Empfehlungen G 2002

Seedeiche und Tidestromdeiche

Inhalt

1. Einführung ... 401

2. Entwurf von Deichtrasse und Deichprofil ... 401
2.1 Funktioneller Entwurf auf der Grundlage der Bemessungswerte ... 401
2.1.1 Grundsätzliches zur Linienführung ... 401
2.1.2 Grundsätzliches zum Deichprofil ... 403
2.2 Konstruktive Gestaltung ... 406
2.2.1 Übersicht über die Deichelemente ... 406
2.2.2 Deichfuß ... 406
2.2.2.1 Vorlanddeich ... 406
2.2.2.2 Schardeich ... 407
2.2.3 Außenberme ... 410
2.2.3.1 Vorlanddeich mit Teekabfuhrweg ... 410
2.2.3.2 Schardeich ... 411
2.2.4 Außenböschung ... 412
2.2.5 Deichkrone ... 412
2.2.6 Binnenböschung ... 414
2.2.7 Binnenbermen und Längswege ... 415
2.2.8 Deichrampen ... 416
2.2.9 Deichscharte , Deichstöpen ... 417
2.2.10 Deichentwässerung ... 417
2.3 Andere Deiche ... 420
2.3.1 Sonstige Deiche ... 420
2.3.2 Sommerdeiche ... 420

3. Geotechnische Untersuchungen ... 421
3.1 Erkundung von Lagerstätten ... 421
3.2 Qualitätsanforderungen ... 422
3.2.1 Material für den Deichkern ... 422
3.2.1.1 Grobkörnige (sandige) Bodenarten ... 422
3.2.1.2 Gemischtkörnige Bodenarten (Sand-Schluff-Gemenge) ... 423
3.2.1.3 Geschiebelehm/-mergel ... 425
3.2.2 Material für die Deichbedeckung ... 427
3.2.2.1 Klei ... 427
3.2.2.2 Geschiebelehm/-mergel ... 432
3.2.2.3 Eiszeitliche Schluffe und Tone ... 435
3.2.3 Verwendung von Baggergut im Deichbau ... 437

4. Bau des Deichkörpers ... 443
4.1 Vorbereiten der tragfähigen Deichbasis ... 444
4.1.1 Räumung von Weichböden ... 444
4.1.2 Bodenaustausch ... 445
4.1.3 Vertikaldränage ... 446
4.1.4 Vorbelastung ... 448
4.1.5 Geokunststoffe ... 449
4.2 Einbau des Kernmaterials ... 451
4.2.1 Nassbaggerverfahren ... 451

4.2.1.1 Gerätewahl ... 451
4.2.1.2 Spülbetrieb ... 455
4.2.1.3 Spülfeld ... 459
4.2.1.4 Profilieren ... 460
4.2.2 Trockenbetrieb ... 461
4.2.2.1 Gewinnen und Transportieren ... 462
4.2.2.2 Einbau, Verdichten, Profilieren ... 463
4.3 Einbau der Deckschicht ... 463
4.3.1 Grundsätzliches zu offenen Deckschichten ... 463
4.3.1.1 Offenes Fußdeckwerk ... 463
4.3.1.2 Filter unter offenen Betonsteinpflasterdecken ... 464
4.3.2 Bindige Deckschichten ... 464
4.3.2.1 Gewinnen und Transportieren ... 464
4.3.2.2 Einbauen, Verdichten, Profilieren ... 465
4.3.3 Aufbereitung und Einbau von Baggergut (s. a. 3.2.3) ... 466
4.3.4 Deichbegrünung ... 472
4.3.4.1 Planung einer Grasnarbe auf Tidestrom- und Seedeichen ... 472
4.3.4.2 Bauausführung ... 478
4.3.4.3 Entwicklungs- und Unterhaltungspflege ... 479
4.3.5 Asphaltdeckschichten ... 480
4.3.5.1 Allgemeines ... 480
4.3.5.2 Einbauen, Profilieren und Verdichten von Asphaltbetondecken ... 481
4.3.5.3 Oberflächenversiegelung von Asphaltbetondeckwerken ... 484
4.3.5.4 Ausführung von Vergussbauweisen ... 484
4.3.5.5 Asphaltmastixverguss zur Unterhaltung von Deckwerken ... 485
4.3.5.6 Eingussdecken ... 486
4.3.5.7 Offene Deckwerke aus Mastixgestein ... 486
4.3.5.8 Matten ... 489
4.3.6 Betondeckschichten ... 492
4.3.6.1 Allgemeines ... 492
4.3.6.2 Fußausbildung von Betonsteindeckwerken ... 493
4.3.6.3 Teilvergossenes Schüttsteindeckwerk als Sicherung der Außenböschung ... 493
4.3.6.4 Hinweise zur Bauausführung des teilvergossenen Schüttsteindeckwerkes ... 495
4.3.6.5 Ausgeführte Beispiele auf Norderney und Hiddensee ... 498
4.3.7 Steindeckschichten in Schwergewichtsbauweise ... 501
4.3.7.1 Allgemeines ... 501
4.3.7.2 Deckwerksaufbau ... 501
4.3.7.3 Fuß- und Kronenaufbau ... 502

5. Bedingungen der Baustelle und der Bodenentnahmestellen ... 503
5.1 Tide- und Wasserverhältnisse ... 503
5.1.1 Bauzeit ... 503
5.1.2 Bauablauf, Baustellenentwässerung ... 504
5.2 Verkehrsbedingungen ... 504
5.2.1 Allgemein ... 504
5.2.2 Baustraßen auf weichem Untergrund ... 505
5.3 Umweltbedingungen ... 507

6. Beispiele ausgeführter Deichbauten ... 509

7. Schriftenverzeichnis zu Empfehlungen G ... 546

1. Einführung

In den Sturmflutschutzsystemen sowohl an der Nordsee als auch an der Ostsee können Deiche verschiedene Funktionen haben. In diesen Empfehlungen geht es im Wesentlichen um den Hauptdeich/Landesschutzdeich, das Hauptbauwerk zum Kehren der Bemessungssturmflut und zum Schutz von zusammenhängend bebauten Gebieten und ihrer Infrastruktur.

Die Deichbaumaßnahmen können entweder eine Erhöhung und Verstärkung des Deiches oder einen – heute sehr selten vorkommenden – Deichneubau zum Ziel haben. Nach den Landesdeich- bzw. Wassergesetzen der einzelnen zuständigen Bundesländer an den Küsten ist die Bezeichnung dieser Deiche unterschiedlich geregelt, und zwar werden sie in Niedersachsen, Hamburg und Bremen als Hauptdeich, in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern als Landesschutzdeich bezeichnet. Für andere Deiche wie die der 2. Deichlinie, Überlaufdeiche, Sommerdeiche und dgl. ist dieses jeweils besonders vermerkt.

Bei der Erhöhung und Verstärkung von Deichen werden diese i. d. R. an die Entwicklung der Sturmflutwasserstände und deren Belastungen angepasst. Die Empfehlungen A 2002, Abschnitt 2, befassen sich mit der der Bemessung des Deiches zugrunde liegenden Bemessungssturmflut bzw. dem Bemessungshochwasserstand (BHW). Dabei ist zu unterscheiden zwischen den häufiger auftretenden tidebeeinflussten Sturmflutwasserständen an der Nordseeküste, ihren Ästuaren und Tideströmen und den seltener auftretenden Ostseesturmfluten mit ausgedehnten Verweilzeiten.

Vielerorts ist geeigneter Deichboden vor allem für die Deichbedeckung knapp. Der Erkundung der verkehrsgünstig gelegenen Lagerstätten und der Beachtung der ausführlich behandelten Qualitätsanforderungen für Deichböden kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Auch aus wirtschaftlichen Gründen empfiehlt es sich, die Boden- und Baugrunderkundung rechtzeitig durchzuführen, um deren Ergebnisse für das behördliche Genehmigungsverfahren sowie für die Ausschreibung zugrunde legen zu können.

Deiche liegen in der Regel im Bereich von naturschutzrechtlich geschützten Gebieten oder gesetzlich geschützten Biotopen. Deichbaumaßnahmen sind grundsätzlich als Eingriffe in Natur und Landschaft zu werten. Daher ist es Aufgabe des Küstenschutzes, bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen Eingriffe zu minimieren und – soweit unvermeidlich – möglichst schonend mit Natur und Landschaft umzugehen.

2. Entwurf von Deichtrasse und Deichprofil

2.1 Funktioneller Entwurf auf der Grundlage der Bemessungswerte

2.1.1 Grundsätzliches zur Linienführung

Die Deichlinien an den Küsten liegen weitgehend fest. Vordeichungen zum Zweck der Gewinnung von landwirtschaftlichen Nutzflächen werden nicht mehr durchgeführt. Dennoch kann ein Deichneubau auch auf vorverlagerter Linie erforderlich werden. In diesem Fall sind folgende Kriterien zu beachten: Deichverkürzung, Schaffung einer zweiten Deichlinie, Flutraumverringerung in Watteinzugsgebieten, Umgehung von schlechtem Baugrund, Hochwasserentlastung für das Binnenland, betroffene schutzwürdige Biotope, Minimieren der Zahl der Kreuzungsbauwerke wie Siele, Schleusen o. ä. durch Zusammenlegen.

Die großräumige Aufgabe oder Rückverlegung von Deichen werden gelegentlich aus Naturschutzkreisen gefordert. Sie sind jedoch bei den heutigen gesellschaftlichen Wertvorstellungen nur in Ausnahmefällen möglich, wenn

- der Sicherheitsstandard mindestens erhalten bleibt, einschließlich einer evtl. vorhandenen doppelten Deichsicherheit,
- die Betroffenen einverstanden sind und
- der Küstenschutz von Mehrkosten freigehalten wird (zumal deren Finanzierung im Rahmen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" nicht möglich ist).

Bei Überlauf- oder sonstigen Deichen, die keine Menschenleben schützen und daher geringere Schutzanforderungen haben, kann eine solche Maßnahme geboten sein, wenn sozioökonomische Gründe, insbesondere das Kosten-Nutzen-Verhältnis, dafür sprechen. Entsprechende Überlegungen und Planungen wurden in Schleswig-Holstein für einige Gebiete vorgenommen, konnten aber bisher nicht umgesetzt werden.

Bei Landesschutzdeichen bestehen keine Planungen in dieser Richtung.

Bei Deichverstärkungen beschränkt sich die Trassenwahl auf Variationen im Rahmen der bestehenden Linienführung. Die örtlichen Verhältnisse sind meist sehr unterschiedlich. Daher können hier nur die zu beachtenden Kriterien beschrieben werden.

Ein neues Deichprofil ist in der Regel breiter als das vorherige. Daher muss zwischen Außen-, Innen- und mittiger Verstärkung entschieden werden. In der Regel sind die Vorland-, Watt- oder Strandbereiche vor den Küsten schutzwürdige Biotope, die oft einen besonderen Schutzstatus genießen wie z. B. die Nationalparke. Daher sollen Deiche grundsätzlich nach innen verstärkt werden, um den Eingriff in Natur und Landschaft möglichst gering zu halten. Oft sind jedoch Abweichungen von diesem Grundsatz erforderlich. Folgende Kriterien spielen dabei eine Rolle:

- Bebauung oder Infrastruktur (z. B. Straßen, Windräder o. ä.) vor oder hinter dem Deich,
- schutzwürdige Biotope vor oder hinter dem Deich,
- Vorbelastung des Baugrundes unter dem Altdeichkern.

Abweichungen von der vorgegebenen Linienführung können sinnvoll sein, wenn durch Ausrundung von Innen- oder Außenecken gestrecktere Linienführungen, Verkürzungen oder Vermeidung von „Treibselecken" erreicht werden können. Örtliche Rückverlegungen kommen im Rahmen von Deichverstärkungen an geeigneten Stellen als Kompensation für Eingriffe in Frage. So sind in Hamburg vier Deichrückverlegungen von insgesamt 37 ha durchgeführt und positiv aufgenommen worden.

An den sandigen Küsten der Ostsee (M-V) wurden die Landesschutzdeiche hinter seegangsdämpfendem Vorland errichtet. Scharliegende, grüne Seedeiche wurden nicht gebaut. Gegenwärtig sind aber durch den ständigen Uferlinienrückgang die Vorlandbreiten stark reduziert. Strand, Düne und Wald sind schmal, und im Falle der Bemessungssturmflut trifft brandender Seegang auf den Deich, der damit überlastet ist. Deichrückverlegung zur Schaffung neuer, ausreichender Vorlandbreiten ist aus vorgenannten Gründen nicht möglich, stattdessen wird 1.) Vorlandverstärkung durch Sandauffüllung (Aufspülung) ausgeführt und dadurch der Deich während des Hauptteils der ausgedehnten Sturmflutdauer entlastet. Regelmäßige Wiederholungsspülungen sind nötig. Wird der Spülaufwand zu groß (kurzes Spülintervall) ist 2.) die Deichverstärkung auf vorhandener Trasse erforderlich, die Änderungen im Aufbau des Deichkörpers und im Deichprofil zur Folge hat. Da landwärts des Deiches ein neuer Streifen in Anspruch genommen wird, sind frühzeitig Vorbehaltsflächen einzurichten. An den Bodden- und Haffküsten Mecklenburg-Vorpommerns werden scharliegende, unterdimensionierte lange und ortsferne Deichstrecken, deren Ausbau und Unter-

haltung zur Kehrung des BHW mit unvertretbarem technischen und finanziellen Aufwand verbunden wäre, durch ortsnahe, erheblich verkürzte Deichneubauten ersetzt. Dabei wird die Deichbelastung durch das entstehende breitere und höher liegende Vorland, das bei Bedarf weiter extensiv landwirtschaftlich genutzt oder der natürlichen Überflutung überlassen werden kann, verringert. Erforderlichenfalls werden die Altdeiche zur weiteren Belastungsminderung erhalten.

2.1.2 Grundsätzliches zum Deichprofil

Zur Erhaltung des Landschaftsbildes im Küstengebiet, zur Beibehaltung einfacher Unterhaltungs- und Pflegearbeiten und aus Kostengründen sollten Deiche möglichst mit begrünter Decke gebaut werden. An der Nordseeküste und ihren Tideströmen werden Deiche heute fast ausschließlich aus einem Sandkern mit Kleidecke hergestellt. An der Ostseeküste bildet eine Mergelabdeckung die obere, weitgehend erosionsfeste und zur Begrünung geeignete Schicht. Der Deichkern wird – soweit verfügbar – aus Sand, ansonsten aus bindigem Boden aufgebaut. Homogene Kleideiche werden heute nicht mehr gebaut. Der Mangel an geeigneten, bindigen Böden sowie wirtschaftliche Gründe haben dazu geführt. Ferner ermöglicht ein Sandkern aus erdstatischen Gründen eine kürzere Bauzeit.

Deiche mit einer vollständigen Asphaltbedeckung sind in Deutschland nur in besonderen Einzelfällen hergestellt worden. Eine Sonderlösung stellt auch der homogene Sanddeich dar, der mit sehr flachen, strandähnlichen Böschungen oder mit einer Umhüllung des Kerns mit Geotextil – auch als Karnickelsperre – bevorzugt auf den Inseln gebaut worden ist.

Der in Regelbauweise erstellte Deich aus einem Sandkern mit Klei- oder Mergeldecke geht als Vorlanddeich mit flacher werdender Neigung in das Vorland über (s. Abschn. 2.2.2.1) oder weist als Schardeich ohne schützendes Deichvorland ein Fußdeckwerk auf (s. Abschn. 2.2.2.2) und wird im Folgenden behandelt.

Deichprofile sollen so gestaltet werden, dass sie nicht nur die erforderliche Wehrfähigkeit gewährleisten, sondern auch eine Reihe von weiteren Bedingungen möglichst weitgehend erfüllen. Dies sind beispielsweise:

- Wirtschaftlichkeit
- geringe Schadensanfälligkeit (auch bei niedrigen Sturmfluten)
- kleinstmöglicher Eingriff
- Instandhaltungsfreundlichkeit
- Langlebigkeit

Um dieses zu erreichen, gibt es eine Reihe von Variationsmöglichkeiten der verschiedenen Deichelemente:

- Neigungen und Höhe
- Materialart und -güte
- Schichtdicke.

Unstetigkeiten in grünen Deichböschungen wie starke Neigungswechsel oder Einbauten (Pfähle, Bauwerke, Wechsel der Böschungsbefestigung usw.) können bei Wellenangriff zusätzliche Turbulenzen im Auflaufschwall hervorrufen. Dies kann, wie Beispiele bei früheren Sturmfluten gezeigt haben, Ursache für Schäden sein. Daher sollten Neigungswechsel ausgerundet und starre Einbauten nach Möglichkeit vermieden werden.

Generell sollten möglichst flache Profile mit natürlichen Baustoffen (grüne Deiche) gewählt werden. In den Ländern sind verschiedene spezifische Standardprofile entstanden, die mit den o. g. Optionen weiter an regionale Besonderheiten angepasst werden können.

Die Küste, 88 (2020) 1-589 https://doi.org/10.18171/1.088100

Tab. G 1: Deichelemente

		Nordsee			Ostsee			
	Deichelement	Nds	SH	HH	SH	MV Seedeiche	MV Bodden-/Haffdeiche	Bemerkungen
2.2.2.1	Deichfuß Vorlanddeich							
	Neigung	1:10–1:15	1:10–1:15	1:6–1:10	1:15	1:3–1:6	1:3–1:6	MV-Seedeiche:
	äußere Entwässerung	Grüppen 10–15 m Abstand senkrecht z. Deich	Grüppen 10 m Abstand senkrecht z. Deich	Geländeprofil	nv	nv	nv	Vorland mit Düne und Wald
2.2.2.2	Deichfuß Schardeich (Deckwerk)							
	Deckwerksunterkante	Fußpfahlreihe Holzspundwand Überd. > = 0,5 m	Fußpfahlreihe Überd. > = 0,5 m	horizontale Steinvorlage	Fußpfahlreihe, -spundwand, Findlingsreihe	horizontale Steinvorlage	horizontale Steinvorlage	
	Deckwerksoberkante MThw +/MW +	2,0 m	1,5 m–1,7 m	1 m	> = 2 m	= Deichkrone (Deckw. auf ges. Böschung)	= Deichkrone (Deckw. auf ges. Böschung)	
	Neigung	1:3	1:3	1:3	1:3–1:4	1:3–1:6	1:3	
2.2.3.1	Außenberme Vorlanddeich (Treibselabfuhrweg)							
	Breite	3 m	3 m	3 m		nv	nv	
	Höhenlage MThw +	> 2,0–2,5 m	1,5–2,0 m	> 1,0 m				SH: Höhe nach Treibselanfall
	Material	Betonstein, Asphalt	Asphalt (Betonstein)	Schlackenkiessand, Schotter				SH: Beton nicht bewährt (schnell vertiefende Spurrillen)
2.2.3.2	Außenberme Schardeich (Wellenüberschlagsicherung)							
	Breite/Neigung	4 m/1:10 (Fahrspur)	5 m / 1:15	3 m / 6 %	5 m / 1:15–1:20	nv	nv	SH: nicht > 1:15 wg Befahrbarkeit
	Bermenbegrenzung	Spurbahnplatte m. H- V-Verbund (Asphaltsporn)/ Fahrspur aus Ortbeton bzw. Ortbetonholmen	Keilfalzplatten (Asphaltsporn)	Betonholm, Spundwand, Winkelstützwand	Keilfalzplatten (Asphaltsporn)			
2.2.4	Außenböschung							
	Neigungen Regel unterer Bereich	6–9 m / 1:6 Asphaltbeton/ Betonsteine	1:10 unterh. maßg. Sttwst	1:3 (Böschungsdeckwerk MThw + 1,0–3,5 m)	> 1:6	1:3–1:6	1:3–1:6	

Fortsetzung Tab. G 1

	Neigungen Regel mittlerer Bereich	1:6 Klei	1:8 1 m um maßg. Stflwst.	1:3 (oben Klei)				
	Neigungen Regel oberer Bereich	1:6 Klei	1:6 oberh. maßg. Stflwst.	1:3				
	Neigungen in Sonderfällen	< = 1:8		1:4	1:8–1:15	1:7–1:12	1:7–1:12	Nds: bei besonders schwerer Belastung
	Deckschicht Dicke	1,3–1,5 m	1,0 m (1,1 m bei Abnahme)	1,5–2 m	1,0 m	0,5–1,2 m	0,5–0,7 m	MV: incl. 0,2 m Kulturboden mit Rasenansaat
	Deckschicht Dicke Inseldeiche	0,8 m	1,0 m (1,1 m bei Abnahme)					
2.2.5	Deichkrone							
	Breite	3 m	2,5 m (3 m)	3 m	2,5/3 m	3,0–3,5 m	2,0–3,0 m	
	Stich	15 cm	10–15 cm	r = 5 m				
	Quergefälle			4 %	4 %	3–6 %	3–6 %	
2.2.6	Binnenböschung							
	Neigungen	1:3	1:3	1:3	1:3	1:2/1:3	1:2/1:3	
	Deckschicht Dicke	> = 1,0 m	0,5 m (0,55 m bei Abnahme)	> 1,3 m	> = 0,5 m	> = 0,5–0,7 m	0,2–0,7 m	MV: incl. 0,2 m Kulturboden mit Rasenansaat
	Deckschicht Dicke Inseldeiche	> = 0,5 m						
2.2.7	Binnenberme, DV-Weg. Deichlängsweg							
	Höhe MThw + / MW +	0,5–1,0 m	1,0 m	abh. v. Bebauung u. Anschlußstraßen	> = 0,75 m	0,5–2,0 m	0,5–2,0 m	
	Bermenbreite	10 m	10 m	> 8,5 m	10 m	nv	nv	
	Straßenbreite	3 m	3 m	> 5,5 m	3 m	3–4 m	3–4 m	
	Abstand Zufahrten	3–4 km	3–4 km	max. 2 km	3–4 km	0,2–0,8 km	0,2–0,4 km	
	Abstand Rampen	3–4 km	1,5–2 km	max. 2 km	3–4 km			
	Neigungen Rampen	1:20/1:30 (Inseln)	1:20	1:10	1:20	1:10		
	Bemerkungen	Neigungen der (Klei)Böschungen und Kleistärken bei Bauabnahme	Neigungen der (Klei)Böschungen und Kleistärken im Endzustand – nach Setzungen/Sackungen/Schrumpfungen	Neigungen der (Klei)Böschungen und Kleistärken bei Bauabnahme	Neigungen der (Klei)Böschungen und Kleistärken im Endzustand – nach Setzungen/Sackungen/Schrumpfungen			

2.2 Konstruktive Gestaltung

2.2.1 Übersicht

Obwohl die Deiche in den verschiedenen Bundesländern jeweils an Nord- und Ostsee und an den tidebeeinflussten Abschnitten der Flüsse vergleichbare Wehrfähigkeiten aufweisen, haben sich die Deichelemente teilweise unterschiedlich entwickelt. Gründe dafür können Unterschiede in Zuständigkeiten, örtlicher Lage, Baustoffvorkommen und -qualität und angreifenden Kräften sein. Es kann auch der Fall eintreten, dass Deichelemente sich gegenseitig beeinflussen und so Unterschiede ausgleichen.

In der Tab. G 1 sind die Deichelemente im Vergleich dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden sie beschrieben und die genannten Unterschiede soweit erforderlich und möglich bewertet. Die Tabelle ist entsprechend der nachfolgenden Abschnittsnummern aufgebaut.

Beim Vergleich der Angaben ist zu beachten, dass die Werte für Böschungsneigungen und Deckschichtstärken in Niedersachsen und Hamburg i. d. R. bei der Bauabnahme eingehalten werden, während es in Mecklenburg-Vorpommern und Schleswig-Holstein Sollwerte für den gewählten Sicherheitsstandard sind, die nach Abklingen von Setzungen und Sackungen einzuhalten sind.

2.2.2 Deichfuß

Der Deichfuß ist der untere Bereich der Außenböschung sowie bei technischen Sicherungen der horizontale bzw. flachgeneigte Übergang in das Vorland oder die vertikale Einbindung in die Sohle. Er erfährt aufgrund seiner Lage ständige oder häufige Meeresangriffe. Sie können aus Wasserstand, Strömungen und Wellen bestehen und weniger wegen ihrer Größe als vielmehr wegen ihrer Häufigkeit bedrohlich werden. Unterschieden werden zwei Fälle: Deiche mit Vorland und scharliegende Deiche.

2.2.2.1 Vorlanddeich

Ein möglichst hoch über MThW oder dem Mittelwasserstand gelegenes Vordeichgelände schützt den Deichfuß am besten (Abb. G 1). Es hält die genannten Einflüsse vom Deich entfernt und wirkt auch bei Wasserständen über der Vorlandhöhe wellendämpfend.

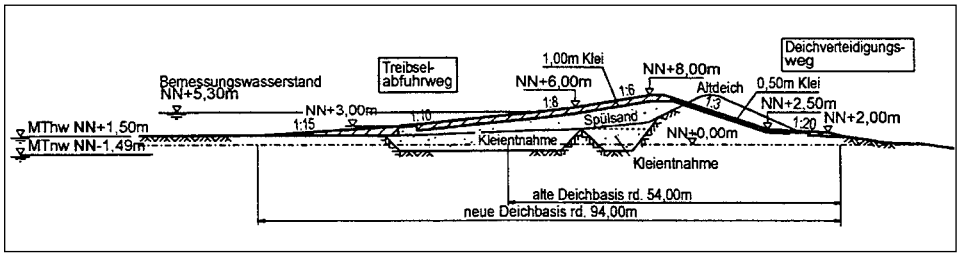


Abb. G 1: Vorlanddeich (Tümlauer Koog)

Wenn bei geknickten Profilen die untere Deichböschung ausreichend flach (1:10 –1:15) in das Vorland einbindet, sind weitere Fußsicherungsmaßnahmen nicht erforderlich. Wenn aus Gründen der Flächenersparnis eine flache untere Deichböschung nicht möglich ist, können ein leichtes Deckwerk zwischen Vorland und Deich angeordnet (s. Abb. G 1a) oder der un-

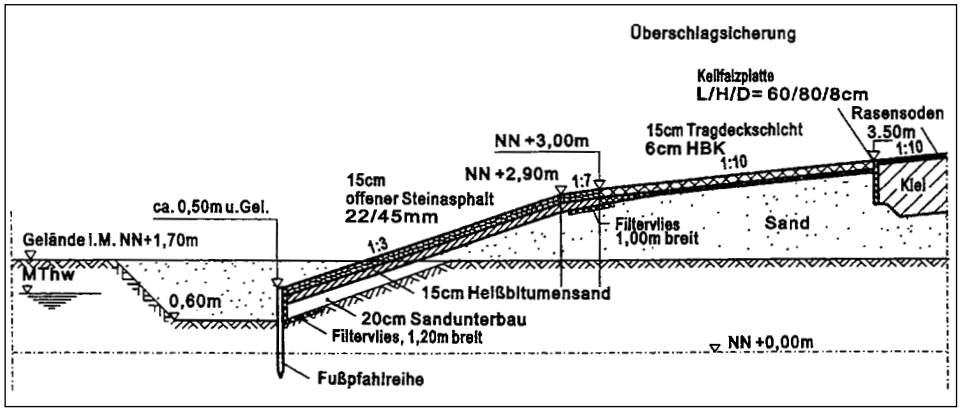


Abb. G 1a: Vorlanddeckwerk Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog

tere Teil der Außenböschung befestigt werden. Steilere Neigungen ergeben sich aus besonderen Situationen:

– Im Bereich der Stadt Hamburg ist mit geringerer Wellenbelastung zu rechnen.
– An der Ostsee von M-V sollen seewärts vorgelagerte Düne und Waldfläche Wellen und Strömungen vom Deich fernhalten. Die Düne muss dazu eine ausreichende Sandmächtigkeit besitzen. Der Waldstreifen wirkt weniger durch die Dämpfungswirkung des Gehölzes als vielmehr durch die Höhenlage der Aufstandsfläche, weshalb ihr Niveau möglichst nicht tiefer als 0,75 m unter dem Bemessungshochwasserstand liegen sollte (Abb. G 2).

2.2.2.2 Schardeich

Bei scharliegenden Deichen ist die Anordnung von Fußdeckwerken erforderlich. Grundlegende Ausführungen hierzu enthalten die Empfehlungen E der EAK 1993, so dass hier nur ergänzende Besonderheiten bei Deichdeckwerken beschrieben werden. Da Deckwerke verhältnismäßig starre Baukörper sind, ist eine sorgfältige Konstruktion der Abgrenzungen zum Watt oder Seegrund und zu der oberhalb anschließenden Deichböschung er-

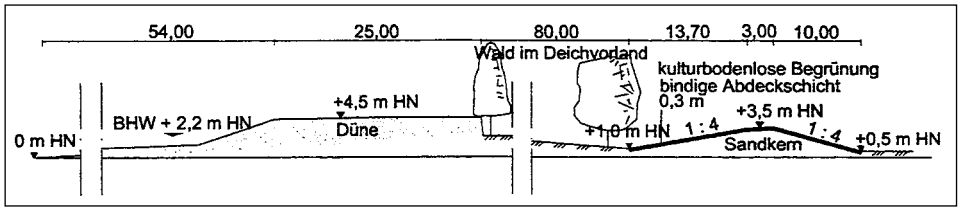


Abb. G 2: Seedeich Ückeritz (Schmollenseeniederung), Mecklenburg-Vorpommern

forderlich. Um den Deckwerksfuß nicht durch Unterspülung zu gefährden, muss er in Abhängigkeit von zu erwartenden Höhenverlusten des Vordeichgeländes (Erosion, Kolke) durch eine Fußvorlage oder durch entsprechend tiefes Einbinden unter die Geländeoberfläche angeschlossen werden (s. Kap. E 2.5). Der Fußpunkt wird in der Regel durch eine Fußpfahlreihe, Fußspundwand oder horizontale Steinvorlage (s. 4.3.7) gesichert. Die Neigung von neuen Fußdeckwerken sollte erfahrungsgemäß nicht steiler als 1 : 3 sein.

Die Oberkante von Deichfußdeckwerken sollte bei normalen Deichprofilen so hoch gelegt werden, dass auch bei leichten, aber relativ häufigen Sturmfluten die nach oben anschließenden grünen Böschungsbereiche nicht gefährdet werden (s. auch E 2.4.4). Als Erfahrungswert hat sich ein Maß von etwa 1,50 m bis 2,0 m über MThw bzw. an der Ostsee von 2,0 m über Mittelwasser als geeignet erwiesen (Beispiele Abb. G 3, G 4 und G 5).

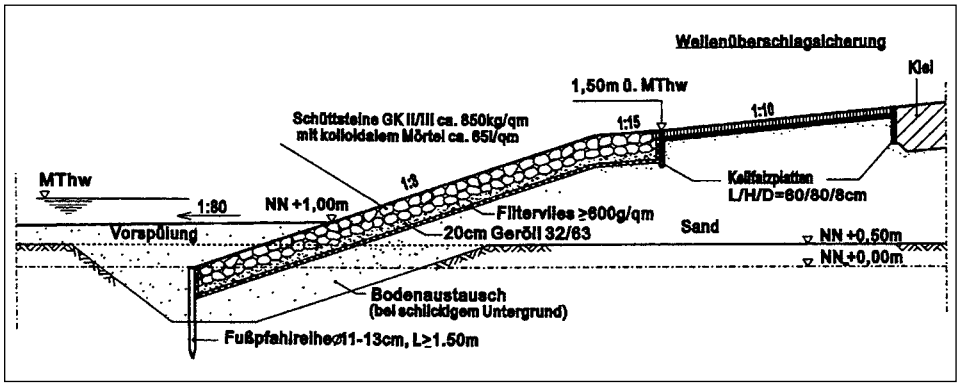


Abb. G 3: Deichfußdeckwerk Westküste Schleswig-Holstein

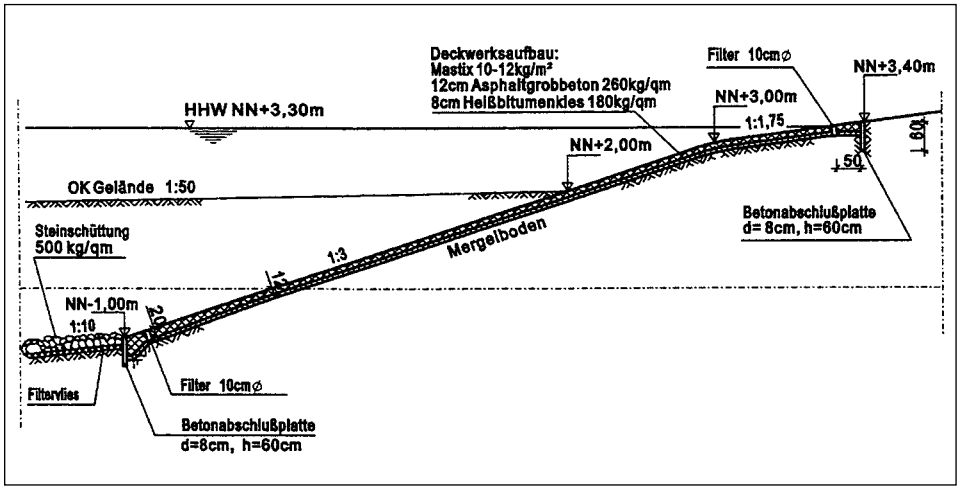


Abb. G 4: Deichfußdeckwerk Grömitz

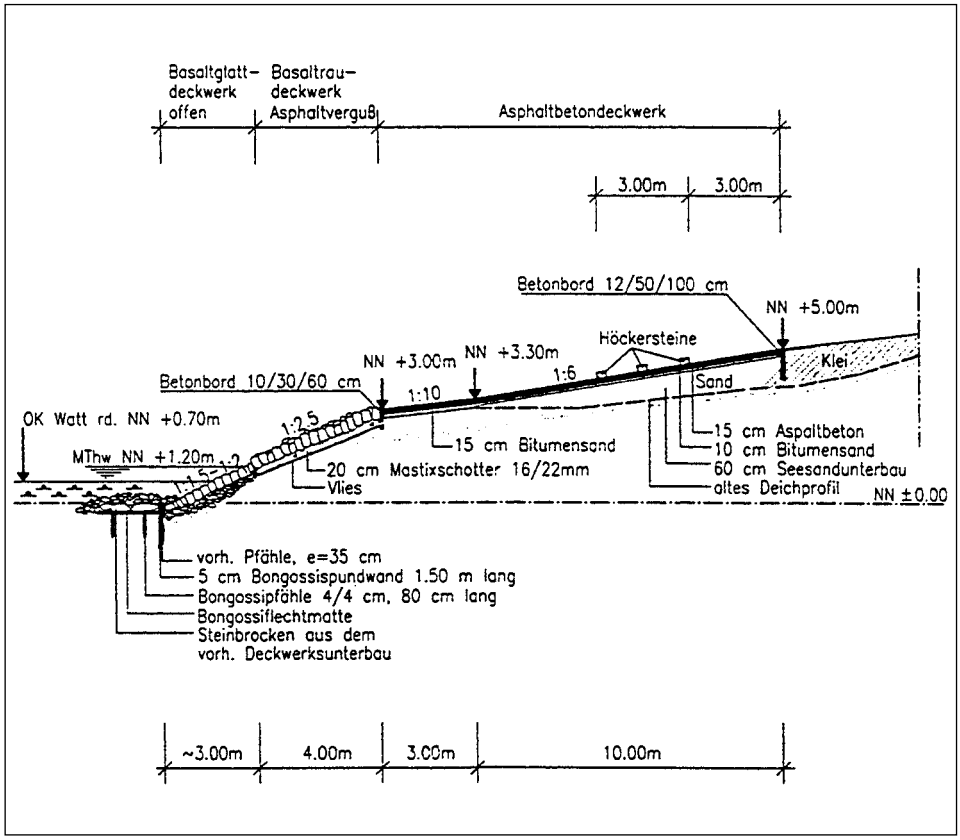


Abb. G 5: Verstärkung und Sanierung des Fußdeckwerkes eines Schardeiches in Norden

Das um 1900 geschaffene Basaltdeckwerk mit Unterbau aus Schotter und Backsteinbruch wurde unterhalb MThw in alter Neigung als offenes Deckwerk erhalten und durch Verstärkung der Fußvorlage gesichert. Zwischen MThw und NN + 3,0 m wurde das Deckwerk auf 20 cm Mastixschotter als Raudeckwerk verlegt und mit Asphalt vergossen. Ein Tiefbord 0,60 m H+V-Verbund bildet den oberen Abschluss. Daran schließt eine Überschlagsicherung, zunächst als Fahrspur 1:10 und dann mit Übergang zur Neigung der Außenböschung von 1:6 bis NN + 5,0 m als Asphaltbetondecke an und schließt oben mit entsprechendem Tiefbord ab. Auf Neubaustrecken erhält das Fußdeckwerk unterhalb von NN + 3,0 m eine Neigung von 1:3.

In Sonderfällen sollte eine andere Höhe der Deckwerksoberkante gewählt werden:

– Wenn die Böschungsneigungen des Deiches steiler gestaltet werden müssen, z. B. wegen geringer vorhandener Baubreite oder bei örtlich besonderen Sicherheitsanforderungen, sollte das Deckwerk bis über die Höhe des maßgebenden Sturmflutwasserstandes gezogen werden.
– Bei starker Belastung, Scharlage, steiler Böschung oder bei Fehlen geeigneten Deckschichtmaterials kann die gesamte Außenböschung durch ein Deckwerk gesichert werden, welches an die Fußkonstruktion anschließt. Bei den Ostseedeichen Mecklenburg-Vorpommerns sollen Deckwerke daher bis zur Deichkrone reichen (Abb. G 6).

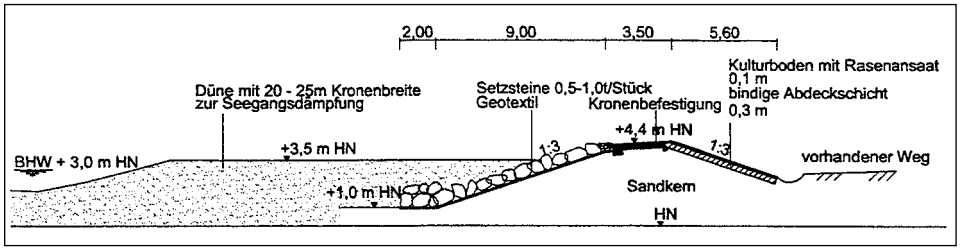


Abb. G 6: Seedeich Boltenhagen-Tarnewitz mit leichtem Setzdeckwerk (Mecklenburg-Vorpommern)

Wo bei sandigem Vordeichgelände die Gefahr besteht, dass die an das Deckwerk anschließende Grasböschung durch Sandflug ständig beschädigt wird, kann es sinnvoll sein, diese Bereiche durch ein relativ leichtes Betonstein- oder Asphaltdeckwerk (z. B. Mastixschotter) hiergegen zu sichern (Beispiel Abb. G 7).

