



Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern

- | | |
|----------|--|
| 1 | Allgemeine Grundlagen des Küstenschutzes in M-V |
| 2 | Küstenraum und Bemessungsgrößen von Küstenschutzanlagen in M-V |
| 3 | Entwurfs- und Ausführungsgrundsätze im Küstenschutz von M-V |
| 4 | Küstenschutzanlagen M-V – Bestand und Plan |

3-9-4 / 2012

Uferlängswerke – Geotextilwälle

INHALT · 3-9-4 / 2012

	Seite
Abkürzungen	2
1 Einführung	3
1.1 Begriffe und Definitionen	3
1.2 Allgemeines	3
2 Funktion und Wirkungsweise	4
2.1 Anforderungen an das Bauwerk	4
2.2 Material	4
3 Anlagenbestand in M-V	6
3.1 Entwurf und Bemessung bereits realisierter Geotextilwälle	6
3.1.1 Geotextilsicherung Graal-Müritz	8
3.1.2 Geotextilsicherung Rerik	9
3.1.3 Geotextildamm Glowe	10
3.1.4 Geotextildamm Warnemünde Ost und West	10
4 Empfehlungen für den Entwurf und die Bemessung von Geotextilwällen	11
4.1 Bemessung der Gesamtkonstruktion	11
4.1.1 Funktionale Bemessung auf Wellenüberlauf	12
4.1.2 Ermittlung der Standsicherheit/ Bauwerksstabilität des Gesamtbauwerkes	12
4.2 Bemessung der hydraulischen Lagestabilität der Deckschichtelemente	13
4.2.1 Parameterorientierter Bemessungsansatz	14
4.2.2 Prozessorientierter Bemessungsansatz	15
4.2.3 Bemessung der Bauwerksmaterialien	20
5 Hinweise zur Vertragsgestaltung beim Bauen mit Geotextilien	24
5.1 Lieferbedingungen	24
5.2 Qualitätssicherung	24
5.3 Ausschreibung	25
5.4 Abrechnung und Gewährleistung	25
6 Unterhaltung von Geotextilwällen	25
7 Fallbeispiele außerhalb von M-V	26
8 Anhang – Bemessungshilfen	28
9 Quellenverzeichnis	29

Abkürzungen

- BHW - Bemessungshochwasserstand (in m NHN)
- EN - Europäische Norm
- DIN - Deutsches Institut für Normung e.V. :
Herausgeber von nationalen Normungsstandards mit empfehlendem Charakter (DIN-Normen); basierend auf aktuellem Stand der Technik
- HELCOM - Helsinki-Kommission:
zwischenstaatliche Kommission der Ostsee-Anrainerstaaten zum Schutz der Meeresumwelt
- ISO - Internationale Organisation für Normung (International Organization for Standardization): internationale Vereinigung von Normungsorganisationen zur Erarbeitung international gültiger Normen
- KKM - Küstenkilometrierung
- M-V - Mecklenburg-Vorpommern
- NHN - Normalhöhennull:
Höhenbezugsniveau des DHHN92
- NN - Normalnull:
bis 1992 amtliches Höhenbezugsniveau in den alten Bundesländern
- StALU / StÄLU - Staatliches Amt/ Staatliche Ämter für Landwirtschaft und Umwelt



**Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und
Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern**

**Paulshöher Weg 1
19061 Schwerin
Tel.: 0385 / 5 88 - 0
Fax: 0385 / 5 88 - 60 24**

Ansprechpartner:
Staatliches Amt für Landwirtschaft und Umwelt Mittleres Mecklenburg
Dezernatsgruppe Küste
Erich-Schlesinger-Straße 35
18059 Rostock

Herr Frank Göricke
Tel.: 0381 / 331 – 67 602
Fax.: 0381 / 331 – 67 799
E-Mail: frank.goericke@stalumm.mv-regierung.de

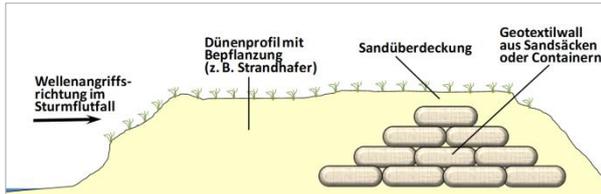
Stand: Dezember 2012

1 Einführung

Bei der Errichtung bzw. Verstärkung von Dünen zum Zwecke des Sturmflutschutzes können beengte Platzverhältnisse dazu führen, dass Küstenschutzdünen nicht ihrem Sollquerschnitt entsprechend ausgebildet werden können. Für den Fall des drohenden vollständigen Abtrags der Düne im Sturmflutfall muss eine Zusatzkonstruktion die Funktion des Sicherheitsteils der Düne als letzte Barriere gegen Durchbruch übernehmen (vgl. „Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern“, Themenheft „3-3/2013 Landesküstenschutzdünen Mecklenburg-Vorpommerns“).

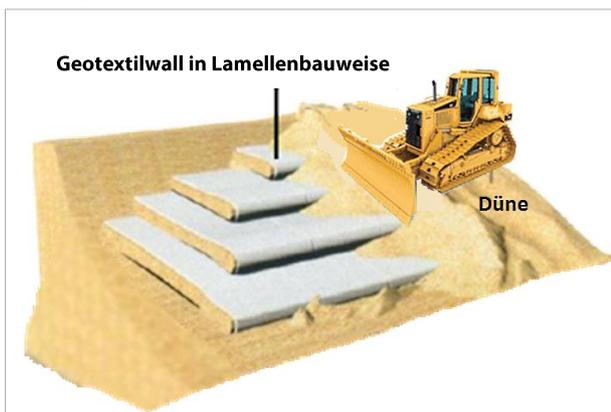
1.1 Begriffe und Definitionen

Geotextilwälle an sandigen Küsten von M-V sind i. d. R. im Düneninneren verborgene, dammartige Sturmflutschutzbauwerke aus wasserdurchlässigen Geotextilien und darin eingeschlossenem Füllstoff (vom Grundsatz her Sand) zur Erhöhung der Erosionssicherheit von Dünenabschnitten, bei denen die Bemessungsdünenbreiten nicht erreicht werden können (Abb. 1.1.1 und 1.1.2).



1.1.1 Geotextilwall aus Säcken oder Containern im landseitigen Teil einer Düne - schematisch (GÖRICKE).

Denkbar sind verschiedenste Konstruktionsarten, wie beispielsweise **Container-, (Sack-) bzw. Lamellenbauwerke** oder aber auch lange Schläuche (engl.: geotextile tubes), wobei bei letztgenannten die Nachteile gegenüber den erstgenannten überwiegen, was eine derartige Verwendung unwahrscheinlich und eine nähere Betrachtung an dieser Stelle unnötig macht.



1.1.2 Geotextilwall in Lamellenbauweise (Umschlagmethode) - schematisch (GÖRICKE).

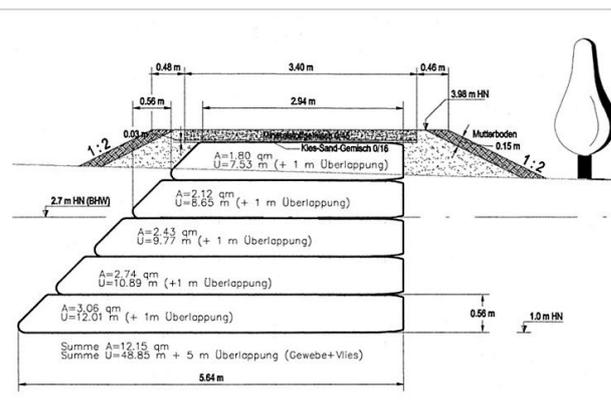
Die Zuordnung verschiedener Verpackungsbegriffe zu festgelegten Dimensionierungen erfolgt international uneinheitlich. Die Staatliche Wasserbauverwaltung der Niederlande beispielsweise definiert in einem Regelwerk (CUR 214 [2004] und CUR 217 [2006]) mit Gültigkeitsbeschränkung auf das dortige Inland folgende Verpackungsgrößen: Vliesstoffsäcke (sogenannte „Geo-bags“) besitzen eine Größenordnung zwischen $0,3$ und 10 m^3 , währenddessen geotextile Container dort zwischen 100 und 600 m^3 Rauminhalt eingeordnet werden.

Unter dem Oberbegriff „**Geotextile Container**“ werden in Deutschland Anwendungen von Geokunststoffen mit überwiegender Verpackungsfunktion für eine Vielzahl von Aufgaben des Wasserbaus und der Wasserwirtschaft zusammenfassend behandelt. Als für Geotextilwälle relevante Verpackungseinheiten sind derzeit folgende Arten gebräuchlich (vgl. EAG-Con):

- Handsäcke (bis etwa 25 kg Füllgewicht)
- Großsäcke (Füllgewicht über 25 kg , Füllvolumen bis etwa 2 m^3)
- Großelemente (Füllvolumen über 2 m^3).

1.2 Allgemeines

Die ersten ingenieurmäßigen Anwendungen von Geotextilien sind im Aufgabenbereich des Küstenschutzes dokumentiert. Bauelemente, wie geotextile Container bzw. Säcke, haben sich für bestimmte Zwecke im Küstenschutz, insbesondere an sandigen Küsten, zumeist bewährt (SAATHOFF & BRÄU, 2009). Geotextilwälle sind eine relativ neue Bauwerksform im Bereich des Küstenwasserbaus in M-V. Im Jahr 2000 wurden die ersten beiden von bislang fünf Bauwerken dieser Art in M-V errichtet. Allesamt sind Sonderlösungen zur lokalen Verstärkung von Dünen. Offenporige Vlies- oder Verbundstoffe wurden dabei in Lamellen- bzw. vornehmlich in Container- bzw. Sackform mit Sand befüllt und zur Verstärkung wallartig in unterdimensionierte Dünenabschnitte, bei denen durch räumlich begrenzte Verhältnisse eine



landseitige Dünenverbreiterung nicht möglich war, eingebaut. Sie bilden beim Versagen aller anderen Komponenten des Sturmflutschutzsystems die letzte Sicherung gegen einen Dünendurchbruch.

Geotextilbauwerke werden gemäß den HELCOM-Empfehlungen zum Schutz vor Beeinträchtigungen der Meeresumwelt künftig weiterhin ausschließlich als Alternativlösung für den Küstenschutz in M-V Verwendung finden, sofern nachweislich keine adäquate Schutzwirkung mit natürlichen Baustoffen erreichbar ist. Beim Schutz sandiger Küsten bilden Geotextilwälle bei Erfüllung der o. g. Voraussetzungen eine vertretbare Alternative zu den sogenannten „harten“ Maßnahmen, wie z. B. Deckwerke. Bei letzteren ist die Verteidigungslinie i. d. R. sichtbar, sie liegt weiter seewärts und ist damit regelmäßigen sowie größeren Belastungen ausgesetzt.

2 Funktion und Wirkungsweise

2.1 Anforderungen an das Bauwerk

Konstruktiv sind Geotextilwälle in Geotextilien eingeschlossener (verpackter) Sand. Im Ergebnis sind den Wirkungen hydrodynamischer Belastungen auf dieses Einbausediment deutlich engere Grenzen gesetzt. Verformungen finden in der Regel innerhalb der Hülle statt. Die Gesamtkonstruktion ist so zu konzipieren, dass sie dem Landschaftsbild nicht abträglich ist. Die Auslegung der Bauwerksart erfolgt auf sehr selten auftretende hydraulische Belastungsfälle (i. d. R. Bemessungshochwasserstand BHW). Ein definierter, beherrschbarer Wellenüberlauf sowie eine sehr begrenzte Umlagerung von Geotextilwallkomponenten bei Einwirkung maritimer Energie können zugelassen werden. Auf diese Weise wird im Hinterland ein höherer Überflutungsschutz gegen das Bemessungshochwasser gewährleistet.

Konzipiert werden Geotextilwälle grundsätzlich mit Überdeckung (i. d. R. Dünensand). Dadurch sind sie weitestgehend frei von länger andauernden erosiven Einflüssen (Sandschliff, UV-Strahlung, Treibsel, Vandalismus, etc.). Durch Sturmflutereignisse freigelegte Abschnitte sind unverzüglich wieder zu überbauen, damit die Funktionalität und das Landschaftsbild erhalten bleiben bzw. wiederhergestellt werden.

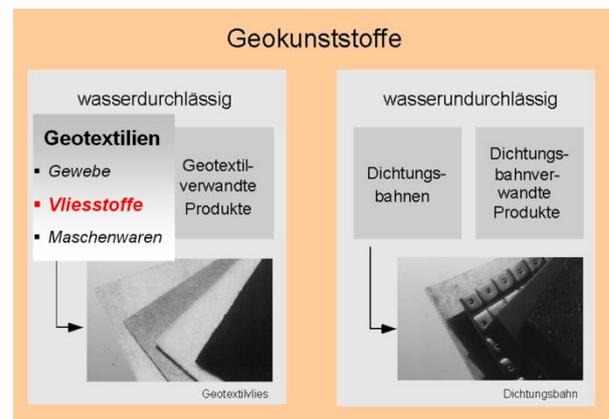
2.2 Material

Geotextilwälle bestehen im Grundsatz aus zwei Materialkomponenten:

- Geotextilien
- Füllmaterial (i. d. R. anstehendes bzw. für die Baumaßnahme angeliefertes, nicht bindiges Sediment).

Geotextilien gehören zur großen Gruppe der Geokunststoffe (Abb. 2.2.1). Der Begriff „Geokunststoff“ stellt einen Sammelbegriff dar, der zahlreiche unterschiedliche Materialien und Materialkombinationen umfasst. Im Hinblick auf die Verwendung beim Einbau in einen Sandkörper ist zu berücksichtigen, dass Oberflächenwasser für die Düne schadlos abzuführen ist. Demzufolge sind nach heutigem Kenntnisstand nur wasserdurchlässige Materialien für den Geotextilwallbau geeignet.

Einen allgemeinen Überblick zur Anwendung im Wasserbau und in der Geotechnik liefern SAATHOFF und ZITSCHER (2001) bzw. SAATHOFF und BRÄU (2009).



2.2.1 Klassifizierung von Geokunststoffen (SAATHOFF & BRÄU, 2009).

Im Küstenwasserbau verwendete Geokunststoffe müssen, je nach Einsatz, Filter-, Schutz-, Bewehrungs- und/oder Trennfunktionen übernehmen (Abb. 2.2.2). Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften erfüllt die Produktgruppe der Geotextilien alle genannten Funktionen mit der größten Übereinstimmung.

Ein **Geotextil** ist ein flächenhaftes, durchlässiges, polymeres (synthetisches oder natürliches) Textil, das bei geotechnischen Anwendungen und im Bauwesen für den Kontakt mit Boden und/oder einem anderen Material verwendet wird [DIN EN ISO 10318]. Geotextilien werden unterteilt in:

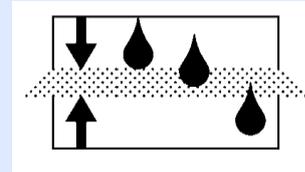
- Gewebe
- Vliesstoffe
- Maschenware und
- Verbundstoffe (Kombination einzelner Geotextilien, wenn Eigenschaften verschiedener Produkte gleichzeitig gefordert werden).

Funktionen von Geotextilien

Folgende Hauptfunktionalitäten müssen Geotextilien im Geotextilwallbau entsprechend der **DIN EN ISO 10318 „Geokunststoffe – Begriffe“** erfüllen:

1. **Filtern**

Zurückhalten von Boden oder anderen Teilchen, die hydrodynamischen Kräften ausgesetzt sind, während Flüssigkeiten (schadlos für die Düne) in oder durch ein Geotextil oder ein geotextilverwandtes Produkt dringen können (drucklose Wasserableitung).



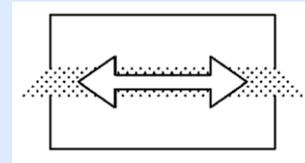
2. **Schützen**

Vorwiegend gegen Erosion. Vermeiden oder Verringern lokaler Schäden eines bestimmten Bauteils oder -materials bzw. die Verhinderung oder Verringerung des Bewegens von Boden durch die Verwendung eines Geotextils oder eines geotextilverwandten Produkts.



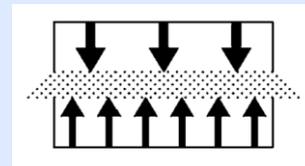
3. **Bewehren**

Nutzung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines Geotextils oder eines geotextilverwandten Produkts zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bodens oder eines anderen Baustoffes. Herstellen eines stabilen Baukörpers mit steiler Böschung.



4. **Trennen**

Vermeiden des Mischens aneinandergrenzender verschiedener Böden und/oder Füllstoffe durch die Verwendung eines Geotextils oder eines geotextilverwandten Produkts.



2.2.2 Funktionen von Geotextilien im Geotextilwallbau (nach DIN EN ISO 10318).

Ein **Gewebe** ist ein Geotextil, das durch Verkreuzen, i. d. R. rechtwinklig, von zwei oder mehr Fadensystemen, Filamenten, Bändchen oder anderen Elementen hergestellt wird. **Maschenware** ist ein Geotextil, das durch Verschlingen von ein oder mehr Garnen, Filamenten oder anderen Elementen hergestellt wird [DIN EN ISO 10318].

„Gewebe und Maschenware werden bevorzugt, wenn hohe Zugfestigkeiten gefordert werden. Demzufolge werden sie überwiegend dort eingesetzt, wo eine bewehrende und/oder trennende Funktion gefordert wird. Sie eignen sich bei statischer Belastung auch als Filter für den Einsatz auf ungleichkörnigen Böden, da sich dort ein stabiler Sekundärfilter im Boden aufbauen kann. Bei dynamisch belasteten Filtern ist diese Bedingung zumeist nicht gegeben.“ (SAATHOFF & BRÄU, 2009)

Vliesstoff ist ein Geotextil aus gerichteten oder regellosen Fasern (3-15 cm lange Spinnfasern [DIN 60000]), Filamenten (Endlosfasern [DIN 60000]) oder anderen Elementen, die mechanisch und/oder ther-

misch und/oder chemisch verfestigt werden [DIN EN ISO 10318]. Diese Verfestigung kann mechanisch beispielsweise durch Vernadelung, adhäsiv durch Verkleben oder kohäsiv durch Verschmelzen erfolgen (DIE KÜSTE 2002; BAW 1993). Vliesstoffe sind flexible Flächengebilde.

