Differenz des Tidenhubs (AZ 385 - PIZ) bei niedrigem Oberwasser, BAW 2006a

2.5.3 Brackwasserzone

Im Mündungsgebiet der deutschen Tideflüsse ist der Einfluss des Oberwassers auf die Tidewasserstände und den Tidehub von untergeordneter Bedeutung. Belastbare mathematische Zusammenhänge sind eher im oberen Tidegebiet nachweisbar.

Von besonderem Interesse sind jedoch die komplexen Strömungsbedingungen in der Brackwasserzone. In dem Durchmischungsbereich des von See her eindringenden Salzwassers und dem vom Binnenland zufließenden Süßwassers spielen die sich tideabhängig verändernden Salzgehalte und daraus entstehenden Dichteströmungen eine besondere Rolle.

Bei mittleren Oberwasserbedingungen liegt das untere Ende der Brackwasserzone in der Außenelbe (Abb. 2.9). Bei sehr niedrigen Binnenabflüssen rückt die obere Grenze stromauf etwa bis Glückstadt. Die schematische Darstellung zeigt die Veränderung der Salzgehalte von der Kenterung der Ebbeströmung (kleinster Wert am Ort A) und zur Flutstromkenterung (größter Wert am Ort A). Die tideabhängigen Schwankungen betragen bis zu $\Delta S > 10 \text{ ‰}$.

Der Brackwassereffekt verändert die Geschwindigkeitsprofile im Fahrwasser eines Tideflusses. Die ausgezogenen Linien in Abb. 2.10 stellen die Geschwindigkeiten in der Lotrechten im einheitlichen Wasser dar. Bedingt durch die Dichteunterschiede im Brackwasser ergeben sich die gestrichelt dargestellten Profile in Abb. 2.10. Danach werden die Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebbe an der Sohle stark geschwächt und bei Flut beträchtlich aufwärts gerichtet verstärkt. Der Brackwassereffekt bewirkt also einen stromauf gerichteten Geschiebetransport.

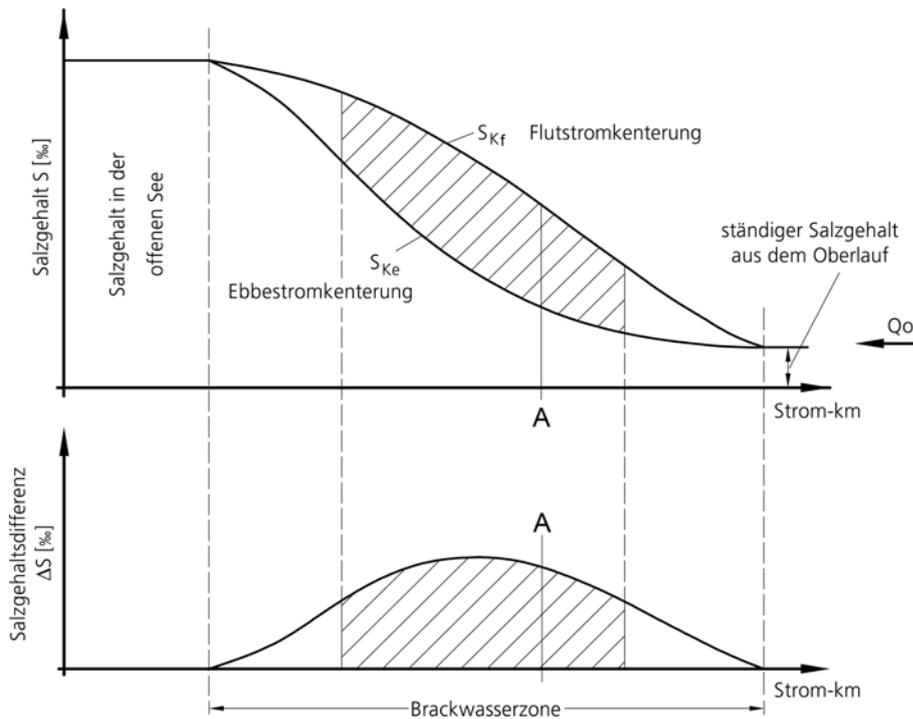


Abb. 2.9: Periodische Schwankungen des Salzgehaltes im Brackwassergebiet (schematisch)

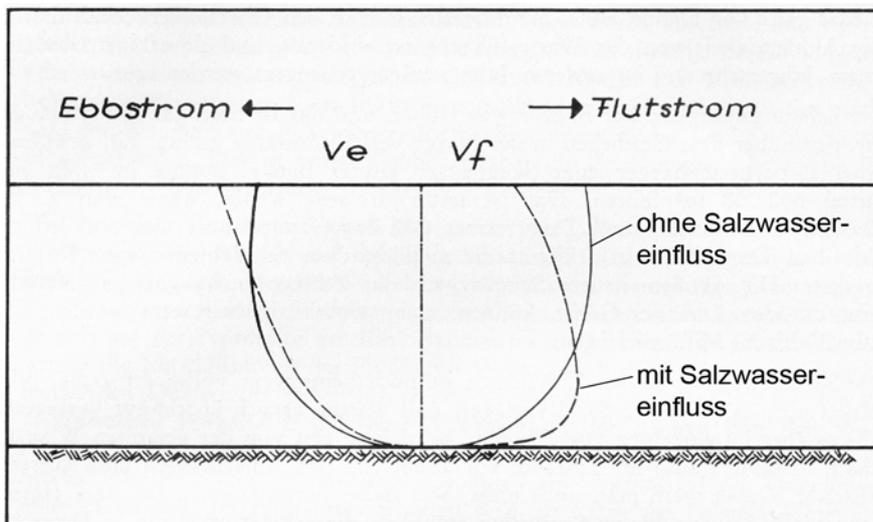


Abb. 2.10: Geschwindigkeitsprofile mit und ohne Salzwassereinfluss (schematisch)

In einer grundsätzlichen Betrachtung weist HENSEN (1941) nach, dass an der deutschen Nordseeküste der Flutstrom überwiegt. Ursächlich dafür ist die Verspätung der Strömungsumkehr nach Thw und Tnw und der Umstand, dass die Flutströmung bei höheren Wasserständen als die Ebbeströmung abläuft. Danach gibt es in den deutschen Tideflüssen einen Gleichgewichtspunkt der Strömungen. Oberhalb davon überwiegt der stromab gerichtete Sandtransport. Die Brackwassererscheinungen bewirken eine Aufwärtsverschiebung des Gleichgewichtspunktes für die Sohlströmungen und eine Abwärtsverschiebung für die Oberflächenströmungen. Höheres Oberwasser verursacht eine Verschiebung stromab. Er liegt in-

nerhalb der Brackwasserzone der Tideflüsse. Die Ausrichtung des resultierenden Geschiebetransports zeigt sich u.a. an der Ausrichtung der Tideriffel (NASNER, 1974).

2.5.4 Strömungsverhältnisse

Aufbauend auf den Abflüssen und Wasserständen ergeben sich die Strömungsgeschwindigkeiten. Das Gutachten zu den Änderungen der Hydrodynamik (BAW 2006a) untersucht den Spring-Nipptide-Zyklus vom 11.05. bis 25.05.2002 mit gemessenen Oberwasserabflüssen. Zusätzlich wird derselbe Zyklus unter Berücksichtigung des gewählten häufigsten Oberwasserzuflusses von 350 m³/s, eines hohen Oberwasserzuflusses von 1.500 m³/s sowie Kantenfluten (leichte Sturmfluten gemäß DIN 4049) untersucht. Der Salzgehalt am seeseitigen Rand des Modells wurde konstant auf 30 PSU festgelegt.

Die Strömungsverhältnisse im Untersuchungsgebiet sind in den Antragsunterlagen bzw. in den Gutachten der BAW zu den Antragsunterlagen umfassend erläutert. Sie werden hier nicht weiter im Detail beschrieben. Da die bisherigen Modellberechnungen im wesentlichen die übergeordneten Strömungsverhältnisse etc. erfassen und nicht ohne weiteres Werte für die lokal sehr begrenzten UWA herausgezogen werden können, wurden durch die BAW ergänzende Untersuchungen für die UWA-Standorte durchgeführt, s. [8], [9] und [10] aber auch Abschnitt 2.6. Die Strömungsgeschwindigkeiten üben den maßgebenden Einfluss auf die morphologischen Verhältnisse und auf die Dauerhaftigkeit der UWA aus.

Im Planfeststellungsbeschluss für die Fahrrinnenanpassung 1999 wurden umfangreiche Beweissicherungsmaßnahmen zur Auflage gemacht. Demzufolge liegen an verschiedenen Messpunkten Strömungsmessungen über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren vor, die zur Charakterisierung der Strömungsverhältnisse in der Elbe herangezogen werden können (vgl. Abb. 2.11 und BAW 2006a). Im Rahmen der Auswertung dieser Geschwindigkeitsmessungen konnte bisher kein belastbarer signifikanter Zusammenhang zwischen den Tideparametern, dem Süßwasserabfluss und den Fließgeschwindigkeiten hergestellt werden (s. FICKERT, 2008). Dies ist ebenfalls ein Indiz für die Komplexität der Zusammenhänge. Die Messungen an den Langzeitmessstellen wurden neben anderen Messergebnissen für die weitergehenden Untersuchungen der BAW herangezogen.

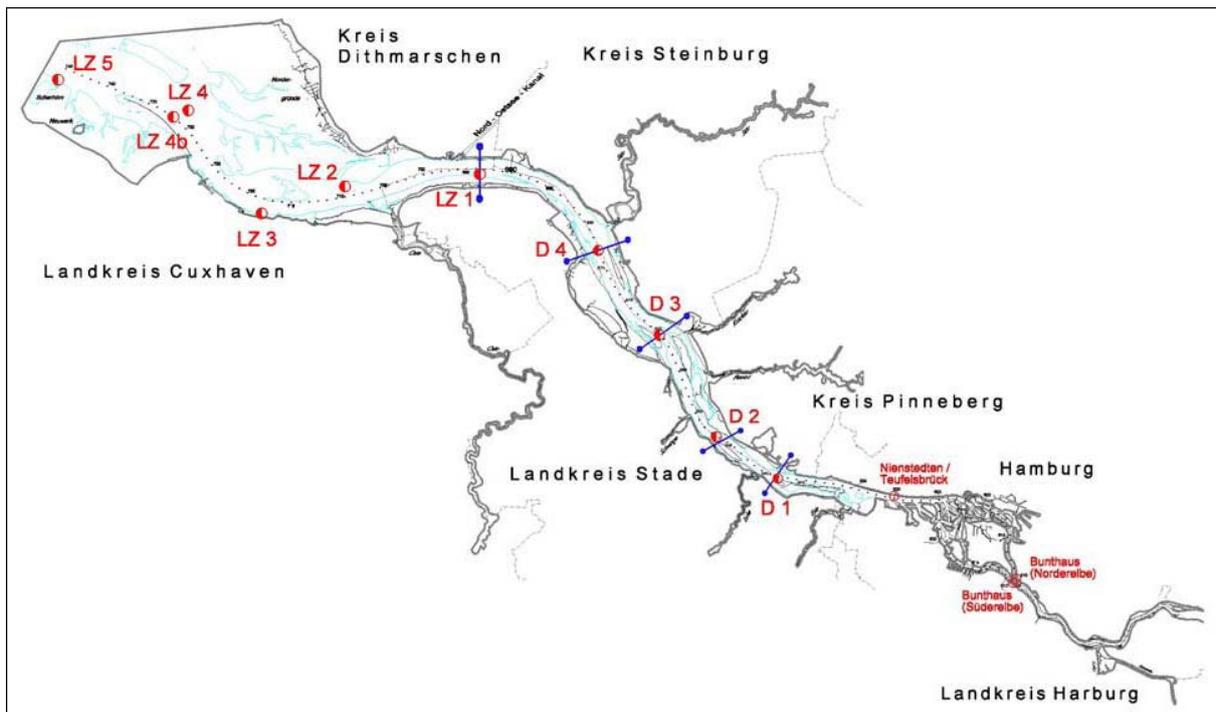


Abb. 2.11: Lage der Langzeit- (LZ) und Dauermessstationen (DZ) im Zuge der Beweissicherung zu Fahrrinnenanpassung 1999

2.5.5 Seegang (Windwellen)

Die Oberkanten der UWA liegen in einer Tiefenlage von -3,90 mNN bis -5,10 mNN (Medemrinne), -4,50 mNN (Neufelder Sand), -2,05 mNN (Glameyer Stack - Ost und West) bzw. -4,00 mNN, so dass nicht mit einer Belastung durch brechende Wellen zu rechnen ist. Lediglich beim Glameyer Stack liegt die Oberfläche der UWA auf einer Höhe, die LAT (Lowest Astronomical Tide) entspricht. Das Auftreten dieser Tide ist allerdings nur möglich, solange nicht gleichzeitig Windstau aus der Nordsee auftritt. Für das Entstehen von Windwellen sind allerdings gerade diese west- bis nord-westlichen Winde maßgebend, so dass ein Zusammentreffen der LAT mit hohen Windwellen als unwahrscheinlich anzusehen ist. Maßgebend für die Stabilitätsbetrachtungen an den UWA sind demzufolge keine brechenden Wellen, sondern die Orbitalgeschwindigkeiten unter den Wellen.

Maßgebend für die Entstehung von Windwellen sind die Topographie des Untersuchungsgebiets sowie Richtung und Geschwindigkeit des Windes. Für das Elbeästuar ist zumeist mit Winden aus westlicher Richtung zu rechnen (Abb. 2.12), die für das Untersuchungsgebiet im Referenzzeitraum der BAW überwiegend unter 8 m/s lagen. Parallel dazu wurden die Windverhältnisse im Bereich der Unter- und Außenelbe analysiert und die Häufigkeitsverteilungen ausgewertet. Die Bemessungswindverhältnisse wurden anhand der 80%igen Häufigkeit ausgewählt und sind – wie auch die daraus resultierenden Sohlgeschwindigkeiten – in Tab. 2.5 exemplarisch dargestellt.

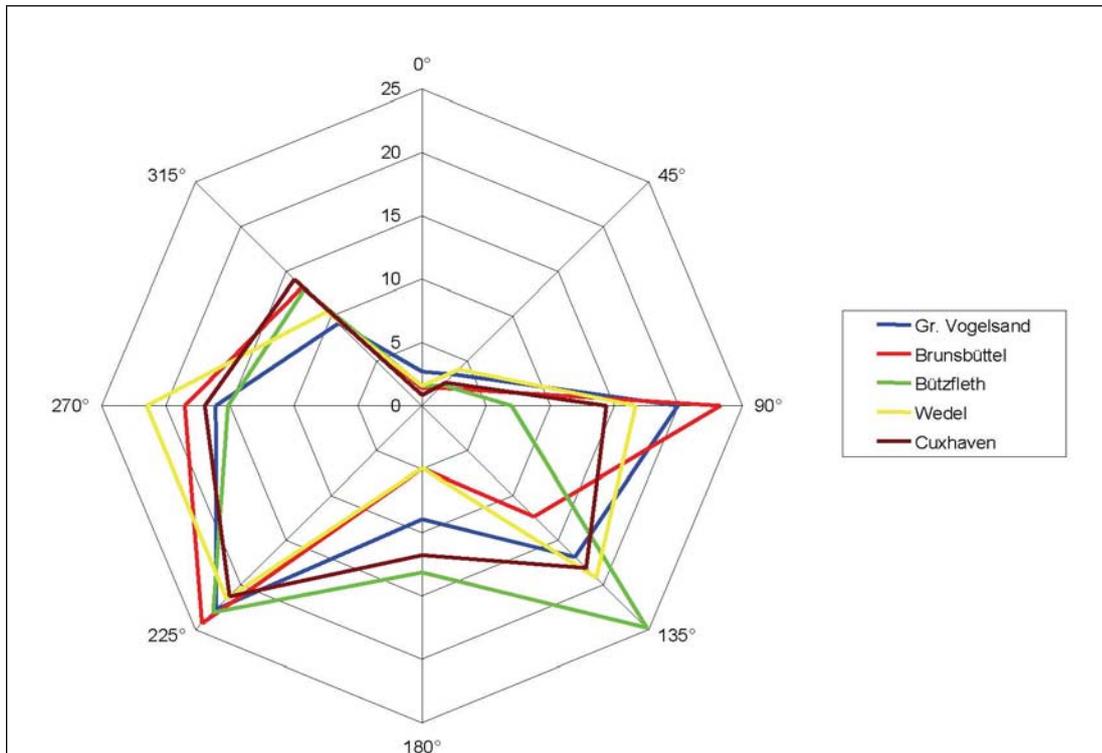


Abb. 2.12: Windrichtungshäufigkeit im Elbe-Gebiet (BAW, 2006a)

Tab. 2.5: Charakteristischer Seegang an den UWA Medemrinne und Neufelder Sand

Ort	Wasserstand [mNN]	Windrichtung [°]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Orbitalgeschwindigkeit u_{Sohle} [m/s]
UWA Medemrinne	7,5/7,5/7,5	270/300/330	32/32/32	0,43/0,44/0,40
UWA Neufelder sand	0,0/5,5/6,0	270/270/270	24/24/24	0,20/0,17/0,19
UWA Glameyer Stack	0,0/1,0/6,0	330/330/330	24/24/24	0,90/0,75/0,60

Quelle: Seegangsatlas der deutschen Nordseeküste, Franzius-Institut (http://www.fi.uni-hannover.de/seegangsatlas/reg_ver/start.htm)

2.6 Kurzzusammenfassung der Strömungsmodellierungen und statistischen Analysen der BAW zur Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen

2.6.1 Vorbemerkungen

Parallel zur Bearbeitung dieser Studie wurden von der BAW die in das Planfeststellungsverfahren eingebrachten hydrodynamischen Berechnungsergebnisse mit dem Hintergrund weiterentwickelt, detailliertere Aussagen über das Strömungsfeld und die statistische Verteilung der Fließgeschwindigkeiten als Bemessungsgrundlage für die UWA zu erhalten, s. [8], [9] und [10]. Diese Ergebnisse waren neben den zahlreichen anderen Informationsquellen zum

hydraulisch-morphologischen System im Einflussbereich der UWA die Grundlage für diese Studie.

Grundlage der Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen war jeweils das so genannte Feinmodell (hoch aufgelöstes dreidimensionales Berechnungsmodell, das den Berechnungen zu den Antragsunterlagen des Planfeststellungsbeschlusses mit einem 2-wöchigen Berechnungszyklus vom 11. bis 24. Mai 2002 zu Grunde lag). Aufbauend auf diesen Berechnungsergebnissen wurde anhand von weiteren Modellberechnungen bzw. weitergehenden statistischen Auswertungen die Tidedynamik von längeren Zeiträumen berücksichtigt.

Eine erneute Berechnung der Geschwindigkeitsunterschiede des planerischen Ist-Zustandes (PIZ) und des Ausbauzustandes (AZ) wurde durch die BAW im Rahmen dieser Studie nicht vorgenommen. Im PIZ waren die UWA in der Form berücksichtigt, wie sie in das Planfeststellungsverfahren eingebracht wurden. Im Zuge der Bearbeitung dieser Studie wurden die UWA auch auf Grundlage der ergänzenden Untersuchungen der BAW in der äußeren Form optimiert ohne dass daraus die Forderung nach einer erneuten Berechnung der bemessungsrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten ableiten ließe.

Nachfolgend sind sowohl das Vorgehen wie auch die wesentlichen Ergebnisse der BAW-Untersuchungen kurz beschrieben.

2.6.2 UWA Medemrinne und UWA Neufelder Sand

2.6.2.1 Vorgehensweise

Für die UWA Medemrinne und Neufelder Sand wurde durch die BAW im Wesentlichen in drei Schritten vorgegangen:

- Berechnung der Strömungsverhältnisse mit einem Grobmodell für einen Untersuchungszeitraum von 5 Jahren (2002 bis 2006) mit gemessenen Randbedingungen. Der Hintergrund in der Vergrößerung des Modells lag in der Beherrschbarkeit der Berechnungen für einen längeren Zeitraum begründet:
 - Das Grobmodell erfasst eine größere Dynamik des Tidespektrums (5-Jahres-Zyklus) und bringt somit fundiertere langzeitstatistische Informationen als das Feinmodell.
 - Das Grobmodell glättet aber auch systembedingt die Strömung durch die gröbere Gitterstruktur und die größeren Zeitschritte.
 - Die geometrischen Modellgrundlagen wurden jeweils aus der Topographie/Bathymetrie von 2004 generiert.
- Berechnung der Strömungsverhältnisse mit dem Feinmodell für einen Untersuchungszeitraum von 2 Wochen (11. bis 24. Mai 2002) mit gemessenen Randbedingungen. Dies sind die Berechnungsergebnisse, die in die Hauptgutachten der BAW eingegangen sind.
 - Anhand eines berechnungszellenspezifischen Korrekturfaktors wurden die Berechnungsergebnisse des Grobmodells auf die Ergebnisse des genaueren Feinmodells angepasst (für den berechneten 2-Wochen-Zyklus).
 - Das Feinmodell wurde ebenfalls verwendet um, die tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten auf den beiden UWA anzugeben.
- Abgleich der Berechnungsergebnisse des Feinmodells mit Naturmessungen

- Hier wurden verschiedene Naturmessdaten herangezogen (ADCP-Messfahrten, lokale Punktmessungen an Langzeit- und Dauermessstellen aus verschiedenen Zeiträumen).

In Abb. 2.13 und Abb. 2.14 sind exemplarisch die Häufigkeitsverteilungen der Strömungsgeschwindigkeiten an zwei ausgewählten Punkten der beiden UWA dargestellt. Es wird der Einfluss der Korrekturen deutlich.

2.6.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse für die UWA Medemrinne und Neufelder Sand lassen sich wie folgt zusammenfassen, s.a. Anlage 1 und Anlage 2 sowie Abschnitt 2.7:

- In Längsrichtung/Hauptströmungsrichtung der UWA liegen sehr gleichmäßig verteilte Strömungsgeschwindigkeiten vor; in Querrichtung sind die Geschwindigkeiten in der nordöstlichen, etwas tieferen Rinne etwas höher als in den flacheren Bereichen der UWA.
- Die Korrekturfaktoren haben eine z.T. deutliche Vergrößerung der rechnerischen Geschwindigkeiten für den Ausbauzustand (AZ) ergeben (durchschnittlich 20 bis 30%). Da die Anpassung modellbedingt ist, ist davon auszugehen, dass auch die rechnerischen Geschwindigkeiten für den planerischen Ist-Zustand (PIZ) sich vergleichsweise anpassen; die berechneten Veränderungen durch den Fahrrinnenausbau aber unverändert plausibel sind. Dies wurde durch die BAW bestätigt.
- Die Veränderungen der Strömung, die durch die UWA hervorgerufen werden, werden von der BAW in den Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren für die Medemrinne für den Flutstrom mit +0,15 bis +0,20 m/s und für den Ebbstrom mit +0,25 bis +0,35 m/s angegeben. Eine Korrektur wie für die tiefengemittelten Geschwindigkeiten hat nicht stattgefunden. Es ist aber davon auszugehen, dass die Differenzen auch bei einer weitergehenden Berücksichtigung der Korrekturen rechnerisch in der gleichen Größenordnung verbleiben.
- Die Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeiten durch den Bau der UWA Neufelder Sand sind in diesem Bereich eher geringfügig und lokal begrenzt. In einigen Bereichen und bei einigen Strömungssituationen wird eine geringfügige Erhöhung, bei anderen Bereichen und/oder Strömungssituationen eine geringfügige Reduzierung ausgewiesen.
- Der Seegangseinfluss im Sohlbereich (Orbitalgeschwindigkeit an der Sohle) ist gering (ca. 0,3 m/s). Außerdem wirkt er oszillierend und ist somit eher untergeordnet für den Transport von Geschiebe.
- Eine Berücksichtigung der Turbulenz (Fluktuation), die anhand der Messungen quantifiziert wurde, ist nicht zielführend, da sie in Berechnungsansätzen zum Transportbeginn nicht reflektiert ist.

