



# **Projektbüro Fahrrinnenanpassung WSA Hamburg**

---

## **Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt**

---

### **Studie zur Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Einfassungsbauwerken für Unterwasserablagerungsflächen**

---

**Berichts-Nr. 9020-01c**

---

**Hamburg, 14. März 2006**

---



<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1 Veranlassung</b>	<b>1</b>
1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung	1
<b>2 Revierbedingungen und Ableitung von Belastungsgrößen</b>	<b>3</b>
2.1 Allgemeines	3
2.2 Hydraulische Revierverhältnisse	5
2.2.1 Wasserstände	5
2.2.2 Tideströmungen	6
2.2.3 Seegang (Windwellen)	7
2.2.4 Schiffswellen	8
2.3 Windverhältnisse	10
2.4 Ablagerungsfläche Kratzsand	11
2.4.1 Topographie	11
2.4.2 Tideströmungen	11
2.4.3 Windwellen	13
2.4.4 Schiffswellen	13
2.5 Ablagerungsfläche Medemrinne	14
2.5.1 Topographie	14
2.5.2 Tideströmungen	14
2.5.3 Windwellen	18
2.5.4 Schiffswellen	19
2.6 Ablagerungsfläche Neufelder Sand	20
2.6.1 Topographie	20
2.6.2 Strömungsbedingungen	20
2.6.3 Windwellen	24
2.6.4 Schiffswellen	25
<b>3 Bauverfahren und Bauweisen</b>	<b>26</b>
3.1 Aufgabe der Einfassungsbauwerke	26
3.2 Bauweisen	26
3.2.1 Natürliche Böschungen mit Abdeckung	26
3.2.2 Einfassung mit Dämmen	27
3.3 Filterschicht	29
3.3.1 Kornfilter	29
3.3.2 Geotextilien als Filterschicht	30
3.3.3 Buschwerk	31
3.4 Deckschicht	32
3.4.1 Wasserbausteine	32
3.5 Kombinierte Bauweisen	34
3.5.1 Einlagige Verwendung von Korngemischen	34
3.5.2 Geotextile Matten mit Sand- oder Betonfüllung	35
3.5.3 Betonsteine auf Geotextil	36
3.5.4 Gewebematten aus Altreifen	36

3.6	Bauweisen für Einfassungsbauwerke	37
3.6.1	Schüttdämme aus Korngemischen und Wasserbausteinen	37
3.6.2	Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung	37
3.6.3	Geotextilien zur Armierung (Geokunststoff Bewehrte Erde)	38
3.6.4	Gabionen (Drahtkörbe)	38
<b>4</b>	<b>Bemessung</b>	<b>40</b>
4.1	Erfahrungen aus früheren Vorhaben	40
4.2	Standicherheit (Geotechnik)	41
4.3	Filterstabilität	41
4.4	Steingröße	41
4.4.1	Grundlagen der Sedimentmobilisierung	41
4.4.2	Berechnungsansätze zur Ermittlung der erforderlichen Steingröße	43
4.4.3	Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen	49
4.4.4	Auswahl von Steinen	54
<b>5</b>	<b>Auswahl geeigneter Bauverfahren</b>	<b>56</b>
5.1	Beurteilung der grundsätzlichen Eignung	56
5.1.1	Projektspezifische Randbedingungen	56
5.1.2	Nicht berücksichtigte Bauverfahren	57
5.1.3	Geeignete Bauverfahren	57
<b>6</b>	<b>Konstruktion der Bauwerke</b>	<b>59</b>
6.1	Konstruktionsprinzipien	59
6.2	Konstruktion der Abdeckung des Baggergutes sowie der Einfassungsbauwerke (Abdeckung des natürlichen Böschungen)	60
6.2.1	Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	61
6.2.2	Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	62
6.2.3	Einlagige Abdeckung mit Korngemisch	64
6.3	Konstruktion der Böschungssicherung (Einfassung mit Dämmen)	65
6.3.1	Schüttdämme aus Korngemisch	65
6.3.2	Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung	65
<b>7</b>	<b>Kostenvergleich der Bauverfahren</b>	<b>68</b>
7.1	Leistungen und Einheitspreise	68
7.2	Kosten Abdeckung	70
7.2.1	Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	70
7.2.2	Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	70
7.2.3	Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	70
7.2.4	Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	70
7.2.5	Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	70

7.3	Kosten der Böschungssicherung (Abdeckung)	71
7.3.1	Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	71
7.3.2	Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	71
7.3.3	Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	71
7.3.4	Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen	71
7.3.5	Einschichtiger Einbau mit Korngemisch	71
7.4	Kosten der Böschungssicherung (Einfassung mit Dämmen)	72
7.4.1	Schüttdämme aus Korngemisch	72
7.4.2	Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung	72
7.5	Kostengegenüberstellung	72
7.5.1	Kosten für flächige Abdeckung	73
7.5.2	Kosten für Böschungssicherung	73
7.6	Abschätzung der Kosten der einzelnen Ablagerungsflächen	74
7.6.1	UWA Kratzsand	75
7.6.2	UWA Medemrinne	76
7.6.3	UWA Neufelder Sand	78
<b>8</b>	<b>Bewertung der Bauverfahren</b>	<b>80</b>
8.1	Auswertung der Matrix und Wichtung der Kriterien	82
<b>9</b>	<b>Empfehlung eines Bauverfahrens</b>	<b>83</b>
9.1	Bauverfahren flächenhafte Abdeckung	83
9.2	Bauverfahren Einfassungsbauwerke	83
9.2.1	UWA Kratzsand	84
9.2.2	UWA Medemrinne und UWA Neufelder Sand	84
<b>10</b>	<b>Ausblick und weitere Vorgehensweise</b>	<b>85</b>
<b>Tabellen</b>		
Tabelle 2-1:	Charakteristische Tidewerte für den Pegel Otterndorf [2]	5
Tabelle 2-2:	Wellenparameter für die Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand in Abhängigkeit des Wasserstandes und der Windstärke für die Windrichtung $\theta_{\text{Wind}} = 330^\circ$ (unter Verwendung des Seegangsatlas [5])	8
Tabelle 2-3:	Maximale tiefengemittelte Geschwindigkeiten im Bereich der UWA-Fläche Kratzsand [1]	12
Tabelle 2-4:	Maximale sohlnahe Geschwindigkeiten aus Vertikalschnitten [1] (Medemrinne)	15
Tabelle 2-5:	Maximale tiefengemittelte Strömungen (Medemrinne) [1]	16
Tabelle 2-6:	Maximale sohlnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom (Medemrinne) [1]	17

Tabelle 2-7:	Relevante Strömungsgeschwindigkeiten für die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen Medemrinne	18
Tabelle 2-8:	Maximale sohlnahe Geschwindigkeiten aus Vertikalschnitten (Neufelder Sand) [1]	21
Tabelle 2-9:	Maximale tiefengemittelte Strömungen (Neufelder Sand) [1]	22
Tabelle 2-10:	Maximale sohlnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom [1]	23
Tabelle 2-11:	Maximale sohlnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom für den Bereich Neufelder Sand [1]	24
Tabelle 4-1:	Vergleich von Berechnungsansätzen für erforderliche Steindurchmesser auf einer ebenen Sohle für verschiedene Strömungsgeschwindigkeit bei reinem Strömungsangriff (ohne Wellen)	48
Tabelle 4-2:	Eingangsparameter für die Dimensionierung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen	50
Tabelle 4-3:	Erforderliche Materialgrößen der erosionsstabilen Abdeckung für die UWA-Flächen und nach Vorgaben (Tabelle 4-2) für die o.g. Szenarien	53
Tabelle 7-1:	Kosten flächige Abdeckung	73
Tabelle 7-2:	Kosten Böschungssicherung	73
Tabelle 7-3:	Abschätzung der Kosten für die Sicherung der UWA-Flächen	79
Tabelle 7-4:	Abschätzung der Kosten für die Sicherung der UWA-Flächen (Alternative)	79
Tabelle 8-1:	Wichtung der Kriterien UWA Kratzsand	82
Tabelle 8-2:	Wichtung der Kriterien UWA Medemrinne	82
Tabelle 8-3:	Wichtung der Kriterien UWA Neufelder Sand	82

## Abbildungen

Abbildung 2-1:	Übersicht bestehender (in <b>blau</b> ) und geplanter Unterwasserablagerungsflächen (in <b>rot</b> ) mit schematischer Lage im Detailausschnitt	3
Abbildung 2-2:	Topographie der geplanten Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand mit Darstellung von Schnitten	4
Abbildung 2-3:	Unterschreitungshäufigkeiten für Thw und Tnw für Messungen von 1991 bis 2000	6
Abbildung 2-4:	Wellenhöhen bei einem Wasserstand von NN +4,0 m [5] $v_{\text{Wind}} = 24 \text{ m/s}$ , $\theta_{\text{Wind}} = 330^\circ$	8
Abbildung 2-5:	Definition einer Schiffswelle (BAW)	9
Abbildung 2-6:	Windhäufigkeiten für den Standort Cuxhaven [25]	10
Abbildung 2-7:	UWA-Fläche Kratzsand	11
Abbildung 2-8:	Maximale tiefengemittelte Ebbe- (oben ) und Flutströmungen (unten) für die UWA-Fläche Kratzsand [1]	12
Abbildung 2-9:	Ablagerungsfläche Medemrinne mit Definition von Schnitten	14
Abbildung 2-10:	Maximale Flut- und Ebbströmungen in den Schnitten M-1 und M-2	15
Abbildung 2-11:	Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbströmungen im Bereich der Ablagerungsfläche Medemrinne	16

Abbildung 2-12: Maximale sohlnahe Strömungsgeschwindigkeiten (Medemrinne) [1]	17
Abbildung 2-13: Ablagerungsfläche Neufelder Sand mit Definition von Schnitten	20
Abbildung 2-14: Maximale Flut- und Ebbströmungen in den Schnitten N-1 bis N-3	21
Abbildung 2-15: Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbströmungen im Bereich der Ablagerungsfläche Neufelder Sand	22
Abbildung 2-16: Maximale sohlnahe Strömungen (Neufelder Sand)[1]	23
Abbildung 3-1: Bauablauf – Natürliche Böschungen mit Abdeckung	27
Abbildung 3-2: Bauablauf – Einfassung mit Dämmen 1	28
Abbildung 3-3: Bauablauf – Einfassung mit Dämmen 2	28
Abbildung 3-4: Bauablauf – Einfassung mit Geocontainern	29
Abbildung 3-5: Sinkstückverlegung	30
Abbildung 3-6: Geotextilverlegung ohne Faschinen (Quelle [18])	31
Abbildung 3-7: Sinkstück mit Buschwerk	31
Abbildung 3-8: Deckschicht Wasserbausteine auf Geotextil	32
Abbildung 3-9: Wasserbausteine Eisensilikat	33
Abbildung 3-10: Natürliche Wasserbausteine (Granit)	33
Abbildung 3-11: Korngemisch	34
Abbildung 3-12: Einlagige Abdeckung (Geotextil nur als Trennlage)	34
Abbildung 3-13: Geotextile Matten (Quelle [19])	35
Abbildung 3-14: Betonsteinpflaster auf Geotextilien (Quelle [20])	36
Abbildung 3-15: Matten aus Altreifen (Quelle [21])	36
Abbildung 3-16: Schüttdämme aus Korngemischen	37
Abbildung 3-17: Geotextile Schläuche (Quelle [22])	38
Abbildung 3-18: Böschungssicherung mit Geokunststoffen (Quelle [19])	38
Abbildung 3-19: Gabionen als Sohlsicherung (Quelle [23])	39
Abbildung 3-20: Spundwand als Sicherung einer Aufspülung (Quelle [24])	39
Abbildung 4-1: Kritischer Shields-Parameter $\theta_{cr}$ als Funktion des dimensionslosen Korndurchmessers $D_*$ als Grenzwert der Sedimentbewegung unter Strömungs- und/oder Wellenbelastung (nach Soulsby, 1997)	42
Abbildung 4-2: Sedimentbewegung unter Strömungsbelastung nach Hjulström	43
Abbildung 4-3: Ausbildung der Grenzschicht bei unterschiedlichen Strömungsprofilen	44
Abbildung 4-4: Definition der Berechnungspunkte für die Bemessung der erforderlichen Steingröße	49
Abbildung 6-1: Beispiele - konstruktive Details	60
Abbildung 6-2: Abdeckung –Kornfilter, Deckschicht Wasserbausteine	61
Abbildung 6-3: Abdeckung –Geotextiler Filter, Deckschicht Wasserbausteine	62
Abbildung 6-4: Abdeckung –Geotextiler Filter, Faschinen, Wasserbausteine	62
Abbildung 6-5: Abdeckung –Einlagiger Aufbau Korngemisch	64
Abbildung 6-6: Schüttdämme - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 10	65
Abbildung 6-7: Schüttdämme - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 3	65
Abbildung 6-8: Geocontainer - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 10	66
Abbildung 6-9: Geocontainer - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 3	67
Abbildung 7-1: Sicherung der UWA-Flächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand	74
Abbildung 7-2: Sicherung der UWA-Fläche Kratzsand (schematisch)	76
Abbildung 7-3: Sicherung der UWA-Fläche, Medemrinne (schematisch)	77

Abbildung 7-4: Sicherung der UWA-Fläche Neufelder Sand (schematisch)	78
Abbildung 10-1: Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Kratzsand [1]	A
Abbildung 10-2: Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Medemrinne [3]	B
Abbildung 10-3: Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Neufelder Sand [3]	C
Abbildung 10-4: Maximale Flut- und Ebbstromzustände für die Ablagerungsflächen Scheelenkuhlen, Krautsand und Twielenfleth [3]	D

## Anlagen

Anlage 1	Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für die Bereiche der UWA-Flächen im Referenzzustand
Anlage 2	Zusammenstellung Vergleichskosten
Anlage 3	Bewertungsmatrix
Anlage 4	Auswertung Bewertungsmatrix ungewichtet
Anlage 5	Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Kratzsand
Anlage 6	Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Medemrinne
Anlage 7	Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Neufelder Sand

## Verwendete Unterlagen

- [1] Bundesanstalt für Wasserbau (2005) Auszüge der Strömungsberechnungen für die Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand
- [2] Freie und Hansestadt Hamburg, Wirtschaftsbehörde, Strom- und Hafenbau (1998, 1999, 2000) Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Elbegebiet, Teil III.
- [3] Bundesanstalt für Wasserbau (1997) Tidedynamik des Elbästuars, Internetinformationen: [www.hamburg.baw.de](http://www.hamburg.baw.de).
- [4] Bundesanstalt für Wasserbau (1996) Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, Bericht Nr. 94 52 3422/23.
- [5] Mai, Paesler, Zimmermann (2004) Seegangsatlas der deutschen Nordseeküste, Wellen und Seegang an Küsten und Küstenschutzbauwerken, Mitteilungen des Franzius-Instituts, Heft 90a
- [6] WSA Cuxhaven (2004) Beweissicherungsdatenbank zur Baumaßnahme „Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt“. Internetinformationen: [www.cux.wsd-nord.de](http://www.cux.wsd-nord.de)
- [7] Bundesanstalt für Wasserbau (1989) „Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)“
- [8] ZTV-W (2000) Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau, LB210

- [9] Bundesanstalt für Wasserbau (1993) „Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)“
- [10] DIN EN 13383-1 Wasserbausteine, Teil 1, : Anforderungen, Ausgabe August 2002
- [11] TLW (2003) Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine, Ausgabe 2003, Bezugsquelle: Drucksachenstelle der WSD Mitte , Am Waterlooplatz 9, 30169 Hannover.
- [12] Bundesanstalt für Wasserbau (2004) Mitteilungsblatt Nr. 87 „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen“
- [13] Knieß, H.-G. (1977) Bemessung von Schüttsteindeckwerken im Verkehrswasserbau, Teil 1: lose Steinschüttungen, Mitt.-Bl. Nr. 42 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- [14] Projektbüro Fahrrinnenanpassung (2005) Erläuterungsbericht/Vorhabensbeschreibung, im Entwurf, Stand: 09.09.2005.
- [15] Zanke (1982) Grundlagen der Sedimentbewegung. Springer-Verlag.
- [16] DVWK (1997) Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung. DVWK-Schriften, Heft 118.
- [17] Hansen (1987) Wasserbausteine im Deckwerksbau. Westholsteinische Verlagsgesellschaft Boyens & Co.

### **Bildnachweis**

- [18] Colcrete – von Essen ([www.colcrete.de](http://www.colcrete.de))
- [19] Huesker Synthetic GmbH ([www.huesker.de](http://www.huesker.de))
- [20] Van Oord ACZ, Marine, Dredging and Offshore Contractors ([www.vanoord.com](http://www.vanoord.com))
- [21] Ringtech ([www.ringtech.de](http://www.ringtech.de))
- [22] Miratech / Ten Cate Nicolon ([www.geotube.de](http://www.geotube.de))
- [23] Rothfuss Gabionen ([www.rothfuss.de](http://www.rothfuss.de))
- [24] ReGe Hamburg Projektrealisierungsgesellschaft ([www.rege-hamburg.de](http://www.rege-hamburg.de))

### **Literatur**

- [25] Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer und Umweltbundesamt (1999) Umweltatlas Wattenmeer, Band 2: Wattenmeer zwischen Elb- und Emsmündung, Ulmer Verlag.
- [26] Eichweber (1990) Über die Wirkung von flexiblen Rauigkeitselementen auf Sedimentationsvorgänge, Doktorarbeit an der Ruhr-Universität Bochum

### **Bearbeitung**

Dipl.-Ing. Andreas Gaulke

Dr.-Ing. Karsten Peters

Dr.- Ing. Peter Ruland

Dipl.-Geogr. Jochen Stroebel

## 1 Veranlassung

### 1.1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Freie und Hansestadt Hamburg hat am 27. Februar 2002 beim Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) eine weitere Anpassung der Fahrrinne von Unter- und Außenelbe an die Erfordernisse der Containerschiffahrt beantragt. Der uneingeschränkte Planungsauftrag für die Hauptuntersuchung wurde vom Bundesverkehrsministerium an die Wasser- und Schifffahrtsdirektion –Nord erteilt.

Ein wichtiger Bestandteil der Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe ist das Strom- und Verbringungskonzept, mit dem strombauliche und ökologische Ziele verfolgt werden [14]. Im Rahmen dieses Strom- und Verbringungskonzeptes ist vorgesehen, den überwiegenden Teil des Baggergutes für Strombaumaßnahmen zu verwenden. Maßgebender Teil der Strombaumaßnahmen sind Unterwasserablagerungsflächen (UWA-Flächen) die in ihrer Lage aufgrund der auf sie wirkenden Strömungs- und Wellenbelastungen gesichert werden müssen.

Als potentielle UWA-Flächen sind neben bereits bestehenden - wie z. B. Krautsand, Twielenfleth oder Scheelenkuhlen, die Lokationen Medemrinne, Neufelder Sand und zusätzlich Kratzsand in der Unterelbe vorgesehen. Diese UWA-Flächen beeinflussen die Tidedynamik der Elbe und bewirken als künstlicher Strömungswiderstand mit erhöhter Rauheit einen erhöhten Tideenergieverzehr, aus dem unmittelbar eine Verringerung des Tidehubs resultiert. Diese Tidehubverringerung kompensiert die ausbaubedingte Erhöhung des Tidehubs als Folge der Vertiefungsmaßnahmen im Rahmen der Fahrrinnenanpassung der Elbe.

Um diese hydraulische Funktionsweise dauerhaft aufrecht zu erhalten, ist eine entsprechende Sicherung dieser UWA-Flächen erforderlich, da das Baggermaterial selbst vorwiegend sandig ist und bereits bei Strömungsgeschwindigkeiten von 0,2 m/s bis 0,5 m/s - wie sie in den Haupttrinnen bei jeder Tidephase erreicht werden - mobilisiert und transportiert wird.

Die geplanten Unterwasserablagerungsflächen (UWA-Flächen) Medemrinne, Neufelder Sand und Kratzsand sind den Tide- und Seegangsbedingungen in der zur Nordsee offenen Unterelbe ausgesetzt. Vor dem Hintergrund der zugewiesenen strombaulichen Funktion dieser UWA-Flächen ist die dauerhafte Sicherung dieser Flächen erforderlich und von besonderer Bedeutung. Diese Sicherung kann über zu erstellende Randbauwerke und erosionsstabile Flächenabdeckungen erreicht werden.

Die IMS Ingenieurgesellschaft mbH wurde von dem Projektbüro Fahrrinnenanpassung beauftragt, die Machbarkeit der Sicherung dieser genannten UWA-Flächen und deren Wirtschaftlichkeit in Form einer Studie zu untersuchen. Dabei sind im Einzelnen zu untersuchen:

- Zusammenstellung der Revierbedingungen und Ableitung von hydraulischen Belastungsgrößen der UWA-Flächen
- Bauverfahren und Bauweisen
- Bauablauf
- Bemessung und Konstruktion der Sicherung mit Randbauwerken
- Bewertung der verschiedenen Sicherungsverfahren
- Kostenbetrachtung.

Am Ende der Machbarkeitsuntersuchungen steht eine Empfehlung zur Konstruktion und Sicherung der UWA-Flächen.

## 2 Revierbedingungen und Ableitung von Belastungsgrößen

### 2.1 Allgemeines

Im Zuge der Planungsarbeiten zur Fahrrinnenanpassung werden im Rahmen des Strombau- und Verbringungskonzeptes Unterwasserablagerungsflächen mit strombaulicher Funktion im Mündungsbereich der Elbe an den Lokationen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand geplant. In der Abbildung 2-1 wird eine Übersicht bereits bestehender und der geplanten Unterwasserablagerungsflächen im Mündungsbereich der Elbe gegeben. Die geplante UWA Neufeld ist hier nur qualitativ dargestellt. Der aktuelle, wesentlich kleinere Umring ist in Anlage 1 dargestellt



Abbildung 2-1: Übersicht bestehender (in **blau**) und geplanter Unterwasserablagerungsflächen (in **rot**) mit schematischer Lage im Detailausschnitt

## Topografie

Als UWA-Flächen im Mündungsbereich der Elbe sind drei Lokationen in der Untersuchung. In Abbildung 2-2 wird eine Übersicht der Topographie für die UWA-Flächen gegeben.

Die UWA-Fläche Kratzsand lehnt sich entlang des Fahrwassers an den Spitzsand und Medemsand an. Im Bereich Medemrinne zwischen Medemgrund und Neufelder Watt soll Material auf einer Fläche von ca. 7,5 Mio. m<sup>2</sup> (2,5 km x 3,0 km) abgelagert und gesichert werden. Im Bereich Neufelder Sand wird die Ablagerungsfläche (7,7 Mio. m<sup>2</sup>) an den oberen Böschungsverlauf zwischen den Höhenkoten NN -8 m und NN -4 m über eine Länge von ca. 7,7 km angepasst.

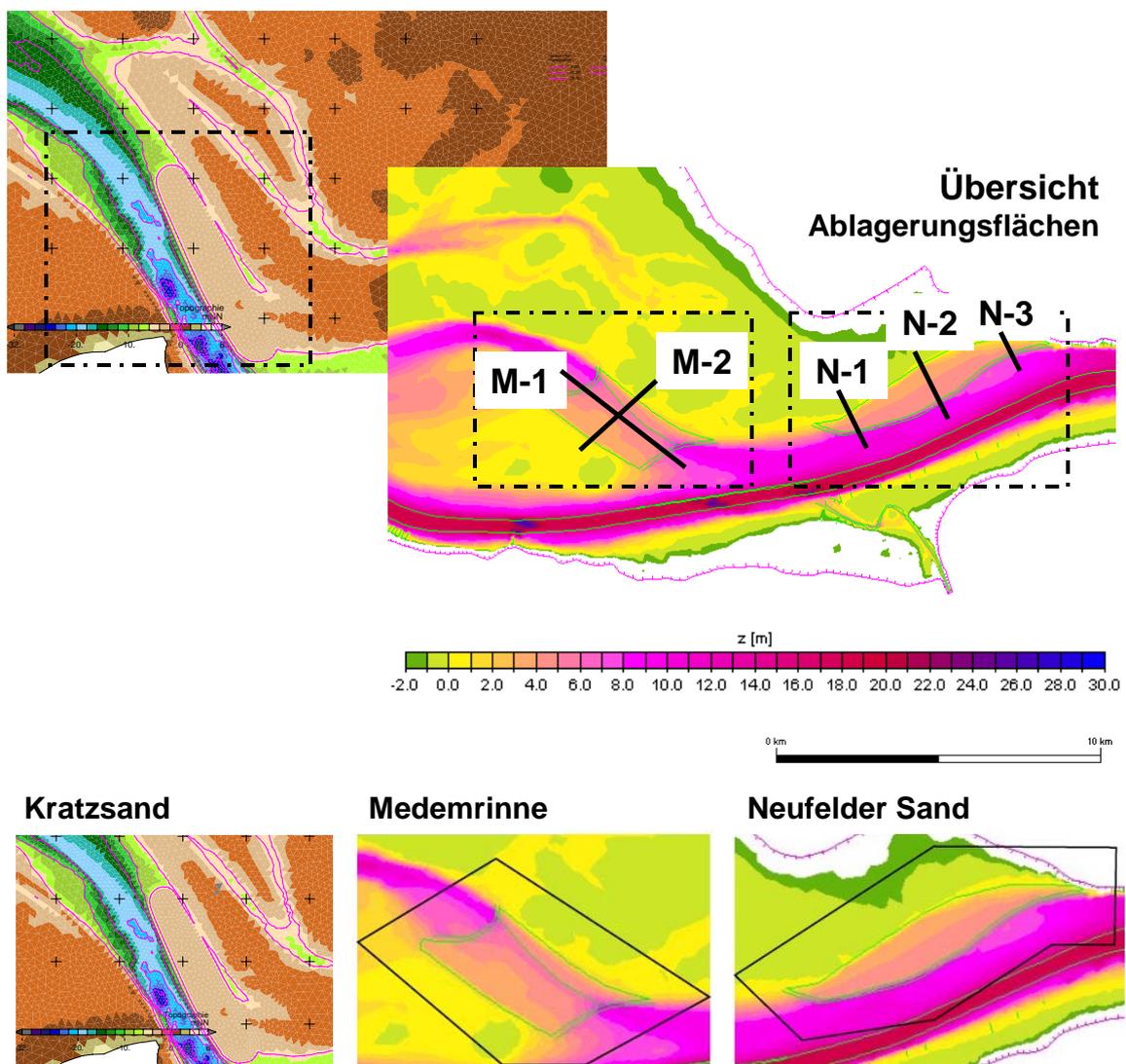


Abbildung 2-2: Topographie der geplanten Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand mit Darstellung von Schnitten

In allen Bereichen der zu untersuchenden Ablagerungsflächen Kratzsand, Memrinne und Neufelder Sand treten hydraulische Belastungen infolge Tideströmungen und welleninduzierte Strömungen infolge Wind- und Schiffswellen auf. Dabei besitzt die UWA-Fläche Kratzsand die exponierteste Lage, so dass dort von erhöhten Strömungs- und Wellenbelastungen ausgegangen werden kann. Im Folgenden werden die hydraulischen Revierverhältnisse näher erläutert.

## 2.2 Hydraulische Revierverhältnisse

### 2.2.1 Wasserstände

Stellvertretend für den Bereich der Unterelbe mit den geplanten UWA-Flächen können unter Verwendung des Pegels Otterndorf die folgenden charakteristischen Tidewerte unter Berücksichtigung der *Gewässerkundlichen Jahrbücher* 1998, 1999 und 2000 [2] in der Tabelle 2-1 angegeben werden. Für die Einzelereignisse HHThw (höchstes gemessenes Tidehochwasser) und NNTnw (niedrigstes gemessenes Tideniedrigwasser) werden zusätzlich die Eintrittszeiten angegeben.

Tabelle 2-1: Charakteristische Tidewerte für den Pegel Otterndorf [2]

Parameter	Gewässerkundliches Jahr			10 Jahre	Einzelwerte
	1998	1999	2000	1991/2000	
HHThw [mNN]					+5,42 (03.01.1976)
HThw [mNN]	+3,47	+4,54	+4,75	+4,75	
MThw [mNN]	+1,50	+1,55	+1,57	+1,50	
MTnw [mNN]	-1,38	-1,45	-1,35	-1,43	
MThb [m]	2,88	3,00	2,92	2,93	
NTnw [mNN]	-3,11	-2,56	-2,37	-3,41	
NNTnw [mNN]					-3,90 (06.03.1881)

In Anlehnung an die Wasserstandsdaten aus den *Gewässerkundlichen Jahrbüchern* werden in der Abbildung 2-3 die Unterschreitungshäufigkeiten für das Tideniedrig- und Tidehochwasser dargestellt.

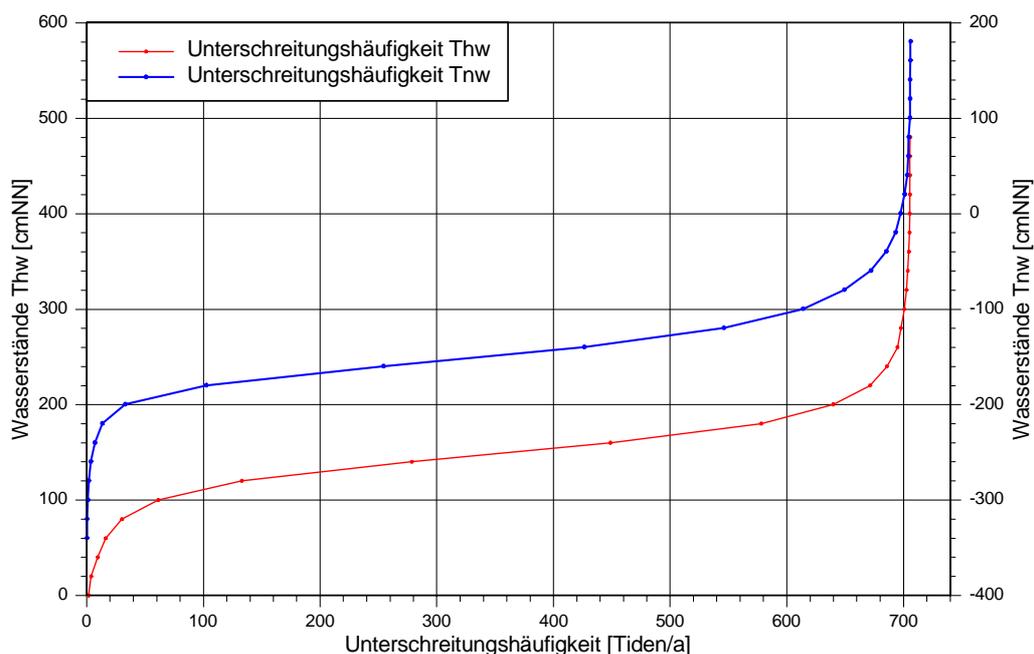


Abbildung 2-3: Unterschreitungshäufigkeiten für Thw und Tnw für Messungen von 1991 bis 2000 (Gewässerkundliches Jahrbuch 2000 [2])

### 2.2.2 Tideströmungen

Zur allgemeinen Beschreibung der Tideströmungen im Bereich der untersuchten UWA-Flächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand im Ausgangszustand wird auf Unterlagen der BAW [1] und [3] zurückgegriffen, die in der Anlage 1 zusammengetragen sind.

Die Abbildungen in Anlage 1 zeigen für die UWA-Fläche Kratzsand die maximalen Flut- und Ebbströmungen aus aktuellen Berechnungen der BAW [1] und für die UWA-Flächen Medemrinne und Neufelder Sand mittlere und maximale Flut- und Ebbströmungen für die Bereiche der geplanten UWA-Flächen für den Referenzzustand [3], d.h. ohne Berücksichtigung der Ablagerungsflächen in der Topographie. Aufgrund der sich verändernden Morphologie - insbesondere im Mündungsbereich der Elbe - kann lediglich ein allgemeiner Eindruck der zu erwartenden Tideströmungen in diesen Bereichen wiedergegeben werden, da die Abbildungen mit Ausnahme der UWA-Fläche Kratzsand auf ältere Untersuchungen zurückgreifen.

Für die UWA-Fläche Kratzsand zeigen die Abbildungen aktueller BAW-Berechnungen in Anlage 1, dass dort relativ hohe Tideströmungen auftreten.

Genauere Betrachtungen für die UWA-Flächen auch unter Berücksichtigung der Ablagerungsflächen selbst folgen in den Abschnitten 2.4, 2.5 und 2.6.

### 2.2.3 Seegang (Windwellen)

Die Ablagerungsflächen liegen in unmittelbarer Nähe zur offenen Nordsee. Dementsprechend kann der Seegang unter den gegebenen topografischen und hydraulischen Randbedingungen in die Elbe einlaufen und direkt (im Falle von Ablagerungsflächen oberhalb des Wasserspiegels) durch brechende Wellen oder indirekt (im Falle der geplanten UWA-Flächen unterhalb des Wasserspiegels) in Form von welleninduzierten Strömungen auf die Ablagerungsflächen einwirken. Die Einflussnahme der welleninduzierten Strömungen ist abhängig von der Wassertiefe über der UWA-Fläche und damit auch vom Tidewasserstand.