„Vliesstoffe werden bevorzugt, wenn hohe Dehnbarkeiten gefordert werden. Demzufolge werden sie überwiegend dort eingesetzt, wo eine trennende, filternde und/oder schützende Funktion gefordert wird. Bei Vliesstoffen sind die Festigkeiten durch die Wirrlagen der Fasern im Vergleich zu Geweben richtungsunabhängig, obwohl Anisotropien bei einigen Herstellungsmethoden auftreten können. Durch die Wirrlage der Fasern tritt bei örtlicher Schädigung des Vliesstoffes ein Versagen eines Streifens wie bei einem Gewebe nicht auf. Insbesondere mechanisch verfestigte Vliesstoffe können sich aufgrund ihrer großen Verformbarkeit einer unebenen Unterlage gut anpassen. Sie sind weich, flexibel, gut verformbar, relativ dick ($d > 1$ mm), besitzen eine große Dehnfähigkeit,

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> - Weitgehender Erhalt der natürlichen Küstendynamik von Schorre, Strand und Düne, solange eine Überdeckung vorhanden ist. - Durch Flexibilität relativ unempfindlich gegenüber Setzungen und Verformungen des Bauwerkes. - Bauwerk ist nicht sichtbar – Erhalt des Landschaftsbildes. - Bauwerk ist geschützt vor Umwelteinflüssen (potentiell hohe Langlebigkeit). - Mögliche Verwendung lokalen Materials zum Befüllen (geringere Kosten, gute Ökobilanz). - Zuverlässig in der Funktion. - Bei ständiger Überdeckung mit Sediment keine Werterhaltungsmaßnahmen direkt am Geotextilwall erforderlich. 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine natürliche Verrottung bei Zerstörung des Bauwerkes. Eine (ggf. aufwändige) Bergung ist erforderlich. - Bei Abrieb wird die Kunstfaser des Vliesstoffes lediglich zerrieben, bleibt als Kunstfaser aber erhalten und zerfällt nicht (Vermüllung der Meere). - Der Einsatz von Geotextilien widerspricht den HELCOM-Empfehlungen zum Schutz vor Beeinträchtigungen der Meeresumwelt. - Deutliche Lee-Erosion im Belastungsfall am Übergang zum unverbauten Abschnitt zu erwarten. - An Rückgangsküsten allmähliche Verkürzung der Aufspülintervalle, d. h. steigende Aufwendungen zum Erhalt des Gesamtsystems.

2.2.3 Vor- und Nachteile von Geotextilwällen als dünensichernde Elemente (GÖRICHKE).

geringe Zugfestigkeiten und ein großes Porenvolumen von ca. 90 %. Thermisch (durch Erhitzung und Druck) oder chemisch (durch Bindemittel) verfestigte Vliesstoffe sind relativ steif, besitzen eine glattere Oberfläche, geringere Dehnfähigkeit, mittlere Zugfestigkeiten, ein Porenvolumen von ca. 60 - 70 % und sind recht dünn.“ (LFW - Merkblatt 5.2/1, 1992)

Bei örtlicher Schädigung eines Vliesstoffes können die Fasern in beschränktem Umfang – in Abhängigkeit von ihrer Dehnung – Kräfte um die Bruchstelle herum ableiten (SAATHOFF & BRÄU 2009). Zudem besitzen Vliesstoffcontainer aus mechanisch verfestigten Vliesstoffen höhere Reibungsbeiwerte von Container zu Container (DVWK 1992). Alle oben genannten Eigenschaften machen mechanisch verfestigte Geovliesstoffe zur ersten Wahl bei der Verwendung im Geotextilwallbau. Der Einsatz von thermisch und chemisch verfestigten Vliesstoffen ist aufgrund ihrer für den Anwendungsfall nachteiligen Eigenschaften praktisch ausgeschlossen.

Eine sehr differenzierte technologische Einteilung der Vliesstoffe ist bei SAATHOFF & BRÄU (2009, S. 741/742) nachzulesen.

Vor- und Nachteile des Bauwerkstyps „Geotextilwälle“ sind in Abb. 2.2.3 zusammengefasst.

3 Anlagenbestand in M-V

Im Bereich von Küstenschutzdünen übernehmen gegenwärtig insgesamt 5 Geotextilwälle auf einer Gesamtlänge von 1,28 km (entspricht 0,5 % der Gesamtlänge des Anlagenbestandes in M-V bzw. 0,34 % der Gesamtaußenküstenlänge) eine dünensichernde Funktion (Abb. 3.1).

3.1 Entwurf und Bemessung bereits realisierter Geotextilwälle

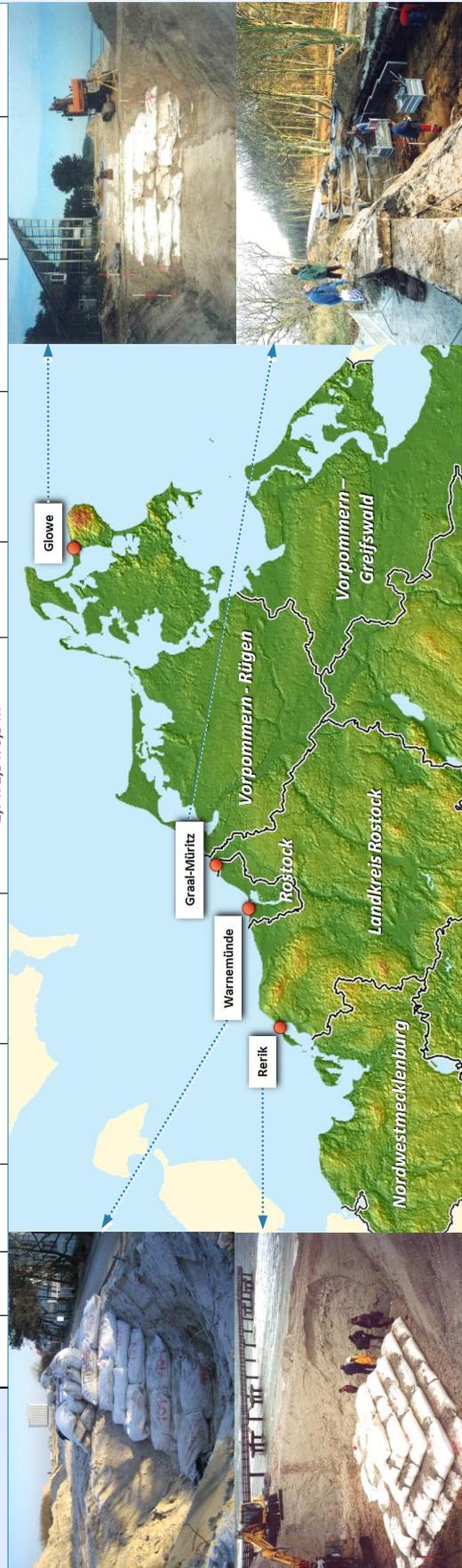
Die Bemessung der bisherigen 5 Geotextilwälle in M-V erfolgte zu einem großen Teil konstruktiv, also durch Annahmen bestimmter Parameter aufgrund von Erfahrungswerten. Zudem haben sich im Versuch (Erprobung im Großen Wellenkanal; Abb. 3.1.1) derartige Bauwerke als geeignete Methode für den Sturmflutschutz erwiesen. Eine Aussage zur korrekten Bemessung der Geotextilwälle in M-V aus der Praxis kann derzeit nicht getroffen werden, da der Ernstfall, also der vollständige Abtrag der Düne im Sturmflutfall bis hin zum Geotextilbauwerk, bisher nicht eingetreten ist.



3.1.1 Versuche mit Geotextilsäcken im Großen Wellenkanal Hannover (OUMERACI ET AL., 2002).

Anlagenbestand der Geotextilwälle in M-V

Geotextilwall	Baujahr	Länge	seesseitige Neigung	Kronenhöhe [m NHN]	Kronenbreite [m]	Material	Anzahl der Container	Überdeckung (m)	Einbaumenge Erdstoff (m ³)	Sandentnahmestelle	Baukosten
Rerik KKM F.111.970 – F.112.060	2000	90 m	1 : 1,25	3,65	2,35 bis 3,11	2-lagiger, mechanisch verfestigter, wasserdurchlässiger Spinnfaservliesstoff 2,45 x 1,20 m	2.000	0,50	1.500	Aufspülsand aus der Düne (Lagerstätte "Trollegrund")	75.800,00 €
	2006	220 m	1 : 1	4,15	4,10	2-lagiger, mechanisch verfestigter, wasserdurchlässiger Spinnfaservliesstoff 2,4 x 0,8 x 0,5 m	9.100	0,30 - 0,50	7.400	akkumuliertes Material aus dem Molenbereich Warnemünde	330.000,00 €
		380 m	1 : 1	3,65 bis 4,15	2,40 bis 4,10	1,7 x 0,8 x 0,5 m 1,2 x 0,8 x 0,5 m					
Graal-Müritz KKM F.160.965 – F.161.400	2000	430 m	1 : 1	3,95	2,94	Verbundstoff aus miteinander vernadelten 2-lagigem, mechanisch verfestigtem, wasserdurchlässigem Wasserbau-Spinnfaservliesstoff und Spießgarngewebe (Körperbindung) 33.700 m ²	Lamellenbauweise 5-lagig	0,18	5.200	mineralischer Boden (Aushub)	198.900,00 €
	2002	160 m	1 : 1,2	3,35 bis 3,45	6,00	einschichtiger mechanisch verfestigter, wasserdurchlässiger Spinnfaservliesstoff 2,7 x 1,1 x 0,5 m 2,7 x 1,3 x 0,3 m	2.085	0,70 - 0,80	3.080	Aufspülsand aus der Düne (Lagerstätte "Tromper Wiek")	111.200,00 €



3.1 Anlagenbestand der Geotextilwälle in M-V (GÖRICKE).

3.1.1 Geotextilsicherung Graal-Müritz

Die Planung des ersten Geotextilwalls in M-V, dem bisher einzigen, der nicht in Containerbauweise ausgeführt wurde, erfolgte 1999. Es war seinerzeit landesweit ein Pilotprojekt. Orientiert hat man sich dabei an der ähnlich gelagerten Schutzmaßnahme „Objektschutz Haus Kliffende“ in Kampen auf der Insel Sylt (KNABE & KNABE, 1990), bei der bis dato recht gute Erfahrungen gesammelt werden konnten. Sturmfluten legten das Referenzobjekt seit 1990 mehrfach frei, ohne dass funktionsbeeinträchtigende Schäden am Geotextilkörper bekannt wurden.

In Verbindung mit der durch Aufspülung nicht ausreichend zu dimensionierenden Düne wurde im landwärtigen Anschluss an den Dünenabschnitt Graal-Müritz (KKM F160.965-F161.400) ein Sicherungsbauwerk aus sedimentgefüllten Geotextillamellen in die Erde gebracht. Auf 430 m Länge setzte man einen trapezförmigen, 2,80 m hohen Körper aus 5 Lagen (Lamellen) auf das Geländeniveau auf (Abb. 3.1.1.2). Das Bauwerk musste für eine ausreichende Standsicherheit soweit in den von Wellen unbeeinflussten Untergrund einbinden, dass genügend Reibungskräfte mobilisiert werden können. Im vorliegenden Fall hat man sich unter Berücksichtigung der Gestalt von Sturmflutabbruchprofilen bei anstehender Korngrößenverteilung für eine Gründungstiefe von +1,15 m NHN entschieden.

Die Grundfläche besitzt eine Breite von 5,64 m, die Deckfläche ca. 3,00 m. Seeseitig ist das Geotextilbauwerk 1:1 geneigt. Landseitig ist das Bauwerk senkrecht in den Boden eingebunden. Die Geotextilbahnen sind größtenteils mit anstehendem Sediment verfüllt, welches in dünnen Lagen gegen eine Schalung verdichtet wurde. Dabei ist sowohl in Bauwerksquerrichtung, als auch in Längsrichtung eine Überlappung (≥ 1 m) und Vernähung der Geotextilbahnen vorgenommen worden.

Die Bemessung erfolgte auf Basis des seinerzeit gültigen BHW von ca. 2,85 m NHN. Die Bauwerkskrone befand sich 1,10 m über BHW zzgl. 0,20 m Promenadenaufbau. Der Wellenüberlauf konnte angesichts der Bauwerkshöhe als gering eingeschätzt werden. Da sich genügend Retentionsflächen landseits des Walles befanden, erübrigte sich die gesonderte Bemessung auf Wellenüberlauf. Zum Nachweis der Stabilität des Bauwerkes und seiner Fähigkeit, potentiell auftretende Kräfte aufzunehmen, wurde die Standsicherheit für drei Lastfälle betrachtet (Abb. 3.1.1.1):

Lastfälle:

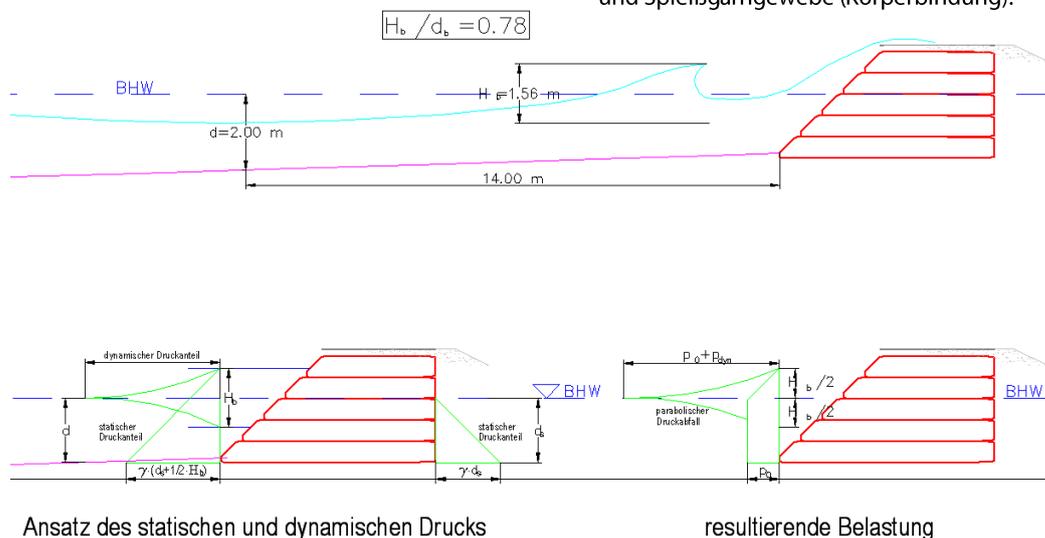
1. interne Standsicherheit des Geotextilkörpers bei freiliegender seeseitiger Böschung mit normalem Wasserstand (Böschungsbruchsicherheit nach BISHOP)
2. interne Standsicherheit des Geotextilkörpers bei freiliegender seeseitiger Böschung mit Bemessungshochwasserstand (Böschungsbruchsicherheit nach BISHOP)
3. dynamische Last durch Wellenaufwurf und den Eintrag von Wellenenergie.

Ergebnisse dieser Berechnungen:

- zu 1.: erforderliche Bemessungsfestigkeit des Geotextils nach DIN 4084: 15 kN/m
- zu 2.: Lastfall für Standsicherheit aufgrund höheren Wassergegendrucks günstiger als Lastfall 1 → Betrachtung entfällt
- zu 3.: Lastfall stellt größten Kräfteeintrag dar → keine standardisierten Berechnungsansätze bekannt → Bemessung nach Erfahrungswerten aus bis dato einzigem deutschen Bauvorhaben ähnlicher Art („Objektschutz Haus Kliffende“ Kampen, Sylt; vgl. KNABE & KNABE, 1990)

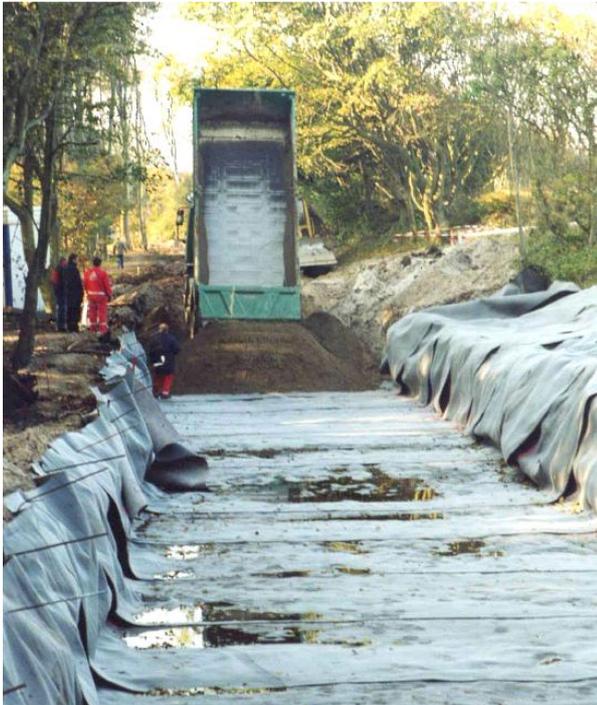
Resultierende Parameter:

Verbundstoff (Vliesstoff + Gewebe) ≥ 1200 g/m², erforderliche Gebrauchslast $F_{d,\geq 1\text{Monat}} \geq 15$ kN/m, durchschlagfest für Schuttsteine (ehemalige) Klasse III → Einbaumaterial: Verbundstoff aus miteinander vernadeltem, zweilagigen, mechanisch verfestigten Wasserbau-Spinnfaservliesstoff und Spleißgarngewebe (Körperbindung).



3.1.1.1 Prinzipskizze und Lastansätze für den Geotextilwall Graal-Müritz (GÖRICKE, 1999).

Die unter verschiedenen Seegangseffekten auftretende Reduzierung der wirksamen Normalspannungen und damit einhergehende Verflüssigung des Bodens war bis dato rechnerisch nicht abbildbar. Aufgrund dieser Problematik konnte die Belastung von Bauwerksteilen nur sehr grob und stark vereinfachend abgeschätzt bzw. musste rein konstruktiv berücksichtigt werden.