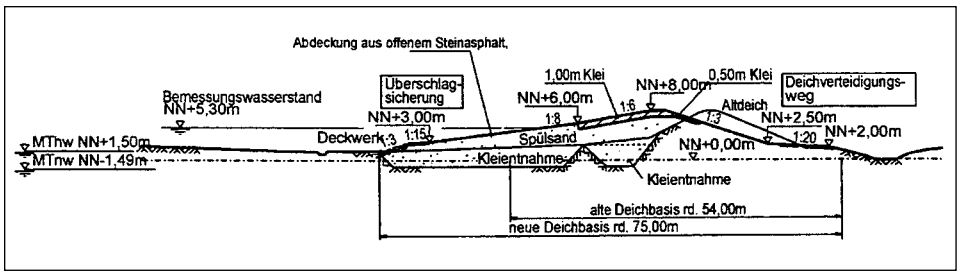


Abb. G 7: Schardeich (Tümlauer Koog)

2.2.3 Außenberme

Eine Berme ist eine horizontale oder flach geneigte Fläche innerhalb einer Böschung, die die Gesamtneigung verringert. Bermen haben im Vergleich zu den bei gleichen Böschungsanfangs- und -endpunkten entsprechend flachen, durchgehenden Böschungen keine Vorteile bezüglich des Wellenauflaufs. Aus konstruktiver Sicht sind die mit Bermen verbundenen Böschungsbrechpunkte eher nachteilig. Daher sollten Bermen nur angelegt werden, wenn sie als Wegetrasse erforderlich sind. Dies trifft aber hauptsächlich für die langen Böschungen der Nordseedeiche zu. Bei den üblichen Böschungslängen an der Ostsee kommen Bermen kaum vor. Im Falle des Bermeneinbaus sollte diese eine deutliche Querneigung von etwa 1:10–1:15 in Böschungsrichtung des Deiches haben, um die Entwässerung der Deichoberfläche nicht zu beeinträchtigen.

2.2.3.1 Vorlanddeich

Bei Vorlanddeichen werden in Schleswig-Holstein und Hamburg (in Niedersachsen nur bei Bedarf) Treibselabfuhrwege oder Deichwirtschaftswege in Form von Bermen angeord-

net. Sie ermöglichen ein witterungsunabhängiges Befahren mit gängigen Fahrzeugen und Geräten für Zwecke der Deich- und Vorlandbewirtschaftung. Sie werden in Höhen von MThw + 1,0 m bis 2,0 m gebaut. Die Höhenlage wird im Einzelnen entsprechend dem Treibselanfall festgelegt. Die Breite beträgt 3,00 m. Wenn sehr breite Fahrzeuge eingesetzt werden, kann eine größere Breite sinnvoll sein (Beispiel Abb. G 1).

2.2.3.2 Schardeich

An die Deckwerksoberkante bei Schardeichen schließt sich eine 3 bis 5 m breite Berme an, die neben der Funktion als Weg auch als Wellenüberschlagssicherung (Abb. G 8) wirkt. Diese vermindert den Auflauf-Schwall der am Deckwerk brandenden und über die Bermenfläche laufenden Welle, und sie verstetigt den Schwallstrom so, dass an der anschließenden Grasböschung kaum Schäden entstehen. Ihre Neigung sollte der der oberhalb anschließenden Böschung entsprechen, um an der Nahtstelle verschiedener Baumaterialien und Oberflächenstrukturen nicht auch noch verschiedene Neigungen zu haben.

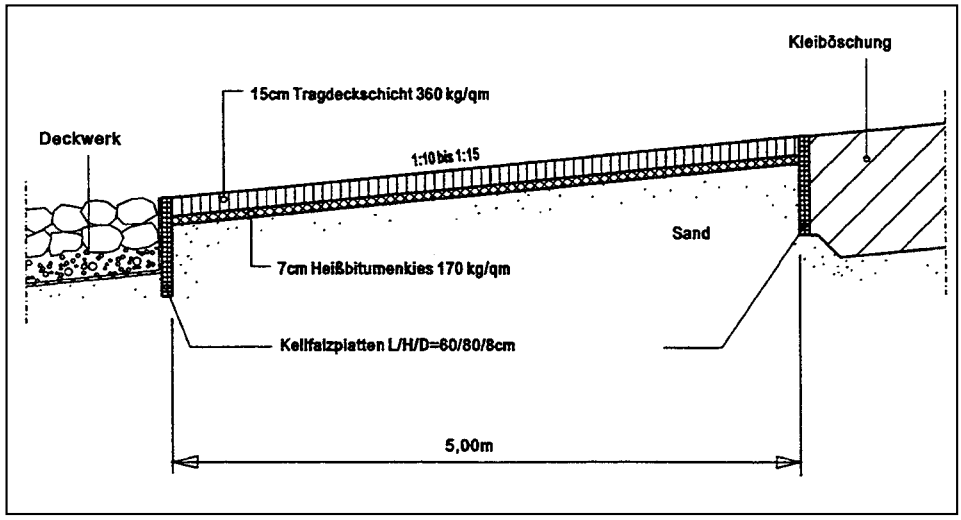


Abb. G 8: Wellenüberschlagsicherung

Notwendige Neigungswechsel sollten im höheren Bereich innerhalb der Klei- bzw. Mergelböschung bzw. bei breiterer Überschlagsicherung innerhalb dieser vorgenommen werden. Besondere Sorgfalt sollte auch auf die Sicherung gegen Unterspülung mit Hilfe von Keilfalzplatten, Spurbahnplatten mit HV-Verbund oder Asphaltspornen gelegt werden (s. hierzu E 3.1.2.3 und 3.1.2.4). Die Herstellung des Belages erfolgt üblicherweise aus Asphaltbeton. Eine bewährte Konstruktion ist auf Abb. G 8 dargestellt. Die Wellenüberschlagssicherung dient gleichzeitig als Betriebsweg für Küstenschutzarbeiten einschließlich eventueller Vorlandarbeiten. Der Unterbau muss daher die zu erwartenden Fahrzeugbelastungen aufnehmen können (Abb. G 3).

2.2.4 Außenböschung

Die Außenböschung oberhalb der Bermen wird bei Sturmfluten belastet. Sie ist daher so auszubilden, dass sie den entsprechenden Belastungen durch Wellen und Strömungen widersteht. Für ihre Größe ist die örtliche Lage und Ausrichtung von Bedeutung. Die Geometrie der Böschung und das gewählte Baumaterial nach Art und Einbaustärke beeinflussen sich gegenseitig in ihrer Wirkung: Bei steileren Böschungen sind erosionsfeste Baustoffe erforderlich. Umgekehrt werden je nach Erodierbarkeit der Baustoffe flachere Böschungen nötig. Daher sind auch bei gleicher Belastungssituation unterschiedliche Kombinationen von Geometrie und Material möglich. Dementsprechend haben sich in den Ländern unterschiedliche Standardbauweisen entwickelt.

Die Neigungen reichen von 1:3 bis 1:10. Problematisch kann der Übergangsbereich von der Berme zur Böschung sein. Wenn die anschließende Deichböschung ausreichend flach ist (Schleswig-Holstein: 1:10), hat sich eine Begrünung als Befestigung bewährt. Bei steileren Böschungen (Niedersachsen: 1:6, Hamburg: 1:3) wird auch der untere Böschungsteil auf 6 bis 9 m Breite als Wellenüberschlagssicherung befestigt.

Als Material werden massive Baustoffe wie Asphalt oder natürliche Erdstoffe wie Klei- bzw. Mergelböden eingesetzt. Ihre Dicke ist stark unterschiedlich. Die Untergrenze von 0,3 m bindige Abdeckschicht kommt in Mecklenburg-Vorpommern zum Einsatz. Dabei ist die Voraussetzung, dass das Vorland vor Seedeichen die Bemessungswellenhöhe auf Werte unter 0,5 m reduziert oder bei Bodden- und Haffdeichen die Bemessungswellenhöhe von 0,5 m nicht überschritten wird.

Hier befindet sich auf der bindigen Abdeckung eine 0,2 m starke Kulturbodenschicht mit ausgewähltem Rasen, die Teile der Böschungssicherung sind (Abb. G 9).

Bei Wellen größer als 0,5 m nimmt je nach Böschungsneigung die Stärke der bindigen Abdeckung zu, wobei aufgrund praktischer Erfahrungen Kulturboden und Rasenansaat unverändert bleiben. Bei steilen Neigungen und größeren Wellen kommen Deckwerke zum Einsatz (Abb. G 10).

2.2.5 Deichkrone

Die Belastung einer Deichkrone durch Meeresangriffe ist geringer als die der Deichböschungen. Sie findet nur bei extremen Sturmfluten mit Wellenüberlauf statt. Häufiger dagegen wird die Deichkrone durch Verkehr von Fußgängern, Radfahrern und teilweise Fahr-

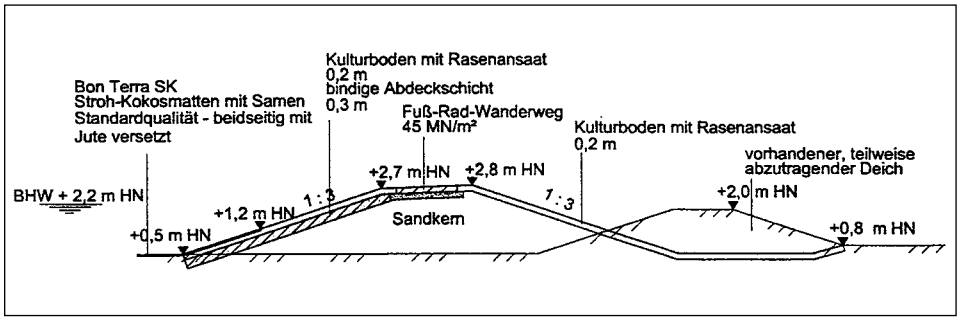


Abb. G 9: Boddendeich Middelhagen, Rügen (Mecklenburg-Vorpommern)

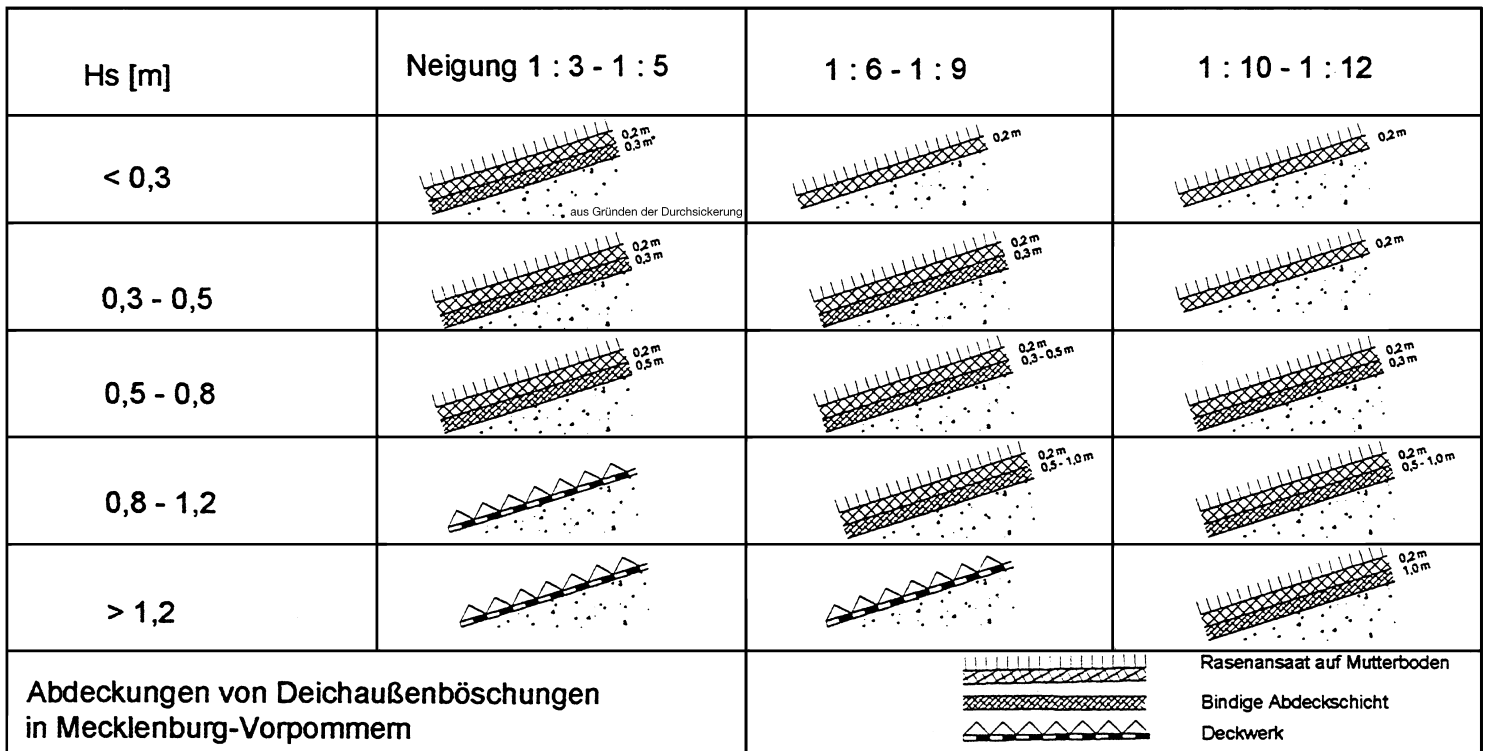


Abb. G 10: Abdeckung von Deichaußenböschungen in Mecklenburg-Vorpommern

zeugen belastet, die bei entsprechendem Ausmaß eine Beschädigung der Grasnarbe hervorrufen können. Dieser Effekt kann insbesondere in touristisch stark genutzten Gebieten eine Gefährdung der Deichsicherheit darstellen. Daher sollte aus Sicherheitsgründen die Klei-/Mergelabdeckung in der auf der Außenböschung vorhandenen Stärke über die Krone hinweggehen und erst dann in die in der Regel dünnere Deckschicht der Innenböschung übergehen (Beispiel Abb. G 11).

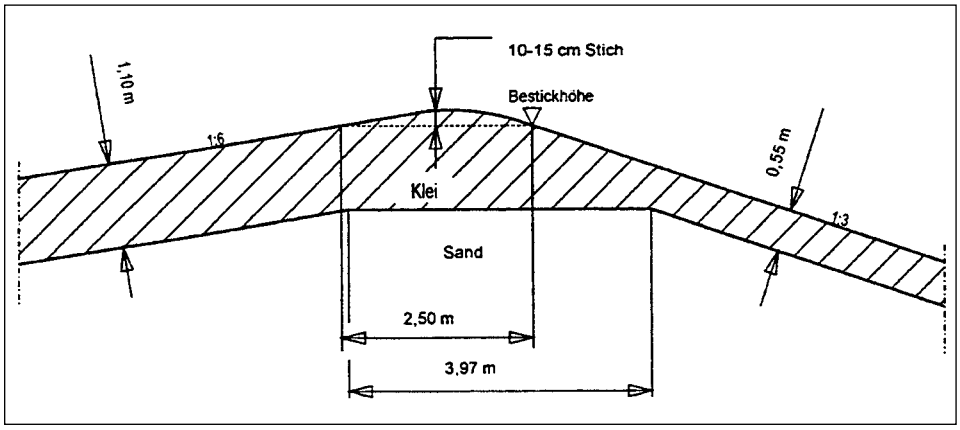


Abb. G 11: Deichkrone

Zusätzlich sollte die Krone aufgerundet oder geneigt (4 % in Richtung See) werden. Dies gewährleistet ein besseres Abfließen von Niederschlägen. Die Kronenbreite sollte etwa 2,5 bis 3 m betragen (im Ausnahmefällen bis 3,5 m), damit im Katastrophenfall eine ausreichende Sicherheit bei an der Innenböschung beginnender Deichzerstörung besteht. Außerdem kann auf einer solchen Krone auch im unbefestigten Zustand gelegentlich mit Fahrzeugen (Unterhaltung, Kontrolle) gefahren werden.

Wo die Krone durch intensiven Fremdenverkehr dennoch gefährdet ist, sollte sie befestigt werden. Diese Befestigung kann als Asphalt- oder Betonsteinpflasterweg ausgeführt werden, wobei auch auf ausreichende Sicherung des Unterbaus gegen Schwallstrom zu achten ist. Ein Beispiel hierfür ist auf Abb. G 12 dargestellt (Grömitz).

Dabei ist zu prüfen, ob die neben der Wegbefestigung liegende, grüne Deichkronenkante eine technische Sicherung (Waben-, Gitterplatten) der Oberfläche oder eine Zugsicherung (z. B. Geogitter) zur Vermeidung von Fugenbildung im Anschlussbereich erhalten muss.

2.2.6 Binnenböschung

Binnenböschungen müssen so ausgebildet werden, dass der Deich erdstatisch standsicher ist und ein entsprechend der jeweiligen Bemessung zugelassener Wellenüberlauf keine Schäden durch Erosion oder Durchfeuchtung bewirken kann. Außerdem sollte bei der Wahl der Neigung beachtet werden, dass die Böschung im Rahmen der Unterhaltung mit Mähgeräten befahrbar sein muss.

Für diese Anforderungen hat sich eine Böschungsneigung von 1:3 bewährt. Die Dicke

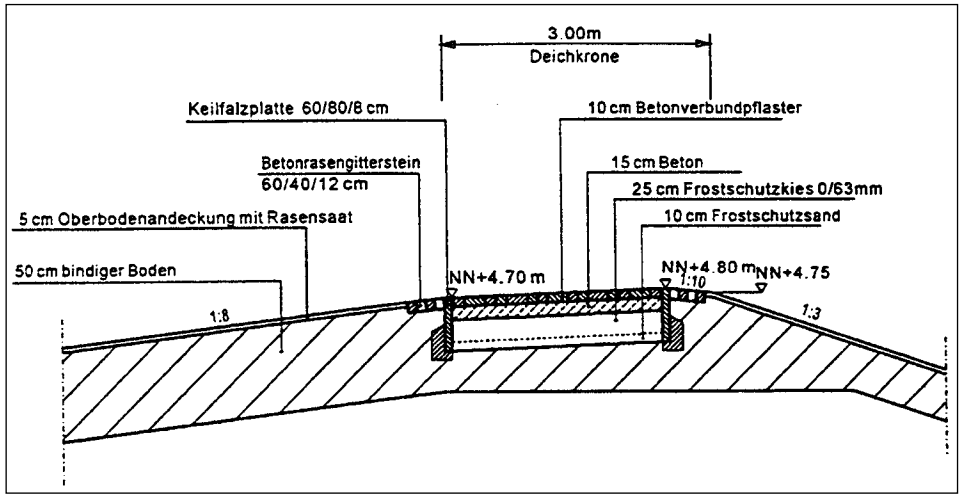


Abb. G 12: Befestigte Deichkrone Grömitz

der Deckschicht ist in den Ländern unterschiedlich, sie schwankt zwischen 0,5 und 1,3 m. Bemessungskriterien oder Erfahrungswerte für die Wahl der Deckschichtdicke bestehen nicht. Das Problem wird aber zzt. in wissenschaftlichen Forschungsprojekten untersucht.

Wenn bei mineralischen Deckschichten im Ausnahmefall höhere Überlaufmengen zugelassen oder steilere Neigungen gewählt werden müssen, sollte die Binnenböschung eine massive Befestigung, z. B. in Form einer Pflasterung, erhalten.

2.2.7 Binnenbermen und Längswege

Die Deichbinnenberme ist eine Stütze für den inneren Deichfuß und verlängert den Sickerweg bei Hochwasserständen. Hauptsächlich dient sie als Trasse für den Deichverteidigungsweg. Dieser ist neben der Deichbewirtschaftung im Wesentlichen wegen der Erreichbarkeit des Deiches mit Fahrzeugen bei Sturmfluteinsätzen unentbehrlich. Die Berme sollte mindestens 0,5 m, besser 1,0 m über MThw liegen, um auch im Katastrophenfall bei geflutetem Binnenland nach Normalisierung des Wasserstandes fahren zu können. Ihre Breite sollte 10 m betragen, um ausreichend Bewegungsraum und deichparallele Lagermöglichkeiten für Material zu haben. Der Deichverteidigungsweg sollte eine Breite von 3–4 m und einen für die zu erwartenden schweren Fahrzeuge ausreichenden Unterbau aufweisen. Eine bewährte Konstruktion ist auf Abb. G 13 dargestellt.

Bei der Gesamtkonzeption des Wegenetzes zur Deichverteidigung einschließlich der Zuwegungen sollte darauf geachtet werden, dass grundsätzlich ein Ringverkehr möglich sein muss, um Wendemanöver und Begegnungsverkehr am Deich weitgehend zu vermeiden. Im Interesse einer solchen Verkehrsführung sollten die Deichzuwegungen nach Möglichkeit nicht mehr als 3 bis 4 km voneinander entfernt sein. Zusätzlich sind im Abstand von mind. 500 m Ausweichen vorzusehen. Soweit Deichverteidigungswege dem öffentlichen Verkehr gewidmet werden, müssen sie eine den Verkehrserfordernissen entsprechende Breite erhalten und in die Unterhaltungs- und Verkehrssicherungspflicht des Wegebaulastträgers übergeben werden.

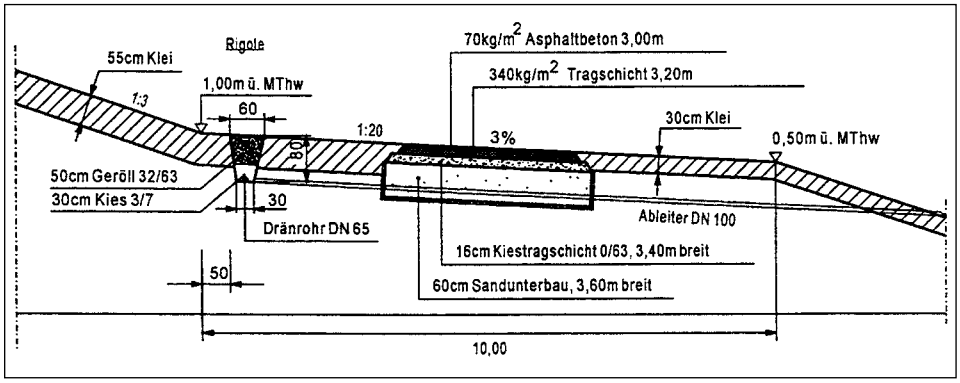


Abb. G 13: Deichverteidigungsweg

An den Ostseedeichen Mecklenburg-Vorpommerns befinden sich beidseitig 5 m breite Deichschutzstreifen. Der landseitige Streifen soll für Verteidigungszwecke durchgängig und mit erforderlicher Technik im Sturmfluteinsatz befahrbar sein. Ist dies von der Geländesituation her nicht gegeben, ist ein befestigter Deichverteidigungsweg von 3 m Breite anzulegen. Ausweichen sind nach Erfordernis anzuordnen.

2.2.8 Deichrampen

Deichrampen dienen dazu, Verkehrswege (von Fußwegen bis Straßen) zur Deichkreuzung ohne Höhenunterbrechung der Deichkrone über den Deich hinwegzuführen. Dazu sind die vorhandenen Neigungen der Deichböschungen mit den wesentlich flacheren Längsneigungen von Verkehrswegen in einem Bauwerk zu kombinieren. In der Regel verläuft eine Rampe im spitzen Winkel zur Deichkrone. Die Deichböschungen im Rampenbereich dürfen nicht aufgesteilt werden. Hierdurch verbreitert sich die Deichbasis um die Breite der Rampe. Die Länge der Rampe hängt von ihrer Längsneigung ab. Diese wird bestimmt durch die Verkehrsart unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit (z. B. Sichtverhältnisse, Glatteis). Für Deichwirtschaftswege, die ganzjährig von Fahrzeugen im nichtöffentlichen Verkehr befahren werden, sind Neigungen von 1:10 bis 1:20 zu empfehlen. Fußwegrampen können steilere Neigungen haben, wobei auf Befahrbarkeit mit Rollstühlen zu achten ist. Klassifizierte Straßen müssen flachere Neigungen nach den entsprechenden Straßenbaurichtlinien aufweisen (Abb. G 14).

Außer der Längsneigung ist die Querneigung von Bedeutung für die Wasserabführung. Die Querneigung sollte auf Außenböschungen etwa 3 % in Richtung der Deichneigung betragen. Auf Innenböschungen werden vielfach Querneigungen entgegen der Deichneigung mit deichseitigem Hochbord angeordnet, um die Abrutschgefahr für Fahrzeuge bei Glätte zu verringern (Abb. G 15).

In Sonderfällen verläuft eine Rampe senkrecht zur Deichachse. Dies ist dann erforderlich, wenn eine Straße senkrecht zum Deich verläuft und die engen Radien an den Enden einer spitzwinkligen Rampe verkehrstechnisch nicht vertretbar sind. Eine solche Rampe ist wesentlich aufwendiger, da hierfür im Unterschied zur spitzwinkligen Rampe ein eigener Erdkörper mit beidseitigen Böschungen errichtet werden muss.

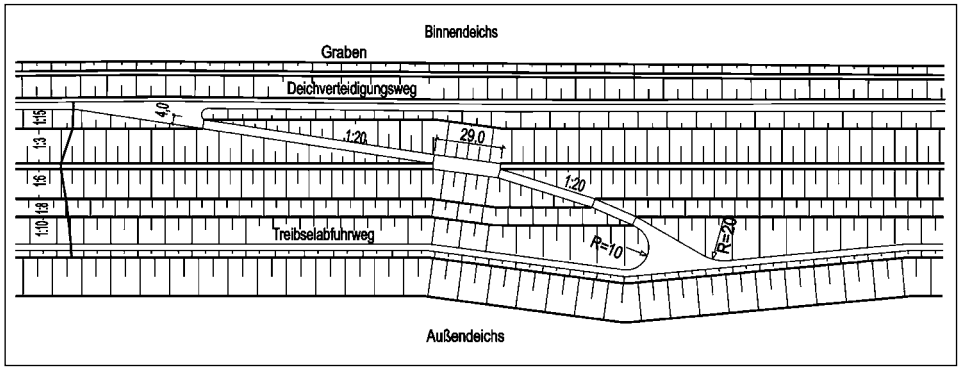


Abb. G 14: Deichrampe

2.2.9 Deichscharte, Deichstöpen

Verkehrswege, die Deiche kreuzen, sollten in erster Linie über Rampen oder Treppen geführt werden. Ist eine Höhenunterbrechung der Deichkrone unvermeidbar, werden Deichscharte oder Deichstöpen (in Hamburg auch Deichtor genannt) errichtet. Dabei sollte eine möglichst hohe Lage der Schartensohle über dem maßgeblichen Sturmflutwasserstand/Bemessungshochwasser (BHW) angestrebt werden. Besteht die Möglichkeit nicht, so liegt die Sohle unterhalb des BHW, ungünstigenfalls auf der Höhe der Deichsohle. Die Anzahl der Tore ist möglichst gering zu halten (Abb G 16, G 17).

Die Sturmflutsicherheit von Deichscharten ist die entscheidende funktionelle und konstruktive Frage. Das Schließen der Öffnung im Sturmflutfall muss zur gleichen Sicherheit führen, wie sie die gesamte Deichstrecke besitzt. Allgemein gilt der Grundsatz, dass zwei unabhängige, voll funktionsfähige Torverschlüsse der Deichsicherheit entsprechen und daher anzuordnen sind. Konstruktiv sind unterschiedliche Torausbildungen (ortsfest oder mobil) im Einsatz, wobei die mobile Dammbalkenwand häufig als eines der beiden Elemente in die Lösung einbezogen wird. Belastungsverhältnisse (Seegang, Eis) und Zugänglichkeit im Katastrophenfall bestimmen gleichfalls die Wahl. In M-V werden bei einer Deichschartensohle gleich oder höher als BHW und geringer Seegangsbelastung einfache Torverschlüsse (Dammbalkenwand) der Deichsicherheit gleichgesetzt, und es wird auf die Doppelung verzichtet.

Soweit unter Berücksichtigung der Höhenlage der Deichschartensohle eine Um- oder Unterläufigkeit zu besorgen ist, sollte der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch geführt werden. In kritischen Fällen müssen entsprechende Schürzen angeordnet werden.

2.2.10 Deichentwässerung

Ein Deichkörper wird neben dem Wellenangriff durch Niederschläge und durch das mit dem Außenwasserstand korrespondierende Grundwasser belastet. Das Niederschlagswasser wird durch die Neigungen der Böschungen und Bermen an den äußeren und inneren Fuß geleitet. Besondere Flächenbefestigungen sind nicht erforderlich, da die Deichflächen gegen die stärkeren Schwallströmungen und den Wellenüberlauf erosionsfest sind. Auf der Außenseite wird das Wasser in das Watt oder in das Entwässerungssystem des Vordeichgeländes abge-

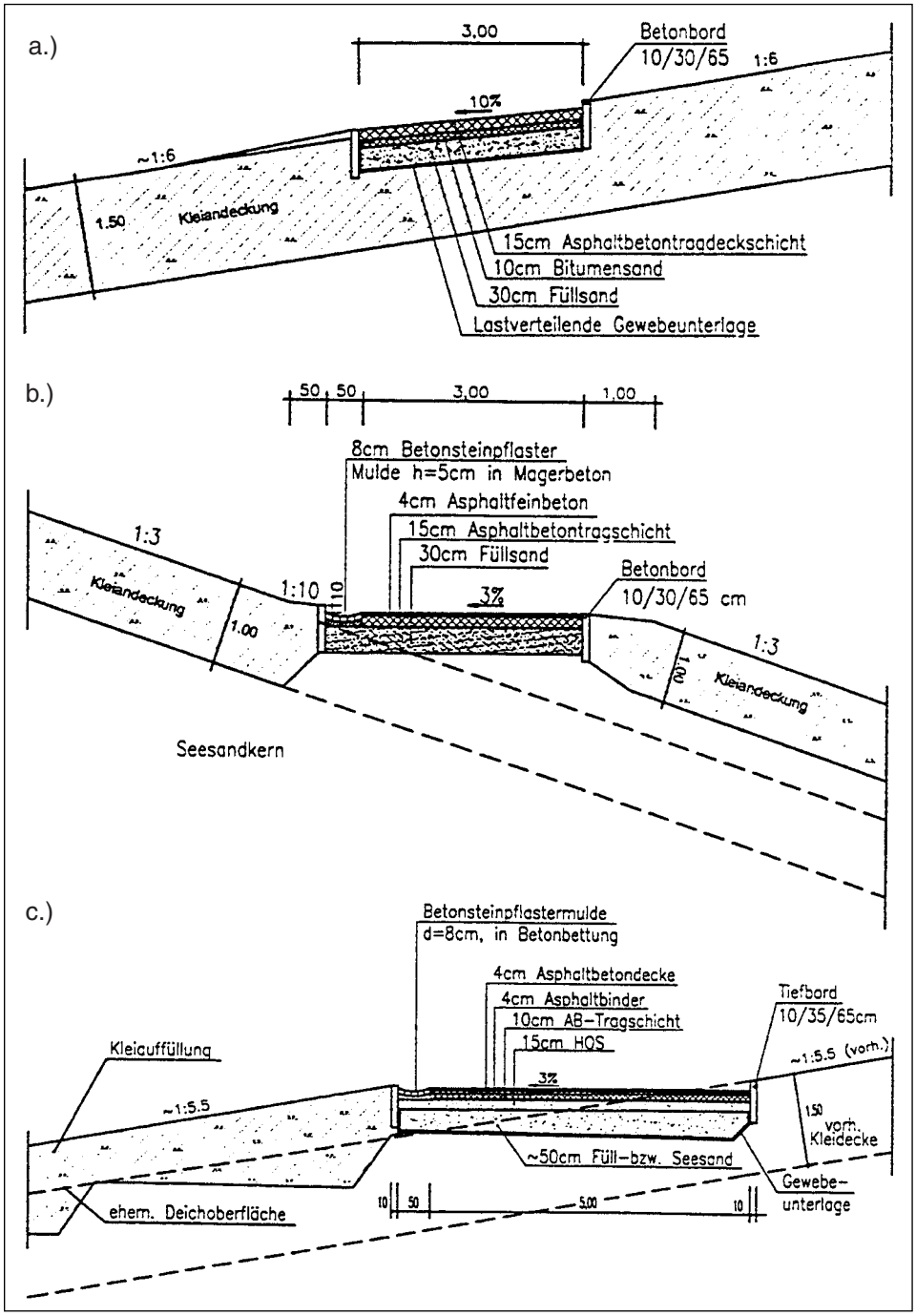


Abb. G 15: Anordnung und Aufbau von Deichrampen an der Nordseeküste
a) in der Außenböschung,
b) in der Binnenböschung,
c) nachträglicher Einbau für ständigen Verkehr in die Außenböschung

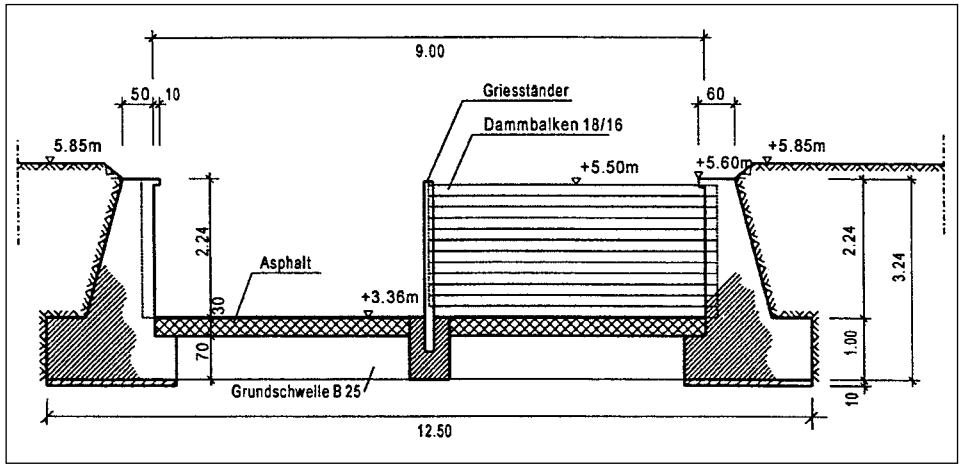


Abb. G 16: Deichstöpe Querschnitt

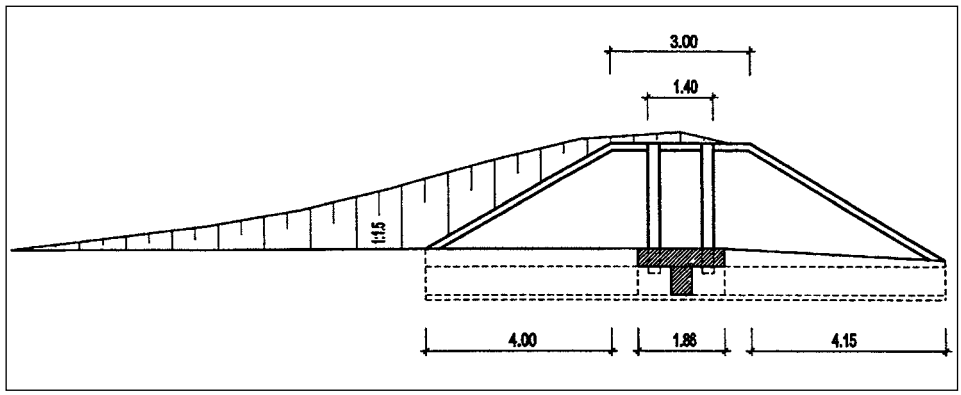


Abb. G 17: Deichstöpe Längsschnitt

führt. Auf der Innenseite wird das Wasser von dem Deichlängsgraben, der direkt an die Innenberme anschließt, aufgenommen. Bei der Dimensionierung dieses Grabens und seiner Ableitung ist zur Berücksichtigung der landwärts angrenzenden Flächen eine Abstimmung mit dem Wasser- und Bodenverband bzw. Eigentümer erforderlich.

Erhöhte Grundwasserstände im Deichkörper entstehen durch einsickernde Niederschläge zeitverzögert bei höheren Außenwasserständen. Das Fußdeckwerk ist so zu konstruieren, dass keine Beschädigungen durch Wasserüberdruck von innen entstehen können (s. E 2.2 bis E 2.5).

Bei durchlässigem Deichkern und entsprechend starkem Andrang von Sickerwasser empfiehlt es sich, am Fuß der Innenböschung eine Längsentwässerung anzuordnen. Bewährt hat sich ein Drängraben („Rigole“) mit einem Dränrohr und Kiesauffüllung. Ein Beispiel ist auf Abb. G 13 dargestellt. Das Geotextil muss nach MAG bemessen werden, um die mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit zu gewährleisten und um ein Zusetzen des Filters

zu verhindern. Hier kann das von der Innenböschung ablaufende Wasser aufgenommen werden, ohne über die Innenberme fließen zu müssen. Die Ableitung erfolgt durch Querdränstränge im Abstand von rd. 100 m in den Deichinnengraben.

Teilweise wird anstelle der Rigole ein Längsdrän im Sandkern angeordnet. Dieser kann zwar nicht an der Oberfläche verstopfen, muss jedoch sorgfältig bemessen und dauerhaft überwacht werden, um ein Zusetzen oder Verockern zu vermeiden. Seine dauerhafte Wirksamkeit muss durch Kontrollen gewährleistet werden.

2.3 Andere Deiche

In der Empfehlung werden vorwiegend die Deiche mit dem höchsten Schutzgrad behandelt (Haupt- oder Landesschutzdeiche). Daneben gibt es andere Kategorien von Deichen, die z. T. auch gesetzlich definiert sind.

2.3.1 Sonstige Deiche

In Schleswig-Holstein haben „Sonstige Deiche" einen geringeren Sicherheitsstandard als Landesschutzdeiche. Sie dienen in erster Linie dem Schutz landwirtschaftlicher Flächen, obwohl in den letzten Jahrzehnten vereinzelt auch hinter solchen Deichen Siedlungen entstanden sind. Sonstige Deiche liegen im Unterschied zu Landesschutzdeichen in der Trägerschaft von Deichverbänden. Die beschriebenen Gestaltungselemente gelten grundsätzlich auch für sonstige Deiche. Diese sind jedoch in Bezug auf Höhe, Neigungen und Zubehör geringer bemessen oder ausgestattet (Beispiel 19). An der Ostseeküste sind den Deichen teilweise Strandwälle vorgelagert, die einen zusätzlichen Schutz darstellen (Beispiel 20).