Mit steigendem Tidewasserstand - und anwachsendem Seegang bei Sturmbedingungen - reduziert sich der seegangsbedingte Einfluss auf die Ablagerungsflächen aufgrund der größeren Wassertiefe. D.h. die für die Befestigung der UWA-Flächen maßgebenden Lastfälle bestehen aus vergleichsweise niedrigen Tidewasserständen in Verbindung mit erhöhtem Seegang, dessen induzierte, auf die Sohle einwirkende Schubspannung um ein Vielfaches größer sein kann als die Schubspannungsbelastung aus Tideströmung.

Seegangsmessungen liegen für diesen Bereich nicht vor. Aus diesem Grund wird für den Untersuchungsbereich eine Abschätzung des zu erwartenden Seeganges auf Grundlage numerischer Berechnungen des Franzius-Instituts (Seegangsatlas) [5] durchgeführt. In der Tabelle 2-2 werden die infolge Windeinwirkung ermittelten Seegangsparameter (signifikante Wellenhöhe  $H_s$  und mittlere Wellenperiode  $T_m$ ) für unterschiedliche Wasserstände und Windgeschwindigkeiten für die drei Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand zusammengestellt. Die maßgebende Windrichtung, bei der maximaler Seegang auftreten wird, liegt bei NNW ( $\theta_{\text{wind}} = 330^\circ$ ). In Abbildung 2-4 werden die Wellenhöhen für einen Wasserstand von NN +4,0 m und eine Windrichtungen von  $330^\circ$  dargestellt.

Seegangsinformationen für Tidewasserstände unter NN +0,0 m können aus dem Seegangsatlas nicht entnommen werden. Im Hinblick auf maximale Lastfälle können die Seegangsbedingungen für NN +0,0 m gekoppelt mit niedrigeren Tidewasserständen als auf der sicheren Seite liegend angenommen werden, weil üblicherweise das Auftreten von hohem Seegang verursacht durch nordwestliche Winde auch mit dem Auftreten erhöhter Tidewasserstände verbunden ist. Diese Seegangsbedingungen für NN +0,0 m gehen in die spätere Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung ein (vgl. Abschnitt 4.4.3).

Der vorhandene Einfluss der Tideströmungen auf den winderzeugten Seegang, der sich in dem Untersuchungsgebiet bemerkbar macht, bleibt in diesem Zusammenhang unberücksichtigt. Dabei werden z. B. unter den Bedingungen Wellen gegen Ebbstrom die Windwellen aufgestellt, d.h. die Wellenperiode verkürzt sich. Derartige Bedingungen treten vor allem in den tiefen Strömungsrinnen auf, so dass diese Effekte für die zu untersuchenden Ablagerungsflächen vernachlässigt werden können.

Tabelle 2-2: Wellenparameter für die Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand in Abhängigkeit des Wasserstandes und der Windstärke für die Windrichtung  $\theta_{\text{Wind}} = 330^\circ$  (unter Verwendung des Seegangsatlas [5])

Wasserstand [mNN]	Wellenparameter	Kratzsand			Medemrinne			Neufelder Sand		
		Windgeschwindigkeit [m/s]			Windgeschwindigkeit [m/s]			Windgeschwindigkeit [m/s]		
		8,0	16,0	24,0	8,0	16,0	24,0	8,0	16,0	24,0
+ 0,0 m	$H_s$ [m]	0,45	0,8	1,15	0,2	0,45	0,7	0,1	0,3	0,45
	$T_m$ [s]	2,6	3,1	3,7	1,8	2,3	2,8	1,2	1,8	2,2
+ 2,0 m	$H_s$ [m]	0,6	1,15	1,45	0,35	0,7	0,95	0,15	0,4	0,6
	$T_m$ [s]	2,8	3,7	4,1	2,1	2,9	3,2	1,4	2,0	2,5
+ 3,0 m	$H_s$ [m]	0,65	1,25	1,6	0,45	0,9	1,2	0,2	0,45	0,8
	$T_m$ [s]	3,0	3,9	4,3	2,5	3,2	3,6	1,7	2,3	3,0
+ 4,0 m	$H_s$ [m]	0,7	1,4	1,85		1,05	1,35		0,6	0,9
	$T_m$ [s]	3,2	4,1	4,6		3,5	3,9		2,6	3,2

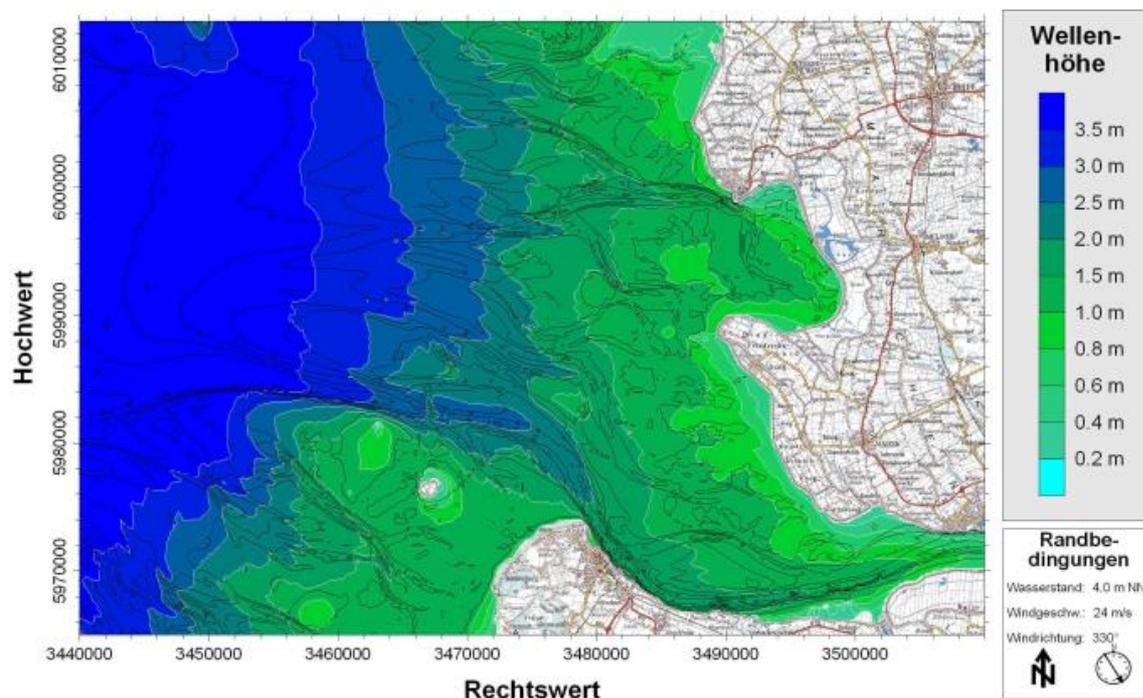


Abbildung 2-4: Wellenhöhen bei einem Wasserstand von NN +4,0 m [5]  
 $v_{\text{Wind}} = 24 \text{ m/s}$ ,  $\theta_{\text{Wind}} = 330^\circ$

## 2.2.4 Schiffswellen

Durch die unmittelbare Nähe der Fahrrinne zu den Ablagerungsflächen stellen Schiffswellen und deren induzierte Strömungen eine weitere hydraulische Belastungsgröße der UWA-Flächen dar. Schiffswellen sind maßgebend von der

Schiffsgröße und -geschwindigkeit, der Verdrängung (Tiefgang) und dem jeweiligen Passierabstand abhängig. Die folgende Abbildung 2-5 zeigt den Verlauf von Schiffswellen schematisch. Die Primärwelle wirkt als langperiodische Wasserspiegelschwankung, während die Sekundärwellen als kurzperiodische dynamische Belastungen einwirken. Hinsichtlich der späteren Bemessung der UWA-Flächenabdeckungen ist vornehmlich die Belastung aus kurzperiodischen Sekundärwellen von Interesse, die im Vergleich zur Belastung aus Tidenströmung einen erheblichen Anteil zur Schubspannungsbelastung an der Sohle beitragen.

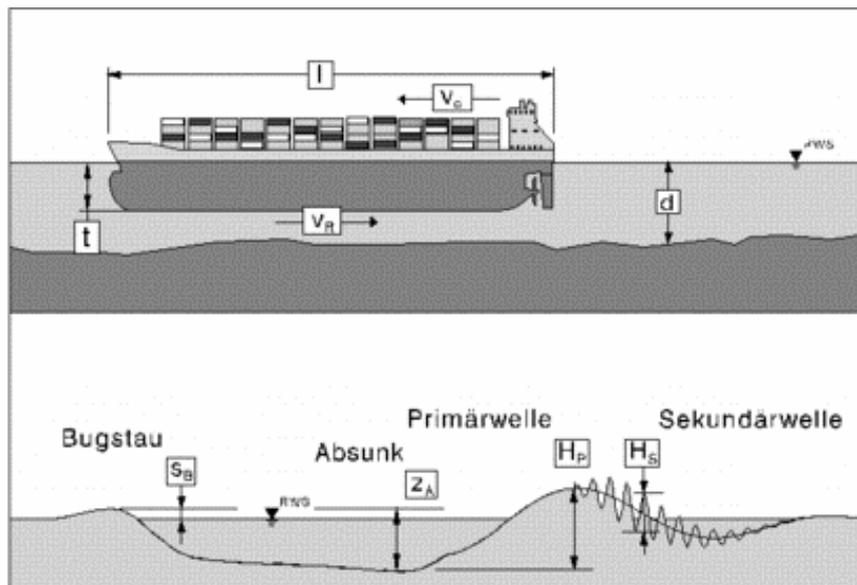


Abbildung 2-5: Definition einer Schiffswelle (BAW)

Messungen von Schiffswellen werden aktuell im Altenbrucher Bogen im Auftrag der BAW durchgeführt, die Daten sind jedoch noch nicht verfügbar. Auf ältere Naturmessungen von Schiffswellen für diesen Elbabschnitt kann nicht direkt zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der Beweissicherung zur Anpassung der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt [6] wurden zwischen Wedel und dem Ruthenstrom zwar entsprechende Naturmessungen der Schiffswellen durchgeführt, deren Ergebnisse können jedoch aufgrund der abweichenden topographischen Bedingungen im Mündungsbereich der Elbe nicht übertragen werden.

Von der BAW werden für den Bereich unterhalb des LF Altenbruch Angaben zu Schiffswellenmessungen gegeben [4]. Demnach konnten anhand von Messungen (s. Führböter et al., 1988 in [4]) maximale langperiodische Belastungen infolge Absink  $z_A$  bis 1,0 m und kurzperiodische Belastungen infolge Sekundärwellen mit  $H_S = 1,3$  m aufgezeichnet werden. Diese Bedingungen können grundsätzlich auch für die untersuchten UWA-Flächen herangezogen werden. Da das Elbfahrwasser am südlichen Ufer entlang läuft und damit längere Lauf-

strecken und Laufzeiten zu den geplanten UWA-Flächen verbunden sind, ist tendenziell mit einer deutlichen Abnahme der o.g. Maximalwerte zu rechnen. Aus den Untersuchungen von Führböter et al. (1988) (s. [4]) zu Schiffswellenmessungen in der Unterelbe geht weiterhin hervor, dass seewärts von Brunsbüttel Schiffswellen im Vergleich zu Windwellen hinsichtlich der Höhe und Häufigkeit zu vernachlässigen sind.

Für die spätere Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung werden aus den o.g. Untersuchungen maximale Sekundärwellen mit  $H = 1,0$  m und Perioden von  $T = 4$  s (Schätzung) abgeleitet und auf der sicheren Seite liegend angenommen. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die an den UWA-Flächen auftretenden Schiffswellen i.d.R. kleiner sein werden als die möglichen Seegangswellen, insbesondere bei starken Windverhältnissen verbunden mit höheren Wasserständen, die jedoch keinen kritischen Lastfall für die erosionsstabile Abdeckung der UWA-Flächen darstellen. Hinsichtlich der späteren Bemessung dieser Abdeckung wird so verfahren, dass in Abhängigkeit des Tidewasserstandes jeweils die größten Belastungen entweder aus Schiffswellen oder aus Windwellen herangezogen werden.

Das derzeit noch in Bearbeitung befindliche Gutachten zu Schiffswellen in der Unterelbe von der BAW ist für weitere Planungsarbeiten zu berücksichtigen.

### 2.3 Windverhältnisse

Stellvertretend für den Untersuchungsbereich wird nachfolgend eine Darstellung der Windhäufigkeiten - unterteilt in drei Windstärkenbereiche - für die Messstation Cuxhaven gegeben (s. Abbildung 2-6). Winde aus Südwest bis Nordwest treten im Jahresdurchschnitt am häufigsten auf. Im Sommerhalbjahr überwiegen meist Winde aus Nordwest und im Winterhalbjahr Winde aus Südwest.

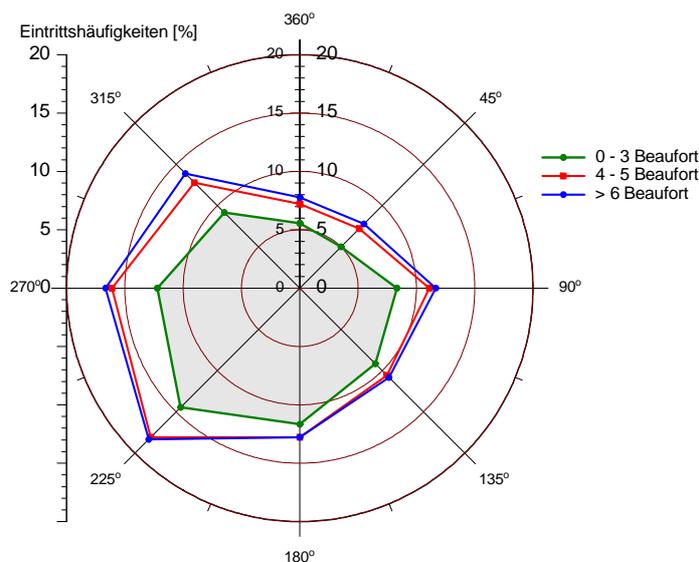


Abbildung 2-6: Windhäufigkeiten für den Standort Cuxhaven [25]

## 2.4 Ablagerungsfläche Kratzsand

### 2.4.1 Topographie

Die exponierte UWA-Fläche Kratzsand lehnt sich unmittelbar entlang des Elbfahrwassers über ca. 7 km an den Spitzsand und Medemsand an und besitzt eine maximale Geländehöhe von NN  $-2,5$  m (s. Abbildung 2-7). Zum Fahrwasser hin geht die UWA-Fläche Kratzsand in eine lange Böschung über bis zum Erreichen der Fahrrinnensohle.

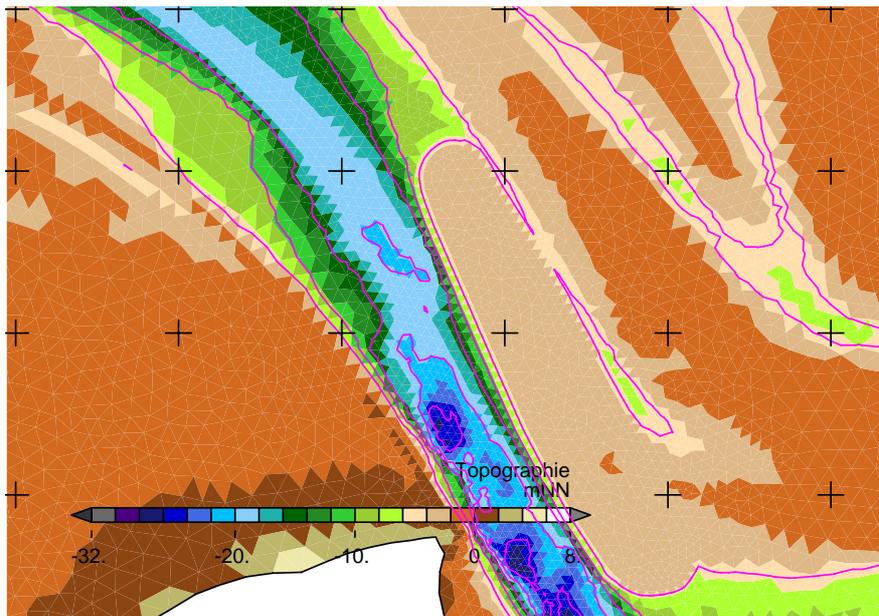


Abbildung 2-7: UWA-Fläche Kratzsand

### 2.4.2 Tideströmungen

Nachfolgende Betrachtungen zu maximalen Flut- und Ebbeströmungen im Bereich der geplanten UWA-Fläche Kratzsand werden auf Grundlage von Berechnungsergebnissen der BAW [1] durchgeführt. Dabei werden tiefengemittelte Strömungen betrachtet (s. Abbildung 2-8). Sohlnahe Strömungen sowie Schnittdarstellungen sind für die UWA-Fläche Kratzsand nicht verfügbar.

Die geplante UWA-Fläche Kratzsand engt den Fließquerschnitt in diesem Bereich insgesamt stark ein, was zu sehr hohen Tideströmungen in der Fahrrinne ( $> 1,6$  m/s) führt. Die hohen Strömungen im Fahrrinnenbereich auf der Höhe von Kratzsand werden schon im Ist-Zustand beobachtet. Durch den Bau der UWA-Flächen werden sie um etwa  $0,30$  m/s erhöht. Auf der UWA-Fläche selbst treten tiefengemittelte Strömungen zwischen  $0,7$  m/s und  $1,0$  m/s auf. An den Rändern und insbesondere beim Übergang zur Fahrrinne nehmen die Tideströmungen sehr stark zu.

Die bei Ebb- bzw. Flutstrom angeströmten Enden der UWA-Fläche stellen einen Prallhang dar und unterliegen ähnlichen Strömungsbelastungen wie die Rinne selbst. Entlang der fahrrinnenseitigen Böschung der UWA-Fläche treten böschungsparelle Strömungsgeschwindigkeiten von mindestens 0,7 m/s und z.T. größer als 1,6 m/s auf. Charakteristische Werte für das Strömungsregime werden in der folgenden Tabelle 2-3 anhand von drei Schnitten gegeben.

Tabelle 2-3: Maximale tiefengemittelte Geschwindigkeiten im Bereich der UWA-Fläche Kratzsand [1] (vgl. Abbildung 2-8)

Schnitt Lokation		Max. Flutstrom [m/s]		Max. Ebbstrom [m/s]	
		Fahrwasser	UWA-Fläche	Fahrwasser	UWA-Fläche
A	Nördlicher Schnitt	1,5	1,0	> 1,6	0,7
B	Mittlerer Schnitt	> 1,6	0,8	> 1,6	0,8
C	Südlicher Schnitt	> 1,6	0,8	> 1,6	0,7

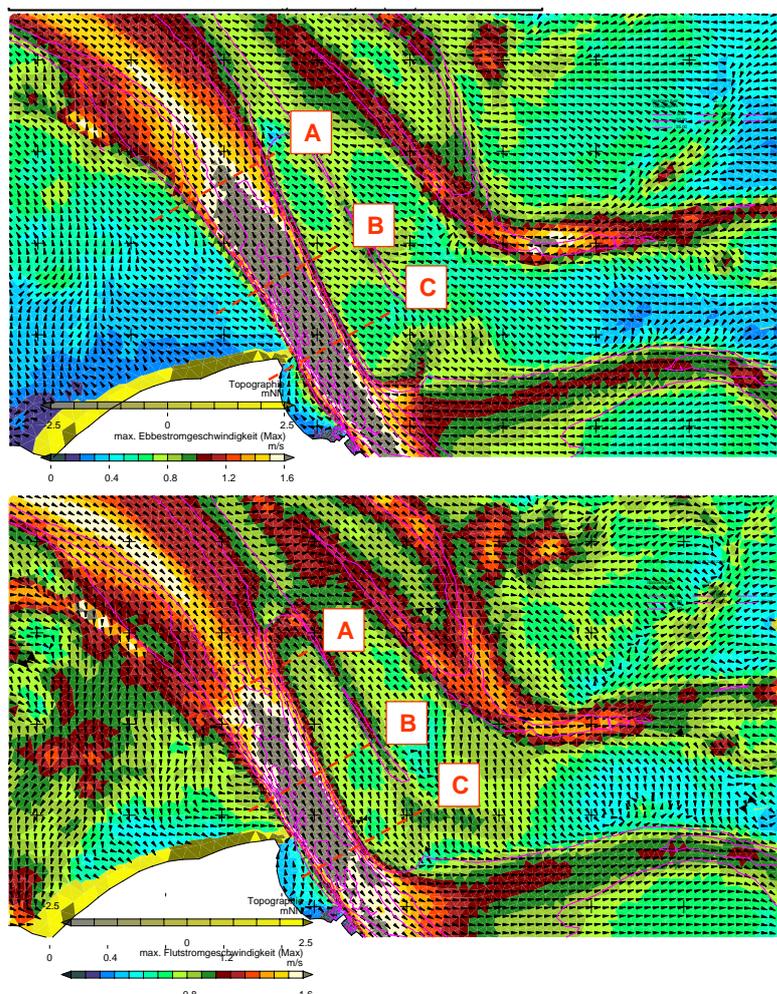


Abbildung 2-8: Maximale tiefengemittelte Ebbe- (oben ) und Flutströmungen (unten) für die UWA-Fläche Kratzsand [1]

### 2.4.3 Windwellen

Die UWA-Kratzsand besitzt die exponierteste Lage der drei untersuchten UWA-Flächen in der Unterelbe. Dementsprechend ist im Bereich der UWA-Fläche Kratzsand aufgrund der relativ ungeschützten Lage mit den höchsten Seegangsbedingungen zu rechnen. Aus den Seegangsuntersuchungen in Abschnitt 2.2.3 für die UWA-Fläche Kratzsand ist zu erkennen, dass 30 % bis 40 % größere Windwellen im Bereich der UWA-Fläche Kratzsand auftreten im Vergleich zur UWA-Fläche Medemrinne. Mit steigender Windgeschwindigkeit aus nordwestlicher Richtung und ansteigendem Wasserstand treten auch größere Seegangsparameter auf.

Für die vorliegenden Untersuchungen wird von Windwellen mit einer Wellenhöhe  $H_s = 1,15$  m und einer Wellenperiode  $T_m$  von 3,7 s ausgegangen für einen Wasserstand von NN +0 m und 24 m/s Windgeschwindigkeit aus 330°.

Da die UWA-Fläche Kratzsand in ihrer Höhenlage nur knapp unterhalb des Tideniedrigwasserniveaus liegt, ist vor dem Hintergrund der zu erwartenden hydraulischen Belastungen infolge Tidenströmungen und Wellen mit stark erhöhten Schubspannungen, die auf das Korngerüst bzw. die Abdeckung einwirken, zu rechnen. Daraus kann schon jetzt abgeleitet werden, dass gröberes Steinmaterial für die Abdeckung der UWA-Fläche an den Böschungen und an der Oberkante erforderlich sein werden,

### 2.4.4 Schiffswellen

Zur Abschätzung der zu erwartenden Schiffswellen im Bereich der UWA-Fläche Kratzsand wird auf die Ausführungen in Abschnitt 2.2.4 verwiesen. Für weitere Planungsarbeiten ist das in Bearbeitung befindliche Gutachten der BAW zu berücksichtigen.

Für die UWA-Fläche Kratzsand ist davon auszugehen, dass die maximalen Schiffswellen geringer ausfallen als die maximalen Windwellen.

## 2.5 Ablagerungsfläche Medemrinne

### 2.5.1 Topographie

In die Medemrinne soll nach den derzeitigen Planungen Baggermaterial aus der Elbe deponiert werden und zwar flächig über die gesamte Breite der Medemrinne (siehe Abbildung 2-9).

Dabei wird jedoch in der Medemrinne auf der Seite des Neufelder Watts eine Rinne ausgebildet, deren Sohle bis auf NN – 5 m reicht. In Richtung Medemgrund steigt die Topographie an. Ein genaueres Bild der Topographie erschließt sich mit den folgenden Darstellungen und Schnitten zu den Tidenströmungen in diesem Bereich.

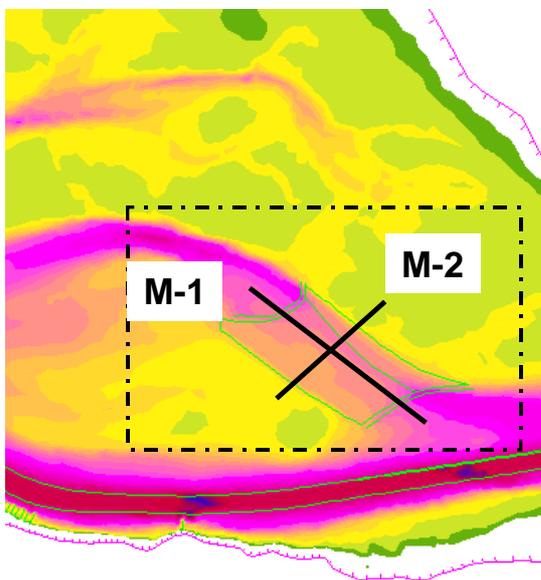


Abbildung 2-9: Ablagerungsfläche Medemrinne mit Definition von Schnitten

### 2.5.2 Tidenströmungen

Nachfolgende Betrachtungen zu maximalen Flut- und Ebbeströmungen im Bereich der geplanten Ablagerungsfläche Medemrinne werden auf Grundlage von Berechnungsergebnissen der BAW [1] durchgeführt. Dabei werden Strömungen im Profil über die Wassersäule, tiefengemittelte Strömungen und sohlnahe Strömungen betrachtet.

Abschließend werden die für das Bauwerk maßgebenden Tidenströmungen zusammengefasst.

**Vertikalschnitte**

In der folgenden Abbildung 2-10 werden die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten in der Medemrinne anhand von Vertikalschnitten mit 200-facher Überhöhung (vgl. Abbildung 2-9) dargestellt und in Tabelle 2-4 zusammengefasst.

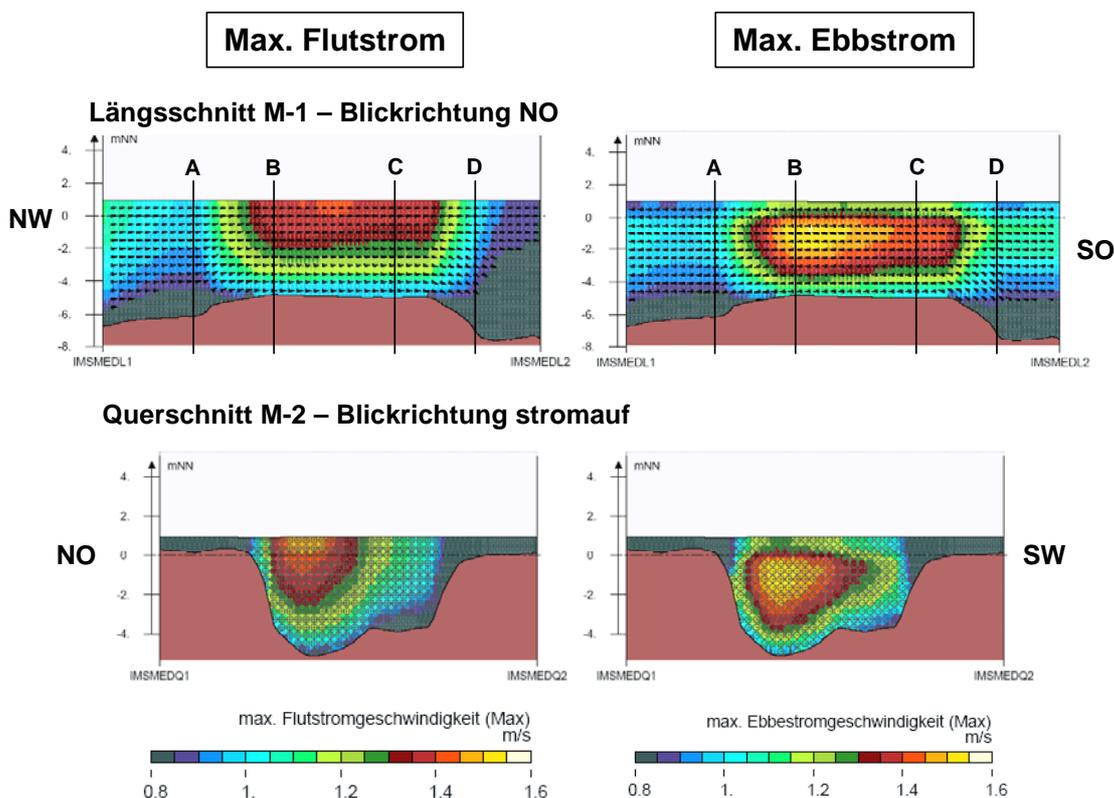


Abbildung 2-10: Maximale Flut- und Ebbströmungen in den Schnitten M-1 und M-2

Tabelle 2-4: Maximale sohlnahe Geschwindigkeiten aus Vertikalschnitten [1] (Medemrinne) (vgl. Abbildung 2-10)

Schnitt Lokation	Ebene		Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
	Längsschnitt M-1	A	Nördlicher Böschungsfuß	0,85
B		Nördliche Böschungsoberkante	1,00	1,10
C		Südliche Böschungsoberkante	1,00	1,05
D		Südlicher Böschungsfuß	0,80	0,80
Querschnitt M-2		Östliche Böschung	1,20	1,20
		Mitte	0,95	1,00
		Westliche Böschung	0,85	0,95

### Tiefengemittelte Strömungen

In der folgenden Abbildung 2-11 werden die maximalen, tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten in der Medemrinne (vgl. Abbildung 2-9) dargestellt und in Tabelle 2-5 zusammengefasst.

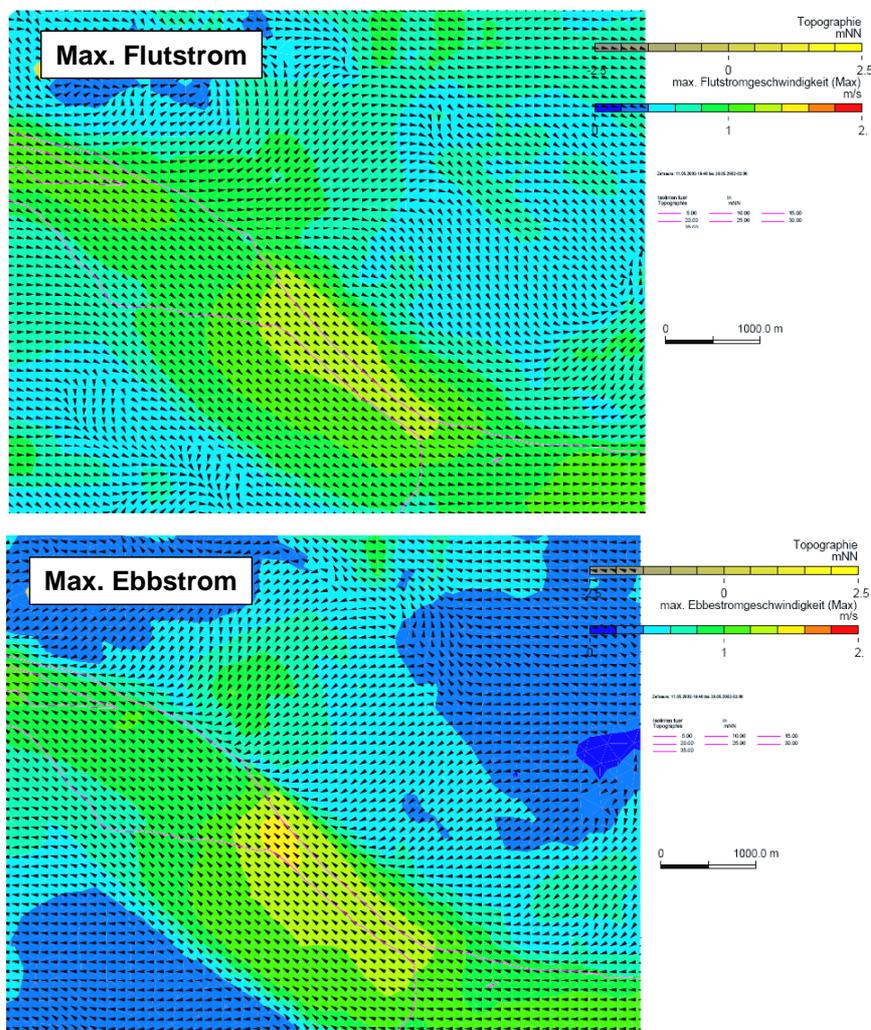


Abbildung 2-11: Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbsströmungen im Bereich der Ablagerungsfläche Medemrinne

Tabelle 2-5: Maximale tiefengemittelte Strömungen (Medemrinne) [1]

Schnitt Lokation	Ebene	Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbsstrom [m/s]
Querschnitt M-2	Östliche Böschung	1,20	1,40
	Mitte	1,40	1,60
	Westliche Böschung	1,20	1,40

## Sohnnahe Strömungen

In der folgenden Abbildung 2-12 werden die maximalen sohnnahe Strömungsgeschwindigkeiten in der Medemrinne (vgl. Abbildung 2-9) dargestellt und in Tabelle 2-6 zusammengefasst.