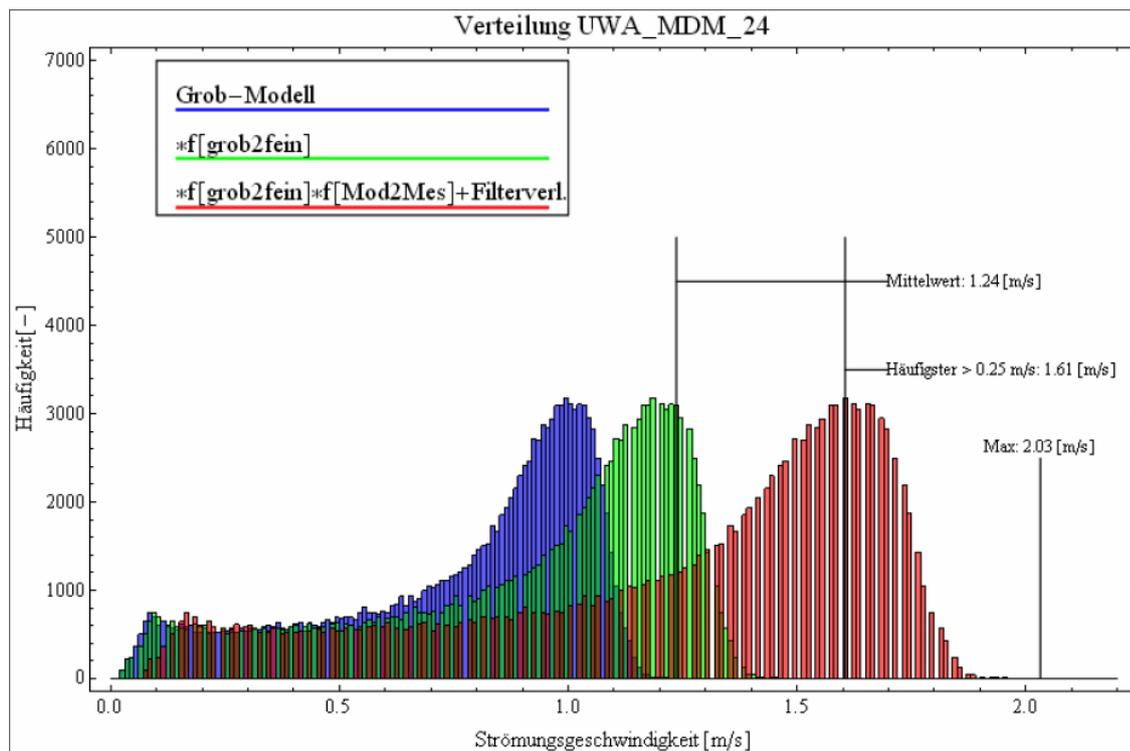


Abb. 2.13: Exemplarische Häufigkeitsverteilung der tiefengemittelten Geschwindigkeiten (hier: Pkt. 24, Punkt mit den höchsten Geschwindigkeiten auf der UWA Medemrinne)

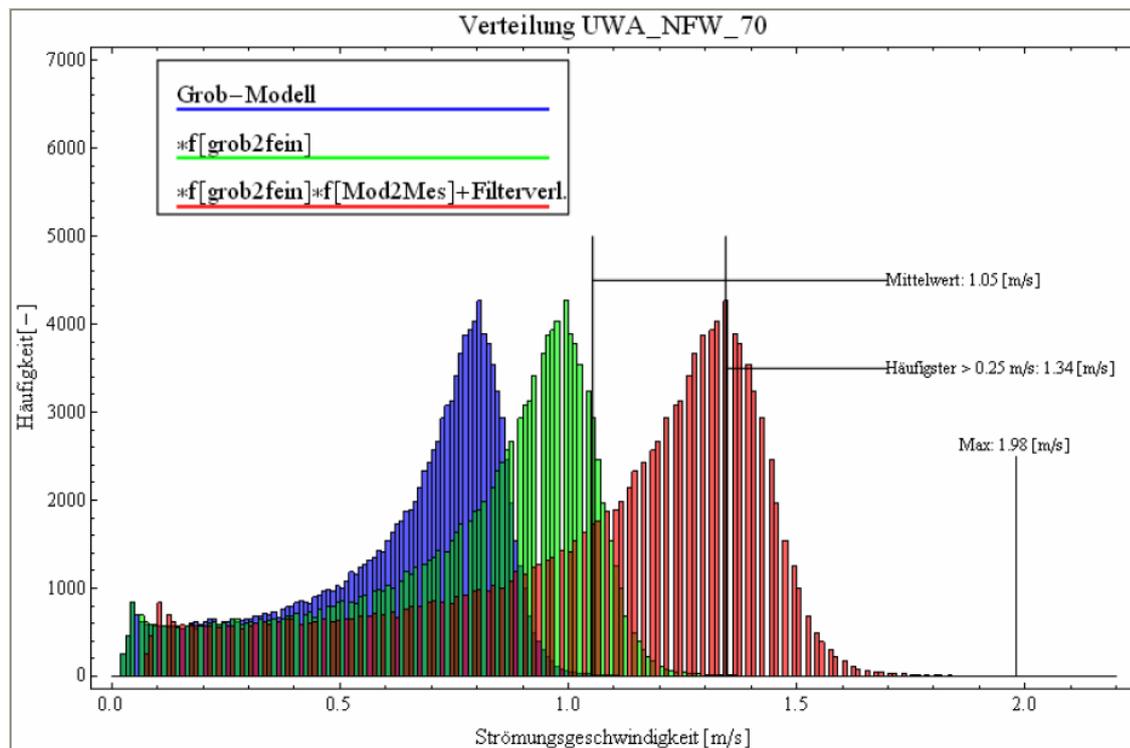


Abb. 2.14: Exemplarische Häufigkeitsverteilung der tiefengemittelten Geschwindigkeiten (hier: Pkt. 70, Punkt der LZ2 mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeiten auf der UWA Neufelder Sand)

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die weitergehende Bearbeitung der BAW eine Präzisierung der Ergebnisse erreicht wurde, auch wenn – wie bei allen Modellbetrachtungen – Restunschärfen in den Ergebnissen verbleiben. Dies ist aufgrund der Idealisierungen in der Modellbildung (vollständige Abbildung der natürlichen Verhältnisse in einem Modell ist nicht möglich) auch zu erwarten gewesen. Grundsätzlich muss bei der Bewertung der erweiterten Strömungsberechnungen der BAW berücksichtigt werden, dass das Modell nicht ursächlich für die Berechnung lokaler Geschwindigkeiten, die eine Bemessungsrelevanz haben, erstellt wurde, sondern dafür, großräumig die Auswirkungen der Fahrrinnenanpassung auf das Tidegeschehen aufzuzeigen. Die daraus resultierenden Unschärfen werden für die zu erstellende Studie im Rahmen des wasserbaulichen Erfahrungswissens berücksichtigt.

Unabhängig davon ist davon auszugehen, dass die Differenzen, die sich aus dem Bau der UWA ergeben, ausreichend genau erfasst wurden.

2.6.3 UWA Glameyer Stack West/Ost

2.6.3.1 Vorgehensweise

Für die Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen wurde von der BAW für die beiden UWA bei Glameyer Stack wie folgt vorgegangen:

- Die angegebenen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten basieren auf dem Feinmodell mit dem 2-Wochen-Zyklus (11. bis 24. Mai 2002).
- Eine Abgleich der Berechnungsergebnisse mit dem Grobmodell und dem 5-Jahres-Zyklus wie bei den UWA Medemrinne und Neufelder Sand wurde nicht durchgeführt, sondern ein statistisch basierter Abgleich mit der Langzeitmessstelle LZ 3 (im Bereich der UWA Glameyer Stack West). LZ 3 umfasst Geschwindigkeitsmessungen von knapp 10 Jahren (März 1997 bis Aug. 2006). Ab Mai 2008 liegen für eine neue Messstation mit leicht geänderter Position wieder Messdaten vor. In der Interimszeit wurden zwar auch Messungen durchgeführt, diese sind aufgrund nicht vergleichbarer Randbedingungen aber nicht für eine Bewertung heranzuziehen.
- Es wurden die Modellergebnisse des 2-Wochen-Zyklus an LZ 3 mit den Messwerten an LZ 3 verglichen und daraus Korrekturfaktoren ermittelt, die die Langzeitdynamik berücksichtigen. Die Korrekturfaktoren wurden separat für jede der beiden UWA anhand der Maximalwerte der jeweiligen Flut- und Ebbströmungsgeschwindigkeiten ermittelt

2.6.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW lassen sich wie folgt zusammenfassen, s.a. Anlage 3 und Anlage 4 sowie Abschnitt 2.7:

- Der 2-Wochen-Zyklus, der im Modell berechnet wurde, deckt auch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Langzeitbeobachtungen weitgehend ab.
- Die langzeitstatistischen Auswertungen an LZ 3 zeigen, dass 99,9% aller gemessenen maximalen Flut- und Ebbströmungen im Intervall zwischen 0,00 und 1,61 m/s auftraten. Der maximale Messwert betrug 1,76 m/s.
- Anhand eines Übertragungsfaktors wurde eine Anpassung der Modellgeschwindigkeiten an die gemessenen Naturwerte vorgenommen. Die Korrekturfaktoren betragen für die Flutströmung 0,99 (praktisch identische Maximalwerte zwischen Modell und Mes-

sung) und 1,91 für die Ebbströmung (Messwerte deutlich größer als die Berechnungswerte).

Es wurde jedoch seitens der BAW darauf hingewiesen, dass die Belastbarkeit der Messwerte an LZ 3 insbesondere der Ebbströmung mit Unsicherheiten behaftet ist. Da diese nicht abschließend ausgeräumt werden konnten, wurden seitens der BAW die auf der sicheren Seite liegenden höheren Geschwindigkeiten, die an LZ 3 gemessen wurden, für die Bildung der Korrekturfaktoren angenommen.

- Die Differenzen, die sich durch den Bau der UWA ergeben, sind in den ergänzenden Untersuchungen nicht ausgewiesen. In den Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren ist festgestellt worden, dass sich die tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten in der UWA Glameyer Stack Ost um bis zu 5 cm/s erhöhen. Die UWA Glameyer Stack West wurde erst später ins Verfahren aufgenommen und war zu dem Zeitpunkt noch nicht im Modell berücksichtigt. Demzufolge wurden für diese UWA keine Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen PIZ und AZ angegeben. Aufgrund der Gesamtbetrachtung der ermittelten Geschwindigkeitsveränderungen auf den UWA durch deren Bau und unter Berücksichtigung der lokalen Strömungsverhältnisse über dieser UWA, lässt sich mit hinreichender Genauigkeit abschätzen, dass auch für die UWA Glameyer Stack West die Geschwindigkeitszunahme durch den Bau auf weniger als 20 cm/s beschränkt bleiben.
- Die ADCP-Messungen in der Fahrrinne stromauf des Glameyer Stack spiegeln sich nach Aussage der BAW nicht exakt in den Modellberechnungen wieder. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, wie bereits bei den UWA Medemrinne erwähnt, dass das Modell nicht ursächlich für die Ermittlung von Bemessungsrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten erstellt wurde.

Aufgrund der Prallhanglage der geplanten UWA sind die Strömungsgeschwindigkeiten von den Geschwindigkeiten in der Fahrrinne und der Wassertiefe beeinflusst. Darüber hinaus ist eindeutig die abschattende Wirkung des Glameyer Stack und der westl. der UWA Glameyer Stack West angrenzenden Buhnen zu erkennen:

- An den fahrwasserseitigen Rändern sind die Geschwindigkeiten am größten und nehmen zum Ufer hin ab.
- Der Abstand zum Fahrwasser beeinflusst die Strömungsgeschwindigkeit (Glameyer Stack Ost höhere Geschwindigkeiten als bei Glameyer Stack West).
- Die Geschwindigkeitsunterschiede in Längsrichtung der UWA sind vergleichsweise gering.

Zusammenfassend lässt sich für die beiden UWA bei Glameyer Stack feststellen, dass die Strömungsverhältnis im Wesentlichen von der Prallhanglage und vom Einfluss des Glameyer Stack geprägt sind. Die von der BAW ermittelten bemessungsrelevanten tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten liegen für den Flutstrom unter 1,5 m/s und für den Ebbstrom allerdings bis zu 2,75 m/s.

2.6.4 UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf

2.6.4.1 Vorgehensweise

Für die Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen wurde von der BAW für die drei UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf wie folgt vorgegangen:

- Die von der BAW angegebenen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten basieren auf dem Feinmodell mit dem 2-Wochen-Zyklus(11. bis 24. Mai 2002).
- Eine Abgleich der Berechnungsergebnisse mit dem Grobmodell und dem 5-Jahres-Zyklus wie bei den UWA Medemrinne und Neufelder Sand wurde nicht durchgeführt, sondern ein statistischer Abgleich mit den Strömungsmessergebnissen der Langzeitmessstelle LZ 1 auf der gegenüberliegenden Elbseite. LZ 1 umfasst ca. 11 Jahre Messdaten. Es wurden die Modellergebnisse des 2-Wochen-Zyklus an LZ 1 mit den Messwerten an LZ 1 verglichen. Die Ebbströmung wird an der LZ 1 aufgrund der Gleithanlage tendenziell eher schlecht erfasst.
 - Im 2-wöchigen Berechnungszeitraum werden die Extremwerte der Naturmessung erwartungsgemäß nicht erreicht.
 - Anhand von Häufigkeitsfraktile des Berechnungszeitraums (2 Wochen) und des Messzeitraums (11 Jahre) werden Korrekturfaktoren getrennt für Ebb- und Fluttströmung angegeben, anhand derer Korrekturen mit dem im Berechnungszeitraum aufgetretenen Maximalwert vorgenommen werden können. Die Korrekturfaktoren sind für Ebb- und Fluttströmung sehr ähnlich und können aus ingenieurtechnischer Sicht als gleich bewertet werden.

2.6.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW lassen sich wie folgt zusammenfassen, s.a. Anlage 5, Anlage 6 und Anlage 7 sowie Abschnitt 2.7:

- Aufgrund der Prallhanglage der geplanten UWA sind die Strömungsgeschwindigkeiten von den Geschwindigkeiten in der Fahrrinne beeinflusst:
 - An den fahrwasserseitigen Rändern sind die Geschwindigkeiten am größten und nehmen zum Ufer hin ab.
 - Der Abstand zum Fahrwasser beeinflusst maßgebend die Strömungsgeschwindigkeit (UWA St. Margarethen am größten, UWA Brokdorf am kleinsten).
 - In Längsrichtung der drei UWA gibt es praktisch keine Geschwindigkeitsunterschiede.
 - Der im Berechnungszeitraum aufgetretene höchste Wert der Strömung entspricht etwa dem 95% Fraktile des Messzeitraums von 11 Jahren.
 - Die Differenzen, die sich durch den Bau der UWA ergeben, sind in den ergänzenden Untersuchungen nicht ausgewiesen. In den Antragsunterlagen für das Planfeststellungsverfahren ist insbesondere für die UWA Scheelenkuhlen ist eine Verringerung der Strömungsgeschwindigkeiten (Wert etwa 0,1 m/s) angegeben; die UWA St. Margarethen weitgehend ohne Einfluss auf die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten und bei der UWA Brokdorf eine geringfügigen Erhöhung (Wert etwa 0,05 m/s) der Geschwindigkeitswerte festgestellt worden.

Zusammenfassend lässt sich für diese drei UWA feststellen, dass die bemessungsrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten, wie sie von der BAW in den ergänzenden Untersuchungen angegeben wurden, deutlich niedriger liegen als bei den vorher betrachteten UWA. Eine Optimierung der Form der UWA, insbesondere für die UWA St. Margarethen, anhand dieser Ergebnisse ist geboten.

2.7 Zusammenfassung der hydraulischen Planungsparameter

Erwartungsgemäß sind die tidebedingten Strömungsgeschwindigkeiten für die Auslegung der UWA-Bauwerke von maßgebender Bedeutung. Es wurden folgende tiefengemittelte Geschwindigkeiten von der BAW im Bereich der UWA berechnet (Hinweis: die Geometrie der UWA entsprach der Geometrie, wie sie in das Planfeststellungsverfahren eingereicht wurden):

- Medemrinne:
 - höchster Wert auf der UWA (nach vollst. Kalibrierung) 2,0 m/s
 - häufigster Wert (des betrachteten 5-Jahres-Zeitraums): 1,6 m/s
- Neufelder Sand:
 - höchster Wert auf der UWA (nach vollst. Kalibrierung): 2,2 m/s
 - häufigster Wert (des betrachteten 5-Jahres-Zeitraums): 1,4 m/s
- Glameyer Stack West:
 - höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe: 1,5/1,0 m/s
 - Berücksichtigung der Dynamik, Maximalwert, Flut/Ebbe: 1,5/2,0 m/s
- Glameyer Stack Ost:
 - höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe: 1,25/1,5 m/s
 - Berücksichtigung der Dynamik, Maximalwert, Flut/Ebbe: 1,25/2,75 m/s
- St. Margarethen:
 - höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe: 1,6/1,9 m/s
 - Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe: 1,7/2,1 m/s
- Scheelenkuhlen:
 - höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe: 1,4/1,5 m/s
 - Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe: 1,5/1,7 m/s
- Brokdorf:
 - höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe: 1,3/1,3 m/s
 - Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe: 1,4/1,4 m/s

Der Einfluss des Seegangs ist von untergeordneter Bedeutung, hier sind auch nur die sohl-nahen Orbitalgeschwindigkeiten von Interesse, da mit brechenden Wellen nur in ganz au-ßergewöhnlichen Situationen zu rechnen ist, die wiederum nicht maßgebend für die Bemessung der UWA sind. Einzig bei den UWA Glameyer Stack ist mit höheren Seegangspareme-tern zu rechnen:

- Medemrinne: sohlnahe Orbitalgeschwindigkeit bis 0,45 m/s
- Neufelder Sand: sohlnahe Orbitalgeschwindigkeit bis 0,2 m/s
- Glameyer Stack Ost/West: sohlnahe Orbitalgeschwindigkeit bis 0,9 m/s (Hinweis: Auf-grund der Höhenlage der Oberkante der UWA von ca. -2,0 mNN können hier bei nied-rigen Wasserständen und demzufolge geringer Wassertiefe recht hohe sohlnahe Orbi-talgeschwindigkeiten auftreten. Diese überlagern sich aber nicht mit den höchsten ti-debedingten Strömungsgeschwindigkeiten, da diese nicht bei Niedrigwasserstand auf-treten. Außerdem sind die Strömungsgeschwindigkeiten bei den höheren Sohlagen auf der UWA geringer als auf den Böschungen Richtung Fahrwasser, s. Anlage 3 und

Anlage 4. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die seegangsbedingten Strömungen auch für die UWA Glameyer Stack von untergeordneter Bedeutung sind.)

Schiffsinduzierte Wellen können durchaus eine nennenswerte Höhe im Untersuchungsgebiet erreichen. Für die Belastung der UWA spielen sie aber eine sehr geringe Rolle, da die UWA vergleichsweise weit unter Wasser liegen und somit nur bei außergewöhnlichen Niedrigwasserständen von Bedeutung sein können. Sie wurden nicht separat berücksichtigt, da sie morphologisch nicht relevant sind.

Weitere Belastungen wie schiffsbedingte Rückströmungen etc., die sich mit der Hauptströmung überlagern können, sind in den bereits sehr großen Gewässerquerschnitten unterhalb Brunsbüttels praktisch vernachlässigbar ($\Delta v_R < +0,2$ m/s) und wurden nicht weiter berücksichtigt. Für die UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf, die in den noch engeren Querschnittsbereichen der Elbe liegen, wurde durch die BAW (BAW 2006d) eine Zunahme der Rückstromgeschwindigkeit von $\Delta v_R < +0,4$ m/s für MTnw angegeben. Die wesentliche Ursache dieser vergleichsweise großen Auswirkung liegt in den größeren Bemessungsschiffen und nur nachrangig in der Querschnittseinengung durch die UWA begründet. Vor dem Hintergrund, der relativ kurzen Belastungsdauer und der häufig deutlich geringeren Auswirkung (nur der Begegnungsverkehr ungünstiger Bemessungsschiffe im Tideniedrigwasserfall erzeugt diese Zunahme der Rückstromgeschwindigkeit), wurde diese Zunahme nur konstruktiv berücksichtigt.

3 Bemessung und Konstruktion der Unterwasserablagerungsflächen

3.1 Bemessungs- und Konstruktionsphilosophie

3.1.1 Vorbemerkungen

Durch die weitergehende Anpassung der Fahrrinne der Elbe an die moderne Containerschiffahrt tritt eine Veränderung der lokalen und z.T. auch der großräumigen hydraulisch-morphologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet ein. Diese Änderungen beziehen sich auf Wasserstände, Strömungsgeschwindigkeiten, Salzgehalte und -verteilungen und damit einhergehend auf ein angepasstes Transportverhalten der Sedimente, insbesondere des Geschiebes. Dieses angepasste Transportverhalten kann lokal zu Erosionen oder Sedimentationen führen. Die Veränderungen sind aber vergleichsweise gering und schwer quantifizierbar, da das Elbeästuar ein hydraulisch-morphologisch hochdynamisches Gebiet ist, bei dem die Ursachen und die Wirkung generell wie auch durch anthropogene Eingriffe nur begrenzt zuzuordnen sind, BAW 2006b.

Die Unterwasserablagerungsflächen sollen bei dem beantragten Fahrrinnenausbau nicht nur als Lagerstätten für das Baggergut fungieren, sondern auch strombaulichen Zwecken dienen, die die hydraulisch-morphologischen Auswirkungen der Fahrrinnenanpassung kompensieren oder abmildern. Diese Maßnahmen sollen so gestaltet werden, dass sie die gebotene Nachhaltigkeit (Wirkstabilität) aufweisen.

Bei Baumaßnahmen in und an alluvialen Gewässern wie der Elbe sind vergleichsweise weiche Bauweisen zu bevorzugen, da harte Bauweisen praktisch immer eine Gegenreaktion in Form von Verwirbelungen hervorrufen, die zu Kolken, Erosionen, Umströmungen oder auch gänzlichen Verlagerung von Strömungen führen können, s.a. BAW 2006b. Weiche Bauweisen führen zu sanfteren Reaktionen, da sie sich den Strömungsverhältnissen anpassen können; harte Bauweisen können sich nicht oder nur sehr begrenzt anpassen und führen demzufolge zu entsprechend starken Gegenreaktionen ggf. auch schnell zum eigenen Versagen z.B. infolge von Unterspülungen und Kolken.

Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge ist es aber nicht möglich, die genaue Reaktion des hydraulisch-morphologischen Systems präzise voraus zu sagen, da weder physikalische noch numerische Modelle derzeit in der Lage sind, derart komplexe Verhältnisse vollumfänglich nachzubilden. Mit den aufwändigen und komplexen Berechnungen und Untersuchungen der BAW, die Gegenstand der Antragsunterlagen sind, wurden die Anpassungsbedingten Auswirkungen u.a. auf die Strömung und die Morphologie im Rahmen heute möglicher numerischer Methoden untersucht und beschrieben. Naturbeobachtungen (Messungen etc.) sind aufwändig und geben nur ein stichpunktartiges Abbild des Ist-Zustandes und lassen nur in Verbindung mit dem wasserbaulichen Erfahrungswissen des planenden Ingenieurs eine zuverlässige Prognose zu. Optimaler Weise werden alle verfügbaren Instrumente beim gebotenen Zwang zur Wirtschaftlichkeit eingesetzt. Demzufolge ist während der Bauausführung und auch nach Abschluss der Baumaßnahmen ein Monitoring-Programm erforderlich, um im Bedarfsfall Anpassungen an den UWA vornehmen und die Unterhaltungsmaßnahmen darauf abstimmen zu können. Die Bauweisen müssen so gewählt werden, dass sie anpassbar sind, denn das Untersuchungsgebiet wird sich mit, aber auch ohne eine weitere Fahrrinnenanpassung verändern so wie es auch in der Vergangenheit passiert ist.