2.3.2 Sommerdeiche

In Niedersachsen sind bei breitem Deichvorland den Hauptdeichen häufig Sommerdeiche vorgelagert. Sie haben eine Kronenhöhe von etwa 2 m über MThw und sichern bis zu dieser Ordinate den Sommerpolder und den dahinter liegenden Hauptdeich vor Sturmflutbeanspruchungen und Treibselablagerungen. Während der Weidezeit halten sie so den Sommerpolder frei von etwaigen Überflutungen und Gefährdung der Weidetiere.

Der Sommerdeich wirkt im Sturmflutfall als wellendämpfendes Riff und verringert deutlich den Wellenauflauf und die Seegangskräfte am Hauptdeich (Beispiel 4). Er stellt somit einen deutlichen Schutzfaktor dar. Einige Sommerdeiche sind daher – insbesondere in Ostfriesland – zusammen mit dem jeweiligen Hauptdeich dem Sturmflutschutz gewidmet und deichrechtlicher Bestandteil des Hauptdeichschutzes.

3. Geotechnische Untersuchungen

3.1 Erkundung von Lagerstätten

Grundlegende Hinweise und Empfehlungen für Baugrunduntersuchungen zur Baustoffgewinnung sind in der Empfehlung B der EAK 1993 gegeben. Vor Beginn der eigentlichen Untersuchungen sollten alle für die Baumaßnahme relevanten Unterlagen, wie z. B. geologische und bodenkundliche Karten, Bohrergebnisse und (soweit vorhanden) geotechnische Kennwerte (Datenbanken) gesichtet und vorausgewertet werden.

In der Praxis hat sich für die Lagerstättenerkundung die Untersuchung durch fortlaufend gekernte Kleinrammbohrungen (sog. Rammkernsondierbohrungen, ∅ 80–40 mm) unter der Leitung eines qualifizierten Geräteführers mit engständiger Probenahme im 1-m-Tiefenabstand bzw. bei jedem Schichtwechsel sowie fachtechnischer Aufsicht und Probenauswertung durch einen ortskundigen Ingenieurgeologen bzw. geotechnisch versierten Bauingenieur als kostengünstiges Verfahren bewährt. Für die Vorerkundung genügt i. d. R. ein Bohrabstand von ca. 100 m. Der wirtschaftliche Einsatz von Kleinrammbohrungen ist im Nordseeküstenbereich auf eine Tiefe von etwa 20 m beschränkt; bei lockerer Lagerung sind Tiefen bis 25 m erreichbar.

Das genannte Aufschlussverfahren birgt wegen des unvermeidlichen Kernverlustes durch Pfropfenwirkung und Verdrängungen in der Bohrschappe beim Übergang von sehr festen zu unterlagernden weichen Schichten (bei Marschenablagerungen häufig im obersten Meter) sowie durch ausfließendes, wassergesättigtes Bohrgut gewisse Unsicherheiten in sich. Eine in der Leistungsbeschreibung enthaltene Forderung nach einem Mindestkerngewinn von 80 % kann in der Deckzone problemlos durch eine Beschränkung der Rammtiefe auf jeweils 50 cm erfüllt werden. In der Praxis hat sich bei bindigen Schichten eine Festigkeitsuntersuchung mit dem Taschenpenetrometer im Tiefenabstand zwischen 10–20 cm in der gefüllten Bohrschappe bewährt. Weiche bindige Böden sind i. d. R. sensitiv, d. h. sie besitzen bei gleichem natürlichen Wassergehalt unterschiedlich große Anfangsscherfestigkeiten im ungestörten bzw. aufgearbeiteten, durchgekneteten Gefügezustand.

Für die Lösbarkeit eines bindigen Bodens ist die undränierte Festigkeit im ungestörten Zustand maßgebend, die außer mit dem Taschenpenetrometer auch mit Flügelsonden verschiedener Abmessungen in-situ oder in der gefüllten Bohrschappe ermittelt bzw. in Sonderfällen, speziell für Nassbaggerarbeiten, an Sonderproben mit ein- oder triaxialen Druckversuchen oder indirekt aus den Sondierspitzenwiderständen von elektrischen Drucksondierungen abgeleitet werden kann (Jörs, 1998; Lunne et al., 1997). Für den Wiedereinbau, insbesondere für die Verdichtbarkeit und Befahrbarkeit des Schüttmaterials mit Ketten- und Radfahrzeugen ist i. W. die undränierte Scherfestigkeit im gestörten Zustand maßgebend (Bartels-Langweige, 1988). Bei rolligen Böden lassen sich wichtige geotechnische Parameter insbesondere aus dem Spitzenwiderstand der elektrischen Drucksonde ableiten.

Nach Abwägung der verschiedenen Interessen (Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit u. a.) kommen in der Regel von einer Vielzahl von Alternativflächen einige wenige in die engere Wahl; in diesen Flächen sollten insbesondere bei wechselnden Bodenverhältnissen zusätzliche Kleinbohrungen (ggf. im 50-m-Raster oder noch enger) ausgeführt werden. An ausgewählten Stellen empfiehlt sich die Anlage von Schürfgruben zur visuellen Bewertung und Entnahme von ungestörten Bodenproben für geotechnische Untersuchungen im Erdbaulabor bzw. zur Materialgewinnung für Proctorversuche.

Ergänzend in allen Untersuchungsstadien können geophysikalische Messverfahren eingesetzt werden, wobei zur Unterscheidung von bindigen und grobkörnigen Sedimenten geo-

elektrische und elektromagnetische Kartierverfahren geeignet sind (Brandt u. Richter, 1998). Auf See bilden hoch auflösende reflektionsseismische Verfahren i. d. R. die Grundlage für die weiteren gezielt angesetzten Erkundungen mit einem Vibrationsbohrgerät (Zeiler et al., 2000).

Für eine aussagekräftige Beschreibung der Bodenarten, ihrer Gewinnbarkeit und Verdichtbarkeit sind die folgenden Untersuchungen erforderlich:

Korngrößenverteilung,
Natürlicher Wassergehalt,
Plastizität und Konsistenz,
Anfangsscherfestigkeit (Labor- und Flügelsondierungen, Penetrometermessungen),
Glühverlust und Kalkgehalt (nach Bedarf) und
Angaben zum Steingehalt (nach Bedarf).

Andere, für die bautechnische Bewertung und die Leistungsbeschreibung wesentliche Kennwerte wie z. B. Feucht-, Trocken- und Korndichten sowie Angaben zum Schrumpfverhalten können aus dem natürlichen Wassergehalt bzw. dem Glühverlust abgeleitet werden.

3.2 Qualitätsanforderungen

3.2.1 Material für den Deichkern

3.2.1.1 Grobkörnige (sandige) Bodenarten

Eingespülte und aus dem Spülfeld im Trockenbetrieb aufgesetzte und profilierte Sande der Korngruppe SE (DIN 18196) sowie geschüttete Sande der Korngruppen SE, SW und SI mit ≤ 5 % Schluffkorn sind als Baustoff für den Deichkern optimal geeignet. Schluffiger Wattenfeinsand der Korngruppe SU ist wegen seiner feinen Körnung insbesondere bei vorhandener Kleibänderung bei höherem Schluff- und Tonanteil (Korngruppen SU* und ST) als Ausgangsmaterial für Spülzwecke nur unter Einschränkungen brauchbar. Im Spülfeldauslauf findet hier häufig eine Anreicherung von Feinstkorn statt (bis zu 30 % ≤ 0,063 mm), welches die Entwässerung beim Schlitzen des Spülfeldes erschwert. Ein höherer Feinstkornanteil im rolligen Boden kann dazu führen, dass sich unter ungünstigen Witterungsbedingungen bereits beim Trockeneinbau ein dauerhaft hoher Grundwasserspiegel im Deichkern einstellt. Bei der Verwendung solcher Materialien sind besondere Vorkehrungen zur Entwässerung zu treffen.

Die Lagerungsdichte des eingespülten Sandes ist nach der Spülfeldentwässerung zumeist mitteldicht; im Einzelnen hängt sie – ausgedrückt in % Proctordichte D_{pr} bzw. als Lagerungsdichte D –

– von der Kornzusammensetzung, insbesondere der Größe des Schluffanteils,
– von der Spülfeldabmessung, insbesondere der Spülstromgeschwindigkeit und
– von der Art und Größe des Spülfeldes (offen, geschlossen)

ab. Beim Aufsetzen der sandigen Deichkappe unter Einsatz von Baggern und Raupenfahrzeugen sollte zum Erreichen einer Mindestlagerungsdichte 92 % D_{pr} auf einen lagenweisen Einbau mit mehreren Raupenüberfahrten pro Schicht geachtet werden.

Für Spülsande wurde die in Abb. G 18 gezeigte Beziehung zwischen den Parametern Lagerungsdichte (in % D_{pr}), Trockendichte ρ_d, Porenvolumen n und Sättigungsgrad S_r ermittelt; der letztere kann in der Deichkappe auf Werte zwischen 10 und 35 % absinken.

Zwischen der Trockendichte und dem Feinstkornanteil ≤ 0,063 mm (Schluff und Ton) besteht nach Untersuchungen an schleswig-holsteinischen Deichbaustellen keine deutliche

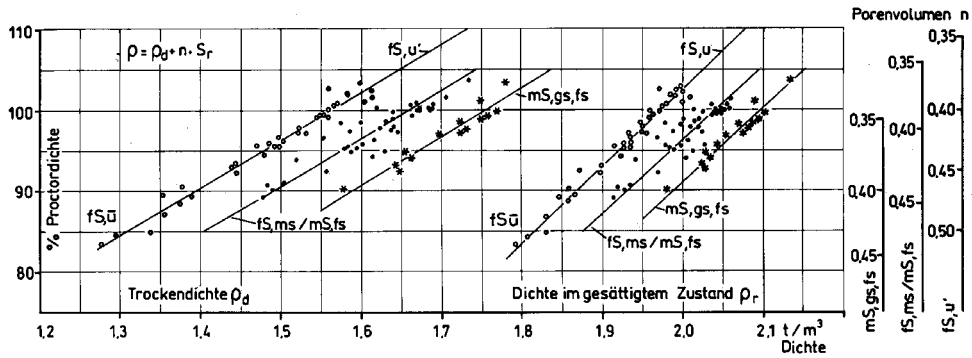


Abb. G 18: Dichte in Abhängigkeit von Porenvolumen, Körnung und Lagerungsdichte bei Spülsanden

Beziehung. Auch der in der Deichkrone gemessene Sondierwiderstand zeigt über die Tiefe häufig starke und sprunghafte Schwankungen, wobei innerhalb einer Aufschütttung aus gleichkörnigen Sanden einzelne lockere Zwischenlagen in der sandigen Kappe eines nur kurze Zeit hydraulisch beanspruchten Deichkerns anders als bei langfristig durchströmten Flussdeichen toleriert werden können.

3.2.1.2 Gemischtkörnige Bodenarten (Sand-Schluff-Gemenge)

Als gemischtkörnige Bodenarten lassen sich solche Sedimente zusammenfassen, deren geotechnische Eigenschaften durch ein Einzelkorngefüge aus Sand bis Grobschluff mit geringem Feinstkornanteil und dementsprechend niedriger Plastizität bestimmt wird (Gruppensymbol nach DIN 18196 SU*, ST, UL). Solche Böden fallen häufig in Bodenentnahmen in der geestfernen Seemarsch an.

Die Verwendung eines schwach bindigen, tlw. kleistreifigen Feinsandes mit ungünstigen geotechnischen Eigenschaften, wie hohem Feinkornanteil, hohem Wasserbindevermögen und mäßiger Wasserdurchlässigkeit (Abb. G 19) ist mit einer deutlichen Qualitätseinbuße verbunden, wobei die zu erwartenden bautechnischen Schwierigkeiten nur durch besondere technologische Maßnahmen zu bewältigen sind.

Ein technisch möglicher, in die wasserführenden Schluffsande hineinreichender tiefer Baggerschnitt führt i.d.R. beim Transport zu einer Verflüssigung des wassergesättigten Erdstoffes mit bautechnischen Komplikationen beim Einbau und bei der Verdichtung dieses Materials im Deichkörper, so dass eine Vorentwässerung unbedingt geboten ist. Als Alternativen kommen in Frage:

- Bei ausreichender Feldgröße: Ein tiefes Schlitzen mit künstlicher Grundwasserabsenkung in den Randgräben, kombiniert mit einer Zwischenlagerung des sehr feuchten Bodenaushubs zur Abtrocknung in Wällen nahe der Entnahme oder in der Deichtrasse (Deichverstärkung Büsum 1995/2. Bauabschnitt Deichverstärkung F. W. Lübkekoog 2001).
- Im Falle einer schmalen, langgestreckten Bodenentnahme: Das Einpflügen von kokosfaserummantelten Längsdräns auf 3,5 m Tiefe u. GOK im Abstand von 7 m. Nach einem erfolgreichen Test in einer 100 m langen Versuchsstrecke, wo die wesentliche Absenkung des Grundwasserspiegels nach 2-tägigem Pumpen erreicht wurde, wurde dies 1999 im ersten Bauabschnitt der Deichverstärkung F.W. Lübkekoog/Nordfriesland ausgeführt.

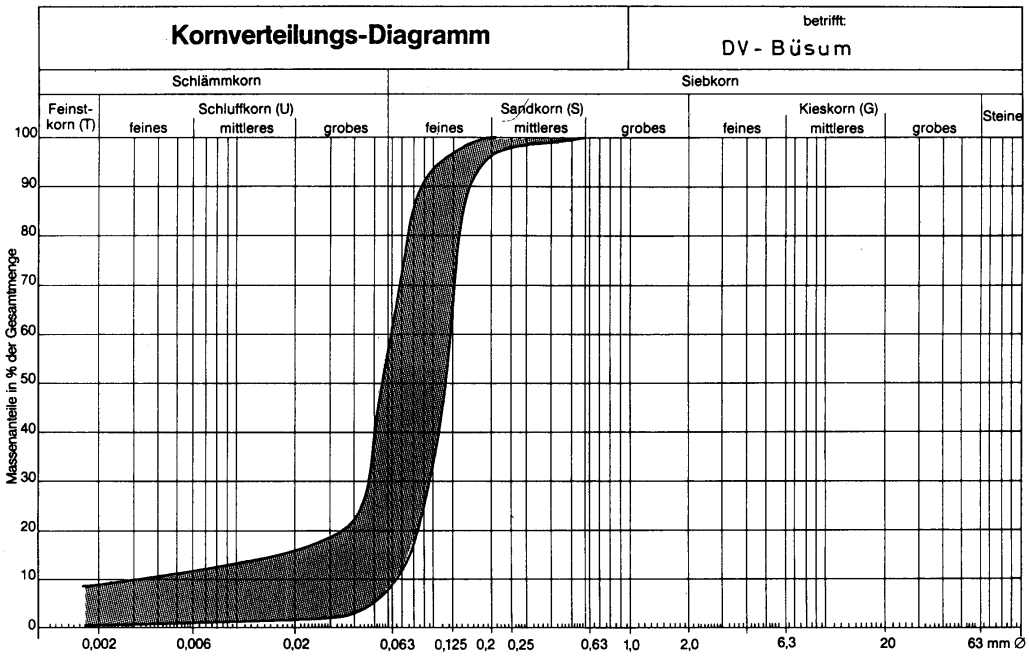


Abb. G 19: Variationsbreite der Korngrößenverteilung eines kleiigen Wattsandes in der Sandentnahme Büsum-Augustenhof

Zu berücksichtigen ist, dass im letzteren Fall auch bei einer Absenkung des Grundwasserspiegels kleiiger Feinsand weitgehend wassergesättigt bleibt. Er ist zwar in diesem Zustand transportierbar und mit Bagger- und Raupenfahrzeugen einbaufähig, doch kann wegen des hohen Einbauwassergehaltes eine Verdichtung nur im begrenzten Maße erfolgen (erzielte Lagerungsdichten D_{pr} = 83–96 %, i. M. 90,6 %). Ein Befahren des frisch profilierten Sandkerns mit Radfahrzeugen ist nur eingeschränkt, vielfach zunächst gar nicht möglich. Insbesondere bei einem Untergrund aus trockenem Sand sowie bei länger freiliegender Oberfläche findet eine allmähliche Austrocknung mit gleichzeitiger Erhöhung der Lagerungsdichte der anfangs nahezu wassergesättigten Schluffsand-Aufschüttung statt. Da nach dem Aufbringen der Kleiabdeckung eine Nachverdichtung des Sandkerns nicht möglich ist, muss für geotechnische Berechnungen der ungünstigste Fall „lockere Lagerung“ zugrunde gelegt werden.

Unter den eiszeitlich entstandenen gemischtkörnigen Ablagerungen an der Ostseeküste ist besonders der *Geschiebesand* verbreitet. Dieser i. a. schluffige bis stark schluffige, etwas grobsandige, sehr schwach tonige, unterschiedlich stark kiesführende Fein- bis Mittelsand der Bodengruppen SU* bis UL ist wegen seines breiten Kornspektrums im erdfeuchten Zustand bei nicht zu nasser Witterung sehr gut verdichtbar, hochscherfest, gering wasserdurchlässig und daher als Baumaterial für den Deichkern geeignet. Wegen seiner sehr geringen Plastizität neigt dieser Boden jedoch bei stärkeren Niederschlägen zum raschen Aufweichen, so dass beim Einbau witterungsbedingte Verzögerungen einkalkuliert werden sollten. Generell ist ein anzustrebender Mindestverdichtungsgrad von 97 % D_{pr} durch lagenweisen Einbau und mehrfaches Überfahren mit einer Vibrationsschaffußwalze sowie abschließender Glättung des Planums problemlos erreichbar.

Im Bereich eiszeitlicher Staubecken kommen örtlich tonstreifige *Beckenfeinsande*/sandreiche *Beckenschluffe* mit geringen Tonbeimengungen vor (vgl. Dreiecksdiagramm der Korngrößenverteilung von Beckensedimenten Abb. G 29), die gleichfalls zu den gemischtkörnigen Bodenarten gehören. Wegen seines engen Kornspektrums kann dieser unterhalb des Grundwasserspiegels entnommene Boden bei normaler Bodenfeuchte nur sehr schlecht verdichtet werden. In Verbindung mit seiner sehr geringen Plastizität ist Beckenschluff wegen der hydraulischen und an der Ostseeküste mitunter langanhaltenden dynamischen Beanspruchung aus Wellenschlag anfällig gegen Verflüssigung und daher als Baustoff für den Deichkern nicht geeignet.

3.2.1.3 Geschiebelehm/-mergel

Der eiszeitlich entstandene Geschiebemergel mit seiner aufgelockerten, im Grundwasserbereich oft aufgeweichten Lehmüberdeckung von sehr unterschiedlicher Stärke ist das an der Ostseeküste am weitesten verbreitete bindige Sediment. Er wird deshalb dort vorzugsweise als Schüttmaterial bzw. Abdeckboden im Deichbau verwendet. Kornanalytisch handelt es sich um einen tonigen Schluffsand mit breitem Kornspektrum und geringem, für die technische Verwendbarkeit aber oft nicht unwesentlichem Kies- und Steinanteil (Abb. G 20); hinsichtlich seiner plastischen Eigenschaften erfolgt die Einstufung zumeist als leichtplastischer Ton nach DIN 18196. Der hohe Sandanteil bestimmt die einem rolligen Boden vergleichbare hohe Reibungsfestigkeit, während der Feinkornanteil an Schluff und Ton für die teilweise beachtliche Kohäsion des Bodens, seine geringe Durchlässigkeit und die niedrige Schrumpffähigkeit insbesondere der durch ehemalige Gletscherauflast vorkonsolidierten Stauch- und Grundmoräne verantwortlich ist. Für die bautechnische Verwendung sind die folgenden Aspekte zu berücksichtigen:

– Bereichsweise starke Schwankungen in der Kornzusammensetzung mit unregelmäßigen Einlagerungen von ton-, schluff- und insbesondere sandreichen Partien (Geschiebe- und Schmelzwassersand) sowie Einschlüssen von Kies, Steinen und Blöcken. Örtlich kommen auch hochplastische, stark quellfähige braune und grüne tertiäre Tone in aufgearbeiteter

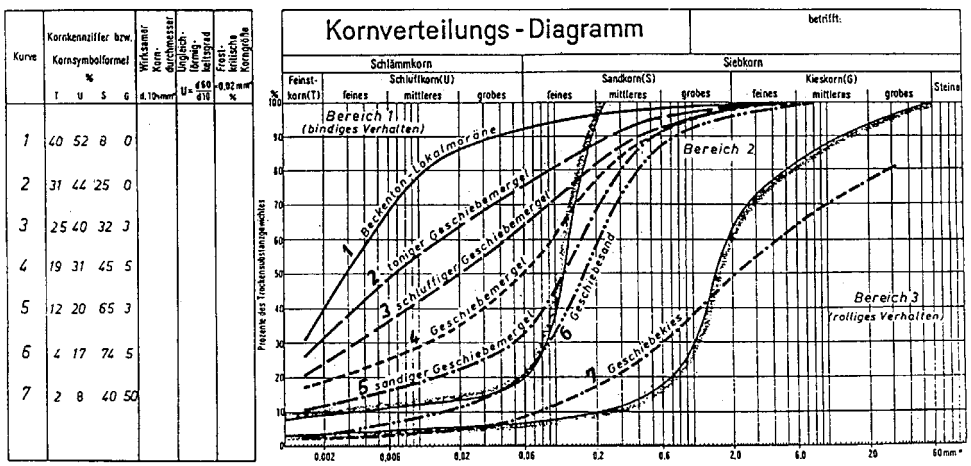


Abb. G 20: Typische Kornsummenlinien von Geschiebeböden in Schleswig-Holstein

Form oder als glazial eingestauchte Schuppen vor (z. B. an der holsteinischen Küste in Wagrien und auf der Insel Fehmarn), die in beiden Fällen als Deichbaustoff nicht geeignet sind.

– Unterschiedliche Wassergehalte und Festigkeiten in der witterungsbedingt angetrockneten Deckschicht, in der unterlagernden, aufgelockerten, tlw. periglazial umgelagerten, oft aufgeweichten Verwitterungszone und im unveränderten Mergel im Liegenden als Ausgangsmaterial mit entsprechenden Auswirkungen auf die mechanische Lösbarkeit (DIN 18130/18131) und Verdichtbarkeit.

Die in der Tab. B 6 der EAK 1993 genannten Anforderungen an bindige Böden im Wasserbau beziehen sich i. W. auf die Verdichtbarkeit; sie geben jedoch keinen eindeutigen Hinweis auf ihre Verwendbarkeit als Deichbaumaterial. Bisher liegen nur wenige Erfahrungen über baustoffbedingte Sturmflutschäden an Ostseedeichen vor, die – im Gegensatz zu den Verhältnissen an der Nordsee – weniger hohen, dafür jedoch extrem langandauernden Sturmfluten ausgesetzt sind.

Im Rahmen dieser Richtlinie wurden als Grundlage für eine allgemeine Bewertung die seit 1972 im Geologischen Landesamt S-H, später Landesamt für Natur und Umwelt, für die schleswig-holsteinische Ostseeküste gesammelten geotechnischen Kennwerte – ergänzt durch Stichproben aus Mecklenburg-Vorpommern – ausgewertet und statistisch analysiert. Die ermittelte Variationsbreite der Körnung ist in Abb. G 21 grafisch dargestellt.

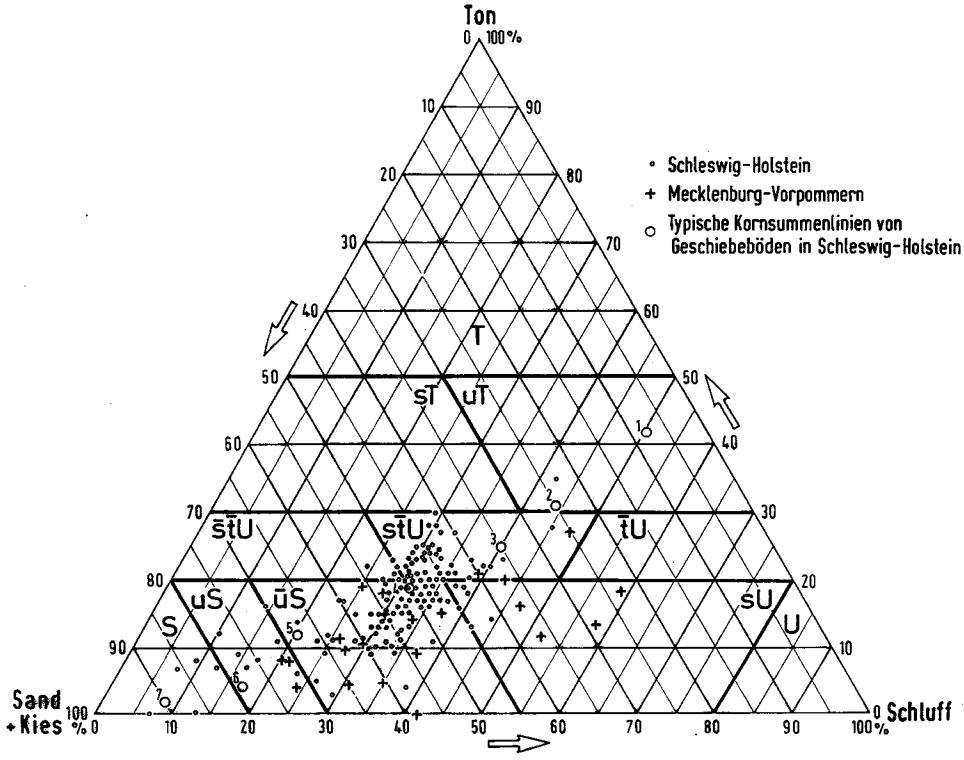


Abb. G 21: Dreiecksdiagramm der Korngrößenverteilung von Geschiebeböden

Generell ist der Geschiebelehm und -mergel als Baumaterial für den Deichkern gut geeignet. Der hohe Sandanteil des Mergels erlaubt bei geeignetem Einbauwassergehalt (entsprechend einer Konsistenz $I_c \geq 0{,}5$) durch Einsatz von Vibrationsschaffußwalzen eine gute Verdichtung (mind. $D_{pr} = 95$ %). Mergelpartien mit größeren Sandeinschlüssen sollten vorzugsweise in den Deichkern eingebaut werden.

3.2.2 Material für die Deichabdeckung

Eine bindige Deichabdeckung soll die folgenden Aufgaben erfüllen:
- Schutz des sandigen Deichkerns gegen Wellenschlag und Erosion,
- Reduzierung der Infiltrationsrate (Durchsickerung), wobei im Gegensatz zu einer Deponieabdeckung keine absolute Dichtigkeit der Abdeckung erforderlich ist und
- Bildung eines Substrates für eine möglichst dichte Grasnarbe.

3.2.2.1 Klei

Klei i. e. S. ist ein durch Verwitterungsvorgänge angetrockneter oder durch Sedimentauflast verfestigter, konsolidierter ehemaliger Schlick an der Nordseeküste sowie in den angrenzenden Tidestromästuaren. Er ist wie dieser ein bindiges, örtlich stark wechselndes Gemisch aus den Kornfraktionen Ton, Schluff und Sand mit unterschiedlichen organischen Anteilen als Pflanzenreste und in feinverteilter Form.

In der bautechnischen Praxis werden dem Klei i. A. auch die unterhalb der abgetrockneten Deckzone sehr weichen, unkonsolidierten Schlickschichten zugerechnet.

Von den üblichen geotechnischen Klassifizierungsmerkmalen für einen deichfähigen Klei sind als unabhängige Variable die folgenden Parameter anzusehen:

Tonanteil	T	(%)			
Einbauwassergehalt	w	(%)			
Glühverlust	V_{gl}	(%)			
Fließgrenze	w_L	(%)	bzw.	Plastizitätszahl	I_p (%)
Gefügestabilität	Sts	(%)	bzw.	Zerfallsziffer	t_{30} (s).

Die nach DIN 19683, Blatt 16 im Siebtauchverfahren ermittelte Gefügestabilität Sts als Maß für die Widerstandsfähigkeit eines Bodens gegen Erosion und Zerfall nimmt mit steigendem Glühverlust bzw. Fließgrenzwassergehalt jeweils geringfügig zu, ohne klare Korrelationen erkennen zu lassen. Der Sts-Wert wird wie die Zerfallsziffer stark durch den Anfangswassergehalt und die Einbaudichte beeinflusst (Richwien u. Weissmann, 1995). Bei einem verglühbaren Anteil ≥ 4 % bzw. einem Fließgrenzwassergehalt ≥ 40 % ist die Gefügestabilität mit $45 \leq Sts \leq 90$ % generell ausreichend hoch (Temmler u. Filipinski, 1997), so dass die verhältnismäßig aufwendige Bestimmung dieses Parameters im Regelfall entbehrlich erscheint.

Zwischen dem Einbauwassergehalt und dem Schrumpfmaß V_s der bei 105 °C ofengetrockneten Proben besteht eine signifikante Beziehung (s. Abb. G 22).

Bei entsprechender Konsistenzzahl I_c korrelieren auch die Kennziffern w und V_{gl} befriedigend untereinander, so dass als Hauptmerkmale neben dem zeitlich und örtlich schwankenden Einbauwassergehalt w die Parameter Tonanteil T und Fließgrenzwassergehalt w_L (alternativ die Plastizitätszahl I_c) als Klassifizierungseigenschaften verbleiben.

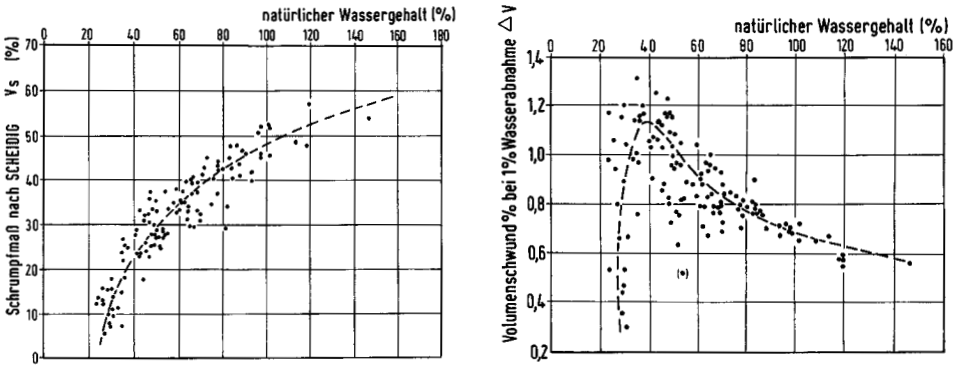


Abb. G 22: Schrumpfmaß/rel. Volumenschwund gegen Einbauwassergehalt bei Schrumpfversuchen am Klei/Schlick in Nordfriesland

Für einen als Deichabdeckung geeigneten Klei können die in der Tab. G 2 genannten Grenzwerte der Bodeneigenschaften aus vorhandenen Richtlinien zur Orientierung dienen.

Tab. G 2: Grenzwerte der Bodeneigenschaften für Klei als Deichabdeckboden nach vorhandenen Richtlinien

Bodeneigenschaften	Grenzwerte	
	Tab. B 7 (EAK 93)	HH-Richtlinien
a) Glühverlust	< 10 %, max. 15 %	< 10 %, max. 15 %
b) Sandanteil	< 40 %	< 40 %, höher nur bei I_p > 10 %
c) Tonanteil	> 10 (15) %	10 ≤ T ≤ 40 %
d) Fließgrenze	> 25 (45) %	?
Ausrollgrenze	> 15 (25) %	?
Plastizitätszahl	> 10 (20) %	> 10, optimal 20–35 %
e) Anfangsscherfestigkeit	> 20 (30) kN/m²	keine Angabe
f) Trockendichte	0,85 (1,0) ≤ ρ_d ≤ 1,45 t/m³	ρ_d ≥ min. ρ_d bei S_r = 0,98
g) Einbauwassergehalt	30 ≤ w ≤ 80 (60) %	20 ≤ w ≤ 40 %

Bestimmte geotechnische Eigenschaften hängen stark vom Einbauwassergehalt ab. Dies gilt insbesondere für die Anfangsscherfestigkeit, das relative und absolute Schrumpfmaß sowie die Verdichtbarkeit. Witterungsbedingt ausgetrocknete, von zahlreichen Schrumpfrissen durchsetzte tonige und organische Kleischichten besitzen in diesem Zustand eine hohe Infiltrationsgeschwindigkeit (Wasserdurchlässigkeit). Bei den üblichen Herbst- und Winterniederschlägen führt das Quellen der Tonpartikel jedoch zu einem partiellen Schließen der Schrumpfrisse mit einer drastischen Reduzierung der Infiltrationsrate. LANU-Untersuchungen unmittelbar nach der Februarsturmflut 1999 an holsteinischen Elbdeichen ergaben, dass in Bereichen mit stark bröckeligem Kleigefüge die Eindringtiefe des Wassers in der länger überfluteten Deichaußenböschung einen Betrag von 20–80 cm nicht überschritten hatte. Auch wenn diese Beobachtung noch an anderen Stellen überprüft werden sollte und in dieser Form noch nicht verallgemeinert werden kann, reduziert auch eine tonige Kleiabdeckung mit ausgeprägtem Polyedergefüge die Wasserdurchlässigkeit in ausreichendem Maße.

Manche tiefgründig entkalkten Böden der alten Marsch (Knickmarsch) besitzen von Natur aus einen niedrigen pH-Wert, äußerlich häufig erkennbar an gelben Flecken aus Jarosit bzw. Maibolt. Hohe, an der schwarzgrauen Färbung erkennbare Sulfidanteile im schlickigen Klei führen bei der Oxidation zur vorübergehenden Versauerung des Bodens, bis die entstandene Schwefelsäure durch die Niederschläge wieder ausgewaschen ist. Dieser Prozess kann sich bei pH-Werten ≤ 4 sehr nachteilig auf das Anwachsen der Grassaat auswirken. Zum Ausgleich ist eine intensive Kalkung mit Einfräsung in die Deckschicht notwendig.

Durch die Entsalzung der frisch aufgeschütteten bindigen Deichabdeckung findet allmählich eine Veränderung der Kationenbelegung im Ton (von Na^+ zu Ca^{2+}) statt, welche längerfristig auch einzelne geotechnische Kennwerte verändert (Abnahme der Fließgrenze, Entkalkung des Bodens, Anreicherung von organischer Substanz in der Deckschicht mit gleichzeitiger Erhöhung der Gefügestabilität, ggf. auch Tonumlagerungen von oben nach unten). An der grundsätzlichen bautechnischen Bewertung der einzelnen Bodenarten ändert sich hierdurch nichts; insbesondere sind keine negativen standsicherheitsrelevanten Auswirkungen erkennbar.

Zwischen den verschiedenen geotechnischen Kennwerten bestehen vielfach Korrelationen (SCHUPPENER, 1987; SCHUPPENER u. KIEKBUSCH, 1988; KIEKBUSCH, 1999; MARDINLI u. WALGER, 1976; SOOS, 2001; TEMMLER, 1973). Für eine Vorbemessung können aufwendige Versuche häufig entfallen oder auf Stichproben beschränkt werden, sofern sich die maßgebenden geotechnischen Daten von einfachen bodenphysikalischen Messwerten hinreichend zuverlässig ableiten lassen.

MARDINLI u. WALGER (1976) haben auf der Grundlage umfangreicher Multikorrelationsanalysen, basierend auf dem mit vielen anderen Kennwerten im funktionellen Zusammenhang stehenden natürlichen Wassergehalt w_N, folgende Bodengruppen unterschieden:

I	w_N% < 30,4	Wattsande, ausgetrockneter Klei
IIa	w_N% 30,5– 40,4	sandiger Klei
IIb	w_N% 40,5– 90,4	Klei
IIc	w_N% 90,5–130,4	humoser Klei
III	w_N% 130,5–250,4	stark humoser Klei, Torf-Klei-Gemische
IVa	w_N% 250,5–550	Torf-Klei-Gemische, verfestigte Torfe, sandige Torfe (Basal-Torfe)
IVb	w_N% > 550	unzersetzte Torfe

und diesen Einheiten mittlere geotechnische Kennwerte zugeordnet.

LANGER (1963) hat aufgrund seiner Untersuchungen an aufgearbeitetem, schluffig-tonigem Deichbaumaterial hinsichtlich der mineralogischen und rheologischen Eigenschaften, des Wasserbindevermögens und der Zerfallseigenschaften für Kleiböden die nachfolgende, auf den plastischen Eigenschaften basierende Qualitätsbewertung vorgeschlagen:

Bewertung nach LANGER	Fließgrenze w_L (%)	Plastizität I_p (%)
gutes Deichbaumaterial	35–65	20–40
mittelmäßiges Deichbaumaterial	25–45	15–20
mittelmäßiges Deichbaumaterial	65–75	30–45

Die von LANGER empfohlenen Bereichsgrenzen zwischen den verschiedenen Baustoffqualitäten sind zusammen mit einer großen Zahl von w_L- und I_p-Messdaten von Deichmaterialien der ostfriesischen und schleswig-holsteinischen Nordseeküste – ergänzt durch die Mindestgrenzwerte gemäß Tab. B 7 der EAK 1993 – in die Plastizitätskarte (Abb. G 23) eingezeichnet. In den Diagrammen der Abb. G 24 und G 25 ist die für Abdeckböden schleswig-holsteinischer Westküstendeiche ermittelte Beziehung zwischen dem Tonanteil und der Fließgrenze bzw. Plastizitätszahl aufgetragen und darin zusätzlich der Eignungsgrad als Deichabdeckboden eingeschrieben.