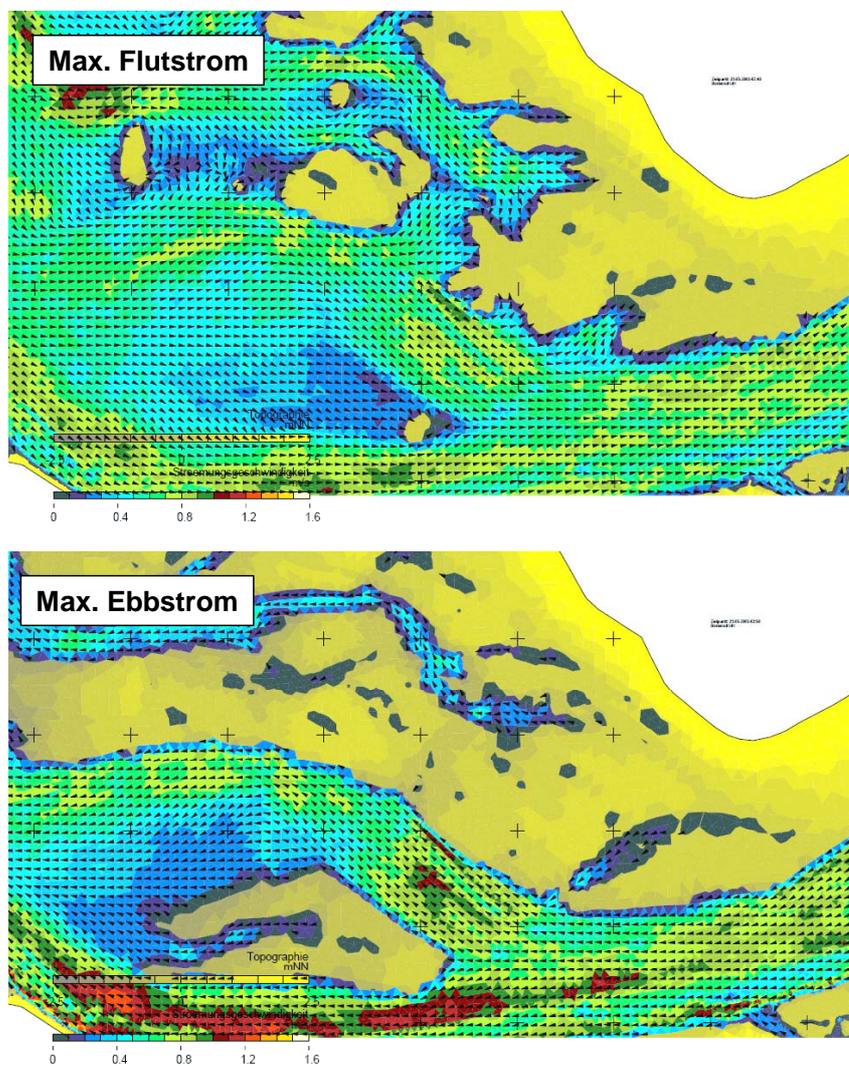


Abbildung 2-12: Maximale sohnnahe Strömungsgeschwindigkeiten (Medemrinne) [1]

Tabelle 2-6: Maximale sohnnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom (Medemrinne) [1]

Schnitt Lokation	Ebene	Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
Querschnitt M-2	Östliche Böschung	0,80	1,10
	Mitte	0,90	1,10
	Westliche Böschung	0,70	0,90

## Abgeleitete Belastungsgrößen

Der Ebbstrom erzeugt in der Medemrinne höhere Strömungsgeschwindigkeiten als der Flutstrom. Dies zeigt sich anhand der untersuchten Strömungsdarstellungen für die Vertikalschnitte, die tiefengemittelten Strömungen sowie auch für die sohnnahen Strömungen.

Die tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten liegen deutlich über den sohnnahen Strömungen, spiegeln jedoch nicht das tatsächlich nahe der Sohle vorhandene Strömungsregime wieder. Aus diesem Grunde werden diese tiefengemittelten Strömungen nicht als bemessungsrelevant für eine erosionsstabile Abdeckung eingestuft. In der späteren Bemessung wird auf die für die Dimensionierung zugrunde gelegten Strömungen noch einmal eingegangen. Aus den vorgestellten Ergebnissen können die folgenden bemessungsrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten zusammengefasst werden:

Tabelle 2-7: Relevante Strömungsgeschwindigkeiten für die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen Medemrinne

Schnitt Lokation	Ebene	Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
Querschnitt M-2	Östliche Böschung	1,20	1,20
	Mitte	0,95	1,10
	Westliche Böschung	0,85	0,95

### 2.5.3 Windwellen

Die UWA-Medemrinne hat eine gegenüber Kratzsand geschütztere Lage durch den Medemgrund. Dementsprechend ist im Bereich der UWA-Fläche Medemrinne aufgrund der relativ geschützten Lage mit geringeren Seegangsbedingungen zu rechnen als bei der UWA-Kratzsand. Aus den Seegangsuntersuchungen in Abschnitt 2.2.3 ist zu erkennen, dass die Windwellen im Bereich der UWA-Fläche Medemrinne etwa 30 % bis 40 % geringer sind als bei der UWA-Fläche Kratzsand. Mit steigender Windgeschwindigkeit aus nordwestlicher Richtung und ansteigendem Wasserstand treten jedoch auch hier größere Seegangsparameter auf.

Für die vorliegenden Untersuchungen wird von Windwellen mit einer Wellenhöhe  $H_s = 0,70$  m und einer Wellenperiode  $T_m$  von 2,8 s ausgegangen für einen Wasserstand von NN +0 m und 24 m/s Windgeschwindigkeit aus 330° als ungünstigsten Lastfall. Höhere Seegangsbedingungen bei höheren Wasserständen sind als nicht bemessungsrelevant zu bewerten

Die UWA-Fläche Medemrinne liegt in ihrer Höhenlage etwas tiefer als die UWA-Kratzsand. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden hydraulischen Belastungen infolge Tidenströmungen und Wellen ist im Vergleich zur UWA-

Kratzsand mit leicht verringerten Schubspannungen, die auf das Korngerüst bzw. die Abdeckung einwirken, zu rechnen. Daraus kann schon jetzt abgeleitet werden, dass Mischkornfiltermaterial für die Abdeckung der UWA-Fläche an den Böschungen und in Teilflächen an der Oberkante erforderlich sein werden,

#### **2.5.4 Schiffswellen**

Zur Abschätzung der zu erwartenden Schiffswellen im Bereich der UWA-Fläche Medemrinne wird auf die Ausführungen in Abschnitt 2.2.4 verwiesen. Für weitere Planungsarbeiten ist das in Bearbeitung befindliche Gutachten der BAW zu berücksichtigen.

Für die UWA-Fläche Medemrinne ist davon auszugehen, dass die maximalen Schiffswellen gleich groß oder größer ausfallen können als die maximalen Windwellen.

## 2.6 Ablagerungsfläche Neufelder Sand

### 2.6.1 Topographie

Die oberstrom der Medemrinne liegende geplante Ablagerungsfläche Neufelder Sand liegt im Außenbogen der Elbböschung und schmiegt sich dort an den oberen Böschungsbereich zwischen NN –8,0 m und NN –4,0 m an (Abbildung 2-13).

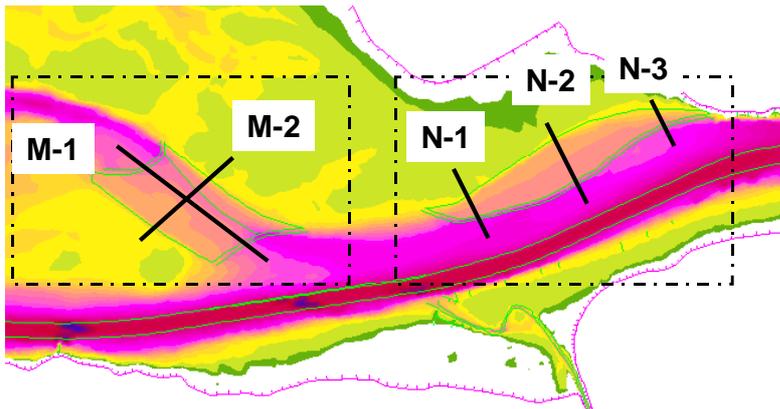


Abbildung 2-13: Ablagerungsfläche Neufelder Sand mit Definition von Schnitten

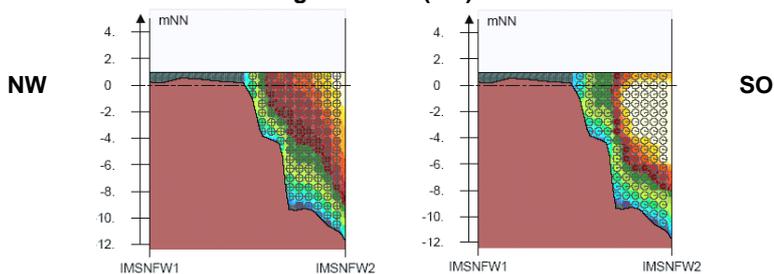
### 2.6.2 Strömungsbedingungen

Nachfolgende Betrachtungen zu maximalen Flut- und Ebbeströmungen im Bereich der geplanten Ablagerungsfläche Neufelder Sand werden auf Grundlage von Berechnungsergebnissen der BAW [1] durchgeführt. Dabei werden Strömungen im Profil über die Wassersäule, tiefengemittelte Strömungen und sohlennahe Strömungen betrachtet.

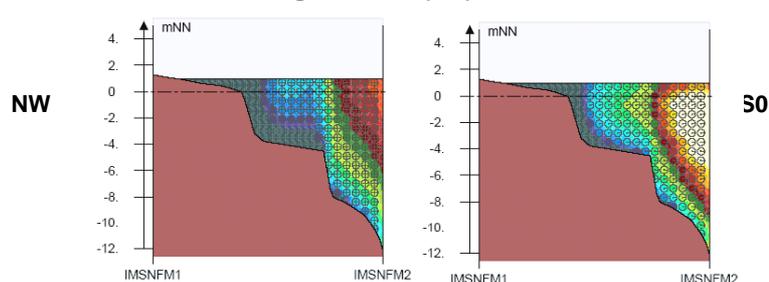
#### Vertikalschnitte

In der folgenden Abbildung 2-14 werden die maximalen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich Neufelder Sand anhand von Vertikalschnitten mit 200-facher Überhöhung (vgl. Abbildung 2-13) dargestellt und in Tabelle 2-8 zusammengefasst.

**Schnitt N-1 – Blickrichtung stromauf (NO)**



**Schnitt N-2 – Blickrichtung stromauf (NO)**



**Schnitt N-3 – Blickrichtung stromauf (NO)**

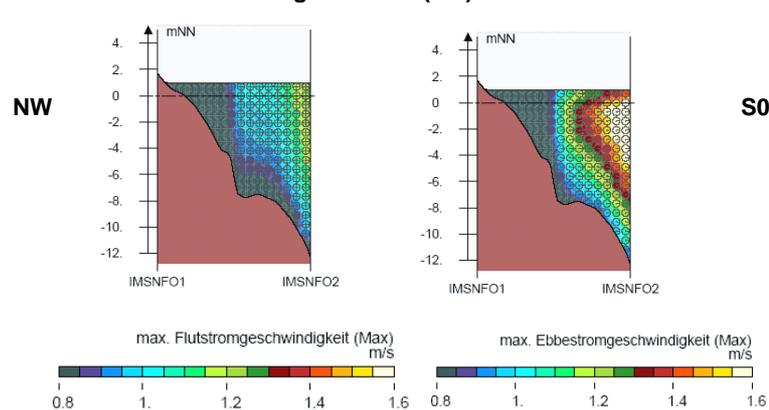


Abbildung 2-14: Maximale Flut- und Ebbströmungen in den Schnitten N-1 bis N-3

Tabelle 2-8: Maximale sohlennahe Geschwindigkeiten aus Vertikalschnitten (Neufelder Sand) [1] (vgl. Abbildung 2-14)

Schnitt		Ebene	Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
N-1	Westlicher Schnitt	Nördl. Böschung	1,20	1,20
		Mitte	1,05	1,05
		Südl. Böschung	1,20	1,20
N-2	Mittl. Schnitt	Nördl. Böschung	0,85	0,85
		Mitte	0,85	0,95
		Südl. Böschung	1,10	1,15
N-3	Östlicher Schnitt	Nördl. Böschung	0,85	0,85
		Mitte	0,85	0,85
		Südl. Böschung	0,90	0,90

## Tiefengemittelte Strömungen

In der folgenden Abbildung 2-15 werden die maximalen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten in der Medemrinne (vgl. Abbildung 2-13) dargestellt und in Tabelle 2-9 zusammengefasst.

Tabelle 2-9: Maximale tiefengemittelte Strömungen (Neufelder Sand) [1]

Schnitt		Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
N-1	Westlicher Schnitt	1,0	1,0
N-2	Mittl. Schnitt	0,8	1,0
N-3	Östlicher Schnitt	0,8	1,0

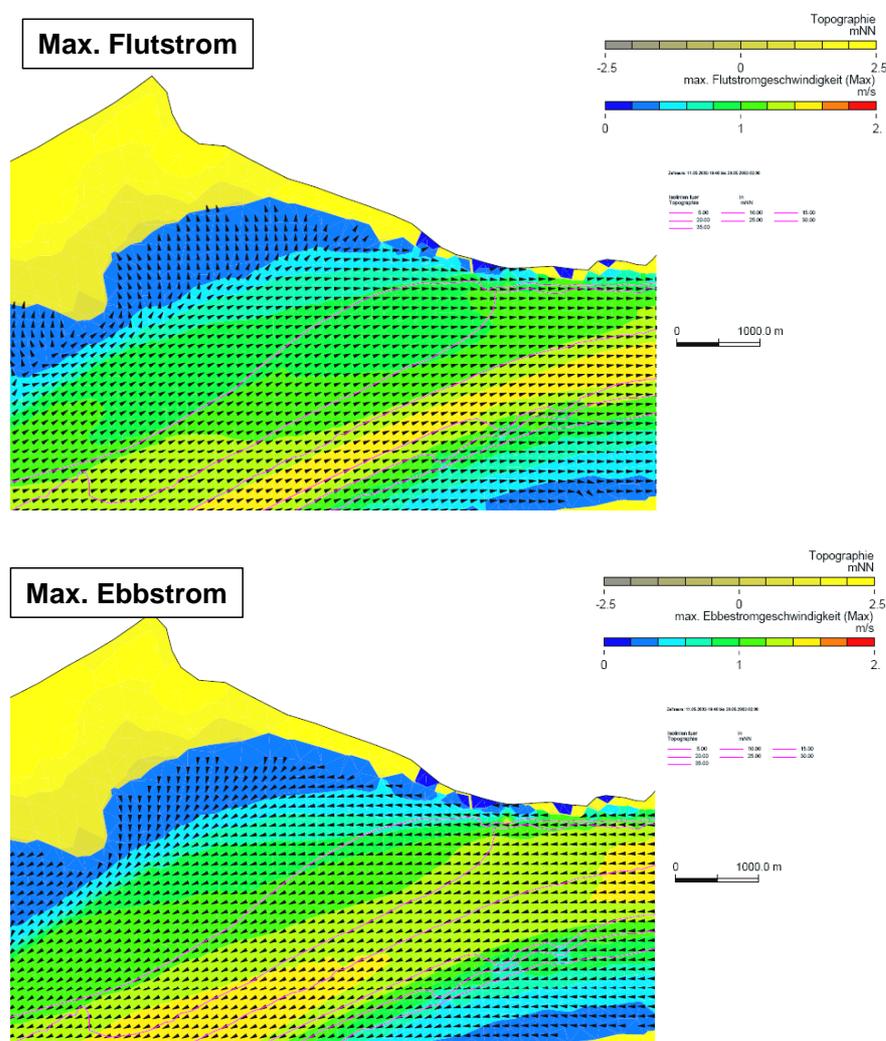


Abbildung 2-15: Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbströmungen im Bereich der Ablagerungsfläche Neufelder Sand

## Sohnnahe Strömungen

In der folgenden Abbildung 2-16 werden die maximalen tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich Neufelder Sand (vgl. Abbildung 2-13) dargestellt und in Tabelle 2-10 zusammengefasst.

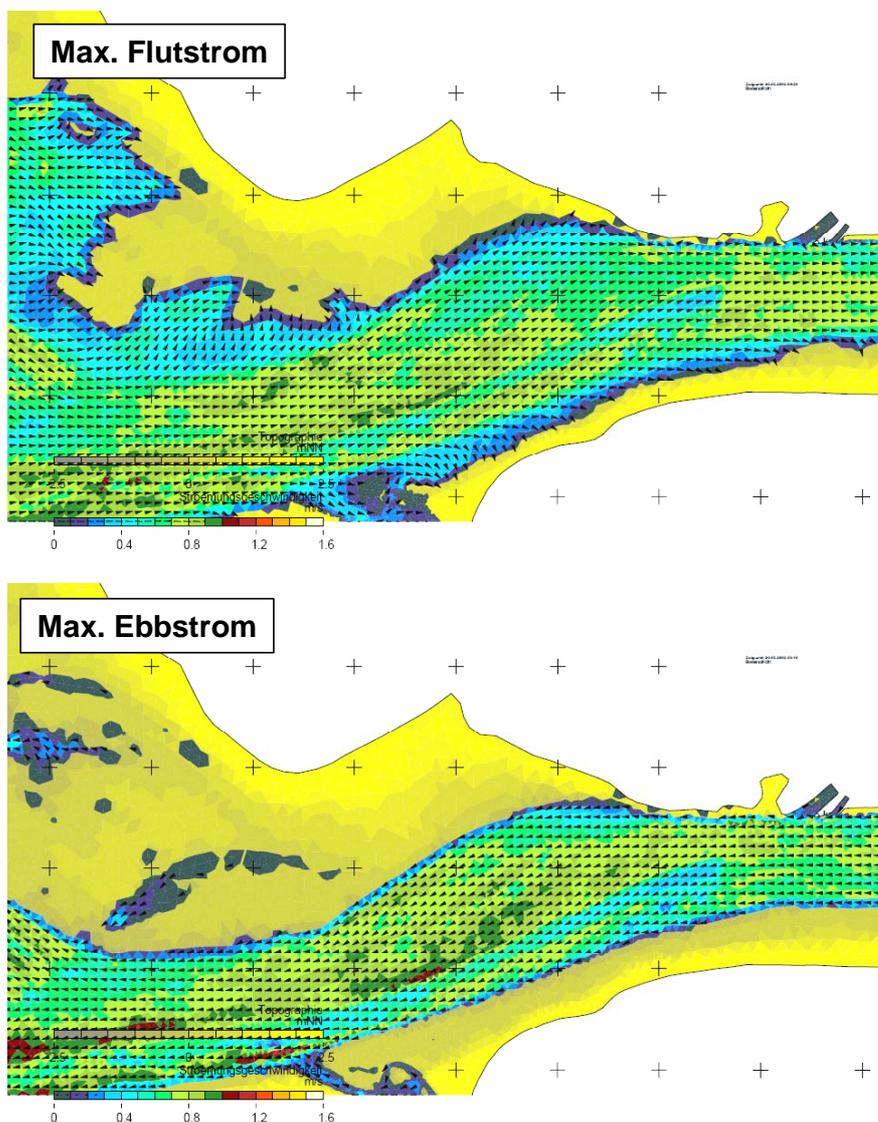


Abbildung 2-16: Maximale sohnnahe Strömungen (Neufelder Sand)[1]

Tabelle 2-10: Maximale sohnnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom [1]

Schnitt		Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
N-1	Westlicher Schnitt	0,9	1,1
N-2	Mittl. Schnitt	0,8	0,9
N-3	Östlicher Schnitt	0,7	0,8

## Abgeleitete Belastungsgrößen

Anders als im Bereich der Medemrinne erzeugen Ebb- und Flutstrom im Bereich der Ablagerungsfläche Neufelder Sand nahezu ähnliche Strömungsgeschwindigkeiten. Dies zeigt sich anhand der untersuchten Strömungsdarstellungen für die Vertikalschnitte, die tiefengemittelten Strömungen sowie auch für die sohnnahen Strömungen.

Die tiefengemittelten Strömungen geben ein zu ungenaues Bild des Regimes und werden deshalb nicht als bemessungsrelevant für eine erosionsstabile Abdeckung eingestuft. In der späteren Bemessung wird auf die für die Dimensionierung zugrunde gelegten Strömungen noch einmal eingegangen.

Aus den vorgestellten Ergebnissen können die folgenden bemessungsrelevanten Strömungsgeschwindigkeiten zusammengefasst werden:

Tabelle 2-11: Maximale sohnnahe Strömungsgeschwindigkeiten bei Ebb- und Flutstrom für den Bereich Neufelder Sand [1]

Schnitt		Max. Flutstrom [m/s]	Max. Ebbstrom [m/s]
N-1	Westlicher Schnitt	1,2	1,2
N-2	Mittl. Schnitt	1,1	1,15
N-3	Östlicher Schnitt	0,9	0,9

### 2.6.3 Windwellen

Die UWA-Neufelder Sand besitzt die geschützte Lage der drei untersuchten Flächen. Dementsprechend ist im Bereich dieser UWA-Fläche lediglich mit geringen Seegangsbedingungen zu rechnen. Aus den Seegangsuntersuchungen in Abschnitt 2.2.3 ist zu erkennen, dass die Windwellen im Bereich der UWA-Fläche Neufelder Sand wiederum etwa 50 % geringer sind als bei der UWA-Fläche Medemrinne. Mit steigender Windgeschwindigkeit aus nordwestlicher Richtung und ansteigendem Wasserstand treten jedoch auch hier größere Seegangsparameter auf.

Für die vorliegenden Untersuchungen wird von Windwellen mit einer Wellenhöhe  $H_s = 0,45$  m und einer Wellenperiode  $T_m$  von 2,2 s ausgegangen für einen Wasserstand von NN +0 m und 24 m/s Windgeschwindigkeit aus 330° als ungünstigsten Lastfall. Höhere Seegangsbedingungen bei höheren Wasserständen sind als nicht bemessungsrelevant zu bewerten

Die UWA-Fläche Neufelder Sand liegt in ihrer Höhenlage am tiefsten von den drei UWA-Flächen. Vor dem Hintergrund der zu erwartenden hydraulischen Belastungen infolge Tidenströmungen und Wellen ist im Vergleich zu den anderen beiden UWA-Flächen mit geringen Schubspannungen, die auf das Korngeste

rüst bzw. die Abdeckung einwirken, zu rechnen. Daraus kann schon jetzt abgeleitet werden, dass Mischkornfiltermaterial für die Abdeckung der UWA-Fläche an den Böschungen und in geringen Teilflächen an der Oberkante ausreichend sein wird.

#### **2.6.4 Schiffswellen**

Zur Abschätzung der zu erwartenden Schiffswellen im Bereich der UWA-Fläche Neufelder Sand wird auf die Ausführungen in Abschnitt 2.2.4 verwiesen. Für weitere Planungsarbeiten ist das in Bearbeitung befindliche Gutachten der BAW zu berücksichtigen.

Für die UWA-Fläche Neufelder Sand ist davon auszugehen, dass die maximalen Schiffswellen größer ausfallen können als die maximalen Windwellen.

### **3 Bauverfahren und Bauweisen**

#### **3.1 Aufgabe der Einfassungsbauwerke**

Die Aufgabe der geplanten Einfassungsbauwerke - und auch einer ggf. notwendigen Abdeckung der Ablagerungsflächen - ist es, das abgelagerte Baggergut gegen Erosion zu sichern und einen Materialaustrag zu verhindern.

Um diese Aufgabe zu erfüllen, ist das Bauwerk gegen die folgenden Wirkmechanismen auszulegen:

- Materialtransport durch die Abdeckung hindurch (Filterstabilität)
- Versagen der Abdeckung unter den wirkenden Belastungen aus Strömungs- und Wellenangriff (Standicherheit der Abdeckung).

Um dieses Ziel zu erreichen, können entweder getrennte Filter- und Deckschichten oder kombinierte Bauelemente eingesetzt werden, die beide Aufgaben erfüllen, wie z. B. bei Verwendung geotextiler Schläuche als Einfassungsbauwerke. Bauverfahren und ihre Wirkungsweisen werden in Abschnitt 3.3 bis 3.5 genau beschrieben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Auswahl von Bauverfahren ist die geplante Vorgehensweise zur Herstellung der Ablagerungsflächen. Unterschiedliche Möglichkeiten dazu werden in Abschnitt 3.2 ausführlich erläutert. Die Auswahl der Bauweise hat entscheidenden Einfluss auf die Konstruktion der Einfassungsbauwerke, da es Bauverfahren gibt, die sich ausschließlich für die Herstellung der Einfassungsbauwerke und nicht für die Abdeckung von abgelagertem Baggergut eignen. Diese Verfahren kommen nur dann zum Einsatz, wenn die Ablagerungsflächen vorlaufend mit Dammbauwerken umschlossen werden sollen.

#### **3.2 Bauweisen**

Für die Herstellung der Einfassungsbauwerke sind grundsätzlich zwei verschiedene Vorgehensweisen denkbar, die in den nächsten Abschnitten näher erläutert werden. Auch eine Kombination der Bauweisen ist in einzelnen Bauwerksabschnitten durchaus denkbar.

##### **3.2.1 Natürliche Böschungen mit Abdeckung**

Eine Möglichkeit ist es, das bei der Fahrrinnenanpassung gewonnene Baggergut im Randbereich der geplanten Ablagerungsflächen ohne vorherige Sicherungsmaßnahmen wallartig einzuspülen bzw. zu verklappen und die sich dabei einstellende Böschung sofort nachlaufend abzudecken.

Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass es - abhängig vom verwendeten Baggergut und von den herrschenden Strömungen - zu einem sofortigen Wiederaustrag des Baggergutes kommen kann. Weiterhin ist die Böschungsneigung der Ablage-

rungsbauwerke durch die sich bei der Einspülung des Materials ergebende Neigung vorgegeben. Dabei können beliebig flache Böschungen realisiert werden, die maximale Steilheit ist jedoch begrenzt. Bei Fein- bis Mittelsanden wird sich die Unterwasserböschung mit einer Neigung von etwa 1 : 10 einstellen.

Durch die Auswahl des in den Randbereichen der Ablagerungsflächen eingebauten Baggergutes lässt sich die Böschungsneigung geringfügig variieren. Da flache Böschungen aus hydrodynamischer Sicht als positiv zu bewerten sind, ist dieses Bauverfahren für die Herstellung der Unterwasserablagerungsflächen geeignet.

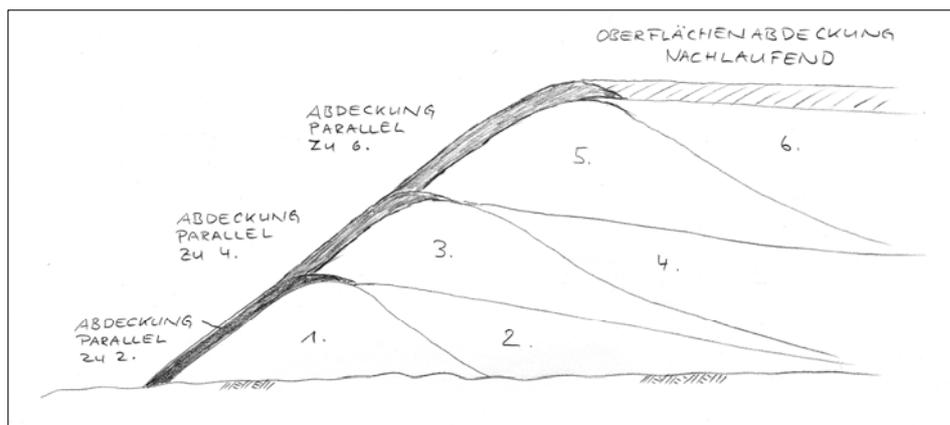


Abbildung 3-1: Bauablauf – Natürliche Böschungen mit Abdeckung

Vorteil des Verfahrens ist es, dass zum Einbau des Baggergutes noch keine Einfassung hergestellt sein muss, es ist sehr flexibel und potentiell kostengünstig. Es ist jedoch empfehlenswert, die Zielhöhe stufenweise herzustellen und die Abdeckung jeweils in den Schüttstufen der Aufhöhung nachzuziehen, um Erosion und Verdriftung des eingebauten Baggergutes durch zeitnahe Abdeckung möglichst zu vermeiden.

### 3.2.2 Einfassung mit Dämmen

Die zweite Möglichkeit der Herstellung ist eine vorlaufende Errichtung von niedrigen Dammbauwerken aus Schüttmaterial, die als Begrenzung der Ablagerungsflächen dienen und einen seitlichen Austrag des dahinter lagenweise eingespülten oder verklappten Baggergutes verhindern. Diese Dämme werden nach Erreichen der jeweiligen Bauhöhe der Ablagerungsfläche - entsprechend der gewünschten Böschungsneigung der endgültigen Böschung - zurückversetzt hergestellt und nach Erreichen der Endhöhe mit Baggern profiliert.

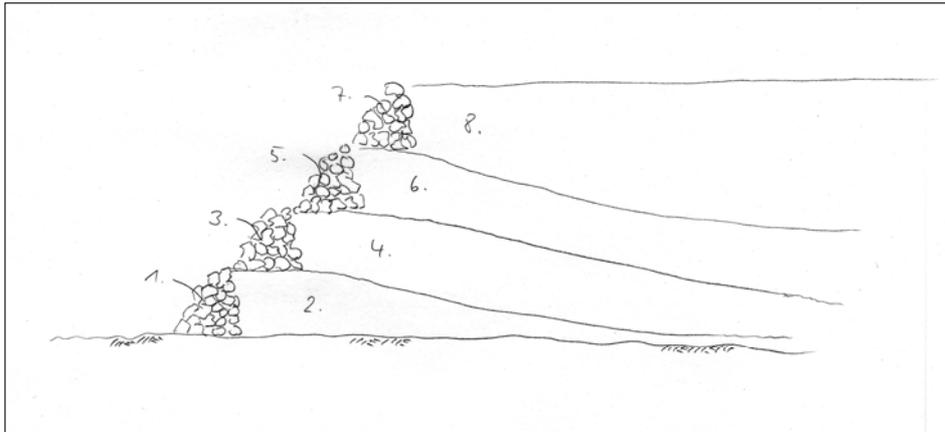


Abbildung 3-2: Bauablauf – Einfassung mit Dämmen 1

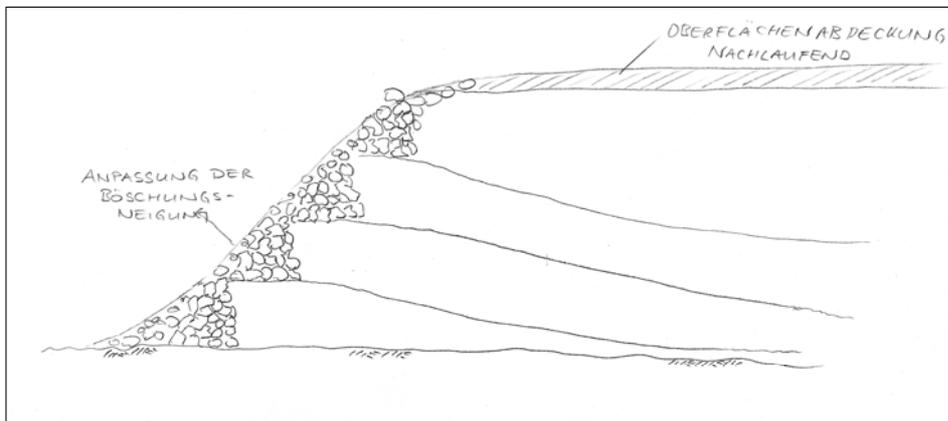


Abbildung 3-3: Bauablauf – Einfassung mit Dämmen 2

Dieser Bauablauf hat den Vorteil, dass ein Materialaustrag aus den Ablagerungsflächen durch die Schüttdämme unterbunden wird. Es ist möglich, durch entsprechenden Versatz der einzelnen Dämme die Böschungsneigung der Einfassungsbauwerke den Vorgaben entsprechend steil einzustellen. Dieser Vorteil gegenüber der Herstellung freier Böschungen fällt unter den gegebenen Umständen allerdings kaum ins Gewicht, da die Böschungsneigungen der Einfassungsbauwerke aus strömungstechnischer Sicht möglichst flach ausgebildet werden sollen.