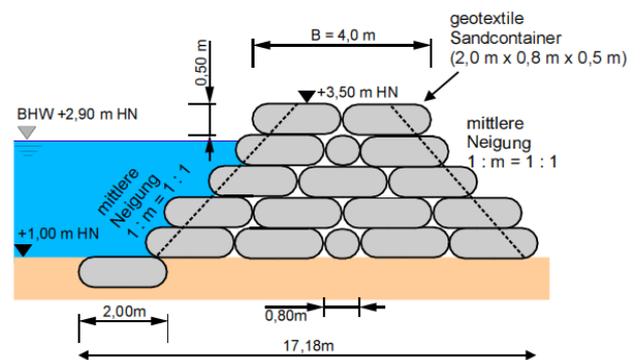


3.1.1.2 Bau des Geotextilwalles Graal-Müritz in Lamellen Bauweise im Jahr 2000 (GÖRICKE).

3.1.2 Geotextilsicherung Rerik

Im Jahr 1997 wurde der ca. 1,5 km lange Flachküstenabschnitt von Rerik durch das Aufspülen von 244.000 m³ Sand verstärkt (inklusive Verbreiterung und Erhöhung der Vollschutzdüne). Ende November 1999 wurden nach einer leichten Sturmflut freigespülte Munitionsreste am Strand entdeckt. Untersuchungen des Munitionsbergungsdienstes ergaben, dass die Düne auf einer Länge von 600 m mit munitionsbelastetem Aufspülsand kontaminiert war. Daraufhin wurden durch Sieben 60.000 m³ Sand auf Munitionsreste untersucht. Beim anschließenden Wiedereinbau des gesiebten Sandes in die Düne erwies sich dieser als nicht mehr ausreichend lagestabil, so dass die Düne auf einem Abschnitt von 90 m durch eine im landseitigen Dünenteil platzierte sandgefüllte Vliesstoffcontainerpackung zusätzlich gesichert werden musste (Material: zweilagiger, mechanisch verfestigter, wasserdurchlässiger Wasserbau-Spinnfaservliesstoff 1,20 x 2,45 m).

Die Vliesstoffcontainer wurden 5-lagig rechteckig zum Uferverlauf eingebaut, wobei die vernähten Öffnungen landwärts gerichtet sind (Abb. 3.1.2.1). In der 1. und 4. Lage verläuft jeweils eine Sandsackreihe parallel zum Uferverlauf. Die letzte Lage erhielt eine Sandabdeckung von mindestens 0,50 m.



3.1.2.1 Geotextilsicherung Rerik im Jahr 2000 (schematisch und im Bild aus OUMERACI ET AL., 2002b).

Eine Bemessung im eigentlichen Sinne erfolgte aufgrund der Dringlichkeit der Maßnahme nicht. Die gewählten Bauwerksparameter basieren auf Erfahrungswerten.

3.1.3 Geotextilsicherung Glowe

Der Bau des Geotextilwalls in Glowe diente dem Erhalt des unter Denkmalschutz stehenden Gebäudes „Ostseeperle“. Die in diesem Bereich unterdimensionierte Düne erhielt im Dünen- und Promenadenbereich einen solchen Baukörper als Sicherungsbauwerk (vgl. Abb. 3.1.3.1). Die Geotextilcontainer wurden lagenweise eingebaut und zur Minimierung von übereinanderliegenden Fugen um 0,55 m zur Bauachse versetzt. Die Lagenhöhe variiert zwischen 0,3 - 0,5 m. Die Verbindung der Container wurde mittels Klettband realisiert. Die 5. Lage wurde verdichtet. Eine 0,3 - 0,4 m starke Ausgleichsschicht aus in Geotextil eingeschlagenem, verdichtetem Boden bildet den oberen Abschluss. Hier wurde auf 51 m Länge ein Geogitter als zusätzliche Sicherung eingebaut.



3.1.3.1 Bau des Geotextilwalls in Glowe in 2002 (STALU MM).

Das Bauwerk ist auf Wellenüberlauf bemessen. Der Bemessungsansatz fand keine weitere Erörterung. Es wurde eine Bauwerkshöhe von 3,65 m NHN zzgl. 0,50 m Promenadenhöhe gewählt und eine verschwindend geringe Wellenüberlaufrate zugelassen. Auf Grundlage laufender Modelluntersuchungen im Großen Wellenkanal in Hannover wurde von der TU Braunschweig empfohlen, eine Containergröße von 1,5 m³ (Großsäcke) mit den Abmessungen von 2,70/1,10/0,50 m bei 80 % Füllung sowie eine seeseitige Böschungsneigung von 1 : 1,2 oder steiler auszuführen. Die zu liefernden Container sollten ungefüllt mindestens 3,09 x 1,57 m groß sein und aus Filtervliesstoff (z. B. Polypropylen) bestehen.

3.1.4 Geotextilsicherungen Warnemünde Ost und West

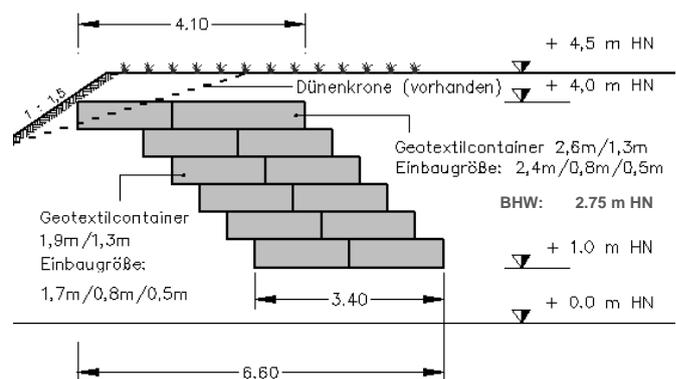
Die Verstärkung einer unterdimensionierten Düne im Westen Warnemündes sollte sich auf insgesamt etwa 1.000 m Länge erstrecken. Die landseitige Erweiterung der Düne bis zur Bemessungsdünenbreite war in 2 Bereichen (Hanse-Hotel sowie Übergang Flachküste zur Steilküste) aufgrund der vorhandenen Bebauungsgrenzen nicht erreichbar. Eine seeseitige Dünenverbreiterung würde Folgemaßnahmen (Bühnenverlängerung, kürzere Spülintervalle usw.) nach sich ziehen und schied somit ebenfalls aus Kostengründen aus. Aufgrund gestiegener Stahlpreise wurde nach einer kostengünstigeren Variante anstelle der ursprünglich erwogenen Spundwandlösung gesucht. Die beiden Abschnitte erhielten daraufhin Geotextilwälle zur Verstärkung des landseitigen Dünenteils (Geotextildamm Ost = 380 m, Geotextildamm West = 220 m).

Die Bauwerke wurden auf Wellenüberlauf für senkrechte Sturmflutschutzwände (nach FRANCO & OUMERACI, 1995) für verschiedene seeseitig sturmflutbedingte geodätische Resthöhen bemessen. Schlussendlich wurde eine Bauwerkshöhe von 3,65 - 4,15 m NHN gewählt und damit eine geringfügige Wellenüberlaufrate zugelassen (Abb. 3.1.4.1). Die Anordnung und Bemessung der geotextilen Vliesstoffcontainer erfolgte, ohne es detailliert auszuführen, auf Grundlage des Berichtes Nr. 878 „Großmaßstäbliche Untersuchungen zur hydraulischen Stabilität geotextiler Sandcontainer unter Wellenbelastung“ (OUMERACI ET. AL., 2002).

Bemessungsergebnis:

Sackgröße Decklage (Krone, seeseitig):
2,65 x 1,30 m (Einbaugröße: 2,40 x 0,80 x 0,50 m;
Bodeninhalt $V \approx 1,0 \text{ m}^3$ bei 80 % Füllungsgrad)

Sackgröße Decklage (Krone landseitig) und Innenlage:
1,90 x 1,30 m (Einbaugröße: 1,70 x 0,80 x 0,50 m;
Bodeninhalt $V \approx 0,7 \text{ m}^3$ bei 80 % Füllungsgrad)



3.1.4.1 Querschnitt Geotextilwall Warnemünde Ost (BOHN, 2005).



3.1.4.2 Bau des Geotextilwalles in Warnemünde Ost im Jahr 2005/06 (JÄGER).

4 Empfehlungen für den Entwurf und die Bemessung von Geotextilwällen

Die Bemessung eines Geotextilwalles ist auf mehreren Ebenen durchzuführen. Vom Ansatz her lässt sie sich in drei Hauptbemessungsschritte unterteilen, die im Allgemeinen jedoch eng zusammenhängen:

- a) Bemessung der Gesamtkonstruktion
(Lage des Bauwerks im Profil, Kubatur, Abmessungen des Gesamtbauwerks, Bauwerks- und Kronenhöhe sowie -breite, ...)
- b) Bemessung der konstruktiven Elemente
(Abmessungen, Anordnung der Einzelelemente, ...)
- c) Bemessung der verwendeten Materialien
(Geotextileigenschaften, Bodenparameter).

Es sollte wie folgt vorgegangen werden:

1. die maßgebenden Anforderungen der Geotextilwallkonstruktion ermitteln,
2. diese nach ihrer Wichtigkeit ordnen,
3. Verfahren für die Ermittlung der jeweiligen Bemessungsgröße festlegen,
4. Ermittlung, auf welche Prüfungen aufgrund von erwarteten Mindergrößen gegenüber Ansätzen aus anderen Belastungen verzichtet werden kann.

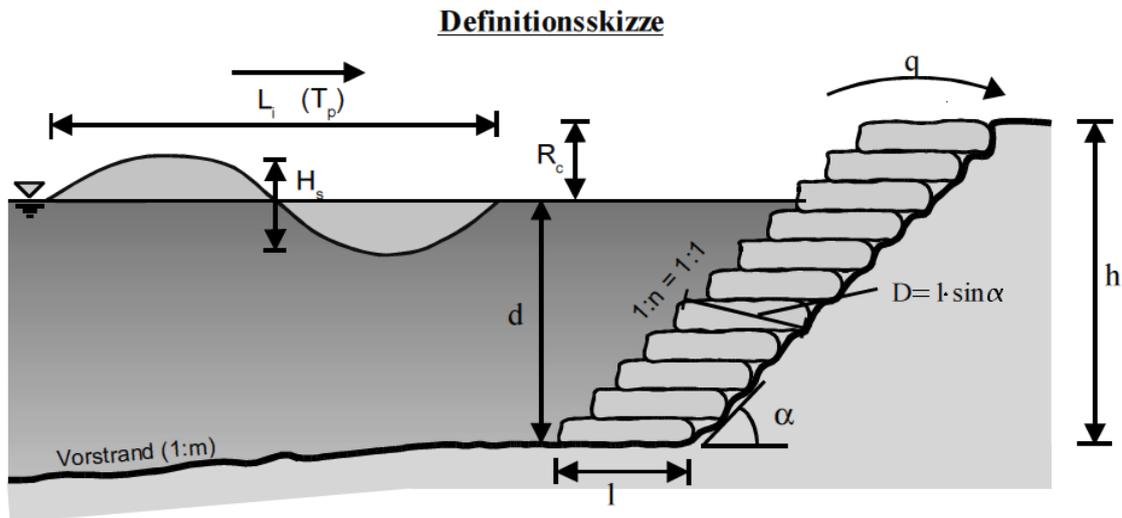
Nach derzeitigem Kenntnisstand lassen sich für übliche Varianten (Lamellen-/Geotextilcontainerkonstruktion) u. a. folgende maßgebende Anforderungen ableiten, die ggf. in der folgenden Reihenfolge bemessen werden könnten:

- Erfüllung der zugeordneten Bemessungsbedingungen (Überflutung/Durchbruch einer vorgegebenen Küstenlinie verhindern, Freilegung nur während seltener Ereignisse),

- kurz- und langfristige Standsicherheit gewährleisten bei
 - statischer Last
(BHW, Grundwasser, Eigenlast, Auflast, ...),
 - dynamischer Last
(Wellenauflauf, Wellenüberlauf, ...),
 (→ *Bewehren*)
- einen definierten Teil des Bodens (Kornspektrum) erosionssicher umhüllen,
(→ *Verpacken, Erosionsschutz*)
- Unterbindung des Mischens von Bodenschichten unterschiedlicher Eigenschaften (Durchlässigkeit, Verdichtbarkeit, Frostbeständigkeit, ...),
(→ *Trennen*)
- ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber Stoßbelastung durch Treibsel,
- ausreichende Widerstandsfähigkeit gegenüber Abrieb,
- den sonstigen hydraulischen Beanspruchungen genügen sowie Niederschlagswasser schadlos durch das Bauwerk führen,
(→ *Filtern*)
- Berücksichtigung chemischer und biologischer Faktoren, ggf. UV-Einstrahlung.

4.1 Bemessung der Gesamtkonstruktion

Es wird empfohlen, im ersten Schritt die erforderliche Bauwerkskubatur sowie die optimale örtliche Lage des Bauwerkes (Lage und [Sohl-]Höhe) aus den Bemessungsparametern (BHW, Höhe der einlaufenden Welle (H_s), Dünenabbruchprofil, örtliche Verhältnisse, ...) abzuleiten. Diese Entwurfskubatur wird im Folgeschritt für die ermittelten Anforderungen/ auf die ermittelten Beanspruchungen hin überprüft.



Funktionale Bemessung auf Wellenüberlauf

$$Q^* = \frac{q}{\sqrt{g \cdot H_s^3}} = 0,06 \cdot \exp\left(-2,3 \cdot \frac{R_c}{H_s}\right) \rightarrow q = 0,188 \cdot H_s^{3/2} \cdot \exp\left(-2,3 \cdot \frac{R_c}{H_s}\right)$$

mit	q	= mittlere Wellenüberlauftrate [m ³ /(s·lfd.m)]
	H_s	= Höhe der einlaufenden Welle [m]
	R_c	= Freibord [m]
	g	= Erdbeschleunigung [m/s ²]

Anm.: Die Bemessungsgleichung stellt eine Modifizierung der Grundform der Wellenüberlaufformel nach SMID (2001) auf Basis von Versuchsdaten dar. Es konnte den Vliesstoffcontainern ein Rauigkeitsbeiwert von $\gamma_r = 0,90$ zugeordnet werden.

4.1.1.1 Definitionsskizze und Bemessungsansatz für Wellenüberlauf über Wälle aus geotextilen Vliesstoffcontainern nach OUMERACI ET AL., 2002b/2002c.

4.1.1 Funktionale Bemessung auf Wellenüberlauf

Die funktionale Bemessung auf Wellenüberlauf erfolgt nach OUMERACI ET AL. (2002b). Die Abbildung 4.1.1.1 erläutert den Bemessungsansatz sowie die verwendeten Parameter.

Wenn die so ermittelte verbleibende Wellenüberlauftrate im Toleranzbereich liegt, wird empfohlen, mit folgenden Schritten fortzufahren:

4.1.2 Ermittlung der Standsicherheit/ Bauwerksstabilität des Gesamtbauwerkes

- Sicherheit gegen Böschungsbruch
- Sicherheit gegen Grundbruch
- Sicherheit gegen unzulässige Setzungen
- Sicherheit gegen Gleiten

Wie bei allen damm- oder wallartigen Bauwerken ist die globale Bauwerksstabilität in Interaktion mit dem Untergrund zu untersuchen. Dabei sind die dafür gebräuchlichen allgemeinen Berechnungsalgorithmen zu verwenden.

Anm.: Versuche im Großen Wellenkanal von OUMERACI ET AL. (12/2002) zeigen, dass destabilisierende Profilveränderungen (Kolke) allerhöchstens in den ersten ein bis zwei Metern vor dem Bauwerksfuß eintreten. Die durchschnittliche Reflexion an solchen Dünenbarrieren beträgt den Untersuchungen zufolge etwa 60%.

Die Standsicherheitsberechnungen sind in starkem Maße von der Konstruktionsart und dem gewählten Verfahren abhängig. Die Standsicherheit einer Geotextillamellen- oder Geotextilcontainerkonstruktion kann nach Standardverfahren (z. B. Lamellenverfahren nach KREY oder BISHOP) ermittelt werden.

Für die dynamischen Lastenwirkungen ist bei den Geotextillamellen eine Abschätzung vorzunehmen. Detailliertere Kenntnisse liegen diesbezüglich für geotextile Container- bzw. Sackkonstruktionen vor. Diese stellen in M-V innerhalb der Geotextilwallsparte wegen ihrer besonderen Eigenschaften (u. a. Kosten, Einbautechnologie, Flexibilität, Folgeaufwendungen bei lokalen Schäden, vorhandene Bemessungsansätze bei dynamischen Lasten, ...) derzeit die Vorzugs- und damit die Regelvariante dar.

Diese Bauwerksart besteht aus Einzelementen, die im Verbund die zugewiesene Funktion erfüllen. Geotextile Vliesstoffcontainer verhalten sich in Abhän-

gigkeit vom Füllungsgrad flexibel und passen sich so bis zu einem gewissen Grad ihren Nachbarelementen an. Das ist im Fall unterschiedlicher Setzungen von Vorteil. Ein Herauslösen von Einzelementen kann bei dieser Bauart je nach Konstruktion zum Teil kompensiert werden. Bei einem teilzerstörten Bauwerk ist jedoch mit einem progressiven Schadensverlauf zu rechnen. Das Bauwerk muss so bemessen werden, dass das Risiko des Herauslösen von Einzelementen minimiert ist. Daher gehört zur Standsicherheitsbemessung die Ermittlung der Stabilitätsbedingungen der Einzelemente.

4.2 Bemessung der hydraulischen Lagestabilität der Deckschichtelemente

Neben den geotechnischen und geotextilbezogenen Versagensfällen gibt es bei der Betrachtung geotextiler Vliesstoffcontainer die hydraulisch basierten Versagensfälle. Diese werden entsprechend RECIO und OUMERACI (2009) unterschieden in a) Gleiten, b) Kippen und c) interne Sandbewegung und Deformation (Abb. 4.2.1).