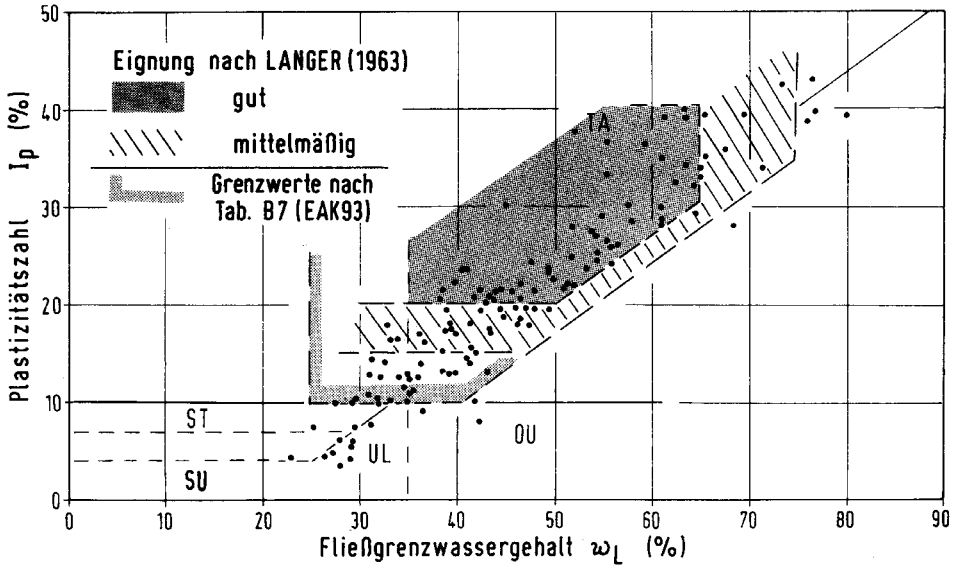


Abb. G 23: Plastizitätskarte von Deichabdeckböden an der Nordseeküste

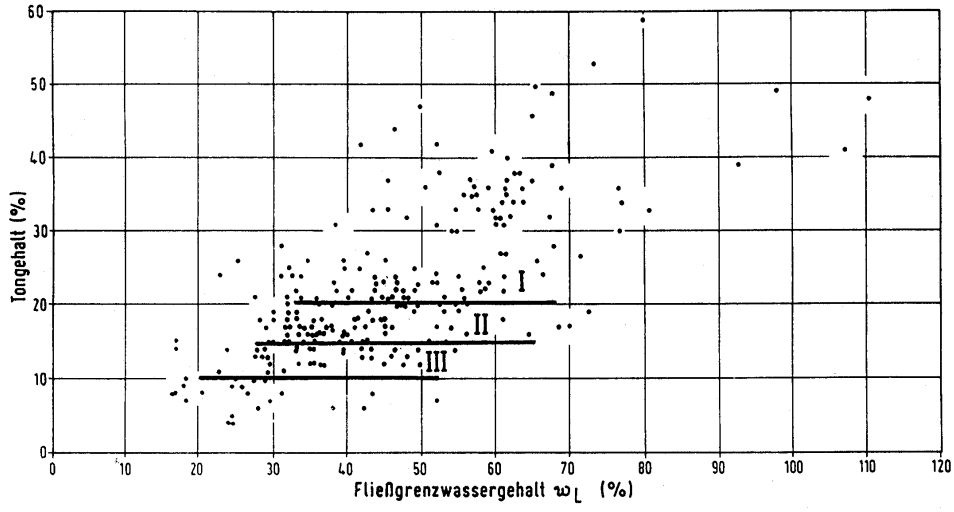


Abb. G 24: Tongehalt vs. Fließgrenze von Deichabdeckböden an der Nordseeküste

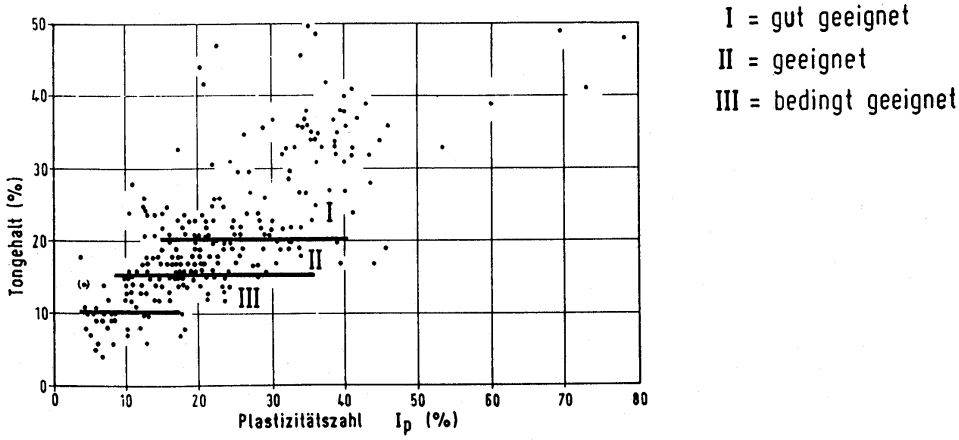


Abb. G 25: Tongehalt vs. Plastizitätszahl von Deichabdeckböden an der Nordseeküste

Die Kleiqualität im Hinblick auf die Verwendung als Deichabdeckboden lässt sich aufgrund neuer geotechnischer und bodenkundlicher Untersuchungen gem. Tab. G 3 klassifizieren.

Tab. G 3: Empfohlene Grenzwerte für Klei als Deichabdeckung

Bodeneigenschaft	Grenzwerte		
	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Bodenart	schluff./ton. Klei	sand. Klei	st. sand. Klei
a) Tonanteil (d < 0,002 mm / %)	20–40	15–20	10–15
b) Sandanteil (d > 0,063 mm / %)	10–40	25–50	30–50
c) Fließgrenze w_L (%)	35–70	30–55	25–40
Plastizitätszahl I_p (%)	20–45	15–20	10–15
d) Einbauwassergehalt w (%)	25–60	25–50	25–45
e) Trockendichte ρ_d (t/m^3)	1,10–1,45	1,15–1,50	1,25–1,55
f) Anfangsscherfestigkeit c_u (kPa)	≥ 25	≥ 30	≥ 40
g) Glühverlust Vgl (%)	≤ 10	≤ 10	≤ 5

Anm.: Die vorgenannten Zahlenwerte schließen zwar Altdeichböden mit ein, gelten jedoch hauptsächlich für nicht vorkonsolidierte bindige Schichten aus einer Bodenentnahme in der Deichnachbarschaft. Sie decken nicht die gesamte Bandbreite der vorkommenden Bodenarten ab. So finden sich etwa auf allen nordfriesischen Inseln im Deichkörper fette Kleiböden mit Tongehalten zwischen 40 und 60 % und entsprechend hoher Plastizität (I_p = 45–80 %), die im Falle eines zu hohen Einbauwassergehaltes bautechnisch nur schwierig zu bearbeiten sind (Kleben des Bodens an der Baggerschaufel) und bei nachträglicher witterungsbedingter Antrocknung der Deichhaut zu ausgeprägten Schrumpfrissen in der bindigen Abdeckung führen. Sie neigen jedoch andererseits im trockenen Zustand zur Klumpenbildung, wobei ein hohlraumfreier Einbau nur mit besonderem Verdichtungsaufwand gelingt. Die bei geeignetem Einbauwassergehalt durchaus mögliche Verwendbarkeit solcher Böden als Deichabdeckung muss im Einzelfall von einem erfahrenen Baugrundsachverständigen auch unter den spezifischen Besonderheiten des Bauablaufs geprüft werden. Dies gilt wegen ihres hohen natürlichen Wassergehalts und der damit verbundenen geringen Anfangsscherfestigkeit sowie ausgeprägten Schrumpffähigkeit auch für sehr weiche bis breiige Schlickböden mit Plastizitäts- und Körnungeigenschaften, die mit denen eines guten Kleis vergleichbar sind. Die erstgenannten Eigenschaften können bei nicht zu hohem Tonanteil durch eine Zwischentrocknung und Einbau in dünnen Lagen (vgl. hierzu Abschn. 4.3.2.2) entscheidend verbessert werden.

Wenn Schlick oder Klei von breiiger Konsistenz als Abdeckboden verwendet werden, hängt die Widerstandsfähigkeit der Deichabdeckung im Sturmflutfall außer von der Gefügestabilität bzw. Zerfallsziffer sowie den kornanlytischen und plastischen Eigenschaften wesentlich auch von den Einbaubedingungen ab. Ein stark toniger, im sehr weichen bis breiigen Zustand eingebauter Klei lässt sich einerseits nur schlecht verdichten; zum anderen wird das ursprünglich dichte Kohärentgefüge des bindigen Schüttmaterials durch die Verwitterung (Frost-, Tau-, Austrocknungs- und Quellvorgänge) über kurz oder lang in ein Aggregatgefüge aus Säulen, Prismen und Polyedern sowie Krümeln im Oberbodenbereich mit relativ hoher Wasserdurchlässigkeit zerlegt, welches den Boden im ausgetrockneten Zustand anfällig gegen Erosion (bei Schäden an der Grasnarbe) und oberflächliche Aufweichung bei Starkniederschlägen und/oder Wellenüberlauf macht. Schlickiges Material bedarf deshalb nach dem Einbau auf dem sandigen Deichkern einer zwischenzeitlichen mehrmonatigen Abtrocknung, bevor die Oberfläche nochmals bearbeitet, ggf. zur Zerstörung der entstandenen Schrumpfrisse aufgefräst und anschließend mit Planierraupen das endgültige Feinplanum mit der erforderlichen Profilüberhöhung erstellt wird.

3.2.2.2 Geschiebelehm/-mergel

Dieser eiszeitliche Boden unterscheidet sich sowohl in seiner Korngrößenverteilung als auch in dem Tonmineralbestand stark von den Sedimenten der holozänen Nordseeformation, so dass sich die für den deichfähigen Klei gültigen geotechnischen Kennwerte nicht auf die Moränenablagerungen übertragen lassen. Wegen der langen Verweilzeiten kritischer

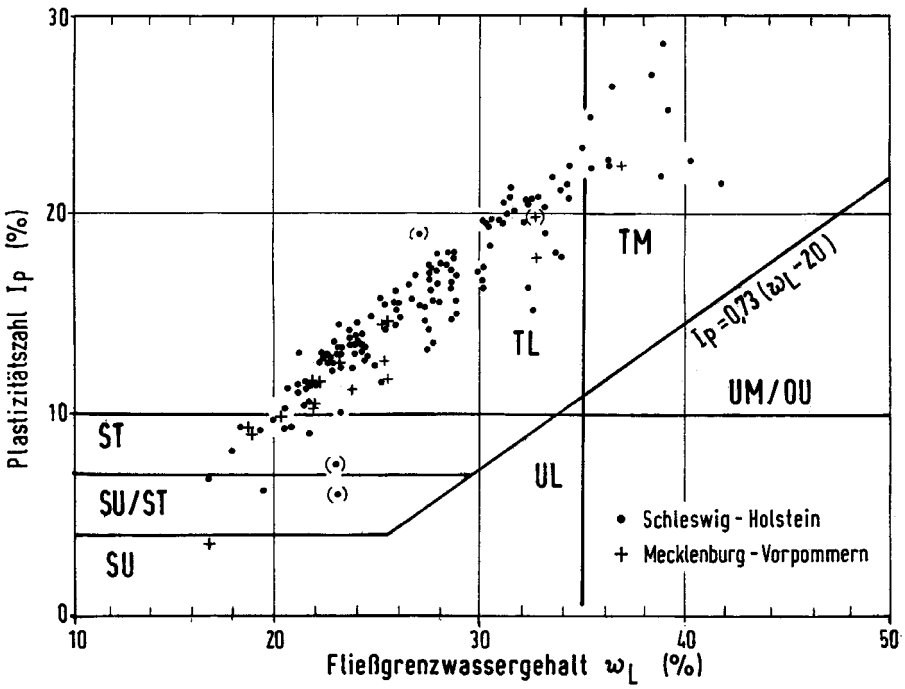


Abb. G 26: Plastizitätskarte von Geschiebeböden

Sturmflutwasserstände am Ostseestrand sind für die Erosionsstabilität der Deichabdeckung gegen Wellenschlag insbesondere ein Mindest-Tongehalt, ausreichende plastische Eigenschaften sowie eine möglichst geringe Zerfallsgeschwindigkeit erforderlich, wogegen eine niedrige Durchlässigkeit ($k_f < 1 \cdot 10^{-8}$ m/s) und eine geringe Neigung zum Schrumpfen auch bei einem als Deichabdeckung ungeeigneten, schwach bindigem Sand vorhanden sind.

In den Abb. G 26–G 28 sind die plastischen Eigenschaften untereinander und die Beziehung zwischen dem Tonanteil und dem Fließgrenzwassergehalt bzw. der Plastizitätszahl für Geschiebesedimente an der Ostseeküste aufgetragen.

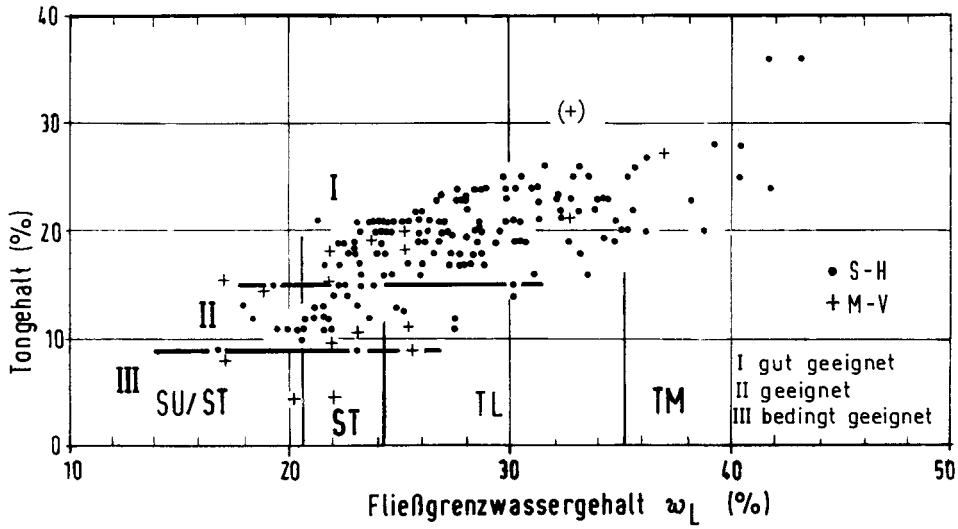


Abb. G 27: Tongehalt vs. Fließgrenze bei Geschiebeböden

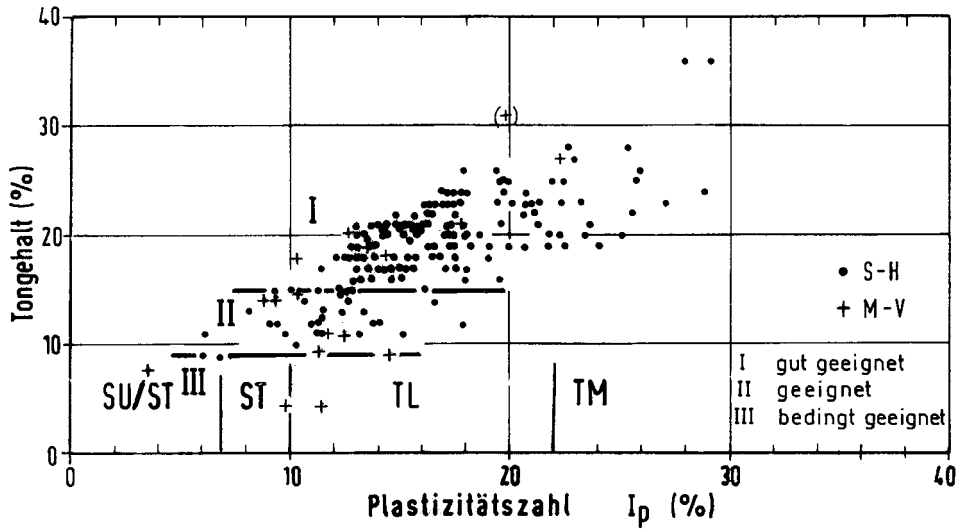


Abb. G. 28: Tongehalt vs. Plastizitätszahl bei Geschiebeböden

Darüber hinaus existiert auch bei den Geschiebeböden eine deutliche Beziehung zwischen den Parametern Dichte, Wassergehalt und Sättigungsgrad sowie eine jeweils enge Korrelation zwischen der Fließgrenze und der einfachen Proctordichte bzw. dem optimalen Wassergehalt sowie zwischen der Konsistenzzahl I_c und dem Logarithmus der undränierten Scherfestigkeit (KIEKBUSCH, 1999).

Ein für die Deichabdeckung geeigneter Geschiebeboden sollte die in der Tab. G 4 genannten Grenzwerte der Bodeneigenschaften aufweisen.

Tab. G 4: Empfohlene Grenzwerte für Geschiebelehm und -mergel als Deichabdeckung

Bodeneigenschaft	Grenzwerte		
	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Bodenart	Lehm/Mergel	sand.Lehm/Mergel	st.sand.Lehm/Mergel
a) Tonanteil (d < 0,002 mm / %)	≥ 15	9–15	4–9
b) Sand- und Kiesanteil (d > 0,063 mm / %)	25–55	35–65	60–75
c) Fließgrenze w_L (%)	≥ 22	18–27	15–20
Plastizitätszahl I_p (%)	≥ 12	6–12	4–10
d) Einbauwassergehalt w (%)	8–18	8–13	7–12
e) Trockendichte ρ_d (t/m³)	1,70–2,05	1,95–2,05	1,95–2,05
f) Anfangsscherfestigkeit c_u (kPa)	50–300	50–300	100–300

Steht als Baumaterial nur bedingt geeigneter Geschiebeboden zur Verfügung, sollten die Deichaußenböschung abgeflacht, ggf. im unteren Teil durch ein Steindeckwerk gesichert und die Mächtigkeit der bindigen Abdeckung erhöht werden. Bei sehr wechselhafter Zusammensetzung empfiehlt sich eine Aufschüttung der Abdeckung in mehreren Lagen (Durchmischung), um eine örtliche Anreicherung von stark sandigem Material in der Deichabdeckung zu vermeiden.

Die in der Tab. G 4 angegebenen Zahlenwerte für den Einbauwassergehalt, die Trockendichte und die Anfangsscherfestigkeiten sind so gewählt, dass bei dem üblichen lagenweisen Einbau mit Raupenfahrzeugen unter normalen Witterungsverhältnissen eine Lagerungsdichte von D_{pr} = 97 % erreicht werden kann.

Bei ungünstigeren Einbauwassergehalten lassen sich entsprechende Mindest-Dichte- und Festigkeitswerte durch mehrfaches Überfahren des Schüttfeldes mit einer Vibrationsschaffußwalze und ggf. durch Kalkzugabe erzielen. Die Verwendung von halbfestem Mergel mit c_u-Werten ≥ 600 kN/m² (KIEKBUSCH, 1999) erfordert wegen der Schwierigkeiten beim Lösen und hohlraumfreien Einbau im Einzelfall besondere Untersuchungen.

Generell ist zu beachten, dass eine geringplastische Mergelabdeckung im Vergleich zum Klei sehr spröde ist und auf Zugbeanspruchungen in der Deichhaut (z. B. im Bereich der konvexen, sattelförmig verbogenen Flanke einer Setzungsmulde bei einer asymmetrischen Altdeichverstärkung auf weichem Untergrund) gelegentlich mit der Ausbildung ausgeprägter, tiefer Längsrisse reagiert. Nach jüngsten Erfahrungen auf einer Deichbaustelle auf der Insel Fehmarn können sich auch in einer im weich- bis steifplastischen Zustand eingebauten, während der Bauphase oberflächlich abgetrockneten Geschiebemergel-Abdeckung in einer länger andauernden niederschlagsarmen Witterungsphase wie im Sommer 2000 mehrere Dezimeter tiefe, oben Zentimeter breite Trockenrisse ausbilden, die sich mit einsetzendem Herbstregen durch Abbröckeln der Rissränder und Quellvorgänge im Mergel größtenteils von selbst wieder schließen.

3.2.2.3 Eiszeitliche Schluffe und Tone

Diese in Staubecken abgelagerten, teilweise noch vom Gletscher überlaufenen und gestauchten Sedimente zeichnen sich durch ein enges Kornspektrum (Abb. G 29) und eine durchweg geringe Aktivität, d. h. durch einen im Verhältnis zum Klei niedrigen Fließgrenzwassergehalt bei entsprechendem Feinstkornanteil aus. Bei einem Tonanteil ≤ 10 % lassen sich die Zustandsgrenzen zur Bestimmung der plastischen Eigenschaften zumeist nicht ermitteln. Wegen dieser Eigenschaften müssen die geotechnischen Grenzwerte für deichfähigen Beckenschluff im Vergleich zum Geschiebemergel heraufgesetzt werden. Bei den fetten Beckentonen besteht andererseits die Gefahr, dass der gelöste Boden an der Baggerschaufel klebt und dadurch die wirtschaftliche Gewinnbarkeit beeinträchtigt wird.

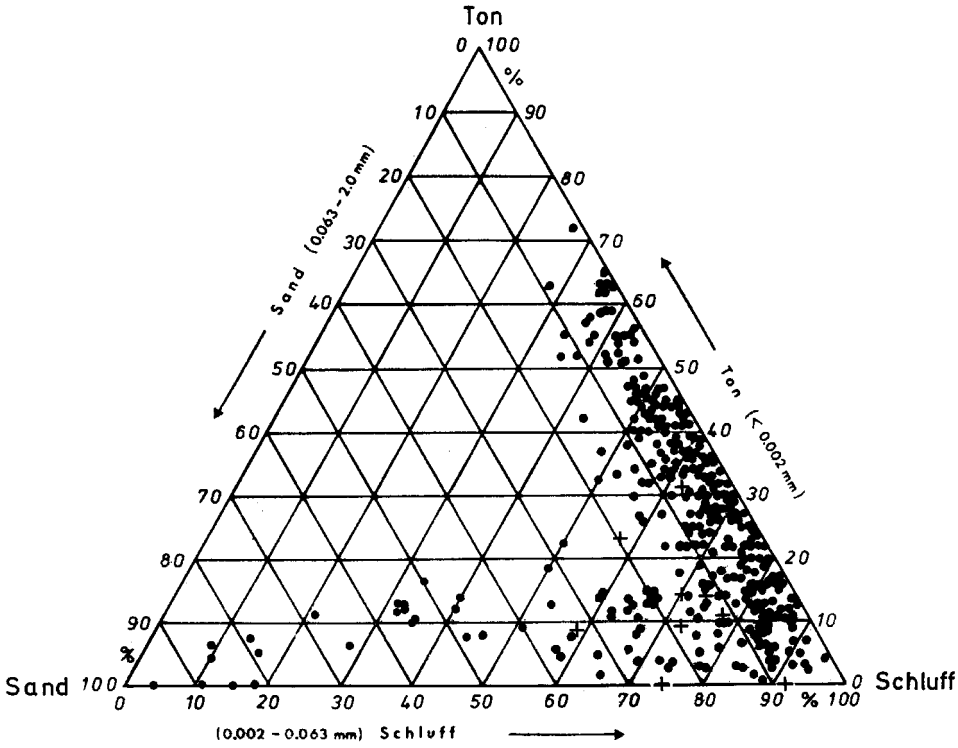


Abb. G 29: Dreiecksdiagramm der Korngrößenverteilung pleistozäner Beckenablagerungen

Auf den umfangreichen statistischen Untersuchungen von Alai-Omid (1976) und den in den Abb. G 31 und G 32 dargestellten Korrelationen zwischen dem Tongehalt und der Fließgrenze bzw. der Plastizitätszahl aufbauend, werden unter Berücksichtigung der Tab. B 6 der EAK 93 „Anforderungen an bindigen Boden im Wasserbau nach Striegler (1968)" für die Verwendung eiszeitlicher Beckenablagerungen (einschl. des Lauenburger Tons) als Deichabdeckboden die in der Tab. G 5 genannten Grenzwerte empfohlen.

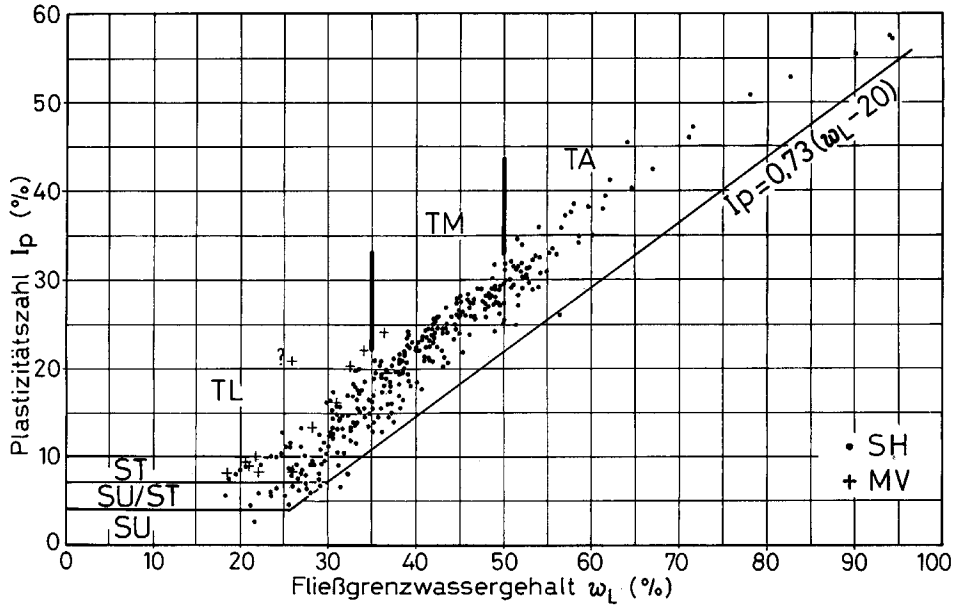


Abb. G 30: Plastizitätskarte für pleistozäne Beckenablagerungen

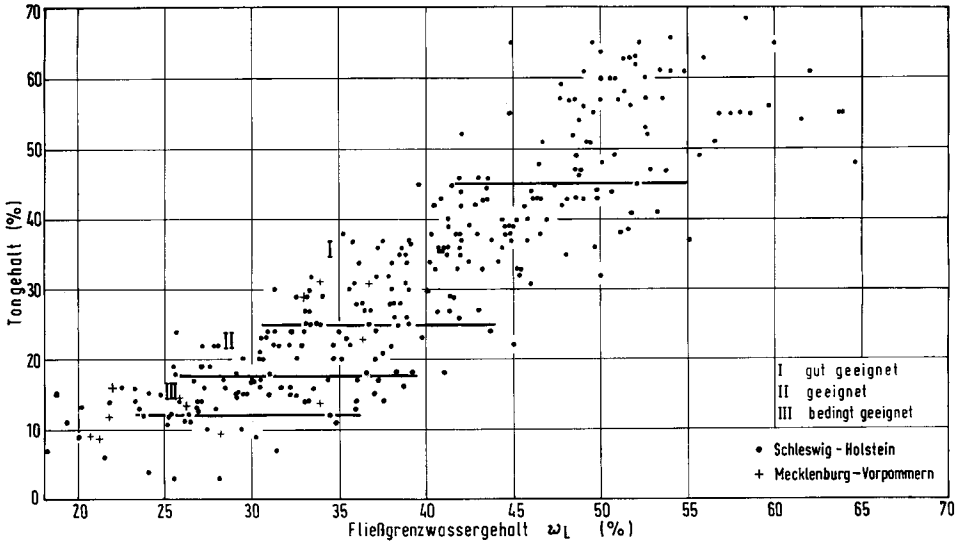


Abb. G 31: Tongehalt vs. Fließgrenze bei pleistozänen Beckenablagerungen

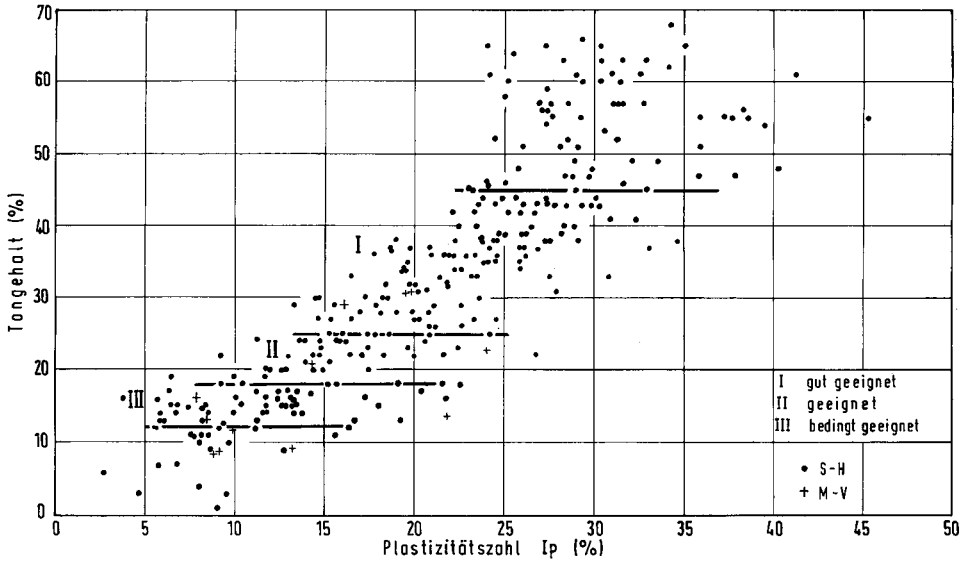


Abb. G 32: Tongehalt vs. Plastizitätszahl bei pleistozänen Beckenablagerungen

Tab. G 5: Empfohlene Grenzwerte für Beckensediment als Deichabdeckung

Bodeneigenschaft	Grenzwerte		
	gut geeignet	geeignet	bedingt geeignet
Bodenart	T,u–U,t,fs'	U,fs,t	U, fs*,t
a) Tonanteil (d < 0,002 mm / %)	25–45	18–25	12–18
b) Sandanteil (d > 0,063 mm / %)	≤ 15	≤ 20	≤ 30
c) Fließgrenze w_L (%)	33–52	27–40	22–35
Plastizitätszahl I_p (%)	15–33	12–24	6–14
d) Einbauwassergehalt w (%)	20–35	18–25	16–20
e) Trockendichte ρ_d (t/m³)	1,50–1,65	1,60–1,70	1,65–1,75
d) Anfangsscherfestigkeit (kPa)	70–300	80–300	100–300

Anm.: Die vorgenannten Zahlenwerte schließen zwar Altdeichböden mit ein, gelten jedoch hauptsächlich für anstehende bindige Schichten aus einer seitlichen Bodenentnahme. Sie decken nicht die gesamte Bandbreite der vorkommenden Beckenablagerungen ab. Kleine Partien aus weniger geeignetem Beckenschluff lassen sich mit brauchbarem Geschiebemergel verschneiden. Eine mögliche Verwendbarkeit hochplastischer, insbesondere eistektonisch vorbelasteter Beckenablagerungen mit Tonanteilen > 45 % muss im Einzelfall von einem erfahrenen Baugrundsachverständigen auch unter Berücksichtigung des Bauablaufs geprüft werden.

3.2.3 Verwendung von Baggergut im Deichbau

Schon seit langem existieren Bestrebungen, das beim Ausbau und bei der Unterhaltung von verkehrstechnisch genutzten Gewässern in großen Mengen anfallende Baggergut auch wirtschaftlich zu nutzen. Angetrockneter tonreicher Baggerschlick wurde in der Vergangenheit örtlich zum Aufbau auch steilgeböschter Polderdämme verwendet, so dass

bei der Einhaltung der erforderlichen Schadstoffkriterien und bestimmter geotechnischer Randbedingungen eine teilweise Wiederverwendung als Abdeckboden im Deichbau naheliegt.

In den Jahren 1997/98 mussten im Zuge der Baumaßnahme Deichbau Glückstadt-Süd drei südlich des Glückstädter Außenhafens gelegene, insgesamt 6,4 ha große Polder vom neuen Deich überbaut bzw. vollständig geräumt werden. Sie wurden in den vorangegangenen 15 Jahren etappenweise und alternierend bis zu 3,5 m hoch mit dem bei der Räumung des Glückstädter Hafens angefallenen flüssigen Schlick aufgefüllt. Bei Baubeginn lag das überwiegend schwach feinsandige, ton- und schluffreiche, ausgeprägt plastische Baggergut in weicher bis zähflüssiger Konsistenz und Anfangsfestigkeiten c_u zwischen 4 und 25 kN/m² vor. Das anfangs nur auf Baggermatratzen befahrbare Schlickspülfeld wurde zunächst geschlitzt und der geländegleiche Grundwasserspiegel abgesenkt, bevor der Boden im Trockenbetrieb ausgehoben und im Bereich der Deichtrasse durch Sand ersetzt werden konnte. Nach dem Entfernen der oberflächlich vom Weidengebüsch stark durchwurzelten Deckschicht wurde zunächst der teilkonsolidierte, mäßig verfestigte Schlick aus den Nachbarpoldern ausgehoben und auf der Sandauffüllung in der neuen Deichtrasse in 0,7–1,0 m Stärke abgelagert. Nach erfolgreich verlaufenen Testversuchen wurde später auch mit dem extrem weichen Schlick aus dem erst 1992 zuletzt beschickten, von der neuen Deichtrasse auf 350 m Länge gequerten Polder entsprechend verfahren. Voruntersuchungen hatten zuvor sichergestellt, dass der Glückstädter Hafenschlick keine unzulässige Schadstoffbelastung enthielt.

Der frisch abgelagerte Schlick besaß sehr niedrige Anfangsscherfestigkeiten von τ_{fl} = 1,0 kN/m² in Oberflächennähe und τ_{fl} = 1,5–2,0 kN/m² in 0,5 bis 1,5 m Tiefe. Im angetrockneten Zustand war die Anfangsscherfestigkeit auf τ_{fl} = 4–15 kN/m² angestiegen. Das im Einbauzustand sehr weiche bis breiige Schüttmaterial trocknet im Laufe der Zeit oberflächlich ab und bildet zuletzt ein durch Schrumpfvorgänge in ein ausgeprägtes Feinpolyedergefüge zerlegtes, bröckeliges, teilweise auch scherbiges bzw. krümeliges Haufwerk, dessen Aggregate gesiebt werden konnten (⇒ Fein- bis Mittelkies mit 15–30 % Grobsand). Wegen des ausgeprägten Sekundärgefüges ließ sich auch der teilkonsolidierte Hafenschlick nur schlecht verdichten; die Proctordichte erreichte mit $0{,}99 < \rho_{pr} < 1{,}11$ t/m³ extrem niedrige Zahlenwerte bei mäßiger Wasserdurchlässigkeit des krümelig-bröckeligen Bodens.

Im vorliegenden Fall bot es sich an, den überwiegenden Teil des zwangsläufig angefallenen Schlickaushubs auf dem 1977 bei der damaligen Elbvertiefung aufgespülten und später zum Deichkern profilierten Sandkörper abzulagern und nach oberflächlicher Abtrocknung soweit es ging zu verdichten. Wegen der großen angefallenen Massen wurde die Einbaustärke des angetrockneten Schlicks auf ca. 0,8 m im Mittel erhöht. Aufgrund seiner ungünstigen Einbau-Eigenschaften wurde der eingebaute Hafenschlick später flächenhaft mit rd. 0,6 m natürlich sedimentiertem Klei aus einer deichnahen Bodenentnahme im Hinterland abgedeckt. Spätere Aufgrabungen haben gezeigt, dass der verdichtete ehemalige Hafenschlick im eingebauten, erdfeuchten Zustand eine sehr geringe Durchlässigkeit und hohe Anfangsfestigkeit aufweist und die an eine Deichabdeckung gestellten geotechnischen Anforderungen gut erfüllt.

Schlickablagerungen der genannten Art wurden u. a. auch in Hamburg (hier zumeist stark schadstoffbelastet) und in alten Spülfeldern am Nord-Ostsee-Kanal bei Brunsbüttel – dort gleichfalls mit ausgeprägtem Polyedergefüge – erkundet.

In den konventionell längsstromklassierten Spülfeldern reichern sich neben dem klastischen Feinstkorn auch die humosen Bestandteile am Spülfeldende an, so dass bei ungünstigem Ausgangsmaterial mit hohem organischen Anteil (z. B. an der Untertrave in Lübeck oder

im Rostocker Hafen) am Spülfeldeinlauf Sande, am Spülfeldende jedoch typische Mudden mit verglühbaren Anteilen zwischen 20 und 45 % und natürlichen Wassergehalten zwischen 240 und 320 % abgelagert werden, die wegen ihrer extrem ungünstigen geotechnischen Eigenschaften als Abdeckboden für Deichbauzwecke selbst nach Zwischenlagerung im angetrockneten Zustand ausscheiden.

Das Baggergut aus Unterhaltungsbaggerungen enthält häufig einen hohen Sandanteil, der sich im längsklassierten Spülfeld hinter dem Einlauf anreichert. Bei einer Verlegung der Einlaufstelle zwecks besserer Füllung des Spülfeldes kommt es zu sehr unregelmäßigen Schichtverzahnungen aus Fein- bis Mittelsand, Schlicksand und Schlicken unterschiedlichster Kornverteilung mit der Folge, dass dieses Baggergut wegen seiner sehr inhomogenen Zusammensetzung als Deichbaustoff nicht geeignet ist. Eine Abtrennung der verschiedenen Kornfraktionen im Hydrozyklon mit nachgeschaltetem Flotationsverfahren hat zur Folge, dass in der von den organischen Beimengungen und Schadstoffen befreiten Feinfraktion aus Schluff auch die Tonbeimengung weitestgehend verloren geht, die für einen Deichabdeckboden aus den eingangs genannten Gründen unerläßlich ist und einen Mindestanteil von 10 %, besser 15–20 % erreichen sollte.

Für die Wiederverwendung ist neben den erprobten Methoden (s. Abschn. 4.2.1) ein neuentwickeltes Verfahren aussichtsreich, wo schlickiges Baggergut mit dem Cutter in einer für Abdeckzwecke geeigneten Zusammensetzung unentmischt in konzentrierter Form ohne nennenswerte Spülwasserzugabe aufgenommen, über eine Druckleitung in einen Polder gepresst und dort getrocknet wird (s. Abschn. 4.3.3). Dieses Verfahren vermeidet die Nachteile einer Kornsortierung durch Längsstromklassierung im Ablagerungsraum. Jüngste Untersuchungen in einem nach diesem Verfahren beschickten Polder in Hamburg-Altenwerder haben gezeigt, dass der im zähflüssigen Zustand eingepumpte Schlick (Anfangsfestigkeiten zwischen 0,6 und 1,5 kPa) bei einer Einbaustärke von 40 cm bereits nach 2-monatiger Liegezeit weitgehend abgetrocknet und verfestigt war ($c_u \geq 50$ kPa), während mit zunehmender Schlickstärke unterhalb der engständig von Schrumpfrissen durchsetzten, angetrockneten und verfestigten Deckschicht im gleichen Zeitraum keine nennenswerte Konsolidierung eingetreten ist (Temmler et al., 1999).

Falls Möglichkeiten für eine zügige Trocknung nicht gegeben sind oder der erforderliche Feinstkornanteil nicht vorhanden ist, kommt ggf. eine Nachbehandlung des breiigen Schlicks unter Zugabe von gebranntem Kalk bzw. Bentonitmehl in Frage. Generell sollte jedoch angestrebt werden, im Bedarfsfall angetrocknetes, tonreiches Baggergut zur Deichabdeckung zu verwenden. Wegen des bröckeligen Gefüges ist in diesem Fall darauf zu achten, dass der Einbau und die Verdichtung mit Planierraupen in dünnen Lagen mit Schichtstärken ≤ 30 cm erfolgt. Hierzu sollten in jedem Fall eine Probeschüttung vorgenommen und das optimale Einbau- und Verdichtungsverfahren getestet werden.