Nachteil dieses Bauablaufes ist es, dass die Schüttdämme mit einem gewissen Vorlauf vor dem Einbau des Baggergutes hergestellt werden müssen, um den Vorteil der geringeren Verdriftung des Baggergutes nutzen zu können. Für die Herstellung von Schüttdämmen wird mehr Material benötigt als für eine Abdeckung der Böschung (bei gleicher Böschungsneigung), was unter diesen Bedingungen zu höheren Kosten für die Herstellung führt.

Analog zur Herstellung dieser Dammbauwerke ist die Herstellung der Einfassungen vorlaufend mit geotextilen Schläuchen oder Containern möglich. Zur Vergleichmäßigung der Anströmverhältnisse ist hier eine Überschüttung der Dämme oder eine Auffüllung mit kleinen Sandsäcken notwendig.

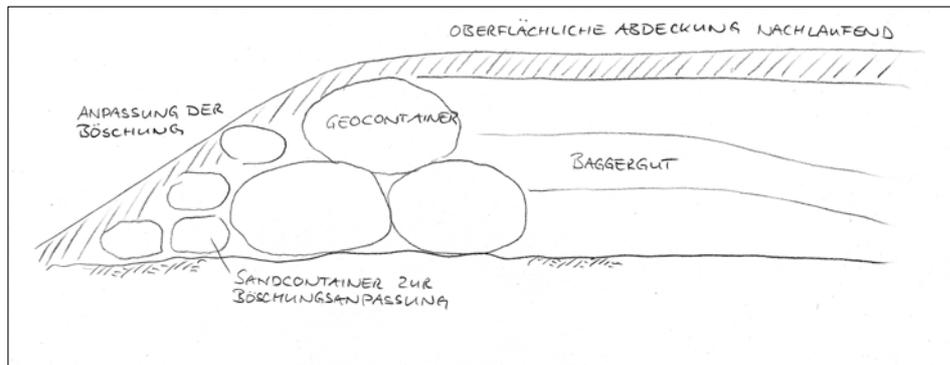


Abbildung 3-4: Bauablauf – Einfassung mit Geocontainern

### 3.3 Filterschicht

Die Filterschicht dient dazu, einerseits einen Materialaustrag aus dem Untergrund zu verhindern (mechanische Filterwirksamkeit) und andererseits die Entwässerung des abgedeckten Bodens durch ausreichende Wasserdurchlässigkeit sicherzustellen und dadurch den Aufbau von Porenwasserdrücken zu vermeiden. Der Abbau von Porenwasserüberdrücken ist für die Standsicherheit der Abdeckung von großer Bedeutung.

Die Auslegung der Filterschicht ist nach geohydraulischen Gesichtspunkten durchzuführen und auf den Aufbau der Deckschicht und des Untergrundes abzustimmen. Gebräuchlich ist dabei die Verwendung von Korn- oder geotextilen Filtern.

Im Folgenden werden mögliche Bauverfahren für die Herstellung einer Filterschicht beschrieben.

#### 3.3.1 Kornfilter

Kornfilter bestehen aus verschiedenartigen, natürlich oder künstlich entstandenen Korngemischen unterschiedlicher Stufung. Die Sieblinien der Filtermaterialien sind so auszuwählen oder zusammenzustellen, dass nur geringe Unterschiede im Übergang der Korngröße zwischen der Filterschicht und den angrenzenden Materialien vorliegen. Die Filterstabilität zwischen den Schichten ist für den konkreten Fall nachzuweisen. Die Bemessung von Kornfiltern kann z. B. nach dem „Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)“ [7], herausgegeben von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), erfolgen.

Beim Einbau von Kornfiltern sind die Einflüsse der Wassertiefe zu berücksichtigen. Es ist durch Wahl des Baustoffes und des Einbauverfahrens zu gewährleisten, dass es nicht zu einer Entmischung des Materials durch große freie Fallhöhen kommt. Nach den „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen - Wasserbau“ (ZTV-W) [8] sind z. B. Kornfilter mit einer Ungleichförmigkeitszahl von  $U > 5$  wegen der Entmischungsfahr durch Verklappen von der Wasseroberfläche nur bei Wassertiefen  $< 1,0$  m und Strömungen  $< 1,0$  m/s einzubauen.

### 3.3.2 Geotextilien als Filterschicht

Statt der Verwendung von Kornfiltern ist es möglich, die Filterstabilität zwischen unterschiedlichen Materialien durch Einsatz speziell abgestimmter Geotextilien herzustellen. Hierzu kommen üblicherweise mechanisch verfestigte Vliesstoffe aus unterschiedlichen Materialien zum Einsatz. Die Bemessung von geotextilen Filterschichten kann z. B. nach dem „Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)“ [9], herausgegeben von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), erfolgen.

Die Geotextilien können in Form von Sinkstücken mit aufgebundenen Faschinen oder auch mit speziellen Verlegeeinheiten ohne weitere Stabilisierung verlegt werden.



Abbildung 3-5: Sinkstückverlegung



Abbildung 3-6: Geotextilverlegung ohne Faschinen (Quelle [18])

### 3.3.3 Buschwerk

Buschwerk wird in Form von Faschinenrollen zur Stabilisierung von geotextilen Sinkstücken beim Einbau verwendet. Dabei werden die Sinkstücke an Land mit kreuzweise aufgebundenen Faschinen versehen und dann schwimmend zum geplanten Einbauort geschleppt.

Früher kam Buschwerk als Trennschicht unter Wasserbausteinen zum Einsatz, was gerade in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit nicht mehr zeitgemäß ist. Buschwerk hat den Nachteil, dass es, abhängig von den Umgebungseinflüssen, im Laufe weniger Jahre verrottet und so seine Funktion verliert.



Abbildung 3-7: Sinkstück mit Buschwerk

### 3.4 Deckschicht

Bei der Konstruktion der Abdeckung und der Einfassungsbauwerke ist sicherzustellen, dass das Bauwerk in seiner Lage den wirkenden Belastungen aus Strömung und Welle widerstehen kann und eine Verlagerung von Bauelementen ausgeschlossen wird. Hierzu ist eine, auf die wirkenden Belastungen abgestimmte Deckschicht zu verwenden.

Für die Herstellung von Deckschichten kommen üblicherweise unterschiedliche Steinmaterialien zum Einsatz. Durch eine genaue Dimensionierung der Steine ist eine maßgenaue Anpassung des Deckschichtaufbaus an die jeweilige Strömungssituation möglich.



Abbildung 3-8: Deckschicht Wasserbausteine auf Geotextil

#### 3.4.1 Wasserbausteine

Wasserbausteine sind künstliche oder natürlich entstandene Steine, die hinsichtlich ihrer Form, Größe, Dichte, Druck- und Verschleißfestigkeit sowie ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Umwelteinflüsse wie z. B. Frost bestimmte Anforderungen erfüllen, die in unterschiedlichen Regelwerken, z. B. DIN EN 13383 – Wasserbausteine [10] oder Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW), Ausgabe 2003 [11], festgeschrieben sind.

Wasserbausteine sind weltweit in unterschiedlichsten Größenklassen und Materialien verfügbar. Die Verwendung der verschiedenen Materialien variiert nach der regionalen Verfügbarkeit der Materialien. Beispielhaft seien Wasserbausteine aus Granit, Basalt, Metallhüttenschlacke oder Beton genannt.

Die Steine können durch Steinschüttung eingebracht oder im Verband verlegt werden, wobei eine Verlegung als Pflasterverband unter Wasser jedoch nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu bewerkstelligen wäre.

Eine Steinschüttung hat den großen Vorteil, dass die Steine relativ einfach auch unter Wasser eingebaut werden können. Deckschichten aus geschütteten Wasserbausteinen sind flexibel und bei ausreichender Dimensionierung wartungsarm und langlebig; Beschädigungen am Bauwerk sind mit relativ geringem Aufwand zu beheben.

Bei starken Strömungs- oder Wellenbelastungen ist es möglich, die Wasserbausteine mit Bitumen oder Zementmörtel zu verklammern um so die Widerstandsfähigkeit gegen die wirkenden Belastungen zu erhöhen. Die Verklammerung kann als Voll- oder Teilverguss ausgeführt werden. Auf diese Weise vermeidet man die sonst notwendige Vergrößerung der Einzelsteingewichte für die hohen Belastungen.



Abbildung 3-9: Wasserbausteine Eisensilikat



Abbildung 3-10: Natürliche Wasserbausteine (Granit)

### 3.5 Kombinierte Bauweisen

#### 3.5.1 Einlagige Verwendung von Korngemischen

Bei der Verwendung von Korngemischen zur Sicherung von Böschungen müssen diese so aufgebaut sein, dass sie einen Austrag der abgedeckten Materialien verhindern, also filterstabil gegenüber dem Baggergut sind. Dazu ist die Sieblinie im Feinkornbereich filterstabil gegen das Baggergut auszulegen.

Um sicherzustellen, dass auch die Lagesicherheit der Abdeckung bei den wirkenden Strömungs- und Wellenbelastungen gegeben ist, muss das Grobkorn im Korngemisch ( $> D_{50}$ ) auf diese Belastungen ausgelegt werden.



Abbildung 3-11: Korngemisch



Abbildung 3-12: Einlagige Abdeckung (Geotextil nur als Trennlage)

Bei der einlagigen Verwendung von Korngemischen ist nicht zu verhindern, dass feine Bestandteile oberflächlich aus dem Verbund ausgespült werden (Abpflasterung oder Selbstarmierung). Dies ist bei ausreichender Mächtigkeit der Abdeckung unschädlich, da das Feinkorn nur im unteren Bereich zur Herstellung der Filterstabilität zum Baggergut notwendig ist.

Um das Material lagegenau einzubauen und Fehler durch Abdrift zu vermeiden, muss die am Einbauort wirkende Strömung betrachtet werden.

Die verwendeten Korngemische sind typischerweise sehr weit gestuft, um sowohl filterstabil gegenüber dem Untergrund zu sein, als auch den wirkenden Belastungen widerstehen zu können. Daher ist z. B. durch Wahl eines geeigneten Einbauverfahrens sicherzustellen, dass es beim Einbau nicht zu einer Entmischung des Materials kommen kann.

### 3.5.2 Geotextile Matten mit Sand- oder Betonfüllung

Geotextile Matten bestehen aus zwei übereinanderliegenden, miteinander verbundenen, hochfesten Geotextilien, die mit unterschiedlichen, pumpfähigen Materialien (Sand oder Beton) befüllt werden. Bei der Verwendung von Beton als Füllmaterial dienen die Matten vor allem als flexible Schalungskörper.

Geotextile Matten stellen eine sehr widerstandsfähige Sohl- und Böschungssicherung dar, die vor allem bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten Verwendung findet, aber auch einen hohen Einbau- und Kostenaufwand bedingt.



Abbildung 3-13: Geotextile Matten (Quelle [19])

Neben der Sohlssicherung werden geotextile Matten mit Sandfüllung auch als Auftriebssicherung für Düker und Pipelines genutzt.

### 3.5.3 Betonsteine auf Geotextil

Besonders im amerikanischen Raum sind kombinierte, vorgefertigte Systeme aus Betonsteinen auf Geotextilien weit verbreitet für die Anwendung als Erosions- und vor allem Böschungssicherung. Die Matten werden in unterschiedlichen Größen vorgefertigt und mit speziellen Vorrichtungen an den Einbauort abgesenkt.

Durch den Verbund der Steine untereinander und die Verbindung mit dem Geotextil ist dieses System auch bei sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten einsetzbar. Andererseits ist damit ein relativ großer Aufwand beim Einbau verbunden.



Abbildung 3-14: Betonsteinpflaster auf Geotextilien (Quelle [20])

### 3.5.4 Gewebematten aus Altreifen

Seit einigen Jahren existieren Verfahren, bei denen Altreifen zu gewebeartigen Gummimatten verarbeitet werden. Diese Matten werden unter anderem auch als Erosionssicherung verwendet. Das System ist bislang noch nicht sehr weit verbreitet und wird in kleinerem Maßstab in Pilotprojekten eingesetzt.



Abbildung 3-15: Matten aus Altreifen (Quelle [21])

### 3.6 Bauweisen für Einfassungsbauwerke

Die Verwendung der folgenden Bauverfahren ist nur zur Herstellung der Einfassungsbauwerke geeignet. Zusätzlich dazu muss eine ggf. notwendige Abdeckung des Baggergutes mit einem anderen Verfahren vorgenommen werden.

#### 3.6.1 Schüttdämme aus Korngemischen und Wasserbausteinen

Zur Einfassung der Ablagerungsflächen ist es möglich, niedrige Dämme aus Schuttsteinen herzustellen und im Schutze dieser Dämme das Baggergut einzulagern. Da diese Schüttdämme die Funktion der Filter- und Deckschicht einnehmen, sind die Baumaterialien entsprechend der einlagigen Verwendung von Korngemischen auszuwählen. Wenn größere Steine zur Sicherung gegen die wirkenden Belastungen benötigt werden, können die Schüttdämme auch mit Wasserbausteinen erstellt werden. In diesem Fall kann es zur Sicherstellung der Filterstabilität notwendig sein, die Wasserbausteine bereichsweise mit Korngemisch zu kombinieren (z. B. Sohlbereich). Bei der Herstellung von Schüttdämmen kann durch Kombination verschiedener Materialien sehr flexibel auf die vorhandenen Verhältnisse eingegangen werden.

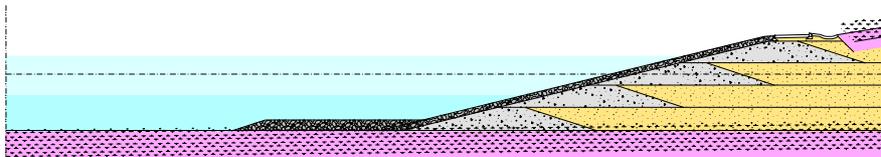


Abbildung 3-16: Schüttdämme aus Korngemischen

#### 3.6.2 Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung

Für die Herstellung der Einfassungsbauwerke mit geotextilen Schläuchen wird ein hochzugfestes Gewebe verwendet, das zu großen Schläuchen vorkonfektionierte wird. Die Durchmesser der Schläuche können an die projektspezifischen Randbedingungen angepasst werden; gängige Durchmesser liegen bei 3 bis 5 m.

Diese Schläuche werden an Bord von Klappschuten oder auch am geplanten Einbauort im Wasser platziert, durch Füllstutzen mit einem pumpfähigen Sand-Wassergemisch gefüllt und nach Entweichen des überschüssigen Wassers in die endgültige Lage abgesenkt.

In der abgesenkten Lage nimmt der Schlauch einen abgeplatteten Querschnitt ein. Da die Entwässerung des Sandes durch das Geotextil behindert wird, findet nach dem Absenken der Schläuche noch eine Konsolidation des Füllmaterials statt. Dadurch flacht sich der Schlauch noch etwas ab, und es bildet sich ein Querschnitt aus, der z. B. bei einem Schlauchdurchmesser von ca. 4,5 m eine Höhe von ca. 2,5 m aufweist.



Abbildung 3-17: Geotextile Schläuche (Quelle [22])

Zum Schutz der Konstruktion vor Beschädigung durch Ankerwurf oder Schiffsanprall - und auch zur Abflachung der Böschung - sollte eine Überschüttung der Geocontainer, z. B. mit Schüttsteinmaterial vorgesehen werden. Diese Überschüttung ist ausschließlich zum Schutz der Geotextilien und nicht zur Sicherstellung der Filterstabilität notwendig.

### 3.6.3 Geotextilien zur Armierung (Geokunststoff Bewehrte Erde)

Zur Herstellung steiler Böschungen wird Geotextil auch als Armierung des Bodens verwendet. Die Wirkungsweise der Bewehrung ist ähnlich wie bei Geocontainern, nur dass die Zugkräfte nicht als Ringzugkräfte im geotextilen Schlauch sondern über eine Verankerungslänge in den Boden abgetragen werden. Die Herstellung von Böschungen mit geotextiler Bewehrung unter Wasser ist mit großem baubetrieblichen Aufwand verbunden.

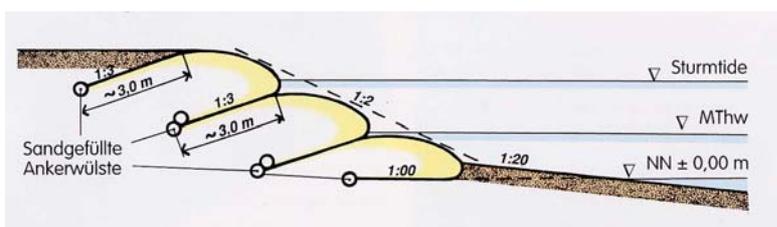


Abbildung 3-18: Böschungssicherung mit Geokunststoffen (Quelle [19])

### 3.6.4 Gabionen (Drahtkörbe)

Gabionen sind Draht- oder Gewebekörbe, die mit Stein- oder Schottermaterialien befüllt werden. Sie werden vor allem für die Herstellung von steilen Böschungen oder als sehr widerstandsfähige Sohlsicherung verwendet. Bei Einsatz unter Wasser ist die Korrosionsbeständigkeit des Drahtmaterials zu beachten.

Der Einbau von Gabionen unter Wasser ist mit relativ großem Aufwand verbunden.



Abbildung 3-19: Gabionen als Sohlsicherung (Quelle [23])

#### 3.6.4.1 Spundwandbauweisen

Spundwände aus Stahl oder Holz dienen der Abfangung von Geländesprüngen sowohl über als auch unter Wasser. Mit Spundwänden lassen sich nur annähernd senkrechte Geländesprünge herstellen.

Zur Anpassung der Böschungsneigung an die hydraulischen Vorgaben wäre eine Vorschüttung aus Schüttsteinmaterial vorzusehen.



Abbildung 3-20: Spundwand als Sicherung einer Aufspülung (Quelle [24])

## 4 Bemessung

### 4.1 Erfahrungen aus früheren Vorhaben

Im Zuge der Fahrrinnenanpassung von Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt wurden zwischen 1998 und 2001 Baggergutablagerungsflächen in den Bereichen Krautsand Nord und Süd, Twielenfleth sowie Scheelenkuhlen errichtet. Diese Bauwerke wurden mit Einfassungen in unterschiedlichen Bauweisen hergestellt. Es kamen dabei sowohl Konstruktionen aus geotextilen Containern, Schüttdämmen aus Geröll auf Sinkstücklagen als auch Schüttdämmen aus Waschbergen mit einer Abdeckung aus Wasserbausteinen auf einer Buschpacklage zum Einsatz. Die Geocontainer sind teilweise mit einer Geröllabdeckung versehen.

Obwohl die Einfassung der Baggergutablagerungsflächen mit Bauverfahren hergestellt wurde, die auch in der vorliegenden Studie untersucht werden, sind die bisher gesammelten Erfahrungen kaum übertragbar auf das geplante Vorhaben. Dies liegt daran, dass durch die exponierte Lage der geplanten Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand die einwirkenden hydraulischen Belastungen infolge Wellen und Strömungen nicht vergleichbar sind mit den bisherigen Ablagerungsflächen (s. Darstellung der Strömungsverhältnisse in Anlage 1).

Ähnliche Verhältnisse finden sich nur in Scheelenkuhlen, hier wurde jedoch kein in sich geschlossenes Einfassungsbauwerk errichtet, so dass auch hier kein Vergleich möglich ist. Weiterhin wurden die Bauwerke in Krautsand, Twielenfleth und Scheelenkuhlen nicht mit einer Abdeckung des eingespülten Baggergutes versehen.

Es hat sich gezeigt, dass es durch die wirkenden Strömungsbelastungen zu Sedimenttransport und Kolkbildung im Bereich des eingelagerten Baggergutes kommt. Um eine Mobilisierung der Sedimente komplett zu verhindern, wären schon bei den relativ geringen Strömungsgeschwindigkeiten in Krautsand und Twielenfleth Maßnahmen zur Sicherung des Baggergutes erforderlich.

Aus den bisherigen Erfahrungen lässt sich ablesen, dass die gewählten Bauweisen für die Einfassung der Ablagerungsflächen bei den örtlichen Strömungsbelastungen offenbar dauerhaft sind. Eine konkrete Angabe über die vorhandene Sicherheit kann nicht gegeben werden.

Im Folgenden wird aufgrund der mangelnden Übertragbarkeit der bisherigen Ergebnisse eine überschlägige Bemessung und Konstruktion der geplanten Bauwerke durchgeführt, um später ein geeignetes Bauverfahren auswählen zu können.

## 4.2 Standsicherheit (Geotechnik)

Aus strömungstechnischer Sicht sind flache Böschungsneigungen  $< 1 : 10$  vorzuziehen. Diese Böschungen sind, basierend auf Erfahrungen mit ähnlichen Bauwerken, in aller Regel als standsicher einzustufen. Auf Nachweise in geotechnischer Hinsicht wird daher im Rahmen dieser Studie verzichtet.

In der Detailplanung sollte jedoch eine gründliche Bodenerkundung sowie der Nachweis der Standsicherheit für alle Bauzustände erfolgen, um die Stabilität der Bauwerke auch in Bereichen gering tragfähiger Schichten im Untergrund sicherzustellen.

## 4.3 Filterstabilität

Die Filterstabilität der für die Filterschicht verwendeten Baustoffe hängt von den Eigenschaften der über- und unterlagernden Materialien ab. Bei dem abzulagernden Baggergut handelt es sich überwiegend um Fein- und Mittelsande mit Anteilen Grobsand, Kies sowie Geschiebemergel und Klei. Sowohl die üblicherweise verwendeten, weitgestuften Korngemische als auch die handelsüblichen geotextilen Filter sind gegenüber diesen Böden i.d.R. filterstabil. Im Rahmen dieser Studie werden daher keine Filterstabilitätsnachweise geführt.

Zur Abstimmung der verwendeten Mischkornfilter, zur Auswahl der passenden Geotextilfilter und auch zur wirtschaftlichen Optimierung der eingesetzten Baumaterialien sollten jedoch Nachweise der Filterstabilität im Rahmen der Detailplanung der Ablagerungsflächen geführt werden.

## 4.4 Steingröße

Die Größe der Steine, die als Abdeckung des abgelagerten Baggergutes oder als Randdamm verwendet werden, hat entscheidenden Einfluss auf dafür benötigte Schichtdicken und damit auch auf die Mengen des benötigten Materials. Für die Steinmaterialien wird deshalb im Rahmen dieser Studie eine Vorbemessung durchgeführt, um eine zutreffende Schätzung der benötigten Massen zu erreichen. Alle weiteren Bauteile (Geotextilien etc.) werden auf Basis von Erfahrungswerten bei anderen Bauvorhaben konstruktiv gewählt.

### 4.4.1 Grundlagen der Sedimentmobilisierung

#### Allgemeines

Das infolge Strömungs- und Wellenbelastung auftretende Strömungsfeld wirkt auf die Sohle und verursacht - je nach vorhandenem Sedimentmaterial - mit den materialspezifischen kritischen Schubspannungen, ab der Sedimente bewegt und transportiert werden können, entsprechende Umlagerungen der Sohle, die in der zeitlichen Folge zu Veränderungen der Sohle führen.

## Beginn der Sedimentbewegung

An der Gewässersohle werden die Sedimente immer dann mobilisiert und daraufhin transportiert, wenn die angreifenden Kräfte aus Strömungen bzw. Schubspannungen größer sind als die rückhaltenden Kräfte (Eigengewicht des Sedimentes bei nichtbindigen Böden; elektrochemische Anziehungskräfte bei bindigen Böden). Dieses Kräfteverhältnis wird durch den Shields-Parameter  $\theta$  beschrieben.

In der nachfolgenden Abbildung 4-1 wird der kritische Shields-Parameter  $\theta_{cr}$ , der den Schwellwert für den Beginn der Sedimentbewegung (Sedimentmobilisierung) wiedergibt, als Funktion des dimensionslosen Korndurchmessers  $D_*$  für Strömungs- und Wellenbedingungen dargestellt. Der Verlauf der Shields-Kurve wird von Soulsby (1997) mathematisch als Funktion des dimensionslosen Korndurchmessers  $D_*$  beschrieben und kann für die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der UWA-Flächen herangezogen werden.

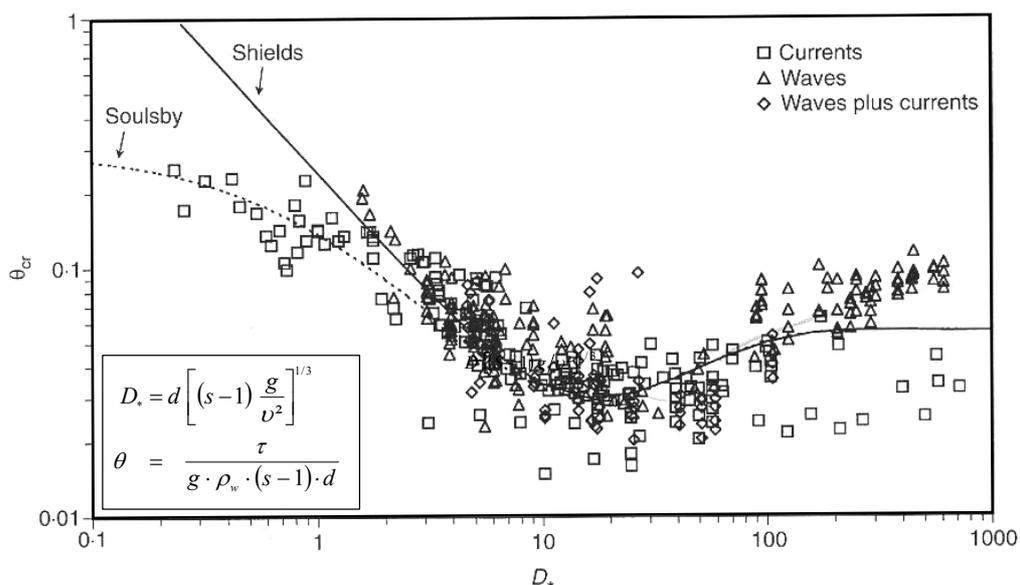


Abbildung 4-1: Kritischer Shields-Parameter  $\theta_{cr}$  als Funktion des dimensionslosen Korndurchmessers  $D_*$  als Grenzwert der Sedimentbewegung unter Strömungs- und/oder Wellenbelastung (nach Soulsby, 1997)

Die Darstellung des kritischen Shields-Parameters in Abbildung 4-1 stellt das Ergebnis zahlreicher Untersuchungen, Messungen und Experimente zur Sedimentbewegung dar und umfasst den Bereich des dimensionslosen Korndurchmessers  $D_* = 0,2$  bis 700. Dies entspricht Korngrößen von 0,01 mm (Mittelschluff) bis 35 mm (Grobkies).

Für Korngrößen und Steine darüber hinaus liegen bis dato keine weiteren Messwerte und Untersuchungen vor. So wird im Schrifttum davon ausgegangen, dass für Sedimentmaterial ab  $D_* > 150$  ( $= 7,5$  mm) von einem kritischen Shields-Parameter  $\theta_{cr} = 0,055$  (Soulsby, 1977) bzw.  $\theta_{cr} = 0,060$  (van Rijn, 1993 und Pilarczyk, 1998) auszugehen ist.

Der Bewegungsbeginn ist grundsätzlich nicht, wie von Shields (1936) angenommen, mit einem exakten Überschreiten des als kritisch angesetzten Grenzwertes verbunden, sondern stellt vielmehr einen Grenzbereich dar, in dem aufgrund lokaler Unterschiede der auftretenden Sohlschubspannungen verschiedene Bewegungszustände von der Mobilisierung von Einzelsteinen bis zur Mobilisierung und Bewegung ganzer Sediment- oder loser Gesteinsschichten zu finden sind. Aus diesem Grunde kann man z. B. bei Berechnungen der erforderlichen Korngrößen für den Fall, dass sich keine Einzelkörner unter der Strömungsbelastung bewegen dürfen, geringere kritische Shields-Parameter annehmen (z. B. 0,030 anstelle 0,060, entspricht 50 % des kritischen Shields-Parameters).

Eine Übertragung dieser dimensionslosen Darstellung des Bewegungsbeginns von Shields (Abbildung 4-1) auf konkrete Strömungsgeschwindigkeiten und Korngrößen wird der Darstellung nach Hjulström in Abbildung 4-2 gegeben. Unterhalb der Kurve sind die Sedimente stabil. Der Zwischenbereich der beiden Kurven kennzeichnet einen Übergangsbereich hin zum Bewegungsbeginn und vollständigen Sedimenttransport.

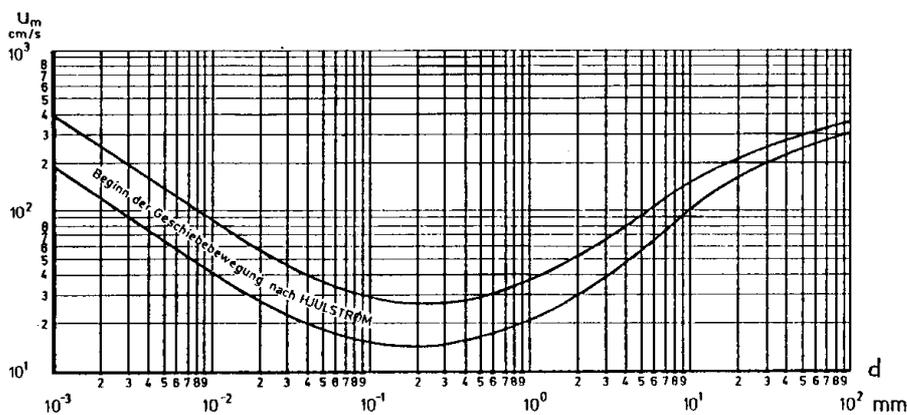


Abbildung 4-2: Sedimentbewegung unter Strömungsbelastung nach Hjulström  
(in Zanke, 1982)

#### 4.4.2 Berechnungsansätze zur Ermittlung der erforderlichen Steingröße

Wellen und Strömungen verursachen Schubspannungen an der Sohle, die bei Überschreiten der kritischen Grenzzustände zur Bewegung von einzelnen Sedimenten und der ganzen Sohle (oberste Lage) führen können. Es existieren

zahlreiche Berechnungsansätze für die Ermittlung des erforderlichen Korn- oder Steindurchmessers, die sich jedoch hinsichtlich ihres Anwendungsbereiches deutlich unterscheiden. Maßgebend für die Anwendbarkeit eines Berechnungsansatzes ist die Beschreibung des Strömungsregimes und des Turbulenzgrades sowie die Angabe, ob und wenn ja welche Bewegungen der Steine zugelassen werden dürfen.

Entsprechend der Fallunterscheidung, können zwei Gruppen von Berechnungsansätzen hinsichtlich des Strömungs- bzw. Turbulenzregimes unterschieden werden (vgl. Abbildung 4-3):

1. Strömungsprofil mit ausgeprägter Grenzschicht und geringen Turbulenzgraden (entsprechend der Tangente des Strömungsprofils)
2. Strömungsprofil mit turbulenter Grenzschicht und hohen Turbulenzgraden (entsprechend große Tangentensteigung des Strömungsprofils)

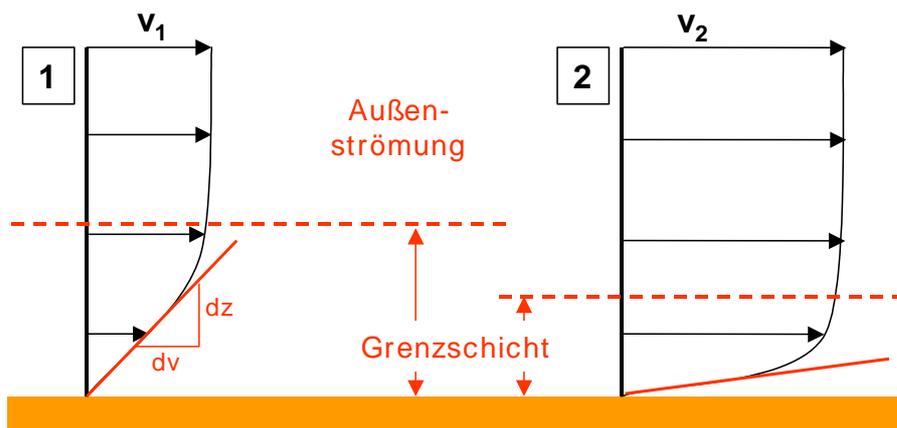


Abbildung 4-3: Ausbildung der Grenzschicht bei unterschiedlichen Strömungsprofilen

Im Strömungsprofil bildet sich ein Übergang zwischen der Außenströmung (entspricht der mittleren Strömungsgeschwindigkeit) und der Randbedingung an der Sohle mit  $v = 0$  aus, die als Grenzschicht bezeichnet wird. Diese Grenzschicht ist in ihrer vertikalen Ausdehnung abhängig von der vorhandenen Außenströmung. Mit ansteigender Außenströmung verringert sich die Grenzschicht und erhöht sich die Tangentensteigung des Geschwindigkeitsprofils, welches ein Maß für den vorhandenen Turbulenzgrad darstellt. D.h. bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten bildet sich eine Grenzschicht aus, in der ein hohes Maß sohnaher Turbulenzen vorherrscht.