Die Wissenschaft zeigt zwei grundsätzlich verschiedene Wege auf, die hydraulische Stabilität im Verbund liegender, geotextiler Vliesstoffcontainer unter Wellenbelastung zu bemessen:

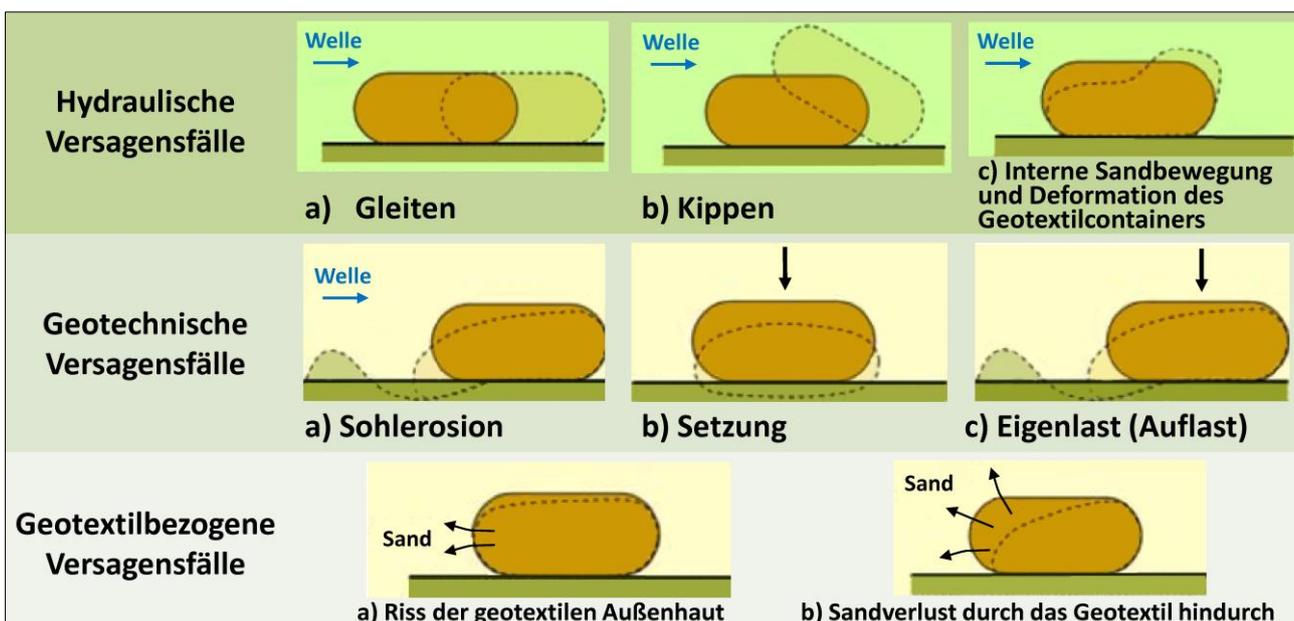
- a) der parameterorientierte Bemessungsansatz
- b) der prozessorientierte Bemessungsansatz.

Anm.: Im Rahmen der prozessorientierten Betrachtung konnten die Bauwerksbereiche der Krone sowie der Außenböschung unmittelbar unterhalb des Ruhewasserspiegels als die kritischsten identifiziert werden. Die

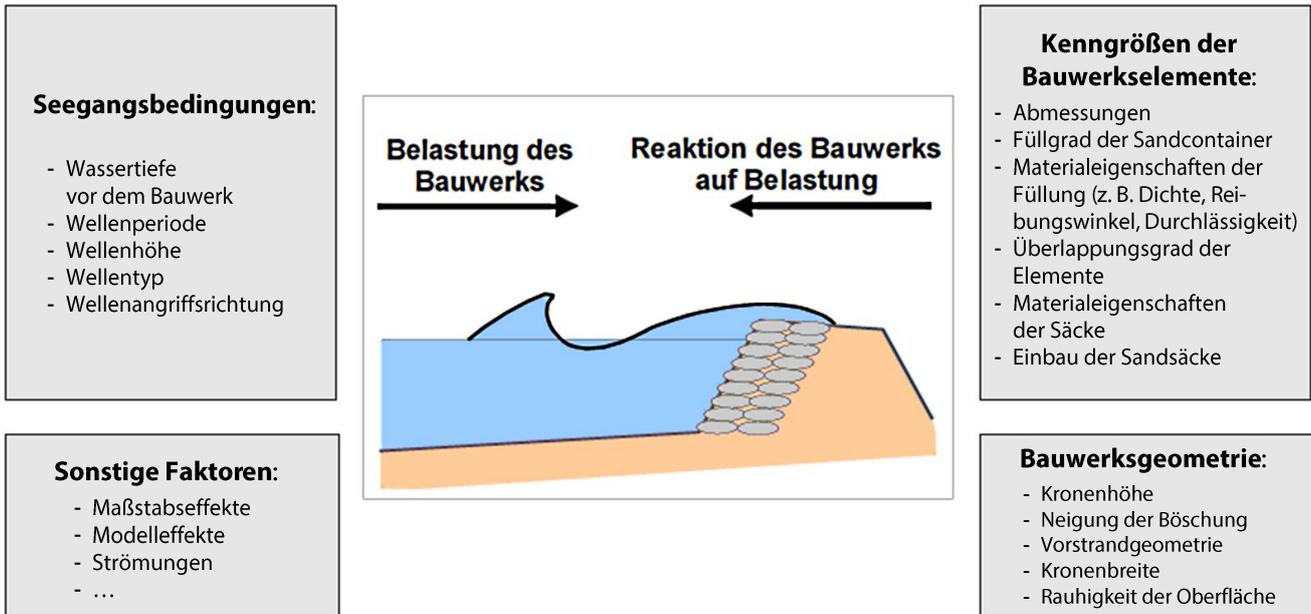
Belastung der Kronenelemente erfolgt dabei direkt durch den Schwall der auftreffenden Welle, während für die Belastung der Böschungselemente ein Porenwasserüberdruck im Bauwerksinneren verantwortlich ist, der sich nur zeitverzögert zum äußeren Gegendruck der Wellen abbaut. Bei der Bemessung ist daher eine Unterteilung in Kronen- und Böschungselemente vorzunehmen (OUMERACI ET AL., 12/2002).

Ab dem Jahr 2002 ist ein deutlicher Wissenszuwachs hinsichtlich der Bemessung der hydraulischen Stabilität geotextiler Vliesstoffcontainer zu verzeichnen. Entscheidende Fortschritte stellen die Arbeiten von OUMERACI zusammen mit verschiedenen Autoren (ab 2002) und RECIO, der diverse internationale Preise dafür erhielt (ab 2007), dar.

Es ist bekannt, dass eine große Anzahl von Parametern Einfluss auf das Stabilitätsverhalten der Container hat. Die Hauptbelastungsgrößen stellen die Parameter der einlaufenden Welle dar. Beispielhaft sind hier weiterhin der Füllungsgrad, die Eigenschaften des Füllmaterials und des verwendeten Geotextils, der Überlappungsgrad sowie die Bauwerksgeometrie zu nennen (Abb. 4.2.2). Diese stehen in enger Wechselbeziehung zur hydraulischen Belastung durch die Wellen (z. B. Geometrie des Bauwerks und deren Einfluss auf das Brechverhalten). Aufgrund der Vielzahl der die hydraulische Stabilität von Geotextilwällen beeinflussenden Parameter ist deren vollständige Berücksichtigung in einem parameterorientierten Bemessungsansatz, wie er in der Ingenieurpraxis gefordert wird, jedoch kaum möglich. Für klar abgegrenzte Geltungsbereiche konnten jedoch brauchbare Algorithmen formuliert werden, die aber für die Eingangsgrößen aus dem Küstenbereich M-Vs relativ große Containerabmessungen liefern.



4.2.1 Mögliche Versagensfälle geotextiler Vliesstoffcontainer nach RECIO und OUMERACI, 2009.



4.2.2 Einflussgrößen auf die Stabilität von Dünenbarrieren nach OUMERACI, BLECK, HINZ & KÜBLER, 2002.

Zwei Hauptversagensfälle sind für die kritischen Bauwerksbereiche von den o.g. Autoren bestimmt und wissenschaftlich untersucht worden:

- horizontales Gleiten/ Verschieben und Herauslösen eines geotextilen Vliesstoffcontainers
- Anheben, Kippen/ Drehen/ Überschlagen und Herauslösen eines geotextilen Vliesstoffcontainers.

Die Dimensionierung der Vliesstoffcontainer, insbesondere ihrer Länge und daraus ableitbar ihrer wirksamen Länge (Einbindelänge), ist dabei das entscheidende Kriterium für die Standsicherheit. Daraus leiten sich die nachfolgend erläuterten Bemessungsansätze ab.

4.2.1 Parameterorientierter Bemessungsansatz

Die dem Stand der Wissenschaft entsprechende parameterorientierte Beschreibung des Stabilitätsverhaltens von geotextilen Vliesstoffcontainern basiert

auf der von eigens dafür weiter entwickelten sogenannten HUDSON-Formel (1959), welche eine Bemessung undurchlässiger, frei umströmbarer Deckschichtelemente ermöglicht. Zur Darstellung des Stabilitätsverhaltens hat sich die dimensionslose Stabilitätskennzahl N_s nach WOUTERS (1998) etabliert. Wouters definiert den kennzeichnenden Durchmesser der Deckschichtelemente aufgrund der kritischen Belastungssituation als die Deckschichtdicke normal zur Böschung.

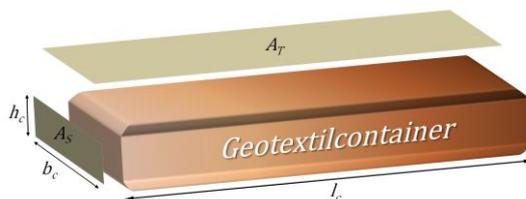
Auf Basis umfangreicher Versuche stellen OUMERACI ET AL. (2002) für Böschungselemente eine Abhängigkeit von der Brecherkennzahl ξ_0 fest.

$$N_{s, \text{Böschung}} = \frac{H_s}{\left(\frac{\rho_E}{\rho_W} - 1\right) \cdot D} < \frac{2,75}{\sqrt{\xi_0}}$$

Hinsichtlich der Stabilität der Kronenelemente ist der relative Freibord R_c/H_s die bestimmende Größe. Eine Abhängigkeit des Stabilitätsverhaltens von der Wellenperiode ist im Unterschied zu den Böschungselementen nicht erkennbar.

Bemessungsgrößen:

l_c erforderliche Containerlänge bei definierten Verhältnissen der Kantenabmaße zueinander



$$h_c = \frac{h_c}{l_c} \cdot l_c \quad (\text{als Richtwert} \approx 0.2l_c)$$

$$b_c = \frac{b_c}{l_c} \cdot l_c \quad (\text{als Richtwert} \approx 0.5l_c)$$

V_c erforderliches Containervolumen

m_c erforderliche Containermasse

A_T vertikale Projektionsfläche des Containers

A_S horizontale Projektionsfläche des Containers

4.2.1.1 Beziehungen der Kantenlängen eines gefüllten geotextilen Vliesstoffcontainers nach RECIO, 2007.

Für die kritische Stabilitätskennzahl ergibt sich demnach folgende lineare Abhängigkeit vom relativen Freibord:

$$N_{s,Krone} = \frac{H_s}{\left(\frac{\rho_E}{\rho_W} - 1\right) \cdot D} < 0,79 + 0,09 \cdot \frac{R_C}{H_s}$$

mit:

- N_s – Stabilitätskennzahl [-]
- H_s – Höhe der einlaufenden Welle [m];
- ρ_E – Dichte der Deckschichtelemente [kg/m³]
- ρ_w – Dichte des umgebenden Wassers [kg/m³]
- D – kennzeichnender Durchmesser der Deckschichtelemente = Deckschichtdicke normal zur Böschung [m]
 $D = l \cdot \sin \alpha$
- ξ_0 – Brecherkennzahl
 $\xi_0 = \tan \alpha / (H_s/L_0)^{1/2}$ [-]
- R_C/H_s – relativer Freibord

Mit Hilfe von Ersetzungen verschiedener Formelgrößen und Umstellungen reduziert sich die Bemessung der Vliesstoffcontainergröße bei festen Verhältnissen der Kantenabmaße zueinander auf deren Länge (vgl. Abb. 4.2.1.1). Die Formeln beruhen auf Modellversuchen an 1:1 geneigten Dünenbarrieren aus Vliesstoffcontainern mit einem Längen-Breiten-Verhältnis von ca. 2:1 im ungefüllten Zustand (OUMERACI ET AL., 2002c).

4.2.2 Prozessorientierter Bemessungsansatz

Der prozessorientierte Ansatz (RECIO, 2007; RECIO und OUMERACI, 2009) geht von einem Kräftegleichgewicht zwischen den mobilisierenden Kräften durch Wellen und den widerstehenden Kräften durch Reibung zwischen den Containern sowie durch das Gewicht der Container selbst aus (Abb. 4.2.2.2).

Die Stabilitätsformeln für das Gleiten und Kippen liefern im Ergebnis die erforderliche Containerlänge (l_c) und das erforderliche Gewicht (G_c) bzw. die erforderliche Masse (m_c) der Container. Empirisch angepasst wird sie mit Hilfe von Kraftkoeffizienten und Verformungskoeffizienten, die experimentell ermittelt werden.

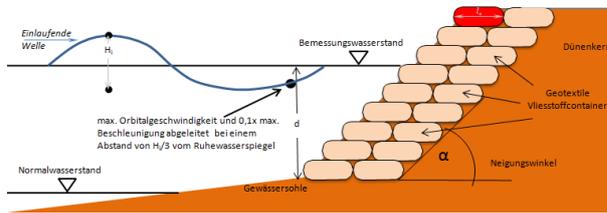
Demnach ist der geotextile Vliesstoffcontainer stabil gegen Gleiten bzw. Verschieben, wenn die widerstehenden Kräfte größer oder mindestens gleich den mobilisierenden sind. Die Lift- bzw. Hubkraft wirkt der Gewichtskraft entgegen und hebt sie somit teilweise auf. Die Differenz dieser beiden Kräfte mit dem Reibungskoeffizienten μ multipliziert ergeben die verbleibende widerstehende Kraft gegen ein horizontales Verschieben des Containers. Diese muss größer als die Summe aus horizontaler Schubkraft und Trägheitskraft infolge Beschleunigung durch die Einwirkung seegangsinduzierter Strömungen sein.

Parameterorientierter Bemessungsansatz		
l_c [m]	Kronenelemente $l_c = \frac{H_s}{\left(\frac{\rho_E}{\rho_W} - 1\right) \cdot \left(0,79 + 0,09 \cdot \frac{R_C}{H_s}\right) \cdot \sin \alpha}$	Böschungselemente $l_c = \frac{H_s^{3/4} \cdot T_p^{1/2}}{1,74 \cdot \left(\frac{\rho_E}{\rho_W} - 1\right) \cdot \sqrt{\sin 2\alpha}}$
V	$V \approx 0,065 \times l_c^3$ (ungefüllt: $a : b \cong 1 : 2 \rightarrow a \times b = 1,08l_c \times 0,54l_c$)	
<ul style="list-style-type: none"> l_c – Länge der Deckschichtcontainer senkrecht zur Böschung (Einbindelänge) [m] H_s – Höhe der einlaufenden Welle [m] ρ_E – Dichte der Deckschichtelemente [kg/m³] $\rho_E = \rho_s \cdot (1 - n) + \rho_w \cdot n$ (WOUTERS, 1998) ρ_w – Dichte des umgebenden Wassers [kg/m³] ρ_s – Dichte des verwendeten Füllmaterials [kg/m³] n – Porenanteil [-] α – seeseitiger Böschungswinkel des Geotextilwalls [°] R_C – Freibord [m] R_C/H_s – relativer Freibord [-] T_p – Peakperiode [s] 		

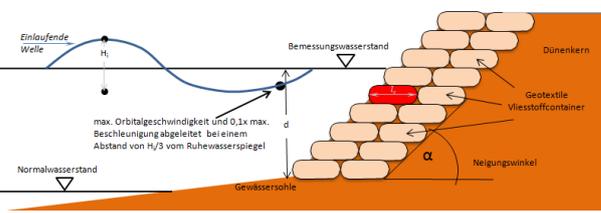
4.2.1.2 Parameterorientierter Bemessungsansatz nach OUMERACI ET AL., 2002c (vgl. Definitionsskizze Abb.4.1.1.1).

Prozessorientierter Bemessungsansatz

Kronenelemente



Böschungselemente



Grundformeln für Stabilitätsbemessung von Geotextilwällen (vgl. Abb. 4.2.1.1):

$$l_c \text{ [m]} \quad l_{c(\text{gleiten})} \geq 0.5 u_{\max}^2 \left[\frac{KS_{CD} C_D + \frac{l_c}{h_c} KS_{CL} C_L \mu}{\mu \Delta KS_R g - 0.1 KS_{CM} C_M \max \frac{\partial u}{\partial t}} \right]$$

$$l_{c(\text{kippen})}^{(Krone)} \geq 0.5 u_{\max}^2 \left[\frac{\frac{h_c}{l_c} KO_{CD} C_D + \frac{l_c}{h_c} KO_{CL} C_L}{\Delta KO_{Rg} - 0.1 \frac{h_c}{l_c} KO_{CM} C_M \cdot \max \frac{\partial u}{\partial t}} \right]$$

$$m_c \text{ [kg]} \quad m_{c(\text{gleiten})} \geq \rho_S \left(0.5 u_{\max}^2 \left[\frac{KS_{CD} C_D + \frac{l_c}{h_c} KS_{CL} C_L \mu}{\mu \Delta KS_R g - 0.1 KS_{CM} C_M \max \frac{\partial u}{\partial t}} \right] \right)^3 \cdot \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c}$$

$$m_{c(\text{kippen})}^{(Krone)} \geq \rho_S \left(0.5 u_{\max}^2 \left[\frac{\frac{h_c}{l_c} KO_{CD} C_D + \frac{l_c}{h_c} KO_{CL} C_L}{\Delta KO_{Rg} - 0.1 \frac{h_c}{l_c} KO_{CM} C_M \cdot \max \frac{\partial u}{\partial t}} \right] \right)^3 \cdot \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c}$$

$C_D = 1.3$	} Kraftkoeffizienten	$C_D = 2.5$
$C_M = 0.6$		$C_M = 0.3$
$C_L = 0.2$		$C_L = 0.3$
$KS_{CD} = 1.4$	} Verformungskoeffizienten	$KS_{CD} = 1.4$
$KS_{CM} = 1$		$KS_{CM} = 1$
$KS_{CL} = 0.94$		$KS_{CL} = 0.94$
$KS_R = -0.00009\alpha^2 + 0.019\alpha - 0.008$		$KS_R = 0.0007\alpha^2 + 0.25\alpha - 6.83$