Die am bindigen Baggergut ermittelten Beziehungen zwischen dem Fließgrenzwassergehalt und dem Glühverlust, der Plastizitätszahl und dem Tonanteil sind in den Abb. G 33–35 grafisch dargestellt. Schwach konsolidierter Glückstädter Hafenschlick mit den in den vorgenannten Bildern dunkel schattierten Klassifizierungsmerkmalen wurde 1980 erfolgreich zur Aufhöhung schmaler, unter 1 : 2 geneigter Polderranddämme verwendet, die – von einer besonders exponierten, 1981 gebrochenen Stelle neben einem tiefen Prielauslauf abgesehen – mit einer NN-Höhe von ca. + 5,80 m allen seither eingetretenen sehr schweren Sturmfluten in der Elbe widerstanden haben. Mit entsprechenden Eigenschaften kann solches Material die zur Deichabdeckung erforderliche Kleischicht teilweise ersetzen, wenngleich eine mehrere dezimeterstarke Abdeckung aus natürlichem Boden schon allein wegen der Schadstoffproblematik im Regelfall unentbehrlich erscheint.

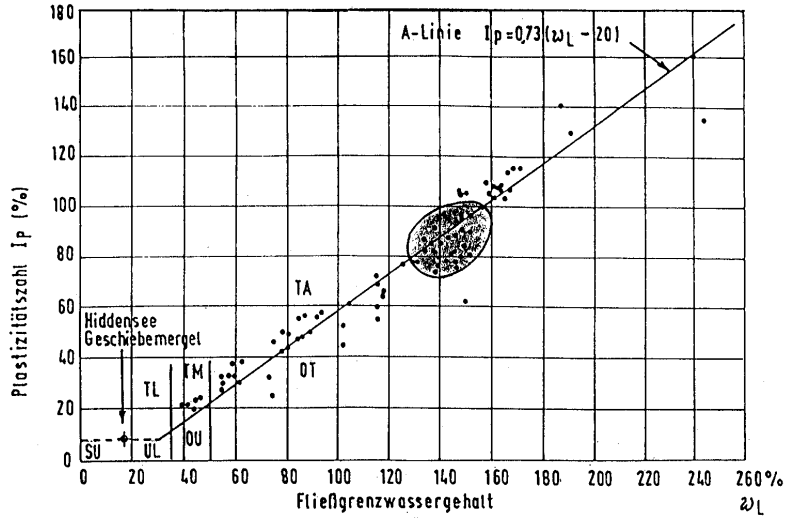


Abb. G 33: Fließgrenze vs. Plastizität beim bindigen Baggergut

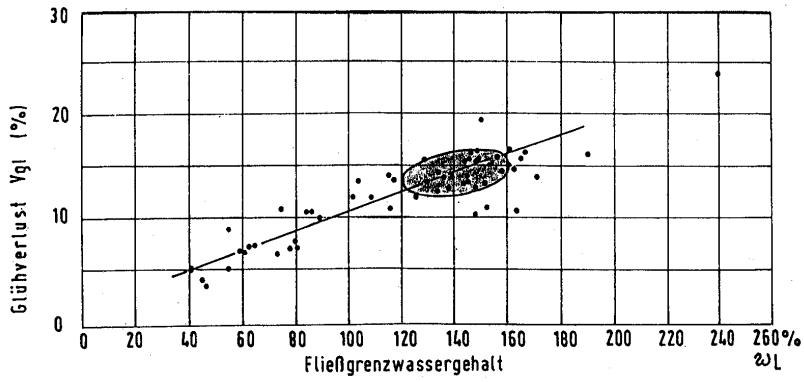


Abb. G 34: Fließgrenze vs. Glühverlust beim bindigen Baggergut

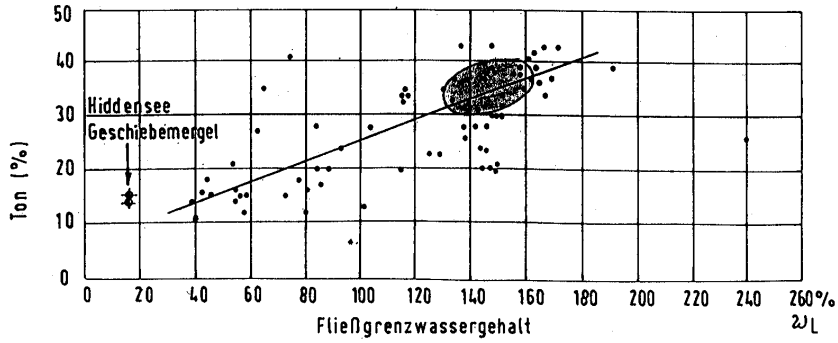


Abb. G 35: Tonanteil vs. Fließgrenze beim bindigen Baggergut

Für die Verwendung von bindigem Baggergut als Deichabdeckboden werden die Grenzwerte der Tab. G 5a empfohlen.

Tab. G 5a: Grenzwerte der Bodeneigenschaften für bindiges Baggergut als Deichabdeckboden

Bodeneigenschaften	Grenzwerte	
	Geschiebelehm/-mergel	Hafenschlick
a) Glühverlust (%)	≤ 5	≤ 20
b) Tonanteil (d < 0,002 mm / %)	≥ 15	≥ 15
c) Sandanteil (d > 0,063 mm / %)	≤ 60	≤ 40
d) Anfangsscherfestigkeit (kPa)	≥ 25	≥ 15

Anm.: Baggergut aus anstehendem, relativ festem bindigem Boden (Lehm, Mergel) sollte mit moderner Technik unter möglichst geringer Wasserzugabe in unveränderter Zusammensetzung gewonnen werden. Für ein Baggergut aus Beckenschluff oder normalkonsolidiertem Klei können unter dieser Voraussetzung die Tabellenwerte G 5 bzw. G 3 als Bewertungsmaßstab zugrunde gelegt werden, wobei sich die dort geforderten Grenzwerte für den Einbauwassergehalt, die Trockendichte und die Anfangsscherfestigkeit bei aufgeweichtem Material durch eine Zwischenlagerung oder Nachbehandlung durch Abtrocknung, Bodenumsetzung und/oder Bodenaufbereitung erreichen lassen (s. Abschn. 4.3.3).

Baggergut aus Hafenschlick sollte in der an der Gewässersohle anstehenden Konsistenz und Zusammensetzung ohne nennenswerte Wasserzugabe aufgenommen und gefördert werden (Abschn. 4.3.3). Die hohen Atterberg-Grenzwassergehalte beruhen nicht zuletzt auf dem i. d. R. beträchtlichen Anteil an feinverteilter organischer Substanz, die sich insbesondere bei muddeartigem Charakter des Sedimentes auf einige für Deichbauzwecke wesentliche geotechnische Eigenschaften sehr nachteilig auswirkt (geringe Zerfallsziffer, niedriger Reibungswinkel, geringe Kohäsion und starke Schrumpfung des organischen Schluffes). Deshalb ist auf die Einhaltung des oben genannten Mindesttonanteils d < 0,002 mm als wichtigstes Kriterium zu achten; im Falle einer Ausflockung der Feinkornfraktion bei der Korngrößenbestimmung nach DIN 18123 ist eine vorherige Behandlung der Probe mit H_2O_2 angezeigt (s. DIN 19683-4).

Hinweise und Anmerkungen

1. Eine Verwendung von Baggergut im Deichbau kann nur dann erfolgen, wenn
   - die geotechnische Verwendbarkeit des Baggermaterials belegt ist,
   - die Materialbeschaffenheit hinsichtlich der Inhaltsstoffe einen bedenkenlosen Einsatz des Baggergutes zulässt und
   - die Belegenheit von Baggergutentnahmen und Deichbaustellen einen entsprechend wirtschaftlichen Einsatz von Baggergut erwarten lassen.
2. Die geotechnische Verwendbarkeit ist bei sandigem Baggergut als Baustoff für den Deichkern unter den in 3.2.1.1 aufgeführten Kriterien erfüllt. Für Baggergut mit hohem Gehalt an Feinstanteilen gelten die jeweils vergleichbaren Kriterien nach 3.2.2.1 und folgende.
3. Hinsichtlich der Schadstoffe im Baggergut sind Toleranzgrenzen bei Baggergut mit hohem Feinstanteil grundsätzlich zu beachten. Der Einbau von belastetem Baggergut ist nur dann tolerabel, wenn bedingt durch seine Verwendung und Einbauweise keine Veränderungen des umgebenden Grundwassers zu erwarten sind, diese zumindest aber in engen Grenzen und in Abstimmung mit gewässerschutzrechtlichen Anforderungen gehalten werden können.
4. Eine ausdrückliche, auf eine Verwendung von Baggergut im Deichbau zugeschnittene bodenschutzrechtliche oder abfallrechtliche Regelung besteht zzt. nicht. Entsprechend gibt es auch keine diesbezüglichen Richt- oder Grenzwerte für den Einbau von Baggergut. Die bestehenden bodenschutzrechtlichen und abfallrechtlichen Vorschriften lassen nur einge-

schränkt eine Festlegung von Schadstoffgrenzen für die Verwendung von Baggergut zu (TEMMLER et al., 1999). Trotzdem ist eine analoge Einordnung zu den in diesen Bestimmungen genannten Böden und Stoffen erforderlich und zu beachten, damit die grundsätzliche Verwendbarkeit wie die Einbauanforderung im Einzelfall geklärt werden kann. Wird bindiges Material zur Abdeckung des Deiches in der nichtdurchwurzelbaren Zone unter einer Kleischicht eingesetzt, können die Zuordnungswerte der Einbauklasse LAGA Z 1.1 für Feststoff angewendet werden.

5. Eine Baggergutverwendung im Deichbau ist heute, aber auch künftig, nur im speziellen Einzelfall möglich, weil nur im Falle des besonderen Zusammentreffens von örtlichen sowie zeitlichen mit stofflichen Randbedingungen, aber auch die Zufälligkeit im Wettbewerbsverfahren zu diesen Einzelfällen führen. Selbst vergleichbar einfache Materialentnahmen für Deichbauten im Zusammenhang mit in der Nähe gelegenen Unterhaltungsbaggerungen wie im Falle „Deichbauvorhaben Neufeld/Unterhaltungsbaggerung Elbehafen Brunsbüttel" brachten trotz theoretisch zunächst klar erkennbarer erheblicher Kostenvorteile bei Verwendung von sandigem Baggergut am Ende der Maßnahme nur vergleichsweise mäßige Gesamteinsparungen in Bezug auf beide Maßnahmen. Daher ist eine vergleichende, detaillierte Überprüfung der o. a. Randbedingungen für jeden Einzelfall einer Baggergutverwendung dringend erforderlich.
6. Zur Frage des Umganges mit Baggergut haben der BMV für die Bundeswasserstraßen und die Küstenländer für die in ihrer Zuständigkeit liegenden Küstengewässer z. T. unterschiedliche Baggergutkonzepte entwickelt (Bund: „Handlungsanweisung Baggergut Küste", HABAK und Handlungsanweisung Baggergut Binnen, HABAB), die den Umgang mit Baggergut regeln und in denen neben rechtlichen und technischen Regeln auch Umsatzmengen, Baggergutbelastungen und vor allem Richtwerte für die aquatische Unterbringung aufgeführt sind. Konkrete Verwendungs- oder Verwertungsregeln für den Deichbau können bisher von diesen Konzepten nicht abgeleitet werden.

   Diese Konzepte sollen auf Ebene einer Bund/Küstenländer-Arbeitsgruppe schrittweise harmonisiert werden mit dem Ziel, Verwertungs- und Verwendungskonzepte zu erfassen, mit denen in Zukunft ein übergreifendes Baggergutmanagement möglich wird. In einem ersten Schritt ist dieses für die Behandlung von TBT-haltigem Baggergut gelungen. Ähnliche Ziele verfolgt auch der HTG-Fachausschuss „Baggergut" mit dem Erarbeiten von technischen und rechtlichen Kriterien sowie Randbedingungen beim Umgang mit Baggergut als Arbeitsschwerpunkt sowie der HTG-Fachausschuss „Nassbaggertechnik", der sich im Wesentlichen mit den maßgeblichen Entnahme- und Transporttechniken einschließlich deren wirtschaftlichem Einsatz befasst.

4. Bau des Deichkörpers

Erdarbeiten im Deichbau sind durch bautechnisch schwierige Böden gekennzeichnet. Deshalb müssen Kenntnisse über die geotechnischen Eigenschaften der Böden im Untergrund und beim Gewinnen, Transportieren und Einbauen vorliegen, was im geotechnischen Bericht oder Gutachten zu beschreiben ist. Gleichermaßen sind baubetriebliche Erfahrungen im Geräteeinsatz und in der Gerätetechnik notwendig. Zudem werden die Erdarbeiten durch strenge Vorgaben in der Bauzeit und ungünstige Witterungsbedingungen erschwert.

Für den Bau eines Deichkörpers müssen daher neben den Untergrundverhältnissen die einzubauenden Böden hinsichtlich ihrer geotechnischen Eigenschaften, Mengen sowie Ab- und Einbaueigenschaften bekannt sein (Abb. G 36). Nur wenn diese Grundlagen ausreichend untersucht und beschrieben sind, kann eine reibungslose und zügige Durchführung der Deichbaumaßnahmen geplant werden. Auch auf extreme Witterungseinflüsse muss sich bei den vergleichsweise schwierigen Böden an den Küsten und Tidestromufern eingestellt werden. An der Nordsee sind dies die Kleiablagerungen mit unterschiedlich starken Sand- und Torfbeimengungen, Torfe, Schlicke aber auch gleichkörniger Wattsand. Die Herausforderungen im Erdbau an der Ostsee liegen in den organischen Mudden und Torfen sowie in den verschiedenen Geschiebeböden. Bei wenig tragfähigen Böden im Untergrund sind Bodenverbesserungen beim Bau von Deichkörpern immer wieder notwendig. Es kann sogar eine gezielte Bodenaufbereitung erforderlich werden, um die anstehenden Böden im Hinblick auf Standsicherheiten, Verformungen und Gebrauchstauglichkeit (z. B. ausreichende Erosionsbeständigkeit) verwenden zu können.

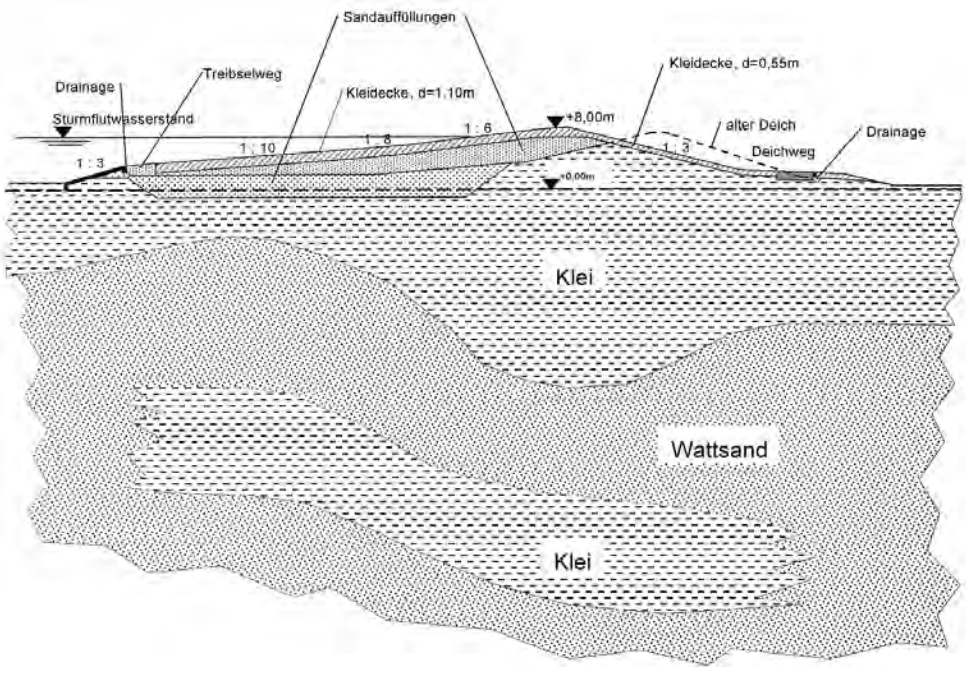


Abb. G 36: Beispiel einer Deichverstärkung Tümlauer Koog im Querschnitt

Neben Kenntnissen über Untergrund- und Bodenverhältnissen müssen auch die Grundwasserverhältnisse erkundet sein. Gerade das hochanstehende Grundwasser hat maßgeblichen Einfluss auf Erdbauverfahren und Untergrundverbesserungen.

4.1 Vorbereiten der tragfähigen Deichbasis

Für den Bau eines Deichkörpers ist in der geplanten Trasse eine tragfähige Deichbasis erforderlich. Der Untergrund muss in der Lage sein bzw. durch Maßnahmen soweit verbessert werden, dass die aus dem Deichkörper resultierenden Erdlasten mit ausreichender Sicherheit vom Untergrund aufgenommen werden können. Dies ist in erdstatischen Berechnungen auf der Grundlage von erkundetem Schichtaufbau und bestimmten Bodenkennwerten nachzuweisen. Die Nachweise beinhalten eine Überprüfung auf Geländebruch und Grundbruch sowie Setzungen und deren zeitlichen Verläufe. Auch Maßnahmen zur Beschleunigung oder Begrenzung von Setzungen sind dabei ggf. zu untersuchen.

Bei unzureichender Tragfähigkeit des Untergrundes sind Baugrundverbesserungen durchzuführen. Sie sind immer dann zu erwarten, wenn ehemalige Priele, Spülfelder, Kolke, Wehle, frühere Bodenentnahmen (Pütten) oder Ähnliches in der geplanten Deichtrasse liegen. Die beim Deichbau üblichen Baugrundverbesserungen werden nachfolgend vorgestellt.

4.1.1 Räumung von Weichböden

Um beim Deichbau unkontrollierte Bodenverdrängungen und Weichbodeneinschlüsse zu vermeiden bzw. die Verformungen (Setzungen) bei der Ausführung auf ein verträgliches Maß zu begrenzen, kann die Räumung von oberflächennahen Weichschichten sinnvoll sein. Dies gilt besonders beim Trockeneinbau hoher Schüttungen mit steilem Böschungswinkel. Als Weichschichten werden für den Nordsee- und Tidestrombereich Schlicke geringer Anfangsscherfestigkeiten ($c_u < 10$ KN/m^2) bezeichnet, die in der geplanten Trasse vor dem Bau des Deichkörpers abzugraben sind. An der Ostsee handelt es sich bei den Weichböden um Torfe und organische Mudden, die ebenfalls vergleichsweise geringe Anfangsscherfestigkeiten besitzen.

Maßgebend für das bautechnische Verfahren zur Räumung der Weichböden sind die anstehenden Schichtmächtigkeiten sowie die Außen- und Grundwasserstände. Meist ist die Räumung mit Tieflöffelbaggern für Aushubarbeiten bis zu wenigen Metern ein wirtschaftliches Verfahren (s. Abb. G 37 und Abschn. 3.2.2). Bei großem Massenanfall und mehreren Metern Tiefe im Grundwasser kann auch das Nassbaggerverfahren (s. Abschn. 3.2.1) zur Ausführung kommen. Falls die Räumung des Weichbodens im Trockenen erfolgen soll, so ist dafür eine Wasserhaltung durch offene Gräben oder tieferliegende Dränagen vorzusehen.

Das bautechnische Verfahren zur Räumung der Weichböden hängt außerdem von den zur Verfügung stehenden Ablagerungs- und Deponierungsmöglichkeiten ab. Es sollte untersucht werden, ob eine Wiederverwendung der geräumten Weichböden möglich ist. Weichböden mit Körnungsanteilen und organischen Anteilen entsprechend den Anforderungen der Empfehlung B in den Abschnitten 3.2 und 3.3 oder der Empfehlung G im Abschn. 3 sind deichfähig. Sie sollten mit möglichst geringer Wasseraufnahme abgegraben und durch Verdunstung oder Konsolidation in Bodendeponien anschließend solange entwässert werden, bis die Eigenschaften als Dichtungs- und Abdeckmaterial erfüllt sind. Da für den Deichbau nicht immer Klei in ausreichender Qualität in unmittelbarer Nähe zur Verfügung steht, kann

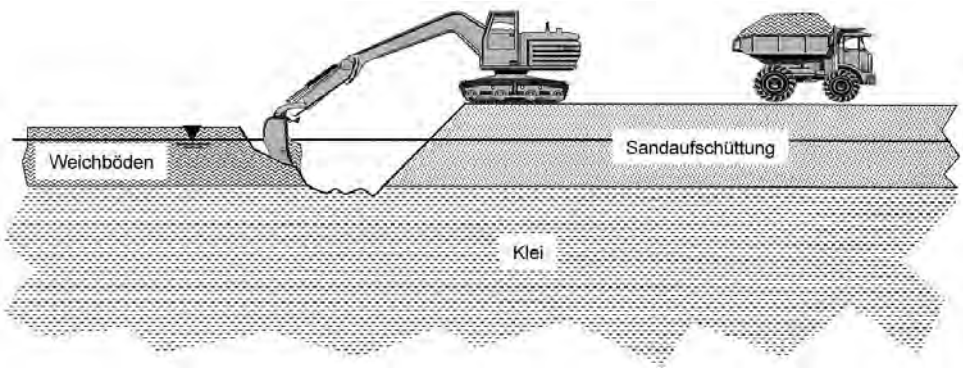


Abb. G 37: Räumung des Weichbodens durch Tieflöffelbagger

die Konsolidation der ausgeräumten Weichböden aus der Deichtrasse in Bodendeponien eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Eine Verklappung auf See oder Verspülung auf Watt- und Vorlandflächen ist zwar bautechnisch einfach umsetzbar, jedoch ökologisch zu beurteilen.

Ob ein Nassbaggerverfahren oder eher ein Trockenbetrieb zu wählen ist, hängt weniger vom Erdbauverfahren sondern mehr von den Randbedingungen ab. Auf Einzelheiten der Verfahren zur Räumung von Weichschichten wird nicht weiter eingegangen, da dies in den Abschnitten 4.2.1 (Nassbaggerverfahren) und 4.2.2 (Trockenbetrieb) beschrieben wird.

4.1.2 Bodenaustausch

Steht eine unzureichend tragfähige Schicht oberflächennah an, so ist sie aus Standsicherheitsgründen oder wegen zu großer Setzungen gegen tragfähigen Boden auszutauschen. Bis in Schichtmächtigkeiten von wenigen Metern kann der anstehende Weichboden wirtschaftlich durch Tieflöffelbagger ausgehoben werden. Auch größere Tiefen bis 15 m sind möglich, jedoch ist bei hochanstehendem Grundwasser ein schwimmendes Gerät (Ponton) für den Baggereinsatz notwendig. Ab diesen Tiefen und größeren Aushubmassen werden Nassbaggerverfahren wirtschaftlich (Abb. G 38).

Unmittelbar nach dem Aushub erfolgt die Verfüllung mit tragfähigem Boden. Unterhalb des See- bzw. Grundwassers sind als Verfüllboden nur nichtbindige Sande, Kiese und Kies-Sandgemische mit Schluff- und Tonbeimengungen kleiner als 10 % zu empfehlen. Das Einbringen dieser Böden unterhalb des Wasserspiegels erfolgt entweder als Vorkopfschüttung oder durch Einspülen über Transportleitungen. Beim Bodenaustausch unter Wasser ist darauf zu achten, dass der Zeitraum zwischen Aushub und Verfüllung möglichst kurz gehalten wird, damit beim Bodenaustausch Schlickablagerungen durch Sedimentation der bindigen und organischen Aushubböden minimiert werden.

Oberhalb des Wasserspiegels können neben den vorgenannten nichtbindigen Sand-Kies-Gemischen und schwachbindigen Sanden auch bindige Böden wie Geschiebemergel, Klei und Beckensedimente eingebaut werden (s. Abschn. 3.2.1). Dies sollte lagenweise über eine flächige Verteilung mit Schubraupen erfolgen. Maßgebend dabei ist, dass die geotechnischen Eigenschaften der Böden so erhalten bleiben bzw. aufbereitet werden, dass eine Verdichtung und Befahrbarkeit der bindigen Böden gewährleistet wird.

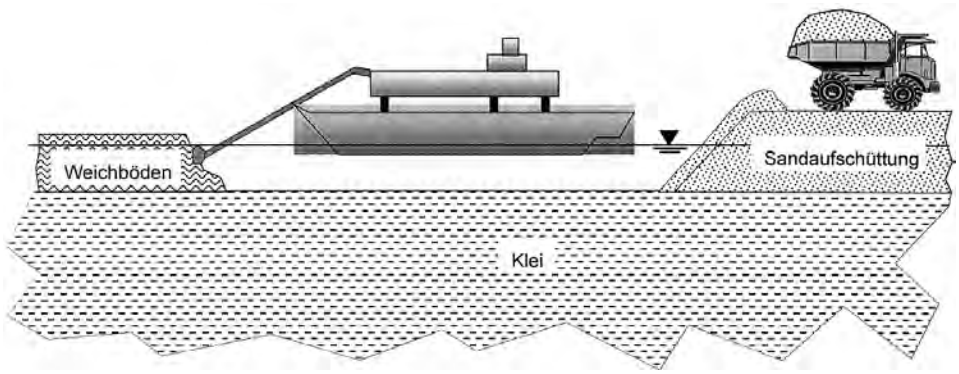


Abb. G 38: Bodenaustausch im Nassbaggerverfahren

Weitere Einzelheiten zu den Bauverfahren mit vollständigem und teilweisem Bodenaustausch, sind dem Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund (Forschungsstelle für Straßen- und Verkehrswesen, Ausgabe 1988) zu entnehmen. Darüber hinaus wird auf die Abschnitte 4.2.1 (Nassbaggerverfahren) und 4.2.2 (Trockenbetrieb) verwiesen.

Wie bei der Räumung von Weichböden, so sollte auch beim Bodenaustausch geotechnisch untersucht werden, ob der entnommene Weichboden durch Entwässerung infolge Konsolidation und Trocknung nicht als Füll- oder gar als Abdeck- und Dichtungsboden wiederverwendet werden kann (s. Abschn. 3). Eine Wiederverwendung hängt maßgeblich auch von den wirtschaftlichen Randbedingungen einer Deichbaumaßnahme ab. Sowohl geo- als auch verfahrenstechnisch ist eine Wiederverwendung grundsätzlich realisierbar.

4.1.3 Vertikaldränage

Zur Beschleunigung der Konsolidation von bindigen und organischen Böden werden Vertikaldränagen verwendet, die das Porenwasser infolge Auflast entspannen und abführen. Die Vertikaldränagen sind in bindigen geringdurchlässigen Schichten anzuordnen und sollten oben in einer durchlässigen nichtbindigen Schicht enden. Zwischen dem mit See- bzw. Tidewasserspiegel korrespondierenden tiefen Grundwasserleiter und den Dränunterkanten sollte eine mindestens 1 m mächtige, bindige Sperrschicht verbleiben, um im Sturmflutfall eine Aufsättigung in den sandigen Deichkern zu vermeiden (Temmler, 1995). Durch die schnellere Abgabe des Porenwassers über die Vertikaldränagen erhöhen sich die Festigkeitseigenschaften der bindigen Böden früher und die Setzungen klingen schneller ab.

Die Vertikaldränagen können im Deichbau als Sandsäulen, Band- bzw. Streifendräns oder Rohrdräns ausgeführt werden (Abb. G 39). Als Filter werden entweder Vliese aus Geotextilien, Pappen und Papier, Kunststoffrohre oder mineralische Kornfilter eingesetzt, die filtertechnisch jeweils auf den umgebenden Boden abzustimmen sind. Die Filterwirksamkeit muss in erster Linie während der Bauphase und in den ersten Jahren nach Aufbringen der Hauptbelastung gewährleistet sein, weil danach die Weichschichten soweit konsolidiert und verfestigt sind, dass ein Zusetzen der Filterporen keine grundsätzliche Bedeutung mehr hat. Erfahrungsgemäß sind die handelsüblichen Band- und Rohrdräns zur Anwendung im Deichbau geeignet. Auch das Einbauverfahren der Vertikaldränagen ist im Hinblick auf die Filterwirksamkeit zu beachten.

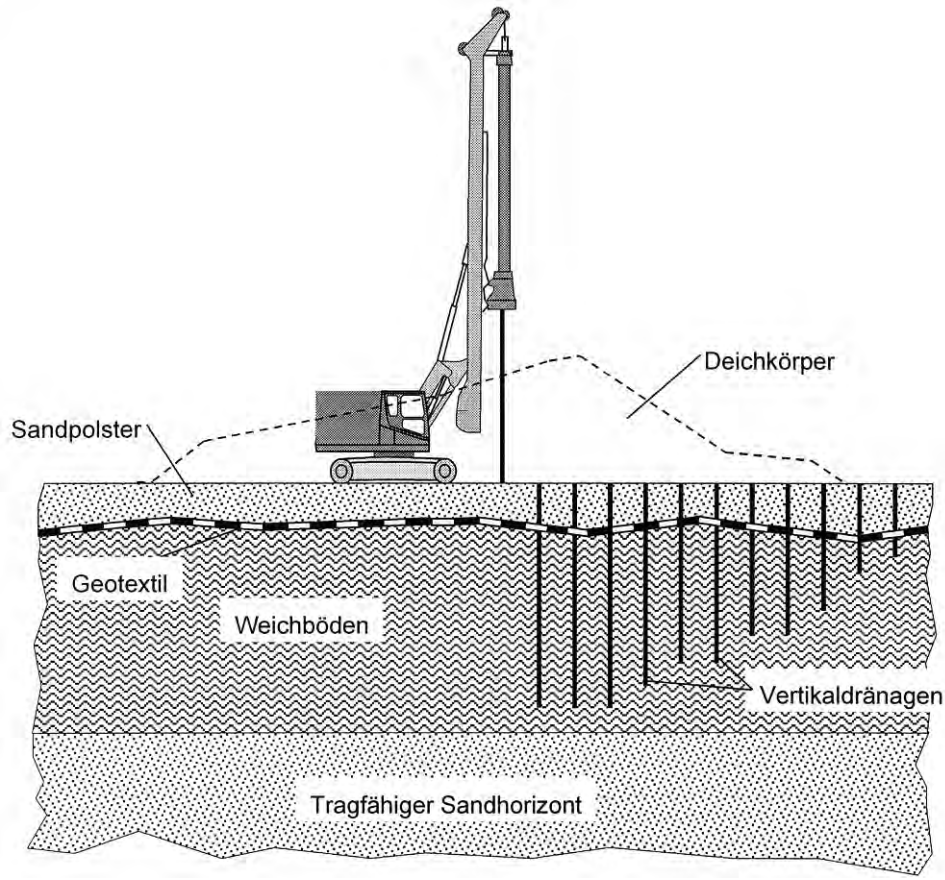


Abb. G 39: Anordnung von Vertikaldränagen

Für die Vertikaldränage im anstehenden Boden wird eine Überprüfung der Filterwirksamkeit empfohlen. Als Grundlage dafür können das Merkblatt für die Anwendung von geotextilen Filter (BAW – MAG, 1993) und das Merkblatt für die Anwendung von Kornfilter (BAW – MAK, 1989) herangezogen werden. Die Bemessung der Abstände und Durchmesser von Vertikaldränagen ist maßgeblich von der Feinschichtung (z. B. Sandstreifen) und der kornanalytischen Zusammensetzung der Weichschichten sowie der Schichtmächtigkeit bestimmt. Darüber hinaus richten sich die Abstände und Durchmesser nach dem zeitlichen Konsolidationsziel, was im Rahmen der Deichbaumaßnahme vorgegeben ist. Ansätze zur Bemessung von Abständen und Durchmesser der Vertikaldräns sind dem Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, 1988) angegeben.

Die Bemessung der Dränabstände und Drändurchmesser ist von den geotechnischen Gutachtern der Deichbaumaßnahme im Vorwege durchzuführen. Werden dann seitens der bauausführenden Firmen alternative Vertikaldränagen angeboten, so ist dafür eine Bemessung beizulegen, die vom geotechnischen Gutachter hinsichtlich geotechnischer Gleichwertigkeit zu prüfen und zu bewerten ist. Dies ist besonders bei neu entwickelten Vertikaldränverfahren zu empfehlen.

Die Wahl des Vertikaldräns ist neben der Verbesserung und Beschleunigung der Konsolidation in diesem Zusammenhang auch hinsichtlich der Standsicherheitserhöhung zu bewerten. Beispielsweise wird die Standsicherheit für den späteren Dammkörper (Geländeund Grundbruchsicherheit) durch zugfest geotextil ummantelte Sanddräns mit mehreren Dezimetern Durchmesser gegenüber in den Boden eingestochenen Pappdräns deutlich erhöht.

Die Vertikaldräns werden durch Rammen, Bohren, Eindrücken und Einspülen in den Untergrund eingebaut. Die Einbaupunkte werden im Dreiecksraster mit gleichen gegenseitigen Abständen angeordnet. Die Einbauverfahren der verschiedenen vertikalen Dräntypen (Sand-, Rohr-, Streifen- oder Banddräns) sind im Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund (Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, 1988) beschrieben.

4.1.4 Vorbelastung

Bei ausreichendem zeitlichen Vorlauf für den Bau des geplanten Deichkörpers bietet sich zur Verbesserung der Festigkeitseigenschaften des Untergrundes und einer Vorwegnahme von Setzungen (beispielsweise bei der Verlegung von Leistungen quer zur Deichachse) eine Vorbelastung an. Durch die Vorbelastung des anstehenden Untergrundes wird das Porenwasser ausgedrückt, der Porenraum verringert und damit die Tragfähigkeit (Anfangsscherfestigkeit) erhöht. Die Höhe der Vorbelastung und deren stufenweise Aufbringung (Abb. G 40) richtet sich nach den durch Baugrunduntersuchungen ermittelten Anfangsscherfestigkeiten der anstehenden Böden und ist über Grund- und Geländebruchuntersuchungen zu ermitteln (s. Abschn. 6 der Empfehlung B). Die aus den Vorbelastungen resultierenden Setzungen und deren zeitliche Verläufe sind baubegleitend zu bestimmen (s. Abschn. 7 der Empfehlung B).

Als Auflastböden sind tragfähige nichtbindige und schwachbindige Sande, Kiese oder Kies-Sandgemische zu verwenden, die gleichzeitig als Dränschicht für das nach oben austretende Porenwasser und außerdem als befahrbare Tragschichten für den weiteren Bau des Deichkörpers dienen.

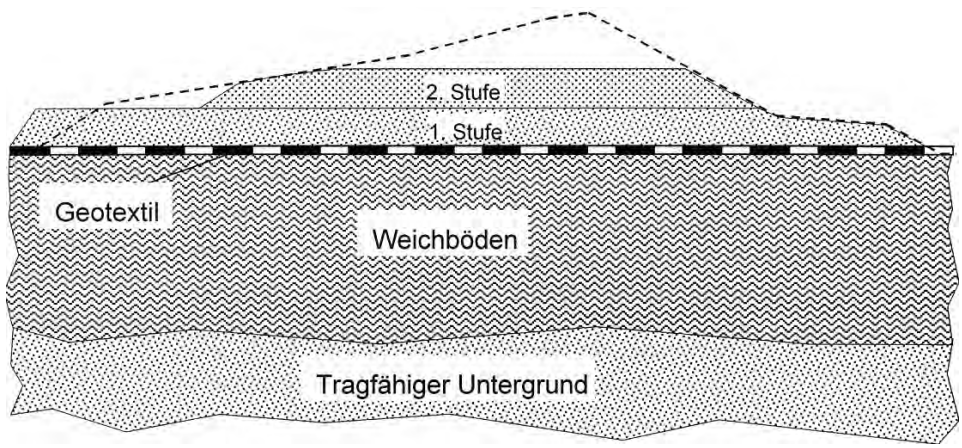


Abb. G 40: Schematische Vorbelastung

4.1.5 Geokunststoffe

Geokunststoffe werden im Deichbau als zugfeste Bewehrungen und lastverteilende Matten zur Erhöhung der Standsicherheit und Tragfähigkeit eingesetzt (Abb. G 41). Außerdem besitzen sie ausreichende Festigkeiten, um Zugkräfte aus Setzungen und Spreizungen aufzunehmen und Scherbeanspruchungen aus Grund- und Geländebruchbelastungen zu übertragen.

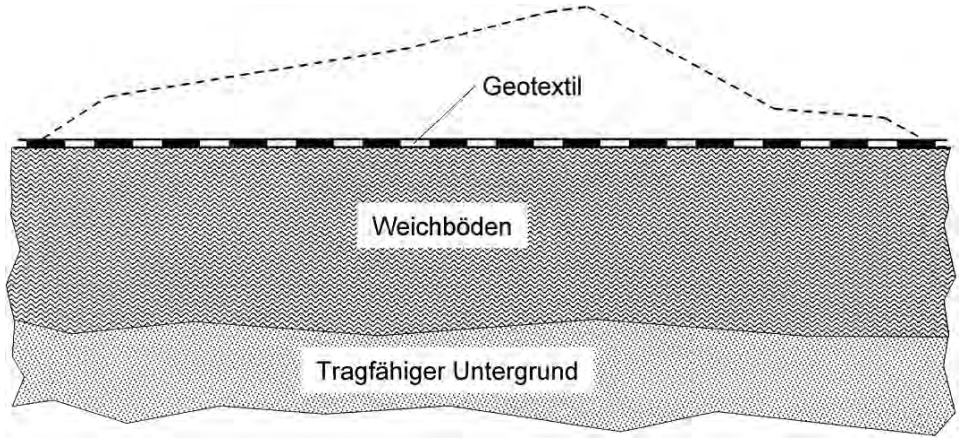


Abb. G 41: Geokunststoffe zur Bewehrung von Deichaufstandsflächen

Der Einsatz von Geokunststoffen zur Bewehrung der Deichaufstandsfläche gegen Brüche ist aus dem Bau von Verkehrswegedämmen auf wenig tragfähigen Untergrund bekannt und hat sich sowohl dort als auch bei Deichbaumaßnahmen seit Jahrzehnten bei einer Vielzahl von Baumaßnahmen auf weichen Untergrund bewährt. Die erforderlichen Standsicherheitsnachweise (z. B. Gleiten, Grundbruch, Gelände- und Böschungsbruch, Setzungen) und Nachweise für die Bewehrungen (z. B. gegen Bruch, Herausziehen) sind in folgenden Empfehlungen erläutert und dort zu entnehmen:

- Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, Forschungsges. für Straßen- und Verkehrswesen, 1988,
- Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswege, 1994 und
- Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen EBGEO, DGGT (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.), 1997.