Entsprechend dieser hydraulischen Randbedingungen können und müssen die Berechnungsansätze zur Ermittlung der erforderlichen Steingröße unterschieden werden.

Auf Basis eines Strömungsprofils mit geringen Turbulenzgraden, wie es beispielsweise in einem Tideregime vorherrscht, welches sich in der eigenen Morphologie ausbildet und nicht durch lokale Effekte mit größeren Turbulenzen behaftet ist, kann das Berechnungsverfahren nach Shields bzw. Hjulström angewendet werden.

Auf den Rechengang unter Verwendung des Shields-Konzeptes wird im folgenden Abschnitt 4.4.2.1 weiter eingegangen.

Sobald ein Strömungsregime vorherrscht, welches sich durch hohe Strömungsgeschwindigkeiten und gleichzeitig hohe Turbulenzgrade auszeichnet, entweder aufgrund entsprechender Sohlrauheiten oder z. B. auch infolge einer Einschnürung oder einer Störung infolge eines Bauwerks, sind für die Ermittlung erforderlicher Steingrößen andere Berechnungsverfahren (z. B. nach Isbash oder Pilarczyk, s. [12], [16]) als das Shields-Konzept anzuwenden, die in Abschnitt 4.4.2.2 zusammenfassend betrachtet werden. Unter diese Anwendung fallen auch Berechnungen der erforderlichen Steingröße bei Deckwerken, z. B. auch im Wasserwechselbereich. So treten durch schiffs- und windinduzierte Wellen und Strömungen hochturbulente Luft-Wassergemische auf, die hinsichtlich der Ermittlung erforderlicher Steingrößen entsprechende Berechnungsverfahren erfordern.

Für die Ermittlung der erforderlichen erosionsstabilen Abdeckung der geplanten UWA-Flächen wird davon ausgegangen, dass diese mit flachen Neigungen der Randkonstruktionen ausgebildet werden, so dass keine zusätzlichen Turbulenzeinträge zu erwarten sind. Da es sich bei der dominierenden Tideströmung um eine langperiodische, d.h. quasi stationäre Strömung handelt, kann sich an der Sohle und auch an den Übergängen zu den UWA-Flächen eine Grenzschicht mit geringen Turbulenzgraden ausbilden.

Da diese UWA-Flächen vollständig unter Wasser liegen und somit schwallartige hydraulische Belastungen wie bei einem Deckwerk oder auch außergewöhnliche Belastungen infolge Schraubenstrahl, die alle mit entsprechenden Beschleunigungen, Turbulenzgraden und Sohl Schubspannungen verbunden sind, nicht auftreten, wird die Anwendung des Shields-Konzeptes für die Berechnung erforderlicher Steingrößen für die erosionsstabile Abdeckung der UWA-Flächen als maßgebend angenommen.

#### **4.4.2.1 Berechnung der erforderlichen Steingröße mit dem Ansatz nach Shields**

Die Berechnung der erforderlichen Steingröße nach Shields ist ein iterativer Prozess, d.h. nach Durchführung eines Rechenlaufes muss geprüft jeweils werden, ob das angenommene Sediment in einer stabilen Lage verbleibt oder nicht. Bei den nachfolgenden Ausführungen wird maßgeblich auf Soulsby (1997) zurückgegriffen.

Der Shields-Parameter  $\theta$  berechnet sich aus den angreifenden Schubspannungen  $\tau$  und den rückhaltenden Kräften infolge Eigengewicht

$$\theta = \frac{\tau}{g \cdot \rho_w \cdot (s - 1) \cdot d}$$

mit  $\tau$  [N/m<sup>2</sup>] Schubspannung  
 $g$  [m/s<sup>2</sup>] Erdbeschleunigung  
 $\rho_w$  [kg/m<sup>3</sup>] Dichte des Wassers  
 $s$  [-] =  $\rho_F/\rho_w$  relative Feststoffdichte  
 $d$  [m] Korndurchmesser.

Für jedes Sedimentmaterial kann der kritische Shields-Parameter  $\theta_{cr}$  nach dem Ansatz von Soulsby (1997) unter Berücksichtigung des Shields-Diagrammes bestimmt werden zu:

$$\theta_{cr} = \frac{0,30}{1 + 1,2 \cdot D_*} + 0,55 \cdot \left[ 1 - \exp(-0,020 \cdot D_*) \right]$$

mit  $D_*$  als dimensionsloser Korndurchmesser

$$D_* = \left[ \frac{g \cdot (s - 1)}{\nu^2} \right]^{1/3} d$$

mit  $\nu$  [s m<sup>2</sup>] kinematische Viskosität des Wassers

Wellen und Strömungen verursachen sohlnahe Schubspannungen, die wie folgt zu  $\tau_c$  (Strömung) und  $\tau_w$  (Welle) ermittelt werden können:

Strömung:  $\tau_c = \rho_w \cdot g \cdot \frac{u_c^2}{C^2}$

mit  $C$  [m<sup>2</sup>/s] Chezy-Koeffizient,  $C = 18 \log(12 h/k_s)$   
 $h$  [m] Wassertiefe  
 $k_s$  [m] Sohlrauheit,  $k_s = 2,5 D_{50}$  (nach Nikuradse)  
 $u_c$  [m/s] Strömungsgeschwindigkeit (z. B. infolge Tide)

Welle:  $\tau_w = 1/2 \cdot \rho_w \cdot f_w \cdot u_w^2$

mit  $f_w$  [-] Wellenreibungskoeffizient,  $f_w = 0,237 r^{-0,52}$  (nach Soulsby)  
 $r$  [-] relative Rauheit,  $r = A/k_s$   
 $A$  [m] Orbitalstrecke,  $A = u_w T/(2\pi)$   
 $T$  [s] Wellenperiode  
 $u_w$  [m/s] welleninduzierte Strömungsgeschwindigkeit an der Sohle

Für den Wellenreibungskoeffizienten existieren eine Reihe von Berechnungsansätzen. An dieser Stelle wurde der von Soulsby (1997) gewählt, da dieser einen entsprechenden Gültigkeitsbereich besitzt.

Aus der Überlagerung von wellen- und strömungsinduzierten Schubspannungen wird die resultierende Schubspannung  $\tau_{cw}$  nach dem folgenden Ansatz ermittelt:

$$\tau_{cw} = \tau_c + \frac{1}{2} \cdot \tau_w$$

Mit dieser ermittelten Sohlschubspannung  $\tau_{cw}$  infolge Wellen- und Strömungsbelastung kann der zugehörige Shields-Parameter  $\theta$  ermittelt und mit dem kritischen Shields-Parameter  $\theta_{cr}$  verglichen werden. Es können daraufhin folgende Fälle unterschieden werden:

- $\theta > \theta_{cr}$  Das Sedimentmaterial wird mobilisiert,
- $\theta = \theta_{cr}$  das Sedimentmaterial kann mobilisiert werden,
- $\theta < \theta_{cr}$  das Sedimentmaterial wird nicht mobilisiert und ist lagestabil.

#### **Einfluss der Sohlneigung auf den kritischen Shields-Parameter**

Soulsby (1997) erläutert weiterhin den zu berücksichtigenden Effekt einer ansteigenden oder abfallenden Sohle auf die Fragestellung der Sedimentmobilisierung. So wird eine in Böschungsfällrichtung gerichtete Strömung das anstehende Sohlmaterial leichter mobilisieren als eine böschungsaufwärts gerichtete Strömung, bei der sich die Sedimente rückwärtig gegeneinander abstützen können.

Entsprechende Rechenansätze nach Soulsby (1997) werden in der durchgeführten Bemessung mitberücksichtigt. Dabei erhöht bzw. verringert sich die kritische Sohlschubspannung. Auf eine Darstellung der einzelnen Berechnungsansätze wird an dieser Stelle verzichtet.

#### **4.4.2.2 Berechnungsansätze für hohe Turbulenzgrade**

In der Literatur sind zahlreiche theoretische und empirisch ermittelte Formeln und Ansätze zur Ermittlung des erosionsstabilen Korn-/Steindurchmessers für den Fall hoher Turbulenzgrade vorhanden. Diese Ansätze sollen im Einzelnen nicht diskutiert, aber eingeordnet werden, um die Richtigkeit der Anwendung des verwendeten Berechnungsansatzes nach Shields zu unterstreichen.

DVWK (1997) [16] gibt einen umfassenden Überblick bestehender Ansätze zur Bemessung von Korngrößen bei Strömungsangriff. Allen genannten Berechnungsansätzen seit Isbash (1970) ist gemein, dass der erforderliche Korndurchmesser in Beziehung gesetzt wird zum Quadrat der Strömungsgeschwindigkeit  $v$  bzw. der Sohlschubspannungsgeschwindigkeit  $v_0^*$  ( $= \sqrt{\tau/\rho_w}$ ).

Gleiches gilt für den Ansatz von Hansen (1987), dessen Anwendung im Wasserbau sehr verbreitet ist.

In BAW (2004) [12] wird für die Fragestellung der erforderlichen Steingröße bei Strömungsangriff und im Speziellen bei böschungparallelem Strömungsangriff auf den Ansatz von Isbash (in DVWK, 1997) zurückgegriffen und dieser mit einem weiteren Beiwert für die Böschungsneigung ergänzt. Der originäre Anwendungsfall besteht aus einer schiffswelleninduzierten Belastung des Deckwerkes, bei der z. B. die Primärwelle schwallartig böschungsparell voranläuft, und ein hochturbulentes Luft-Wassergemisch entsteht. Auch für den Bereich des Deckwerkes unter Wasser kommt es zu einer instationären Strömungsbelastung mit einer signifikanten Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit.

Für derartige Belastungsfälle, in denen es bauwerks- oder schiffsinduziert zu einer zeitlich begrenzten stärkeren hydraulischen Belastung der Sohle oder des Deckwerkes kommt, sind die in [12] genannten Berechnungsverfahren entwickelt und auch nur für diese anwendbar. Als Erläuterung wird auf folgenden Sachverhalt aus [12] hingewiesen:

*„Der Bewegungsbeginn des natürlichen Sohlensedimentes (anschließend an den Deckwerksfuß) lässt sich abschätzen mit Ansätzen von Hjulström (...), Shields (...) oder Bonneville ...“*

Daraus kann geschlossen werden, dass der von der BAW angeführte Ansatz nach Isbash nur auf das Deckwerk bezogen werden soll. Am Fuß des Deckwerkes zur natürlichen Sohle ergibt sich infolge dessen ein Übergang von Deckwerkssteinen [cm bis dm] auf die Sohle [mm]. Es kann also daraus abgeleitet werden, dass der von der BAW angeführte Berechnungsansatz für die Dimensionierung von Deckwerkssteinen vornehmlich im Wasserwechselbereich und im Besonderen auf Bereiche mit hohen Turbulenzgraden angewendet werden sollte. Eine Anwendung auf die im Rahmen dieses Berichtes abzuhandelnde Aufgabenstellung ist nicht zielführend.

Ein Vergleich einiger Berechnungsansätze für den Fall einer ebenen Sohle verdeutlicht, dass Berechnungsansätze für geringe Turbulenzgrade und Berechnungsansätze für hohe Turbulenzgrade stark unterschiedliche Ergebnisse liefern., da die Eingangsgröße der Strömungsprofils unterschiedlich ist (vgl. Abschnitt 4.4.2).

Tabelle 4-1: Vergleich von Berechnungsansätzen für erforderliche Steindurchmesser auf einer ebenen Sohle für verschiedene Strömungsgeschwindigkeit bei reinem Strömungsangriff (ohne Wellen)

Strömungsgeschwindigkeit [m/s]	Erforderlicher Korndurchmesser [mm]			
	Shields	Hjulström	Hansen (1987)	BAW (2004)
0,5	0,8	1,8	11	11
1,0	3,0	5,5	43	46
1,5	6,5	9,0	97	103
2,0	13,0	18,0	172	180

*Berechnungsannahmen: Wassertiefe  $h = 5$  m, ebene Sohle  
 $\rho_F = 2650$  kg/m<sup>3</sup>,  $\rho_W = 1000$  kg/m<sup>3</sup>*

So liefern Shields und Hjulström ähnliche Größenordnungen für erforderliche Korndurchmesser unter Annahme einer reinen Strömungsbelastung bei definierter Wassertiefe und alle weiteren Ansätze für hohe Turbulenzgrade liefern Steingrößen, die um eine Größenordnung (Faktor 10) größer sind.

Die folgende Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der UWA-Flächen erfolgt nach dem vorgestellten Schubspannungsansatz von Shields und dessen Anwendung beschrieben durch Soulsby (1997).

#### 4.4.3 Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen

##### 4.4.3.1 Eingangsparmeter

Für die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand als auch für die Deckschicht der Böschungsbauwerke werden Berechnungspunkte definiert (vgl. Abbildung 4-4) und Berechnungsannahmen getroffen, die in der Tabelle 4-2 zusammengefasst sind. Für jede UWA-Fläche werden Berechnungen an jeweils vier Positionen durchgeführt.

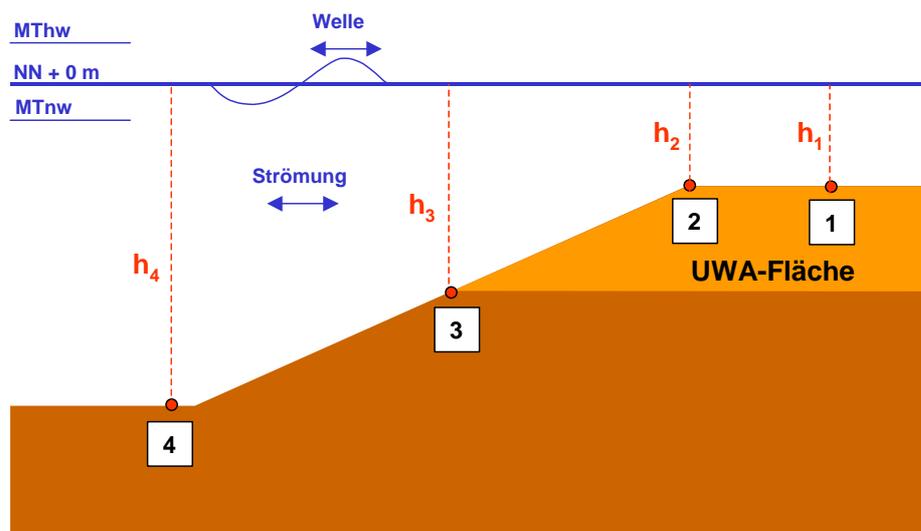


Abbildung 4-4: Definition der Berechnungspunkte für die Bemessung der erforderlichen Steingröße

Für die Belastung aus Schiffswellen wird eine maximale Sekundärwellenhöhe von  $H_s = 1,0$  m mit einer geschätzten Wellenperiode von  $T = 4$  s angenommen. Für weitere Planungsarbeiten ist das in Bearbeitung befindliche Gutachten der BAW zu Schiffswellen in der Unterelbe zu berücksichtigen.

Die Windwellen wurden für einen minimalen Wasserstand von NN +0 m und eine Windgeschwindigkeit von 24 m/s als Maximalwerte berücksichtigt (vgl.

Tabelle 2-2). Für die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung wird jeweils die größte Welle infolge Seegang oder Schiffspassage in der Berechnung berücksichtigt.

Tabelle 4-2: Eingangsparemeter für die Dimensionierung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen

Parameter	Vorgaben Projektbüro	Medemrinne	Neufelder Sand	Kratzsand
<b>Topographie</b>				
OK UWA-Fläche [mNN]	-2,5	-3,5	-4,0	-2,5
Minimale Wassertiefe [m] bei MTnw (= NN – 1,5 m)				
$h_1 = h_2$	1,0	2,0	2,5	1,0
$h_3$ (Annahme: NN – 8 m)	6,5	6,5	6,5	6,5
$h_4$ (Annahme: NN – 16 m)	14,5	14,5	14,5	14,5
<b>Maximale Tidenströmungen [m/s]</b>				
UWA-Fläche	3,0	1,2	1,2	1,0
Böschungsbereich	3,0	1,1	1,2	1,6
Fahrwasser	3,0	-	1,6	1,6
<b>Wellenbelastung</b>				
Windwellen ( $v_w = 24$ m/s bei NN +0 m) Hs/Tm [m]/[s]		0,7 m 2,8 s	0,45 m 2,2 s	1,15 m 3,7 s
Schiffswellen (Sekundärwellen) H/T [m]/[s]		1,0 m 4 s	1,0 m 4 s	1,0 m 4 s
<b>Profilneigungen</b>				
Sohlneigung	1 : 100	1 : 100	1 : 100	1 : 100
Böschung Randbauwerk	1 : 10	1 : 10	1 : 10	1 : 10 / 1 : 3

Die o.g. Parameter finden Eingang in die Bemessung der erosionsstabilen Abdeckung der Ablagerungsflächen.

Gemäß der Ausführungen zu Tidenströmungen im Bereich der UWA-Flächen in Abschnitt 2.4, 2.5 und 2.6 treten maximale Tidenströmungen von 1,2 m/s auf. Vor dem Hinblick einer ausreichenden Sicherheitsreserve wird zunächst eine Vorbemessung der erosionsstabilen Abdeckung anhand dieser Parameter vorgenommen und anschließend eine Bewertung der Steingrößenauswahl durchgeführt. Diese Vorbemessung ist Grundlage einer notwendigen Detailplanung.

Bei der nachfolgenden Bemessung wird weiterhin davon ausgegangen, dass der kritische Shields-Parameter gerade noch einen stabilen Zustand beschreibt, d.h. dass erst mit Überschreiten des kritischen Wertes eine Bewegung des Kornes erfolgt. Auf eine Reduzierung des kritischen Shields-Parameters, um damit die

absolute Ruhe des Kornes sicherzustellen, wird im Rahmen der Bemessung verzichtet. Sicherheitsrelevante Aspekte werden bei der späteren Auswahl der Steingrößen einfließen und berücksichtigt.

#### 4.4.3.2 Bemessung nach Shields

Auf Grundlage der im vorangegangenen Abschnitt genannten Eingangsparameter werden nachfolgend die Berechnungen nach Shields durchgeführt und deren Ergebnisse für die Vorgaben des Projektbüros und für die ermittelten Vorgaben für die UWA-Flächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand in der Tabelle 4-3 vorgestellt. Die in der Tabelle zusammengefassten Korngrößen für die erosionsstabile Abdeckung bezeichnen den erforderlichen Korndurchmesser  $D_{50}$ , also den Korndurchmesser bei 50 % Siebdurchgang.

Für alle UWA-Flächen werden die erforderlichen Korn- und Steingrößen der erosionsstabilen Abdeckung für die ebene Sohle (Oberkante UWA-Fläche, Punkt 1) und zwei Böschungen mit den Neigungen 1 : 10 und 1 : 3 (Punkte 2 und 3)- in Abhängigkeit der genannten Eingangsparameter - ermittelt und zusammengestellt. Bei den Böschungsneigungen wird zusätzlich unterschieden, in welche Richtung die Strömung über die Böschung läuft:

- *upslope* - die Strömung läuft senkrecht die Böschung hinauf,
- böschungsparell – die Strömung verläuft parallel zur Höhenlinie und
- *downslope* – die Strömung läuft senkrecht die Böschung hinunter.

Für die Berechnungen wird von einem Natursteinmaterial mit einer Rohdichte von  $\rho_F = 2.650 \text{ kg/m}^3$  und einem inneren Reibungswinkel von  $\varphi = 30^\circ$  (konservativer Ansatz) ausgegangen. Bei Verwendung von Steinmaterial mit größerer Rohdichte verringern sich die erforderlichen Steingrößen. Für die durchgeführten Berechnungen an den insgesamt vier definierten Profilpunkten (vgl. Abbildung 4-4) wird weiterhin zwischen zwei Szenarien unterschieden, welche die größten hydraulischen Belastungen auf die Sohle erwarten lassen.

- **A) Szenario minimaler Wasserstand (Niedrigwasser)**  
mit reduzierter Tidenströmungsgeschwindigkeit, da zum Zeitpunkt des Tideniedrigwassers eine wesentlich geringere Strömung vorherrscht. Diese wird mit 50 % der maximalen Strömung angenommen, was als deutlich auf der sicheren Seite liegend beschrieben werden kann.
- **B) Szenario maximaler Tidestrom**  
mit maximaler Strömungsgeschwindigkeit, die zum Zeitpunkt des größten Tidestieges/Tidefalls auftritt. Dafür wird ein Wasserstand von NN +0 m angenommen.

Zur Festlegung der o. g. Szenarien ist zu erläutern, dass die hydraulischen Belastungen auf die Sohle und auf die oberen Sedimente maßgeblich von den bei-

den Parametern Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeit abhängen. Eine maximale Belastung der Sohle ergibt sich somit bei minimaler Wassertiefe bzw. bei maximaler Strömungsgeschwindigkeit. Da beide Parameter nicht zeitgleich auftreten, wurde zwischen den beiden o. g. Szenarien unterschieden.

Mit dem Auftreten von Sturmflutereignissen sind entsprechend große Wassertiefen mit möglicherweise erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten verbunden, die jedoch im Vergleich zu den benannten Szenarien nicht zu einer maximalen hydraulischen Belastung der Sohle führen.

Der kritische Shields-Parameter  $\theta_{cr}$  wird entsprechend der Ausführungen in Abschnitt 4.4.1 ermittelt. Mit der Definition der ermittelten erforderlichen Steingrößen als  $D_{50}$ -Werte wird eine zusätzliche Sicherheit berücksichtigt, d.h. 50 % der Steine sind größer als  $D_{50}$  und werden erst bei höheren hydraulischen Belastungen mobilisiert und transportiert. Weitere Reserven stecken in den Eigenschaften des Steinmaterials und in der Selbstarmierung der Abdeckung.

Tabelle 4-3: Erforderliche Materialgrößen der erosionsstabilen Abdeckung für die UWA-Flächen und nach Vorgaben (Tabelle 4-2) für die o.g. Szenarien

Berechnungspunkt	Erforderliche Steinmaterialgröße $D_{50}$ [m]								
	Vorgaben	Projektbüro		Medemrinne		Neufelder Sand		Kratzsand	
	Szenario	A	B	A	B	A	B	A	B
	Wasserstand [mNN]	-1,5	0	-1,5	0	-1,5	0	-1,5	0
	Welle H/T [m]/[s]	1,0 m 4,0 s	1,15 m 3,7 s	1,15 m 3,7 s					
1	$h_1$ [m]	1,0	2,5	2,0	3,5	2,5	4,0	1,0	2,5
	Uc UWA-Fläche [m/s]	1,5	3,0	0,6	1,2	0,6	1,2	0,5	1,0
	Sohle / UWA-Fläche	0,102	0,105	0,017	0,012	0,011	0,010	0,089	0,020
2	$h_2$ [m]	1,0	2,5	2,0	3,5	2,5	4,0	1,0	2,5
	Uc Böschung [m/s]	1,5	3,0	0,55	1,1	0,6	1,2	0,8	1,6
	Böschung 1 : 10 (Strömung upslope)	0,074	0,080	0,012	0,008	0,008	0,008	0,071	0,026
	Böschung 1 : 10 (Strömung parallel)	0,107	0,110	0,017	0,011	0,011	0,010	0,102	0,036
	Böschung 1 : 10 (Strömung downslope)	0,155	0,155	0,024	0,014	0,015	0,013	0,150	0,049
	Böschung 1 : 3 (Strömung upslope)	0,045	0,052	0,008	0,006	0,006	0,006	0,043	0,017
	Böschung 1 : 3 (Strömung parallel)	0,175	0,167	0,027	0,016	0,017	0,014	0,165	0,054
	Böschung 1 : 3 (Strömung downslope)	0,650	0,500	0,103	0,050	0,061	0,043	0,550	0,192
3	$h_3$ [m]	6,5	8,0	6,5	8,0	6,5	8,0	6,5	8,0
	Uc Böschung [m/s]	1,5	3,0	0,55	1,1	0,6	1,2	0,8	1,6
	Böschung 1 : 10 (Strömung upslope)	0,007	0,030	0,002	0,004	0,002	0,004	0,003	0,007
	Böschung 1 : 10 (Strömung parallel)	0,009	0,039	0,003	0,004	0,003	0,005	0,004	0,008
	Böschung 1 : 10 (Strömung downslope)	0,011	0,050	0,003	0,005	0,003	0,006	0,004	0,010
	Böschung 1 : 3 (Strömung upslope)	0,006	0,022	0,002	0,003	0,002	0,004	0,003	0,002
	Böschung 1 : 3 (Strömung parallel)	0,012	0,054	0,003	0,006	0,004	0,006	0,005	0,004
	Böschung 1 : 3 (Strömung downslope)	0,031	0,145	0,006	0,012	0,007	0,014	0,009	0,007
4	$h_4$ [m]	14,5	16,0	14,5	16,0	14,5	16,0	14,5	16,0
	Uc [m/s]	1,5	3,0	1,0	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0
	Sohle / Fahrwasser	0,006	0,027	0,003	0,009	0,003	0,009	0,003	0,009

#### 4.4.4 Auswahl von Steinen

Aus den vorangegangenen Berechnungen in Abschnitt 4.4.3 können die erforderlichen Korn- und Steingrößen für die erosionsstabile Abdeckung ausgewählt werden. Aus Tabelle 4-3 wird ersichtlich, dass die erforderlichen Steingrößen für steilere Böschungen und verringerte Wassertiefen überproportional ansteigen.

Ein Ziel der Ablagerung und späteren Sicherung des Materials sollte eine möglichst an die Strömung und die Topographie angepasste Deponierung der Baggermengen sein, um insgesamt den Strömungswiderstand des Bauwerkes zu vermindern und den erforderlichen Aufwand für die Sicherung der abgelagerten Baggermengen zu minimieren.

Da basierend auf dem Strom- und Verbringungskonzept ganz bewusst die Lage und Geometrie der UWA-Fläche Kratzsand vorgezeichnet wird, besteht in diesem speziellen Fall eine ganz besondere Notwendigkeit der nachhaltigen Sicherung der UWA-Kratzsand vor dem Hintergrund der angreifenden hydraulischen Belastungen und der exponierten Lage in der Unterelbe. Im Vergleich zu den beiden UWA-Flächen Medemrinne und Neufelder Sand sind für die Sicherung der UWA-Fläche Kratzsand größere Steine insbesondere an den Böschungen und Enden der UWA-Fläche erforderlich.

#### UWA-Flächen (mit 1 : 10 Böschungen)

Aus den unterschiedlichen Belastungen ergeben sich entsprechende erforderliche Korngrößen. Es empfiehlt sich grundsätzlich, ein weiter gestuftes Steinmaterial als Sicherung zu verwenden, um einen ausreichenden Erosionsschutz bei gleichzeitiger Anforderung nach Filterstabilität zu gewährleisten. Auf diese Weise kann auf einen mehrschichtigen Aufbau verzichtet werden.

Aus den Berechnungsergebnissen für die UWA-Flächen Medemrinne, Neufelder Sand und Kratzsand ist zu erkennen, dass unter der ermittelten hydraulischen Belastung

- die Oberfläche der UWA-Flächen maximal mit einem Korngemisch mit  $D_{50} = 0,089$  m (entspricht ehemaliger Wasserbausteinklasse 0),
- die obere Böschung (1 : 10) mit einem Korngemisch mit  $D_{50} = 0,150$  m (entspricht ehemaliger Wasserbausteinklasse I) und
- die untere Böschung (1 : 10) maximal mit einem Korngemisch mit  $D_{50} = 0,010$  m (entspricht Mittelkies)

gesichert werden muss.

Für alle UWA-Flächen mit Böschungsneigungen bis maximal 1:10 bietet sich zur Sicherung der UWA-Flächen in den Punkten 1 und 2 mit Ausnahme des Szenarios A (Niedrigwasser) für Kratzsand z. B. ein Mischkornfilter 0/150 mm als erosionsstabile Abdeckung an. Größere Steingrößen sind nur für böschung-

abwärts (downslope) gerichtete Belastungen erforderlich, wie sie im Falle von Kratzsand verbunden mit geringen Wassertiefen und erhöhter Wellenbelastung auftreten. Dies sollte kompensiert werden durch flachere Böschungen auf der Luv- und Leeseite der UWA-Fläche Kratzsand bezogen auf die Tidestromrichtung.

Das erforderliche Kornmaterial für die Abdeckung kann von der Böschungsoberkante (Punkt 2) über die Wassertiefe abgestuft werden. Zur Sicherung der UWA-Fläche im Punkt 3 ist aufgrund der größeren Wassertiefe mit geringeren Schubspannungseinträgen infolge Seegang und Schiffswelle zu rechnen und der Schubspannungsanteil infolge Tideströmung reduziert sich. Rechnerisch kann der für Punkt 2 (obere Böschungsschulter) gewählte Mischkornfilter 0/150 mm im Punkt 3 auf z. B. 0/50 mm oder noch kleiner reduziert werden.

Bei einer steileren 1 : 3-Böschung werden z.T. erheblich größere Steingrößen erforderlich, so dass im Falle einer solchen Konstruktion andere Bauweisen empfohlen werden. Dabei sind es insbesondere die Lastfälle mit böschungsabwärts gerichteter Strömung, die entsprechend große Steingrößen erfordern.

Im Rahmen der weiteren Planungsdetailierung ist zu untersuchen, welche Teilflächen der UWA zwingend abgedeckt werden müssen, und wo auf eine Abdeckung verzichtet werden kann bzw. in welchen Bereichen eine verminderte Abdeckung ausreichend ist. Des weiteren ist im Detail zu klären, an welchen Stellen welche Böschungsneigungen mit den entsprechenden Abdeckmaterialien erforderlich sind.

### **Vorgaben Projektbüro**

Für die vom Projektbüro vorgegebenen Maximalbelastungen ergeben sich für die UWA-Fläche mit Böschungen von 1 : 10 erforderliche Korngrößen der erosionsstabilen Abdeckung

- für die Oberfläche der UWA-Fläche von  $D_{50} = 0,102$  m (Punkt 1)
- an der oberen Böschung (Punkt 2)  $D_{50} = 0,155$  m und
- an der unteren Böschung (Punkt 3)  $D_{50} = 0,050$  m.

Die größeren erforderlichen Korngrößen sind im wesentlichen durch die geringen Wassertiefen verbunden mit sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten verursacht.

Steilere Böschungen als 1 : 10 ergeben bautechnisch erforderliche aber z.T. nicht mehr realistische Steingrößen. Die Werte sind jedoch der Vollständigkeit halber mit aufgeführt.

## **5 Auswahl geeigneter Bauverfahren**

### **5.1 Beurteilung der grundsätzlichen Eignung**

Im nächsten Schritt werden die Bauverfahren nach ihrer grundsätzlichen Eignung für die vorliegenden Verhältnisse beurteilt.

Man kann feststellen, dass alle bisher beschriebenen Verfahren vom Grundsatz geeignet sind, Unterwasserböschungen - und damit auch das eingelagerte Baggergut - gegen Strömungs- und Wellenangriff zu sichern. Für die geplante Baumaßnahme sind jedoch bestimmte Randbedingungen zu beachten, um die Eignung der Verfahren im speziellen Fall zu beurteilen.

#### **5.1.1 Projektspezifische Randbedingungen**

Im Rahmen der Maßnahme sind an den Ablagerungsflächen Medemrinne und Neufelder Sand ca. 1.300 ha Oberfläche und ca. 10 km Böschung mit einer Fläche von über 30 ha gegen Strömungs- und Wellenangriff zu schützen. Es stehen hier 10 bis 15 Mio. m<sup>3</sup> Ablagerungskapazität zur Verfügung.

Aufgrund der großen Baggergutmengen und abzudeckenden Flächen kommen nur Bauverfahren in Frage, die einfach im Ablauf und bei denen durch Automatisierung und Parallelbetrieb hohe Leistungen erreichbar sind.

Die Verfahren müssen langjährig erprobt sein, da bei der Baumaßnahme kein Spielraum für Versuche bleibt und um ggf. eine parallele Vergabe der Leistung an mehrere Firmen zu ermöglichen.

Die Versorgung mit Baumaterialien muss flexibel sein, sie müssen in ausreichender Menge im näheren Umfeld zur Verfügung stehen, und es muss möglich sein, bei Veränderungen der Baggergutlieferung das Bauverfahren flexibel umzustellen.