α	30°	45°	60°	75°	90°
KS_R	0.48	0.70	0.82	0.91	1

α	30°	45°	60°	75°	90°
KS_R	0.618	1.6	6.7	8.3	10

$KO_{CD} = 1.54$	} Verformungskoeffizienten
$KO_{CM} = 1.1$	
$KO_{CL} = 0.8$	
$KO_R = 0.92$	

l_c = Länge der Geotextilcontainer in m

m_c = Masse der Geotextilcontainer in kg

$\frac{h_c}{l_c}; \frac{b_c}{l_c}; \frac{l_c}{h_c}$ = Verhältnissgrößen der Kantenlängen der Container zueinander (orientiert wird auf $\frac{h_c}{l_c} \approx 0,2; \frac{b_c}{l_c} \approx 0,5$)

$\mu = 0.48$ (Reibungsfaktor Geovliesstoff/Geovliesstoff)

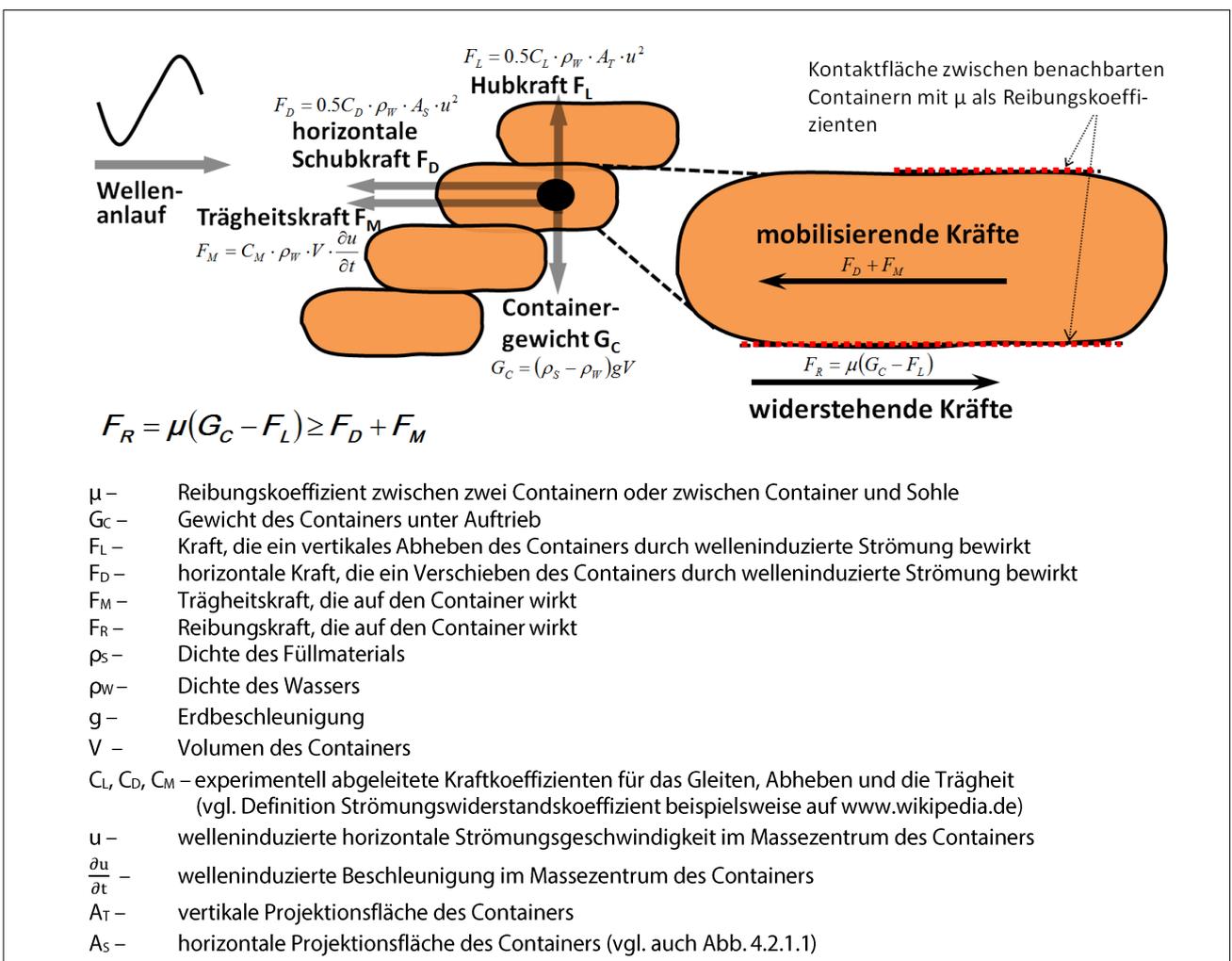
$\Delta = \frac{\rho_S}{\rho_W} - 1 = 0.76$ ($\rho_S = \frac{1800 \text{ kg}}{\text{m}^3}$ (Dichte der Sandfüllung) und $\rho_W = \frac{1025 \text{ kg}}{\text{m}^3}$ (Dichte Wasser))

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (Erdbeschleunigung)

u_{\max} = max. horizontale Orbitalgeschwindigkeit in der Wassertiefe $H/3$

$\frac{\partial u}{\partial t}$ = mit o. g. u_{\max} verbundene horizontale Orbitalbeschleunigung (laut linearer Wellentheorie befinden sich die welleninduzierten Geschwindigkeiten im Maximum, wenn die Beschleunigung im Minimum ist und umgekehrt. Während die max. horizontalen Herausziehungskräfte herrschen, ist die maximale Orbitalgeschwindigkeit gewöhnlich mit 1/10 der maximalen Beschleunigung verbunden [RECIO, 2007]. Dies ist in den Formeln bereits berücksichtigt.)	
unter Einsatz der im Regelfall als konstant anzunehmenden Größen:	
l_c [m]	$l_{c(\text{gleiten})}^{(\text{Krone})} [m] \geq u_{\max}^2 \frac{\left[0.91 + 0.04512 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[2.5050816 - 0.06 \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]}$ $l_{c(\text{kippen})}^{(\text{Krone})} \geq u_{\max}^2 \frac{\left[1.001 \frac{h_c}{l_c} + 0.08 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[6.859152 - 0.066 \frac{h_c}{l_c} \cdot \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]}$ $l_{c(\text{gleiten})}^{(\text{Böschung})} [m] \geq u_{\max}^2 \frac{\left[1.75 + 0.06768 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[5.7259008 - 0.03 \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]}$
m_c [kg]	$m_{c(\text{gleiten})}^{(\text{Krone})} \geq \rho_s \left(u_{\max}^2 \frac{\left[0.91 + 0.04512 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[2.5050816 - 0.06 \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]} \right)^3 \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c}$ $m_{c(\text{kippen})}^{(\text{Krone})} \geq \rho_s \left(u_{\max}^2 \frac{\left[1.001 \frac{h_c}{l_c} + 0.08 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[6.859152 - 0.066 \frac{h_c}{l_c} \cdot \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]} \right)^3 \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c}$ $m_{c(\text{gleiten})}^{(\text{Böschung})} \geq \rho_s \left(u_{\max}^2 \frac{\left[1.75 + 0.06768 \frac{l_c}{h_c}\right]}{\left[5.7259008 - 0.03 \max \frac{\partial u}{\partial t}\right]} \right)^3 \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c}$

4.2.2.1 Prozessorientierter Ansatz nach RECIO (2007) bzw. RECIO und OUMERACI (2009).



4.2.2.2 Kräftegleichgewicht eines Geotextilcontainers nach OUMERACI & RECIO, 2009.

Bei einer quaderförmigen Containerform und festen Beziehungen zwischen der Containerlänge, -breite und -höhe (vgl. Abb. 4.2.1.1) kann das Containervolumen als Funktion seiner Länge (l_c) ausgedrückt werden. Ebenso verhält es sich mit den vertikalen und horizontalen Projektionsflächen.

$$V = \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c} \cdot l_c^3$$

$$A_S = \frac{h_c}{l_c} \cdot \frac{b_c}{l_c} \cdot l_c^2$$

$$A_T = \frac{b_c}{l_c} \cdot l_c^2$$

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1$$

Durch Substitutionen aus den o.g. Gleichungen ergeben sich die Ansätze zur Berechnung der Mindestcontainerlänge und Mindestcontainermasse für die Sicherheit gegen horizontales Verschieben eines Containers durch Seegangskräfte.

Die Sicherheit gegen Kippen des Containers liefert das Gewicht des Containers unter Auftrieb. Dieses muss größer als die mobilisierenden Momente durch Schub-, Hub- und Trägheitskraft sein.

Eine partielle Verformung der Container unter Seegangseinwirkung bewirkt andere Angriffsflächengrößen für die einwirkenden Kräfte. Diesem Effekt wird durch experimentell ermittelte Verformungskoeffizienten Rechnung getragen.

Die Kraft- und Verformungsparameter sind für die Bedingungen

- Flachwasser $\frac{d}{L} \leq 0,1$;
- Reynoldszahl $Re = 10^4$ bis 10^6 ,
- Neigungswinkel des Bauwerks von $\alpha = 45^\circ$;
- Verhältnissgrößen der Kantenlängen $\frac{h_c}{l_c} = 0,2$;
 $\frac{b_c}{l_c} = 0,5$)
- Füllungsgrad = 80 %
- Rauigkeit von nicht gewebten Geotextilien (Vliesstoff auf Vliesstoff, $\mu = 0,48$) und einem
- relativen Freibord $\frac{R_c}{H_s} \leq 0,2$

ermittelt worden.

Der Strömungswiderstandskoeffizient (analog C_D oder C_L) ist für die meisten Körper über große Bereiche der Reynolds-Zahl (Geschwindigkeit, Fluidichte, Viskosität) weitgehend konstant. Mit steigender Reynolds-Zahl nimmt die Variation des Strömungswiderstandskoeffizienten sogar deutlich ab, so dass eine Verwendung der Formelansätze auch bei höheren Reynolds-Zahlen (wie sie bei der Geotextilwallbemessung zu erwarten sind, aber nicht untersucht wurden) als zulässig angenommen werden darf.

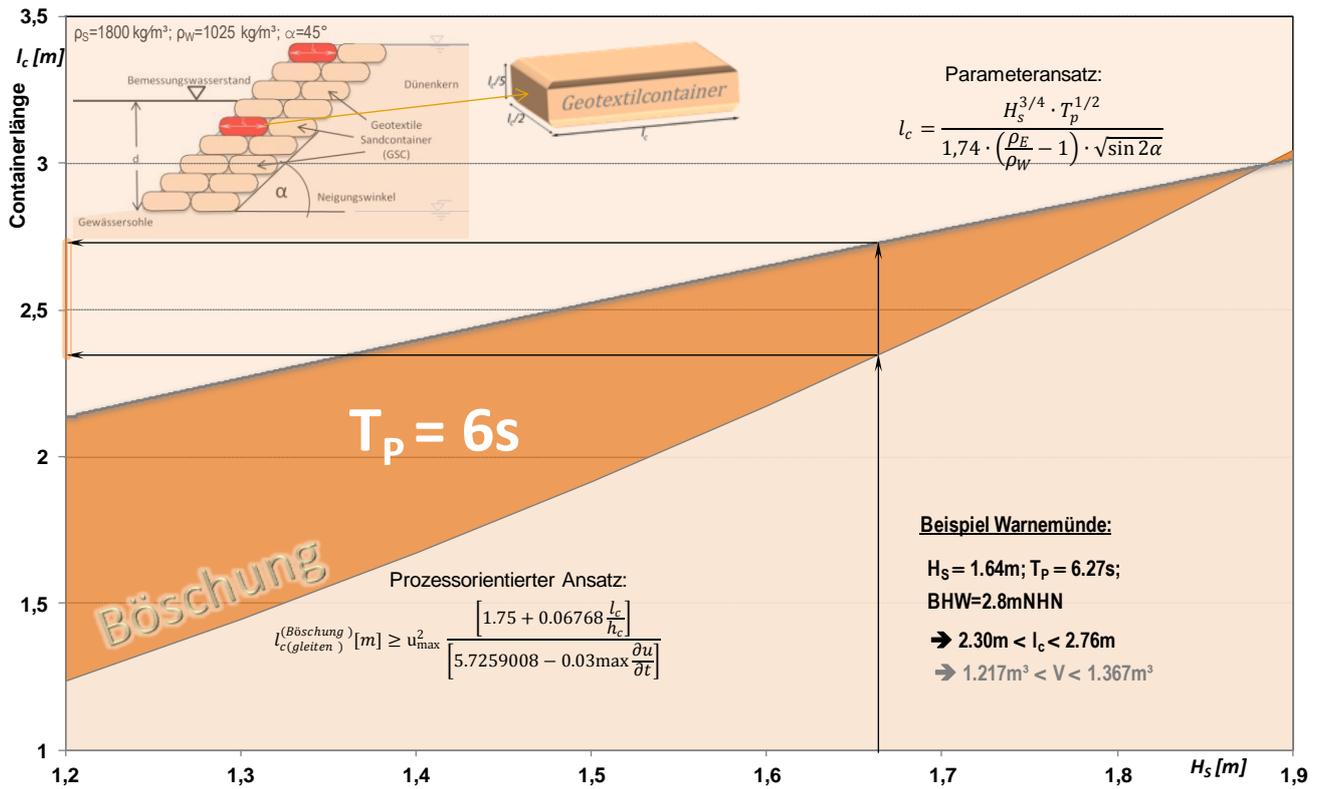
Ein Vergleich der beiden unterschiedlichen Ansätze ist nicht ohne weiteres möglich. Der *Parameteransatz* von OUMERACI ET AL. (2002) berücksichtigt im Wesentlichen eine Abhängigkeit von der Wellenhöhe H , der Wellenperiode T , dem Neigungswinkel des Bauwerkes α und bei der Kronencontainerbemessung dem Freibord R_c , während die Wassertiefe vor dem Bauwerk allenfalls indirekt über die Wellenparameter einfließt. Der *prozessorientierte Ansatz* nach RECIO (2007) stützt sich im Wesentlichen auf die welleninduzierte horizontale Orbitalgeschwindigkeit u sowie die dazugehörige Beschleunigung $\frac{\partial u}{\partial t}$ und berücksichtigt auf diese Weise die wirkenden Kräfte und die Wassertiefe d vor dem Bauwerk unmittelbarer. Allerdings ist bei der Kronencontainerbemessung keine Abhängigkeit vom Freibord untersucht worden. Da jedoch mit zunehmendem Abstand vom Ruhewasserspiegel, also mit steigendem relativen Freibord, der Abstand zum kritischsten Container zunimmt, ist man mit dem beschriebenen Ansatz auf der sicheren Seite. Es liegt im Ermessen des planenden Ingenieurs, ggf. die erforderliche Länge entsprechend der relativen Freibordhöhe abzumindern.

Für die Bemessung der erforderlichen Containerdimensionen werden in Abhängigkeit von den Eingangsgrößen Bereiche ermittelt, die dem Planer als Grundlage für die Containerauswahl dienen (Abb. 4.2.2.3 bis 4.2.2.5). Diese Bereiche resultieren aus der Zusammenführung des parameter- und des prozessorientierten Ansatzes. Die Gefahr einer Überdimensionierung, wie sie für den Parameteransatz allein besteht, wird auf diese Weise abgemindert.

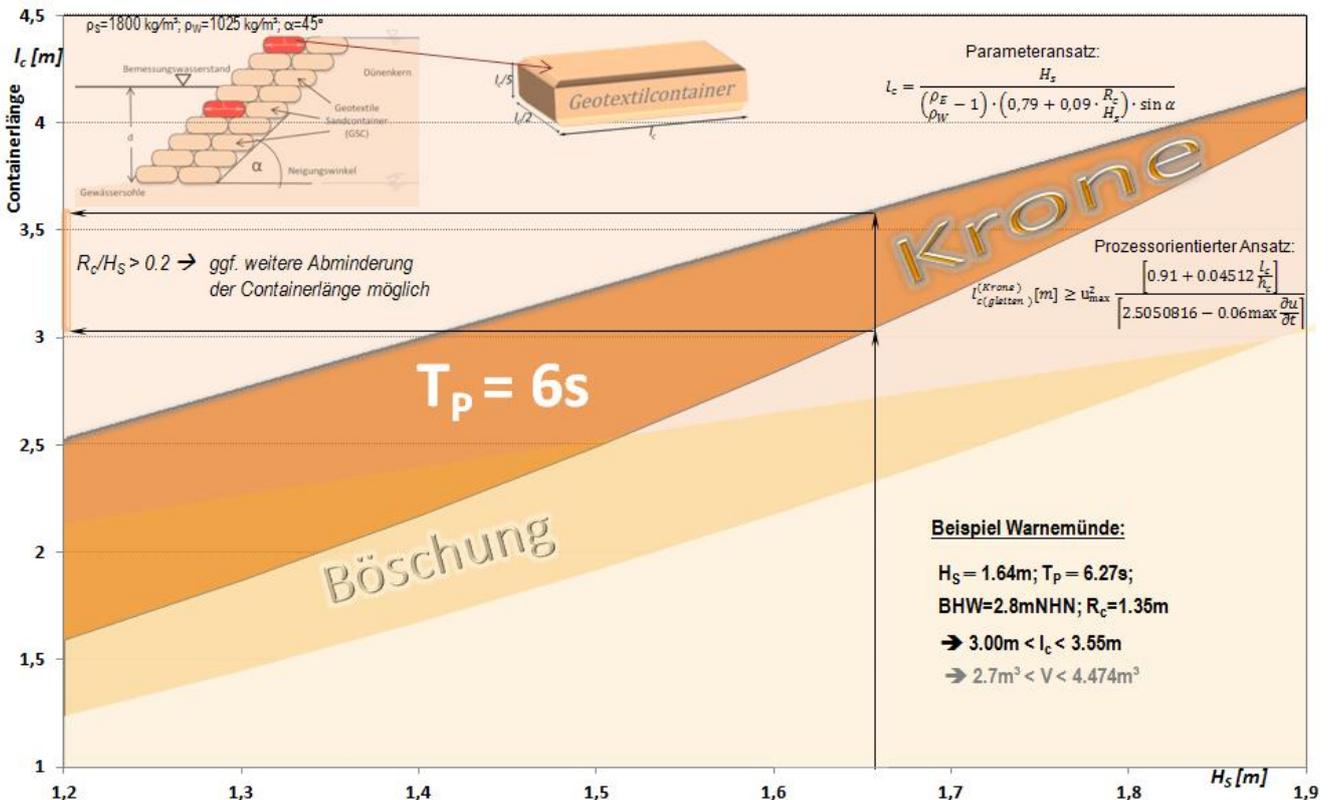
Bei der Kronenbemessung kann der Ingenieur im eigenen Ermessen ggf. eine weitere Abminderung der Containerdimensionen vornehmen, wenn $R_c/H_s > 0,2$ ist. Je weiter der Kronencontainer sich vom Ruhewasserspiegel entfernt, desto geringer werden die einwirkenden hydrodynamischen Kräfte.