3.1.2 Tidedämpfende und strömunglenkende UWA

Die beiden UWA Medemrinne (tidedämpfende Wirkung) und Neufelder Sand (strömunglenkende Wirkung) sind mit Abstand die beiden bedeutendsten UWA der Gesamtmaßnahme, da sie die größte strombauliche Wirkung erzielen. Insbesondere die UWA Medemrinne liegt in einem hochdynamischen Gebiet, d.h. hier finden derzeit die größten Umlagerungen statt. Während der Abzweig der Medemrinne weitgehend lagestabil ist, verlagert sich der nördliche Bogen der Medemrinne massiv nach Norden. Ein Durchbruch zum nördlich gelegenen Klotzenloch ist nach Aussage des WSA Hamburg bereits aufgetreten. Allein aufgrund dieses Durchbruchs sind bereits spürbare Auswirkungen auf das hydraulisch morphologische Regime zu erwarten.

Die tidedämpfende Wirkung der UWA Medemrinne basiert auf einer Querschnittseinengung der Medemrinne. Die Einengung wird durch den Bau einer über 3 km langen Schwelle auf der gesamten Breite der Medemrinne erreicht. Der theoretische Ansatz, dass auch ein kompakter Damm oder gar eine Wand als Querbauwerk in der Rinne den gleichen Effekt erzielt, ist vordergründig zwar richtig, allerdings wäre dann eine harte Bauweise erforderlich, um der einlaufenden Tideenergie dauerhaft Stand zu halten. Eine derartige Bauweise würde aber zwangsläufig zu sehr großen bauwerksbedingten Verwirbelungen führen, die voraussichtlich sehr kurzfristig zu Umströmungen, Kolken und massiven, ungewollten und unkontrollierbaren Veränderungen im gesamten hydraulisch-morphologischen System in diesem Bereich führen würden. Abgesehen davon, dass eine derartige Bauweise in keinster Weise einer adäquaten, modernen gewässermorphologischen Bauweise entspricht, ist hiermit keine nachhaltige Maßnahme geschaffen, die die gewünschte Wirkstabilität über längere Zeiträume gewährleistet.

Diesen Grundüberlegungen für die Medemrinne folgend werden für die UWA Medemrinne und auch für die UWA Neufelder Sand Bauweisen empfohlen, die weitgehend mit dem für den Fahrrinnenausbau gewonnenen Sand auskommt. Um die Zwischenbauzustände realisieren zu können (der Bau der UWA Medemrinne und Neufelder Sand wird sich über Monate erstrecken) und zur Erhöhung der Wirkstabilität (lokale Abdeckungen etc.) sind in geringem Umfang auch gröbere Sand- und Kiesfraktionen für lokale Sicherungsmaßnahmen vorgesehen.

Diese beiden UWA werden somit durch die Strömung und die damit einhergehenden Erosionen und Sedimentationen geformt. Durch ihre Massigkeit der UWA und den gezielten Einsatz von Sicherungsmaßnahmen wird die Mobilität kontrolliert und die Dauerhaftigkeit gewährleistet. Die UWA können sich im Rahmen der dynamischen Prozesse im Untersuchungsgebiet verändern und angepasst werden. Ganz wesentlich bei einer derartigen Bauweise ist ein begleitendes Monitoring Programm, das bereits während der Bauzeit einsetzt. Damit ist die Möglichkeit gegeben, in die Entwicklung der UWA steuernd eingreifen zu können. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die UWA – dies gilt insbesondere für die UWA Medemrinne – regelmäßig beobachtet und bedarfsweise unterhalten werden müssen. Großer Vorteil bei einer derartigen Bauweise ist bei den hochdynamischen Prozessen im Elbe-Ästuar (s. z.B. Abb. 2.2), dass die Bauwerke an die sich verändernden Verhältnisse angepasst werden können. Bei einem starren Bauwerk wäre dies nicht der Fall und die dann existierenden Bauwerke wären mittelfristig Störkörper oder Hindernisse.

Derartig große Eingriffe wie der Bau der beiden UWA Medemrinne und Neufelder Sand rufen zwangsläufig initiale Umlagerungsprozesse hervor, die genau den oben beschriebene Effekt „durch die Strömung geformt“ darstellt. Um diese Initialumlagerungen zu minimieren wurden die UWA gegenüber der in das Planfeststellungsverfahren eingebrachten Formgebung strömungsoptimiert. Diese Optimierung resultiert im Wesentlichen auf den weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW, s. Abschnitt 2.6 und 2.7 sowie [8]. Sie stellen eine Weiterentwicklung und keine Umplanung dar. Insbesondere die Höhenlagen wurden unverändert beibehalten, da sie erwartungsgemäß den maßgebenden Effekt auf die strombauliche Wir-

kung der UWA ausüben. Es wird erwartet, dass die von der BAW ermittelten hydraulischen Wirkungen (Wasserstand, Erosions-/Sedimentationsverhalten etc.) durch diese Optimierungen nicht beeinflusst werden.

3.1.3 Unterwasserböschungssichernde UWA

Anders als bei den oben beschriebenen UWA Medemrinne und Neufelder Sand wirken sich die andere UWA Glameyer Stack Ost und West, St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf nur lokal sehr begrenzt auf die hydraulisch-morphologischen Verhältnisse aus. Sie dienen vielmehr als langfristig angelegter Unterwasserschutz für die angrenzenden Unterwasserböschungen und damit auch für die Ufer- und Hochwasserschutzbauwerke (Buhnen, Deiche, etc.). Sie sind vergleichsweise schmal auf dem Streifen zwischen Elbufer und Fahrinne und haben keinen Platz, um sich lagemäßig verändern zu können. In der Gesamtform sollten sie also dauerhaft Bestand haben, wobei auch für diese Bauwerke durch ein Monitoring begleitet werden sollten.

Die Bauwerke werden mit ausgeprägt weichen Konturen gestaltet (flache Böschungsneigungen, keine Kanten, Überschütten von Sicherungsmaßnahmen mit Sand zur Reduzierung von Turbulenzeinflüssen etc.). Unabhängig davon werden an den Bauwerken wie z.B. an Randdämmen und Fußsicherungen lokale Verwirbelungen hervorgerufen, die möglicherweise zu Verformungen des Bauwerks aufgrund von Kolken etc. führen können. Die Bauwerke werden so konzipiert, dass sie flexibel sind und sich ggf. auftretenden lokalen Kolken anpassen können oder auch mit vergleichsweise wenig Aufwand nachgebessert werden können, aber grundsätzlich den lokalen hydrodynamischen Belastungen (im Wesentlichen Strömung) standhalten.

Die UWA wurden ebenfalls geringfügig in ihrer lagemäßigen Gesamtgeometrie optimiert, um die oben angesprochenen Verwirbelungen gering zu halten und die Dauerhaftigkeit der UWA zu erhöhen. Auch diese Optimierungen wurden anhand der weitergehenden Strömungsrechnungen der BAW und den vorliegenden bathymetrischen Daten durchgeführt.

3.2 Berechnungsgrundlagen

3.2.1 Vorbemerkungen

Die quantitative Berechnung von morphologischen Prozessen gehört zu den schwierigsten Aufgaben des Wasserbaus. Trotz Jahrhunderte langer Forschung sind immer noch zahlreiche physikalische Prozesse der Sedimentbewegung nicht abschließend geklärt. Dies gilt sowohl für den Transportbeginn, den quantitativen Transport von Geschiebe (der Schwebstofftransport hat bei den UWA eine vernachlässigbare Bedeutung) als auch für Deckwerksmessungen. Demzufolge können auch moderne numerische Modelle wie die analytischen Berechnungen keine exakten Ergebnisse liefern.

Neben der Erfahrung des planenden Ingenieurs ist die Beobachtung einhergehend mit den daraus ggf. abzuleitenden Unterhaltungsmaßnahmen ein probates Mittel, um Überdimensionierungen zu begrenzen.

Auf der anderen Seite stehen die einwirkenden Größen (Strömungskräfte, Wellenbelastung etc.). Diese wurden durch die BAW für die UWA mit einem hoch aufgelösten dreidimensionalen numerischen Modell anhand eines 2-Wochen-Zykluses (11.05. bis 25.05.2002) berechnet und weitergehend anhand eines 5 Jahres-Zykluses (2002 bis 2006) sowie anhand von Naturmessungen statistisch ausgewertet. Unabhängig vom betriebenen Aufwand verbleiben

Differenzen zu den Naturmessungen, die aber bei derartigen Arbeiten nicht zu unterbinden sind, da Modelle immer nur eine Idealisierung der Natur darstellen.

Für die rechnerischen Betrachtungen sind die nachfolgend erläuterten Aspekte zu berücksichtigen und sinnvoll zu bewerten.

3.2.2 Geschiebetransportbeginn

3.2.2.1 Berechnungsansätze

Im Rahmen dieser Studie wurden schwerpunktmäßig die beiden Ansätze von HJULSTRØM (1935) und SHIELDS (1936) herangezogen.

Der Ansatz von HJULSTRØM (1935) basiert auf mittleren Geschwindigkeiten und ist dimensionsbehaftet, s. Abb. 3.1. Die HJULSTRØM-Kurve wurde für Wassertiefen von etwa 1 m ermittelt. Außerdem wurde der Zusammenhang anhand von gleichförmigem Kornmaterial ermittelt.

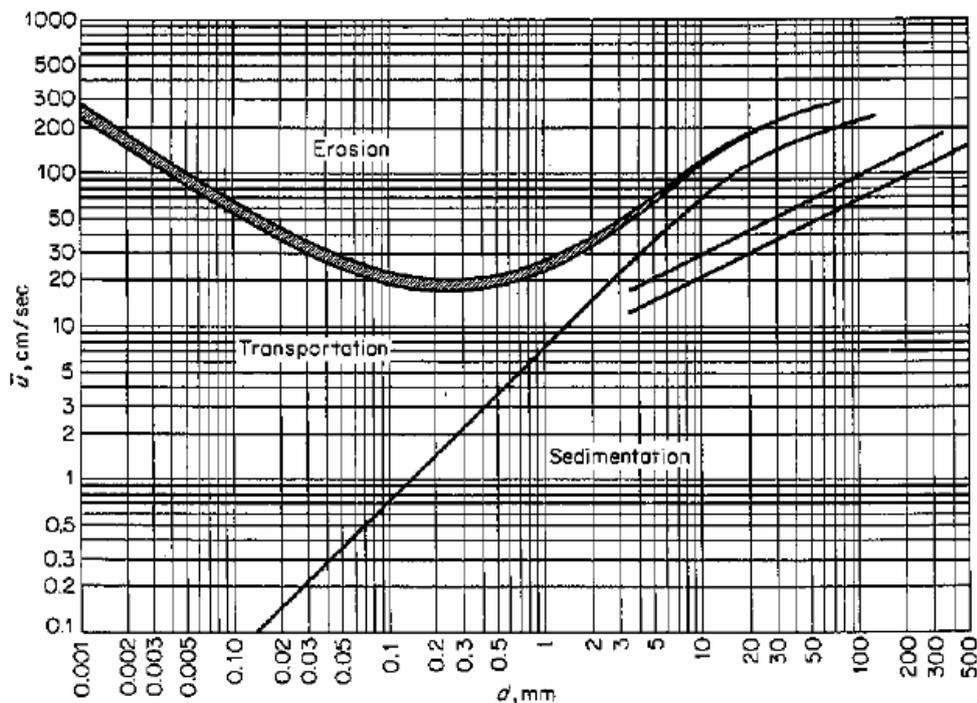


Abb. 3.1: Transportbeginn von kohäsionslosen Sedimenten nach HJULSTRØM (1935)

SHIELDS (1936) hat die wohl grundlegendste Arbeit für den Transportbeginn von Sedimenten erstellt. Er stellt den Transportbeginn in Abhängigkeit der dimensionslosen Kenngrößen kornbezogene Reynolds-Zahl Re^* und kornbezogene Froude-Zahl Fr^* dar, s. Abb. 3.2. Basis dieser Kenngrößen ist die Sohlschubspannungsgeschwindigkeit v_0^* bzw. die Sohlschubspannung τ_0 . Die Ergebnisse von SHIELDS basieren auf eigenen Versuchen in einer 40 cm breiten Versuchsrinne sowie auf den Versuchsergebnissen Dritter.

Beide Autoren weisen eine nennenswerte Streubreite Ihrer Versuchsergebnisse aus.

Der Ansatz von SHIELDS wird in zahlreichen weiterführenden Arbeiten als Grundlage herangezogen. Verschiedene Autoren geben eine abschnittsweise Parametrisierung der Kurve an und stellen somit einen scharfe, so in der Natur nicht vorliegende Grenze dar (VAN RIJN,

1984; SOULSBY, 1997; DWA 2003 etc.). Insbesondere für kleine Reynolds-Schubspannungen (etwa $Re^* < 5 \cdot 10^0$) finden sich in der Literatur deutlich abweichende Ergebnisse und entsprechende andere mathematische Zusammenhänge (z.B. VAN RIJN, 1984, s. Vergleichsberechnung nach SHIELDS in Anlage 9).

Für den Ansatz von SHIELDS ist ebenfalls eine Angabe zur Geschwindigkeitsverteilung erforderlich, wenn man nur mit tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten arbeitet (im vorliegenden Fall hat die BAW sowohl bei den Untersuchungen für die Antragsstellung wie auch in den ergänzenden Strömungsuntersuchungen zur Vereinfach der Darstellung tiefengemittelte Geschwindigkeiten angegeben). Hier wurde folgender, logarithmischer Ansatz für eine raue ebene Sohle für breite Gewässer ohne Uferinfluss angesetzt.

$$v_{m,cr} = v_{0,cr} \cdot 2,5 \ln\left(11 \frac{h}{k}\right)$$

mit:

- $v_{m,cr}$ = kritische tiefengemittelte Geschwindigkeit [m/s]
- $v_{0,cr}$ = kritische Sohlschubspannungsgeschwindigkeit [m/s], aus der SHIELDS-Kurve entnommen
- h = Wassertiefe [m]
- k = Rauheitshöhe, hier Korndurchmesser [m], z.B. $k = 3 \cdot d_{50}$

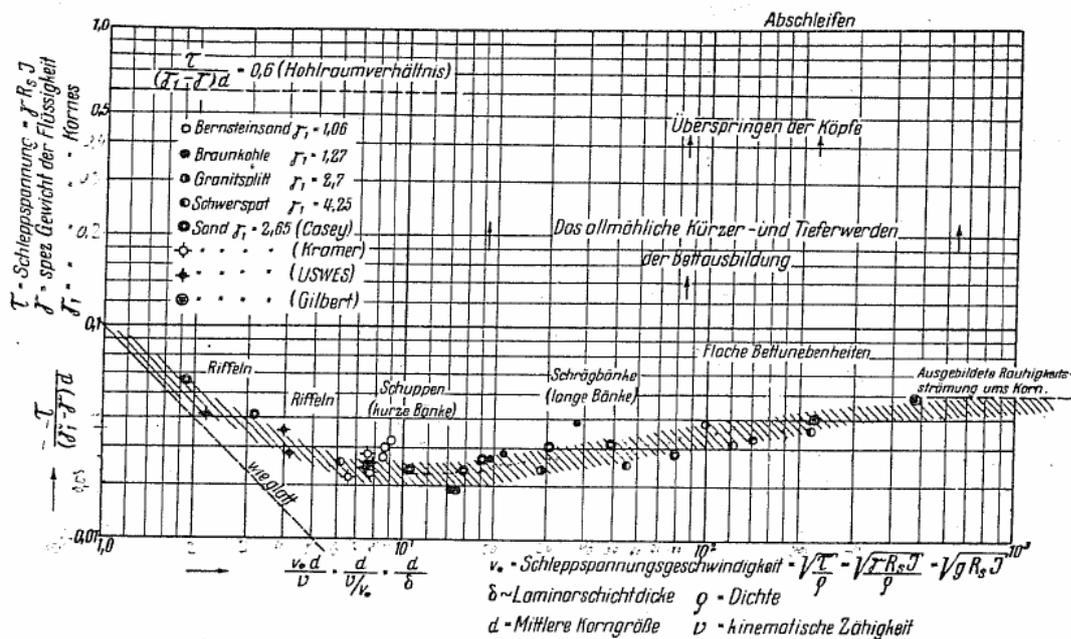


Abb. 3.2: Transportbeginn von kohäsionslosen Sedimenten nach SHIELDS (1936)

Der Ansatz von SHIELDS wurde für Gefälleströmungen (in Fließgewässern) entwickelt. Verzerrte Strömungsprofile, wie sie z.B. im Bereich der Brackwasserzone mit dem Einfluss des Salzgehaltes oder im Bereich von Riffel- und Dünenstrecken vorliegen, sind naturgemäß nicht erfasst, s. u.a. Abb. 2.10. Hierfür wären andere Geschwindigkeitsprofile gegenüber dem hier eingesetzten, im Absatz vorher beschriebenen Geschwindigkeitsprofil erforderlich.

Beide Ansätze – und dies gilt auch für andere Berechnungsansätze – weisen also Einschränkungen auf, die bei der Anwendung der Ansätze kritisch zu berücksichtigen sind. Im

optimalen Fall können Messungen zu Vergleichszwecken zur Wahl eines Berechnungsansatzes herangezogen werden. Derartige Informationen zum Transportbeginn liegen für die Elbe aber nicht vor.

3.2.2 Vergleich von Transportansätzen in der Literatur

Die Problematik der Berechnung wird in nachfolgenden dargestellten Vergleichsrechnungen deutlich, bei denen verschiedene Ansätze, die hier nicht im Einzelnen erläutert sind, miteinander verglichen wurden. In den Abb. 3.3 und Abb. 3.4 ist erkennbar, dass für Korndurchmesser von 1 mm und kleiner, wie sie im Untersuchungsgebiet der Elbe weitgehend vorliegen, die Abweichungen der kritischen Schubspannungen in der Größenordnung einer Zehnerpotenz liegen.

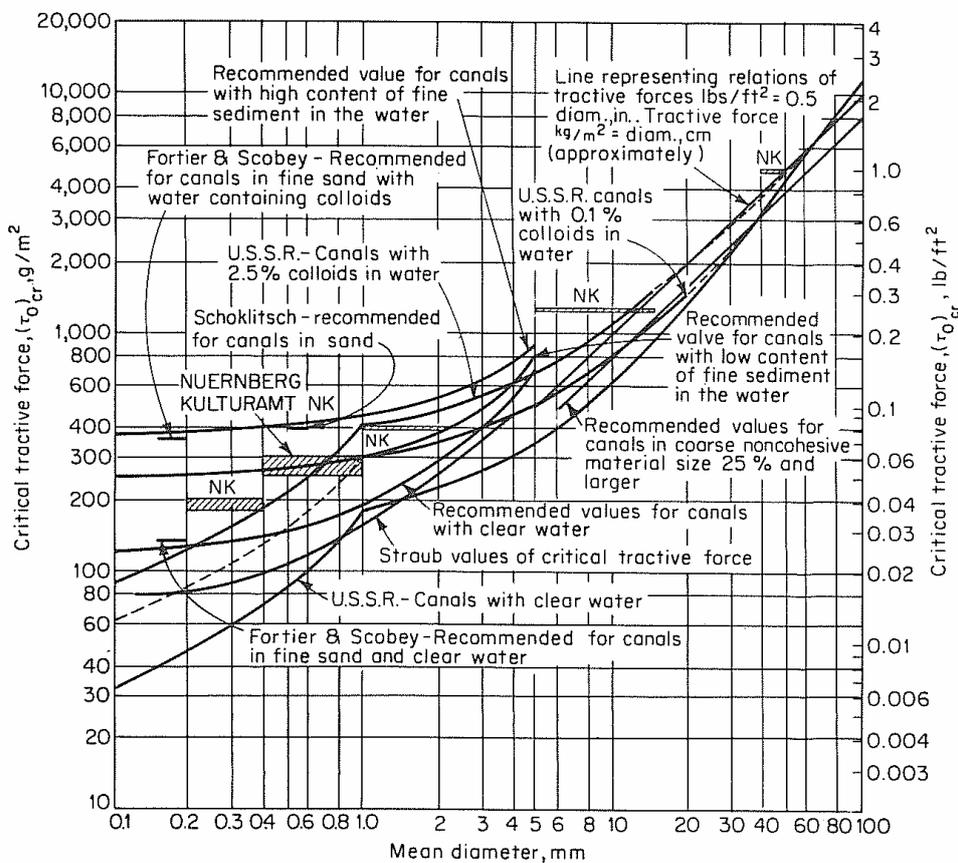


Abb. 3.3: Kritische Schubspannung in Abhängigkeit des Korndurchmessers (nach LANE, 1953 aus GRAF, 1984)

Der Transportbeginn ist auf analytischem Weg also nur mit einer erheblichen Unschärfe zu bestimmen, so lange keine Kalibrierungsmöglichkeit für einen Berechnungsansatz vorliegt.

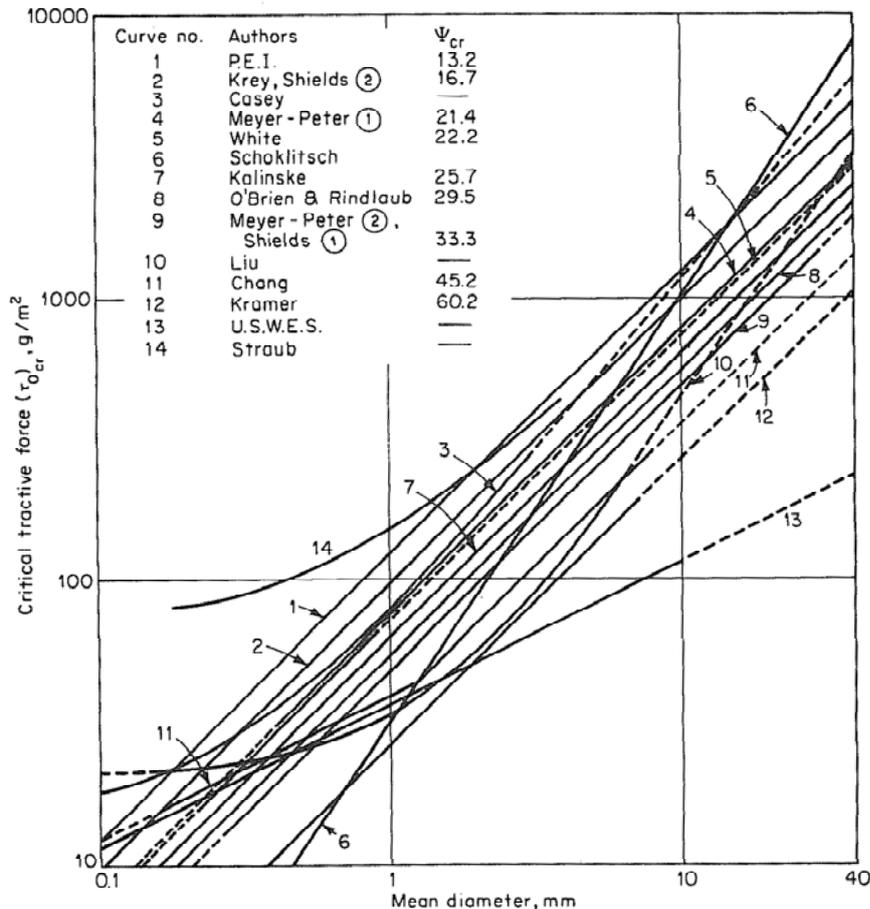


Abb. 3.4: Kritische Schubspannung in Abhängigkeit des Korndurchmessers (nach CHIEN, 1954 aus GRAF, 1984)

3.2.2.3 Überprüfung der Ansätze für das Projektgebiet

Nach SHIELDS und HJULSTRØM fangen die Sedimente im Projektgebiet sich bei folgenden mittleren Fließgeschwindigkeiten an zu bewegen, s.a. Anlage 8 und Anlage 9 (Korndurchmesser: $d = 0,05$ bis $0,5$ mm):

- HJULSTRØM: $v_m \approx 0,15$ bis $0,25$ m/s
- SHIELDS: $v_m \approx 0,4$ bis $0,5$ m/s

Diese kritischen Geschwindigkeiten sind den Antragsunterlagen zufolge (flächenhafte Darstellung der Strömungsgeschwindigkeiten, BAW 2006a) auch für die mittleren Tidegeschwindigkeiten nahezu für das gesamte Projektgebiet überschritten. Dies gilt insbesondere für alle UWA-Standorte. Die Betrachtungen des residuellen Geschiebetransports der BAW zeigen diesen Sachverhalt ebenfalls, s. BAW 2006b. Andere Faktoren wie z.B. biogene Verfestigungen, der Einfluss der Lagerungsdichte oder Deckschichtbildungen bleiben hierbei unberücksichtigt.