Nicht zuletzt muss das gewählte Bauverfahren eine wirtschaftlich günstige Lösung darstellen und maßgenau an die vorherrschenden Strömungsverhältnisse angepasst sein. Im Zuge der weiteren Planung der Fahrrinnenanpassung können Ablagerungsflächen ins Gespräch kommen, bei denen die Strömungsverhältnisse von denen der im Rahmen dieser Studie untersuchten Flächen abweichen. Daher werden auch Bauverfahren betrachtet, die für die Sicherung gegen größere, aber im Umfeld realistische Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenangriffe notwendig wären.

### 5.1.2 Nicht berücksichtigte Bauverfahren

Folgende Bauverfahren erfüllen die projektspezifischen Randbedingungen in Teilen oder insgesamt nicht und werden daher nicht weiter berücksichtigt:

- Verwendung von Wasserbau- und Betonsteinen als Pflaster, da dies unter Wasser nur mit erheblichem Aufwand realisierbar und nicht wirtschaftlich auszuführen ist.
- Geotextile Matten mit Beton- oder Sandfüllung sind für sehr große Strömungsbelastungen ausgelegt und daher bei den einwirkenden Belastungen überdimensioniert, die Befüllung ist aufwändig und bei den großen Flächen, die abgedeckt werden müssen, nicht wirtschaftlich.
- Verbundsysteme mit Betonsteinen auf Geotextil sind unter Wasser sehr aufwändig zu verlegen, die realisierbaren Einbauleistungen sind für das Projektvolumen zu gering und die Materiallieferung ist durch die Abhängigkeit von speziellen Lieferanten eher unflexibel.
- Der Einsatz von Gabionen als Böschungs- oder Sohlsicherung ist im vorherrschenden Strömungsumfeld nicht erforderlich, da die als Füllmaterial verwendeten Steine sowohl im Bereich der Sohle als auch auf den Böschungen ohne den Einsatz von Drahtkörben standsicher wären. Die Verwendung von Gabionen wäre somit nicht wirtschaftlich.
- Spundwandbauweisen sind für die Anforderungen des Projektes zu wenig flexibel, zu teuer und für die wirkenden Belastungen überdimensioniert. Zusätzlich zu einer Spundwand wäre eine Vorschüttung zur Anpassung des Bauwerkes an die strömungstechnischen Anforderungen notwendig.
- Systeme mit Altreifen sind aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit großer Mengen, der mangelnden Erprobung des Verfahrens sowie der Verfügbarkeit von Anbietern und Einbaugeräten nicht für dieses Projekt geeignet.
- Die Einfassung der Ablagerungsflächen mit Geotextilien als Armierung ist unter Wasser sehr aufwändig, da temporäre Schalungen für den Sandeinbau notwendig sind. Weiterhin sind die Böschungen bei den geplanten, flachen Böschungsneigungen i.d.R. auch ohne Armierung standsicher. Zum Schutz der Geotextilien vor Beschädigung wäre in jedem Fall eine Überschüttung notwendig, so dass dies Verfahren nicht wirtschaftlich wäre.

### 5.1.3 Geeignete Bauverfahren

Bei der Beurteilung der Eignung für das geplante Bauvorhaben wird berücksichtigt, dass bei alternativen Ablagerungsflächen durch das Strömungsumfeld oder Veränderungen der Geometrie eine über die in Kapitel 4.4 ermittelte Steingröße hinausgehende Sicherung erforderlich werden kann. Deshalb werden auch andere Bauweisen als ein Mischkornfilter zur Abdeckung betrachtet. Die

Konstruktion wird jedoch nur für vergleichbare, in überwiegenden Bereichen der Ablagerungsflächen vorliegende Verhältnisse durchgeführt. Besondere Sicherungsmaßnahmen sind detailliert im nächsten Planungsschritt zu betrachten.

Die folgenden Bauverfahren erfüllen die in Kapitel 5.1.1 beschriebenen Kriterien und werden weiter untersucht:

- Mischkornfilter und
- geotextile Filter mit
- Deckschicht aus Wasserbausteinen als Abdeckung
- einlagiger Einbau von Korngemischen als Abdeckung
- Schüttdämme aus Korngemisch und Wasserbausteinen
- Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung als Einfassung.

## 6 Konstruktion der Bauwerke

### 6.1 Konstruktionsprinzipien

Die Konstruktion der einzelnen Bauweisen basiert auf den in Kapitel 2 ermittelten Belastungsgrößen im Bereich der Unterwasserablagerungsflächen und erfolgt mit dem Ziel, einerseits die Standsicherheit und Nachhaltigkeit der Bauwerke sicherzustellen und andererseits eine möglichst wirtschaftliche Lösung für die Herstellung der Einfassungs- und Abdeckungsbauwerke für die Baggergutunterbringung auszuwählen. Für den Vergleich der Bauverfahren wird daher auf die Berücksichtigung von extremen Belastungen in einzelnen Teilabschnitten der Ablagerungsflächen bewusst verzichtet.

In Kapitel 4.4.4 ist die Größenordnung einer notwendigen Sicherung von besonders exponierten Lagen (einzelne Bereiche der Fläche Kratzsand) bzw. weit auf der sicheren Seite liegenden Vorgaben des Projektbüros aufgeführt. Für einen Vergleich der Bauverfahren sind diese Bereiche jedoch nicht von Bedeutung. Bei einer weiteren Detailplanung der Ablagerungsflächen sind besonders stark belastete Bereiche entweder durch eine besondere Sicherung oder andere konstruktive Maßnahmen wie z. B. eine Anpassung der Geometrie der Böschungen zu berücksichtigen.

Als Vorgabe aus strömungstechnischer Sicht wird im Rahmen dieser Studie von einer Böschungsneigung von 1 : 10 für die Einfassungsbauwerke ausgegangen. Um eine Einschätzung über die Wirtschaftlichkeit zu erhalten, wird die Einfassung der Flächen mit Dämmen zum Vergleich mit einer Böschungsneigung von 1 : 3 betrachtet.

Im Zuge der weiteren Planung sind konstruktive Details so zu gestalten, dass möglichst gleichmäßige Übergänge zu bestehenden Böschungen entstehen, da Knicke und Vorsprünge in der Strömungsberandung zu Strömungsturbulenz und damit zu Kolkung führen.

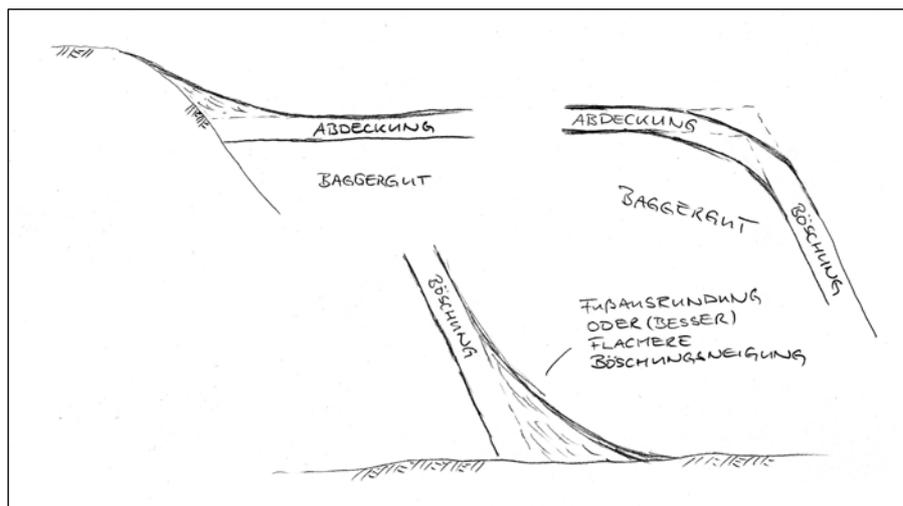


Abbildung 6-1: Beispiele - konstruktive Details

## 6.2 Konstruktion der Abdeckung des Baggergutes sowie der Einfassungsbauwerke (Abdeckung des natürlichen Böschungen)

Bei der Konstruktion der Abdeckung werden im Rahmen dieser Studie die wirkenden Belastungen aus Strömung und Wellen betrachtet.

Bei der Verwendung von Schüttsteinen für die Herstellung der Einfassung und die Abdeckung des Baggergutes wird davon ausgegangen, dass lokale Beschädigungen aus Ankerwurf oder Schiffsanfahrung für das Gesamtbauwerk unschädlich sind und ggf. mit einfachen Mitteln behoben werden können. Mindestschichtstärken werden deshalb für diese außergewöhnlichen Lastfälle nicht berücksichtigt.

Bei der Verwendung von geotextilen Filtern bzw. Geocontainern ist es jedoch sinnvoll, die Konstruktion vor Beschädigungen zu schützen, da Verletzungen des Geotextils zu einer nachhaltigen Schädigung des Gesamtbauwerks führen können. Aus diesem Grund wird hier eine Überschüttung mit einer Mindestdicke von 60 cm angesetzt. Da die Unterwasserablagerungsflächen nicht im direkten Fahrrinnenbereich der Elbe liegen und da aufgrund der geplanten Oberfläche von ca. NN -3,0 m nur Schiffe relativ geringer Größe und geringem Tiefgang Zugang zu den Flächen haben, ist dieses Maß ausreichend.

Abhängig von der Philosophie, die bei der Herstellung der Ablagerungsflächen verfolgt werden soll, kann ggf. auch auf eine Erhöhung der Deckschichtstärke verzichtet werden. Im Falle einer Beschädigung der Geotextilien wäre dann auch eine Reparatur der Abdeckung mit Schüttmaterialien möglich. Im Vergleich der Verfahren wird daher auch ein geotextiler Filter mit einer 30 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen berücksichtigt.

Für die Böschungen der Ablagerungsflächen werden folgende Randbedingungen angenommen:

- Böschungsneigung: 1 : 10 (Vergleichsberechnung 1 : 3)
- mittlere Böschungshöhe: 3,0 m
- Böschungsfläche: 30,15 (9,49) m<sup>2</sup>/lfm Böschung.

### 6.2.1 Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen

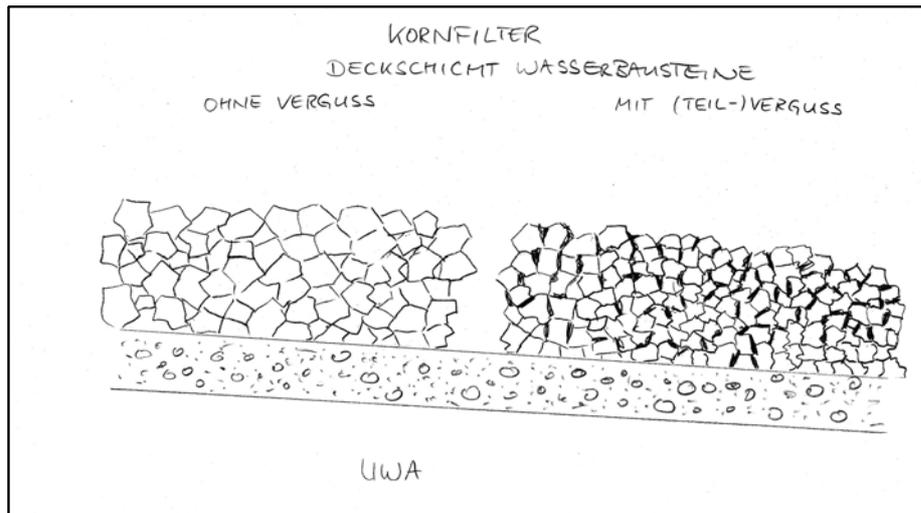


Abbildung 6-2: Abdeckung –Kornfilter, Deckschicht Wasserbausteine

Bei einem zweilagigen Aufbau mit Filter- und Deckschicht aus Schüttsteinen sollte aus bautechnischer Sicht jede Schicht eine Mindeststärke von ca. 30 cm besitzen. Die Filterschicht (gewählt Korngemisch 0/65) sollte nach MAK [7] ebenfalls eine Mindeststärke von 30 cm bei einem  $D_{50} > 30$  mm aufweisen. Die Mindestdicke der Deckschicht aus Wasserbausteinen der Größenklasse CP<sub>63/180</sub> aufgrund der wirkenden Belastungen aus Strömung und Wellen ergibt sich nach [13] zu:

$$\min d = 1,5 D_{100} = 1,5 \cdot 18 \text{ cm} = 27 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Gewählter Aufbau:

- Filterschicht: 30 cm Korngemisch 0/65
- Deckschicht: 30 cm Wasserbausteine CP<sub>63/180</sub>

Materialbedarf Böschung:

- Filterschicht: 9,05 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/65 je lfm Böschung
- Deckschicht: 9,05 m<sup>3</sup> Wasserbausteine CP<sub>63/180</sub> je lfm Böschung

Materialbedarf flächige Abdeckung:

Filterschicht: 0,3 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/65 je m<sup>2</sup> Oberfläche

Deckschicht: 0,3 m<sup>3</sup> Wasserbausteine CP<sub>63/180</sub> je m<sup>2</sup> Oberfläche.

### 6.2.2 Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen

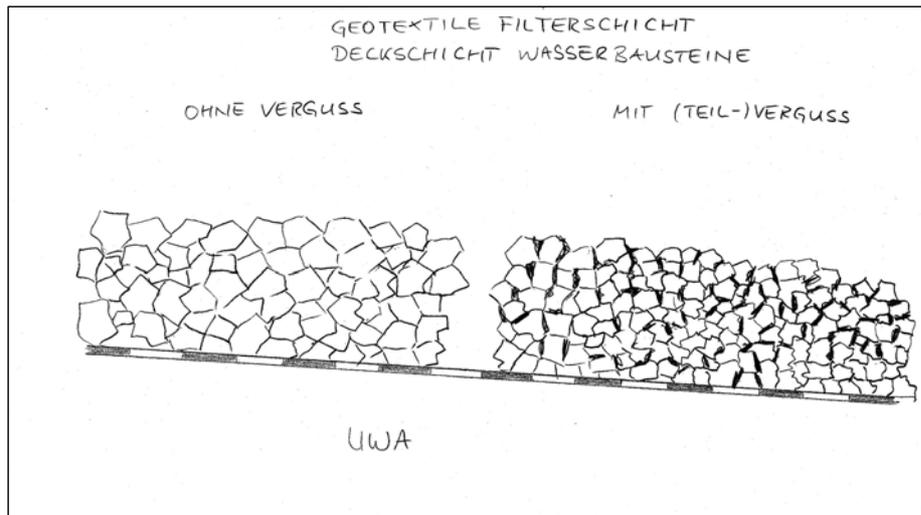


Abbildung 6-3: Abdeckung –Geotextiler Filter, Deckschicht Wasserbausteine

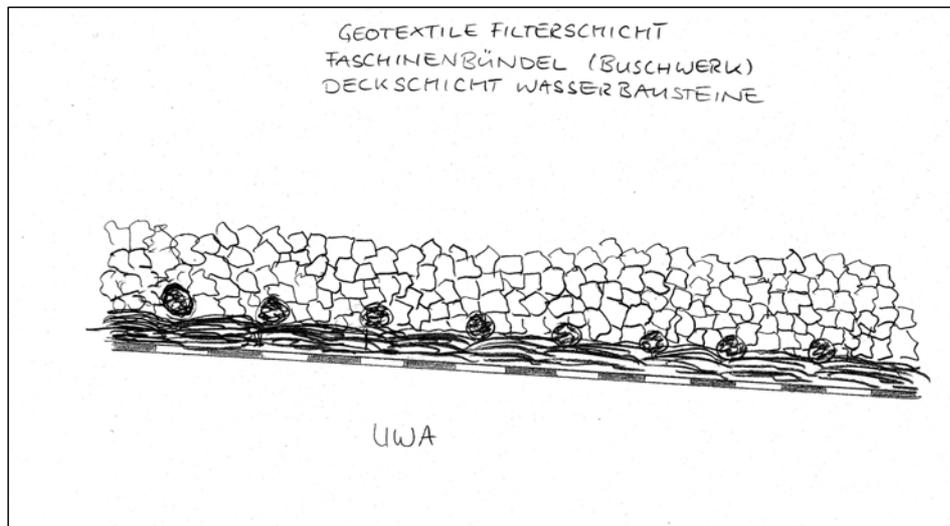


Abbildung 6-4: Abdeckung –Geotextiler Filter, Faschinen, Wasserbausteine

Für den Einsatz als Filter wird ein geotextiles Filtervlies, mit einem Flächengewicht von ca. 800 g/m<sup>2</sup> sowie Filterstabilität gegenüber den Bodentypen 1 bis 4 gem. „Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)“ [9] (z. B. Huesker HaTe E 800/2 oder Naue Terrafix 813) gewählt.

### 6.2.2.1 Deckschicht mit Berücksichtigung von Ankerwurf

Die Mindestdicke der Deckschicht bei Einsatz von geotextilen Filtern für eine ausreichende Sicherheit gegen Ankerwurf unter Berücksichtigung der vorliegenden Verhältnisse wird zu  $\min d_D = 0,6 \text{ m}$  festgelegt (s. 6.2)

Die Mindestdicke der Deckschicht aus Wasserbausteinen der Größenklasse CP<sub>63/180</sub> aufgrund der wirkenden Belastungen aus Strömung und Wellen ergibt sich nach [13] zu:

$$\min d = 1,5 D_{100} = 1,5 \cdot 18 \text{ cm} = 27 \text{ cm} < 60 \text{ cm}$$

Gewählter Aufbau:

Filterschicht:	Filtervlies z. B. Huesker HaTe E 800/2
Deckschicht:	60 cm Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>

Materialbedarf Böschung:

Filterschicht:	30,15 m <sup>2</sup> Filtervlies je lfm Böschung
Deckschicht:	18,09 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub> je lfm Böschung

Materialbedarf flächige Abdeckung:

Filterschicht:	1,0 m <sup>2</sup> Filtervlies je m <sup>2</sup> Oberfläche
Deckschicht:	0,6 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub> je m <sup>2</sup> Oberfläche.

### 6.2.2.2 Deckschicht ohne Berücksichtigung von Ankerwurf

Gewählter Aufbau:

Filterschicht:	Filtervlies z. B. Huesker HaTe E 800/2
Deckschicht:	30 cm Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>

Materialbedarf Böschung:

Filterschicht:	30,15 m <sup>2</sup> Filtervlies je lfm Böschung
Deckschicht:	9,05 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub> je lfm Böschung

Materialbedarf flächige Abdeckung:

Filterschicht: 1,0 m<sup>2</sup> Filtervlies je m<sup>2</sup> Oberfläche

Deckschicht: 0,3 m<sup>3</sup> Wasserbausteine CP<sub>63/180</sub> je m<sup>2</sup> Oberfläche.

### 6.2.3 Einlagige Abdeckung mit Korngemisch

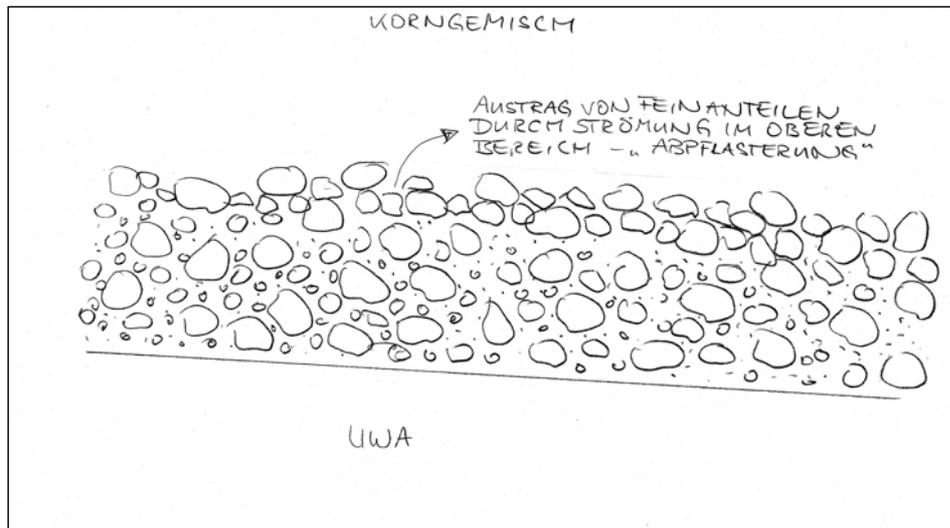


Abbildung 6-5: Abdeckung –Einlagiger Aufbau Korngemisch

Bei einer einlagigen Abdeckung des Baggergutes mit einem Korngemisch sollte sowohl aus bautechnischer Sicht als auch nach Vorgabe der MAK [7] eine Mindeststärke von ca. 30 cm eingehalten werden.

Eine weitere Randbedingung für die Mindestdicke der Abdeckung mit einem Korngemisch 0/150 ergibt sich aufgrund der wirkenden Belastungen aus Strömung und Wellen nach [13] zu:

$$\min d = 1,5 D_{100} = 1,5 \cdot 15 \text{ cm} = 22,5 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Gewählter Aufbau:

Abdeckung: 30 cm Korngemisch 0/150 (Mindestschichtstärke)

Materialbedarf Böschung:

Abdeckung: 9,05 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je lfm Böschung

Materialbedarf flächige Abdeckung:

Abdeckung: 0,3 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je m<sup>2</sup> Oberfläche.

### 6.3 Konstruktion der Böschungssicherung (Einfassung mit Dämmen)

#### 6.3.1 Schüttdämme aus Korngemisch

##### 6.3.1.1 Böschungsneigung 1 : 10

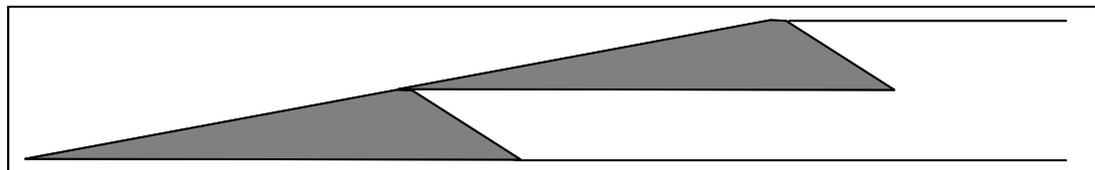


Abbildung 6-6: Schüttdämme - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 10

Geometrischen Randbedingungen:

- Kronenbreite: 30 cm (Mindestschichtstärke der Abdeckung)
- Böschungsneigung: 1 : 10 außen, 1 : 3 innen
- Höhe Einzelbauwerk: 1,5 m
- Anzahl der Dämme: 2 Stück übereinander
- Material: analog zum einschichtigen Aufbau der Abdeckung
- Materialbedarf: 30,15 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je lfm.

##### 6.3.1.2 Böschungsneigung 1 : 3

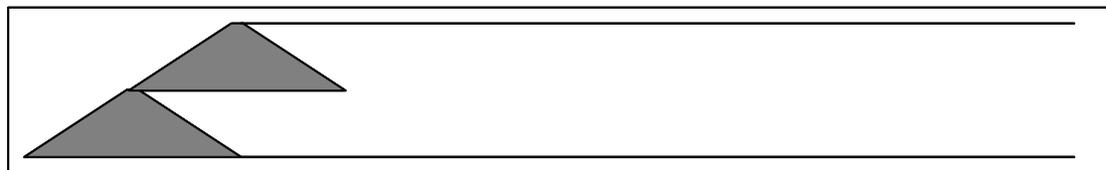


Abbildung 6-7: Schüttdämme - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 3

Geometrischen Randbedingungen:

- Kronenbreite: 30 cm (Mindestschichtstärke der Abdeckung)
- Böschungsneigung: 1 : 3 (beidseitig)
- Höhe Einzelbauwerk: 1,5 m
- Anzahl der Dämme: 2 Stück übereinander
- Materialbedarf: 14,40 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je lfm.

#### 6.3.2 Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung

Bei der Herstellung der Einfassungsbauwerke mit geotextilen Schläuchen muss, um vergleichbare Verhältnisse mit den anderen Bauverfahren zu erreichen, eine

Angleichung der Böschungsneigung - z. B. durch eine Vorschüttung - vorgenommen werden. Diese Vorschüttung kann gleichzeitig als Schutz des Bauwerkes vor Beschädigung durch Ankerwurf oder Schiffsanprall dienen.

Es werden Schläuche gewählt, die einen idealisierten Durchmesser von 4,2 m und im gefüllten Zustand eine Höhe von ca. 2,5 m besitzen. Zusammen mit der Überschüttung liegt die Höhe der Einfassung damit bei ca. 3 m.

Analog zur Herstellung der Einfassung bei Krautsand-Süd (1999), wird ein Geotextil mit einer Reißfestigkeit von  $\geq 80$  kN/m und einer Öffnungsweite von  $\leq 150$  Micron betrachtet.

Der Bedarf an Schüttmaterial ergibt sich idealisiert aus Betrachtung einer dreieckigen Vorschüttung mit einer Höhe von 3,0 m abzüglich der halben idealen Querschnittsfläche des geotextilen Schlauches.

### 6.3.2.1 Böschungsneigung 1 : 10



Abbildung 6-8: Geocontainer - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 10

Materialbedarf:

Geotextil: 14 m<sup>2</sup> je lfm Schlauch

Sandfüllung: ca. 11,5 m<sup>3</sup> je lfm Schlauch

Vorschüttung: ca. 38 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je lfm Schlauch.

Es zeigt sich, dass zur Herstellung einer Vorschüttung vor den Schläuchen mit einer Böschungsneigung von 1 : 10 mehr Schüttmaterial benötigt wird, als zur Herstellung von Schüttdämmen mit der gleichen Geometrie. Die Verwendung von Geotextilen Containern bei flachen Böschungsneigungen erscheint damit nicht als sinnvoll.

### 6.3.2.2 Böschungsneigung 1 : 3

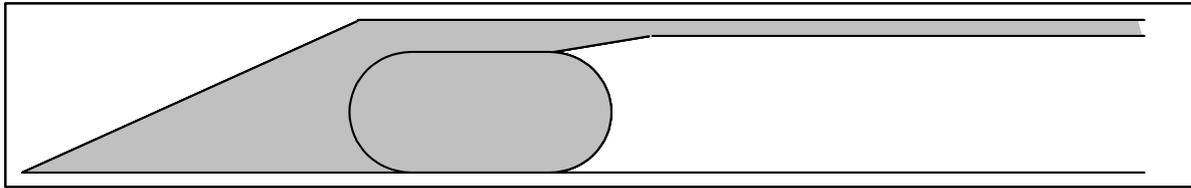


Abbildung 6-9: Geocontainer - Einfassungsbauwerke Böschungsneigung 1 : 3

Materialbedarf:

- Geotextil: 14 m<sup>2</sup> je lfm Schlauch  
Sandfüllung: ca. 11,5 m<sup>3</sup> je lfm Schlauch  
Vorschüttung: ca. 6,6 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 je lfm Schlauch.

## 7 Kostenvergleich der Bauverfahren

Um die Kosten für die Einfassung und Abdeckung der Unterwasserablagerungsflächen vergleichen zu können, ist eine Unterscheidung nach Bauverfahren für die Abdeckung der Oberfläche der Bauwerke und der Herstellung der Einfassungsbauwerke notwendig.

Eine ganzheitliche Betrachtung der UWAs ist bei der derzeitigen Planungstiefe nicht abschließend möglich, weil im Rahmen einer Detailplanung eine Optimierung der Größe der abzudeckenden Flächen sowie die detaillierte örtliche Bemessung der notwendigen Abdeckung durchgeführt werden muss. Dabei wird sich das Verhältnis aus abzudeckender Fläche und der Länge einer notwendigen Böschungssicherung verändern. Es werden daher für die Bewertung der Bauverfahren hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit Vergleichskosten für Abdeckung und Böschungssicherung getrennt ermittelt, verglichen und bewertet.

Bei der Ermittlung von Vergleichskosten, die der Auswahl von geeigneten und wirtschaftlichen Bauverfahren dienen, können Details sowie Optimierungen in einzelnen, besonders stark belasteten Bauwerksbereichen, die Bestandteil der weiteren Planung sind, nicht berücksichtigt werden. Besondere Sicherungsmaßnahmen exponierter Bereiche sind unabhängig vom gewählten Bauverfahren zu betrachten.

Um eine Einschätzung der tatsächlich anfallenden Kosten der Baumaßnahme zu gewinnen, wird für die einzelnen UWA-Flächen eine auf dem Kenntnisstand der Studie basierende Abschätzung der notwendigen Sicherungsmittel und der dabei anfallenden Kosten getroffen. Die aus anderen Baumaßnahmen gewonnenen Einheitspreise werden dafür mit pauschalen Zu- und Abschlägen für Posten wie Baustelleneinrichtung und sonstige Nebenkosten sowie für mögliche marktbedingte Änderungen des Einheitspreises versehen.

### 7.1 Leistungen und Einheitspreise

Zur Abschätzung vergleichbarer Kosten für Abdeckung und Einfassung der UWAs werden Einheitspreise verwendet, die in abgeschlossenen Projekten im Wettbewerb entstanden sind. Bei den verwendeten Einheitspreisen handelt es sich um Vergleichspreise. Für eine genaue Kostenschätzung im Zuge einer weiteren Detaillierung der Planung sind Kosten für Baustelleneinrichtung, Mehrwertsteuer, Unvorhergesehenes etc. zu berücksichtigen. Dabei muss auch eine Optimierung der notwendigen Sicherungsmaßnahmen sowie die Sicherung höher belasteter Bauwerksbereiche betrachtet werden.

Durch die großen Massen, die zur Sicherung der UWA-Flächen notwendig werden, ist gegenüber den Einheitspreisen aus früheren Projekten ein Einsparpotential vorhanden, das im Rahmen dieser Studie mit ca. 20 % angesetzt wird. Dies wäre z. B. durch eine Marktstudie genauer zu ermitteln. Die großen benötigten Massen bergen auf der anderen Seite die Gefahr, dass durch eine sehr große

Nachfrage und mangelnde Verfügbarkeit die Preise sogar über das derzeitige Marktniveau steigen. Dies wird jedoch bei dieser Studie nicht berücksichtigt.

Die Kosten für Lieferung und Einbau von Korngemisch 0/65 und 0/150 sind sowohl bezüglich der Materialkosten als auch des Aufwands für den Einbau annähernd gleich. Bei Verwendung von Wasserbausteinen ist der Kostenansatz für die Lieferung des Materials etwas höher als bei Korngemischen.

Folgende Leistungen sind dabei zu vergleichen:

1. Liefern und Einbauen von Korngemisch 0/65 als Filterschicht mit einer Mächtigkeit von  $d = 30$  cm.  
Einheitspreis: 15,00 € / m<sup>2</sup>
2. Liefern und Einbauen von Wasserbausteinen CP<sub>63/180</sub> als Deckschicht mit einer Mächtigkeit von  $d = 30$  cm.  
Einheitspreis: 16,00 € / m<sup>2</sup>
3. Liefern und Einbauen von geotextilem Filtervlies (Sinkstück mit Faschinen)  
Einheitspreis: 30,00 € / m<sup>2</sup>
4. Liefern und Einbauen von geotextilem Filtervlies (ohne Faschinen)  
Einheitspreis: 15,00 € / m<sup>2</sup>
5. Liefern und Einbauen von Wasserbausteinen CP<sub>63/180</sub> als Deckschicht mit einer Mächtigkeit von  $d = 60$  cm.  
Einheitspreis: 27,00 € / m<sup>2</sup> (ca. 42,00 €/m<sup>3</sup>)
6. Liefern und Einbauen von Korngemisch 0/150 als Abdeckung mit einer Mächtigkeit von  $d = 30$  cm.  
Einheitspreis: 15,00 € / m<sup>2</sup> (ca. 40,00 €/m<sup>3</sup>)
7. Liefern und Einbauen von Korngemisch 0/150 als Schüttdamm oder Vorschüttung.  
Einheitspreis: 40,00 €/m<sup>3</sup>
8. Liefern und Einbauen von geotextilen Schläuchen mit Sandfüllung als Einfassung.  
Kosten gem. Vermerk WSD Nord, vom 22.03.04:  
je lfm (Durchmesser 4,2 m, Länge 27 m): 291,81 €  
je lfm (Krautsand): ca. 260,00 €  
Einheitspreis: 280,00 €.

## 7.2 Kosten Abdeckung

Die Kosten für die Abdeckung werden für jeweils einen m<sup>2</sup> abzudeckende Fläche berechnet und gegenübergestellt.