Tabellarische Bemessungshilfen für die Containerlänge l_c sind in Kapitel 8 (Anhang - Bemessungshilfen, Abb. 8.1 und 8.2) gegeben. Das erforderliche Containervolumen V ergibt sich aus der Multiplikation der sich ergebenden Kantenabmessungen. Die erforderliche Masse m_c eines Containers ergibt sich folglich aus der Multiplikation des resultierenden Volumens V mit der Trockenrohichte ρ_s .

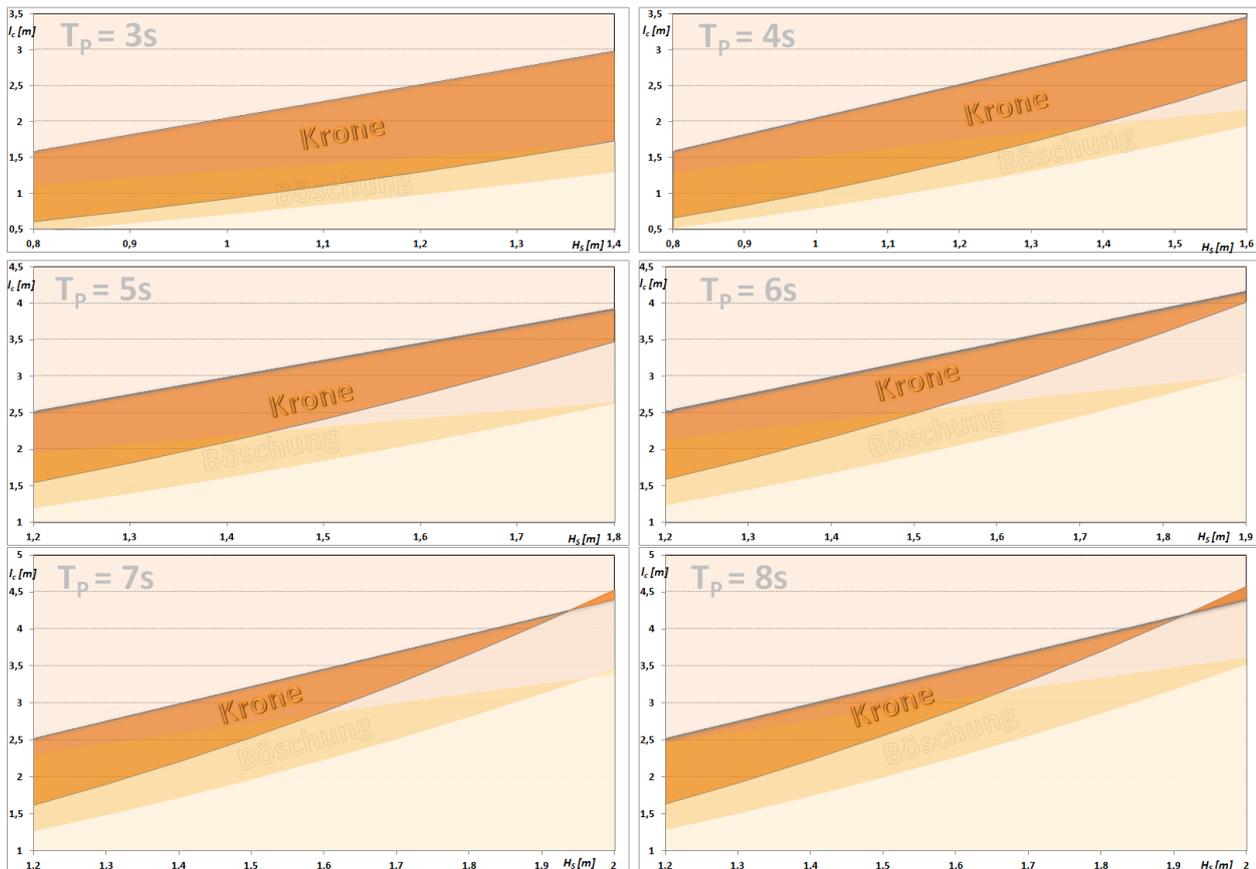
Die Vliesstoffcontainerabmessungen unterliegen gewissen Schwankungen, was vor allem auf die erhöhte Dehnfähigkeit des Vliesstoffmaterials zurückzuführen ist. Für die Praxis ist es in diesem Zusammenhang ratsam, Probecontainer zu befüllen, um die genauen Abmessungen direkt zu ermitteln. Das hält die Fehlerspanne bei der nachfolgenden Massen- bzw. Mengenermittlung klein.



4.2.2.3 Ermittlung der erforderlichen Länge der Böschungcontainer für die hydraulische Stabilität bei $T_p=6s$, $d=1,65$, $\alpha=45^\circ$ und $h_c/l_c=0,2$ (abgeleitet aus OUMERACI ET AL., 2002c und RECIO, 2007).



4.2.2.4 Spanne der erforderlichen Länge der Kronencontainer für die hydraulische Stabilität bei $T_p=6s$, $R_c=1,35$, $d=1,65$, $\alpha=45^\circ$ und $h_c/l_c=0,2$ (abgeleitet aus OUMERACI ET AL., 2002c und RECIO, 2007).



4.2.2.5 Spanne der erforderlichen Länge der Kronen- und Böschungcontainer für die hydraulische Stabilität bei weiteren T_p , $R_c=1,35$, $d=1,65$, $\alpha=45^\circ$ und $h_c/l_c=0,2$ (abgeleitet aus OUMERACI ET AL., 2002c und RECIO, 2007).

4.2.3 Bemessung der Bauwerksmaterialien

Die Anforderungen an das Bauwerksmaterial (Geotextil, Füllstoff) bedürfen einer eigenen Betrachtung. Im Normalfall wird als Füllstoff anstehendes Strand-/Dünenmaterial verwendet. So bleibt die Wasserdurchlässigkeit der Düne für Sickerwasser bei Anpassung der Filtereigenschaften des umhüllenden Geotextils den Nachbarabschnitten nahezu gleich. Eine gesonderte Bemessung sowie Transportkosten entfallen in der Regel bei der Verwendung von anstehendem Boden als Füllmaterial.

Die Vielzahl von Prüfungen bezüglich des verwendeten Materials sowie die Verschiedenartigkeit möglicher Geotextilwallvarianten erschweren eine zielsichere und problemorientierte Bemessung und machen ein Vorgehen nach einem einheitlichen Schema schwierig. Alle aktuellen Regelwerke, zu denen sich inhaltliche Parallelen herstellen lassen, geben Hinweise bezüglich der durchzuführenden Prüf- und Bemessungsverfahren. Exemplarisch seien die in Abb. 4.2.3.1 angegebenen Quellen genannt. Grundsätzlich ist beim Bauen mit geotextilen Elementen für alle maßgebenden Funktionen, die das

Bauwerk zu erfüllen hat, zu bemessen. Im Regelfall muss das Material dabei übergreifend mehrere Funktionen erfüllen (WILMERS, 1984). Alle geforderten Prüfungen müssen auf die maßgebenden Belastungen der speziellen Geotextilwallkonstruktion ausgerichtet sein. Es ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass in der Regel die Beanspruchungen der geotextilen Container beim Befüllen und Einbauen erheblich größer sind als im Gebrauchszustand (Endzustand) (vgl. EAG-Con). In erster Linie werden dies sein:

1. Mechanische Beanspruchungen

a. Während der Bauausführung

- i. **Zugbeanspruchungen** treten z. B. auf beim Befüllen und Transportieren der Container/ Säcke, außerdem beim Überspannen von Unebenheiten unter dem Gewicht der Container/ Säcke und der darüber einzubauenden Schutzschicht.
- ii. **Durchdrückbeanspruchungen** können auftreten bei Verdichtungsarbeiten und beim Planieren der Düne. Die Größe dieser Beanspruchungen ist abhängig von der Dicke der Schutz-

Wesentliche, auf das Anwendungsfeld Geokunststoffe bezogene Anforderungen und Anwendungsempfehlungen		
Empfehlungen zur Anwendung von geotextilen Containern im Wasserbau (EAG-Con)	in Bearbeitung	DGGT
Empfehlungen zur Berechnung und Dimensionierung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO)	2010	DGGT
Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG)	2008	BAW
Geokunststoff – Normenzusammenstellung - DIN Handbuch 385	2007	DIN
Richtlinien für die Prüfung von mineralischen Weichdichtungen im Verkehrswasserbau (RPW)	2006	BAW
Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues M Geok E	2005	FGSV
Chemische Veränderungen von Geotextilien unter Bodenkontakt	2005	BAST
Standicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen	2005	BAW
Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“. Häfen und Wasserstraßen (EAU)	2004	
Empfehlungen für Küstenschutzwerke	2002	KFKI
Richtlinien für die Prüfung von geotextilen Filtern im Verkehrswasserbau (RPG)	1994	BAW
Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)	1993	BAW
Anwendung von Geotextilien im Wasserbau, Heft 221	1992	DVWK
Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erdbau und Wasserbau	1986	DVWK

4.2.3.1 Auflistung ausgewählter Regelwerke, Merkblätter und Empfehlungen.

- schicht, von ihrer Korngröße, Kornform und vom Gewicht des Baugerätes sowie von der Festigkeit und Beschaffenheit des Untergrundes.
- iii. **Durchschlagbeanspruchungen** treten nur auf, wenn der Geotextilwall mit grobem Schüttmaterial abgedeckt werden soll, was jedoch i. d. R. nicht der Fall sein wird.
- b. Während einer Sturmflut
Durch Strömungen, Wellen und Wasserspiegeländerungen können mechanische Beanspruchungen des Geotextils auftreten.
- i. **Zugbeanspruchungen** treten z. B. auf durch Untergrundverformungen oder durch Wasserüberdruck im Fall schneller Wasserspiegeländerungen, wenn Hohlräume unter dem Geotextil mit entsprechend großem Wasservolumen und eine nicht vollflächig wirkende Auflast vorhanden sind.
- ii. **Abriebbeanspruchungen** können durch Sandschliff oder durch frei bewegliche Geotextilteile an Bauteilen oder frei bewegliche Gegenstände (Durchlässe, Treibsel, ...) verursacht werden.
- iii. **Durchschlagbeanspruchungen** treten auf, wenn Treibsel oder andere schwimmende Gegenstände auf den Geotextilwall treffen.

- c. Während der statisch beanspruchten Standzeit
- i. **Zugbeanspruchungen** durch Setzungen im Untergrund und im Bauwerk.
- ii. **Druckbeanspruchungen** durch Auflast.

2. Hydraulische Belastungen

- a. Dynamische hydraulische Belastungen
Seegangskräfte, Durchströmungskräfte, Wasserspiegeländerungen, Belastungen durch Sickerströmungen.

- b. Statische hydraulische Belastungen

(vgl. MAG 1993, S. 7)

Das Material von Geotextilwällen nahe einer Küstenlinie wird grundsätzlich auf Seegang bemessen. Damit sind die maßgebenden hydraulischen Belastungen als dynamisch (Änderungen Δh des hydraulischen Höhenunterschiedes in der Zeit Δt mit einer Geschwindigkeit $v_h = \Delta h / \Delta t > k_{\text{Boden}}$) einzustufen. Sie bewirken im Grenzbereich zwischen Boden und Geotextil relativ große hydraulische Gefälle und damit turbulente Durchströmungen (MAG 1993, S. 5, DVWK 221/1992, S. 3).

Aus den Beanspruchungen ergeben sich die Anforderungen an die verwendeten Materialien und daraus

resultierend die erforderlichen Nachweise beim Geotextilwallbau. Das Geotextil muss einerseits die potentiell wirksamen Spannungen aufnehmen können und andererseits beständig gegen mechanische Beanspruchungen (z. B. Gegenstände, die mit dem Wellenschlag auftreffen) sein. Weiterhin müssen die verwendeten geotextilen Stoffe in der Lage sein, Bodenbestandteile oder andere Partikel zurückzuhalten (mechanische Filterfestigkeit), während der Durchfluss von Flüssigkeiten senkrecht zur Filterebene mit dem Ziel einer schadlosen Wasserableitung möglich bleibt (vgl. DVWK 221, 1992). Filtertechnische Bemessungen sind nach MAG (1993) oder DVWK (1992) durchzuführen.

Folgende Materialeigenschaften sind im Regelfall im Rahmen einer Ausschreibung zu berücksichtigen: es muss geprüft werden, ob eine Bemessung durchzuführen oder die Verwendung von Erfahrungswerten hinreichend für die Funktion des Baukörpers ist. Ist beides nicht möglich, sind ggf. Systemversuche durchzuführen. Vom Bauausführenden sind die geforderten Materialeigenschaften nachzuweisen (vgl. auch SAATHOFF & BRÄU 2009, S. 756).

► **Flächengewicht**

Das Flächengewicht m_A (Masse je Flächeneinheit) eines Geotextils ergibt sich aus den geforderten Material- und Filtereigenschaften. Es dient als kennzeichnender Vergleichswert und kann aufgrund von Erfahrungen als Richtwert für das Erreichen bestimmter Materialeigenschaften herangezogen werden. Nach Erfahrungswerten sollten je nach zu erwartender Belastungssituation im Bemessungsfall und in Abhängigkeit vom Füllmaterial folgende Mindestwerte für eine ausreichende Robustheit als Richtwerte angesetzt werden: 600 g/m^2 (entspricht etwa der Beschüttung mit Wasserbausteinen der Klassen CP_{90/250} und LMB_{5/40} [vgl. DIN EN 13383; früher Klasse II und III, vgl. TLW 2003] mit Einzelgewichten < 50 kg) $\leq m_A \leq 1.200 \text{ g/m}^2$ (entspricht etwa der Beschüttung mit Steinen $\geq 50 \text{ kg}$, vgl. SAATHOFF & BRÄU 2009, S. 759).

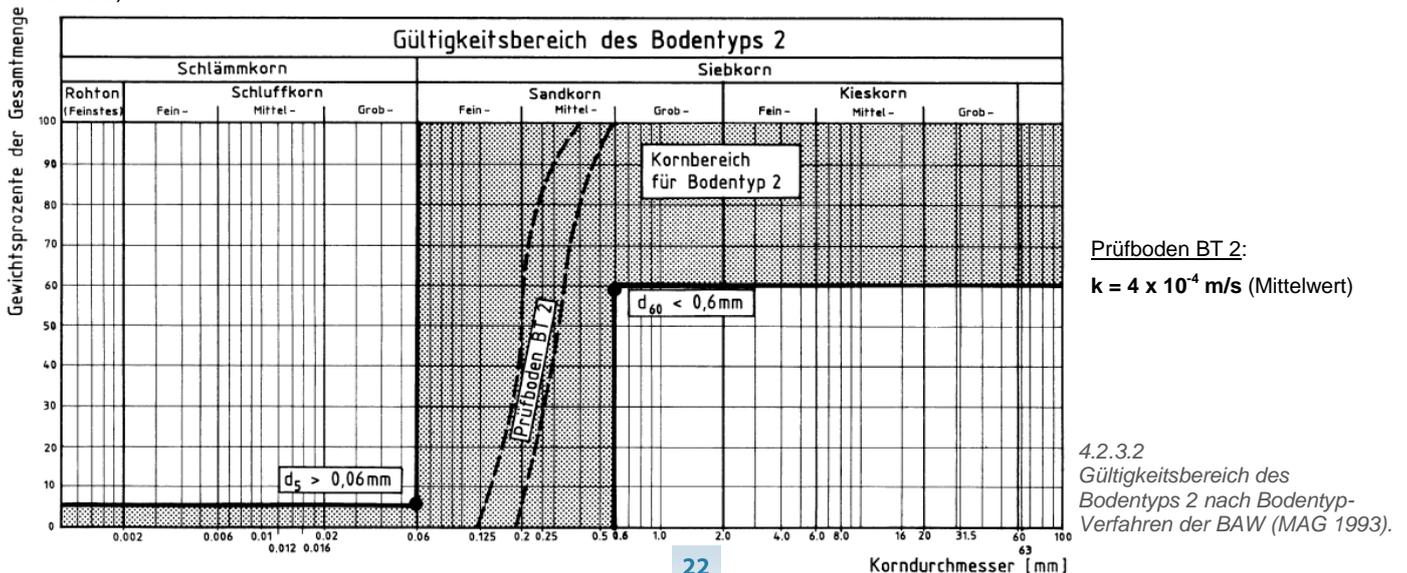
► **Charakteristische oder wirksame Öffnungsweite**

Geotextil und Füllung sind so aufeinander abzustimmen, dass aus dem gefüllten Container kein Füllmaterial ausgespült werden kann. Die wirksame Öffnungsweite $O_{90,w}$ stellt das Spektrum der Porengrößen eines Geotextils bzw. seiner Einzellagen dar. Das Geotextil dient bei der Ermittlung als Sieb. 90% der Poren sind dabei gleich oder kleiner als der Wert für $O_{90,w}$.

Wegen der hydrodynamischen Lastannahmen wird eine strenge Bemessung der mechanischen Filterfestigkeit empfohlen. Diese dient als charakteristischer Parameter für den Bodenrückhalt. $O_{90,w}$ ist veränderlich und hängt auch von der Auflast bzw. von Geotextilverformungen infolge dynamischer Kräfte je nach Geotextilart oder -festigkeit ab. Dies ist ggf. durch Eignungsprüfung festzustellen (MAG 1993, S. 12), im Normalfall im Geotextilwallbau jedoch nicht zwingend notwendig.

Bei Vorliegen eines Körnungsbandes ist die mechanische Filterfestigkeit auf den feinkörnigen Rand des Bandes zu bemessen. Die hydraulische Filterwirksamkeit ist auf den grobkörnigen Rand des Bandes zu bemessen, wobei diese im vorliegenden Fall nachrangig zu behandeln ist. Eine zu große Dränwirkung des Vliesstoffes sollte aus Gründen der dadurch entstehenden Herabsetzung des Sturmflutschutzniveaus vermieden werden. Aus dem Grund ist es ausreichend, wenn der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_v des Geovliesstoffes den Durchlässigkeitskoeffizienten k des Bodens am grobkörnigen Rand des Bandes nur geringfügig übersteigt. Bei Beachtung der Bemessungsregeln für $O_{90,w}$ ist ein Nachweis der hydraulischen Filterwirksamkeit für mechanisch verfestigte Vliesstoffe nicht erforderlich (DVWK 221/1992, S. 11).