Unabhängig von diesen rechnerischen Ergebnissen ist aber festzustellen, dass verschiedene Gebiete morphologisch sehr wohl stabil sind bzw. sich in einem dynamischen Gleichgewicht befinden. Da sich aus der Betrachtung zum Transportbeginn nicht ohne weiteres auf die morphologische Stabilität, die in diesem Zusammenhang von Interesse ist, folgern lässt, werden insbesondere die Geschwindigkeitsveränderungen durch die UWA berücksichtigt.

3.2.3 Geschiebetransport

Der Geschiebetransport hat insofern eine Relevanz, da zum einen die enormen morphologischen Änderungen im Untersuchungsgebiet Resultat der intensiven Geschiebebewegungen sind und zum anderen – der Bemessungsphilosophie folgend – weiche Bauwerke erstellt werden sollen, die auch einer morphologischen Anpassung unterliegen können.

Für den quantitativen Geschiebetransport bzw. für die Geschiebetransportkapazität sind die zu erzielenden Berechnungsgenauigkeiten, wenn nicht detaillierte Kalibrierungsmessungen vorliegen, vergleichbar ungenau wie für den Transportbeginn, s. z.B. PERNECKER/VOLLMERS 1965 in Abb. 3.5. Für die komplexen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes mit

- makroskopischen Transportkörpern/Strombänken über mehrere hundert Meter Länge,
- überlagert von kleineren Transportkörpern, jeweils mit Höhen bis zu 5 Metern und mehr (z.T. nochmals mit Riffeln überlagert)
- mit biogenen Verfestigungen in Wattgebieten
- den komplexen Verhältnissen der Tideströmung

lassen keine detaillierte Berechnung ohne Kalibrierungsmessungen weder analytisch noch numerisch zu. Dazu kommen die fortlaufenden Unterhaltungsbaggerungen an der Fahrrinne, die in das natürliche System eingreifen.

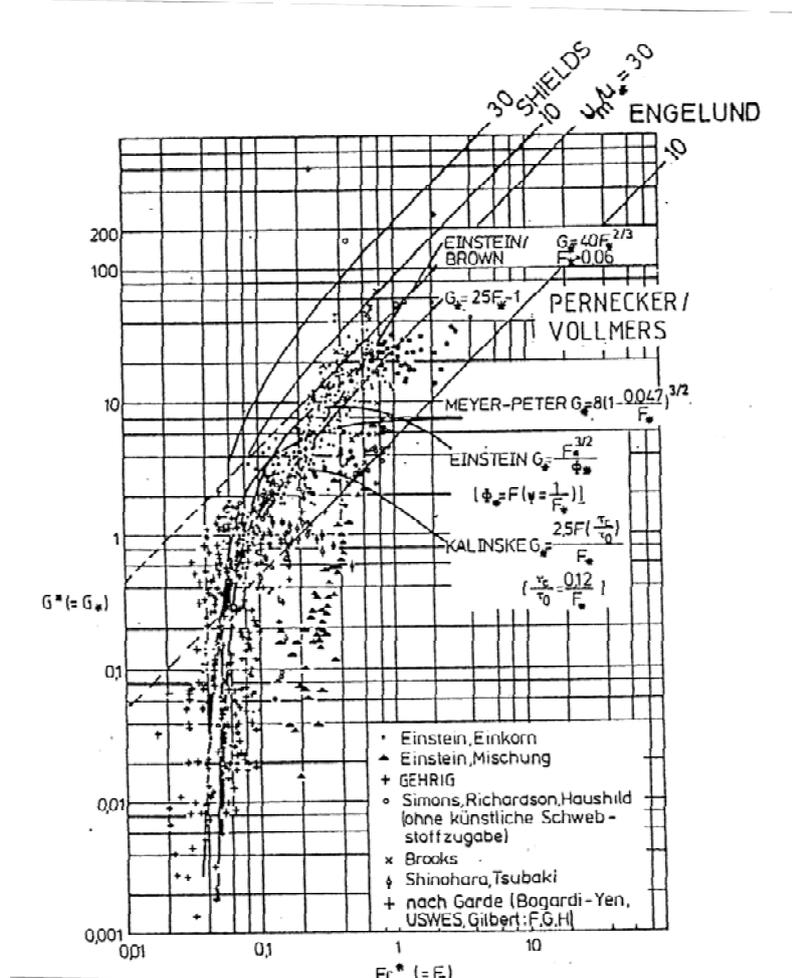


Abb. 3.5: Streuung von Messwerten und Abweichungen zwischen Messung und Rechnung von Geschiebetransport (nach PERNECKER, VOLLMERS, 1965)

Die in Abschnitt 2.3 zusammengefassten Informationen zum Sedimentkataster zeigen eine vergleichsweise geringe Variabilität der Kornfraktionen im Untersuchungsgebiet. Aufgrund der doch sehr ungleichen Fließgeschwindigkeiten waren größere Differenzen zu erwarten. Auf der anderen Seite sind sehr große Unterschiede im residualen Transport festzustellen, was sich z.B. in den morphologischen Veränderungen zeigt (z.B. starke nordwärts Bewegung der Medemrinne im nördlichen Bogen, massive Sedimentationen bei Elbe-km 723 bis 727, s.a. BAW 2006b). Dagegen sind andere Bereiche, z.B. der Abzweig der Medemrinne von der Fahrrinne aber auch Prallhangbereiche vergleichsweise stabil, d.h. obwohl Geschiebebewegungen stattfinden, befindet sich der Bereich offenbar in einem weitgehenden morphodynamischen Gleichgewicht.

Eine Transportberechnung, die z.B. für die Medemrinne eine zeitlich definierbare Veränderung quantifiziert, ist nach dem Stand der Wissenschaft derzeit noch nicht mit einer zufriedenstellenden Genauigkeit möglich. Die BAW gibt in ihrem morphologischen Gutachten Tendenzen für morphologische Entwicklungen an, weist aber auch eindringlich auf die erreichbaren Genauigkeiten hin. Vergleichsberechnungen der BAW mit anderen Modellen zeigen zwar grundsätzlich die gleichen Tendenzen auf, die Quantitäten weichen aber deutlich voneinander ab und die Ergebnisse sind sehr parametersensibel. Demzufolge werden keine Transportberechnungen durchgeführt.

3.2.4 Deckwerksbemessung

Die Bemessung von Deckwerken basiert dem Grunde nach auf den gleichen Überlegungen wie die Berechnungsansätze zum Transportbeginn von Sedimenten. Zahlreiche Ansätze basieren z.B. auf einem Schubspannungsansatz vergleichbar zum Transportbeginn nach SHIELDS. Abweichend zum Transportbeginn werden aber auch besondere Turbulenz- und geometrische Strukturen berücksichtigt. Dies können z.B. die Einwirkungen aus Wellen, aus Impulsstrahlen, aus Böschungsneigung und Strömungsrichtung oder anderen Einflüssen sein. In der Regel sind diese Einflüsse durch semi-empirische Beiwerte erfasst.

Dem Ziel der Deckwerksbemessung folgend, einen stabilen und dauerhaften Schutz vor dem hydrodynamischen Angriff zu gewährleisten, ergibt eine Deckwerksbemessung in der Regel deutlich größere Korndurchmesser als sie nach der Berechnung des Transportbeginns von Sedimenten ermittelt werden. In der „Studie zur „Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Einfassungsbauwerken für Unterwasserablagerungsflächen“ (IMS 2006) sind ausführliche Erläuterungen zur Deckwerksbemessung gegeben.

Dort wurde bereits aufgezeigt, dass mit einer Deckwerksbemessung, unabhängig davon mit welchem Ansatz im Detail die Bemessung durchgeführt wird, deutlich größere Steindurchmesser als mit einem Ansatz zum Transportbeginn von Sedimenten berechnet werden, s.a. Abschnitt 3.2.2. Im Sinne des strombaulichen Konzepts der Fahrinnenanpassung (wirkstabile UWA verbunden mit nachhaltigen Bauweisen) sind Deckwerke als Schutz der UWA Medemrinne und Neufelder Sand aber nicht nachhaltig, da sie zu starre Bauwerke ergeben würden, die zu ungewünschten, nicht prognostizierbaren morphologischen Reaktionen führen würden.

Weitergehende, detaillierte Betrachtungen zur Deckwerksbemessung sind demzufolge hier nicht erforderlich, da eine Bemessung in Anlehnung an eine Deckwerksbemessung nicht zielführend ist.

3.2.5 Fazit der rechnerischen Betrachtungen

Die rechnerischen Betrachtungen zur Dimensionierung der UWA bzw. der Abdeckungen und/oder der Randeinfassungen haben gezeigt, dass eine erhebliche Unschärfe der Berechnungsergebnisse vorliegt. Eine begründete Festlegung auf einen Berechnungsansatz, der im Untersuchungsgebiet den Transportbeginn von Geschiebe treffend beschreibt, lässt sich anhand der aufgezeigten Ergebnisse und Betrachtungen nicht sicher durchführen: Rechnerisch findet in den zu untersuchenden Abschnitten über weite Tidephasen ein intensiver Geschiebetransport statt (mit dynamischen Gleichgewichten in zahlreichen Bereichen, in denen praktisch keine morphologischen Veränderungen stattfinden).

Unabhängig vom Berechnungsansatz zur Bestimmung des Geschiebetransportbeginns lässt sich aber offensichtlich feststellen, dass für Sicherungsmaßnahmen von ausgewählten Bereichen der UWA Material erforderlich ist, das sich aus den Baggerarbeiten der Fahrrinnenanpassung nicht gewinnen lässt, sondern in das Gebiet transportiert werden muss.

Als Fazit lässt sich hieraus ziehen, dass die klassische Bemessung zum Transportbeginn von Geschiebe nur ein Baustein in der Bemessung und Konstruktion der UWA darstellt. Weitere Bausteine sind die Interpretation der bisher aufgetretenen morphologischen Prozesse, die ingenieurmäßige Erfahrung, die die komplexen Zusammenhänge berücksichtigt, und darauf aufbauend ein Monitoring Programm, um mögliche Auswirkungen der verbleibenden Unschärfe der Berechnung (resultieren sie nun aus der Berechnung der Einflussgrößen wie Strömungsgeschwindigkeit, Wellenangriff etc. oder aus der Bemessung der Bauwerksteile wie Korndurchmesser von Abdeckungs- und Sicherungsmaterialien etc.) zu begleiten.

Von grundlegender Bedeutung ist, dass die Bauweisen so angelegt sind, dass sie an die zukünftigen Entwicklungen der Elbe-Morphologie angepasst werden können. Diese weichen Bauweisen werden in einem derart komplexen System wie dem hier betrachteten Untersuchungsgebiet sinnvoller Weise durch ein Monitoring-Programm begleitet.

3.3 Bemessung der Teilbauwerke der UWA

3.3.1 Bemessungsrelevante Strömungsgeschwindigkeiten

Die Varianz der Strömungsgeschwindigkeiten in tidebeeinflussten Gewässern ist außerordentlich groß. Neben den tidebedingten Schwankungen liegen auch Abhängigkeiten vom Spring-Nipp-Tide-Zyklus und vom Oberwasserzufluss vor. Darüber hinaus kommen die natürlichen Schwankungen bis hin zu Extremereignissen.

In Anlage 10 sind beispielhaft die Strömungsgeschwindigkeiten für die LZ 3a bei der UWA Glameyer Stack West dargestellt. Hierbei handelt es sich um Punktmessungen ca. 2,5 m über der Sohle. Die Verteilung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten, wie sie von der BAW auf Grundlage ihrer Modellberechnungen angegeben wurden, stellen sich aber vergleichbar dar. Anhand von statistischen Auswertungen können, wie es auch von der BAW im Rahmen der weitergehenden Untersuchungen getan wurde, Informationen über die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten gewonnen werden, die auch Aussagen über nicht im Messzeitraum aufgetretene Extrem-Geschwindigkeiten zulassen. In Abhängigkeit des Beobachtungszeitraumes steigt die Verlässlichkeit der statistischen Aussagen und somit die Genauigkeit der Aussagen.

Unter Berücksichtigung der Zielstellung der Fahrrinnenanpassung, wirkstabile Strombaumaßnahmen mit der Errichtung der UWA umzusetzen, ist nicht die größte jemals gemessene bzw. erwartete Strömungsgeschwindigkeit für eine Bemessung maßgebend, da sie nur sehr kurz wirksam ist und somit kaum Einfluss auf die bettbildenden Prozesse nimmt. Sie hat keinen Einfluss auf die Wirkstabilität der UWA. Im Gegenteil würden sich dadurch starre Bau-

werke ergeben, die in dem dynamischen morphologischen System als Störkörper fungieren und auch zu unwirtschaftlichen Bauweisen führen würden.

Eine allgemeingültige Definition eines Quantils der Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten, das für derartige Bemessungsaufgaben heranzuziehen ist, gibt es nicht. In Abhängigkeit der Zielstellung der geplanten Maßnahme, von Risiken und Schadenspotenzialen und in Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit liegt diese Entscheidung in der Hand des planenden Ingenieurs. kann ebenfalls nicht allgemeingültig als Bemessungsgeschwindigkeit angegeben werden, da trotz hoher Strömungsgeschwindigkeiten und damit verbundener hoher Transportkapazitäten ein Gleichgewichtszustand (zumindest ein zeitlich begrenzter Gleichgewichtszustand) vorliegen kann, bei dem keine morphologischen Veränderungen stattfinden.

Letztendlich ist es sinnvoll, anhand einer rechnerischen Grenzwertbetrachtung lage- und Bauwerksabhängig einen Korndurchmesser zu ermitteln, der unter den gegebenen Randbedingungen die gewünschte Wirkstabilität aufweist. Vor dem Hintergrund, dass der Bemessungsansatz einen deutlich größeren Einfluss auf die Wahl eines lagestabilen Korndurchmessers aufweist als die exakte Bestimmung einer Bemessungsgeschwindigkeit, wird im folgenden Abschnitt eine Grenzwertbetrachtung für die in Abschnitt 2.7 zusammen gestellten Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt. Da nicht die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten für eine Bemessung maßgebend sind sondern geringere Geschwindigkeiten, wird vereinfachend mit den Maximalwerten gerechnet, der geringe und seltene Einfluss der Orbitalgeschwindigkeiten aus Wellenbelastung (bis 0,45 m/s, s.a. Hinweise zu den sohnahen Orbitalgeschwindigkeiten in Abschnitt 2.7) und der Rückströmung infolge einer Schiffspassage dafür aber vernachlässigt.

3.3.2 Kritischer Korndurchmesser im Bereich der UWA - Grenzwertbetrachtung

In den vorhergehenden Abschnitten wurden verschiedene Berechnungsansätze aufgezeigt und eingehend auf die Komplexität der rechnerischen Beurteilung des Problems eingegangen. In Tab. 3.1 sind vergleichend für alle UWA-Lokationen nach den Ansätzen von SHIELDS und HJULSTRØM berechnete kritische Korndurchmesser zusammengestellt und in Tab. 3.2 die daraus resultieren Sedimentfraktionen. Nach dem Ansatz von HJULSTRØM werden deutlich größere Korndurchmesser berechnet als mit dem Ansatz von SHIELDS.

Für die Verteilung der Fließgeschwindigkeiten über die UWA gilt grundsätzlich die gleiche Aussage: Aufgrund der vergleichsweise geringen Geschwindigkeitsunterschiede, wie sie in den weitergehenden Untersuchungen der BAW ermittelt wurden, ergeben sich ebenfalls vergleichsweise geringe Unterschiede der kritischen Korndurchmesser, wenn eine flächige Abdeckung eingebaut werden sollte. Auch hier ist die Wahl des Berechnungsansatzes dominierend gegenüber der Varianz, die sich aus der Geschwindigkeit ergibt, s. Anlage 11 und Anlage 12.

Unabhängig von der hier berechneten Dimension der Korndurchmesser ist aber auch zu berücksichtigen, dass der Bau der UWA nur einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Strömungsgeschwindigkeit hat, s. BAW 2006a und BAW 2006b. Durch den Bau der UWA wurde eine Erhöhung der tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeit über der UWA von etwa 20 bis 30 cm/s durch die BAW berechnet; bei der UWA Neufelder Sand liegt rechnerisch nahe zu keine Geschwindigkeitsänderung vor, s.a. Abschnitt 2.6.

Tab. 3.1: Rechnerischer kritischer Korndurchmesser des Geschiebes im Untersuchungsgebiet nach HJULSTRØM und SHIELDS für verschiedene ausgewählte Strömungsgeschwindigkeiten über den UWA

Tiefengemittelte Strömungsgeschw. [m/s] ¹	krit. Korndurchm. n. SHIELDS (1936) [mm]	krit. Korndurchm. n. HJULSTRØM (1935) [mm]	Bemerkung
2,1 m/s 1,6 m/s	10 5	27 16	UWA Medemrinne höchster Wert auf der UWA (nach vollst. Kalibrierung) häufigster Wert (des betrachteten 5-Jahres-Zeitraums)
2,2 m/s 1,4 m/s	12 4	30 14	UWA Neufelder Sand höchster Wert auf der UWA (nach vollst. Kalibrierung) häufigster Wert (des betrachteten 5-Jahres-Zeitraums)
1,5 / 1,0 m/s 1,5 / 2,0 ¹ m/s	5 / 2 5 / 9	15 / 9 15 / 24	UWA Glameyer Stack West höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe Berücksichtigung der Dynamik, Maximalwert, Flut/Ebbe
1,25 / 1,5 m/s 1,25/2,75 m/s	3 / 5 3 / 19	11 / 15 11 / 59	UWA Glameyer Stack Ost höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe Berücksichtigung der Dynamik, Maximalwert, Flut/Ebbe
1,6 / 1,9 m/s 1,7 / 2,1 m/s	5 / 8 6 / 10	16 / 22 18 / 27	UWA St. Margarethen höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe
1,4 / 1,5 m/s 1,5 / 1,7 m/s	5 / 5 5 / 6	14 / 15 15 / 18	UWA Scheelenkuhlen höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe
1,3 / 1,3 m/s 1,4 / 1,4 m/s	4 / 4 4 / 4	12 / 12 14 / 14	UWA Brokdorf höchster Wert auf der UWA (für 2-WochenZyklus 2002), Flut/Ebbe Berücksichtigung der Dynamik mit 99%-Quantil, Flut/Ebbe

Tab. 3.2: Erforderliche Sedimentfraktion für eine Sohlsicherung im Untersuchungsgebiet nach HJULSTRØM und SHIELDS für verschiedene ausgewählte Strömungsgeschwindigkeiten über den UWA

Tiefengemittelte Strömungsgeschw. [m/s]	krit. Korndurchm. n. SHIELDS (1936) [mm]	Sediment-Fraktion für eine Sohlsicherung nach SHIELDS bemessen	krit. Korndurchm. n. HJULSTRØM (1935) [mm]	Sediment-Fraktion für eine Sohlsicherung nach HJULSTRØM bemessen
2,1 m/s 1,6 m/s	10 5	Mittelkies Fein- bis Mittelkies	27 16	Grobkies Mittel- bis Grobkies

¹ Bei zwei Werten differenziert nach Flut- (vorderer Wert) und Ebbströmung (hinterer Wert); bei einem Wert wurde keine Differenzierung zwischen Flut- und Ebbströmung durch die BAW vorgenommen.

Tiefengemittelte Strömungsgeschw. [m/s]	krit. Korndurchm. n. SHIELDS (1936) [mm]	Sediment-Fraktion für eine Sohlsicherung nach SHIELDS bemessen	krit. Korndurchm. n. HJULSTRØM (1935) [mm]	Sediment-Fraktion für eine Sohlsicherung nach HJULSTRØM bemessen
2,2 m/s 1,4 m/s	12 4	Mittelkies Feinkies	30 14	Grobkies Mittelkies
1,5 / 1,0 m/s	5 / 2	Fein- bis Mittelkies / Grobsand bis Feinkies	15 / 9	Mittel- bis Grobkies / Mittelkies
1,5 / 2,0 m/s	5 / 9	Fein- bis Mittelkies / Mittelkies	15 / 24	Mittel- bis Grobkies / Mittel- bis Grobkies
1,25 / 1,5 m/s	3 / 5	Feinkies / Fein- bis Mittelkies	11 / 15	Mittelkies / Mittel- bis Grobkies
1,25/2,75 m/s	3 / 19	Feinkies / Mittel bis Grobkies	11 / 59	Mittel- bis Grobkies / Steine (Deckwerk)
1,6 / 1,9 m/s	5 / 8	Fein- bis Mittelkies / Mittelkies	16 / 22	Mittel- bis Grobkies / Mittel- bis Grobkies
1,7 / 2,1 m/s	6 / 10	Fein- bis Mittelkies / Mittelkies	18 / 27	Mittel- bis Grobkies / Grobkies
1,4 / 1,5 m/s	5 / 5	Fein- bis Mittelkies / Fein- bis Mittelkies	14 / 15	Mittelkies / Mittel- bis Grobkies
1,5 / 1,7 m/s	5 / 6	Fein- bis Mittelkies / Fein- bis Mittelkies	15 / 18	Mittel- bis Grobkies / Mittel- bis Grobkies
1,3 / 1,3 m/s	4 / 4	Feinkies / Feinkies	12 / 12	Mittelkies / Mittelkies
1,4 / 1,4 m/s	4 / 4	Feinkies / Feinkies	14 / 14	Mittelkies / Mittelkies

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die exakte Berechnung eines kritischen Korndurchmessers für das Untersuchungsgebiet praktisch nicht möglich ist. Dennoch kann festgestellt werden, dass für evtl. Sicherungsmaßnahmen an den UWA zur Gewährleistung der Wirkstabilität ausnahmslos Sedimentfraktionen erforderlich sind, die im Rahmen der Fahrrinnenanpassung nicht anfallen. Es müssen Kornfraktionen eingebracht werden, die natürlich nicht im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. Dies sind nach SHIELDS bevorzugt Fraktionen aus dem Feinkies bis Mittelkiesbereich und nach HJULSTRØM Fraktionen aus dem Mittel- bis Grobkiesbereich.

Auf der anderen Seite lässt sich aber auch feststellen, dass bereits eine geringfügig größere Kornfraktion als die derzeit vorliegenden Feinsande bei den vergleichsweise geringfügigen Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten durch den Bau der UWA bereits die gleiche Transportkapazität liefern wie sie im heutigen Regime vorliegt. Mit der Kenntnis morphodynamisch stabiler Bereiche kann hierfür praktisch auf flächige Sicherungsmaßnahmen verzichtet werden.