Neben der standsicherheitserhöhenden Wirkung werden durch flächig ausgelegte Geotextilien auch ausführungstechnische Vorteile erreicht. Geotextilien an der Deichaufstandsfläche dienen in Verbindung mit einem drüberliegenden Sandpolster auch als Trennschicht zum darunter wenig tragfähigen Untergrund, indem die Gefahr von Durchmischungen und örtlichen Verdrängungen bei Befahren mit schweren Baufahrzeugen erheblich reduziert wird. Außerdem können Geokunststoffe beim Vorbereiten der tragfähigen Deichbasis auch die Funktion als Filter oder Dräne übernehmen. Dabei haben sie die Aufgabe, einen Wasserdurchfluss bei gleichzeitigen Rückhalt des Bodens zu ermöglichen. Die Filterwirksamkeit ist gemäß den vorgenannten Empfehlungen sowie nach dem Merkblatt für die Anwendung geotextiler Filter (BAW – MAG, 1993) nachzuweisen.

Kostenaufwendiger – aber aus Gründen einer kurzen Bauzeit wesentlich interessanter – sind Gründungssysteme aus geokunststoffbewehrten Tragschichten über geokunststoffummantelten pfahlähnlichen Gründungselementen (Abb. G 42). Dadurch wird eine Lastabtragung in tiefer liegenden tragfähigen Baugrund ermöglicht. Die geokunststoffummantelten Sandsäulen werden im Bodenersatz- oder Verdrängungsverfahren hergestellt. Sie müssen an der Unterkante gedichtet werden, um im Sturmflutfall eine Aufsättigung des sandigen Deichkerns aus dem mit See- oder Tidewasserspiegel korrespondierendem sandigen Grundwasserleiter zu vermeiden. Weitere Einzelheiten zur Herstellung, Tragverhalten und Anwendung geokunststoffummantelter Sandpfähle sind KEMPFERT u. WALLIS (1997) und RAITHEL u. KEMPFERT (2000) zu entnehmen.

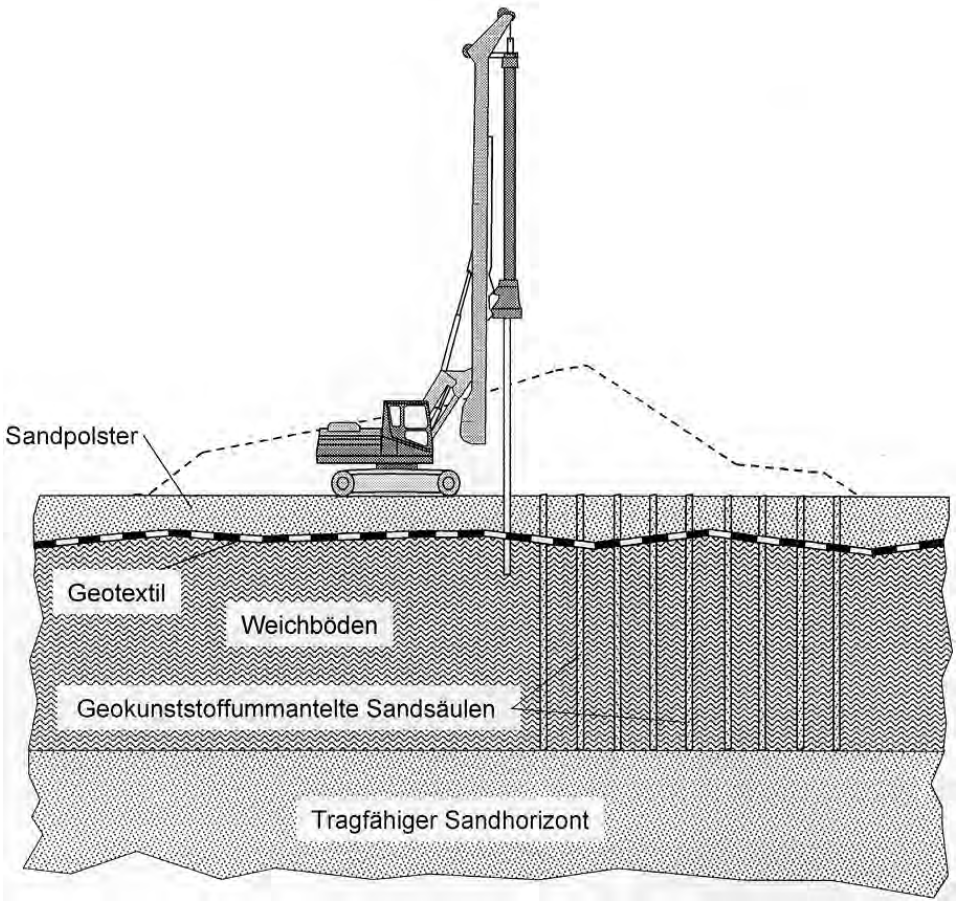


Abb. G 42: Gründungssystem aus Geokunststoff bewehrten Tragschichten und geokunststoffummantelte Sandsäulen

4.2 Einbau des Kernmaterials

4.2.1 Nassbaggerverfahren

4.2.1.1 Gerätewahl

Die Auswahl von geeigneten Geräten für die Herstellung des Deichkerns im Nassbaggerverfahren hängt von verschiedensten technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Bedingungen ab:

Technische Bedingungen
- Lage der Gewinnungsstelle und Entfernung der Gewinnungsstelle von der Baustelle
- Seegangs- und Strömungsbedingungen, Wassertiefen sowie Schiffsverkehr im Gewinnungsgebiet und an der Anlandestelle
- Geologische und geomorphologische Verhältnisse der Lagerstätte,
- Vorgesehene Entnahmetiefe
- Quantität und erforderliche Qualität des Bodens
- Schutz vorhandener Bauwerke

Ökologische Bedingungen
- Mögliche Veränderungen der hydrodynamischen Bedingungen und des Sedimenttransportes
- Mögliche Beeinflussung der Grundwasserverhältnisse
- Mögliche Beeinträchtigung von Flora, Fauna und Kulturgütern

Wirtschaftliche Bedingungen
- Aufwendungen für Ausgleichsmaßnahmen infolge ökologischer Randbedingungen der Bodenentnahmestelle
- Methode der Baggerung, des Transportes und des Einbringens des Kernmaterials
- Verfügbarkeit geeigneter Nassbaggergeräte auf dem Markt
- Quantitative und qualitative Bedingungen für die Nassbaggerung
- Verbesserung der Eigenschaften des Bodenmaterials
- Mögliche hohe Ausfallzeiten infolge unterschiedlicher technischer Randbedingungen

Diese hier gezeigte Vielzahl von Bedingungen, die Einfluss auf die Nassbaggerung haben, erfordert eine sorgfältige Auswahl der am besten geeigneten Geräte für Baggerung, Transport und Einbau von Deichkernmaterial.

Gleiches trifft auch für die Gewinnung von Böden als Deckschichtmaterial im Nassbaggerverfahren zu. Dabei ist sowohl die zielgerichtete Baggerung von geeignetem Material aus einer zuvor erkundeten Lagerstätte möglich als auch die Nutzung von Material, das bei der Fahrwasserunterhaltung oder -vertiefung sowie anderen Baumaßnahmen mit Nassbaggerverfahren an Land abgelagert wird.

Die nachfolgende Tab. G 6 nach Brösskamp (1979), wurde aktualisiert und zeigt die Auswahl von Nassbaggergeräten zum Lösen, Transport und Ablagern nach Eignung für die zu baggernden Böden:

Tab. G 6: Arbeitsvorgänge in der Nassbaggertechnik (nach BRÖSSKAMP, 1979, aktualisiert)

Lösen				Fördern				Ablagern			
Ziffer	Art	Gerät	Geeignet für	Ziffer	Art	Gerät	Geeignet für	Ziffer	Art	Gerät	Geeignet für
1	Hydraulisch	Saugbagger mit Grundsaugeinrichtung (Grundsaugbagger)	Mittelsande Sande und Kiese flüssige bindige Böden	1.1	Mechanisch	in Schuten	Sande, Kiese	1.1.1 1.1.2	Verklappen Verspülen	Saugbagger mit Schutensaugeinrichtung	Silo Spülfelder
				1.2	Hydraulisch	über schwimmende Rohrleitung	Alle Böden unter 1	1.1.3 1.2.1	Löschen Verspülen	Greifbagger	wie 1.1.2
2	Hydraulisch mit zusätzl. Lösehilfe durch Wasserstrahl	Saugbagger mit Schutensaugeinrichtung-(Schutensaug bagger oder Spüler	Schluffe Sande Kiese Bindige Böden (teilweise)	2.1	Hydraulisch	über Rohrleitung	Alle Böden unter 2		—	—	wie 1.1.2
3	Mechanisch	Eimerketten-Schwimmbagger	Schluffe Sande Kiese	3.1	Mechanisch	in Schuten	Alle Böden unter 3	3.1.1 3.1.2	Verklappen Verspülen	– wie 1.1.2 – *mit mobilen Kreisel- oder Kolbenpumpen*	wie 1.1.2
		(Bucket dredger, Eimerbagger)	bindige Böden leichter Fels					3.1.3	Löschen	wie 1.1.3	
				3.2	Hydraulisch	über schwimmende Rohrleitung (mit Spüleinrichtung)	Schluff, Sand, Kies, weiche bindige Böden		—	—	wie 1.1.2

Die Küste, 88 (2020) 1-589 https://doi.org/10.18171/1.088100

				3.3	Mechanisch	über schwimmendes Förderband	Sande, Kiese		—	wie 1.1.2
4	Mechanisch	Schwimmender Hydraulik- oder Seilbagger (Stelzenbagger, Backhoe, Dipper, Grab dredger)	steifplastische bis halbfeste bindige Böden leichter Fels Sande, Kiese	4.1	Mechanisch	in Schuten	Schluff, Sand Kies, weiche bindige Böden	4.1.1 4.1.2 4.1.3	Verklappen Verspülen Löschen	wie 3.1.2 wie 1.1.3	wie 1.1.2
				4.2	Hydraulisch	über schwimmende Rohrleitung (mit Spüleinrichtung)					
5	Hydraulisch und mechanisch.	Saugbagger mit Schneidkopfeinrichtung (Schneidkopfsaugbagger, Schneidradsaugbagger Cutter)	Schluffe, Sande und Kiese, leichter Fels bindige Böden	5.1	Mechanisch	in Schuten	Sande, Kiese	5.1.1 5.1.2 5.1.3	Verklappen Verspülen Löschen	wie 3.1.2 wie 1.1.3	wie 1.1.2
				5.2	Hydraulisch	über schimmende Rohrleitung	wie 5	5.2	—	—	wie 1.1.2
6	Hydraulisch (teils mechanisch)	Laderaumsaugbagger. Meist selbstfahrend (Hopper)	Sande, Kiese leicht bindige Böden	6.1	Hydraulisch	Laderaum	wie 6	6.1.1 6.1.2	Verklappen Verspülen	mit geeigneter Pumpe	wie 1.1.2

Zu Ziffer 1 der Tab. G 6:

Leistungsfähigkeit und Abmessungen von Grundsaugbaggern sind sehr variabel. Grundsaugen ist bei geeigneten Böden die leistungsfähigste Art der Bodengewinnung im Nassverfahren. Baggertiefen von etwa 20 m werden ohne Leistungsabfall erreicht. Bei größerer erforderlicher Saugtiefe empfiehlt es sich, Unterwasser-Baggerpumpen einzusetzen, um dann Baggertiefen von 40 m bis 60 m zu erreichen. Mit geeigneten Saugrohren sind einige Geräte in der Lage, bindige Schichten von einigen Metern Mächtigkeit zu durchfahren und Sandböden darunter herauszusaugen.

Zu Ziffer 2 der Tab. G 6:

Schutensauger oder Spüler, die mit Gewinnungsgeräten und Transportgeräten (Schuten) zusammenarbeiten, benötigen an den Anlandestellen Mindestwassertiefen. Diese hängen vom eigenen Tiefgang sowie dem der Transportgeräte ab.

Zu Ziffer 3 der Tab. G 6:

Der Einsatz von Eimerkettenschwimmbagger für die Sandgewinnung bei Deichbaumaßnahmen wird im Allgemeinen nur dann erfolgen, wenn der Sand im Rahmen eines anderen Bauvorhabens, wie z. B. Ausbau oder Unterhaltung eines Fahrwassers, zur weiteren Nutzung anfällt. Wirtschaftliche Betrachtungen und ein begrenzter Arbeitsbereich zwischen ca. 5 m und 30 m Wassertiefe sind die Hauptgründe.

Für die Gewinnung von Deckschichtmaterial aus geeigneten Lagerstätten bei Wassertiefen > 10 m, Schichtstärken > 1m und großem Materialbedarf ist dieses Verfahren meist das wirtschaftlichste.

Zu Ziffer 4 der Tab. G 6:

Schwimmende Hydraulik- und Seilbagger spielen als Gewinnungsgerät ebenfalls nur im Zusammenhang mit anderen Baumaßnahmen eine Rolle. Diese benötigen Schuten als Transportgeräte sowie Schutensauger zum Verspülen des Bodens.

Deckschichtmaterial kann mit diesem Verfahren gezielt gebaggert werden. Die wirtschaftliche Grenze für schwimmende Hydraulikbagger liegt bei ca. 15 m.

Zu Ziffer 5 der Tab. G 6:

Für Schneidkopf- bzw. Schneidradsaugbagger treffen die Empfehlungen D, Punkt 6.1.2 der EAK 1993 zu. Entnahmetiefen von weniger als 5 m sind meist nur mit leistungsschwachen Kleingeräten möglich.

Zu Ziffer 6 der Tab. G 6:

Laderaumsaugbagger (Hopperbagger) sind für die Sandgewinnung in Fluss- und Seegebieten geeignet. Eine durchgehende ausreichende nautische Wassertiefe auf der Gewinnungsstelle, im Fahrwasser und am Löschplatz ist Grundvoraussetzung für den Einsatz.

Größe und Maschinenleistung der Hopperbagger sind sehr unterschiedlich und deshalb den örtlichen Erfordernissen anzupassen. Die größten Geräte verfügen über Laderauminhalte bis zu 33.000 m^3 und haben eine Gesamtleistung von bis zu 27.500 kW. Die Entnahme des Bodens ist in Abhängigkeit von der Lagerstätte sowohl im Schleppkopf – als auch im Stechkopfbetrieb möglich. Nähere Erläuterungen sind den Empfehlungen D, Punkt 6.1.3 der EAK 1993 zu entnehmen.

Einen Überblick über Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Nassbaggerverfahren sowie technische Erklärungen dazu gibt es in der entsprechenden Fachliteratur (Bray et al.,

1997; CUR Report 152, 1992; EAK 1993; EAU 1996; KÜHN, 1997; SMOLTCZYK et al., 1991; WELTE, 2000).

Im Allgemeinen werden für die Sandgewinnung für den Deichkern Grundsauger, Schneidkopfsaugbagger oder Hopperbagger zum Einsatz gebracht. Dabei sind auch Kombinationen denkbar, wie z. B. Hopperbagger im Klappverfahren mit Grundsauger für das Spülverfahren oder Grundsauger mit kleinerem Schneidkopfbagger, der entsprechende Schwimmfreiheit sowie Wasserzufluss schafft. Größe und Leistung der Geräte müssen mit den Erfordernissen des Spülfeldes in Übereinstimmung gebracht werden. Offene Seegebiete verlangen entsprechend seegehende Geräte. Gewinnungsstellen sollten möglichst nahe an den Deichbaustellen liegen.

Bei der Entnahme des Bodens und der Wiedereinleitung des Spülwassers ist auf einen ausreichenden Sicherheitsabstand vom Deichfuß bzw. dem Deichvorland zu achten. Dieser ist abhängig z. B. von der Standsicherheit der Böschungen, Strömungen, Wellen, Prielbildung sowie im Watt von der möglichen Absenkung der Wattoberfläche an der Entnahmestelle.

Landseitige Sandentnahmen sind bei geneigten Böden ebenfalls möglich. Besonders zu beachten ist die Ausbildung der Böschungen. Dafür sind in erster Linie Schneidkopfsaugbagger geeignet.

Die Gewinnung von Deckschichtmaterial aus marinen Lagerstätten ist mit Eimerkettenbaggern und Hydraulikbaggern zu empfehlen. Seilbagger kommen nur für bindige Böden mit maximal steifer Konsistenz in Frage.

Mit Hilfe aller beschriebenen Baggerverfahren kann Baggergut in Spülfeldern abgelagert werden und bei entsprechender Eignung (siehe Empf. G Pkt. 3.2.2.2) später nach Entwässerung bzw. Konditionierung als Deckschichtmaterial verwendet werden. Wird diese Nutzung angestrebt, sind in Abhängigkeit vom Baggergut die Ablagerungsverfahren zu optimieren. Bei Spülverfahren kann das durch Längsklassierung oder homogenes Einbringen des Baggergutes erreicht werden. Zur Aufbereitung von Baggergut für Deckschichten von Deichen erfolgen nähere Ausführungen unter Pkt. 4.3.3.

4.2.1.2 Spülbetrieb

Der hydraulische Transport des gebaggerten Sandes in Spülrohrleitungen ist im Allgemeinen die wirtschaftlichste Methode, den Sandkern einzubauen. Sie wird sowohl bei Hopperbaggern als auch bei Schneidkopfsaugbaggern und Grundsaugern angewendet. Um das Spülgemisch aus Wasser und Bodenmaterial durch die Spülrohrleitung zu bewegen, ist ein entsprechender Druck erforderlich, der durch die Baggerpumpen aufgebaut wird. Am Ende der Rohrleitung ist zwar noch eine Geschwindigkeit des Gemisches vorhanden, aber kein Druck. Deshalb kommt es zu einem Druckverlust entlang der Spülrohrleitung, dessen Größe u. a. von der Geschwindigkeit des gepumpten Wassers, der Rauigkeit der Rohrleitungswände und der Gesamtlänge der Spülleitung abhängt. Der Druckverlust je Längeneinheit nimmt zu bei steigender Geschwindigkeit und abnehmenden Rohrdurchmesser (s. Abb. G 43).

Bei hoher Geschwindigkeit befindet sich das Bodenmaterial in einem homogenen Gemisch und fließt sehr turbulent. Die zum Spülen des Gemisches aufzuwendende Energie ist natürlich größer als für Wasser. Eine abnehmende Transportgeschwindigkeit führt dazu, dass sich einige Feststoffe an der Sohle des Rohres konzentrieren und so Teile des Bodens sich in Suspension befinden, während andere Teile teilweise auf dem Boden der Rohrleitung entlang rollen. Die Abb. G 44 und G 45 zeigen den Druckverlust für diesen Fall.

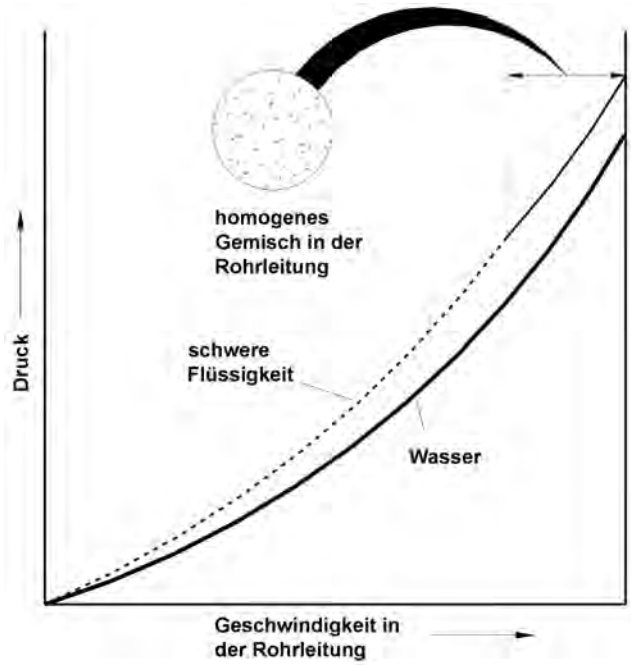


Abb. G 43: Mit steigender Fließgeschwindigkeit des Wassers nimmt der Druckverlust pro Längeneinheit zu (BRAY et al., 1997)

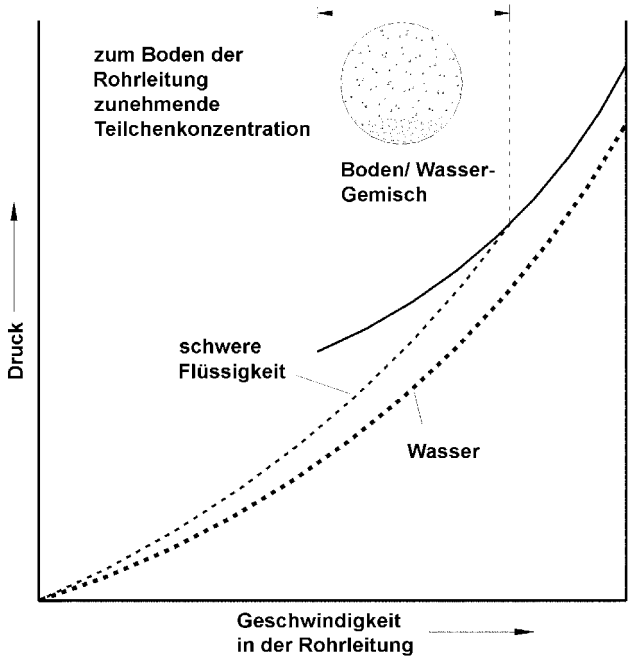


Abb. G 44: Druckverlust beim Verpumpen eines Boden-Wasser-Gemisches durch die Rohrleitung nach BRAY et al. (1997)

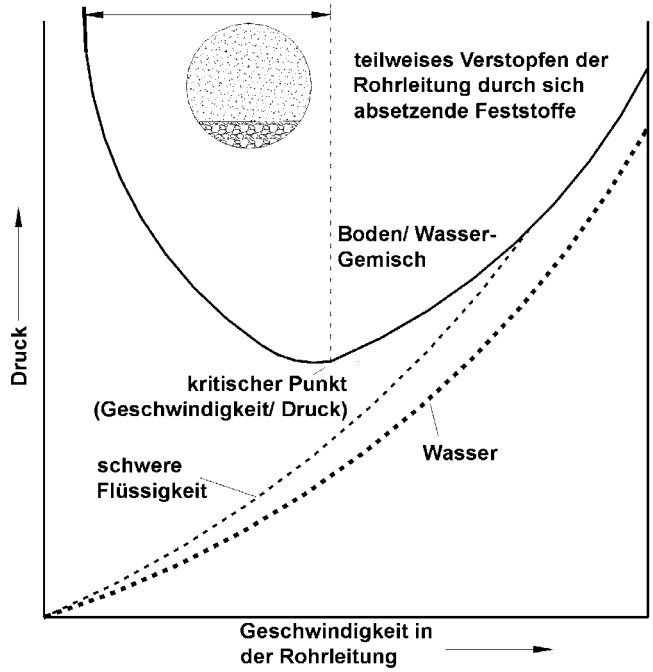


Abb. G 45: Druckverlust beim Pumpen durch eine Rohrleitung mit hohem Feststoffanteil nach BRAY et al. (1997)

Wird die Geschwindigkeit weiter reduziert, setzen sich Feststoffe auf dem Boden der Rohrleitung ab, reduzieren somit den Rohrquerschnitt, erhöhen den Widerstand und damit die Druckverluste. Wird eine weitere Reduzierung der Geschwindigkeit zugelassen, führt das zu einer Verstopfung der Rohrleitung. Die Geschwindigkeit, die minimal erforderlich ist, um das Gemisch in Bewegung zu halten, ist die kritische Geschwindigkeit. (s. Abb. G 45).

Für gegebene Rohrleitungslänge und -durchmesser ist die kritische Geschwindigkeit eine Funktion von

- Größe und Form der transportierten Bodenteilchen,
- Gemischkonzentration und
- Spezifischer Dichte der Bodenteilchen.

Höhenunterschiede und Krümmer in der Rohrleitung führen ebenso zu Druckverlusten, wie eingebaute Armaturen (z.-B. Schieber), Flanschverbindungen, Schweißnähte u. a.

Bei der Planung und Ausführung von Spülprozessen soll selbstverständlich immer die höchstmögliche Gemischkonzentration erreicht werden. Deshalb wird die Spülstromgeschwindigkeit nur wenig höher als die kritische Geschwindigkeit, der Druck nur wenig höher als der kritische Druck angestrebt. Tab. G 7 zeigt erforderliche Transportgeschwindigkeiten verschiedener Bodenmaterialien.

Weiterführende Hinweise zu Spülprozessen und deren hydraulischer Berechnung sind in der entsprechenden Fachliteratur enthalten (BRAY et al., 1997; BRÖSSKAMP et al., 1979; CUR Report 152, 1992; KÜHN, 1997; SMOLTCZYK et al., 1991; WELTE, 2000).

In Fällen sehr großer Rohrleitungslängen bzw. relativ geringer Pumpenleistung des Baggers ist es üblich, Zwischenpumpstationen (Booster) zwischen Bagger und Spülfeld zur Leistungserhöhung einzusetzen.

Tab. G 7: Mindesttransportgeschwindigkeiten für verschiedene Bodenarten nach BRAY et al. (1997)

Materialart	Fließgeschwindigkeit (m/s)
Schlick	2,0–3,0
Feiner Sand	3,0–4,0
Mittlerer Sand	3,5–4,5
Sehr weicher Klei	4,0–4,5
Grober Sand	4,0–4,5
Sand mit feinem Kies	4,5–5,0
Sand mit mittlerem Kies	4,5–5,5
Steifer Klei	4,5–5,5
Sand mit grobem Kies	5,0–5,5
Sand, Kies und Schotter	5,5–6,5

Booster bestehen aus einer Kreiselpumpe, die für das Pumpen von Feststoffen geeignet ist und werden auf schwimmenden Pontons bzw. an Land aufgebaut. Der Pumpenantrieb erfolgt mittels Diesel- oder Elektromotor.

Leistungen hängen unmittelbar mit der Pumpencharakteristik zusammen. In Abhängigkeit von Rohrdurchmesser, Gemischkonzentration und -geschwindigkeit sind zusätzliche Spüllängen bis zu 3.000 m je Booster möglich. Die größte Effektivität erreichen Booster, wenn sie in einer bestimmten Entfernung vom Bagger angeordnet werden, jedoch können praktische Gründe auch die Positionierung in der Nähe oder sogar an Bord des Baggers erfordern.

Sobald das Spülgemisch aus der Rohrleitung austritt, verringert sich die Geschwindigkeit wesentlich. Mit fallender Geschwindigkeit auf dem Spülfeld entmischt sich das Material bis auf sehr feine Anteile, die als Suspension unabhängig vom Gefälle in Schwebe bleiben. Die Böschungsneigung vor dem Spülauslauf hängt erfahrungsgemäß ab

1. von der Geschwindigkeit mit der das Spülgemisch austritt,
2. von der Art des Rohrauslaufes (offener Rohrquerschnitt, geschlitzte Rohre, vorgehängte Prallbleche),
3. vom Bodenmaterial (Kiese und Sande lagern sich mit fallender Geschwindigkeit des Spülstromes im Spülfeld ab),
4. vom Spülauslauf über oder unter Wasser und
5. von der Gemischkonzentration (Wasserzusatz kann die Böschungsneigung abflachen).

Die steilste Böschung, die Kiese und Sande in natürlicher Schüttung annehmen können, wird als natürlicher Böschungswinkel bezeichnet und entspricht etwa dem Reibungswinkel in lockerster Lagerung in der Bodenmechanik. Bei Wasserzusatz verringert sich der Böschungswinkel auf etwa die Hälfte, wenn der Boden wassergesättigt ist und der Spülstrom innerhalb des Spülfeldes parallel zur Böschung läuft. Als Orientierung können unter normalen Bedingungen folgende Böschungsneigungen auf einem Spülfeld gelten, wobei ein Spülrohrdurchmesser von mehr als 500 mm vorausgesetzt wird:
Böschungsverhältnisse im Spülbetrieb nach BRÖSSKAMP et al. (1979) und EAK 1993:
Über Wasser:

Feinsand	rd. 1:100 und mehr
Mittelsand	rd. 1:50
Grobsand	rd. 1:25
Kies	rd. 1:5 bis 1:10

Unter Wasser:

	still	bewegt bis starker Strom
Fein/ Mittelsand	rd. 1:5 bis 1:8	rd. 1:10 bis 1:28
Grobsand	rd. 1:3 bis 1:4	rd. 1:4 bis 1:10
Kies	rd. 1:2	rd. 1:3 bis 1:6

Umfangreiche Darstellungen zu Böschungsausbildungen über und unter Wasser sind im CUR Report 152 (1992) enthalten.

Rolliges Bodenmaterial mit einem Mindestanteil von 30 % Mittelsand und nur wenigen Prozenten Schluff lässt eine zügige Bearbeitung zu. Spülfelder aus diesem Material können betreten und befahren werden. Es ist dann möglich, während des Spülprozesses aus dem aufgespülten Material Hilfsdeiche aufzusetzen. Unmittelbar nach dem Aufspülen des Kerns kann dieses Material bereits profiliert werden, wobei am Deichfuß nur kurzfristig eine Durchfeuchtung auftritt.

Feinsandige Böden mit Schluffanteilen zwischen 5 und 20 % ergeben während des Spülvorganges Böschungsneigungen von 1:100 bis 1:500. Darum erfordern diese Materialien eine volle Spülfeldeinfassung. Das Spülfeld kann während der Aufspülung nicht betreten werden. Die Profilierung des Deichkernes ist erst nach entsprechenden Maßnahmen zur Entwässerung des Bodens möglich.

4.2.1.3 Spülfeld

Beim Deichbau wird zunächst das Spülfeld für die Sandeinspülung geschaffen. Die Spülfeldbegrenzung wird aus Kleiboden aufgesetzt, der aus einer Bodenentnahme oder durch Aufschlitzen des alten Deiches gewonnen wird. Reicht die so erreichte Höhe der Spülfeldbegrenzung nicht aus, kann durch Aufschieben von Sandverwallungen am Rand die Einspülebene nach und nach angehoben werden. Halboffene Spülfelder werden an den Seiten durch Steinschüttungen, Spülzäune, Buschdämme, Geokunststoffcontainer oder -schläuche mit großem Durchmesser eingefasst. Bei ungünstigen Untergrundverhältnissen kann zur Vermeidung von Grundbrüchen das Aufspülen in mehreren Lagen erforderlich werden.

Beim Neubau von Deichen im Tidebereich werden Sandspüldeiche leicht zerstört. Darum wird das Spülfeld meistens durch geotextile Schläuche oder Container bzw. Deckwerke begrenzt und so gesichert.

Halboffene Spülfelder sind nur möglich, wenn ein rolliges Material mit mindestens 30 % Mittelsand eingespült wird. Feinere Bodenarten erfordern ein geschlossenes Spülfeld, was wesentlich aufwendiger ist. Geschlossene Spülfelder für Feinsande werden aus Klei- oder Sanddeichen hergestellt. Als Erosionsschutz gegen den Spülstrom auf der Spülfeldseite dienen Kunststofffolien. Durch Querdämme wird ein schnelleres Absetzen des Sandes erreicht.

Spülfeldeinfassungen werden in Spülpausen bzw. bei laufendem Spülbetrieb hergestellt. Bei Sickerwasseraustritt an der luftseitigen Spüldeichböschung sollte diese abgeflacht werden.

Die Rückführung des Spülwassers in das Gewässer erfordert gesonderte Maßnahmen. Das Spülwasser wird im Spülfeld angestaut, um den Anteil von Schwebstoffen zu minimieren und dann über Staukästen (Mönche, Wasserlose) abgeleitet. Die Weiterführung kann dann in offenen Gräben oder mittels gesonderter Rohrleitungen erfolgen. Besondere Auflagen für den Anteil an Schwebstoffen und abfiltrierbaren Stoffen im Rücklaufwassser können zusätzliche Aufwendungen notwendig machen.

Die nachfolgende Abb. G 46 zeigt ein Herstellungsbeispiel eines Deichneubaus im Einspülverfahren.

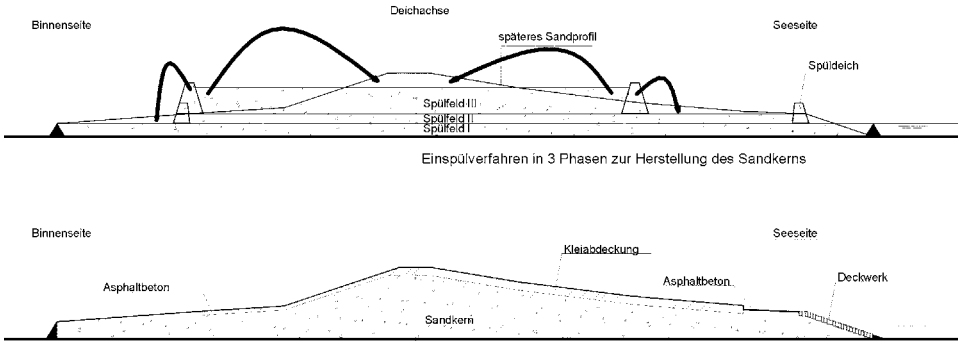


Abb. G 46: Neubau eines Seedeiches mit in drei Spülfeldebenen eingespültem Sandkern

Die Deichverstärkung kann je nach verfügbarer Fläche entweder an der Deichbinnenseite (Abb. G 47) oder der Außenseite des Deiches erfolgen (KRAMER, 1989; PILARCZYK et al., 1998). In Einzelfällen ist jedoch auch eine axiale Verstärkung möglich.

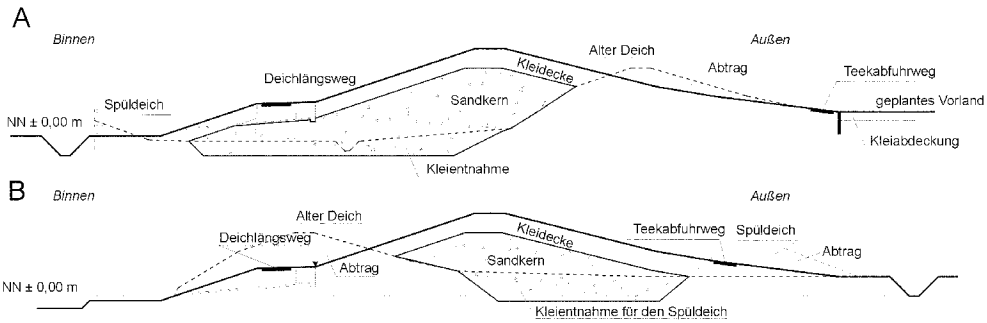


Abb. G 47 A + B: Deichverstärkung je nach verfügbarer Fläche:
A: Verstärkung an der Binnenseite
B: Verstärkung an der Außenseite

4.2.1.4 Profilieren

Das Profilieren des Sandkerns kann erst erfolgen, wenn das Porenwasser der Aufspülung abgeleitet ist. Undurchlässige Dämme oder ein undurchlässiger Untergrund verhindern die Entwässerung. Ein Schlitzen der Spüldeiche oder das Anlegen von Kies- oder Rohrdrainagen können hier Abhilfe schaffen.

Das Profilieren selbst erfolgt im Quertransport mit Planierraupen, Schürfkübelraupen, Hydraulikbaggern oder Seilbaggern. Sollte aufgrund besonderer örtlicher Bedingungen ein Längstransport erforderlich sein, erfolgt dieser wie im Kap. 4.2.2 beschrieben.

Normalerweise ist das direkte Einspülen in den Deichkern das wirtschaftlichste Verfahren. Es kann jedoch örtlich bedingt erforderlich sein, Sanddepots anzulegen und den Boden im Trockenbetrieb in den Deichkern einzubauen.

Der eingespülte Boden besitzt eine Verdichtung von 95 bis 97 % Proctor. Aufgesetzter und damit aufgelockerter Boden muss mit Planierraupen und eventuell Walzen verdichtet werden.

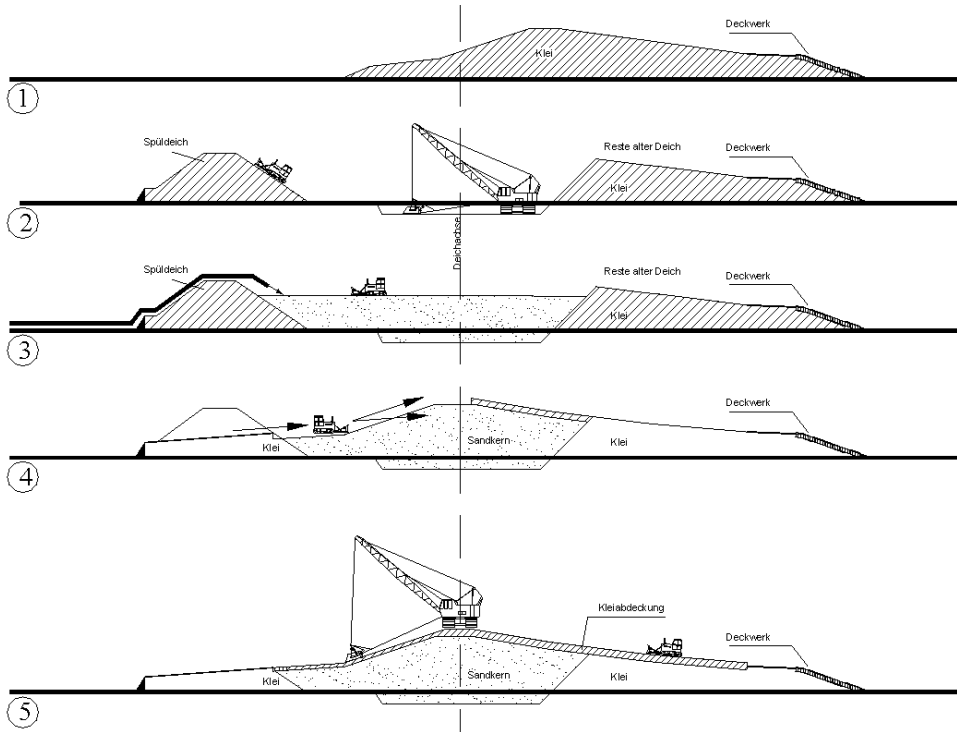


Abb. G 47 C: Schematische Darstellung der Baustufen einer Deicherhöhung und -verstärkung
1) Altdeich
2) Aufschlitzen des Altdeiches, Profilierung der Außenböschung, Bau des Deckwerkes und Aufsetzen der Spüldeiche
3) Einspülung des Sandkernes
4) Profilierung des Sandkernes und Kleibedeckung durch Abtrag des Spüldeiches und/oder zusätzliche Kleianfuhr
5) Herstellung des endgültigen Deichprofils

4.2.2 Trockenbetrieb

Normalerweise stellt das Einspülen des Bodenmaterials direkt in den Deichkern das wirtschaftlichste Verfahren dar. Es kann jedoch auch erforderlich werden, Sanddepots aufzuspülen und von diesen das Material in den Deichkern einzufahren. Daneben wird aber in jüngerer Vergangenheit zunehmend das Kernmaterial ausschließlich im Trockenbetrieb eingebaut. Dies gilt insbesondere bei Deichverstärkungen oder kleineren Bauabschnitten, wenn wegen nur geringer einzubauender Bodenmassen der Nassbaggerbetrieb mit seinen verhältnismäßig hohen Baustelleneinrichtungskosten im Vergleich zum Trockenbetrieb unwirtschaftlich ist. Weiterhin kann der Einbau im Trockenbetrieb notwendig werden, wenn kein für das Verspülen geeigneter Boden in vertretbarer Entfernung zur Verfügung steht oder der Nassbaggerbetrieb nicht genehmigt wird.