Bei dynamischen hydraulischen Belastungen wird von der BAW das Bodentyp-Verfahren empfohlen (MAG, 1993). Typische Dünenande sind i. d. R. dabei in den Gültigkeitsbereich des Bodentyps 2 einzustufen (Abb. 4.2.3.2).



Dünenmaterial wird entsprechend den Filterregeln der DVWK im Normalfall in den Körnungsbereich B einzuordnen sein (DVWK 221/1992, vgl. auch SAATHOFF & BRÄU, 2009). Für diesen Körnungsbereich sind in Verbindung mit hydrodynamischer Belastung zwei Sperrbedingungen zu erfüllen:

$$O_{90,w,zulässig} < 1,5 \cdot d_{10} \sqrt{U}$$

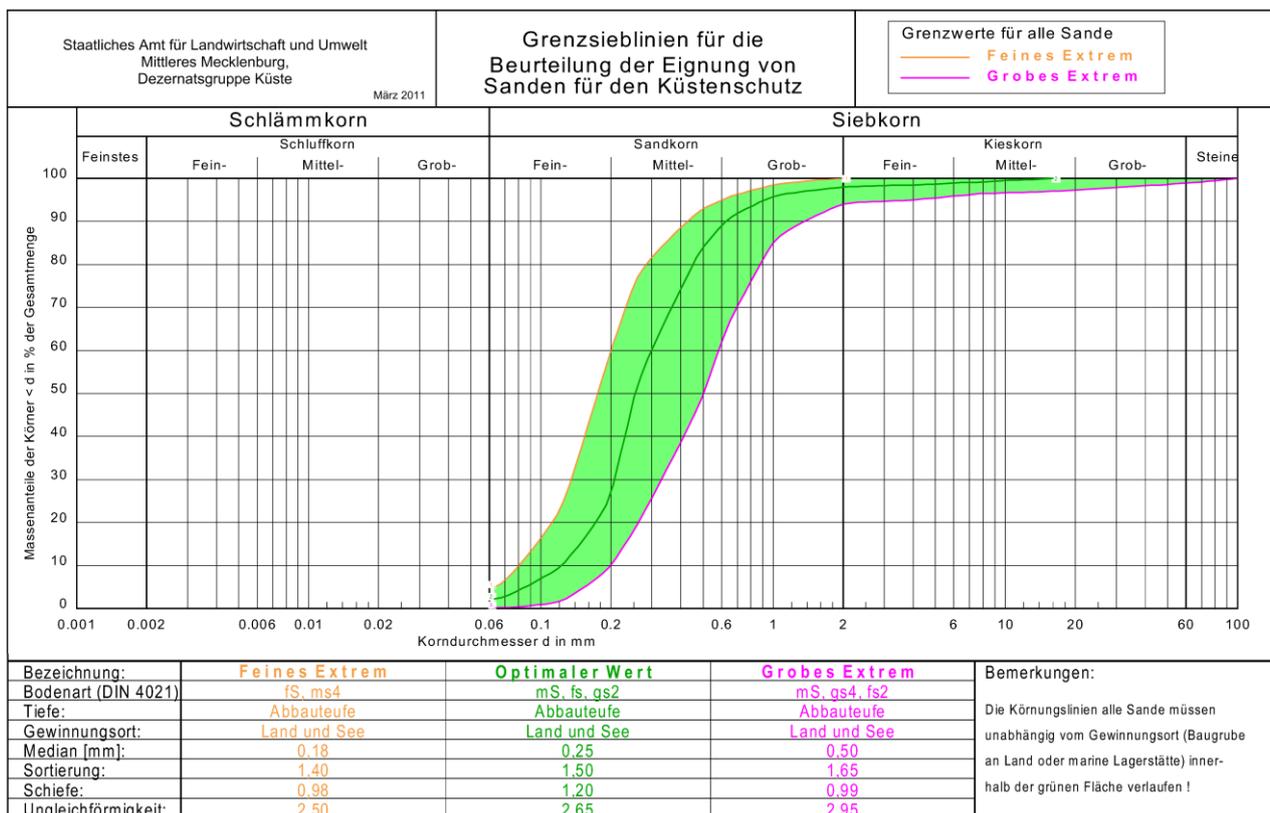
$$O_{90,w,zulässig} < d_{50}$$

wobei speziell für die Bemessung von geotextilen Containern bzw. Säcken das Filterkriterium auf letztgenannte Bedingung reduziert wird (vgl. DVWK 221/1992, S. 14). Für die im Küstengebiet von M-V natürlich anstehenden Fein- und Mittelsande ($0,09 \text{ mm} \leq d_{50} \leq 0,34 \text{ mm}$) sowie für Aufspülsande (Abb. 4.2.3.3) kann vereinfachend in Ableitung von flächig, lagestabil eingebauten Geovliesstoffen $O_{90,w} \approx d_{50}$ gelten (DVWK 221/1992, S. 11). Beide Verfahren, sowohl nach DVWK 221/1992 als auch nach MAG 1993, sind bei maßgebenden dynamischen hydraulischen Belastungen zulässig.

Bei Beachtung der Bemessungsregeln für $O_{90,w}$ ist ein Nachweis der hydraulischen Wirksamkeit für mechanisch verfestigte Vliesstoffe nicht erforderlich (DVWK 221/1992, S. 5). Erst das Zusammenwirken mit der Filtrationslänge/Dicke sowie Porenstruktur des Geovliesstoffes spiegelt die Hauptprozesse zwischen Boden und Filter wider. Die wirksame Öffnungsweite $O_{90,w}$ allein reicht daher zur Bestimmung der Filterfestigkeit nicht aus (DVWK 221/1992, S. 2).

► Dicke D

Die Dicke des Vliesstoffes ist relevant für die Schutzwirkung bei Stoßbelastung, Abriebfestigkeit, Filterwirksamkeit, UV-Bewitterung usw. (Abb. 4.2.3.1 und DVWK 221/1992, S. 5). Da das Bodenrückhaltevermögen des Geotextils eine größere Bedeutung hat als die möglichst druckverlustarme Wasserableitung, ist der rechnerische Nachweis einer Minstdicke nicht unbedingt erforderlich. Die Dicke des Materials im Geotextilwallbau innerhalb von Dünen wird vielmehr durch die benötigten Festigkeitseigenschaften bestimmt (vgl. MAG 1993, S. 13). Bei hydrodynamischer Belastung des Geotextils werden die auf den Boden einwirkenden Kräfte bei größerer Dicke stärker gedämpft (vgl. MAG 1993, S. 12). Mit zunehmendem hydraulischen Gradienten oder dynamischen Beanspruchungen wird demzufolge eine größere Gesamtschichtdicke des Geotextils erforderlich. In den Bemessungsansätzen des DVWK 221/1992 wurden deshalb für bestimmte Körnungsbereiche und Lastfälle neben Filterregeln auch empirisch ermittelte Minstdicken für Geotextilien angegeben. Im hydrodynamischen Lastfall haben sich bei den in M-V vorkommenden Korngrößenverteilungen der Dünen beispielsweise Filterminstdicken von $D \geq 4,5 \text{ mm}$ bewährt (vgl. DVWK 221/1992, S. 6). Ansonsten kann als Anhaltswert gelten $d \geq 30 \cdot O_{90,w,gewählt}$ (<http://www.auf-iw.uni-rostock.de/downloads/...> siehe Filtergutachten) mit $O_{90,w,gewählt} = 0,8 \text{ bis } 1,0 \cdot O_{90,w,zulässig}$ (vgl. DVWK 221/1992, S. 4/5), was für den Geotextilwallbau im Normalfall etwas größere Dicken ergäbe.



4.2.3.3 Grenzsieblinien für die Eignung von Sanden für den Küstenschutz (aus Regelwerk-Themenheft 3-4/2012 „Marine Aufspülsande“, S. 7).

► **Zugfestigkeit und Zugkraftdehnung**

Diese hängen im Wesentlichen von der Bauwerksform und -dimension ab, aber auch vom Gewicht der Geotextilcontainer. Sie ergeben sich zum einen aus den statischen und zum anderen aus den dynamischen Lasteinträgen.

Vliesstoffe von Geotextilcontainern mit 1 m³ Inhalt beispielsweise sollten erfahrungsgemäß eine Mindesthöchstzugfestigkeit von ≥ 30 kN/m aufweisen, um eine ausreichende Festigkeit/ Robustheit für einen maschinellen Transport zu besitzen. Die Robustheit ist u. a. von der Masse pro Flächeneinheit und der Höchstzugkraftdehnung abhängig. Die Nähte bzw. Verbindungen sollten mindestens 80% der Materialfestigkeit aufweisen, also ≥ 24 kN/m (vgl. SAATHOFF & BRÄU 2009, S. 766).

Die geforderten Höchstzugfestigkeiten (längs und quer) eines flächig eingebauten Geotextils bei Überbauung mit Wasserbausteinen (vgl. TLW, 2003) liegen bei ≥ 12 kN/m (vgl. DVWK 221/1992 S. 12; MAG 1993 S. 13). Als maßgebendes Entscheidungskriterium sind diese allerdings nicht geeignet. Sie sind im Zusammenhang mit den bereits genannten Kriterien, dem Reibungsverhalten und dem Dehnungsvermögen, zu sehen.

► **Reibungsbeiwert**

Der gefüllte Geotextilcontainer muss griffig sein und im Stapel eine hohe Haftreibung besitzen. Der Reibungsbeiwert stellt einen Proportionalitätsfaktor dar, der die Größe des Reibungswiderstands beeinflusst. Es gilt die Regel, je größer der Reibungsbeiwert, desto höher sind die Reibungskräfte zwischen den Geotextilcontainern bzw. zwischen Geotextilcontainer und Auflageboden und desto höher auch der Reibungswiderstand, der beispielsweise durch hydrodynamische Kräfte überwunden werden muss, um den Geotextilsack horizontal zu verschieben. Je größer der Reibungsbeiwert des Materials, desto stabiler also der Geotextilwall. Bei mechanisch verfestigten Geovliesstoffen ist in der Regel ein relativ hoher Reibungsfaktor gegeben. Als Orientierung dienen Werte um $\mu=0,48$ (Reibungsfaktor Geovliesstoff/ Geovliesstoff) und $\mu=0,57$ (Reibungsfaktor Geovliesstoff/ Sohle anstehender Boden).

► **Durchschlagfestigkeit**

Der Durchschlagwiderstand sollte im Fallbärversuch >1.200 Nm sein (BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, RPG-Richtlinie, 1994).

► **Abriebbeständigkeit**

Die Abriebbeständigkeit ist anzugeben, wenn das Bauwerk eine gewisse Zeit unter Seegangseinwirkung stehen kann. Als abriebbeständig gilt ein Geotextil dann, wenn nach Prüfung entsprechend

RPG-Richtlinie (1994) mindestens 75% der geforderten Dicke und der Höchstzugfestigkeit vorhanden sind (MAG 1993, S. 13).

► **Allgemeine Beständigkeit**

Bei *Polyethylen* und *Polypropylen* ist die Beständigkeit gegen oxidative, bei *Polyester* gegen innere Hydrolyse zu beachten und ggf. nachzuweisen. Für *Polyamid*, *Aramid* und *Polyvinylalkohol* sind ggf. beide Nachweise zu erbringen. Zu beachten ist, dass im Salzwassermilieu bisher keine auf biologischer oder chemischer Einwirkung beruhende Beeinträchtigung festgestellt wurde (DVWK 221/1992, S. 10) und dass eine Prüfung nur erforderlich ist, wenn der Wasserwechselbereich mehr als 50% der durchströmten Geotextilfläche einnimmt (MAG 1993, S. 7).

Durch Überdeckung mit Boden ist der Geotextilwall vor UV-Bewitterung zu schützen.

5 Hinweise zur Vertragsgestaltung beim Bauen mit Geotextilien

Für die Planung und Bauausführung entscheidend sind Angaben und Hinweise zu den Lieferbedingungen, der Qualitätssicherung, der Ausschreibung sowie zur Abrechnung und Gewährleistung. Diese finden sich im Bereich des Wasserbaus insbesondere in den TLG (2008). Die folgenden Unterkapitel zitieren Angaben aus dem Standardwerk über Geokunststoffe im Wasserbau von SAATHOFF & BRÄU (2009):

5.1 Lieferbedingungen

„Die Lieferbedingungen müssen alle die Lieferung betreffenden Fragen regeln, wie z. B. erforderliche Nachweise für die Eignung des angebotenen Geokunststoffs, Lieferkontrollen usw.. Dem Angebot muss eine ausführliche Beschreibung des Geokunststoffes beigefügt sein. In dieser Produktbeschreibung sind allgemeine und den Anwendungsfall betreffende Angaben aufzuführen. Hinweise finden sich in den entsprechenden DIN-Normen (einige wichtige sind dem Literaturverzeichnis zu entnehmen).

Zu den Lieferbedingungen gehören weiterhin Lieferschein, Rollenetikett/CE-Etikett sowie fortlaufende Kennzeichnung des Produkts. Nicht eindeutig identifizierbare und gekennzeichnete Produkte dürfen nicht eingebaut werden“.

5.2 Qualitätssicherung

„Der Qualitätssicherung dienen Eignungs-, Eigenüberwachungs-, Fremdüberwachungs- und Kontrollprüfungen:

Eignungsprüfungen

dienen dem Nachweis der Eignung der Geokunststoffe für den vorgesehenen Verwendungszweck, entsprechend den Anforderungen des Bauvertrags. Der Bieter muss dem Auftraggeber vor Auftragsvergabe die Eignung des vorgesehenen Geokunststoffs nachweisen. Der Nachweis der in der Ausschreibung geforderten Eigenschaften ist durch Prüfzeugnisse einer vom Auftraggeber anerkannten Prüfstelle zu erbringen.

Eigenüberwachungsprüfungen

sind Prüfungen des Auftragnehmers oder dessen Beauftragten, um festzustellen, ob die Güteeigenschaften des Geokunststoffs den vertraglichen Anforderungen entsprechen. Neben dieser Eigenüberwachung im Werk (zukünftiger Begriff: Eigenüberwachung der Produktion) muss zusätzlich auf der Baustelle eine Eigenüberwachung auch im Sinne des korrekten Einbaus durchgeführt werden (zukünftiger Begriff: Eigenüberwachung der Bauausführung).

Fremdüberwachungsprüfungen

sind von einer anerkannten, unabhängigen amtlichen Prüfstelle durchzuführen, um im Rahmen eines Fremdüberwachungsvertrags die Einhaltung der vertraglich zugesicherten Güteeigenschaften des Geokunststoffs im Werk zu überwachen (DIN 18200) (zukünftiger Begriff: Fremdüberwachung der Produktion).

Kontrollprüfungen

versetzen den Auftraggeber in die Lage festzustellen, ob die Güteeigenschaften des Geokunststoffs und/oder der fertigen Leistung den vertraglichen Anforderungen entsprechen. Ihre Ergebnisse werden der Abnahme und der Abrechnung zugrunde gelegt. Vom eigentlichen Sinn werden diese Prüfungen zukünftig als eine Art Fremdüberwachung angesehen werden müssen (zukünftiger Begriff: Fremdüberwachung der Bauausführung).“

5.3 Ausschreibung

„Die Anforderungen an die Geokunststoffe sind projektbezogen zu definieren und einschließlich der zum Nachweis der Anforderungen notwendigen Prüfungen in die Vertragsunterlagen aufzunehmen. Verwendungszweck, Einbau, Prüfumfang, Lieferbedingungen und Abrechnungsverfahren sind für die vorgesehene Leistung erschöpfend zu beschreiben. In der Baubeschreibung ist der konstruktive Aufbau des Bauwerks zu erläutern. Anschlüsse an Bauwerke sind soweit wie erforderlich zeichnerisch darzustellen. Besonderheiten der Örtlichkeit, wie mögliche Hochwassereinflüsse, Zugänglichkeit der Baustelle im Hinblick auf den Geokunststoffeinsatz etc. sind anzugeben.

In der Regel sind weitere Angaben erforderlich: Zweck, z. B. zur ... Dünensicherung oder als Sturmflutsicherung, Böschungsneigung oder Neigung der Einbaufläche, Einbaubedingungen (z. B. in trockener Baugrube, im Bereich wechselnder Wasserstände), Art des Geotextils (z. B. mechanisch verfestigter Vliesstoff, ...), Anforderungen an das Geotextil und Bodenparameter.

Nach Beendigung der Bauarbeiten sind vom Auftragnehmer Bestandsunterlagen (Dokumentation genannt) zu liefern, aus denen die endgültige Bauausführung und die verwendeten Baustoffe hervorgehen.“

5.4 Abrechnung und Gewährleistung

„Grundsätzlich ist die Abrechnungseinheit im Leistungsverzeichnis festzulegen. Besonderheiten sind in den Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen geregelt bzw. mit der Baubeschreibung zu regeln. Die Gewährleistung richtet sich nach der VOB/B. Im Einzelfall ist sie entsprechend dem Verwendungszweck näher festzulegen. Sie hat im Regelfall - gemäß den einschlägigen Vorschriften - der Gewährleistung der zugehörigen Hauptleistung der Baumaßnahmen zu entsprechen.“

6 Unterhaltung des Geotextilwalls

Aufgrund ihrer vollständigen Überdeckung mit Dünenmaterial sind Geotextilwallkonstruktionen weder anhaltenden hydrodynamischen Belastungen, noch ständigen Witterungseinflüssen bzw. andauernder UV-Strahlung ausgesetzt. Daher sind sie entsprechend langlebig. Werterhaltungsarbeiten im herkömmlichen Sinn entfallen. Maßnahmen müssen erst dann ergriffen werden, wenn im Sturmflutfall der gesamte Dünenkörper bis zum Wall abgetragen und dieser in der Folge beschädigt wird. Möglich sind beispielsweise Herauslösungserscheinungen einzelner Container oder Unterspülungen des Walles verbunden mit lokalen Sackungen. Dies ist jedoch bislang für noch keinen der Geotextilwälle in M-V eingetreten. Im Reparaturfall hätte die Containervariante gegenüber dem lamellenweisen Einbau grundsätzlich den Vorteil, dass lokale Schäden einfacher zu beheben sind (einzelne Container sind leichter zu ersetzen als ganze Lamellen). Unterhaltungsaufwand im eigentlichen Sinne entsteht nur dadurch, dass permanent eine Überdeckung mit Dünenmaterial gewährleistet werden sollte. Gegebenenfalls ergibt sich daher die Notwendigkeit von regelmäßigen Wiederholungsaufspülungen.