Letztendlich erfordert die Konstruktion der UWA gezielte lokale Sicherungs- und temporäre Bauhilfsmaßnahmen, um die Wirkstabilität der UWA sicher zu stellen. Es wird empfohlen, als wesentlichen Baustein dabei ein bereits im Bau einsetzendes Monitoring-Programm einzusetzen, mit dem das Verhalten von eingebrachten Sedimenten frühzeitig beobachtet werden kann, um ggf. mit der Wahl anderer Kornfraktionen für die Sicherungsmaßnahmen gegen-

steuern zu können. Hierauf wird im Detail in den Beschreibung der Konstruktion eingegangen.

3.4 Beschreibung der Konstruktion der UWA

3.4.1 Vorbemerkungen

Die Konstruktion folgt der oben erläuterten Bemessungsphilosophie und stellt auf Grundlage der weitergehenden Strömungsberechnung der BAW zur Bemessung der UWA eine Optimierung der UWA dar. Die Anpassung der Konturen der UWA wurde so vorgenommen, dass sowohl die hydrodynamischen Wirkungsweisen zur Tidedämpfung, zur Strömunglenkung und zum Uferschutz unverändert zum bisher nachgewiesenen Zustand erhalten bleiben.

Grundlage für die Konstruktion ist ein tiefgehendes Verständnis der hydraulisch-morphologischen Prozesse im Einflussbereich der UWA. Maßnahmen, die kurzfristig und lokal sinnvoll erscheinen, können großräumig und mittel- bzw. langfristig betrachtet durchaus kontraproduktiv sein und sind demzufolge zu vermeiden.

3.4.2 UWA Medemrinne

Geometrie, Kontur

Die UWA Medemrinne, insbesondere der Abzweig von der Fahrrinne, steht in enger Wechselwirkung mit der UWA Neufelder Sand. Der Ebbstrom soll von der UWA Neufelder Sand vom nördlichen Ufer weg Richtung Fahrrinne gelenkt werden. Die bisher vorgesehenen Krümmungen der UWA sind jedoch recht ausgeprägt, so dass nicht damit zu rechnen ist, dass die Strömung dieser bisher vorgesehenen Kontur ohne den Eintrag größerer Turbulenzen folgen kann. Dies zeigt sich z.B. an den vergleichsweise hohen Fließgeschwindigkeiten am fahrwasserseitigen Rand am unterstromigen Ende der UWA Neufelder Sand. Demzufolge wurden auf Grundlage der weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW die äußeren Konturen der UWA Medemrinne und Neufelder Sand angepasst, s. LP01.

Das Höhenniveau der oberstrom liegenden UWA Neufelder Sand aufnehmend, wird dieser Bereich weiter Richtung Fahrwasser verzogen, um die tief laufenden Strombahnen - insbesondere des Ebbstroms – kontinuierlicher zu führen. Die Kontur der Unterwasserböschung zwischen den UWA Neufelder Sand und Medemrinne mit einer Neigung von etwa 1:80 wird in dem vorderen Bereich aufgenommen, wobei sich aber mittelfristig eine von der Strömung geprägte Bathymetrie einstellen wird.

Die bisher vorgesehene höhenmäßige Profilierung der Medemrinne bleibt unverändert erhalten mit einer flachen Rinne mit einer Sohle von ca. -5,0 mNN auf der nordöstlichen Seite und einem etwas flacherem Bereich mit einer Sohle von ca. -3,5 mNN auf der südwestlichen Seite. Demzufolge ist auch keine Veränderung der hydrodynamischen Wirkung bzgl. der Tidedämpfung zu erwarten. Durch ein höheres Aufspülen wäre dagegen eine stärkere Wirkung zu erwarten (größere Dämpfung oberhalb und stärkere Reflexion unterhalb der UWA); dies muss aber im Gesamtkontext der Fahrinnenanpassung beurteilt werden und wird hier nicht weiter thematisiert.

Der unterstromige Prallhang der Medemrinne im Medembogen erodiert zurzeit sehr stark, erkennbar an der Nordbewegung der Medemrinne im Medembogen. Dieser Prozess wird durch den Bau der UWA nicht grundsätzlich aufzuhalten sein (s. BAW 2006b); aber verlangsamt werden, da das durchströmte Volumen der Medemrinne sich durch die UWA Medemrinne insbesondere für den Ebbstrom reduziert (s. Aufschlüsselung der Volumenströme für den 2-wöchigen Untersuchungszeitraum der BAW in Anlage 10). Die in den Jahren seit 1997

feststellbaren massiven Sedimentationen zwischen Elbe-km 723 und 727 in der Fahrrinne vor Cuxhaven (s. Längsschnitt der Jahreshauptpeilungen der Jahre 1995 bis 2006 in Anlage 14) zeugen ebenfalls von den erheblichen Massenbewegungen.

Für das unterstromige Ende gilt grundsätzlich der für den Abzweig vom Fahrwasser erläuterte Sachverhalt, dass eine exakte Vorgabe des Randes nicht erforderlich ist, da sich dieser in kurzer Zeit durch das Strömungsgeschehen selbst modellieren wird. Ein Einfluss auf die Wirkstabilität der UWA Medemrinne geht von diesem Prozess nicht aus.

Bauablauf

Die rechnerischen Betrachtungen in Abschnitt 3.2 und 3.3 haben gezeigt, dass bei den vorliegenden Sedimenten überall in der Medemrinne mit einem Geschiebetransport zu rechnen ist. Die Ergebnisse der Strömungsberechnungen habe eine Erhöhung der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten auf der UWA Medemrinne in der Größenordnung von bis zu maximal 0,35 m/s ergeben. Demzufolge ist davon auszugehen, dass eine sofortige Deponierung von Baggergut zu erheblichen bauzeitlichen Verlusten führen würde. Aus diesem Grund ist, wie bereits in den Antragsunterlagen für den Planfeststellungsbeschluss erläutert, zunächst sukzessive ein Initialdamm zu schütten, in dessen Strömungsschatten nach und nach die Baggergutdeponierung stattfinden kann.

Der Damm wird in höhenmäßigen, bis zu drei Abschnitten (s. Regelquerschnitte, RQ01) aufgeschüttet, wobei die exakte Querschnittsform nicht maßgebend ist, sondern die hydrodynamische Wirkung. Durch die fortwährende Strömung wird sich eine gewisse Abflachung des Damms einstellen, so lange er vergleichsweise ungeschützt von Baggergut exponiert in der Strömung liegt. Dieser Zeitraum ist durch den Bauablauf auf ein Minimum zu beschränken. Nach Erreichung eines Höhenabschnitts von ca. 2,5 m wird er mit Baggergut hinterfüllt. Ohne dass die Bauzustände bzgl. der Auswirkungen auf die Strömungsgeschwindigkeiten und die damit einhergehende Transportkapazität quantifiziert sind, ist klar, dass der Ausbauzustand aufgrund der größten Querschnittseinengung die größten Strömungsgeschwindigkeiten aufweist. Aus diesem Grund ist es auch zulässig und im Rahmen des Bauablaufs der ausführenden Firma freizustellen, am Anfang größere Teil-Initialdämme einzusetzen. Je größer die Dämme sind, je größer ist jedoch der Materialverbrauch. Dies ist letztendlich eine wirtschaftliche Frage und kann nur durch die ausführende Firma festgelegt werden.

Gleiches gilt auch für mögliche Unterbrechungen im Bauablauf der UWA Medemrinne z.B. aufgrund der sensiblen Brutzeit der Brandgänse oder aufgrund von baugelogistischen Zusammenhängen (weil z.B. gröbere Sedimente gebaggert werden, die nicht in den tieferen Bereichen der UWA eingebaut werden sollen, sondern als abschließende Deckschicht auf einer UWA). Für eine längere Unterbrechung des Bauablaufs sollte eine exponierte Lage des Initialdamms vermieden werden, da dann durch eingetragene Turbulenzen mit einer verstärkten Abflachung des Damms zu rechnen ist. Der Damm ist vor einer Unterbrechung unbedingt mit Baggergut zu schützen, um keine erhöhten Strömungsangriff zu bieten.

Sollte sich nach Abschluss des Baus der UWA Medemrinne zeigen, dass die Oberfläche der UWA zu schnell erodiert wird, ist zum Schutz des Initialdamms eine Abdeckung zum Schutz des mit Baggergut eingedeckten Damms nachzubessern. Die Abdeckung ist mit einer geringen Neigung in das ober- und unterstromige Baggergut einzubinden. Grundsätzlich ist aber zunächst davon auszugehen, dass die Masse des Baggergutes den Initialdamm schützt, da die bewusst in Kauf genommenen Erosionsprozesse auf der UWA Medemrinne von den ober- und unterstromigen Randbereichen aus fortschreiten werden.

Initialdamm

Die Lage des Damms ist abweichend zu den Antragsunterlagen nicht im fahwasserseitigen Randbereich der UWA Medemrinne vorgesehen, sondern etwa im fahwasserseitigen Drittelspunkt. Neben der Tatsache, dass bei der optimierten Geometrie des Abzweigs in diesem Bereich die Medemrinne schmaler ist, spielt hierfür insbesondere die Überlegung eine Rolle, dass die Medemrinne bezogen auf die Strömungsgeschwindigkeiten eine gewisse Ebbstromdominanz aufweist, diese aber nicht so ausgeprägt ist, dass während der Flut nicht auch ein Geschiebetransport Richtung Fahrwasser zu erwarten ist. Darüber hinaus hat der Beginn im mittleren Bereich den Vorteil, dass durch das begleitende Monitoring (insbesondere Peilung zur Verfolgung der Baggergutmassen) die gewonnenen Erkenntnisse bereits in den Bauablauf mit eingeflochten werden können. Da ein exakter rechnerischer Nachweis des Transportbeginns wie auch der Transportrate nicht möglich ist, kann hierdurch bei Bedarf das verwendete Material (angepasster Korndurchmesser) optimiert werden, ohne das bestehende Elemente bereits an exponierter Stelle errichtet sind.

Das Baggergut wird ober- und unterstrom des Initialdamms deponiert, so dass es einen Schutz des Initialdamms darstellt. Vor dem Hintergrund, dass die morphologischen Prozesse auch zukünftig regelmäßig durch ein Überwachungsprogramm begleitet werden, ist somit gewährleistet, dass das Herzstück für die langfristige Wirkstabilität durch Baggergut geschützt ist, da die Erosionen von den Rändern beginnen.

Sicherungsmaßnahmen, Material

Abweichend von den bisherigen Untersuchungen sollte der Initialdamm jedoch nicht massiv als Steinschüttdamm auf einem Sinkstück ausgeführt werden, sondern aus kiesigem Material, der sich in geringem Umfang den dynamischen Belastungen anpassen kann und auch angepasst werden kann. Vor dem Hintergrund der großräumigen Veränderungen im Elbe-Ästuar sind flexible Bauweisen zu bevorzugen, da sonst die Gefahr besteht, dass sich insbesondere in den Randbereichen des Damm Durchbrüche ergeben, die dann zu plötzlichen Veränderungen und ungewünschten, schwer kontrollierbaren morphologischen Reaktionen führen können.

Die Sieblinien der Bodenproben haben Korndurchmesser in der Medemrinne im Feinsandbereich ($0,05 \text{ mm} < d_{50} < 0,15 \text{ mm}$; $d_{90} < 0,2 \text{ mm}$) ergeben, d.h. nach allen üblichen Berechnungsansätzen ist mit einem massiven Geschiebetransport zu rechnen. Davon ausgehend, dass die Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit gemäß der BAW Berechnungen bei ungünstigen Verhältnisse über der UWA bis zu $0,35 \text{ m/s}$ beträgt (lokal und zeitlich begrenzt), könnte hieraus anhand der Ansätze von SHIELDS und HJULSTRØM abgeleitet werden (s. z.B. Anlage 8 und Anlage 9), dass nur eine marginale Vergrößerung des Korndurchmessers zukünftig den gleichen Erosionswiderstand bildet. Dies kann erreicht werden, indem größere Sandfraktionen als oberste Schicht auf die UWA aufgebracht werden.

Wird dagegen die maximale Geschwindigkeit, die von der BAW für die UWA Medemrinne berechnet wurde betrachtet (ca. $2,0 \text{ m/s}$; reiner Strömungseinfluss (Welleneinfluss hier nicht berücksichtigt; dies sind aber sehr seltene und daher morphologisch nicht maßgebende Geschwindigkeiten), zeigt sich, dass Material mit einem maßgebendem Korndurchmesser von ca. 15 bis 30 mm im Bereich des Beginns vom Geschiebetransport liegt, s. Tab. 3.1 und Tab. 3.2.

Die hier aufgezeigt Bandbreite zwischen Geschiebetransportbeginn und gleicher Erosionsstabilität wie derzeit lässt einen erheblichen Spielraum für die Materialwahl der geplanten Maßnahmen an der Medemrinne. Da die dauerhafte Wirkstabilität eine maßgebende Bedeutung in der gesamten Maßnahme einnimmt, diese aber nicht nur von der Lagestabilität des eingesetzten Materials sondern auch von Anpassungsfähigkeit des Bauwerks abhängt, sollte

für den Initialdamm Material im Bereich Mittelkies eingesetzt werden und zwingend ein intensives Monitoring die Baumaßnahmen begleiten und das fertig gestellte Bauwerk überwachen.

Sollte sich im Zuge des Monitoring herausstellen, dass im Bereich des Initialdamms doch unerwartet große Erosionen stattfinden, kann bei Bedarf auch eine lokale Abdeckung in diesem Bereich aufgebracht werden, s. RQ01. Sollten keine Erosionen festgestellt werden, kann feineres Material eingebaut werden. Mit den gewonnenen Erkenntnissen des begleitenden Monitoring kann das dann eingesetzte Material optimiert werden.

Grundsätzlich sollte in der obersten Schicht (Schichtdicke mindestens 0,5 m) das gröbere Baggergut eingebracht werden, um die Erosionsstabilität zu erhöhen. Da aber gemäß dem vorliegenden Sedimentkataster nur geringe Mengen an Mittel- und Grobsand im Rahmen der Fahrrinnenanpassung gebaggert werden, sind diese gröberen Fraktionen auf den Bereich stromauf und stromab des Initialdamms und den Randbereich der nachfolgend beschriebenen lokalen Randabdeckung zu konzentrieren.

Auf dem nordöstlichen Rand wird ergänzend aus konstruktiven Gründen eine flächige Abdeckung aus Fein- bis Mittelkies angeordnet, um die Wahrscheinlichkeit des Sedimenteintrags in den angrenzenden Wattbereich zu reduzieren. Grundsätzlich ist aber auch ein Eintrag des sich als Geschiebe (und nicht in Suspension) bewegenden Materials eher unwahrscheinlich, da die angrenzende Wattfläche in diesem Bereich ca. 4 m über der zukünftigen Sohle der Medemrinne ansteht und der Auftransport naturgemäß eher gering ausfällt. Die mittlere Schichtdicke der Abdeckung ist mit 0,5 m vorgesehen.

Der Kies für alle Sicherungsmaßnahmen sollte gestuft sein, so dass kein separater Filterunterbau erforderlich ist.

Monitoring

Das Monitoring sollte bereits den Bau der UWA begleiten und nach Bauabschluss in regelmäßigen Abständen die vorhandene UWA vermessen, um die Transportprozesse zu analysieren. Neben der Peilung wären hier Messungen der Transportprozesse (aufgrund des Tideeinflusses wünschenswerter Weise nach Menge und Richtung) vorzusehen.

Die baubegleitenden Messungen lassen bereits frühzeitig Schlussfolgerungen für ggf. erforderliche Anpassungen in der Bauphase zu. Sollte z.B. ein zu großer Geschiebetransport Richtung Fahrrinne mit dem daraus resultierenden Unterhaltungsaufwand festgestellt werden, kann der Abzweig kurzfristig wieder weiter vom Fahrwasser weg gelegt werden, um in diesem Bereich ein Retentionsvolumen für Geschiebe zu schaffen. Auf eine mögliche Anpassung des gewählten Materials für den Initialdamm wurde bereits oben eingegangen. Von grundlegender Bedeutung für das Monitoring ist nicht nur, dass Veränderungen festgestellt werden, sondern dass nach Möglichkeit auch ein Beitrag zur Ursachenfindung und -quantifizierung geleistet wird.

Nach Abschluss der Baumaßnahme ist die UWA zunächst in dichteren Zeitabständen zu begleiten, wobei aber auch auf den Gesamtkontext der Unterhaltungsmaßnahmen des WSA Cuxhaven abzustellen ist, da die Auswirkungen durchaus großräumig sein können.

Referenz: Plaat van Walsoorden, Westerschelde, Belgien

Die Wester Schelde ist mit dem Elbe-Ästuar vergleichbar ebenfalls ein Tidefluss, der neben der Fahrrinne aus verschiedenen Nebenarmen besteht. Die Schelde ist von intensiven morphodynamischen Prozessen geprägt, was zu einem regelmäßigen Unterhaltungsaufwand führt. Im Jahr 2002 wurde unter Federführung des Hafens von Antwerpen ein Programm initiiert, das aufbauend auf einer Langzeitvision für innovative Strombaumaßnahmen

mit Sand (Baggergut) morphologische „Unterhaltungsbaggerungen“ vorsieht (PLANKE, 2006; MEERSSCHAUT ET.AL. 2004). Vergleichbar zu den strombaulichen Wirkungen der UWA im Zuge der Fahrinnenanpassung der Elbe werden die Unterhaltungsbaggermassen zu strombaulichen Zwecken eingesetzt. Als Pilotprojekt wurde die Walsoorden Plaat vorgesehen.

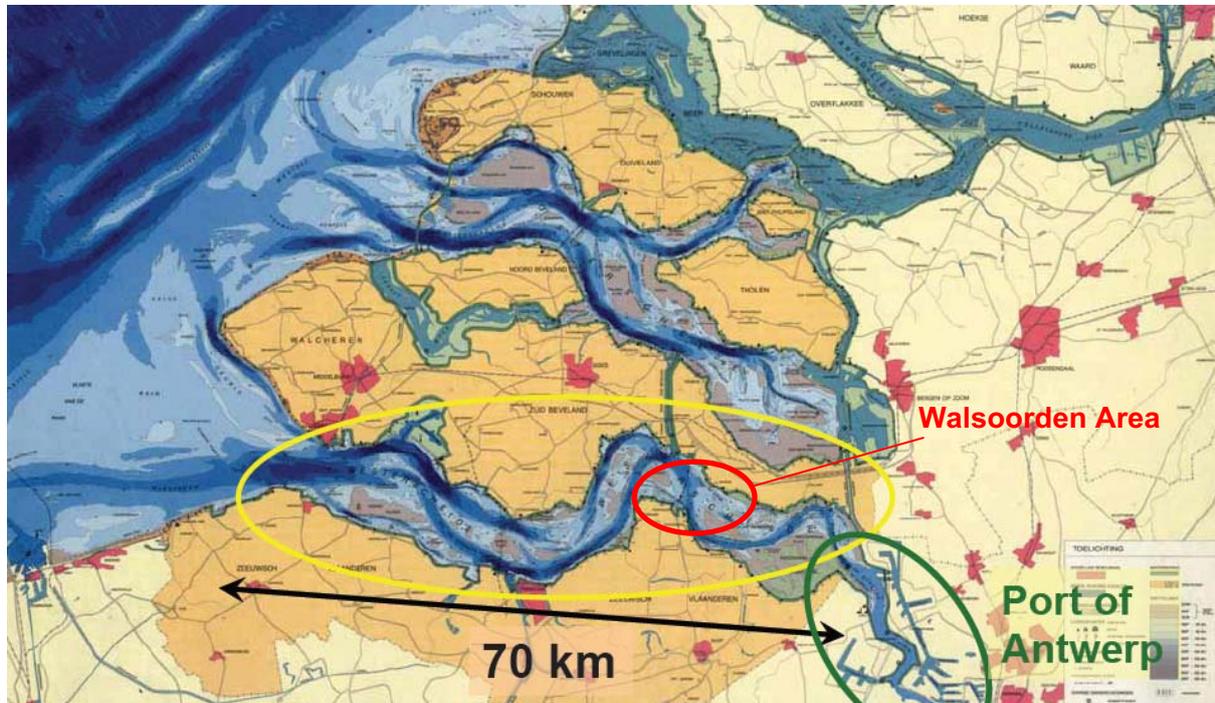


Abb. 3.6: Übersichtsplan der Wester Schelde (aus PLANKE, 2006)

Das Pilotprojekt wurde durch Naturmessungen, numerische und physikalische Modellversuche vorbereitet. Es wurden In-situ-Tests durchgeführt, die umfangreich durch Messungen begleitet wurden. Die Begleitung bezog sich auf die morphologischen und auch die Ökologischen Auswirkungen. Mit der gezielten Verbringung von Baggergut wurde der Durchfluss eines Nebenarmes zugunsten des Fahrwasserquerschnitts erfolgreich gemindert.

3.4.3 UWA Neufelder Sand

Geometrie, Kontur

Die UWA Neufelder Sand soll u.a. den Ebbstrom in die Medemrinne reduzieren und die Strömung auf die Südkante des Medemgrundes lenken. Die Volumenstrombetrachtung der BAW (s. Anlage 10) hat gezeigt, dass bedingt durch die gewünschte tidedämpfende Wirkung der UWA Medemrinne sich der Volumenstrom in der Fahrrinne gegenüber der Medemrinne geringfügig vergrößert.

Die weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW haben vergleichsweise große Strömungsgeschwindigkeiten von bis zu 2,2 m/s (Maximum der tiefengemittelten Geschwindigkeiten für einen 5-Jahreszeitraum) ergeben. Diese vergleichsweise hohen Geschwindigkeiten traten im südwestlichen, fahrwasserseitigen Rand der UWA Neufelder Sand auf. Dieser Bereich ist der Ebbströmung sehr stark ausgesetzt. Wie bereits in Abschnitt 3.4.2 erläutert, wurde die äußere Kontur weniger kurvenreich bei unveränderter Höhenlage ausgebildet.

Somit wird der hochbelastete Bereich der Strömungsbündelung mit den damit verbundenen hohen Strömungsgeschwindigkeiten entzogen, bzw. der Strömungsangriff reduziert.

Die fahrrinnenseitige Unterwasserböschung wird sehr flach mit einer maximalen Neigung von 1:50 ausgebildet und nicht gesondert gesichert. Sie soll durch die Strömung geformt werden. In den Randbereichen wird die Böschungsneigung fließend an die vorhandenen Neigungen der angrenzenden Unterwasserböschungen angepasst, d.h. am oberstromigen östlichen Ende ist die Neigung steiler und am unterstromigen Ende im Übergangsbereich zur UWA Medemrinne flacher.

Sicherungsmaßnahmen

Das vom AG zur Verfügung gestellte Sedimentkataster weist für den Bereich der UWA Neufelder Sand Körnungen im Feinsandbereich ($d < 0,2$ mm) auf mit nur geringen Anteilen im Mittelsandbereich. Demzufolge ist bei den im Ist-Zustand vorliegenden Strömungsgeschwindigkeiten von nahezu kontinuierlichen Transportvorgängen auszugehen. Die Bathymetrie hat sich in diesem Bereich in der Vergangenheit nicht besonders stark verändert, so dass weitgehend ein dynamisches Gleichgewicht vorzuliegen scheint. Die Fließgeschwindigkeiten im Fahrwasser steigen im Bereich der UWA Neufelder Sand nur geringfügig bis zu 0,15 m/s an; im Bereich der geplanten UWA nehmen sie aufgrund der geringeren Fließtiefe geringfügig ab.

Eine explizite Sicherung der UWA Neufelder Sand erfolgt nicht, mit Ausnahme der oberstromigen Spitze der UWA. Dieser Bereich ist offensichtlich noch von den erhöhten Turbulenzen, induziert durch den stromauf vorliegenden Bühnenverbau beeinflusst. Die Sicherung erfolgt hier mit einer flächigen Feinkiesabdeckung. Der Kies sollte gestuft sein, so dass kein separater Filterunterbau erforderlich ist. Die mittlere Schichtdicke ist mit 0,5 m vorgesehen.