### 7.2.1 Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche:

Filter:	0,3 m <sup>3</sup> Korngemisch 0/65	15,00 €/m <sup>2</sup>
Deckschicht:	0,3 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>16,00 €/m<sup>2</sup></u>

Gesamtpreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche: 31,00 €/m<sup>2</sup>

### 7.2.2 Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche:

Filter:	1,0 m <sup>2</sup> Filtervlies mit Faschinen	30,00 €/m <sup>2</sup>
Deckschicht:	0,6 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>27,00 €/m<sup>2</sup></u>

Gesamtpreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche: 57,00 €/m<sup>2</sup>

### 7.2.3 Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche:

Filter:	1,0 m <sup>2</sup> Filtervlies	15,00 €/m <sup>2</sup>
Deckschicht:	0,6 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>27,00 €/m<sup>2</sup></u>

Gesamtpreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche: 42,00 €/m<sup>2</sup>

### 7.2.4 Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche:

Filter:	1,0 m <sup>2</sup> Filtervlies	15,00 €/m <sup>2</sup>
Deckschicht:	0,3 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>16,00 €/m<sup>2</sup></u>

Gesamtpreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche: 31,00 €/m<sup>2</sup>

### 7.2.5 Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter

Einheitspreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche:

Abdeckung:	0,3 m <sup>3</sup> Korngemisch 0/150	<u>15,00 €/m<sup>2</sup></u>
------------	--------------------------------------	------------------------------

Gesamtpreis je m<sup>2</sup> abzudeckender Fläche: 15,00 €/m<sup>2</sup>

### 7.3 Kosten der Böschungssicherung (Abdeckung)

Die Kosten für die Böschungssicherung als Abdeckung des eingespülten Baggergutes werden für jeweils einen laufenden Meter abzudeckende Böschung berechnet und gegenübergestellt.

#### 7.3.1 Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je lfm Böschung:

Filter:	9,05 m <sup>3</sup> Korngemisch 0/150	362,00 €/ lfm
Deckschicht:	9,05 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>380,00 €/ lfm</u>

Gesamtpreis je lfm Böschung: 742,00 €/ lfm

#### 7.3.2 Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je lfm Böschung:

Filter:	30,15 m <sup>2</sup> Filtervlies mit Faschinen	905,00 €/ lfm
Deckschicht:	18,09 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>760,00 €/ lfm</u>

Gesamtpreis je lfm Böschung: 1.665,00 €/ lfm

#### 7.3.3 Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je lfm Böschung:

Filter:	30,15 m <sup>2</sup> Filtervlies	452,00 €/ lfm
Deckschicht:	18,09 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>760,00 €/ lfm</u>

Gesamtpreis je lfm Böschung: 1.212,00 €/ lfm

#### 7.3.4 Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht aus Wasserbausteinen

Einheitspreis je lfm Böschung:

Filter:	30,15 m <sup>2</sup> Filtervlies	452,00 €/ lfm
Deckschicht:	9,05 m <sup>3</sup> Wasserbausteine CP <sub>63/180</sub>	<u>380,00 €/ lfm</u>

Gesamtpreis je lfm Böschung: 832,00 €/ lfm

#### 7.3.5 Einschichtiger Einbau mit Korngemisch

Einheitspreis je lfm Böschung:

Abdeckung:	9,05 m <sup>3</sup> Korngemisch 0/150	362,00 €/ lfm
------------	---------------------------------------	---------------

Gesamtpreis je lfm Böschung: 362,00 €/ lfm

## 7.4 Kosten der Böschungssicherung (Einfassung mit Dämmen)

### 7.4.1 Schüttdämme aus Korngemisch

#### 7.4.1.1 Böschungsneigung 1 : 10

Einheitspreis je lfm Böschung:

Schüttdämme: 30,15 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 1.206,00 €/ lfm

Gesamtpreis je lfm Böschung: 1.206,00 €/ lfm

#### 7.4.1.2 Böschungsneigung 1 : 3

Einheitspreis je lfm Böschung:

Schüttdämme: 14,40 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 576,00 €/ lfm

Gesamtpreis je lfm Böschung: 576,00 €/ lfm

### 7.4.2 Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung

#### 7.4.2.1 Böschungsneigung 1 : 10

Einheitspreis je lfm Böschung:

Geotextil mit Sandfüllung: 1 lfm Schlauch 280,00 €/ lfm

Vorschüttung: ca. 38 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 1.520,00 €/ lfm

Gesamtpreis je lfm Böschung: 1.800,00 €/ lfm

#### 7.4.2.2 Böschungsneigung 1 : 3

Einheitspreis je lfm Böschung:

Geotextil mit Sandfüllung: 1 lfm Schlauch 280,00 €/ lfm

Vorschüttung: ca. 6,6 m<sup>3</sup> Korngemisch 0/150 264,00 €/ lfm

Gesamtpreis je lfm Böschung: 544,00 €/ lfm

## 7.5 Kostengegenüberstellung

Die hier genannten Zahlen sind als Vergleichskosten zu verstehen, auf deren Basis eine Empfehlung für ein Bauverfahren gegeben werden soll. Es ist davon auszugehen, dass sich bei einer Optimierung der Abdeckung im Zuge der Detailplanung die Kosten bei allen Bauverfahren annähernd linear verändern, so dass ein Vergleich der Kosten auch im jetzigen Planungsstadium zu guten Ergebnissen führt.

Zur Einschätzung der Gesamtkosten der Baumaßnahmen (s.7.6) werden die Vergleichspreise mit pauschalen Zu- und Abschlägen belegt. Für Baustellenein-

richtung und sonstige Nebenkosten wird ein Zuschlag von 10 %, für mögliche marktbedingte Änderungen des Einheitspreises wird ein Abschlag von 20 % angesetzt. Mögliche Kostensteigerungen durch fehlende Verfügbarkeit von Materialien werden hierbei nicht berücksichtigt. Für die Abschätzung der Gesamtkosten ergibt sich damit ein Abschlag von 10 % auf die Vergleichspreise. Für eine genaue Kostenschätzung im Zuge der weiteren Planung sind diese Werte z. B. durch eine Marktstudie zu überprüfen.

### 7.5.1 Kosten für flächige Abdeckung

Tabelle 7-1: Kosten flächige Abdeckung

Bauverfahren (flächige Abdeckung)	Vergleichskosten [€/m <sup>2</sup> ]	Kostenansatz -10 % [€/m <sup>2</sup> ]	Bewertung
Kornfilter, Deckschicht Wasserbausteine	31,00	28,00	+
Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht Wasserbausteine	57,00	51,50	-
Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht Wasserbausteine	42,00	38,00	o
Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht Wasserbausteine	31,00	28,00	+
Einschichtige Abdeckung mit Korngemisch	15,00	13,50	++

### 7.5.2 Kosten für Böschungssicherung

Tabelle 7-2: Kosten Böschungssicherung

Bauverfahren (Böschungssicherung)	Vergleichskosten [€/lfm]	Kostenansatz -10 % [€/lfm]	Bewertung
Abdeckung			
Kornfilter, Deckschicht Wasserbausteine	742,00	668,00	o
Geotextiler Filter (Sinkstück), 60 cm Deckschicht Wasserbausteine	1665,00	1498,50	--
Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 60 cm Deckschicht Wasserbausteine	1212,00	1091,00	-
Geotextiler Filter (ohne Faschinen), 30 cm Deckschicht Wasserbausteine	832,00	749,00	o
Einschichtige Abdeckung mit Korngemisch	362,00	326,00	++
Einfassung mit Dämmen			
Schüttdämme Korngemisch Böschung 1 : 10	1206,00	1085,00	-
Schüttdämme Korngemisch Böschung 1 : 3	576,00	519,00	+
Geotextile Schläuche mit Sandfüllung Bö- schung 1 : 10	1800,00	1620,00	--
Geotextile Schläuche mit Sandfüllung Bö- schung 1 : 3	544,00	490,00	+

## 7.6 Abschätzung der Kosten der einzelnen Ablagerungsflächen

In den folgenden Abschnitten wird unter Vorgriff auf die Ergebnisse der Bewertung der Bauverfahren für die einzelnen UWA-Flächen (s. Kapitel 9) eine Abschätzung der Gesamtkosten einer Sicherung der Flächen durchgeführt. Diese Abschätzung erfolgt auf Basis der im vorigen Kapitel genannten Zu- und Abschläge bei den Einheitspreisen, einer pauschalen Abschätzung, in welchen Flächen auf Teile der oberflächlichen Abdeckung verzichtet werden kann, und welche Sicherungsmaßnahmen für die jeweiligen Böschungsbereiche erforderlich werden (s. Abbildung 7-1).



Abbildung 7-1: Sicherung der UWA-Flächen Kratzsand, Medemrinne und Neufelder Sand

Eine grobe Abschätzung, in welchen Flächen auf eine Abdeckung verzichtet werden kann, erfolgt für die einzelnen UWA-Flächen auf Basis der untersuchten hydraulischen Belastungsverhältnisse. Aufgrund der unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten an den einzelnen UWA Flächen kann bei Kratzsand mit Zusatzmaßnahmen nur auf geringe Teile der Abdeckung verzichtet werden, bei der Medemrinne ist ein Verzicht auf größere Teile möglich und bei Neufelder Sand müssen ggf. nur Randbereiche mit einer Abdeckung versehen werden.

Die prozentualen Ansätze für die einzelnen Flächen finden sich in den folgenden Absätzen. Für die Ermittlung der Vergleichskosten wird pauschal für alle UWA-Flächen eine Böschungshöhe von 3,0 m angenommen.

Die für die einzelnen UWA-Flächen getroffenen Annahmen sind im Rahmen der weiteren Detailplanung zu überprüfen und an deren Ergebnisse anzupassen.

Die abgeschätzten Kosten für die Sicherung der UWA-Flächen sind in Tabelle 7-3 und Tabelle 7-4 (Alternative Medemrinne) aufgeführt.

### 7.6.1 UWA Kratzsand

Die Sicherung der UWA-Fläche Kratzsand muss sowohl den Anforderungen des strombaulichen Gesamtkonzeptes (Erfordernis der Lagestabilität der UWA-Fläche) als auch den hydraulischen Belastungen infolge Tideströmung, Seegang und Schiffswellen angepasst werden. Eine schematische Darstellung dieser Sicherung zeigt Abbildung 7-2.

#### Böschungs- und Flächensicherung

Auf die UWA-Fläche Kratzsand wirken aufgrund der exponierten Lage und der Geometrie der UWA (Oberkante der UWA knapp unter MT<sub>nw</sub>) große hydraulische Belastungen infolge Tideströmung und Seegang ein (vgl. Abschnitt 2.4).

Durch die unmittelbare Lage an der Fahrrinne wirken sehr hohe Tideströmungen (> 1,6 m/s in der Fahrrinne) auch auf die Böschungen (ca. 0,8 – 1,6 m/s) ein, die maßgeblich böschungsparell belastet werden. Die nordwestlichen und südöstlichen Böschungen der UWA wirken als Prallhänge bei Flut- bzw. Ebbstrom, sodass dort vornehmlich böschungsnormale Strömungsbelastungen auftreten. Welleninduzierte Strömungen überlagern die Tideströmungen, die sich besonders im oberen Böschungsbereich bemerkbar machen.

Die Böschungen der UWA Kratzsand einschließlich der Böschungsschulter werden vor dem Hintergrund dieser auftretenden hydraulischen Belastungen vollständig gesichert werden müssen.

Für die Dimensionierung der Flächensicherung sind niedrige Wasserstände in Verbindung mit hohen Strömungs- und Wellenbelastungen maßgebend. So werden infolge des einlaufenden Seegangs zusätzliche Schubspannungen an der oberen Böschung und insbesondere auf der Oberkante der UWA auf die Sohle übertragen.

Da im Vergleich zur Medemrinne etwa 30% bis 40% größere Windwellen bei Kratzsand auftreten, und diese zumeist aus west- bis nördlichen Richtungen anlaufen, wird auf der UWA-Oberkante im nördlichen Teil von Kratzsand, wo ebenfalls die höheren Tideströmungen mit 1,0 m/s auftreten (vgl. Tabelle 2-3) eine flächige Sicherung empfohlen.

Im südlichen Teil wird hingegen eine Teilabdeckung, der Fläche vorgesehen, da dort etwas geringere Tideströmungen auftreten (max. 0,8 m/s) und einlaufender Seegang sich im nördlichen UWA-Bereich bereits umgeformt und an die Morphologie angepasst hat, was geringere Schubspannungsbelastungen an der Sohle verursacht.

Für die Abdeckung der Oberfläche wird angenommen, dass durch noch zu planende Zusatzmaßnahmen bei etwa 30 % der Fläche auf eine Abdeckung verzichtet werden kann. Für den Rest wird eine Abdeckung mit Korngemisch vorgesehen.

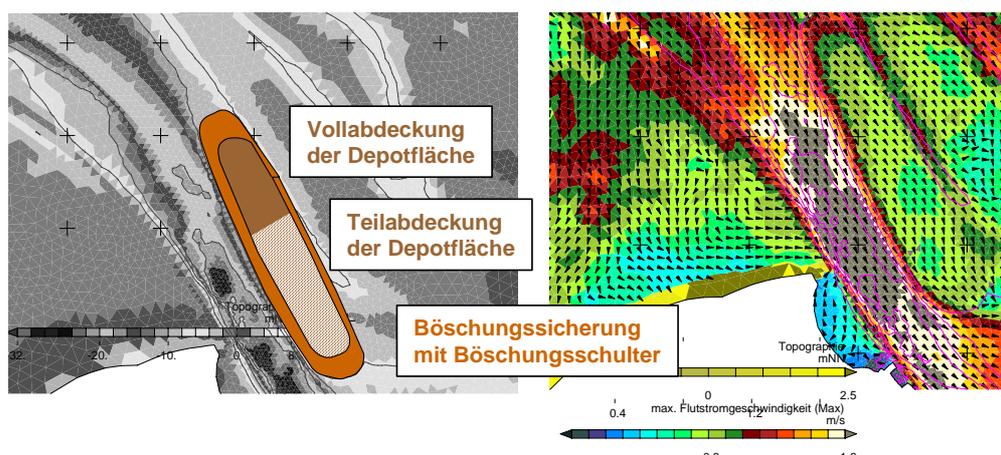


Abbildung 7-2: Sicherung der UWA-Fläche Kratzsand (schematisch)

### Ansätze für Kostenschätzung

Für die Kostenschätzung wird von der Herstellung einer 1 : 3-Böschung mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen im gesamten westlichen Bereich der UWA ausgegangen. In der unteren Lage ist ggf. die Verwendung eines Kornfilters notwendig, um ein Einsinken der Wasserbausteine in den sandigen Untergrund zu verhindern.

Als Einheitspreis je laufenden Meter Böschung wird der in Tabelle 7-2 aufgeführte Einheitspreis für Schüttdämme aus Korngemisch verwendet. Auf eine Anpassung des Einheitspreises für die Verwendung von Wasserbausteinen kann hier verzichtet werden, da die innere Böschung mit Wasserbausteinen ggf. steiler hergestellt werden kann und auch Materialverluste beim Einbau geringer ausfallen werden als bei Verwendung von Korngemischen.

Im nordwestlichen und südöstlichen Bereich wird von einer Böschungssicherung mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen mit einer Böschungsneigung von 1 : 10 und im östlichen Bereich von einer Abdeckung der natürlichen Böschung des abgelagerten Baggergutes mit 30 cm mächtigem Mischkornfilter ausgegangen (s. Abbildung 7-1).

#### 7.6.2 UWA Medemrinne

Die UWA-Medemrinne besitzt im Vergleich zu Kratzsand eine geschütztere Lage, was sich in dem Maß der zu sichernden UWA-Fläche dargestellt. Die maßgebenden Tideströmungen variieren zwischen 0,85 m/s und 1,20 m/s. Die Wellenhöhen fallen 30% bis 40% geringer aus als bei der exponierten UWA-Fläche Kratzsand.

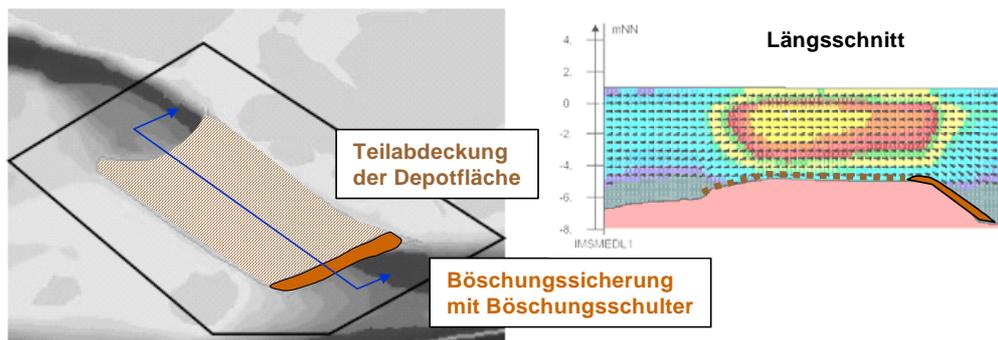


Abbildung 7-3: Sicherung der UWA-Fläche, Medemrinne (schematisch)

### Böschungs- und Flächensicherung

Bei der UWA Medemrinne ist vorgesehen, nur an der südöstlichen Flanke eine gesonderte Böschung zur Fahrrinne herzustellen und in den restlichen Bereichen das Bauwerk an die vorhandene Topographie anzupassen und so auf Böschungen zu verzichten. Aus diesem Grund ist die Länge der zu sichernden Böschung im Verhältnis zur abzudeckenden Fläche gering.

Aufgrund der Tatsache, dass die Oberkante der UWA (bei  $MT_{nw} > 2$  m) tiefer liegt als bei Kratzsand (bei  $MT_{nw} > 1$  m), bei gleichzeitig in geringerer Höhe auftretenden Wellenhöhen (bis 1,0 m) und vergleichbaren Tidedrömungen (bis 1,2 m/s) (vgl. Abschnitt 2.5), was insgesamt zu deutlich geringeren Schubspannungen an der Sohle führt, kann die Sicherung der UWA als Teilabdeckung ausgeführt werden. Gleichzeitig werden unter Berücksichtigung der definierten hydraulischen Randbedingungen geringere Steingrößen für die vorgesehene Abdeckung erforderlich (vgl. Abschnitt 4.4.3).

### Ansätze für Kostenschätzung

Als Böschungssicherung werden zwei Varianten betrachtet. Die erste Variante ist eine komplette Abdeckung der sich einstellenden Böschung des Baggergutes mit einem Korngemisch. Als zweite Möglichkeit wird für die Kostenabschätzung eine kombinierte Lösung mit einem Schüttdamm im unteren Drittel der Böschung und einer Abdeckung des Baggergutes im oberen Bereich betrachtet. Diese Alternative hat den Vorteil, dass man durch die Herstellung eines Schüttdammes die Möglichkeit bekommt, flexibel auf die Lieferung von Baggergut zu reagieren ohne dieses sofort abdecken zu müssen.

Für die Abdeckung der Oberfläche wird angenommen, dass man durch Zusatzmaßnahmen nur etwa 30 % der Fläche tatsächlich abdecken muss. Dafür wird ebenfalls eine Abdeckung mit 30 cm Korngemisch vorgesehen.

### 7.6.3 UWA Neufelder Sand

#### Böschungs- und Flächensicherung

Die UWA-Fläche Neufelder Sand besitzt die geschütztste Lage aller betrachteter UWA-Flächen (vgl. Abschnitt 2.6). Bei ähnlichen Tidenströmungen wie bei der UWA-Medemrinne (bis 1,2 m/s), aber bedingt durch die Randlage an der Elbböschung, die größere Wassertiefe über der UWA (bei  $MT_{nw} > 2,5$  m) sowie die deutlich verringerte Seegangsbelastung (Schiffswellen werden maßgebend) werden Schubspannungen an der Sohle erzeugt, die nicht mehr zwingend von einer flächenhaften Sohlsicherung aufgenommen werden müssen.

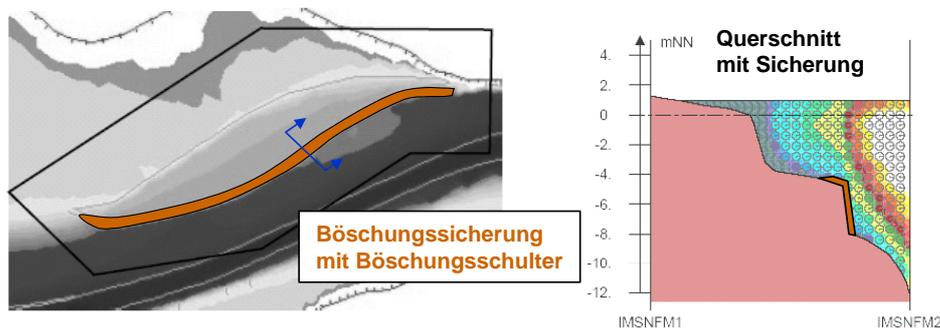


Abbildung 7-4: Sicherung der UWA-Fläche Neufelder Sand (schematisch)

#### Ansätze für Kostenschätzung

Zur Sicherung der Böschung bei der UWA Neufelder Sand wird eine komplette Abdeckung der sich einstellenden Böschung des Baggergutes mit einem Korngemisch betrachtet. Für die Oberflächenabdeckung wird angenommen, dass die Abdeckung der Böschung im Schulterbereich in die Böschung hereingezogen wird. Dies wird mit einer Abdeckung von 10 % der Gesamtfläche mit einem Korngemisch berücksichtigt.

Tabelle 7-3: Abschätzung der Kosten für die Sicherung der UWA-Flächen

<b>UWA Kratzsand</b>				
Fläche	4.688.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	70%	3.281.600 m <sup>2</sup>	13,50 €	44.301.600,00 €
Länge Böschung	10.300 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:3 mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen	50%	5.150 lfm	519,00 €	2.672.850,00 €
Böschung 1:10 mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen	15%	1.545 lfm	1.085,00 €	1.676.325,00 €
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	35%	3.605 lfm	326,00 €	1.175.230,00 €
<b>UWA Medemrinne</b>				
Fläche	6.280.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	30%	1.884.000 m <sup>2</sup>	13,50 €	25.434.000,00 €
Länge Böschung	2.980 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	100%	2.980 lfm	326,00 €	971.480,00 €
<b>UWA Neufelder Sand</b>				
Fläche	4.820.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	10%	482.000 m <sup>2</sup>	13,50 €	6.507.000,00 €
Länge Böschung	4.820 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	100%	4.820 lfm	326,00 €	1.571.320,00 €
<b>Summe</b>				84.309.805,00 €
+Mwst				16% 97.799.373,80 €

Tabelle 7-4: Abschätzung der Kosten für die Sicherung der UWA-Flächen (Alternative)

<b>UWA Kratzsand</b>				
Fläche	4.688.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	70%	3.281.600 m <sup>2</sup>	13,50 €	44.301.600,00 €
Länge Böschung	10.300 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:3 mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen	50%	5.150 lfm	519,00 €	2.672.850,00 €
Böschung 1:10 mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen	15%	1.545 lfm	1.085,00 €	1.676.325,00 €
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	35%	3.605 lfm	326,00 €	1.175.230,00 €
<b>UWA Medemrinne</b>				
Fläche	6.280.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	30%	1.884.000 m <sup>2</sup>	13,50 €	25.434.000,00 €
Länge Böschung	2.980 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:10 mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen	30%	894 lfm	1.085,00 €	969.990,00 €
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	70%	2.086 lfm	326,00 €	680.036,00 €
<b>UWA Neufelder Sand</b>				
Fläche	4.820.000 m <sup>2</sup>	Fläche Abdeckung	EP	Gesamt
davon abzudecken	10%	482.000 m <sup>2</sup>	13,50 €	6.507.000,00 €
Länge Böschung	4.820 lfm	Länge	EP	Gesamt
Böschung 1:10 abgedeckt mit Korngemisch 30 cm	100%	4.820 lfm	326,00 €	1.571.320,00 €
<b>Summe</b>				84.988.351,00 €
+Mwst				16% 98.586.487,16 €

## 8 Bewertung der Bauverfahren

Abschließend erfolgt eine Bewertung der ausgewählten Bauverfahren hinsichtlich der folgenden, vom Auftraggeber vorgegebenen Kriterien. Die Bewertung der Bauverfahren nach diesen genannten Kriterien erfolgt in einer Bewertungsmatrix (Anlage 3).

Die Bewertung erfolgt in Stufen von „++“ bis „-“. Zur Auswertung der Matrix werden den Stufen Zahlenwerte von 1 (schlechteste) bis 5 (beste Bewertung) zugeordnet.

Die Zuweisung der Stufen zu den einzelnen Verfahren wird in den nächsten Abschnitten erläutert.

### Nachhaltigkeit

Alle Bauverfahren wurden hinsichtlich der Nachhaltigkeit so konstruiert, dass sie den einwirkenden Belastungen aus Strömung und Wellen dauerhaft widerstehen können. Bei geotextilen Bauweisen wurden alternativ Maßnahmen zur Sicherung gegen Ankerwurf und Schiffsanprall untersucht, da hier im Gegensatz zu Bauverfahren, bei denen ausschließlich Schüttsteine verwendet werden, die Gefahr einer größeren Beschädigung gegeben ist (vgl. Kapitel 6.2).

Dabei ist zu beachten, dass eine Überdimensionierung gegen Strömungs- und Wellenangriff, die aus anderen Randbedingungen herrührt (z. B. Schichtdicke der Deckschicht bei Einsatz eines geotextilen Filters aufgrund von Sicherheiten gegen Ankerwurf), durchaus positive Effekte auf die Nachhaltigkeit haben kann. Bei maßgenauer Auslegung der Abdeckung auf die zu erwartenden Einwirkungen ist die Gefahr der Beschädigung bei darüber hinausgehenden Extremereignissen größer.

Bauverfahren, die bezüglich ihrer Gesamtschichtstärke überdimensioniert sind, erhalten „++“, diejenigen, die maßgenau konstruiert sind erhalten „+“.

### Wirtschaftlichkeit

Die Bewertung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit erfolgt auf Basis der unter 7.5 gegenübergestellten Kosten. Die Bewertungsstufen werden anhand der Vergleichskosten von „++“ bis „-“ vergeben.

### Unterhaltungskosten

Alle Bauverfahren sind so ausgelegt worden, dass sie ohne größeren Unterhaltungsaufwand funktionsfähig bleiben. Für alle Verfahren gilt, dass regelmäßige Bauwerkskontrollen durchgeführt werden sollten. Die dafür entstehenden Kosten können mit ca. 1 - 3 % der Herstellkosten pro Jahr veranschlagt werden.

Alle Bauverfahren sind so konzipiert, dass die Gefahr von Beschädigungen möglichst gering ausfällt. Sollten jedoch Beschädigungen auftreten, ist die Reparatur bei einlagiger Verwendung von Schüttsteinen am einfachsten. Aufwändiger und teurer ist eine Reparatur von mehrlagigen Aufbauten und geotextilen Bauelementen, wenn diese wiederhergestellt werden sollen. Alternativ ist eine Reparatur mit Korngemisch möglich.

Da keines der Verfahren ohne regelmäßige Kontrolle auskommt, ist die beste Bewertung „+“, die für einlagige Aufbauten vergeben wird. Eine Stufe schlechter werden alle Verfahren bewertet, die aus zwei oder mehr Baustoffen bestehen, da hier der Aufwand für eine gleichwertige Wiederherstellung größer ist.

### **Ökologie / Umweltverträglichkeit**

Die Anforderungen an die verwendeten Baustoffe zum Nachweis der Umweltverträglichkeit bei einer Verwendung im Wasserbau werden in den jeweiligen technischen Vorschriften geregelt, so dass davon auszugehen ist, dass sowohl Geotextilien als auch Wasserbausteine und Mischkornfilter bezüglich ihrer Materialeigenschaften umweltverträglich sind.

In Bezug auf die Wiederbesiedelung der Deckschichten sind Mischkornfilter und Wasserbausteine gleich zu bewerten, da beide Substrate nach der Einbringung schnell wiederbesiedelt werden. Alle Verfahren erhalten hier ein „+“.

Eine detaillierte Betrachtung und Bewertung der Umweltauswirkungen der Unterwasserablagerungsflächen erfolgt im Rahmen der UVU. Für eine vergleichende Bewertung der Bauverfahren ist der derzeitige Wissensstand jedoch ausreichend.

### **Bauzeit**

Hinsichtlich der Bauzeit wird eine Einordnung der Bauverfahren über die Mengen der verwendeten Materialien getroffen und es wird eine qualitative Bewertung von „++“ bis „-“ durchgeführt.

Verfahren, bei denen sofort mit der Einlagerung des Baggergutes begonnen werden kann und die Abdeckung parallel dazu erfolgt, werden besser bewertet als solche, die Vorlauf bei der Herstellung der Einfassung benötigen.

### **Flexibilität**

Bauverfahren, bei denen ausschließlich Schüttsteine verwendet werden, schneiden bei der Unterhaltung und Reparatur günstiger ab als solche, bei denen Geotextilien zum Einsatz kommen.

Einlagige Verfahren werden mit „++“ bewertet, da sie am einfachsten umzubauen sind.

Mehrlagige Verfahren aus unterschiedlichen Korngemischen erhalten ein „+“, da auch sie unproblematisch aufzunehmen sind, es jedoch dabei zu einer Vermischung der Kornfraktionen kommen wird, so dass ein Wiedereinbau der gewonnenen Materialien nur mit Materialverlusten möglich ist.

Verfahren unter Einsatz von Geotextilien werden mit „-“ bewertet, da die verwendeten Textilien bei einem Ausbau mit großer Wahrscheinlichkeit beschädigt werden. Dadurch ist ein Wiedereinbau an anderer Stelle nicht mehr möglich und es müsste ein komplett neues Bauteil hergestellt werden.

### 8.1 Auswertung der Matrix und Wichtung der Kriterien

Die zahlenmäßige Auswertung der Bewertungsmatrix ist Anlage 4 zu entnehmen. In dieser Matrix sind alle Kriterien vorerst gleichrangig behandelt worden.

Da eine Wichtung der Kriterien stark von den Ansprüchen und auch den örtlichen Gegebenheiten abhängt, wurde für alle UWA-Flächen unter Mitwirkung des Auftraggebers eine Bewertung der einzelnen Kriterien durchgeführt und daraus deren Wichtung abgeleitet. Es wurden bei der Gegenüberstellung der einzelnen Kriterien jeweils 2 Punkte vergeben. Die Verteilung der Punkte auf die einzelnen Kriterien geschah unter Berücksichtigung der jeweiligen Randbedingungen der UWA-Flächen. Die Summe der Punkte wird zur Wichtung der Bewertungsmatrix für die einzelnen Flächen verwendet. Das Ergebnis ist in Tabelle 8-1 bis Tabelle 8-3 dargestellt.

Tabelle 8-1: Wichtung der Kriterien UWA Kratzsand

<b>Kratzsand</b>	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltung	Bauzeit	Ökologie	<b>Summe</b>
Nachhaltigkeit		1	2	2	2	1	8
Flexibilität	1		1	2	1	2	7
Wirtschaftlichkeit	0	1		1	1	1	4
Unterhaltung	0	0	1		1	1	3
Bauzeit	0	1	1	1		0	3
Ökologie	1	0	1	1	2		5

Tabelle 8-2: Wichtung der Kriterien UWA Medemrinne

<b>Medemrinne</b>	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltung	Bauzeit	Ökologie	<b>Summe</b>
Nachhaltigkeit		1	2	2	2	1	8
Flexibilität	1		1	2	2	2	8
Wirtschaftlichkeit	0	1		1	1	1	4
Unterhaltung	0	0	1		1	1	3
Bauzeit	0	0	1	1		0	2
Ökologie	1	0	1	1	2		5

Tabelle 8-3: Wichtung der Kriterien UWA Neufelder Sand

<b>Neufelder Sand</b>	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltung	Bauzeit	Ökologie	<b>Summe</b>
Nachhaltigkeit		2	1	1	2	1	7
Flexibilität	0		0	0	0	0	0
Wirtschaftlichkeit	1	2		1	2	1	7
Unterhaltung	1	2	1		2	1	7
Bauzeit	0	2	0	0		0	2
Ökologie	1	2	1	1	2		7

## 9 Empfehlung eines Bauverfahrens

Bei der Auswahl eines geeigneten und wirtschaftlichen Bauverfahrens muss nach Verfahren zur Einfassung und solchen zur Abdeckung des Baggergutes unterschieden werden. Die allgemeine Empfehlung eines Verfahrens für die Sicherung der betrachteten UWA-Flächen erfolgt auf Basis der ungewichteten Auswertung der Bewertungsmatrix (Anlage 4). Abweichende Empfehlung, die sich aus der Wichtung der Bewertungskriterien oder bestimmten Randbedingungen für die einzelnen UWA-Flächen ergeben, werden in dabei mit berücksichtigt.

In Kapitel 7.6 wurden diese Empfehlungen bereits verwendet, um beispielhaft die Sicherung der einzelnen UWA-Flächen und die damit verbundenen Kosten darzustellen.

### 9.1 Bauverfahren flächenhafte Abdeckung

Bei der Bewertung der einzelnen Bauverfahren zeigt sich deutlich, dass die einschichtige Abdeckung des Baggergutes unter den betrachteten Randbedingungen (Lage der Ablagerungsflächen, Strömungsverhältnisse, Geometrie) das am besten geeignete und wirtschaftlichste Verfahren im Umfeld der betrachteten UWA-Flächen darstellt. Dieses Ergebnis ergibt sich ohne Einschränkung auch für die Auswertung der gewichteten Bewertungsmatrix für alle drei betrachteten UWA-Flächen.