7 Fallbeispiele außerhalb von M-V



7.1 Deichschluss beim Rüstersieler Watt im Juli 1963 (aus Firmenprospekt bzw. Pressearchiv des Geotextilherstellers).

Das älteste bekannte Beispiel des Einsatzes von seegangsbelasteten Geotextilcontainern stammt aus dem Jahre 1963. Nördlich von Wilhelmshaven (*Rüstersieler Watt*) wurde erstmals ein Deichfuß aus großformatigen sandgefüllten Nyloncontainern (25.000 Stück) hergestellt (Abb. 7.1, vgl. IHK NRW, 2005).

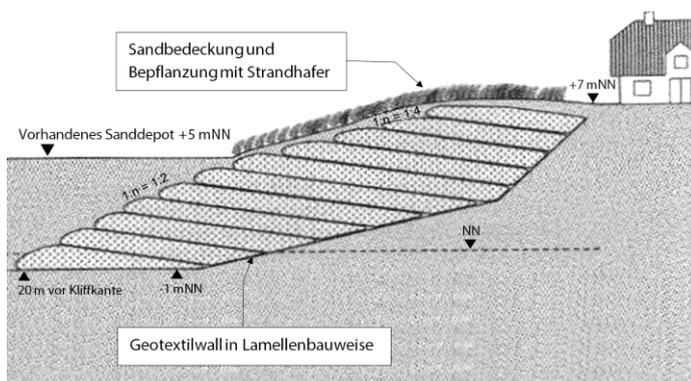
Diese Elemente dienten vor allem in der Anfangsphase dazu, die Standfestigkeit des Deiches zu gewährleisten und der Seegangbelastung standzuhalten. Es konnten wertvolle Erfahrungen im Umgang mit Vliesstoffcontainern unter Belastungsbedingungen gesammelt werden. Das Bauwerk ist nach wie vor Belastungen ausgesetzt und auch intakt.

Das bekannteste Beispiel einer Dünensicherung in Lamellenbauweise in Deutschland außerhalb von M-V ist der Objektschutz *Haus Kliffende* in *Kampen* auf der Insel Sylt (vgl. KNABE & KNABE, 1990).

Nach dem Prinzip der bewehrten Erde wurden mehrere „Matratzen“ in Umschlagmethode zu einem Schutzbauwerk aufgeschichtet (Abb. 7.2). Das Bau-

werk ist häufigen Energieeinträgen ausgesetzt, so dass es entsprechend oft frei gelegt wird. Bis dato erfüllt es seine Funktion, muss jedoch nach jeder dieser zunehmend häufigen Freilegungen wieder bedeckt werden. Am Übergang zwischen befestigtem und unbefestigtem Bereich nimmt durch den dortigen nicht aufhaltbaren Küstenrückgang die Bedrohung durch Lee-Erosion zu.

Ein Beispiel für die Verwendung von Sandsäcken als Kernsicherung einer Düne ist das *Harle Hörn* der Nordseeinsel Wangerooge (Abb. 7.3). Hier ist die Funktion des Bauwerkes jedoch nicht als letzte Hürde gegen Überflutung, sondern als Schutz gegen Küstenrückgang in einem besonders belasteten Abschnitt gedacht. Das hat zur Folge, dass dieser Geotextilwall häufiger freigelegt wird und somit Belastungen ausgesetzt ist. Seine Funktion des Haltens der Verteidigungslinie erfüllt er bis dato und ist somit gut geeignet als Objekt zum Sammeln von Erfahrungswerten im Belastungsfall. Eine häufige Neuandeckung mit Sediment ist erforderlich.



7.2 Objektschutz Haus Kliffende auf Sylt (vgl. SAATHOFF & BRÄU, 2009).





7.3 Dünensicherung am Harle Hörn der Nordseeinsel Wangerooge (nach VOHLKEN, LIND & WITTE [2003] und HARMS & MÜLLER [2002]).

SAATHOFF, OUMERACI & RESTALL (2005 und 2007) berichten auch von australischen Erfahrungen mit Geotextilbauwerken an der Küste. Die dortigen deckwerksähnlichen Bauwerke, von denen die Rede ist, sind jedoch nicht konsequent dauerhaft überdeckt konzi-

piert (Abb. 7.4). Dies wäre an der Küste M-Vs allein wegen der Beeinträchtigung des Landschaftsbildes nicht denkbar. Von einer häufigeren Belastung durch Seegang ist aufgrund der Nähe zur Uferlinie auszugehen.



7.4 Stockton Beach revetment (links) und Jumaira Beach revetment (rechts) (SAATHOFF ET AL., 2005).

8 Anhang - Bemessungshilfen

Böschungselemente

l_c	$T_p = 3 \text{ s}$		$T_p = 4 \text{ s}$		$T_p = 5 \text{ s}$		$T_p = 6 \text{ s}$		$T_p = 7 \text{ s}$		$T_p = 8 \text{ s}$	
	von	bis										
0,8	0,47	1,11	0,52	1,29								
0,9	0,58	1,22	0,65	1,40								
1	0,71	1,32	0,79	1,52								
1,1	0,84	1,41	0,95	1,63								
1,2	0,98	1,51	1,12	1,74	1,20	1,95	1,24	2,13	1,26	2,31	1,28	2,46
1,3	1,14	1,60	1,31	1,85	1,40	2,07	1,45	2,27	1,48	2,45	1,50	2,62
1,4	1,29	1,69	1,51	1,96	1,61	2,19	1,67	2,40	1,71	2,59	1,73	2,77
1,5			1,72	2,06	1,84	2,30	1,92	2,52	1,96	2,73	1,99	2,91
1,6			1,94	2,16	2,09	2,42	2,18	2,65	2,23	2,86	2,26	3,06
1,7					2,35	2,53	2,45	2,77	2,51	2,99	2,55	3,20
1,8					2,63	2,64	2,74	2,89	2,81	3,13	2,85	3,34
1,9							3,05	3,01	3,13	3,25	3,18	3,48
2									3,46	3,38	3,52	3,62



8.1 Vliesstoffcontainerlänge l_c in m für Böschungselemente (Modifizierung von OUMERACI ET AL. 2002 und RECIO 2007).

Kronenelemente

l_c	$T_p = 3 \text{ s}$		$T_p = 4 \text{ s}$		$T_p = 5 \text{ s}$		$T_p = 6 \text{ s}$		$T_p = 7 \text{ s}$		$T_p = 8 \text{ s}$	
	von	bis										
0,8	0,61	1,59	0,67	1,59								
0,9	0,76	1,82	0,84	1,82								
1	0,93	2,05	1,03	2,05								
1,1	1,11	2,28	1,24	2,28								
1,2	1,31	2,52	1,47	2,52	1,55	2,52	1,59	2,52	1,62	2,52	1,63	2,52
1,3	1,52	2,75	1,72	2,75	1,82	2,75	1,87	2,75	1,90	2,75	1,92	2,75
1,4	1,74	2,99	1,99	2,99	2,11	2,99	2,17	2,99	2,21	2,99	2,23	2,99
1,5			2,28	3,22	2,42	3,22	2,50	3,22	2,54	3,22	2,56	3,22
1,6			2,59	3,46	2,75	3,46	2,84	3,46	2,89	3,46	2,92	3,46
1,7					3,11	3,69	3,21	3,69	3,26	3,69	3,30	3,69
1,8					3,49	3,93	3,60	3,93	3,66	3,93	3,70	3,93
1,9							4,02	4,16	4,09	4,16	4,13	4,16
2									4,53	4,40	4,58	4,40



8.2 Vliesstoffcontainerlänge l_c in m für Kronenelemente (Modifizierung von OUMERACI ET AL. 2002 und RECIO 2007).

9 Quellenverzeichnis

Literatur/ Sonstige Grundlagen

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (LFW) (1992): *Wasserbautechnik. Hinweise zur Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Merkblatt Nr. 5.2/1.*
- BLECK M., MOMSEN, U., SCHÖNER, M. (2010): *Geotextile Sandcontainer im Küstenschutz; HCU Symposium Geoinformationen für die Küstenzone.*
- BOHN, H. (2005): *Ausführungsplanung zum Vorhaben Sturmflutschutz Warnemünde/ Außenküste, Geotextildamm, Dünenverstärkung, Promenadenerneuerung; Kkm F 144.600 - Kkm F 145.740 (Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock). Archiv StALU Rostock.*
- BOHN, H. (2001): *Genehmigungs- und Ausführungsplanung Sturmflutschutz Glowe, Geotextildamm (Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock). Archiv StALU Rostock.*
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1990): *Standortsicherheitsnachweis zum Objektschutz Haus Kliffende.* (auszugsweise in „Ausgewählte Unterlagen zum Bauvorhaben Objektschutz Haus Kliffende in Kampen auf der Insel Sylt“ (Ingenieurbüro Knabe & Knabe).
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1993): *MAG - Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen.* Karlsruhe: Eigenverlag.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1989): *MAK - Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen.* Karlsruhe: Eigenverlag.
- BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (1994): *RPG - Richtlinien für die Prüfung von geotextilen Filtern im Verkehrswasserbau.* Karlsruhe : Eigenverlag.
- CUR 214 (2004): *Geotextiele zandelementen.* Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Netherlands.
- CUR 214 (2006): *Ontwerpen met geotextiele zandelementen.* Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Netherlands.
- DIN 61301-E: *Geotextilien: Begriffe und anzuwendende Prüfungen.*
- DIN EN 12224: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Witterungsbeständigkeit; Deutsche Fassung EN 12224:2000.* Ausgabe: 2000-11.
- DIN EN 1325: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erd- und Grundbau sowie in Stützbauwerken.* Ausgabe 2005.
- DIN EN 13253: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erosionsschutzanlagen (Küstenschutz und Deckwerksbau).* Ausgabe 2005.
- DIN EN 13383: *Wasserbausteine.* Ausgabe 2002.
- DIN EN 29073-3: *Textilien; Prüfverfahren für Vliesstoffe Teil 3: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung.* Ausgabe 1992.
- DIN EN ISO 10318: *Geokunststoffe – Begriffe (ISO 10318:2005); Dreisprachige Fassung EN ISO 10318:2006.* Ausgabe 2006.
- DIN EN ISO 10319: *Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen (ISO 10319:2008); Deutsche Fassung EN ISO 10319:2008, Beuth Verlag GmbH.* Ausgabe 2008.
- DIN EN ISO 10320: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Identifikation auf der Baustelle (ISO 10320:1999); Deutsche Fassung EN ISO 10320: Ausgabe 1999.*
- DIN EN ISO 10321: *Geokunststoffe - Zugprüfung von Verbindungen/Nähten am breiten Streifen (ISO 10321:2008); Deutsche Fassung EN ISO 10321: Ausgabe 2008.*
- DIN EN ISO 12956: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der charakteristischen Öffnungsweite (ISO 12956: 2010, früher: DIN EN 60500); Deutsche Fassung EN ISO 12956: Ausgabe 2010.*
- DIN EN ISO 12957-1: *Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 1: Scherkastenversuch (ISO 12957-1:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-1: Ausgabe 2005.*
- DIN EN ISO 12957-2: *Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 2: Schiefe-Ebene-Versuch (ISO 12957-2:2005); Deutsche Fassung EN ISO 12957-2: Ausgabe 2005.*
- DIN EN ISO 13934-1: *Textilien - Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden - Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch (ISO 13934-1:1999); Deutsche Fassung EN ISO 13934-1: Ausgabe 1999.*
- DIN EN ISO 9863-1: *Geokunststoffe - Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken - Teil 1: Einzellagen (ISO 9863-1:2005, früher: DIN EN 964-1); Deutsche Fassung EN ISO 9863-1: Ausgabe 2005.*
- DIN EN ISO 9863-2: *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Dicke unter festgeleg-*

- ten Drücken - Teil 2: Verfahren zur Bestimmung der Dicke der Einzellagen von mehrlagigen Produkten (ISO 9863-2: 1996, früher: DIN EN 964-2); Deutsche Fassung EN ISO 9863-2: Ausgabe 1996.
- DIN EN ISO 9864: Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten (ISO 9864:2005, früher DIN EN 965); Deutsche Fassung EN ISO 9864: Ausgabe 2005.
- DUDEK, J. (2000): *Planung Sturmflutschutz Rerik – Geotextilsicherung, Sofortmaßnahme (Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock)*.
Archiv StALU Rostock.
- DVWK (1992): *Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Heft 221/1992*.
Hamburg/Berlin: Verlag Paul Parey.
- EAG-Con (Entwurf 2003): Empfehlungen zur Anwendung von geotextilen Containern im Wasserbau. Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau“ der DGGT, derzeit in Bearbeitung
- EAU - Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufer-einfassungen“ (2004). *Häfen und Wasserstraßen. 10. Auflage*.
Berlin: Verlag Ernst & Sohn.
- FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1987): *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien im Erdbau*.
Köln: Eigenverlag GmbH.
- Firmenprospekte bzw. digitales Pressearchive verschiedener Geotextilhersteller.
- GÖRCKE, F. (1999): *Sturmflutschutz Graal-Müritz; 2.TV Geotextilsicherung, Ausführungsplanung (Staatliches Amt für Umwelt und Natur Rostock)*.
Archiv StALU Rostock.
- HARMS, R & MÜLLER, G. (2002): *Dünensicherung mit geotextilen Sandsäcken*. Aus „Zwischen Weser und Ems“ (WSD Nordwest).
- HINZ, M.; BLECK, M.; OUMERACI, H.; SOMMERMEIER, K. (2003): *Stabilitätsverhalten geotextiler Sandcontainer unter Seegangbelastung in Zeitschrift der Bodenmechanik Erd- und Grundbau Felsmechanik Ingenieurgeologie Geokunststoffe Deponien Altlasten, Organ der deutschen Gesellschaft für Geotechnik*. Jahrgang 26, Heft 2, S. 88.
- IHK NRW (2005): *Zeitschrift „Wirtschaftsspiegel“ der IHK Nordrhein-Westfalen*. Ausgabe 7/8 2005.
- KFKI (2002): *EAK 2002 – Die Küste: Empfehlungen für Küstenschutzwerke*. Heft 65.
- KNABE & KNABE (1990): *Auszugsweise Planungsunterlagen Bauvorhaben „Objektschutz Haus Kliffende“ in Kampen auf der Insel Sylt*. Archiv StALU Rostock.
- M GEO E - Merkblatt des Arbeitsausschusses „Anwendung von Geokunststoffen im Straßenbau“ (2005): *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus*.
Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV 535.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ M-V (2012): *Regelwerk Küstenschutz Mecklenburg-Vorpommern/ Themenheft „3-3/2012 Landesküstenschutzdünen“ (Entwurf)*.
- OUMERACI, H.; RECIO, J. (2009): *Geotextile sand containers for shore protection*. In: KIM, Y.C. (ed.): *Handbook of Ocean and Coastal Engineering*.
USA: World Scientific (Monographs).
- OUMERACI, H.; BLECK, M.; HINZ, M. (2002): *Untersuchungen zur Funktionalität geotextiler Sandcontainer – Bericht Nr. 874*. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig.
- OUMERACI, H.; BLECK, M.; HINZ, M.; KÜBLER, S. (2002): *Großmaßstäbliche Untersuchungen zur hydraulischen Stabilität geotextiler Sandcontainer unter Wellenbelastung (Abschlußbericht) - Bericht Nr. 878*. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig.
- OUMERACI, H.; BLECK, M.; HINZ, M.; MÖLLER, J. (2002): *Theoretische Untersuchungen zur Anwendung geotextiler Sandcontainer im Küstenschutz – Bericht Nr. 866*. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig.
- RECIO, J. (2007): *Hydraulic Stability of Geotextile Sand Containers for Coastal Structures - Effect of Deformations and Stability Formulae – Dissertation*. Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig.
- SAATHOFF, F., OUMERACI, H., RESTALL, S. (2005): *Australian & German experiences on the use of geotextile containers. Proceedings of International Symposium on Tsunami Reconstruction with Geosynthetics. Asian Center for soil Improvement and Geosynthetics*. S. 137-155. Bangkok/Thailand: ACSIG Pathumthani.
- SAATHOFF, F., OUMERACI, H., RESTALL, S. (2007): *Australian & German experiences on the use of geotextile containers*. *Geotextiles and Geomembranes* 25, S. 251-263.
- SAATHOFF, F.; BRÄU, G. (2009): *Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau. Grundbautaschenbuch: Teil 2 Geotechnische Verfahren, 7. Auflage*. S. 737-773.
Berlin: Verlag Ernst & Sohn.
- SAATHOFF, F.; ZITSCHER, F.-F. (2001): *Geokunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau. Grundbautaschenbuch: Teil 2 Geotechnische Verfahren, 6. Auflage*. S. 673-746.
Berlin: Verlag Ernst & Sohn.



- SMID, R. (2001): *Untersuchungen zur Ermittlung der mittleren Wellenüberlaufrate an einer senkrechten Wand und einer 1:1,5 geneigten Böschung für Versuche mit und ohne Freibord*. Studienarbeit des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig.
- TLG - Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (2008).
- TLW - Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (2003).
- THAMM, B. (1997): *Berechnung und Dimensionierung von Erdkörpern mit Bewehrungseinlagen aus Geokunststoffen*. Geotechnik 20, Nr.2.
- VOHLKEN, J., LIND, H., WITTE, J. (2003): *Dünensicherung Harlehörn / Wangerooge mit geotextilen Sandcontainern*. HANSA, 140. Jahrgang, Nr. 4, S. 60-62.
- WILMERS, W. (1984): *Anforderungen an Geotextilien aus der Sicht des Straßenbaues*. 23. Internationale Chemiefasertagung, Dornbirn.
- WOUTERS (1998): *Open Taludbekleidungen; stabiliteit van geosystems (stability of Geosystems)*. Delft Hydraulics, no. H1939, Annex 7, Delft, Netherlands.

Bildquelle Titelbild:

JÄGER, B.: „Geotextildammbau Warnemünde 2005/06“

Impressum

Bearbeitung

StALU Mittleres Mecklenburg
Dezernatsgruppe Küste, Frank Göricke

Redaktion & Layout

StALU Mittleres Mecklenburg
Dezernatsgruppe Küste, Anja Klee

Produktion

Verlag Redieck & Schade GmbH, Rostock