Das Material für die Abdeckung ist wiederum so zu wählen, dass ein Transport des Materials bei hohen Fließgeschwindigkeiten möglich ist, aber nur in geringem Umfang stattfindet. Es wird ein Fein- bis Mittelkies empfohlen. Hiermit ist gewährleistet, dass sich ggf. auch dieser gesicherte Bereich anpassen kann und die Gefahr, dass die UWA Neufelder Sand irgendwann hinterströmt wird, reduziert wird. Im Übergangsbereich der Abdeckung zum unterstromigen Rest der UWA sollten gröbere Fraktionen des Baggergutes ebenfalls in einer Schichtdicke von ca. 0,5 m aufgebracht werden. Da voraussichtlich nicht ausreichend grobkörniges Baggergut zur Verfügung steht, kann dies auf einen Bereich von ca. 50 m stromab der Abdeckung beschränkt werden.

Eine Sicherung der unterstromigen Spitze ist nicht vorgesehen, da dieser Bereich Ebbstrom dominiert ist und somit eher mit einer Verlagerung der Sedimente Richtung Unterwasser zu rechnen ist. Eine Abdeckung in diesem Bereich würde voraussichtlich mit transportiertem Geschiebe überlagert und wäre demzufolge nicht erforderlich.

Die Rinnen und Priele der nördlich angrenzenden Wattflächen werden nicht gesondert gesichert, da sie höchstens zu lokalen Umlagerungen der UWA Neufelder Sand führen.

Bauablauf

Der Bauablauf ist derart vorgesehen, dass etwa im oberstromigen Drittelpunkt am nördlichen Ufer beginnend, die Verklappung beginnt, dann Richtung Oberwasser einschließlich Herstellung des Abdeckungsbereichs erfolgt und abschließend die Hauptmassen des Baggergutes Richtung Unterwasser aufgefüllt werden.

Der vorgeschlagene Bauablauf ist darin begründet, dass anhand des begleitenden Monitoring bereits festgestellt werden kann, ob die Verdriftungstendenzen wie erwartet Richtung Unterwasser verlaufen (die Ebbströmung ist hier stärker ausgeprägt als die Flutströmung)

oder ob ggf. die Verbringung noch adaptiert werden muss. Außerdem kann auf diese Weise die Verdriftung von aufgespültem Baggergut und der Materialeintrag in die Fahrrinne reduziert werden.

Der Einbau der Kiesabdeckung erfolgt wie in Abschnitt 3.5.2 beschrieben.

3.4.4 UWA Glameyer Stack Ost/West

Vorbemerkungen

Die Buhne „Glameyer Stack“ bei Elbe-km 217,3 hat eine herausragende Bedeutung für die Standsicherheit der Böschungen für den Bereich Altenbruch von Elbe-km 215 bis 221. Dies ist bereits bei der Betrachtung der Bathymetrie in diesem Bereich mit der exponierten Lage des Stacks erkennbar, s. LP02. Die exponierte Lage, die deutlich in die Strömung hinein ragt, führt auch zu dem stromauf (in der Turbulenzzone der in der Fahrrinne im Sohlbereich dominierenden Flutströmung) liegenden massiven Kolk mit Tiefen bis über -30 mNN. In den vergangenen Jahren zeigte dieser Kolk deutliche Verlandungserscheinungen.

Die Nachhaltigkeit der UWA Glameyer Stack Ost und West ist nur gewährleistet, wenn auch der Erhalt dieser Buhne gewährleistet ist. Die Standsicherheit der Buhne ist aber nicht Gegenstand der Fahrinnenanpassung und somit auch nicht Gegenstand dieser Studie.

Die UWA Glameyer Stack Ost und West dienen in erster Linie zur Sicherung der Unterwasserböschung in diesem Bereich und damit zum Schutz der direkt an die Elbe grenzenden Hochwasserschutzdeiche.

Die UWA Glameyer Stack Ost ist aufgrund der Anströmsituation insgesamt mit höheren Strömungsgeschwindigkeiten beaufschlagt, wobei jeweils nach Flut- und Ebbstrom unterschieden werden muss. Die UWA sind in den Plänen LP02 und QP02.1 und QP02.2 dargestellt.

Geometrie, Kontur

Glameyer Stack West

Die UWA Glameyer Stack West wurde Richtung Oberwasser deutlich gegenüber den Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren verkürzt. In dem Bereich zwischen dem Stack und der zukünftigen UWA ist die Unterwasserböschung bereits vergleichsweise steil. Dieser Bereich scheint etwa der Grenzbereich zu sein, der vom Stack bei Ebbstrom abgedeckt wird. Ein Aufbringen von Baggergut wäre nur sinnvoll, wenn eine entsprechend massive Befestigung der UWA erfolgen würde. In diesem Abschnitt liegen die Bereiche mit größeren Wassertiefen auch vergleichsweise weit gegenüber dem unterstromigen Bereich vom Ufer entfernt, so dass ein dringendes Erfordernis für eine Vorspülung hier nicht gesehen wird.

Glameyer Stack Ost

Die UWA Glameyer Stack Ost wurde ebenfalls in der Kontur an die zu Grunde liegende Bathymetrie und an die Strömungsverhältnisse angepasst. Vergleichbar zum Westbereich wurde die UWA geringfügig vom Stack abgerückt, da in diesem strömungsgeschützten Bereich bereits naturbedingt eine Ablagerung vorliegt. Auch hier ist davon auszugehen, dass sich dieser Bereich in einem Gleichgewichtszustand befindet, der aber mit dem tiefen Kolk korrespondieren wird.

Grundsätzlich sind die Übergänge von der Unterwasserböschung zur UWA sehr fließend ausgebildet. Sie stellen eher eine Andeckung der Unterwasserböschung als eine bauliche „Deponie für Sedimente“ dar.

Sicherungen

Vorbemerkungen

In Abschnitt 2.6.3.2 wurde erläutert, dass die berechneten maximalen Ebbstrom-Geschwindigkeiten in dem 2-wöchigen Berechnungszyklus ca. 90% niedriger lagen als die gemessenen Werte an der LZ 3. Da diese unerwartet große Differenz nicht geklärt werden konnte, wurde abschließend von der BAW empfohlen, mit den sehr hohen Ebbstrom-Geschwindigkeiten zu rechnen (Korrekturfaktor von 1,91, s.a. Tab. 3.1). Hieraus resultieren maximale, tiefengemittelte Ebbstromgeschwindigkeiten von 2,75 m/s für die UWA Glameyer Stack Ost und 2,0 m/s für die UWA Glameyer Stack West. Diese extrem hohen Geschwindigkeiten sind zwar nicht bemessungsrelevant und nicht morphologisch bettbildend, die Korrektur wirkt sich aber auf das gesamte Geschwindigkeitsspektrum der Ebbströmung aus. Unverändert behält aber die Aussage Gültigkeit, dass der Bau der UWA die Geschwindigkeit nur geringfügig erhöht.

Es wird empfohlen, wie folgt vorzugehen: In einem ersten Schritt werden die UWA mit einer Fußsicherung gebaut und mit Baggergut verfüllt. Die beiden UWA sollten frühzeitig im Rahmen der Gesamtmaßnahme der Fahrrinnenanpassung gebaut werden, so dass noch während der Restumsetzung der Fahrrinnenanpassung ausreichend Beobachtungszeit verbleibt, um ggf. später doch eine Deckschicht aufzubringen. Anhand von Beobachtungspeilungen kann festgestellt werden, ob signifikante Transporte stattfinden; ggf. können auch die stärksten Erosionsbereiche festgestellt werden, um Abdeckungen auf lokale Bereiche zu beschränken. Gemäß der Geschwindigkeitsberechnungen der BAW sind insbesondere die fahrrinnennahen Bereiche mit großen Wassertiefen mit großen Strömungsgeschwindigkeiten belastet. Diese wären dann durch eine Abdeckung zu schützen.

Glameyer Stack West

Die UWA Glameyer Stack West wird mit einer Fußsicherung geschützt. Diese Fußsicherung wird aus Kies (Mittelkies gemischtkörnig ohne gesonderte Filterschicht) in Form eines kleinen Dammes mit einer flachen fahrwasserseitigen Neigung von ca. 1:10 gebaut. Die Höhe beträgt im Mittel ca. 1,0 bis 1,5 m in Abhängigkeit der bathymetrischen Verhältnisse. Die Fußsicherung wird mit Baggergut überschüttet, um den fließenden Übergang zur Unterwasserböschung zu optimieren. Die oberste Schicht der gesamten UWA sollte mit gröberen Sanden des Baggergutes aufgefüllt werden (Schichtdicke mind. 0,5 m).

Sollte – wie in der Vorbemerkung erläutert – eine flächige Tiefenerosion der UWA festgestellt werden, ist eine Deckschicht aus Mittelkies mit einer Dicke von 0,5 m aufzubringen. Die Deckschicht muss an die Fußsicherung anschließen.

Eine besondere stirnseitige Sicherung der UWA Glameyer Stack West ist nicht erforderlich, da sie Richtung Unterwasser gegen das angrenzende Bühnenfeld bzw. die oberstromigste Bühne dieses Feldes läuft und im Oberwasser ganz flach gegen die natürliche Unterwasserböschung ausläuft.

Da die UWA im Unterwasser direkt an der Bühne dicht am Bühnenkopf endet, ist in diesem Bereich unabhängig von den Peilungen nach Fertigstellung der UWA eine Abdeckung aus Feinkies vorgesehen, da damit gerechnet werden muss, dass in diesem Bereich noch die erhöhte Turbulenz der Wirbel des Flutstroms wirken. Sollte sich im Zuge der Bauausführung

herausstellen, dass dieser Bereich ggf. aufgrund der abschattenden Wirkung der Bühnen ohne Abdeckung stabil ist, kann auf die Abdeckung verzichtet werden.

Glameyer Stack Ost

Die UWA Glameyer Stack Ost erhält trotz der extrem flachen Böschungsneigung eine Fußsicherung aus Mittelkies wie die UWA Glameyer Stack West. Obwohl die Fußsicherung bei der Neigung der Unterwasserböschung nicht mehr im eigentlichen Sinne einer Fußsicherung wirkt, bildet sie den definierten Abschluss der UWA zum Fahrwasser und es kann, wenn dies im begleitenden Monitoring festgestellt wird, eine Abdeckung angeschlossen werden. Grundsätzlich sollte die oberste Schicht analog zu den anderen UWA mit größerem Baggergut aufgefüllt werden.

Etwa zwischen Elbe-km 715,5 und 717,0 ist die vorhandene Unterwasserböschung unterhalb von ca. -2,0 mNN vergleichsweise steil; im stromauf liegenden Bereich der UWA ist die Böschung deutlich flacher. Dies resultiert voraussichtlich aus dem Umlenken der Ebbströmung um das Stack herum. Für Flutströmungen liegt dieser Bereich weitgehend im Strömungsschatten des Stacks mit entsprechend niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten.

Sollte sich im begleitenden Monitoring schon während der Fahrrinnenanpassung zeigen, dass dieser Abschnitt der UWA erodiert, sollte das unterstromige Ende bis etwa km 715,5 mit einer Abdeckung aus Mittelkies von der Fußsicherung bis zur Böschungsoberkante versehen werden. Ggf. reicht auch nur eine Abdeckung des unteren Böschungsbereiches aus (hier werden die größten Strömungsgeschwindigkeiten in den Berechnungsergebnissen der BAW ausgewiesen). Aufschluss hierüber wird das Erosionsbild geben.

Bauablauf

Der Bauablauf ist wie folgt zu gestalten:

Glameyer Stack West

Die von der BAW berechneten tiefengemittelten Strömungen sind in den ober- und unterwasserseitigen Randbereichen geringer als im mittleren Bereich. Demzufolge sollte zunächst in diesen schwächer durchströmten Bereichen begonnen werden und erst zum Schluss der mittlere Bereich hergestellt werden, wenn die Strömung durch die bereits fertig gestellten Bereiche bereits etwas abgelenkt wird. Die Fußsicherung ist vorlaufend zu erstellen und zeitnah mit Baggergut einzudecken.

Die flächige Abdeckung im westlichen Bereich sollte direkt nach Erreichen der abschließenden Baggerguthöhe aufgebracht werden. Gleiches gilt für die oberste Schicht mit größerem Baggergut. Die optionale großflächige Abdeckung wird nur aufgebracht, wenn das Erfordernis im begleitenden Monitoring festgestellt wird. Diese ist gegen die dominierende Strömungsrichtung aufzubringen (unter Berücksichtigung des Korrekturfaktors von 1,91 für die Ebbströmung ist diese dominierend und die Abdeckung sollte von Unterstrom nach Oberstrom aufgebracht werden).

Glameyer Stack Ost

Bei der UWA Glameyer Stack Ost sollte mit der Fußvorlage und dementsprechend nachfolgend mit der Baggergutauffüllung am Stack begonnen und dann Richtung Oberwasser aufgefüllt werden. Gleiches gilt für die ggf. aufzubringende Abdeckung.

Monitoring

Für die beiden UWA Glameyer Stack ist ebenfalls ein Monitoring empfehlenswert, da weite Flächen der UWA nicht gesondert durch eine flächige Abdeckung gegen den Strömungsangriff geschützt sind. Erfahrungen von anderen UWA (z.B. Krautsand) zeigen, dass derartige Bauweisen recht stabil sind. Trotzdem sollten aufgrund der doch sehr hohen Ebbströmungen die Kontur regelmäßig gepeilt werden, um feststellen, ob flächige Erosionen vorliegen oder ob die UWA stabil ist.

Ggf. auftretende lokale Erosionen können einfach durch Andecken von Baggergut aus der fortlaufenden Fahrrinnenunterhaltungsbaggerung behoben werden. Bei den regelmäßig durchzuführenden Peilungen ist für die UWA ein besonderes Augenmerk auf die Fußsicherung zu legen, da in diesem Bereich bei beiden UWA die größten Strömungen vorliegen, wobei zwischen möglichen Erosionen der Überschüttung und einer Erosion der Fußsicherung differenziert werden sollte.

Unabhängig von den angrenzenden UWA ist das Glameyer Stack unverändert einer regelmäßigen Überwachung zu unterziehen. Insbesondere die Anfangsauswirkungen nach dem Bau der Anlagen sind besonders zu berücksichtigen und kritisch zu betrachten. Das Stack weist bereits im Ist-Zustand eine sehr exponierte Lage auf und wird durch den Bau der beiden UWA Glameyer Stack Ost und West nicht geschützt oder strömungstechnisch entlastet.

3.4.5 UWA St. Margarethen

Beschreibung der topografisch-morphologischen Randbedingungen

Die geplante UWA St. Margarethen dient dem Uferschutz, insbesondere dem Bühnenverbau in diesem Bereich. Die UWA liegt aber in einem Bereich, in dem das tiefe Hauptgerinne der Elbe vergleichsweise breit ist und sehr dicht an das Ufer heran reicht, s. LP03. Die ausgeprägten Transportkörper in diesem Bereich verändern sich zwar nur langsam, sie sind aber nicht lagestabil. Die Dünentäler reichen bis -22 mNN. Darüber hinaus zeigt sich eine generelle Erosionstendenz für das rechte Ufer, s. Abb. 3.7. Insbesondere stromab des Prielauslaufs bei Elbe-km 690,2 ist eine größere lokale Erosionszone zu erkennen.

Grundsätzlich muss festgestellt werden, dass der gewünschte Uferschutz nur erreicht wird, wenn die beschriebene tiefe Fahrwasserrinne sich nicht wesentlich weiter nach Norden zum rechten Ufer hin ausdehnt. Sollten die steilen Abbruchkanten der Rinne insbesondere im Bereich der Täler der Transportkörper die UWA erreichen, wird diese unweigerlich zerstört, unabhängig von der Konstruktionsart der UWA! Die UWA, die praktisch auf der Böschungschulter dieses tiefen Bereichs erstellt werden soll, trägt nicht zur Sicherung dieser tiefen Unterwasserböschungen bei. Die nachfolgenden Erläuterungen stehen unter diesem Vorbehalt.

Geometrie, Kontur

Bisher war geplant, die UWA St. Margarethen vergleichsweise dicht an den Rand dieser tiefen, morphodynamisch aktiven Rinne zu erstellen. Aufgrund der obigen Erläuterungen wird dringend empfohlen, die UWA weiter von der tiefen Rinne zu entfernen als bisher geplant. Dies hat auch zur Folge, dass sie am oberstromigen Ende deutlich verkürzt werden muss. Der dort sehr exponiert liegende Prallhangbereich schließt einen nachhaltigen Bau einer UWA in diesem Bereich aus.

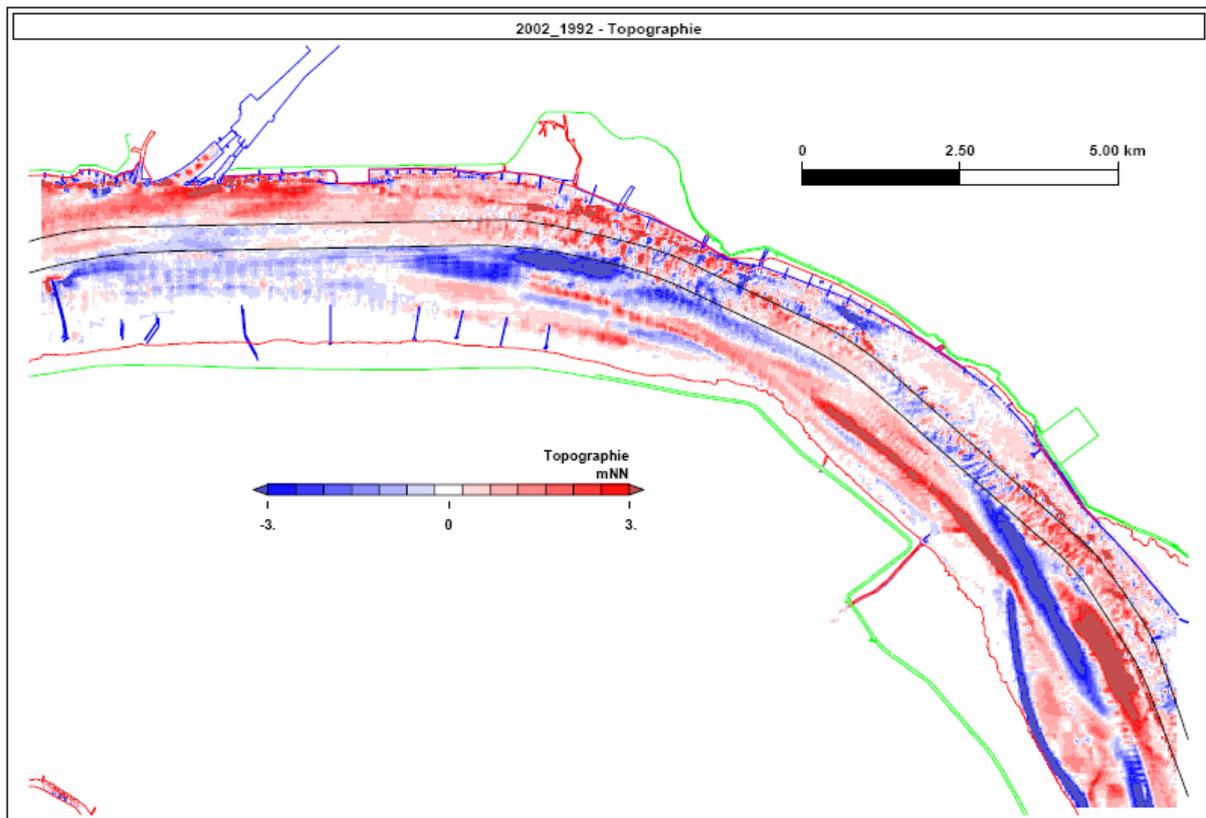


Abb. 3.7: Differenztopografie der Jahre 1992 bis 2002 im Bereich der UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf (aus BAW 2006b)

Das Verhältnis zwischen dem Aufwand für die Sicherung der UWA und dem deponierten Baggergut verschlechtert sich durch die Verkleinerung der UWA. Eine denkbare Verlängerung der UWA Richtung Unterwasser zur Kompensation des verloren gegangenen Deponievolumens ist denkbar, strombaulich besteht hierfür aber keine besondere Präferenz. Die Einlaufhöhe des Kühlwasserkreislaufs des Kraftwerks ist nicht bekannt, wird aber voraussichtlich höher liegen als die Oberkante der UWA (-3,0 mNN), so dass aus diesem Grund eine Verlängerung der UWA realisierbar wäre. Dieser Sachverhalt wäre aber noch zu prüfen.

Die weitergehenden Strömungsberechnungen der BAW haben für den fahwasserseitigen Rand des unterstromigen Endes die größten Fließgeschwindigkeiten ergeben, so dass hier eine strömungsgünstigere Form vorgeschlagen wird (Abrundung der südwestlichen Ecke der UWA).

Sicherungen

Die vorhandenen Sedimente im Bereich der UWA sind wiederum sehr fein ($d < 0,1$ mm). Demzufolge sollte bei den vorliegenden Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Schubspannungen ein Geschiebetransport auch bei mittleren Strömungsgeschwindigkeiten vorliegen, die in der Summe oben beschriebene geringfügige Erosionstendenz in diesem Bereich aufweist. Anderweitige Einflüsse wie z.B. biogene Verfestigungen sind derzeit nicht bekannt.

Eine Ausführung der UWA mit ganz flachen Böschungen, wie es bei den UWA Neufelder Sand und Medemrinne vorgesehen ist, lässt sich aufgrund der bereits vorhandenen Neigungen der Unterwasserböschungen von 1:10 und steiler nicht realisieren. Aus diesem Grund ist eine dammartige Fußsicherung wie bei Glameyer Stack West vorgesehen (s. RQ 01). Die

Fußsicherung wird aus einem abgestuften Mittelkies hergestellt. Die Fußsicherung wird mit Baggergut überschüttet, um möglichst sanfte Übergänge von der natürlichen Unterwasserböschung zur UWA zu bekommen.

Je nach Verfügbarkeit von größerem Baggergut sollten auch die UWA St. Margarethen, Scheelenkuhlen/Brokdorf in der obersten Lage mit grobem Baggergut versehen werden. Diese UWA stehen in der Priorität aber hinter den beiden UWA bei Glameyer Stack.

Bauablauf

Der Bauablauf ist so vorzusehen, dass zunächst die unterstromige Fußsicherung mit einem Stück des fahrrinneparallelen Bereichs erstellt wird. Die Höhe der Fußsicherung im stirnseitigen Bereich wird an die Höhe der UWA angepasst, s. QP03.1. Die Fußsicherung sollte auch Richtung Unterwasser zeitnah mit Baggergut überschüttet werden, um den Strömungsangriff in der exponierten Lage zu minimieren. Richtung Oberwasser läuft die UWA in einem schleifenden Schnitt gegen die natürliche Unterwasserböschung aus, so dass im Bauablauf nachfolgend nach der unterstromigen Fußsicherung die UWA gegen die dominierende Ebbströmung Richtung Oberstrom erstellt wird.

Monitoring

Für das Monitoring gilt grundsätzlich das gleiche wie für die UWA bei Glameyer Stack, wobei keine flächige Abdeckung vorgesehen ist. Nach Feststellung des Anfangszustandes und der Anfangsauswirkungen reicht eine Auswertung der Jahreshauptpeilung, die bzgl. der lokalen Umlagerungen analysiert werden sollte. Ein besonderes Augenmerk ist auf die Fußvorlage und mögliche Veränderungen der steilen Abbruchkante zum Fahrwasser zu legen.

Auch für die UWA St. Margarethen gilt, dass problemlos immer wieder gebaggertes Sandmaterial der Fahrrinnenanpassung in die UWA eingebracht werden kann und sollte, wenn es zu Erosionen auf den Flächen kommt.