Im Vergleich ist es am kostengünstigsten, es ist sehr schnell und einfach einsetzbar, die Unterhaltungs- und Reparaturkosten sind vergleichsweise gering, und es lässt sich sehr flexibel und maßgenau an die vorliegenden Verhältnisse und das gewünschte Sicherheitsniveau anpassen.

### 9.2 Bauverfahren Einfassungsbauwerke

Da aus strömungstechnischer Sicht die Böschungen der Unterwasserablagerungsflächen bis auf die elbeseitige Böschung der Fläche Kratzsand relativ flach gestaltet werden sollen, bietet sich für die Einfassung der Unterwasserablagerungsflächen die Nutzung des abzulagernden Baggergutes an. Ideal wäre es hierbei, möglichst grobes Material zu verwenden, es entlang der äußeren Umrandung der Flächen zu verklappen und die entstehenden Böschungen direkt nachlaufend abzudecken. Dies würde den Materialverbrauch sowie die Bauzeit für die Einfassung minimieren, durch die sich einstellenden flachen Böschungen wäre der Aufwand für eine Profilierung der Flächen sehr gering, und es wäre kein Vorlauf zur Herstellung der Dämme vor dem Beginn der Ablagerung von Baggergut notwendig.

Bei der Abdeckung des Baggergutes zur Herstellung der Einfassung wird sich auch bei zügiger Herstellung der Bauwerke im Strömungsumfeld der Elbmündung ein geringfügiger Austrag des Sedimentes nicht ganz ausschließen lassen. Sollte dies auch bei sorgfältiger, baubetrieblicher Optimierung des Bauablaufes - und damit der Minimierung des Sedimentaustrages - nicht akzeptabel sein und

eine vorlaufende Herstellung von Einfassungsbauwerken in Form von Dämmen gefordert werden, ist hier nach Auswertung der Bewertungsmatrix die Herstellung als Schüttdamm mit einer möglichst steilen, strömungstechnisch jedoch noch verträglichen Böschungsneigung zu empfehlen.

Dies Bauverfahren bietet vor allem hinsichtlich der Flexibilität, der Bauzeit und auch der zu erwartenden Unterhaltungs- und Reparaturkosten Vorteile gegenüber der Verwendung von geotextilen Schläuchen als Einfassung der Ablagerungsflächen.

Bereichsweise ist abhängig von den Strömungsbedingungen auch eine Kombination von Steinschüttdämmen in der unteren Lage mit einer Abdeckung des Baggergutes im darrüberliegenden Bereich denkbar, um einen bauzeitlichen Materialaustrag zu minimieren.

### **9.2.1 UWA Kratzsand**

Durch die Vorgabe, die elbeseitige Böschung der UWA Kratzsand mit einer steilen (1 : 3) Böschung auszubilden, kommt hier nach Auswertung der gewichteten Bewertungsmatrix (Anlage 5) nur die Herstellung mit Schüttdämmen aus Wasserbausteinen in Frage. Aufgrund der Strömungsbelastung und der notwendigen Böschungsneigung scheidet eine Abdeckung der natürlichen Böschung des Baggergutes in diesem Bereich aus.

Im nordöstlichen und südöstlichen Bereich der UWA können flachere Böschungen vorgesehen werden. Aufgrund der wirkenden Strömungsbelastung ist jedoch auch hier der Einsatz eines Korngemisches zur Abdeckung der natürlichen Böschungen nicht zu empfehlen, so dass auch hier Schüttdämme aus Wasserbausteinen vorgesehen werden.

Im östlichen Bereich, der überwiegend böschungsparell angeströmt wird, kann aufgrund der Strömungsverhältnisse und der flachen Böschungsneigung eine Abdeckung des Baggergutes mit Korngemisch erfolgen.

### **9.2.2 UWA Medemrinne und UWA Neufelder Sand**

Bei den UWA-Flächen Medemrinne und Neufelder Sand kann die natürliche Böschung des Baggergutes mit einem Korngemisch abgedeckt werden.

Bei der UWA Medemrinne kommt aufgrund des günstigen Verhältnisses von Ablagerungsfläche (und auch –volumens) zur abzusichernden Böschung auch eine Kombination mit der Herstellung eines Schüttdammes aus Korngemisch im unteren Böschungsbereich in Frage. Dies hätte den Vorteil, dass man die UWA Medemrinne flexibel mit Baggergut beschicken könnte und vorlaufend und unabhängig davon die Sicherung der Böschung ausführen könnte. Diese Möglichkeit wird alternativ auch bei der Abschätzung der Gesamtkosten für die Bauwerke betrachtet.

## 10 Ausblick und weitere Vorgehensweise

Im Abschnitt 4.4 wurde unter Berücksichtigung der Eingangsparameter eine Vordimensionierung der erforderlichen erosionsstabilen Abdeckung durchgeführt. Mit Blick auf die Realisierung und die erforderlichen Steinmengen ist eine detailliertere Bemessung der Ablagerungsflächen empfehlenswert, um sowohl Kosten- als auch Materialeinsparungen vorzunehmen. Im Detail sollten folgende Fragen im Rahmen einer weiteren Bearbeitungsstufe geklärt werden:

### – *Detailplanung der Abdeckung*

Im Rahmen einer Detailplanung sollten unter Berücksichtigung der endgültigen geometrischen Dimensionen der Ablagerungsflächen Bereiche unterschieden werden, in denen eine erosionsstabile Abdeckung zwingend erforderlich ist, und wo ein geringeres Maß an Umlagerungen hingenommen werden kann bzw. wo keine oder nur eine verringerte Sohlsicherung erforderlich ist.

Diese Bereiche sollten aus den Strömungsberechnungen der BAW extrahiert werden, um daraufhin die Dimensionierung des erforderlichen Steinmaterials durchzuführen. Die Schichtstärken des Steinmaterials müssen dann an das dimensionierte Steinmaterial angepasst werden, um das Bauwerk und die erforderlichen Steinmengen zu optimieren.

Für Bereiche ohne oder nur mit eingeschränkter Erosionssicherung sollten ggf. Zusatzmaßnahmen geplant werden, um bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten transportiertes Material im Bereich der Ablagerungsflächen zu halten. Hier sind Konstruktionen denkbar, die sich an landwirtschaftliche Bauweisen (Knick) anlehnen. Es sind dabei z. B. durch Dämme o.ä. großräumige Wirbelstrukturen zu stören und mitgeführtes Material im Bereich der Bauwerke abzulagern.

Ebenso wichtig wie die Optimierung der Sicherung der Ablagerungsflächen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit ist es, Bereiche, die besonderen Belastungen ausgesetzt sind, durch geeignete Maßnahmen zu sichern und so die Nachhaltigkeit der Bauwerke sicherzustellen, ohne die Wirtschaftlichkeit durch eine generelle Überbemessung der Abdeckung zu gefährden. Dies muss eine zentrale Aufgabenstellung der weiteren Planung sein.

### – *Bauverfahrenstechnische Untersuchungen*

Zur Kostenminimierung sollte - ggf. in Zusammenarbeit mit ausführenden Firmen - geprüft werden, ob und wie z. B. der Einbau einer erosionsstabilen Abdeckung in geringeren Schichtstärken realisiert werden kann. Dies wäre sinnvoll um auch hier eine maßgenaue Bemessung einer Abdeckung ausschließlich auf Basis der vorherrschenden Belastungen durchführen und am Bauwerk realisieren zu können.

– *Kostenkalkulation und Einsparpotentiale*

Auf Basis der überarbeiteten Detailinformationen ist die Aktualisierung der Kostenkalkulation sowie eine Ergänzung der Vergleichskosten um konkret bei dem Projekt anfallende Kosten wie z. B. Baustelleneinrichtung etc. erforderlich.

Es ist ggf. im Zuge einer Marktstudie zu untersuchen, mit welchen Einheitspreisen für Baumaterialien und deren Einbau unter den speziellen Randbedingungen des Projektes (Lage, große Massen etc.) tatsächlich zu rechnen sein wird.

In die Kostenkalkulation sind Ergebnisse der Detailplanung hinsichtlich der Optimierung zu sichernder Flächen durch zusätzliche Maßnahmen ebenso zu integrieren wie die Ergebnisse ggf. durchgeführter Bauverfahrenstechnischer Untersuchungen.

– *Umweltverträglichkeit*

Es ist zu prüfen, ob die Herstellung der Unterwasserablagerungsflächen erhebliche Beeinträchtigungen im Sinne der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung verursacht. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand wird davon ausgegangen, dass mögliche Konflikte mit den Belangen von Natur und Landschaft im Rahmen des LBP durch geeignete Kompensationsmaßnahmen gelöst werden können.

In diesem Zusammenhang sollte, ggf. mit Testfeldern, überprüft werden, ob durch die Sicherung der UWA-Flächen mit Wasserbausteinen oder Korngemisch Beeinträchtigungen der Netz-Krabbenfischerei zu erwarten sind.

Hamburg, 14. März 2006

**IMS** Ingenieurgesellschaft mbH

Ruland

Gaulke

## **Anlagen**

- Anlage 1 Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für die Bereiche der UWA-Flächen im Referenzzustand**
- Anlage 2 Zusammenstellung Vergleichskosten**
- Anlage 3 Bewertungsmatrix**
- Anlage 4 Auswertung Bewertungsmatrix ungewichtet**
- Anlage 5 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Kratzsand**
- Anlage 6 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Medemrinne**
- Anlage 7 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Neufelder Sand**

## **Anlage 1**

# **Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für die Bereiche der UWA-Flächen im Referenzzustand**

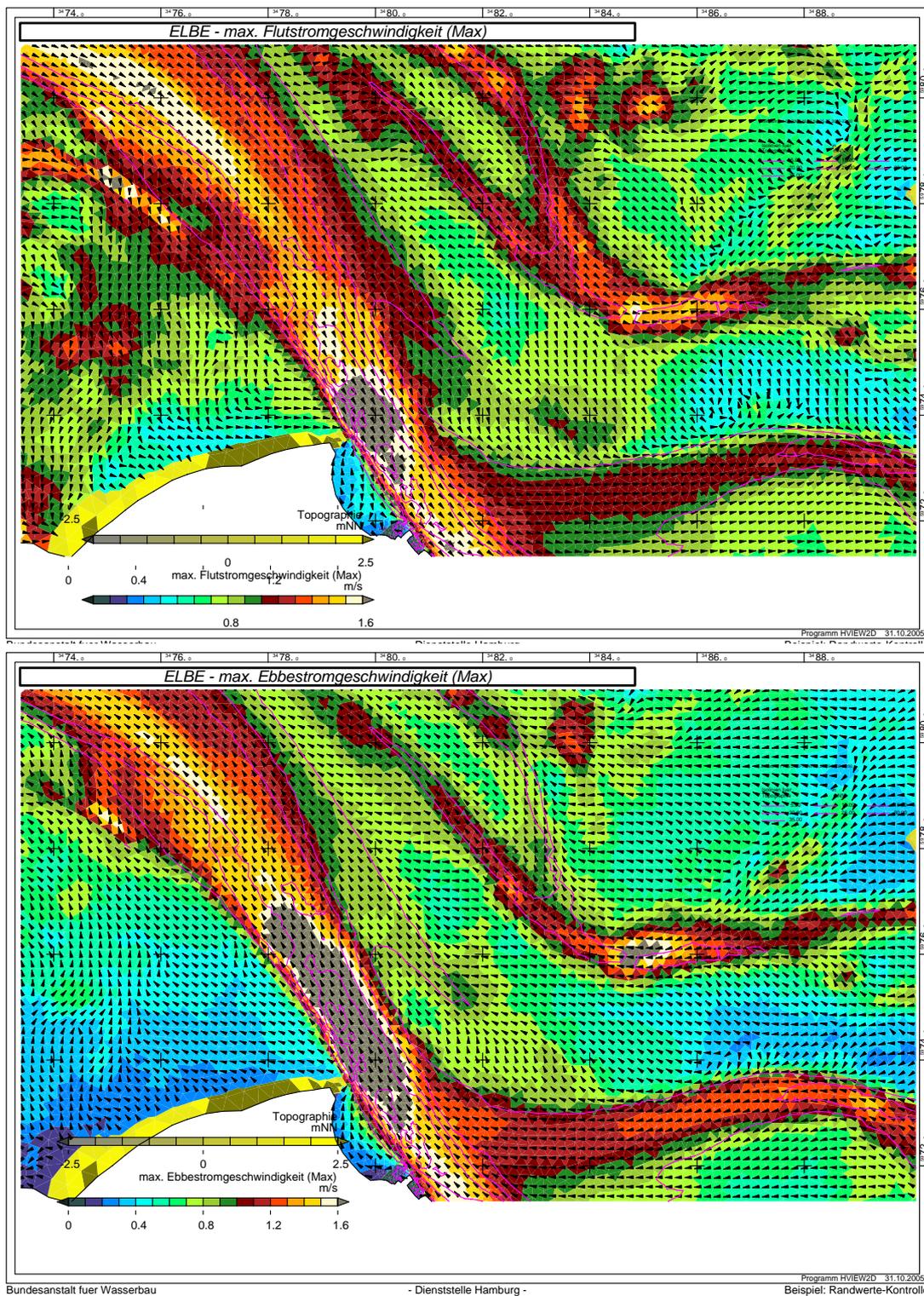


Abbildung 10-1: Maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Kratzsand [1]

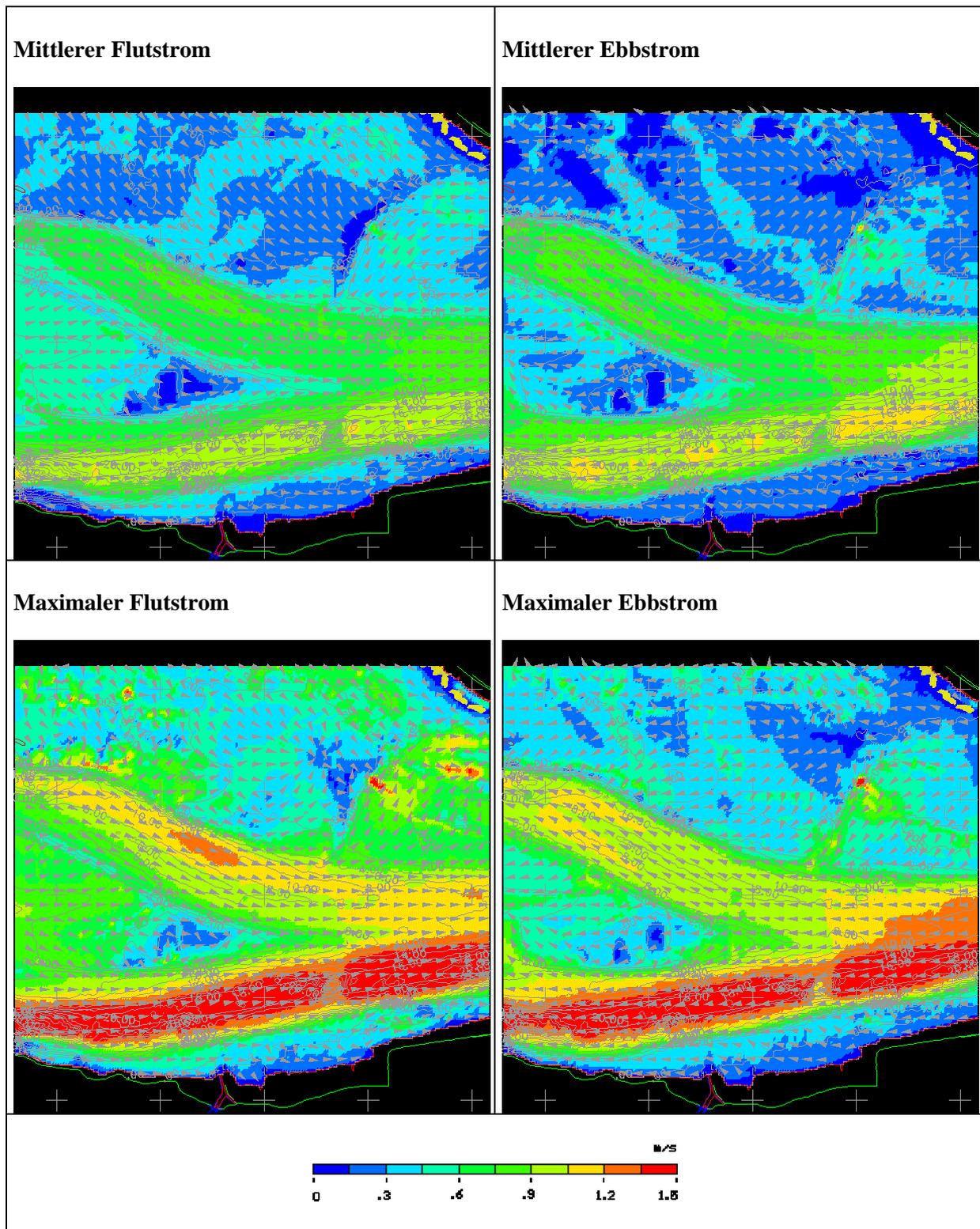


Abbildung 10-2: Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Medemrinne [3]

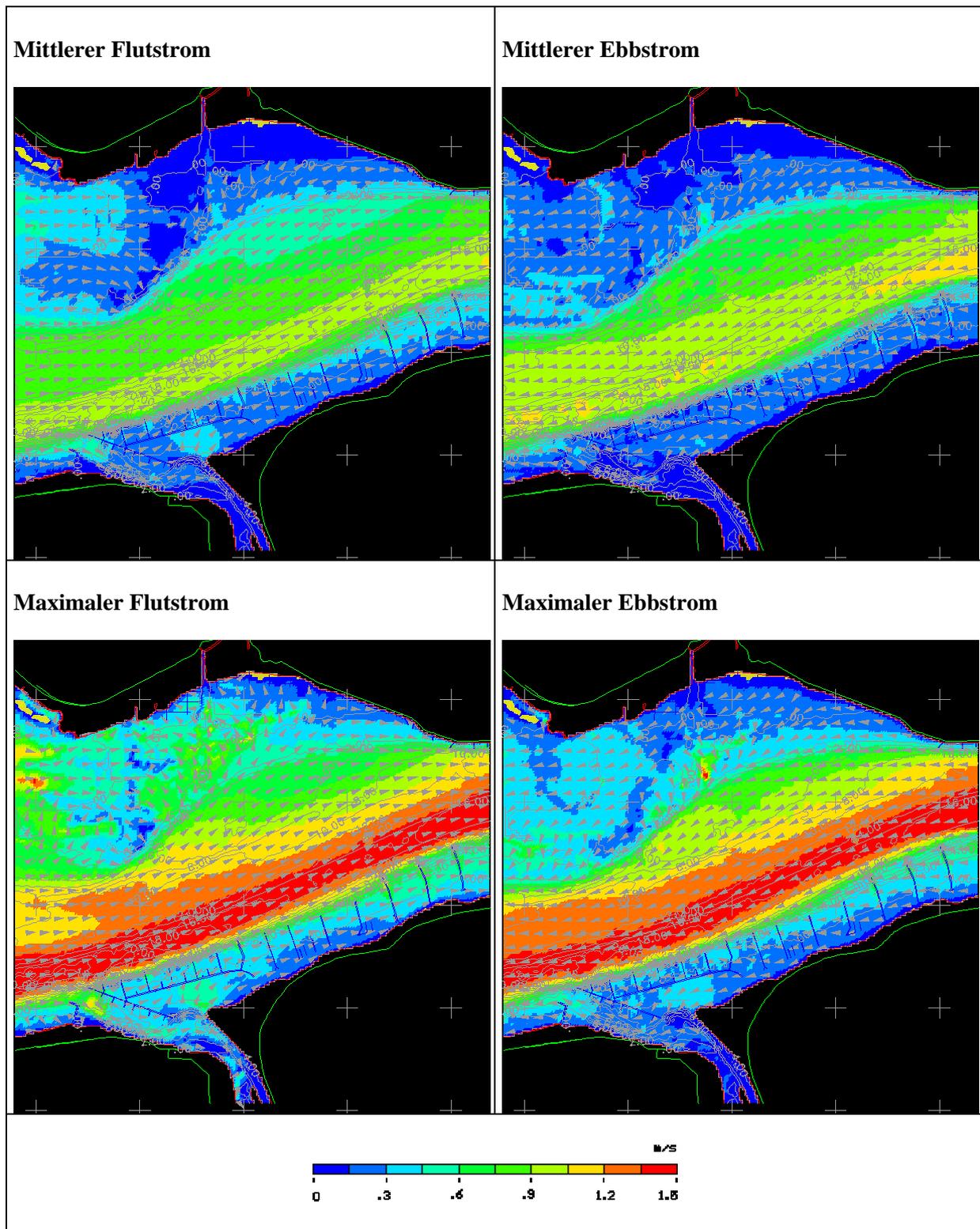


Abbildung 10-3: Mittlere und maximale tiefengemittelte Flut- und Ebbstromzustände für den Bereich Neufelder Sand [3]

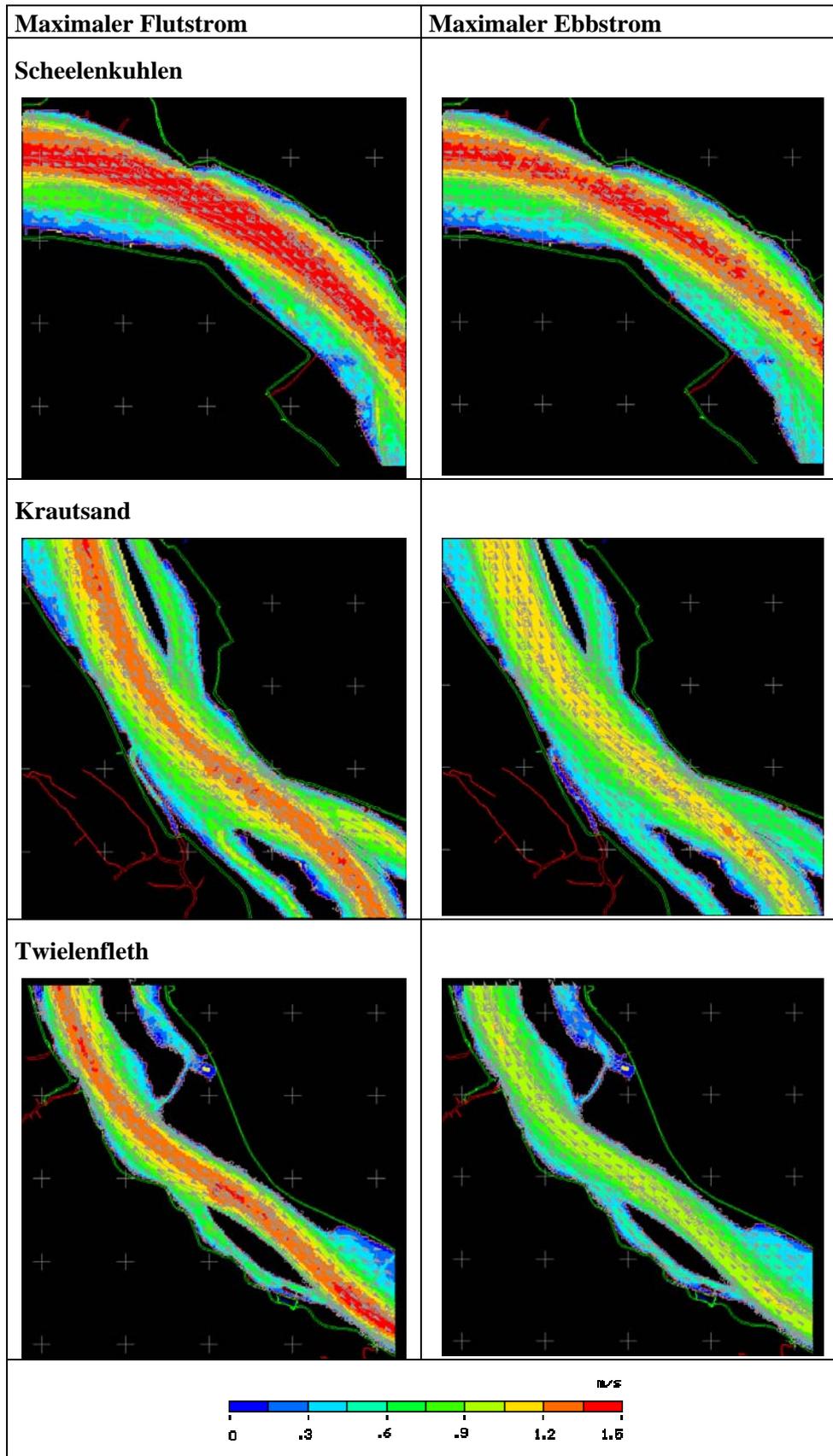


Abbildung 10-4: Maximale Flut- und Ebbstromzustände für die Ablagerungsflächen Scheelenkuhlen, Krautsand und Twielenfleth [3]

## **Anlagen 2 bis 7**

## Anlage 2 Zusammenstellung Vergleichskosten

Abdeckung	Element	Material	Menge je Einheit	EP je Einheit	GP je Einheit	Summe Einheit
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Korngemisch 0,3 m	1,00	15,00 €	15,00 €	31,00 €
	Deckschicht	Wasserbausteine 0,3 m	1,00	16,00 €	16,00 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Geotextil (Sinkstück)	1,00	30,00 €	30,00 €	57,00 €
	Deckschicht	Wasserbausteine 0,6 m	1,00	27,00 €	27,00 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Geotextil (Rolle)	1,00	15,00 €	15,00 €	42,00 €
	Deckschicht	Wasserbausteine 0,6 m	1,00	27,00 €	27,00 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Geotextil (Rolle)	1,00	15,00 €	15,00 €	31,00 €
	Deckschicht	Wasserbausteine 0,3 m	1,00	16,00 €	16,00 €	
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	Abdeckung	Korngemisch 0,3 m	1,00	15,00 €	15,00 €	15,00 €
<b>Böschung (Abdeckung)</b>						
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Korngemisch	9,05	40,00 €	362,00 €	742,10 €
	Deckschicht	Wasserbausteine	9,05	42,00 €	380,10 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	Filter	Geotextil (Sinkstück)	30,15	30,00 €	904,50 €	1.664,28 €
	Deckschicht	Wasserbausteine	18,09	42,00 €	759,78 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen 60 cm	Filter	Geotextil (Rolle)	30,15	15,00 €	452,25 €	1.212,03 €
	Deckschicht	Wasserbausteine	18,09	42,00 €	759,78 €	
Geotextiler Filter, Deckschicht aus Wasserbausteinen 30 cm	Filter	Geotextil (Rolle)	30,15	15,00 €	452,25 €	832,35 €
	Deckschicht	Wasserbausteine	9,05	42,00 €	380,10 €	
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	Abdeckung	Korngemisch	9,05	40,00 €	362,00 €	362,00 €
<b>Einfassung mit Dämmen</b>						
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 10	Material	Korngemisch	30,15	40,00 €	1.206,00 €	1.206,00 €
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 3	Material	Korngemisch	14,40	40,00 €	576,00 €	576,00 €
<b>Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung</b>						
Böschungsneigung 1 : 10	Schläuche	Geotextil, Sand	1,00	280,00 €	280,00 €	1.800,00 €
	Vorschüttung	Korngemisch	38,00	40,00 €	1.520,00 €	
Böschungsneigung 1 : 3	Schläuche	Geotextil, Sand	1,00	280,00 €	280,00 €	544,00 €
	Vorschüttung	Korngemisch	6,60	40,00 €	264,00 €	

## Anlage 3 Bewertungsmatrix

Bauweise	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltungskosten	Bauzeit	Ökologie
<b>Flächenhafte Abdeckung</b>						
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	++	+	+	0	+	+
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	++	-	-	0	-	+
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	++	-	0	0	0	+
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	+	-	+	0	0	+
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	+	++	++	+	++	+
<b>Einfassungsbauwerke</b>						
<i>Böschung (Abdeckung)</i>						
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	++	+	0	0	+	+
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	++	-	--	0	-	+
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	++	-	-	0	0	+
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	+	-	-	0	0	+
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	+	++	++	+	++	+
<i>Einfassung mit Dämmen</i>						
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 10	++	++	-	+	-	+
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 3	++	++	+	+	+	+
<i>Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung</i>						
Böschungsneigung 1 : 10	++	-	--	0	--	+
Böschungsneigung 1 : 3	++	-	+	0	-	+

## Anlage 4 Auswertung Bewertungsmatrix ungewichtet

Bauweise	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltungskosten	Bauzeit	Ökologie	Gesamt
<b>Flächenhafte Abdeckung</b>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	4	3	4	4	24
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	2	4	18
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	3	3	3	4	20
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	20
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	27
<b>Einfassungsbauwerke</b>							
<i>Böschung (Abdeckung)</i>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	3	3	4	4	23
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	1	3	2	4	17
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	3	4	19
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	20
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	27
<i>Einfassung mit Dämmen</i>							
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 10	5	5	2	4	2	4	22
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1 : 3	5	5	4	4	4	4	26
Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung							
Böschungsneigung 1 : 10	5	2	1	3	1	4	16
Böschungsneigung 1 : 3	5	2	4	3	2	4	20

## Anlage 5 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Kratzsand

Bauweise	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltungskosten	Bauzeit	Ökologie	Gesamt
Wichtung der Kriterien	8	7	4	3	3	5	
<b>Flächenhafte Abdeckung</b>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	4	3	4	4	125
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	2	4	97
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	3	3	3	4	104
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	100
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	134
<b>Einfassungsbauwerke</b>							
<i>Böschung (Abdeckung)</i>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	3	3	4	4	121
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	1	3	2	4	93
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	3	4	100
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	100
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	134
<i>Einfassung mit Dämmen</i>							
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:10	5	5	2	4	2	4	121
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:3	5	5	4	4	4	4	135
Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung							
Böschungsneigung 1:10	5	2	1	3	1	4	90
Böschungsneigung 1:3	5	2	4	3	2	4	105

## Anlage 6 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Medemrinne

Bauweise	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltungskosten	Bauzeit	Ökologie	Gesamt
Wichtung der Kriterien	8	8	4	3	2	5	
<b>Flächenhafte Abdeckung</b>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	4	3	4	4	125
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	2	4	97
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	3	3	3	4	103
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	99
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	134
<b>Einfassungsbauwerke</b>							
<i>Böschung (Abdeckung)</i>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	3	3	4	4	121
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	1	3	2	4	93
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	3	4	99
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	99
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	134
<i>Einfassung mit Dämmen</i>							
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:10	5	5	2	4	2	4	124
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:3	5	5	4	4	4	4	136
Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung							
Böschungsneigung 1:10	5	2	1	3	1	4	91
Böschungsneigung 1:3	5	2	4	3	2	4	105

## Anlage 7 Auswertung Bewertungsmatrix gewichtet für UWA Neufelder Sand

Bauweise	Nachhaltigkeit	Flexibilität	Wirtschaftlichkeit	Unterhaltungskosten	Bauzeit	Ökologie	Gesamt
Wichtung der Kriterien	7	0	7	7	2	7	
<b>Flächenhafte Abdeckung</b>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	4	3	4	4	120
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	2	4	102
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	3	3	3	4	111
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	111
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	129
<b>Einfassungsbauwerke</b>							
<i>Böschung (Abdeckung)</i>							
Kornfilter, Deckschicht aus Wasserbausteinen	5	4	3	3	4	4	113
Geotextiler Filter (Sinkstücke), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	1	3	2	4	95
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 60 cm	5	2	2	3	3	4	104
Geotextiler Filter (Rolle), Deckschicht Wasserbausteine 30 cm	4	2	4	3	3	4	111
Einschichtige Abdeckung mit Mischkornfilter	4	5	5	4	5	4	129
<i>Einfassung mit Dämmen</i>							
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:10	5	5	2	4	2	4	109
Schüttdämme aus Korngemisch Böschung 1:3	5	5	4	4	4	4	127
Geocontainer, geotextile Schläuche mit Sandfüllung							
Böschungsneigung 1:10	5	2	1	3	1	4	93
Böschungsneigung 1:3	5	2	4	3	2	4	116



**IMS** INGENIEURGESELLSCHAFT MBH

---

**Zentrale und  
Niederlassung Hamburg**  
Stadtdeich 5  
20097 Hamburg  
Tel.: 040 32818-0  
Fax: 040 32818-139  
E-Mail: info@ims-ing.de

**Niederlassung  
Frankfurt/M**  
An der Gehespitz 50  
63263 Neu-Isenburg  
Tel.: 06102 45-3600  
Fax: 06102 45-3636  
E-Mail: info@ims-ing.de

**Niederlassung  
Schleswig-Holstein**  
Ulmenweg 12  
25492 Heist  
Tel.: 04122 907054  
Fax: 04122 907053  
E-Mail info@ims-ing.de