Als Kernmaterial wird dann häufig ortsnah verfügbarer Boden eingebracht, der die Kriterien für geeignetes Deichkernmaterial (vgl. Abschn. 3.2.1) erfüllt.

Der Boden wird heute in aller Regel im gleislosen Einbau eingebracht. Nur in Sonderfällen kann der Gleisbau noch wirtschaftlich eingesetzt werden. Art und Anzahl der einzusetzenden Baugeräte sind an den speziellen Gegebenheiten der jeweiligen Baustelle auszurichten. Um eine optimale Leistungsfähigkeit im Gesamtarbeitsablauf zu erreichen, ist die Gerätekapazität für die einzelnen Arbeitsschritte Gewinnen – Transport – Einbau aufeinander abzustimmen.

4.2.2.1 Gewinnen und Transportieren

a) Gewinnen

Zur Vorbereitung der Bodenentnahme ist diese zunächst durch eine mit Hilfsbaustoffen anzulegende Baustraße an die Transportwege anzuschließen. Ebenso sind nach Abschieben des Mutterbodens die Fahrwege in der Entnahme, die einen Rundverkehr erlauben sollen, zu befestigen (vgl. Abschn. 5.2.2). Für eine gute Entwässerung der Bodenentnahme ist Sorge zu tragen, da bei Zutritt von Niederschlags- oder Sickerwasser der Boden aufweichen kann. Dies beeinträchtigt – insbesondere bei feinsandigen, gemischtkörnigen oder bindigen Böden – zum einen die Befahrbarkeit in der Entnahme und erschwert zum anderen die weitere Verarbeitung und den Einbau des Bodens, was wiederum den Baufortschritt verzögert. Bei außendeichs liegenden Entnahmen ist die Hochwassersicherheit durch den Bau von Kajedeichen zu gewährleisten.

Zum Lösen des Bodens und Beladen der Transportfahrzeuge werden Hydraulik- oder auch Seilbagger mit Raupenfahrwerk eingesetzt; zum Laden aus Bodenhalden, -mieten oder Altdeichen können auch Radlader infrage kommen.

Schon beim Bodenabbau ist die künftige Gestaltung der Bodenentnahme hinsichtlich z. B. Entnahmetiefe und Böschungsneigungen zu berücksichtigen, um den Aufwand für Erdbewegungen zu minimieren.

b) Transport

Der Bodentransport erfolgt über
- öffentliche Straßen,
- extra angelegte Baustraßen und Fahrdämme und
- den neu zu bauenden oder zu verstärkenden Deich.

Bei der Benutzung von öffentlichen Straßen sind ggf. bestehende Gewichts- und Verkehrsbeschränkungen zu beachten. Es ist empfehlenswert, zusammen mit dem Straßenbaulastträger eine Beweissicherung des Straßenzustandes vorzunehmen.

Erfahrungsgemäß können sich bei der Benutzung öffentlicher Straßen wegen Behinderung des öffentlichen Verkehrs und entstehender Emissionen erhebliche Konflikte mit den Anliegern ergeben, insbesondere in Ortschaften oder touristisch intensiv genutzten Bereichen wie beispielsweise den Bädergemeinden an der Ostseeküste. Deshalb sollte schon bei der Planung von Deichbaumaßnahmen darauf hingewirkt werden, notwendige Bodentransporte möglichst nur über Baustraßen und im Deichbaustellenbereich selbst abzuwickeln. Soweit erforderlich, sind verkehrsregelnde Maßnahmen zu ergreifen.

Um die Staubentwicklung durch die Transporte bei trockener Witterung zu reduzieren, sind die Transportwege feucht zu halten. Durch die Bodentransporte verschmutzte Straßenabschnitte sind ständig zu reinigen, um den sonstigen Verkehr möglichst wenig zu beeinträchtigen.

Bei schlechtem Baugrund hat sich das Anlegen von 1,0 bis 1,5 m hohen Fahrdämmen aus nichtbindigem Boden auf lastverteilenden Vliesen und einer ausreichend dicken Deckschicht aus Schotter bewährt (vgl. Abschn. 5.2.2) (BRÖSSKAMP, 1976; SAGGAU u. STADELMANN, 1988). Die Fahrbahnen müssen feucht gehalten und durch Grader oder Planierraupen ständig gepflegt und die Spurrillen eingeebnet werden, um einen leistungsfähigen Fahrbetrieb gewährleisten zu können. Insbesondere bei Baustraßen und Untergrund aus Feinsänden können weitergehende Maßnahmen wie das Einstreuen von Klei, Schotter oder Splitt bis hin zur Vermörtelung der Fahrbahnen erforderlich sein.

4.2.2.2 Einbauen, Verdichten und Profilieren

Der Boden wird an der Einbaustelle abgekippt und lagenweise in Schichtdicken von 25–50 cm eingebaut, um eine ausreichende Verdichtung (siehe Abschn. 3.2.1 und Empfehlung B 2002, Abschn. 3.1 u. 3.2) zu erreichen. Der Quertransport im Deich zur Profilierung des Deichkerns erfolgt durch Planierraupen. Dabei wird der Boden durch mehrfaches Überfahren der einzelnen Lagen beim Verteilen und Profilieren verdichtet; zusätzlich können Rüttelwalzen und bei bindigen Böden (Geschiebelehm, -mergel, Beckenschluffe) Schaffußwalzen zum Einsatz kommen.

Das Profil des Deichkerns ist um das zu erwartende Setzungs- und Sackungsmaß (siehe Empfehlung B 2002, Abschn. 7 u. 8) zu erhöhen, damit nicht der knappe und in der Regel teurere Klei oder Geschiebemergel zum Ausgleich des sonst fehlenden Bodens verwendet werden muss.

4.3 Einbau der Deckschicht

4.3.1 Grundsätzliches zu offenen Deckschichten

4.3.1.1 Offenes Fußdeckwerk

Deckwerke an Deichen, die i. d. R. nicht völlig dicht gegen das Außenwasser an den dichten Untergrund anschließen, sollten als offene Deckwerke, die die Filterbedingungen voll erfüllen, ausgebildet werden. Das offene Deckwerk ist dabei bis oberhalb MThw hochzuführen.

Zwischenformen, deren Durchlässigkeit nicht beurteilt werden kann, führen zu unberechenbaren Rückstauüberdrücken des anstehenden Sickerwassers aus dem Deichkörper und bilden ein nicht kalkulierbares Risiko. Dem kann *nicht* dadurch abgeholfen werden, dass unter solchen „halbdurchlässigen" Böschungsbelegen eine Filterschicht mit Anschluss an das freie Außenwasser angeordnet wird. In dieser Filterschicht stellt sich ein Grundwasserspiegel ein, der seine Höhenlage wegen der Reibung am Korngerüst der Filterschicht nicht so schnell verändern kann, wie sich der Außenwasserspiegel mit der Wellenperiode ändert. Da die Flächenlast solcher Decken unter Auftrieb im Allgemeinen kaum größer als 5 kN/m^2 ist, die Wellentäler davor aber leicht über 1 m tief sind und dann Grundwasserüberdrücke von über 10 kN/m^2 unter der Decke auslösen, können auftretende Schäden nicht überraschen.

Ein Nachteil der offenen Böschungsbeläge kann darin gesehen werden, dass Wellendruckschläge sich durch voll wassergesättigte Fugen der Decke fortpflanzen und Sprengwir-

kungen hervorrufen können (s. Empf. A 2002, Abschn. 4.2.2). Der entstehende Überdruck, dessen Dauer nur in der Größenordnung von Hundertstelsekunden liegt, wird sofort abgebaut. Allerdings muss in diesem örtlichen Abhebezustand die Stützung in der Böschungsebene durch Längskraftwirkung intakt bleiben.

4.3.1.2 Filter unter offenen Betonsteinpflasterdecken

Betonsteinpflaster sollen nicht auf Raumfiltern wie Schotter, Grobkies o. dgl. verlegt werden, da es bei derartigem Deckenaufbau häufig zu Schäden gekommen ist. Im Gegensatz dazu haben sich Betonsteinpflasterdecken bewährt, die zum Schutz gegen Erosion von Bodenteilchen durch die Pflasterfugen nur einen dauerhaft wirksamen geotextilen Filter erhielten. Die Wasserdurchlässigkeit einer Deckwerkskonstruktion ist als ausreichend anzusehen, wenn der k-Wert von Schicht zu Schicht (Boden-Filter-Deckschicht) um eine 10er-Potenz zunimmt. (EAK 1993, Empf. E, Abschn.2.3.4). Diese Bedingung ist zwischen grobem Raumfilter (z. B. Schotter) und Pflasterdecke häufig nicht erfüllt. Das führt dann zu Überdruck unter der Pflasterdecke und folglich zu Schäden. Besonders kritisch ist das Verhältnis der Durchlässigkeiten bei großflächigen Pflastersteinen mit engen Fugen auf grobem Schotter.

4.3.2 Bindige Deckschichten

Im heutigen Deichbau – insbesondere bei den gegenwärtigen Deichverstärkungen und -erhöhungen – ist der Bau von Deichen mit einem Kern aus Sand und einer mineralischen Deckschicht aus bindigem Boden die Regel.

Während an der deutschen Nordseeküste Klei als Deckschichtmaterial verwendet wird, wird an der Ostseeküste stattdessen Geschiebemergel eingebaut.

Die grundsätzlichen Ausführungen im Abschn. 4.2.2 gelten ebenso für die Herstellung der mineralischen Deckschicht.

4.3.2.1 Gewinnen und Transportieren

Wenn für die Deckschicht geeigneter Deichboden (s. Abschn. 3.2.2) nicht ortsnah verfügbar ist, sind auch größere Transportentfernungen in Kauf zu nehmen. Schon in der Planungsphase ist hier der hohe Transportaufwand mit dem ansonsten entstehenden Aufwand abzuwägen, der mit einer erforderlichen Aufbereitung des Bodens (vgl. z. B. Abschn. 4.3.3) oder konstruktiven Maßnahmen zum Ausgleich einer unzureichenden Bodenqualität verbunden ist.

Außendeichs liegende Kleientnahmen sind durch Kajedeiche zu schützen, deren Höhen und Böschungsneigungen sich nach der Lage zur See und nach der vorgesehenen Bauzeit richten. Sie müssen die saisonal auftretenden Wasserstände kehren können. Schäden im Falle von etwaigen höheren Wasserständen werden gering gehalten, wenn entweder jeweils nur kurze Überlaufabschnitte betrieben oder Flutungsmöglichkeiten für die Entnahme geschaffen werden, so dass durch ein Wasserpolster in der Entnahme die Überfallhöhe so gering wie möglich gehalten wird. Für eine schnelle Entleerung nach einer Überflutung sollten vorbeugend, so tief wie es die Vorflut zulässt, Entwässerungsrohre in den Kajedeich sowie in die Fahrdämme der Entnahme eingebaut werden.

Der Klei in Vorlandentnahmen weist in der Regel einen sehr hohen Wassergehalt bis hin zur Wassersättigung auf. Durch das frühzeitige Aufsetzen zu Mieten kann der Klei bis zum Transport über einen längeren Zeitraum austrocknen und so die weiteren Arbeiten erheblich erleichtern (SAGGAU u. STADELMANN, 1988).

4.3.2.2 Einbau, Verdichten und Profilieren

Die bindigen Deckschichten sind um das Maß der zu erwartenden Schrumpfungen (vgl. Empfehlungen B 2002, Abschn. 9) zu überhöhen, damit nach Austrocknung der Deckschicht mindestens die Sollstärken im Binnen- und Außenböschungsbereich (vgl. Abschnitte 2.2.4 und 2.2.6) erreicht und dauerhaft eingehalten werden.

a) Klei

Durch lagenweisen Einbau der Kleischicht in Dicken von 30 bis 40 cm wird mit Planierraupen durch Andrücken in der Regel bereits eine ausreichende Dichte (s. Abschn. 3.2.2.1 und Empfehlungen B 2002, Abschnitte 3.2 und 3.3) erreicht.

Wenn der Kleiboden wegen zu hohen Wassergehaltes so weich ist, dass er selbst mit Moorraupen nicht befahrbar ist und somit auch nicht ausreichend verdichtet werden kann, bleibt nur abzuwarten, bis der Klei hinreichend ausgetrocknet ist. Grundsätzlich ist bei der Verwendung von zu nassem Kleiboden – was im Allgemeinen im Vorwege bekannt ist – eine zweijährige Bauzeit vorzusehen. Die erforderliche Verdichtung (s. Abschn. 3.2.2.1 und Empfehlungen B 2002, Abschnitte 3.2 und 3.3) erfolgt in diesem Fall zweistufig. Nach der Verringerung des Einbauwassergehaltes infolge Austrocknung bis zum zweiten Baujahr wird die Kleischicht mit einer Walze nachverdichtet.

Bei starker Bildung von Schrumpfrissen, die insbesondere bei fettem, tonigen Klei auftritt, kann es erforderlich werden, das Bodengefüge in der oberen 15–20 cm starken Schicht durch Fräsen oder Eggen aufzureißen. Anschließend wird mit Planierraupen durch mehrfaches Überfahren der Boden verdichtet und das Feinplanum hergestellt. Die notwendigen Nacharbeiten sollen dann so rechtzeitig im 2. Baujahr durchgeführt werden, dass noch ausreichend Zeit für die Ansaat und Begrünung verbleibt (vgl. Abschn. 4.3.4).

Wegen nasser Witterung im Spätsommer und Herbst können sich aus den o. g. Gründen erhebliche Verzögerungen beim Einbau der Deckschicht ergeben. In diesem Fall kann es ausnahmsweise erforderlich werden, die Kleischicht nicht wie oben beschrieben mit Raupen, sondern mit Hydraulikbaggern in voller Schichtdicke einzubauen, anzudrücken und glattzuziehen, um den stark erosions-gefährdeten Deichkern noch rechtzeitig vor dem Einsetzen der Herbststürme abzudecken.

Bei steifem, von Rissen durchsetzten Klei hat sich der Einsatz einer Moorraupe zum Ziehen einer 2,20 m breiten Fräseinrichtung bewährt. Durch das 50 cm tiefe Auffräsen wird der Boden mit dem darin befindlichen Porenraum homogenisiert und seine Bearbeitbarkeit verbessert; anschließend wird die Schicht erneut verdichtet. Dieses relativ aufwendige Verfahren eignet sich insbesondere auch zur „Sanierung“ bestehender Deiche, bei denen in erheblichem Maße bleibende Trocknungsrisse aufgetreten sind.

b) Geschiebemergel

Wie auch beim Kleiboden wird der Geschiebemergel in Schichtdicken von 30 bis 40 cm eingebracht, mit Planierraupen verteilt und durch das mehrfache Überfahren verdichtet (s. Abschn. 3.2.2.2 und Empfehlungen B 2002, Abschn. 3.2). Ansonsten geschieht das Ver-

dichten durch selbstfahrende oder von Raupen gezogene Vibrationsschaffußwalzen oder auch durch hydraulisch betriebene Verdichtungsplatten, die von einem Bagger gezogen werden. Von der Deichkrone aus können sie selbst an der 1 : 3 geneigten Binnenböschung eingesetzt werden, soweit der Einsatz dieser Geräte nicht an der Konsistenz des Bodens scheitert, der dafür entweder zu nass oder zu trocken sein kann.

Die Ausführungen zu Abschnitt a) gelten für weichen Geschiebemergel mit hohem Wassergehalt entsprechend. Von seiner Verarbeitbarkeit her entspricht dieser Mergelboden einem sandigen Klei und trocknet relativ schnell ab.

Zum Profilieren des Deichkörpers können Planierraupen sowie – insbesondere zur Herstellung des Feinplanums – Grader eingesetzt werden.

4.3.3 Aufbereitung und Einbau von Baggergut

Die Eignung von Baggergut als Deichbaumaterial ist neben den geotechnischen Eigenschaften wesentlich auch von den chemischen und organischen Inhaltsstoffen abhängig. Darum sind auch chemische Untersuchungen von Baggergut vorzunehmen. Baggergut kann bei bestimmten chemischen Inhaltsstoffen auch als Abdeckboden eingebaut werden, wenn eine oberste abschließende Abdeckung aus unbedenklichen Böden erfolgt.

Die Aufbereitung von Baggergut zum Einbau als Deichmaterial ist sehr stark abhängig davon, nach welchem Verfahren das Baggergut an der Gewässersohle aufgenommen und im Spülfeld oder in der Bodendeponie abgelagert wurde. Deshalb wird zunächst auf das Verfahren zur Aufnahme und Ablagerung von Baggergut eingegangen. Die Nassbaggerarbeiten werden ausführlich im Abschn. 4.2 behandelt.

Baggergut fällt im Wasserbau bei Ausbau und Vertiefung von Wasserstraßen, Flüssen und Häfen sowie bei Unterhaltungsmaßnahmen an. Das anfallende Baggergut hat unterschiedliche Zusammensetzungen und Konsistenzen und wird auf verschiedene Weisen abgelagert. Nichtbindige Böden (Sande) können ohne aufwendige Entwässerung direkt für das Aufspülen oder Aufsetzen als Deichkernmaterial verwendet werden. Bindige oder gemischtkörnige Böden dagegen können für Böschungsabflachungen, Deicherhöhungen oder Deichabdeckungen als Kleiersatz bzw. Kleiergänzung erst dann eingebaut werden, wenn sie durch ausreichende Entwässerung oder Trocknung aufbereitet sind.

Als Baggerverfahren für Ausbau-, Vertiefungs- und Unterhaltungsmaßnahmen kommen derzeit vorrangig folgende Verfahren zur Ausführung:

– Cutter-/Spülbaggerung:
  Hierbei wird der aufzunehmende Boden mit Wasser versetzt und dabei verflüssigt. Das Bodenwassergemisch hat eine flüssige Konsistenz und wird über Rohrleitungen in Spülfeldern abgelagert. Beim Einbringen in Spülfelder findet eine Klassierung in gröbere Anteile (Sande und Kiese) und feinere Bestandteile (Schluff-, Ton- und organische Anteile) statt. Die Sande entwässern sehr gut und können in der Regel für das Schütten des Deichkerns ohne weitere Aufbereitung verwendet werden. Die feineren Bestandteile aus Schluff-, Ton- sowie organischen und feinsandigen Anteilen hingegen lassen sich nur mit größerem Aufwand bei entsprechendem Zeitbedarf entwässern.
– Hopperbaggerung:
  Beim Hopperbagger wird ein Teil des bei der Baggerung aufgenommenen Wassers über Überläufe abgeführt, um damit die Konsistenz/Dichte des aufgenommenen Bodens im Laderaum zu verbessern. Da die Pumpeinrichtung des Hoppers auch Baggergut mit größerer Dichte aus dem Laderaum fördern kann, ist die Ablagerung auch ohne Spülbetrieb

möglich und damit günstiger als beim Cutter- oder Schutensauger. Eine erhebliche Verbesserung wird mit dem Einsatz von Entgasungsanlagen erreicht. Dies gilt sowohl beim Aufnehmen des Baggerguts von der Gewässersohle, als auch beim Entleeren des Laderaums. Mit dem Hopper lässt sich das Baggergut mit modernster Technik in der an der Gewässersohle anstehenden Konsistenz aufnehmen und ohne nennenswerte Wasserzugabe in einer Deponie ablagern. Wegen nahezu unveränderter Konsistenz des Baggergutes wird dadurch das Ablagerungsvolumen minimiert, was Leistungs- und Zeitaufwand für Entwässerung und Trocknung im Hinblick auf die Verwendung im Deichbau ebenfalls erheblich verringert.

– Eimerketten-, Hydraulik- und Seilbagger:
  Bei dieser Aufnahmetechnik wird das Baggergut ebenfalls ohne nennenswertes Zusatzwasser in der anstehenden Konsistenz aufgenommen und in Schuten gefördert (Abb. G-48a + b). Auch der Bodenumschlag aus den Schuten in die Ablagerungsflächen sollte ohne Wasserzugabe erfolgen, um eine Entmischung zu vermeiden und eine Verschlechterung der Konsistenz des Baggergutes zu verhindern. Die Verbringung von der Schute zur Ablagerungsfläche kann per LKW, Dumper oder Großkolbenpumpe (z.-B. MPF Möbius-Press-Förderverfahren) erfolgen. Bei der Verwendung einer Großkolbenpumpe kann das Baggergut ohne Wasserzusatz bis zu 1500-m weit in die Deponie gefördert werden (Abb. G-48c). Auch diese Baggergutbeförderung ohne nennenswerte Wasseraufnahme hat den Vorteil, dass eine Entmischung des Baggergutes vermieden, die Voraussetzung für Entwässerung und Trocknung des Bodens begünstigt und die Ablagerungsflächen minimiert werden.

Der Aufwand für die Aufbereitung von Baggergut unterscheidet sich danach, ob das Material gezielt für den Deichbau gebaggert wird oder alte Ablagerungen von Baggergut verwendet werden. Die Verfahren für die Nassbaggerung von Kern- bzw. Abdeckmaterial sind im Abschn. 4.2.1.1 dargestellt. Nachfolgend werden die Besonderheiten der Aufbereitung und des Einbaus von Baggergut als Abdeckböden von Deichen aufgezeigt.



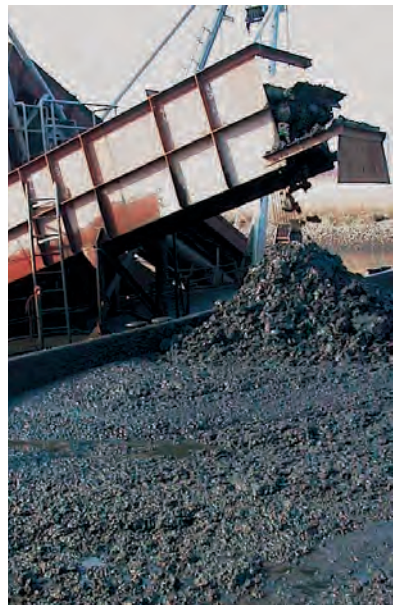


Abb. G 48a + b: Aufnahmegerät für Baggergut mit Förderung in Schuten



Abb. G 48c: Verbringen von Baggergut mit Großkolbenpumpe

Bei zielgerechter Baggerung von Abdeckmaterial sind Nassbaggerverfahren anzuwenden, die eine Gewinnung mit geringstmöglichem Wasserzusatz erlauben. Bei schwach plastischen bindigen Böden, wie z. B. Geschiebemergel, wird verfahrensbedingt jedoch die Konsistenz, die in situ erkundet wurde, meist eine Festigkeitsstufe weicher werden. Das ist bei der Gestaltung der Deponie- und Ablagerungsflächen zu beachten. Um den Wassergehalt zu optimieren, ist eine Zwischenlagerung zu empfehlen. Bei sehr hohen Wassergehalten sollten die Zwischenlager so gestaltet werden, dass eine mechanische Bearbeitung des Baggergutes jederzeit möglich ist. Baggergut aus eiszeitlichen Ablagerungen – wie Geschiebemergel – kann Steine verschiedenster Größen bzw. Sand- oder Kieseinschlüsse enthalten. Durch selektives Baggern sowie Sortieren bei der Einlagerung im Zwischenlager und vor dem Abtransport zum Einbau sind diese Einschlüsse zu entfernen.

Die Aufbereitung von Baggergut hängt von seiner Zusammensetzung und Konsistenz ab. Beim Baggern sollte daher versucht werden, das Baggergut mit geringstmöglicher Wasseraufnahme in seiner in situ Konsistenz und Zusammensetzung zu gewinnen. Um feinkörniges Baggergut aus Weichsedimenten (Schlick) für den Deichbau als Abdeckmaterial aufzubereiten, muss der Wassergehalt erheblich reduziert werden. Dabei sollten der Tongehalt ausreichend und der organische Anteil nicht zu hoch sein. Bei feinkörnigem oder überwiegend gemischtkörnigem Baggergut sind die Anforderungen als Abdeckmaterial von Deichen dann zu erfüllen, wenn bei passender Kornzusammensetzung durch Herabsetzung der Wassergehalte eine Mindestanfangsscherfestigkeit erreicht wird. Die Anforderungen für bindiges Baggergut als Deichabdeckboden sind den Angaben im Abschn. 3.2.3 sowie den Grenzwerten der Tab. G 5a zu entnehmen. Dies gilt sowohl für gebaggerte Schlicke als auch für Geschiebeböden.

Die Aufbereitung des Baggerguts erfolgt auf den Deponie- und Ablagerungsflächen. Sie sollten oberhalb des Grundwasserspiegels liegen und deren Sohlen aus durchlässigem Boden bestehen. Durch horizontale Dränagen im Untergrund kann die Entwässerung des Baggergutes weiter beschleunigt werden.



Abb. G 48d: Herstellen von flachen Mieten in einer Deponiefläche

Eine Abtrocknung des Baggergutes auf Deponie- und Ablagerungsflächen wird durch das Aufsetzen in flache Mieten erreicht (Abb. G 48d). Austretendes Porenwasser und Niederschlagswasser müssen dabei über Gräben abgeführt werden. Mit weiterer Profilierung der Mieten werden Entwässerung infolge Konsolidation durch Eigengewicht und Austrocknung infolge Verdunstung weiter verbessert. In weiteren Schritten müssen die Mieten mehrmals umgesetzt werden, um die Trocknung des Baggergutes fortzuführen (Abb. G 48e). Dabei wird das Material in seiner Zusammensetzung vergleichmäßigt.



Abb. G 48e: Umsetzen von Mieten in einer Deponie



Abb. G 48f: Bodenverbesserung durch Fräsen

Eine weitere Verbesserung des Baggergutes kann durch den Einsatz von Bodenmischgeräten, Fräsen oder Aufbereitern erfolgen (Abb. G 48f + g). Dabei wird die intensive Zerkleinerungs- und Vergleichmäßigungswirkung der Geräte genutzt. Sollten die geotechnischen Eigenschaften des Baggergutes auch bei optionalem Wassergehalt nicht den Anforderungen gemäß Tab. G 5a in Abschn. 3.2.3 entsprechen, ist es möglich, das Baggergut durch Konditionierung in Spezialmischanlagen unter Zugabe von Bindemitteln oder geeigneten natürlichen Böden aufzubereiten. Der Einfluss der Zusatzstoffe auf die Material- und Umweltverträglichkeitseigenschaften (z. B. pH-Werte) ist zu prüfen. Gleiches trifft auf Verfahren zu, bei denen Zusatzstoffe am Einbauort in das lagenweise einzubauende Baggergut eingefräst werden. Umfangreiche Erfahrungen über derartige Aufbereitungsmethoden gibt es bei der Hafenschlickaufbereitung in Bremen, Hamburg und Rostock.

Sehr schnelles Erreichen von optionalen Wassergehalten ist durch eine gezielte mechanische Entwässerung möglich (Siebbandpressen, Filterkammerpressen). Dies kann in stationären Anlagen (z. B. METHA Hamburg) oder mit mobilen Anlagen im Baustellenbetrieb erreicht werden. Diese Form der Aufbereitung sichert zwar die schnelle Bereitstellung von Baggergut mit optionalen Einbauwassergehalten, erfordert jedoch eine spezielle Gerätetechnik und umfangreiche Betreibererfahrung.

Deichabdeckböden aus Baggergut sollten wegen ihres bröckeligen Gefüges in dünnen Lagen (Schichtstärken (≤ 0,3 m) eingebaut werden. Die Lagenstärken richten sich nach den geotechnischen Kennwerten. Die Verdichtung erfolgt in Abhängigkeit der Böschungsneigung durch das Einbaugerät (Planierraupe oder Bagger) und wenn erforderlich, mit Schaffuß- und Glattmantel-Rüttelwalzen. Nach dem lagenweisen Einbau des aufbereiteten Baggergutes als Deichabdeckung kann nachträglich eine Verbesserung durch Fräsen und Belüften erreicht werden (Abb. G 48h).

Auch Baggergut aus Altablagerungen (Spülfelder, Deponien) kann als Abdeckboden eingesetzt werden. Die Optimierung der Bodeneigenschaften erfolgt auf die gleiche Weise,



Abb. G 48g: Bodenverbesserung durch Aufbereitungsgeräte

wie zuvor beschrieben. Altspülfelder sind bei der Beurteilung auf Eignung in ihrer ganzen Fläche zu untersuchen, da infolge sehr unterschiedlicher Kornzusammensetzung und organischer Inhaltsstoffe inhomogene Schichtungen im Baggergut vorliegen können.

Falls Baggergut als Abdeckmaterial im Deichbau verwendet wird, so sollte die Eignung in Probefeldern im Vorwege überprüft werden. In derartigen Probefeldern ist nachzuweisen, mit welchem Aufwand die Anforderungen an das Baggergut als Deichbaumaterial zu erfüllen sind. Dies sollte in jedem Fall von dem geotechnischen Gutachter und Berater begleitet werden.



Abb. G 48h: Verbesserungsmaßnahmen durch Fräsen

4.3.4 Deichbegrünung

4.3.4.1 Planung einer Grasnarbe auf Tidestrom- und Seedeichen

Aufgrund jahrhundertealter praktischer Erfahrungen ist bekannt, dass eine dichte Grasnarbe den Deich nachhaltig vor Witterungseinflüssen oder mechanischen Angriffen schützt. Erst in neuerer Zeit wird die Grasnarbe als ein Bauteil des Deiches aufgefasst, an das neben biologischen vor allem ingenieurtechnische Anforderungen zu stellen sind, das geplant und soweit als möglich bemessen werden muss. Im Gegensatz zu einem rein technischen Bauteil besteht das ingenieurbiologische Bauteil aus Pflanze und durchwurzeltem Boden und wird erst eine gewisse Zeit nach dem Bau seine volle Leistungsfähigkeit erreichen. Demnach werden die Bestandsziele nur durch den Bau *und* die folgende Pflege erreicht.

Im Folgenden wird nur die Planung und Durchführung des *Ansaatverfahrens* zur Ansiedlung von Grasnarben auf Deichen beschrieben, da sich diese Bauweise in der Praxis bewährt hat und nahezu ausschließlich verwendet wird. Andere Bauweisen, wie z. B. der Einsatz von Grassoden, sind möglich, wobei der Hinweis zu geben ist, dass diese aus regionalen, mit dem Deich vergleichbaren Standorten gewonnen werden sollten. Darüber hinaus können Hilfsstoffe für Ansaaten, wie z. B. Strohmulch und Kleber eingesetzt werden. Die genannten Anforderungen an die zu entwickelnde Grasnarbe gelten jedoch unabhängig von der Bauweise.

Belastungen und Aufgaben der Grasnarbe

- Die bindige Deckschicht soll vor *Oberflächenerosion* geschützt werden, die durch Regen, Wellen und durch überströmendes Wasser hervorgerufen werden kann. Dazu muss die Grasnarbe einen gleichmäßigen und dichten Wuchs besitzen, der den Boden vor dem strömenden Wasser schützt und Verwirbelungen vermeidet.
- Die Erosion muss durch Grasarten mit einer *schnellen Jungwuchsentwicklung* möglichst schnell behindert und das Abspülen von Samen langsamerer Mischungspartner vermieden werden. Auch Gräser mit einer *langsameren Jungwuchsentwicklung* sind notwendig, um vornehmlich die von den schnelleren Arten gelassenen Lücken zu besiedeln. Erst durch diesen zeitlich gestaffelten Aufwuchs wird insgesamt in der Zeit bis zum Narbenschluss ein optimaler Schutz geboten.
- Die *mechanischen Eigenschaften*, vor allem die Zugfestigkeit und die Scherfestigkeit der oberen Bodenschicht, werden durch Wurzeln und ein dichtes Netz ober- und unterirdischer Ausläufer verbessert. Horstwüchsige Gräser verankern die so entstandene Grasnarbe mit dem Deich. Insgesamt wird damit die *örtliche Standsicherheit*, d. h. die Standsicherheit von flachen, örtlich begrenzten Bodenschollen, die auf oberflächennahen Gleitflächen abrutschen können, erhöht.
- Die Grasnarbe soll die bindige Deckschicht möglichst lange *vor Austrocknung schützen*, aber auch in der Vegetationszeit durch Wasserverbrauch infolge Evapotranspiration zur schnelleren *Entwässerung* der bindigen Deckschichten beitragen.
- Nur *Pioniergräser* mit einer *weiten ökologischen Amplitude* können einen *extremen Standort* besiedeln. Der Deich entspricht einem Standort mit einem zunächst nährstoffarmen Rohboden, der sehr heiß und trocken sein kann, der aber auch Frost, Vernässung und Überflutung ausgesetzt wird.

– Mechanische Belastungen durch Mensch, Tier und Treibgut, die die Pflanzen unmittelbar verletzen, erfordern *tritt- und verbissfeste sowie schnittverträgliche* und *regenerationsfähige Gräser*.
– Die Grasnarbe muss besonders in großstädtischen Ballungsgebieten *Schadstoffimmissionen* aus Industrie und Verkehr ertragen können.
– Die *Salzverträglichkeit* der Gräser ist an Seedeichen sowie an Tidestromdeichen ab der Brackwassergrenze erforderlich.

Anforderungen an die Grasnarbe

Jungwuchsentwicklung:
– Die Ansaat sollte eine Mischung aus schnell und langsam keimenden Arten sein.

Wuchs:
– *Oberirdisch:* schnelle Bildung einer dichten und kurzwüchsigen Narbe
– *Unterirdisch:* Mischung aus Flach-, Mitteltief- und Tiefwurzlern sowie aus horstbildenden und ausläufertreibenden Gräsern.

Raseneigenschaften:
– Die bestandsbildenden Gräser müssen ausdauernde Pionierarten, für trockene und nasse Standorte geeignet, tritt- und verbissfest, schnittverträglich, regenerationsfähig und frosthart sein und z. T. für Schafe einen ausreichenden Futterwert besitzen.

Salzverträglichkeit:
– Alle Gräser der Ansaatmischung müssen die Salzgehalte des die Grasnarbe überstauenden Wassers sowie der bindigen Deckschicht ertragen können, die z. T. mit hohen Salzgehalten eingebaut wird. Aus einem ggf. gespülten Sandkern dringt zusätzlich salzhaltiges Wasser in die Deckschicht ein. Das gilt bereits für die Keimfähigkeit und die Keimschnelligkeit der Saat und für den späteren Wuchs.

Anwendungsgrenzen

Entsprechend der Vorgehensweise beim Bau eines technischen Bauwerkes muss auch bei der Ansiedlung einer Grasnarbe vorgegangen werden. Die Planung der Grasnarbe erfolgt im Zusammenhang mit der Planung des Gesamtbauwerks und ihre Herstellung ist Teil der Gesamtleistung.

Die in der Tab. G 8 vorgeschlagene Ansaatmischung gilt für *Deiche* entlang der gesamten deutschen *Nordseeküste* sowie der *Tidestromdeiche*. In der Tab. G 9 ist die Mischung für die *Deiche an der Ostseeküste* dargestellt. Diese Angaben können durchaus um ± 5 % verändert werden, ohne den Ansaaterfolg zu gefährden. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, dass die Ansaatdichte von etwa 3 Körnern pro cm^2 nicht verändert wird (vergleiche Abschnitt „Quantitative Zusammensetzung einer Ansaatmischung“). Bei größeren Veränderungen sollten entsprechende Fachleute hinzugezogen werden.

Das hier vorgestellte Artengerüst bringt im Geltungsbereich dieser Empfehlungen mit Sicherheit eine leistungsfähige Grasnarbe hervor. Dabei ist die Einhaltung der folgenden Bedingungen notwendig:

– Böschungsneigungen:	≤ 1 : 3
– MThw oder MW	oberhalb
– Temperatur bei der Ansaat	≥ 8° C
– Ansaatzeitraum	März bis September
– Boden	*Nordsee- und Tidedeiche:* Klei, Lehm *Ostseedeiche:* Lehm, Mergel

Der Geltungsbereich ist örtlich durch eine Vielzahl von Standorten gegliedert, bei denen einzelne Bedingungen extrem vom Durchschnitt der übrigen Standorte abweichen, z. B., fehlende oder sehr starke Schafbeweidung, Schadstoffbelastung aus Industrie und Verkehr, hohe Belastungen aus Freizeitnutzungen, usw.. Diese Einflüsse und *Abweichungen* von den oben genannten Bedingungen können *Anpassungen* der empfohlenen Ansaatmischungen *erforderlich* machen.

Nach Hiller (1976a) und Neugebohrn u. Wenck (1990) gedeihen Rasengräser optimal bei einer Bodenreaktion (pH-Wert CA-Cl_2) im schwach sauren Bereich von 5,5 bis 6,5. Zudem sind in diesem Bereich die Nährstoffe vollständig Pflanzen verfügbar. Höhere pH-Werte fördern das Wachstum von Kräutern, und in saueren Böden wird die Löslichkeit von toxisch wirkenden Schwermetallen erhöht, die das Wachstum von Gräsern sowie die Nährstoffzufuhr behindern. Mangelnde Ernährung behindert die gesamte Pflanzenentwicklung einschließlich der Wurzeln. Aber auch Überernährung schadet der Pflanze; beispielsweise werden die Krankheitsanfälligkeit gefördert und die mechanische Belastbarkeit geschwächt. Die *Untersuchungen der Bodenreaktion* und des Nährstoffvorrates im Boden sollten als verbindliche Grundlagen einer *Ansaatplanung* durchgeführt werden. Sollten im Einzelfall Zweifel an der Eignung des Bodens bestehen, wird vor der Ansaat eine Untersuchung des Bodens durch geeignete örtliche Fachstellen empfohlen.