Alternative Konstruktionen

Grundsätzlich kann bei den kleinen UWA (St. Margarethen, Scheelenkuhlen, Brokdorf und auch Glameyer Stack) auch eine Randdammkonstruktion vorgesehen werden. Der Randdamm würde die UWA von drei Seiten umschließen. Er wäre höher als die Fußsicherung, so dass die Oberfläche der UWA flacher geneigt wäre. Insgesamt würde die UWA dann aber exponierter in die Strömung ragen. Der fahrwasserparallele Randdamm kann ggf. etwa niedriger ausfallen, da hier der Strömungsangriff in der Regel nicht so groß ist wie an den Stirnseiten.

Geotextile Sandsäcke

Eine Möglichkeit besteht in der Konstruktion des Randdamms aus geotextilen Sandsäcken. Die Sandsäcke weisen Abmessungen von etwa 1 x 2 m auf und werden im Verband gepackt. Die Böschungsneigung des Damms ist mit 1:3 vorgesehen. Konstruktiv wäre auch eine steilere Böschungsneigung denkbar, je steiler die Böschungsneigungen jedoch ausgeführt werden, umso größer sind die durch die UWA induzierten Turbulenzen und die Erosionszonen. Dieses haben fortlaufende Messungen (Peilungen) an der UWA Krautsand in der Elbe gezeigt.

Die Turbulenzen wirken sich insbesondere an den Randdämmen an den ober- und unterwasserseitigen Stirnseiten, die Quer zur Strömungsrichtung liegen, aus. Generell werden die

Randdämme mit einer Fußvorlage ausgeführt, um sich flexibel an den klassischen Randkolk anpassen zu können. Bei den stirnseitigen Randdämmen ist auch auf der Baggergutseite eine Fußvorlage vorzusehen, da die UWA Krausand gezeigt hat, dass ggf. Randkolke sehr weit herunter reichen können. Eine Abdeckung der UWA ist nicht vorgesehen, so dass aufgrund der bauwerksbedingten Turbulenzen gewisse Kolke entstehen werden, die mit der vorgesehenen Konstruktion kein besonderes Gefährdungspotenzial darstellen. Die Kolke infolge ausgetragenen Baggerguts können bei Gelegenheit im Zuge von Unterhaltungsbaggerungen auch wieder verfüllt werden. Werden sie nicht wieder verfüllt, wird sich nach einer gewissen Zeit eine dynamische Endkolkentiefe einstellen, d.h. Sedimentations- und Erosionsphasen werden sich abwechseln, aber dauerhaft auf einem mittleren Niveau einpendeln.

Die gewählte Konstruktion aus geotextilen Sandsäcken ist vergleichsweise flexibel und kann bei Bedarf auch einfach ausgebessert werden. Sollten durch besondere Umstände einzelne Säcke zerstört werden (z.B. durch Schiffsanker odgl.) und größere Deformationen des Damms entstehen, können diese Fehlstellen problemlos durch weitere Säcke ergänzt werden. Ein filterstabiler Unterbau unter den Säcken ist nicht erforderlich.

Steinschüttdamm/Kiesdamm

Der Randdamm kann alternativ als Steinschüttdamm mit einem kleinen Steindurchmesser bzw. aus Kies erstellt werden. Für ein Steinschüttdamm, der vergleichbare Abmessungen zum Randdamm aus geotextilen Sandsäcken aufweist, ist ein filterstabiler Unterbau, z.B. durch ein Sinkstück erforderlich. Vom Einsatz von Geotextilfiltern wird für die UWA abgeraten, da sich – sollten größere Schäden am Randdamm z.B. infolge größerer Umlagerungen der in diesem Bereich sehr tiefen Elbsohle auftreten – die großflächigen Geotextilfilter dann mit der Strömung bewegen und können zu Schäden an Schiffsschrauben etc. führen.

Geotextilschlauch

Eine weitere Alternative besteht in der Konstruktion des Randdamms aus großen Geotextilschläuchen. Diese sind aber in der Summe weniger flexibel als eine Sandsackkonstruktion und es besteht bei der Beschädigung eines größeren Schlauchs eine deutlich größere Gefahr von weitergehenden Schäden an dem Gesamtbauwerk.

Flächige Abdeckung

Eine flächige Abdeckung der UWA mit einer Deckschicht ist grundsätzlich denkbar, wird aber nicht für eine nachhaltige Konstruktion als erforderlich erachtet.

3.4.6 UWA Scheelenkuhlen und Brokdorf

Beschreibung der topografisch-morphologischen Randbedingungen

Grundsätzlich sind die Verhältnisse vergleichbar zur stromab gelegenen UWA St. Margarethen, mit der Ausnahme, dass der Abstand zur tief liegenden Fahrwasserrinne deutlich größer ist. Demzufolge sind auch die Strömungsgeschwindigkeiten geringer. Dies haben auch die weitergehenden Strömungsuntersuchungen der BAW bestätigt.

Die beiden in die Planfeststellung eingereichten UWA Scheelenkuhlen und Brokdorf dienen jeweils zum Schutz eines buhnenverbauten Abschnitts der Elbe. In dem ca. einen Kilometer langen Bereich zwischen diesen beiden UWA steht der Hochwasserschutzdeich direkt an

der Elbe. Die Unterwasserböschung fällt in diesem Bereich direkt am Ufer auf ein Niveau von ca. -8 bis -9 mNN ab, so dass aufgrund der Prallhanglage verbunden mit der größeren Fließtiefe auch vergleichsweise hohe Fließgeschwindigkeiten auftreten werden. Die ober- und unterstrom vorgesehenen UWA tragen darüber hinaus sowohl beim Flut- wie auch beim Ebbstrom zu einem erhöhten Turbulenzeintrag ein, so dass sich tendenziell für diesen Bereich die Erosionsgefahr geringfügig erhöhen dürfte. Eine detaillierte Aussage aus den weitergehenden Berechnungen der BAW lässt sich allerdings hierzu nicht ableiten.

Geometrie, Kontur

Aufgrund oben erläuterten Zusammenhänge wird empfohlen, die beiden UWA miteinander zu verbinden, um so die Schutzwirkung auch auf den direkt angrenzenden Deichabschnitt auszuweiten. Die Stirnseiten der UWA werden strömungsoptimiert. Sollte die bereits hergestellte Einfassung aus dem vorangegangenen Fahrrinnenausbau bei der UWA Scheelenkuhlen baulich intakt sein, kann an diesen Randdamm angeschlossen werden; alternativ ist die Fußsicherung auch in diesem Bereich neu zu erstellen.

Sicherungsmaßnahmen

Grundsätzlich ist ein zur UWA St. Margarethen analoger Aufbau der UWA mit einer dammartigen Fußsicherung aus abgestuftem Feinkies vorgesehen. Diese Fußsicherung wird im Wesentlichen nur im Bereich der ehemaligen UWA Scheelenkuhlen und an den Stirnseiten benötigt. Weiter oberstrom sind die Neigungen der UWA so flach, dass eine Fußsicherung wirkungslos wird. Grundsätzlich gelten die Aussagen aus Abschnitt 3.4.5 für die UWA St. Margarethen.

Bauablauf

Es gelten die Aussagen aus Abschnitt 3.4.5 für die UWA St. Margarethen.

Monitoring

Es gelten die Aussagen aus Abschnitt 3.4.5 für die UWA St. Margarethen.

Alternative Konstruktionen

Grundsätzlich gelten die Aussagen aus Abschnitt 3.4.5 für die UWA St. Margarethen auch für die beiden UWA Scheelenkuhlen und Brokdorf. Aufgrund des größeren Abstandes zur tiefen Fahrwasserrinne ist aber eine Konstruktion mit flacheren Neigungen und einem geringeren Sicherungsaufwand möglich.

3.5 Bauablauf und Baugeräteinsatz

3.5.1 Bauablauf

Der Gesamtbauablauf der Fahrrinnenanpassung ist in den Antragsunterlagen zum Planfeststellungsunterlagen [1] beschrieben und in den Ergänzungsunterlagen [2] fortgeschrieben worden. Die UWA-spezifischen Aspekte des Bauablaufs sind in den einzelnen Abschnitten der Konstruktion beschrieben, s. Abschnitt 3.4.2 bis 3.4.6. Nachfolgend werden demzufolge nur noch einige übergeordnete Aspekte erläutert.

Grundsätzlich steht im Projektgebiet nur wenig gröberes Material zur Verfügung, das für Abdeckungen oder den Einbau in den oberen Schichten der UWA verwendet werden kann und soll. Demzufolge sollte auch immer eine geeignete Deponierungsfläche zur Verfügung stehen, wenn gröberes Material gebaggert wird, so dass dies dort wo es sinnvoll ist eingebaut werden kann. Dies erfordert praktisch, dass jederzeit mehrere UWA im Aufbau sind. Dies führt auch dazu, dass die einzelnen unterschiedlichen Bauabläufe im Sinne einer wirtschaftlichen Gesamtumsetzung harmonisiert werden und kontinuierlicher ablaufen können.

Zwischenbauzustände

Planmäßige Zwischenbauzustände sind ebenfalls in den UWA-spezifischen Bauabläufen beschrieben.

Die dammartigen Bauwerksteile wie die Fußsicherungen oder der Initialdamm in der UWA Medemrinne sind zeitnah nach Errichten mit Baggergut anzufüllen, da sie sonst erhöhte Turbulenzen hervorrufen, was zu nachfolgenden Erosionen führen kann. Da der Einbau mit unterschiedlichem Gerät und somit weitgehend unabhängig voneinander erfolgt, können diese Abläufe im Bauablauf berücksichtigt werden. Durch die örtliche Bauüberwachung ist sicher zu stellen, dass dies auch umgesetzt und nachgewiesen wird.

Für die UWA-Bereiche, die mit Abdeckungen versehen sind, ist zu gewährleisten, dass direkt nach Erreichen der planmäßigen Auffüllhöhe mit Baggergut, die Abdeckung auch eingebaut wird, da sonst mit einem erhöhten Materialverlust durch Erosionen zu rechnen ist. Hierfür ist das entsprechende Abdeckmaterial vorzuhalten,

Sollte es zu längeren außerplanmäßigen Unterbrechungen kommen, führen die gewählten, weichen Konstruktionen nur zu geringen Umlagerungen an den bis dahin umgesetzten Abschnitten.

3.5.2 Geräteinsatz

Das Baggergut, das in die UWA eingebaut wird, wird weitgehend mit Hopperbaggern gebaggert und zu den Deponierungsstellen transportiert. Fester gelagerte Sedimente werden mit Eimerkettenbaggern gebaggert und mit Schuten zu den UWA transportiert, s. Antragsunterlagen zum Planfeststellungsverfahren [1].

Ablagerung des Baggergutes

Bei großen Wassertiefen wie z.B. bei den unteren Lagen der UWA Medemrinne, kann das Baggergut über die Bodenventile der Hopperbagger oder über Klappschuten in die UWA eingebracht werden. Bei diesem Einbauverfahren werden zwar Teile des Baggergutes aufgrund der Tidedrömung verdriftet, da aber Kornhaufen deutlich schneller sinken als Einzelkörner, wird der Materialverlust vergleichsweise gering bleiben. Die Ablagerung wird während aller Tidephasen erfolgen, so dass die ablagerungsbedingte Verdriftung nicht vollständig unterbunden werden kann. Es sollte aber darauf geachtet werden, dass z.B. am Abzweig der Medemrinne Richtung Nordwesten nicht bei Flutstrom verklappt wird, um den Sedimenteintrag in die Fahrrinne zu minimieren. Sinngemäßes gilt für alle UWA bzw. deren Ränder.

Bei den großen Wassertiefen ist eine besondere Einbaugenauigkeit nicht erforderlich, da diese Lagen nachfolgend überschüttet werden. Größere exponierte Haufen werden durch die Strömung geglättet.

Bei abnehmenden Wassertiefen ist in Abhängigkeit vom Tide-Wasserstand und dem Tiefgang der eingesetzten Schiffe und Schuten die oben genannte Ablagerungsform nicht mehr

möglich. Um unabhängig von den Tideströmungen das Baggergut ablagern zu können, bieten sich hierfür Verrieseler an, die das Baggergut in einem Rohr mit abschließendem Diffusor zur Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit dicht über der Sohle einbringen. Die Einbaugenaugigkeit der Verrieseler ist für die großen Flächen und Massen ausreichend, da die oszillierende Tideströmung zu einer Glättung der Oberfläche führt.

Die Sedimentzufuhr zum Verrieseler erfolgt über eine Schwimmleitung, in die die Hopperbagger direkt das Sediment einspeisen bzw. Schutenentlader das Baggergut von den Transportschuten in die Schwimmleitung einspeisen. Die Schwimmleitung ist aufgrund der Tideströmungen an temporären Dalben zu fixieren und zu führen. Am Einspeisepunkt ist ggf. eine Festmachemöglichkeit an Dalben für die Schiffe vorzusehen.

Materialtransport, Zwischenlagerung und Umschlag für Abdeckungen und andere Sicherungsmaßnahmen

Das Material für Sicherungsmaßnahmen kann nicht oder nur zu sehr geringen Teilen aus der Fahrrinnenanpassung selbst gewonnen werden. Es wird voraussichtlich mit Großpontons oder vergleichbaren Gerät ins Elbegebiet transportiert. Die Großpontons werden das Kiesmaterial auf einem Zwischenlager, ggf. auch auf einem Unterwasser-Zwischenlager deponieren, von wo es mit kleineren Schuten bedarfsgerecht zum Einsatzort transportiert wird. Ein Zwischenlager wird erforderlich, da der Einbau vergleichsweise langsam geht, nicht kontinuierlich durchgeführt werden kann und die Bauabläufe flexibler gestaltet werden können. Insbesondere die flexible Gestaltung wird erforderlich sein, da es zu witterungsbedingten oder maschinentechnischen Unterbrechungen der Bauabläufe kommen kann. Äußere Einflüsse, wie Unterbrechungen aufgrund von naturschutzfachlichen Belangen müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Die Zwischenlagerung erfordert zwar ein mehrfaches, kostenintensives Umladen des Materials, es bringt aber auch Kostenvorteile, die die Mehrkosten im Gesamtprojekt voraussichtlich kompensieren werden. Letztendlich kann das nur im Wettbewerb von den ausführenden Firmen in Abhängigkeit der verfügbaren Geräte, Transportwege und -kosten, Kiesbezugsquellen etc. ermittelt werden.

Bau Fußvorlagen und Kiesdämmen (Fußsicherung, Initialdamm etc.)

Die dammartigen Bauwerke werden mit einem Hydraulikbagger auf einem Stelzenponton hergestellt. Er entnimmt das einzubauende Material aus den Transportschuten und baut es profilgerecht ein.

Bau von flächigen Abdeckungen,

Die Abdeckungen, die aus gemischtkörnigem Material bis zur Kiesgröße erstellt werden, sind flächenhaft mit einem Steinstürzer einzubringen, um eine effiziente flächenhafte Abdeckung zu gewährleisten. In Randbereichen kann der Einsatz von Hydraulikbaggern auf Stelzenpontons erforderlich werden. Beim Einbau der Abdeckungen sind die Tideströmungen zu berücksichtigen; dies gilt insbesondere für große Wassertiefen..

3.6 Wirtschaftlichkeit der Bauweisen

Die Wirtschaftlichkeit der Baumaßnahmen hat neben der technischen Realisierbarkeit und der Umweltverträglichkeit eine wesentliche Bedeutung. Neben den Investitions- und Unterhaltungskosten ist auch der technische Aufwand, der für eine Ausbesserung von Fehlstellen oder eine generelle Anpassung erforderlich ist, zu berücksichtigen. Die Konstruktionen wurden demzufolge bewusst einfach und flexibel anpassbar gewählt.

Die Ergebnisse der im Rahmen der „Studie zur Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Einfassungsbauwerken für Unterwasserablagerungsflächen“ (s. IMS 2006) angestellten Untersuchungen zu Investitionskosten für Sicherungsmaßnahmen an den damals untersuchten UWA haben dem Grunde nach unverändert ihre Gültigkeit, auch wenn sich die Einheitspreise ggf. seit dem verändert haben. Dort hatte sich gezeigt, dass aufwändige Deckwerke mit einem mehrschichtigen Aufbau (Deckwerk und Filter) deutlich teurer sind als einschichtige Schutzsysteme. Hierzu zählt in Abhängigkeit der Korndurchmesser auch der Einsatz von gestuftem Material, das eine ausreichende Filterstabilität zum Untergrund aufweist. Gleiches gilt für flächige Abdeckungen. Der einfache Aufbau führt nicht nur zu wirtschaftlichen Bauweisen sondern auch zu nachhaltigeren Lösungen in dem morphodynamisch sensiblen Gebiet.

Die aufwändigste Einzelmaßnahme der Sicherungsbaumaßnahmen ist der Initialdamm der UWA Medemrinne, der quer durch die Medemrinne verläuft. Dieser Damm ist erforderlich, um die Verdriftung des Materials anfänglich klein zu halten und im Schutz des Damms beidseitig – je nach Strömungsrichtung – Baggergut zu verklappen bzw. einzuspülen. Der Schutz des Initialdamms wird nachfolgend durch die Masse des angrenzenden Sandes ober- und unterwasserseitig des Damms verbessert. Durch die Beobachtung (regelmäßige Peilungen) können Abflachungen der UWA Medemrinne frühzeitig erkannt werden und es kann durch Verbringen von Baggergut aus der Fahrrinnenunterhaltung entgegen gewirkt werden. Da der Initialdamm deutlich gröberes Material aufweist, stellt er auch einen entsprechend größeren Strömungswiderstand dar und gewährleistet die geforderte Wirkstabilität. Das wirtschaftliche Optimierungspotenzial des Initialdamms besteht praktisch nur noch in der Bauausführung, wenn der genaue Bauablauf und Geräteinsatz, die Verfügbarkeit des Kieses und die weiteren Randbedingungen, die praktisch nur der ausführende Bauunternehmer festlegen kann, bekannt sind. Die Abdeckung des Initialdamms, die sich ggf. aus dem baubegleitenden Monitoring-Programm ableitet, ist so konzipiert, dass sie bedarfsweise erstellt bzw. weggelassen werden kann.

Die Größe der flächigen Abdeckungen wurde auf ein Minimum an neuralgischen Punkten minimiert. So zeigten zum Beispiel die weitergehenden Untersuchungen der BAW für die UWA Medemrinne, dass die Geschwindigkeitsunterschiede auf der UWA vergleichsweise gering sind. Die flächige Abdeckung der UWA wurde demzufolge auf einen schmalen Streifen an der nordöstlichen Seite zum angrenzenden Watt reduziert, der gewährleistet, dass der Geschiebeeintrag aus der UWA auf das Watt nicht angefacht werden kann. An der UWA Neufelder Sand wurde die flächige Abdeckungen auf eine Turbulenzzone, die aus dem oberstromigen, mit Bühnen verbauten Abschnitt resultiert, beschränkt. Die Abdeckungen müssen direkt nach Abschluss der Auffüllung des Baggergutes hergestellt werden, was einen gewissen Zwangspunkt im Bauablauf darstellt.

Die zwischen Modellberechnung und Naturmessung an LZ 3 festgestellten abweichenden Ergebnisse der Ebbströmung an beiden UWA Glameyer Stack West wurden insofern berücksichtigt, dass – je nach Erfordernis – eine Abdeckung nachgerüstet werden kann.

Ein wesentlicher Aspekt für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ist das begleitende Monitoring-Programm. Da es bereits in der Bauzeit einsetzen soll, können mit den bauzeitlichen Erkenntnissen weitere Optimierungsmaßnahmen eingeleitet werden, bzw. mögliche Defizite frühzeitig erkannt und rechtzeitig gegengesteuert werden.

Für die kleineren UWA Glameyer Stack Ost und West, St. Margarethen, Scheelenkuhlen und Brokdorf wurden im Wesentlichen nur Fußsicherungen vorgesehen, die dammartig am Fuß der UWA bzw. im Übergangsbereich zur natürlichen Unterwasserböschung angeordnet sind. Dies erfolgte in enger Abstimmung mit dem Auftraggeber basierend auf den Erfahrungen vom Bau und Betrieb anderer Unterwasserablagerungsflächen in der Elbe (z.B. Krautsand). Um die Übergänge an die angrenzenden Unterwasserböschungen so fließen wie möglich zu gestalten und damit den Strömungsangriff zu reduzieren ist vorgesehen, die Fußsicherungen mit Baggergut zu überschütten. Es ist zwar davon auszugehen, dass die Überschüttungen sukzessive erodieren können, dies führt aber noch zu keinen Schäden an den UWA.

Der Querschnitt dieser dammartigen Konstruktion ist zwar größer als bei einer reinen Abdeckung im Fußbereich (und somit auch die einzubringenden Massen), diese Konstruktion lässt sich aber im Bauablauf sehr viel unabhängiger von den anderen Maßnahmen herstellen, da nur in wenigen Fällen eine direkte Eindeckung mit Baggergut erforderlich ist (bevorzugt an den Stirnseiten der UWA, bei denen die Fußsicherung nicht strömungsparallel angeordnet ist). Die vorgestellten alternativen Dammkonstruktionen führen zwar dazu, dass mehr Baggergut in der einzelnen UWA untergebracht werden kann, der bauliche und wirtschaftliche Aufwand für den Bau ist aber wesentlich größer.

Die Reparierbarkeit aller Sicherungsmaßnahmen ist uneingeschränkt gegeben, da es sich um einfache geschüttete Konstruktionen handelt. Sollten Beschädigungen auftreten oder aus anderen Gründen Nachbesserungen erforderlich werden, kann durch Nachschütten – ggf. auch mit angepassten Korndurchmessern – die Konstruktion wieder in Stand gesetzt werden. Der Aufwand ist im Vergleich zu anderen Konstruktionen immer geringer. Für die großen flächigen Sicherungsmaßnahmen an den UWA Medemrinne und Neufelder Sand wurde explizit darauf geachtet, keine Fremdstoffe (wie z.B. Geotextilien) einzusetzen, um z.B. bei großräumigen morphologischen Veränderungen im Bedarfsfall einfach auf die angepassten Randbedingungen reagieren zu können. Großräumige morphologische Veränderungen sind in diesem Zusammenhang z.B. das Durchbrechen des nördlichen Teils der Medemrinne zum Klotzenloch. Sollte sich hieraus in weitergehenden Untersuchungen ergeben, dass z.B. eine größere tidedämpfende Wirkung der UWA Medemrinne sinnvoll ist, kann die UWA problemlos erhöht werden. Die Anpassung an die vorgesehenen Sicherungsmaßnahmen ist einfach herstellbar.

Ohne die Investitions- und Unterhaltungskosten im Detail spezifiziert zu haben, wurde aufbauend auf den bereits vorliegenden Ergebnissen der Machbarkeitsstudie zu den UWA (IMS 2006) die Konstruktion der UWA dahingehend optimiert, dass die Sicherungen nur lokal eingesetzt werden müssen, in der Konstruktion einfach und wirtschaftlich sind und somit einfach zu unterhalten und ggf. auszubessern sind.

4 Zusammenfassung und weitergehende Empfehlungen

Die vorgesehene Fahrrinnenanpassung der Elbe an die moderne Containerschifffahrt wurde derart konzipiert, dass das anfallende Baggergut zu strombaulichen Zwecken in Unterwasserablagerungsflächen (UWA) im Gebiet der Anpassung eingebaut wird. Die UWA haben verschiedene Funktionen (Tidedämpfung, Strömungslenkung bzw. Ufersicherung) und damit auch unterschiedliche Bedeutungen im Gesamtkonzept. Die alles überragende UWA ist die tidedämpfende UWA in der Medemrinne, nachgefolgt von der UWA Neufelder Sand, die strömungslenkend wirkt. In diesen beiden UWA wird auch die größte Menge Baggergut untergebracht.

Das Elbeästuar besteht im Untersuchungsgebiet weitgehend aus kohäsionslosen Feinsanden. Die Strömungsbedingungen, die aus morphologischer Sicht nahezu ausschließlich von der Tidedrömung beeinflusst sind (Seegang und auch Schiffswellen haben für die UWA kaum eine Relevanz), machen das Untersuchungsgebiet zu einem morphologisch hochdynamischen Gebiet. Die Veränderungen am Klotzenloch und an der Medemrinne in den letzten 80 Jahren verdeutlichen das eindrucksvoll.

Dieser Tatsache folgend sollten strombauliche Maßnahmen in diesem Gebiet nur aus flexiblen, weichen Konstruktionen bestehen, die sich an die übergeordneten morphodynamischen Prozesse flexibel anpassen können. Dies gilt insbesondere für die mitten im Gebiet liegenden UWA Medemrinne und Neufelder Sand. Starre Konstruktionen wie schwere Deckwerke oder gar Spundwände widerstehen zwar dem Strömungsangriff, die Strömungsenergie greift aber in der Regel die Ränder in Form von Kolken und Unterspülungen an, insbesondere, wenn in diesen Bereichen sowieso schon Geschiebetransport stattfindet. Derart starre Bauwerke sind nur dann empfehlenswert, wenn ein bestimmtes Bauwerk (z.B. Ufer) geschützt werden soll.

Ergänzend zu den Antragsunterlagen des Planfeststellungsverfahrens wurden durch die BAW weitergehende Untersuchungen und Berechnungen zur Ermittlung bemessungsrelevanter Strömungsgrößen an den UWA Standorten durchgeführt, die als wesentliche Grundlage mit in diese Studie eingeflossen sind.

Die Überprüfung verschiedener Bemessungsansätze zum Transportbeginn von Geschiebe hat gezeigt, dass nicht zuverlässig festgestellt werden kann, welcher Ansatz im Projektgebiet die Verhältnisse am besten beschreibt, da eine erhebliche Streubreite in den Berechnungsergebnissen vorliegt. Dies ist für derartige Berechnungen nichts Ungewöhnliches; es ist aus diesem Grund aber umso bedeutender, dass die Konstruktion flexibel angepasst werden kann. Deckwerksansätze kommen aufgrund der Konstruktion der Bauwerke nicht in Frage. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für Sicherungsmaßnahmen an den UWA Materialien eingesetzt werden müssen, die im Zuge der Fahrrinnenanpassung nicht aus dem anstehenden Baggergut entnommen werden können, sondern von außen in das Gebiet transportiert werden müssen.

Die UWA wurden auf Grundlage der ergänzenden Untersuchungen der BAW und der vorliegenden bathymetrischen Verhältnisse in ihrer äußeren Form und Kontur optimiert ohne dass zu erwarten ist, dass sich die hydraulisch-morphologische Wirkungsweise ändert (die Höhenlagen der UWA Medemrinne und Neufelder Sand wurden z.B. unverändert beibehalten).

Für die UWA Medemrinne wurde vorgesehen, dass der Initialdamm, der erforderlich wird, um im Strömungsschatten das Baggergut zu deponieren, deutlich weicher als bisher geplant aus Kies gebaut wird. Durch die schützende Wirkung des angrenzenden Baggergutes ist aber die Wirkstabilität sehr wohl gewährleistet. Auf dem nordöstlichen Rand ist auf einem Streifen eine Abdeckung vorgesehen, um einem möglichen Eintrag von Geschiebe in das angrenzende Watt entgegen zu wirken.

Als wesentlicher Bestandteil der Maßnahmen ist ein Monitoring der UWA zu sehen, das insbesondere für die UWA Medemrinne, Neufelder Sand und Glameyer Stack bereits baubegleitend einsetzt, um bereits in der Bauphase erste Erkenntnisse über das Verhalten der Konstruktion zu gewinnen und ggf. bereits frühzeitig reagieren zu können (z.B. durch den Einsatz gröberer oder auch feineren Materials für Sicherungsmaßnahmen).

Die UWA Neufelder Sand kommt weitgehend ohne Sicherungsmaßnahmen aus, da sie mit extrem flachen Böschungen versehen ist und die BAW-Untersuchungen nahezu keine Veränderung der Strömungsbelastung durch den Bau der UWA ausgewiesen wurden.

Die kleineren UWA Glameyer Stack Ost und West, St. Margarethen und Scheelenkuhlen/Brokdorf dienen der Sicherung der Unterwasserböschung. Sie werden im Wesentlichen mit einer Fußsicherung aus Kies gesichert, wobei auch für diese UWA ein begleitendes Monitoring empfohlen wird, um ggf. auf der UWA stattfindende Erosionen durch die Aufbringung von Baggergut aus der Fahrrinnenunterhaltungsbaggerung zu kompensieren. Somit wird das Sediment auch im System gehalten, was grundsätzlich positiv zu bewerten ist.

Für die UWA Glameyer Stack wird empfohlen in weitergehenden Untersuchungen zu klären, woher die vergleichsweise großen Differenzen bei den Geschwindigkeiten zwischen Messung und Berechnung resultieren. Je nach Ergebnis kann hieraus resultieren, dass doch eine Abdeckung der beiden UWA Glameyer Stack erforderlich wird.

Die Veränderung der Strömungsgeschwindigkeiten durch den Bau der UWA wurde in den Untersuchungen der BAW vergleichsweise gering ausgewiesen, so dass auch vergleichsweise geringfügig gröbere Kornfraktionen ausreichen, um die gleiche Erosionsstabilität wie im Ist-Zustand zu gewährleisten. Im Rahmen des verfügbaren Materials sollten an der oberen Schicht jeweils gröbere Kornfraktionen abgelagert werden. Dies gilt insbesondere für den Bereich stromauf und stromab des Initialdamms der UWA Medemrinne und für die UWA Glameyer Stack. Dennoch sind lokale Erosionen durch die lockere Lagerung und die bauwerksinduzierten Turbulenzen nicht ausgeschlossen. Diese beeinträchtigen aber nicht die Wirkstabilität der UWA. Diese Erosionen sollten im Zuge der Monitorings beobachtet und ggf. im Rahmen der Fahrrinnenunterhaltungsbaggerungen überschüttet werden.

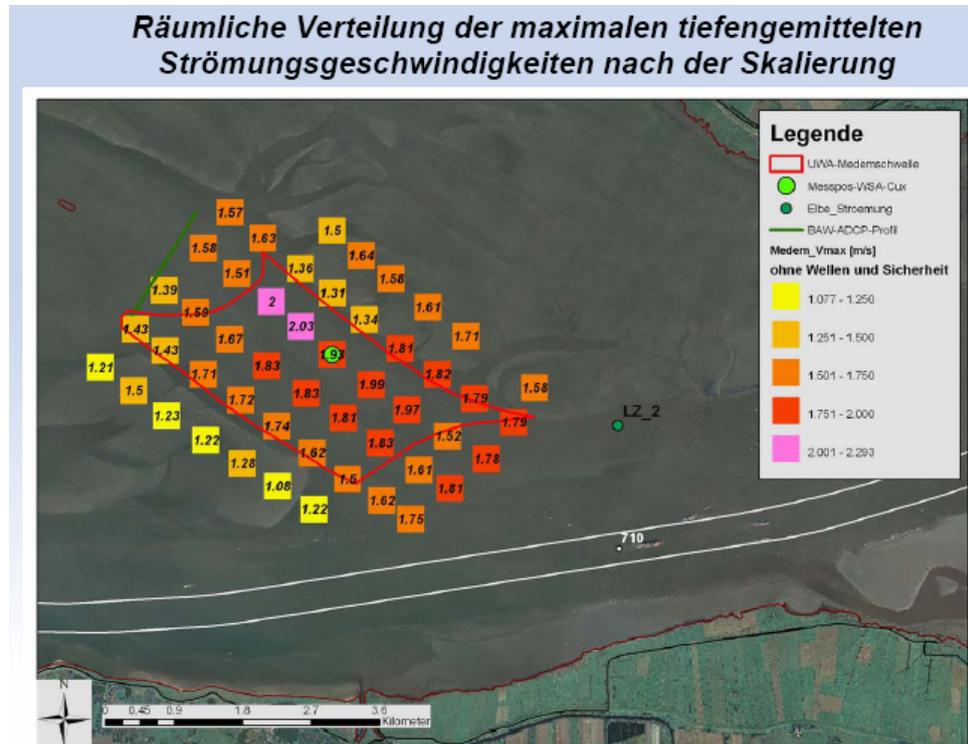
Die wesentlichen Sedimentmassen werden mit Hopperbaggern und in geringerem Umfang mit Eimerkettenbaggern und Schuten gelöst und transportiert. Der Einbau wird bei geringeren Wassertiefen, wenn ein direkter Einbau mit den Hopperbaggern nicht mehr möglich ist, mit Verrieselern eingebracht werden müssen. Dies erhöht zwar den Aufwand gegenüber der Verbringung mit Hopperbaggern, ist aber wassertiefenbedingt nicht anders möglich. Auch der Bau der Fußsicherungen, Abdeckungen etc. wird mit Hydraulikbaggern, Steinstürzern etc. vergleichsweise aufwändig, aber immer noch günstiger als der Bau von Steinschütt-Einfassungen mit mehrschichtigen filterstabilen Aufwand.

In wirtschaftlicher Hinsicht wurden die Bauwerke weiter optimiert. Durch den ausschließlichen Einsatz von Schüttgütern in einlagiger Bauweise reduzieren sich die Investitionskosten. Das Monitoring, das schwerpunktmäßig aus regelmäßigen Peilungen besteht (falls realisierbar auch um Strömungs- und Geschiebetransportmessungen im Bereich der UWA ergänzt), ist so ausgelegt, dass ggf. frühzeitig durch Unterhaltungsmaßnahmen reagiert werden kann (die weichen Bauweisen versagen nicht plötzlich sondern über längere Zeiträume). Auch die Ausbesserungs- und Anpassungsfähigkeit der UWA wurde weiter verbessert.

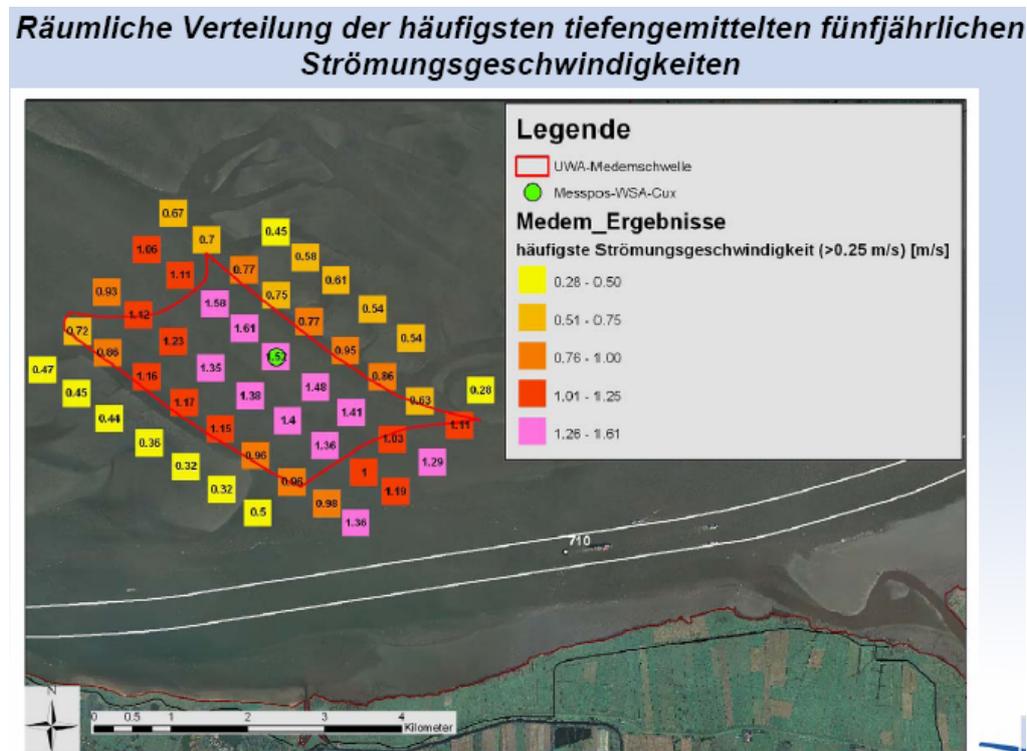
Anlagen

Anlage 1:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Medemrinne	60
Anlage 2:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Neufelder Sand	61
Anlage 3:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Glameyer Stack West.....	62
Anlage 4:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Glameyer Stack Ost.....	63
Anlage 5:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA St. Margarethen.....	64
Anlage 6:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Scheelenkuhlen.....	66
Anlage 7:	Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Brokdorf.....	68
Anlage 8:	Exemplarische Berechnung des Bewegungsbeginns nach HJULSTRØM (1935).....	70
Anlage 9:	Exemplarische Berechnung des Bewegungsbeginns nach SHIELDS (1936).....	72
Anlage 10:	Exemplarische Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten (am Beispiel LZ 3a bei der UWA Glameyer Stack West).....	73
Anlage 11:	Exemplarische Verteilung der rechnerischen, kritischen Korndurchmesser (am Beispiel der UWA Medemrinne)	75
Anlage 12:	Exemplarische Verteilung der rechnerischen, kritischen Korndurchmesser (am Beispiel der UWA Brokdorf).....	77
Anlage 13:	Querschnittsintegrierte Volumina in der Außenelbe vor (PIZ) und nach (AZ) dem Ausbau	79
Anlage 14:	Gewässerlängsschnitt in Fahrwassermittle auf Grundlage der JHP 1995 bis 2006 (Bereich Medemgrund/Glameyer Stack)	80
Anlage 15:	Gewässerlängsschnitt in Fahrwassermittle auf Grundlage der JHP 1995 bis 2006 (Bereich UWA St. Margarethen bis Brokdorf).....	81

Anlage 1: Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Medemrinne

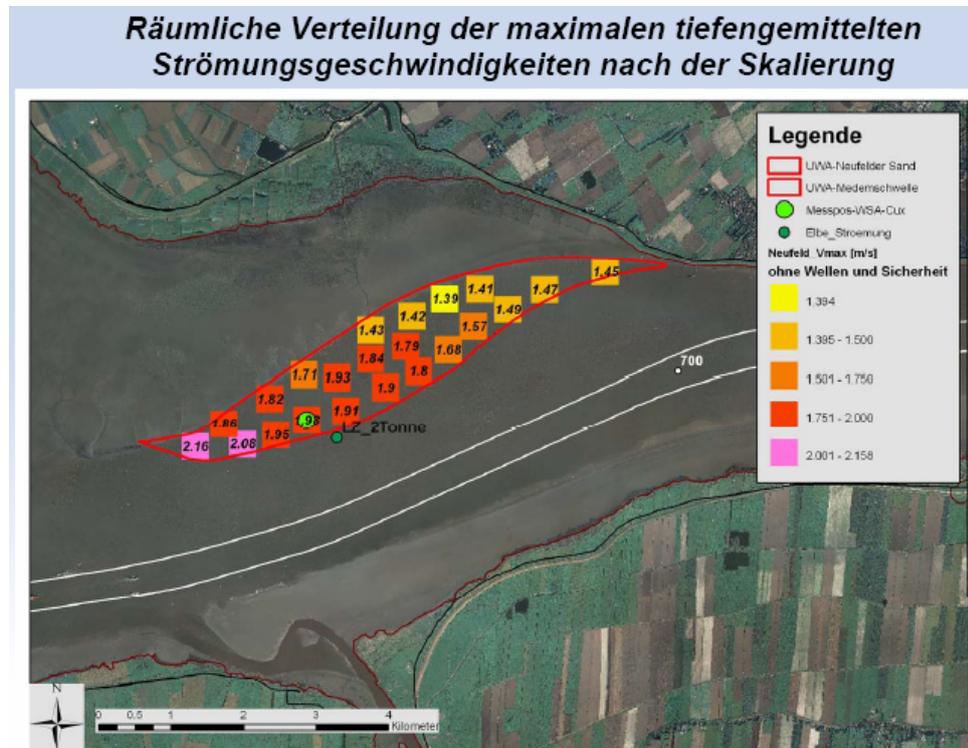


UWA Medemrinne: Maximale tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit; Quelle BAW [8]

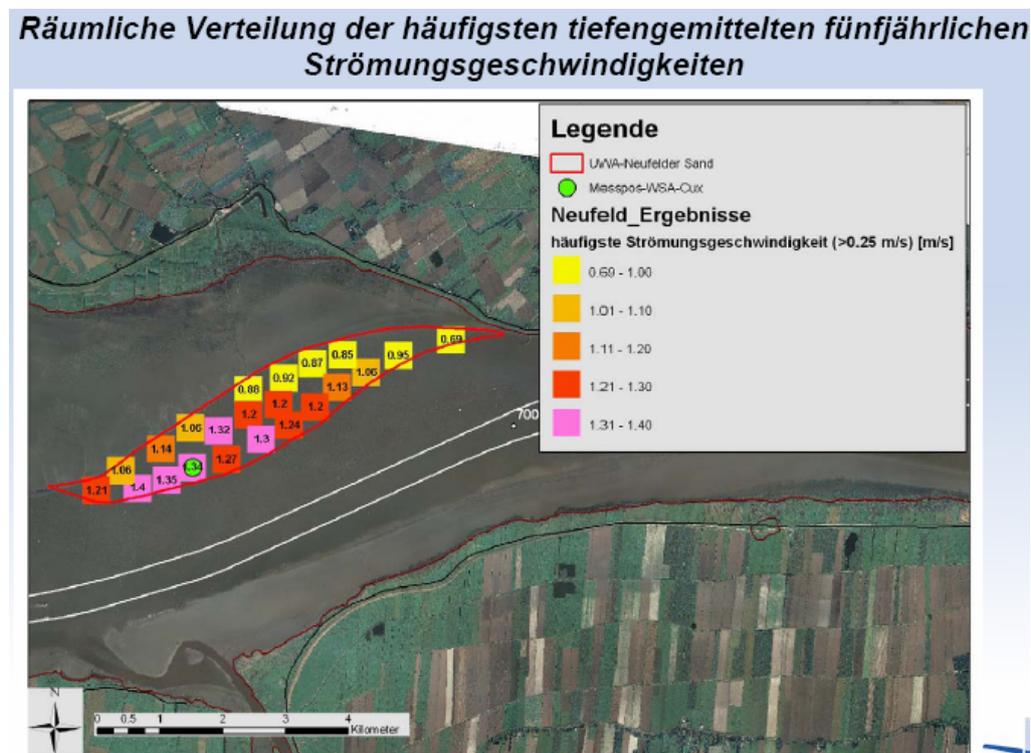


UWA Medemrinne: Häufigste tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit; Quelle BAW [8]

Anlage 2: Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Neufelder Sand

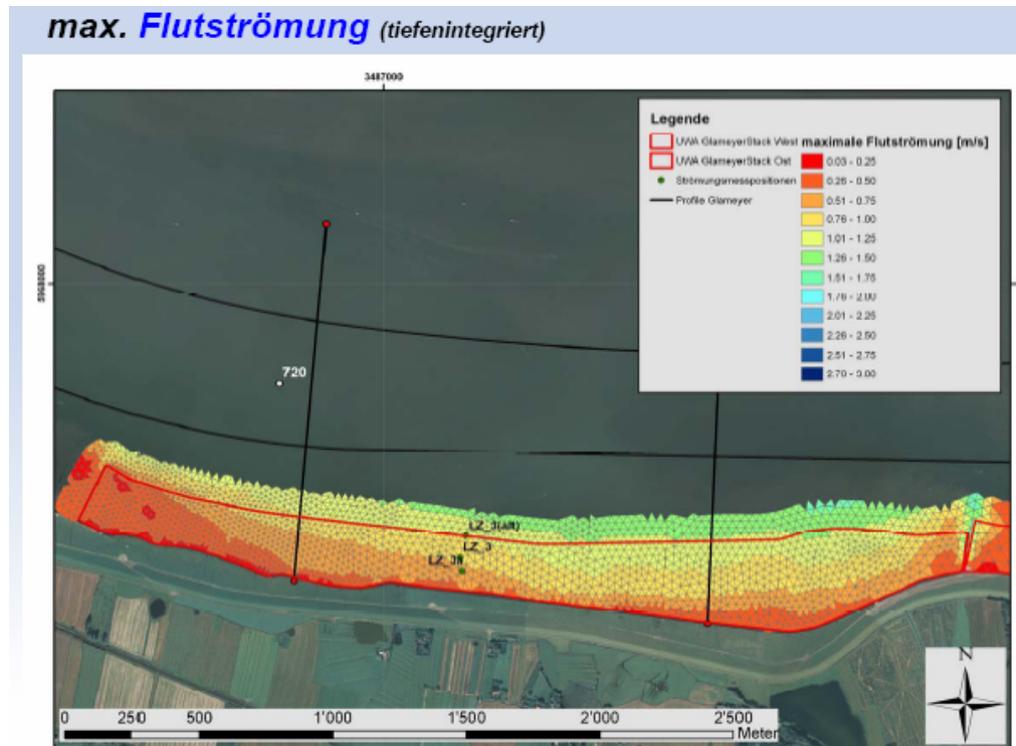


UWA Neufelder Sand: Maximale tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit; Quelle BAW [8]

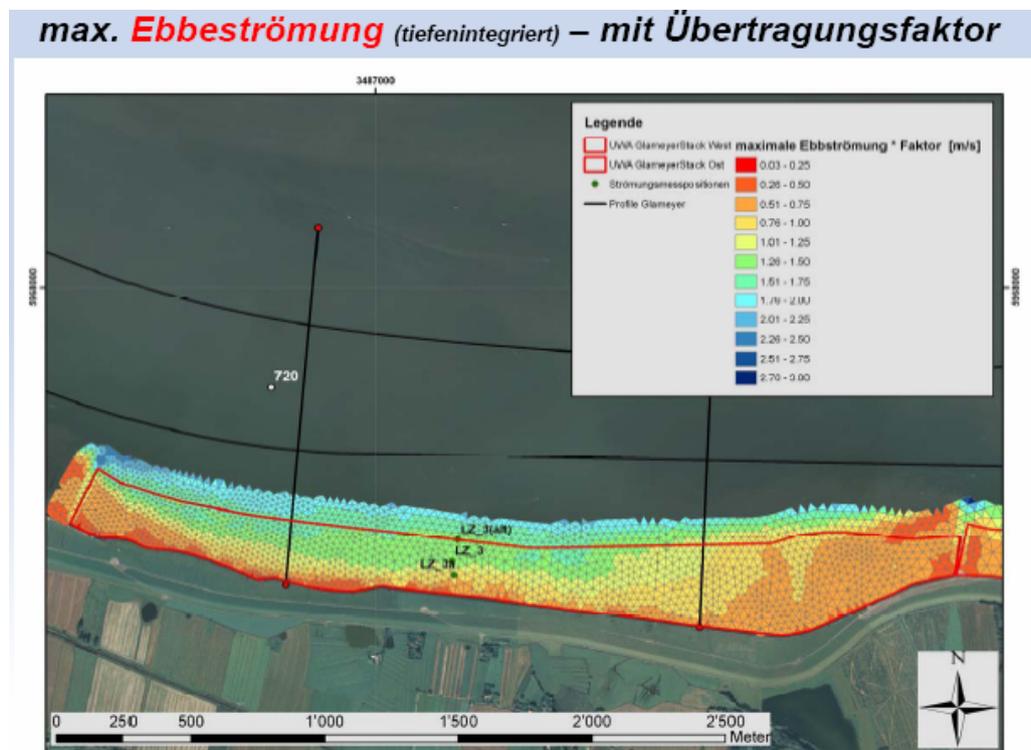


UWA Neufelder Sand: Häufigste tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeit; Quelle BAW [8]

Anlage 3: Bemessungsrelevante Strömungsgrößen – Auszug der Ergebnisse der weitergehenden BAW-Untersuchungen für die UWA Glameyer Stack West



UWA Glameyer Stack West: Max. tiefengemittelte Flut-Strömungsgeschw.; Quelle BAW [10]



UWA Glameyer Stack West: Max. tiefengemittelte Ebb-Strömungsgeschw.; Quelle BAW [10]