Tab. G 8: Ansaatmischung für Nordsee- und Tidestromdeiche

Grasart	Prozentualer Gewichtsanteil %	Ansaatmenge pro Fläche g/m²	Kornanzahl pro Gewichtseinheit Körner/g*	Ansaat-dichte Körner/m²	Prozentualer Samenanteil %
Deutsches Weidelgras (Lolium perenne)	30	6,0	500	3000	9,7
Wiesenrispe (Poa pratensis)	30	6,0	3300	19 800	64,3
Rotschwingel mit kurzen Ausläufern (Festuca rubra ssp. trichophylla)	25	5,0	1000	5000	16,2
Ausläufertreibender Rotschwingel (Festuca rubra ssp. rubra)	15	3,0	1000	3000	9,7
Wiesenscharfgarbe (Achillea millefolium) kann mit max. 3 Gew.-% und 7000 Samen/g zu Lasten des Dtsch. Weidelgrases eingesetzt werden.					
Summe Kornzahl pro cm²	100	20,0		30 800 3,1	100

Der prozentuale Gewichtsanteil kann um ± 5 % (außer bei Wiesenscharfgarbe) verändert werden, jedoch sollte die Kornzahl pro cm² etwa gleich bleiben.

* Die Kornzahl kann je nach Ernteort und -zeit um 10 % schwanken.

Tab. G 9: Ansaatmischung für Ostseedeiche

Grasart	Prozentualer Gewichtsanteil %	Ansaatmenge pro Fläche g/m²	Kornanzahl pro Gewichtseinheit Körner/g*	Ansaatdichte Körner/m²	Prozentualer Samenanteil %
Deutsches Weidelgras (Lolium perenne)	10	2,0	500	1000	3,3
Wiesenrispe (Poa pratensis)	25	5,0	3300	16 500	54,1
Rotschwingel mit kurzen Ausläufern (Festuca rubra ssp. trichophylla)	35	7,0	1000	7000	23,0
Ausläufertreibender Rotschwingel (Festuca rubra ssp. rubra)	30	6,0	1000	6000	19,7
Wiesenscharfgarbe (Achillea millefolium) kann mit max. 3 Gew.-% und 7000 Samen/g zu Lasten des Dtsch. Weidelgrases eingesetzt werden.					
Summe	100	20,0		30 500	100
Kornzahl pro cm²				3,1	

Der prozentuale Gewichtsanteil kann um ± 5 % (außer bei Wiesenscharfgarbe) verändert werden, jedoch sollte die Kornzahl pro cm² etwa gleich bleiben.
* Die Kornzahl kann je nach Ernteort und -zeit um 10 % schwanken.

Aus baupraktischen Gründen sollte möglichst nur eine Ansaatmischung in einem Bauabschnitt verwandt werden. Jedoch können z. B. Umwelteinflüsse wie *Schadstoffbelastungen* aus Luft oder Boden, *starke Beschattung*, oder wesentlich *steiler als 1: 3 geneigte Böschungen* abgewandelte Mischungen erfordern. Auch sollten Vor- oder Hinterlandbegrünungen außerhalb der Deichgrundgrenzen auf die vorhandene und/oder die potentiell natürliche Vegetation abgestimmt werden.

Auswahl geeigneter Gräserarten

Die Erfahrungen haben gezeigt, dass es ausreichend ist, ein Gerüst von wenigen Arten mit einer weiten ökologischen Amplitude anzusiedeln, damit die Narbenbildung zunächst sicher durch diese Arten erreicht wird. Dies ist gerade bei Ansaaten im Herbst wichtig. Andere Arten können je nach Standort später einwandern und dann ebenfalls zur Entwicklung eines langfristig stabilen Bestandes beitragen. Für die Deichbegrünung haben sich als wertvolle Arten *Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Rotschwingel mit kurzen Ausläufern und Ausläuferrotschwingel* herausgestellt, deren Eignung in der hier bereits genannten Literatur nachgewiesen worden ist. Der Ansaat von *Rasengräsersorten* ist wegen ihrer Kurzwüchsigkeit und Narbendichte gegenüber landwirtschaftlichen Gräsersorten der Vorzug zu geben.

Für die *Auswahl* der einzelnen Arten sind die folgenden *Kriterien* maßgeblich:

– *Rotschwingel*:
  Die Rotschwingelarten sind ausdauernde Pioniergräser, die extreme Standorte hinsichtlich Klima, Wasser und Boden am ehesten besiedeln können. Der Horstrotschwingel ist zwar an Deichen Norddeutschlands eingesetzt worden, ist aber ein Gras der Mittelgebirge

(OBERDORFER, 1994), so dass er vom Rotschwingel mit kurzen Ausläufern (ssp. trychophylla) ersetzt werden kann, der Sorten mit höherer Salztoleranz und Trockenheitsresistenz aufweist. Der Ausläuferrotschwingel trägt wesentlich zur einer in horizontaler Richtung zugfesten Narbenbildung bei. Die Rotschwingelarten benötigen etwa 2 bis 3 Jahre, um ihren Anteil an der Grasnarbe voll zu entwickeln. Alle Sorten sind konkurrenzfähig und verdrängen Kräuter.
Salzverträglichkeit: Sorten mit besonders guter Salzverträglichkeit sind im Fachhandel erhältlich.

– *Deutsches Weidelgras:*
Deutsches Weidelgras zeichnet sich durch eine schnelle Anfangsentwicklung aus, die sich in schnellem Auflaufen und bald einsetzendem Wachstum zeigt. Es ist bei Früh- oder Spätsaaten, d. h., bei niedrigen Temperaturen gegenüber anderen Arten hinsichtlich der Keimung im Vorteil. Der gute Futterwert für Schafe begünstigt die Schafbeweidung, jedoch sollten hochwüchsige Futtersorten, die eine zu lockere Narbe bilden, nicht eingesetzt werden. Nachteilig wirkt sich der starke Aufwuchs bei zu dichtem Bestand auf die anderen Gräser aus, die unterdrückt werden können. Insgesamt ist das Deutsche Weidelgras ein robustes, trittfestes Rasengras mit befriedigender Trockenheitsresistenz.
Salzverträglichkeit: Sorten mit guter Salzverträglichkeit bereits im Jungwuchsstadium sind im Fachhandel erhältlich.

– *Wiesenrispengras:*
Die Wiesenrispe kann als Untergras nach einer langsamen Anfangsentwicklung nach etwa 2 bis 3 Jahren mit ihren unterirdischen Ausläufern sehr gut Lücken besiedeln und trägt somit durch ihren Anteil zu einem guten Narbenschluss bei. Sie ist sehr regenerationsfähig, trockenheitsverträglich und strapazierfähig. Auf dauernd nassen Standorten gedeiht sie nur schlecht.
Salzverträglichkeit: Gut bis befriedigend verträgliche Sorten im Handel.

– *Wiesenschafgarbe:*
Die Pionierpflanze bildet lange Rhizome (unterirdische bewurzelte Ausläufer) aus, wurzelt tief und ist sehr gut als Bodenfestiger in Ergänzung zu den Gräsern einsetzbar (HILLER, 2000). Die Grasnarbe wird dadurch zugfester und stärker im Deichkörper verankert. Die Wiesenschafgarbe besitzt sehr fein strukturierte Blättchen, die sich unauffällig und gut in die übrige Grasnarbe integrieren, so dass keine Kahlstellen entstehen. Sie kann bindige sowie sandige Standorte gut besiedeln.
Salzverträglichkeit: Gelegentliche Überschwemmungen durch Salzwasser werden ertragen.

Anforderungen und Auswahl einzelner Sorten:

Es ist ratsam mindestens *2 Sorten pro Gräserart* zu verwenden. Damit wird eine genetische Vielfalt mit sich ergänzenden Eigenschaften, z. B. verschieden ausgebildete Widerstandsfähigkeit gegen pilzliche Erkrankungen, in die Grasnarbe eingebaut. Die *Auswahl* der *Sorten* erfolgt zunächst aufgrund der jeweils neuesten Ausgabe der „Beschreibenden Sortenliste für Rasengräser“, herausgegeben vom Bundessortenamt. Insgesamt sollte eine Sorte vom Bundessortenamt zugelassen und für die Verwendung als Landschaftsrasen mindestens als „gut

geeignet“ bewertet worden sein. Die Bewertungen des Bundessortenamtes werden in „Regel-Saatgut-Mischungen Rasen (RSM)“ (jeweils neuste Ausgabe), herausgegeben von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) in Bonn, übernommen. Zusätzlich wird hier jährlich die *Verfügbarkeit im Handel*, die *Keimfähigkeit* und die *Reinheit des Saatgutes* angegeben. Speziellere Anfragen können auch an die Landwirtschaftskammern sowie die Grünland- und Landschaftsbauinstitute der Hochschulen gerichtet werden.

Quantitative Zusammensetzung einer Ansaatmischung

Bei der Bemessung der quantitativen Zusammensetzung einer Ansaatmischung müssen einerseits die *Ansprüche der Pflanze* und andererseits diejenigen der *Baupraxis* sowie der *Wirtschaftlichkeit* berücksichtigt werden. Bei der Ansiedlung eines Pflanzenbestandes sollen gleichzeitig Bedingungen geschaffen werden, die den Pflanzen einen optimalen Start ermöglichen. Dazu gehört zuerst ein ausreichender Lebensraum, so dass der Keimling ausreichend mit Nährstoffen versorgt wird und sich kräftig entwickeln kann. Andernfalls ist die Pflanze von vornherein geschwächt, und die Grasnarbe wird anfälliger für Krankheiten (Hiller, 1976a). Diese Ansprüche der Pflanze werden wesentlich über die Ansaatdichte berücksichtigt, d. h., *Kornzahl pro Fläche*, die von Hiller (1976b) *für Seedeiche mit 3 Körnern pro cm²* angegeben wird. Entsprechend der RSM können Zuschläge infolge mangelnder Keimfähigkeit und Reinheit des Saatgutes gemacht werden. Mit einer wesentlich höheren Samendichte wäre das Bauteil Grasnarbe überbemessen, d. h. zum einen würden sich die Pflanzen bei zu dichtem Stand gegenseitig in ihrer Entwicklung behindern, und zum anderen wäre eine solche Ansaat unwirtschaftlich. Die *Kornzahl pro Gramm* kann aus der DIN 19657 (1973) beim Bundessortenamt, der FLL, bei Staatlichen Saatgutuntersuchungsstellen sowie bei den entsprechenden Hochschulinstituten für Grünland und Landschaftsbau erfragt werden. Mit dem Einzelgewicht der Körner kann dann der tatsächliche *prozentuale Samenanteil* der einzelnen Arten in der Mischung errechnet werden.

Für die *Baupraxis* ist die Ansaatmenge gemessen in *Gewicht pro Flächeneinheit* diejenige Maßzahl, mit der eine Ansaatmischung ausgeschrieben wird. Die Anteile der Arten werden dabei nach dem prozentualen Gewichtsanteil bemessen.

Die Tabellen zeigen, dass die quantitative Zusammensetzung einer Ansaatmischung wesentlich durch das Gewicht der einzelnen Körner und nicht durch den prozentualen Gewichtsanteil bestimmt wird. Es kann jedoch nicht generell davon ausgegangen werden, dass die in der Spalte „Prozentualer Samenanteil“ berechneten Anteile auch nach Jahren in der Grasnarbe wiederzufinden sind. Deshalb wird darauf hingewiesen, wie bereits in der erwähnten Literatur vielfach geschehen, dass die Keimung und das Wachstum u. a. von der *Temperatur*, der *Jahreszeit,* den *Niederschlägen*, der *Pflege* und natürlich von der *Gräserart* und der *Rasensorte* abhängen.

Unter Berücksichtigung der bisher genannten Bedingungen wird für die *Nordsee- und Tidestromdeiche* die in der *Tab. G 8* und für die *Ostseedeiche* die in der *Tab. G 9* genannte Mischung vorgeschlagen. Die Ostseedeiche sind mit unterschiedlich bindigen Bodenarten in teilweise geringerer Abdeckstärke im Unterschied zu den Nordseedeichen hergestellt. Da hier eher mit weniger Niederschlägen zu rechnen ist, können Trockenperioden öfter als auf den Nordseedeichen auftreten. Daher liegt der Schwerpunkt bei der Mischung für die Ostseedeiche auf den ausgesprochenen Pionierpflanzen.

4.3.4.2 Bauausführung

Die nachfolgende Gliederung erfolgt im Wesentlichen in Anlehnung an DIN 18917 (September 1990) in die Abschnitte *Bodenvorbereitung*, *Saatgutkennzeichnung* und *Kontrolle*, *Ansaat* und *Fertigstellungspflege*.

Bodenvorbereitung

Auf die bindige Deckschicht des Deiches wird als Startdüngung eine Volldüngung von 100 g/m² eines *organisch mineralischen Mischdüngers* mit einem Walzenstreugerät aufgebracht[1]. Der Dünger soll so beschaffen sein, dass die Nährstoffe schnell zur Verfügung stehen, aber nachhaltiger und länger als bei mineralischen N-P-K-Düngern wirken. Das Düngen darf nicht bei stärkerem Regenwetter und stärkerem Wind erfolgen.

Danach wird der Boden bei mäßig feuchter Witterung durch leichte Geräte ein- bis zweimal, im Mittel bis 5 cm Tiefe *geeggt oder gefräst* und dadurch der Dünger leicht eingearbeitet. Jede tiefere Auflockerung ist unbedingt zu vermeiden.

Die Flächen sind bis zur Aussaat von Kräutern freizuhalten, die mit ihren Blättern die Grasnarbe unterdrücken und mit einzelnen starken Pfahlwurzeln tief in den Deichkörper eindringen. Eine chemische *Krautbekämpfung* darf grundsätzlich nur unter Einschaltung des örtlich zuständigen Pflanzenschutzamtes und mit anerkannten Krautbekämpfungsmitteln und auch nur punktuell erfolgen. Mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen (z. B. Ausstechen der Pflanzen mit Wurzel) sind in jedem Fall vorzuziehen.

Saatgutkennzeichnung und -kontrolle

Das Saatgut muss in Bezug auf Anerkennung, Zulassung, Kennzeichnung und Verschließung der Saatgutsäcke dem *Saatgutverkehrsgesetz* in der jeweils gültigen Fassung entsprechen. Wenn im Zusammenhang mit der Abnahme des Saatgutes bei der Etikettierung, Verplombung, Beschriftung und Herkunft der Saatgutsäcke auf die Einhaltung der gesetzlichen Regelungen geachtet wird, ist bereits eine hinreichende Sicherheit für die Qualität der Ware gegeben. *Saatguntersuchungen* ohne Vorankündigung sollten durch die örtliche Bauleitung veranlasst werden; eine entsprechende Vorgehensweise ist bei Verwendung von Beton, Stahl und Holz bekannt. Die Untersuchungen der Proben werden in einem *Hochschulinstitut* oder *staatlichen Saatguntersuchungsstellen* vorgenommen und sollen Aufschluss über Zusammensetzung der Grasmischung und die Keimfähigkeit der einzelnen Mischungspartner geben.

Ansaat

Die Vorarbeiten für die Grasansaat sollten so vorangetrieben werden, dass sofort nach Eintritt *geeigneter Witterung*, d. h. nicht zu nass, nicht zu trocken, wenig Wind und Bodentemperaturen von größer 8° C, mit der Ansaat – auch für Teilflächen – begonnen werden

[1] Rein *organische Naturdünger* ohne Schadstoffe (insb. Chrom) wirken spät, weil ihre Nährstoffe erst durch Bodenorganismen pflanzenverfügbar gemacht werden müssen. *Min. N-P-K-Dünger* wirken schnell, jedoch kurz.

kann. Die Ansaat sollte noch im September beendet sein, da später für die Lichtkeimer die Tageslänge zu kurz wird.

Für das Einbringen des Saatgutes wird ein *Walzenstreuer* verwendet, und die Flächen werden nach der Aussaat *leicht abgewalzt*. Flächen, die nicht mehr rechtzeitig fertiggestellt werden können, sollten je nach Gefährdung durch Wellenschlag, z. B. über den Winter, mit Jutebahnen gegen Oberflächenerosion gesichert und sofort nach Eintritt geeigneter Witterung im folgenden Frühjahr angesät werden. Sollten Ansaaten in Zeiten mit *starken Winden* notwendig werden, kann auch eine Drillmaschine verwandt werden, die parallel zur Längsachse des Deiches gefahren werden muss. Beim Drillen können jedoch langgestreckte Zwischenräume entstehen, die gern von Schafen als Trift benutzt werden. Die Zwischenräume können durch eine Nachsaat vermieden werden.

Fertigstellungspflege und Abnahme

Bis zur Abnahme sollte im Rahmen der *Fertigstellungspflege* der Aufwuchs auf Deichen und im Vorland zweimal mit einem leichten Balkenmäher geschnitten werden. Der erste Schnitt (Schröpfschnitt) vor der Beweidung erfolgt bei einer Grashöhe von 10–15 cm und regt die Gräser zur frühzeitigen Verzweigung an. Das beim Rasenschnitt anfallende Mähgut sollte innerhalb von 24 Stunden von der gemähten Fläche entfernt werden. Unzureichend aufgegangene Flächen müssen nachgesät, Erosionsrinnen mit bindigem Boden aufgefüllt und neu angesät oder mit Rasensoden bedeckt werden.

Nach dem ersten Schnitt erfolgt eine zweite Düngung (bzw. bei Ansaat nach dem 1. August im zeitigen Frühjahr bei offener Wetterlage) mit 50 g/m^2.

Kalkungen zur Beeinflussung des pH-Wertes sollten *nur unter Hinzuziehung von Fachleuten angeordnet* und bei niederschlagsreicher Witterung durchgeführt werden.

Die *Abnahme* sollte – unabhängig von den übrigen Bauleistungen – vor dem zweiten Schnitt durchgeführt werden, damit die Zusammensetzung der Grasnarbe beurteilt werden kann. In jedem Fall kann die Abnahme erst dann erfolgen, wenn eine geschlossene, dichte Grasnarbe vorhanden ist.

4.3.4.3 Entwicklungs- und Unterhaltungspflege

Nach der Abnahme im Anschluss an die Fertigstellungspflege setzt die *Entwicklungs- und Unterhaltungspflege* ein. Gemäß DIN 18919 (1990) soll der *voll funktionsfähige Zustand* der immer noch jungen Vegetationsdecke entwickelt und mit der Unterhaltungspflege *erhalten* werden.

Die *Entwicklungspflege* der jungen Pflanzen kann sich über mehrere Jahre hinziehen und beinhaltet im Wesentlichen aufgrund von Bodenanalysen und Gutachten von Fachleuten erforderliche zusätzliche Maßnahmen über das Maß der im Folgenden beschriebenen Leistungen der Unterhaltungspflege hinaus. Eine unzureichende Grasnarbe resultiert in erster Linie aus einer mangelhaften Pflege, deren Auswirkungen auf die Abnahme der Leistungsfähigkeit des lebenden Bauteils „Grasnarbe“ nicht sofort, sondern nur längerfristig erkennbar wird. Die unterhaltende Dienststelle macht aufgrund ihrer Erfahrungen am speziellen Standort den Umfang der Entwicklungspflege vom jeweiligen Zustand der Grasnarbe abhängig.

Folgende Maßnahmen werden an Deichen regelmäßig im Rahmen der *Unterhaltungspflege* durchgeführt:

- *Mähen* mit Spindel- oder Doppelmesserbalkenmäher 2 bis 3 Mal im Jahr mit Entfernung des Mähgutes. Es ist immer darauf zu achten, dass *nicht abgeweideter Aufwuchs abgemäht* und entfernt wird.
- Der Beginn der *Schafbeweidung* sollte abhängig gemacht werden vom Zustand der Grasnarbe, des Bodens, der Witterung und inwieweit genügend Aufwuchs als Futter zur Verfügung steht. Eine zu frühe Beweidung kann die Entwicklung einer geschlossenen Grasnarbe auch verzögern. Die kontinuierliche Schafbeweidung in der für das jeweilige Gebiet optimalen Intensität wird z. B. in der Freien und Hansestadt Hamburg (FHH) durch privatwirtschaftlich organisierte Schäfereibetriebe sichergestellt. Nähere Hinweise zur den Wechselwirkungen zwischen Schafbeweidung, Mahd und Entwicklung der Grasnarbe sind bei Jittler, 2001 erläutert.
- Treibsel und Laub müssen spätestens drei Tage nach höheren Wasserständen entfernt werden, sonst erstickt die Grasnarbe.
- Eine Düngung mit 30 g/m² nach Angabe von Fachleuten kann im Frühjahr erfolgen. Es wird empfohlen, den Nährstoffvorrat im Boden in regelmäßigen Abständen überprüfen zu lassen, denn auch zu viel Dünger kann die Grasnarbe schädigen (Überernährung, Schwächung der mechanischen Festigkeit, Verringerung der Wurzelentwicklung).
- Schädliche Kräuter sollten ausgestochen werden, falls durch Schnitt nichts erreicht wird.
- Moosflächen werden vertikultiert.
- Die Bekämpfung von Maulwürfen und Mäusen kann bei starkem Befall mit Gift und durch Verpressen der Wühlgänge mit verflüssigtem, bindigem Boden erfolgen. Um langfristig für einen natürlichen Ausgleich zu sorgen, sollten außerhalb des Deichgrundes die Wühlmausfeinde, z. B. Tag- und Nachtgreifvögel, Mauswiesel, u. a. gefördert werden. Als Biotope eignen sich Bäume, Schutzhecken, Knicks, usw. Als Sofortmaßnahme sollten bereits Sitzstangen für Greifvögel beim Bau des Deiches errichtet werden.
- Maßnahmen gegen *Erkrankungen von Gräsern* oder anthropogene Belastungen werden im Einzelfall mit Fachleuten des örtlich zuständigen Pflanzenschutzamtes abgestimmt.

4.3.5 Asphaltdeckschicht

4.3.5.1 Allgemeines

Als Baustoffe für Asphaltdeckschichten werden – je nach ihrer Lage im Deichquerschnitt – im Allgemeinen Asphaltbeton, Asphalteingussmassen sowohl zum Verguss von Steinschüttungen über und unter Wasser als auch für Vorlagematten, hohlraumreiche Bitumen-Mineralstoff-Gemische wie Mastixgestein und bindemittelarmer Bitumensand verwendet.

Diese Baustoffe kommen im Deichquerschnitt an den folgenden Stellen zum Einsatz:

- Asphaltbeton: als Deckschicht auf der Seeseite im Bereich ab etwas oberhalb MThw, auf Überschlagssicherungen (Abb. G 3 und G 8) und Bermen und auf der Deichkrone sowie auf der Rückseite bis herab zur Fußsicherung bzw. in der Ausrundung zu einem Deichverteidigungsweg (Abb. G 13). Eine Anwendung im Wasserwechselbereich empfiehlt sich wegen Algenbewuchs in der Wasserwechselzone, also im Tidebereich, und möglicher Mörtelverluste an der Oberfläche des Asphaltbetons durch Sandschliff und späterer damit verbundener Verluste auch gröberer Korngruppen nicht, wie bereits in den EAK 1993, Empfehlungen E 3.1.1.2, ausgeführt. Auch Dickenangaben finden sich dort und theoretische Berechnungsmöglichkeiten in den EAAW (DGGT, 1983/1996).

- Geschlossene Deckwerke mit Asphaltverguss wie Steinlagen mit Vollverguss, insbesondere im Bereich bis etwas oberhalb MThw, Asphalteingussdecken und Asphaltmatten als Vorlagen vor dem seeseitigen Deichfuß und als Erosionsschutz des Seebodens bei Deichschlüssen.
- Hohlraumreiche Bitumen-Mineralstoff-Gemische, insbesondere Mastixschotter (DGGT, 1983/1996) auf einer Filterschicht aus bindemittelarmem Bitumensand, als durchlässige Deckwerke in der Schrägen auf der Seeseite, wenn keine starke Wellenbeanspruchung zu erwarten ist, und als durchlässige horizontale Fußvorlage sowie auf der Deichrückseite als Überlaufsicherung.
- Offene Deckwerke aus Steinsatz oder Schüttsteinlagen mit Teilverguss.
- Magerer Bitumensand als gebundener Kornfilter (BAW, 1976) und als wirtschaftlicher Massenbaustoff zur Herstellung von Stützkörpern bei aufgespülten Deichkörpern und Molen, als Schüttmaterial unter Wasser in größeren Wassertiefen oder über Wasser und als Verfüllmaterial bei größeren Ausschlägen und Erosionskolken, wenn starke Wellenbeanspruchungen oder hohe Fließgeschwindigkeiten des Wassers zu erwarten sind.

Der Einsatz der Baustoffe für die Asphaltbauweisen erfolgt wie in den Empfehlungen E 3.1.1.2 bis 3.1.1.6 erörtert. Die Zusammensetzung der Gemische ist bereits in den Empfehlungen C 6 und die Herstellung und Bauausführung von Deckwerken in Asphaltbauweise in den Empfehlungen E 3.1.3 ausführlich beschrieben worden. Ergänzend dazu werden nachstehend weitere Angaben gemacht, die teilweise auch auf inzwischen gemachten Erfahrungen und Weiterentwicklungen beruhen.

4.3.5.2 Einbauen, Profilieren und Verdichten von Asphaltbetondeckwerken

Für Deckwerke aus Asphaltbeton ist der einlagige Einbau vorzuziehen (Empfehlungen E 3.1.3.1 und Abb. E 28 bis E 30). Das hat eine Reihe von Vorteilen:

- Wirtschaftliche Gemische mit viel Grobkorn und entsprechend geringerem Steinmehl-, Füller- und Bitumenbedarf.
- Durch die Verwendbarkeit von gröberem Korn steigert sich die Standfestigkeit des Gemisches in der Schrägen.
- Es gibt nur zwei Zonen verminderter Dichte, die an der Ober- und Unterseite jeder Einzellage infolge der Kontaktwirkung der Walzenbandagen auf der Oberseite und der Reibung des Asphaltmaterials an der Unterseite auf der darunterliegenden Lage entstehen.
- Insbesondere bei kalter Witterung oder Wind ist das Wärmehaltungsvermögen einer dicken Lage größer als das einer dünneren. Die Zeit, die zum Verdichten zur Verfügung steht, wird dadurch länger. Es ist damit leichter, die erforderliche Verdichtungsarbeit aufzubringen.
- Schäden durch mangelnde Verklebung mehrerer Lagen werden vermieden.
- Dichte oder hohlraumarme, gleichmäßig in ganzer Schichtdicke hergestellte Schichten verhindern den Eintritt von Wasser aus dem Deichkern auch von der Unterseite des Deckwerks, so dass sie mit der vollen Raumdichte, also ohne die vermindernde Wirkung bei Füllung von Poren mit Wasser, in die Dickenbemessung eingesetzt werden können.

Gelegentlich wurde früher zuerst eine Lage Magerbitumensand als Einbauhilfe für die Deckschicht, als Ausgleichsschicht oder als Walzunterlage eingebaut, doch wiegen die Mehrkosten eines damit zweilagigen Einbaus des Deckwerks den gedachten Vorteil nicht auf,

wenn die Schichtdicke des Asphaltbetons statt dessen um 1 bis 2 cm vergrößert wird. Der höherwertige Asphaltbeton ist durchaus in der Lage, Unregelmäßigkeiten in der Unterlage ohne Nachteil zu überbrücken.

Der einlagige Einbau beeinflusst auch das Einbauverfahren, das natürlich so weit wie möglich zu mechanisieren ist. Das Mischgut wird üblicherweise mit Baggerschaufel oder Grader befördert und verteilt. Die Feinprofilierung erfolgt im Allgemeinen von Hand mit Harken.

Auch ein Längseinbau mit Straßenfertigern (ggf. mit Ausfahrbohle) quer zur Falllinie ist nach den Empfehlungen E 3.1.3.1 möglich, die bei steileren Böschungen, etwa 1:4 geneigt, für die Schräglage entsprechend eingerichtet sein müssen. Nur auf sehr flachen Böschungen – etwa ab 1:6 – sind normale Straßenfertiger ohne besondere Einbauten einsetzbar. Der Längseinbau mit Brückenfertigern hat sich nicht weiter durchgesetzt, obwohl er in der Deichachse alle Bahnennähte bis auf die Tagesnähte vermeiden hilft – wohl, weil er wegen seiner Länge und auch seines Einsatzes bei stürmischem Wetter mit höheren Wasserständen zu unbeweglich ist. Die Ausbildung an Bermen und auf der Deichkrone ist in den Empfehlungen E 3.1.2.2 beschrieben worden (Abb. E 25 und E 26), die Nahtbehandlung in E 3.1.3.1 und Abb. E 32, ggf. mit Nahtverschweißung.

Zusätzlich zur Verringerung der Handarbeit sind für den Vertikaleinbau von Asphaltbetonschichten raupengeführte Fertiger entwickelt worden, wie in Abb. G 49a+b an Hand eines Beispiels gezeigt (JUNGHÄNEL, 1995).

Als Verdichtungsgerät werden leichte bis mittlere Rüttelwalzen und zusätzlich auf flachen Böschungen Gummiradwalzen eingesetzt, die vorwiegend mit eigener Kraft in der Falllinie und auch parallel zur Deichkrone fahren. Bei Böschungen steiler als 1:3 kann die Berg-

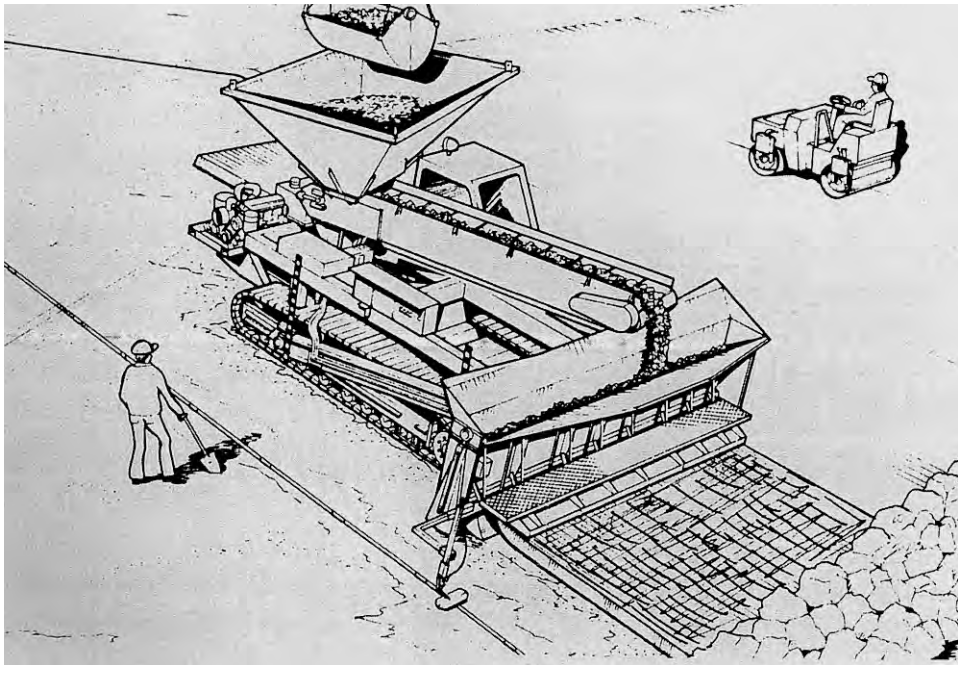


Abb. G 49a: Raupengeführter Vertikalfertiger für den Einbau von Asphaltbetondeckschichten (JUNGHÄNEL, 1995)



Abb. G 49b: Raupengeführter Vertikalfertiger im Einsatz (CUR, 1995)

und Talfahrt durch Winden auf der Deichkrone oder durch Einsatz von zwei durch Seil und Umlenkrollen verbundenen Walzen unterstützt werden. Die Führung des Seils erfolgt über einen Wagen auf der Deichkrone.

Arbeits- und Tagesnähte von Asphaltbetonschichten sind nach den Empfehlungen E 3.1.3.2 (Nahtausbildungen nach Abb. E 31 bis E 34) auszuführen. Das gilt auch für die Ausbildung der Längsnaht beim Horizontaleinbau mit Fertiger (Abb. E 35), die ggf. sogar zu verschweißen ist. Auch der Einbau von Asphaltdeckschichten auf einer Berme und auf der Deichkrone ist dort in E 3.1.2.2 und Abb. E 25 und E 26 bereits beschrieben worden. Gehen Nähte trotzdem einmal auf, so sind sie durch Ausfräsen des Nahtbereiches in ausreichender Dicke mit abgestuften Kanten und Wiederverfüllen durch Asphaltbetonmischgut nach den Empfehlungen E 3.1.4.1 und Abb. E 42 und E 43 zu schließen. Bei geringerer Rissbreite können sie auch mit Bitumenbahnen abgeklebt werden, doch ist dann durch weiteres Abkleben der Bahnenränder mit Glasgitterstreifen und Anstreichen mit einem geeigneten Material auf Bitumenbasis das spätere Aufbördeln der Bahnenränder unbedingt zu verhindern (SCHÖNIAN, 1999).

Für die Ausbildung von Anschlussfugen an starre Baukörper (Empfehlungen E 3.1.2.4) enthalten die EAAW (DGGT, 1983/1996) eine Reihe von Beispielen, die eine sorgfältige handwerkliche Ausführung verlangen und deren Verhalten regelmäßig zu überwachen ist.

4.3.5.3 Oberflächenversiegelung von Asphaltbetondeckwerken

Asphaltbetondeckwerke sollten als Schutz gegen Verwitterung und damit Alterung im oberen Zentimeter des Asphaltbetons an der Oberfläche im Allgemeinen mit einer Oberflächenversiegelung abgedeckt werden. Geeignet ist eine sofortige Versiegelung des frischen, sauberen und trockenen Asphaltbetons mit bitumenreichem Asphaltmastix nach den EAAW (DGGT, 1983/1996) im Heißauftrag, das mit einem Verteilergerät mit Gummilippe in zwei Lagen von je 1,5 bis 2 mm Dicke aufzubringen ist. Grundlage der Versiegelung sollte jedoch immer eine gut verdichtete und geschlossene Oberfläche des Asphaltbetons sein, die keine Feuchtigkeit länger zurückhält – also mit einem Feinmastixspiegel. Ein zweilagiger Auftrag ist dann besonders zu empfehlen, wenn ein älteres, bereits abgewittertes Deckwerk nachträglich versiegelt werden soll. Durch den Auftrag der ersten Lage der heißen Masse verdampft dann die in der Oberfläche des Asphaltbetons möglicherweise zurückgehaltene Feuchtigkeit, während die zweite Lage die feinen Austrittslöcher des Dampfes dann verschließt. Somit wird eine Bildung von feinen Bläschen in der Versiegelung verhindert.

Möglich ist, besonders bei großen Flächen aus ökonomischen Gründen, auch der Auftrag einer Oberflächenbehandlung durch Bitumentankwagen mit Spritzrampe und Absplitten mit Verteilergeräten, wie sie aus dem Straßenbau bekannt ist. Sie ist je nach Zustand der Oberflächenbehandlung im Rahmen der üblichen Unterhaltungsmaßnahmen von Zeit zu Zeit zu erneuern.

Oberflächenversiegelungen können auch zur Aufhellungen der Oberfläche von Asphaltbetondeckwerken genutzt werden – entweder, um die Oberfläche umweltfreundlicher zu gestalten, oder um in Seebädern die Temperaturen für barfuß gehende Sommergäste zu ermäßigen. Für Letztere sind besonders die fußfreundlichen Oberflächenversiegelungen mit hochstabilisierten Bitumenemulsionen (Schönian, 1999) geeignet, die mit hohem Druck auch auf feuchter Unterlage gespritzt werden können und gleichzeitig feine Klüfte und Risse in der Oberfläche schließen. Das Emulsionswasser soll dabei vor dem nächsten Regen oder vor dem Überspülen durch Wellen der nächsten Tide voll verdunstet, die Versiegelung also ausgetrocknet sein. Für den Fall, dass gelegentlich trotz der vorher ausgesprochenen Empfehlung ein Asphaltbetondeckwerk doch unterhalb von MThw eingesetzt werden sollte, so sind in diesem Bereich, also in der Wasserwechselzone, Versiegelungen mit Bitumenemulsionen wenig sinnvoll, da sie insbesondere gegenüber dem Sandschliff keinen ausreichenden mechanischen Widerstand aufweisen.

4.3.5.4 Ausführung von Vergussbauweisen

Die Ausführung von teilweisem oder vollem Asphaltverguss, von Asphalteingussdecken, Mastixgestein und Bitumengestein sowie der Unterwassereinbau von Asphaltgemischen ist bereits in den Empfehlungen E 3.1.1.3 bis 3.1.3.7 beschrieben worden, desgleichen deren Unterhaltung und Instandsetzung in E 3.1.4.1 bis 3.1.4.3.

Aus den Gussasphaltkochern oder sonstigen Transportbehältern auf LKW, möglichst mit Rührwerk, lässt man den Asphaltmastix von Hand mit Eimern (Abb. E 38) über Schütt-

rinnen (Abb. E 37) oder Rohre in die Setz- oder Schüttsteinlagen fließen. Am wirtschaftlichsten ist das gezielte mechanische Einbringen durch Mastixpumpen mit über steuerbare Galgen geführten beheizten, hitzebeständigen Schläuchen (Abb. E 36). Die Masse fließt unter Eigengewicht in die Hohlräume und lässt dabei einen großen Teil der Feuchtigkeit auf der Gesteinsoberfläche verdampfen, ohne voll mit der Oberfläche zu verkleben. Eine volle Verklebung ist auch nicht nötig, da nur eine Füllung der Hohlräume und eine Verklammerung der Steine untereinander erforderlich sind. Die Form der Hohlräume muss eine ausreichende Verklammerung allerdings ermöglichen, da sonst die Sogwirkung der Wellen in der Wasserwechselzone oder ein Wasserdruck von hinten Teile des Vergussmaterials herauslösen kann. Auf stärker geneigten Flächen kann ein übermäßiges Durchfließen der Steinlage oder Abfließen in der Falllinie durch Zugabe von Splitt oder Kies in den Asphaltmastix oder beim Einfließen in die Steinschüttung durch Aufstreuen von Hand mit der Schaufel verhindert werden. Sind die Hohlräume der Steinschüttung sehr groß oder unregelmäßig, so kann es, besonders auf steilen Böschungen, zweckmäßig sein, für einen ausreichenden Verguss zuerst eine niedriger viskose Masse und in einem zweiten Arbeitsgang eine höher viskose Masse einzugießen.

Soll ein Steindeckwerk extrem durchlässig sein, so empfiehlt es sich, dieses auf eine Trag- und Filterschicht aus magerem Bitumensand zu verlegen. Aber auch hier muss eine ausreichende Vergussmenge eine dauerhafte und damit alterungsbeständige Verklammerung gewährleisten.

Für einen Unterwasserverguss von Asphaltmastix, z. B zum Festlegen von Rohrleitungen oder Rohrbündeln – oder die nachträgliche Festlegung von Schüttsteinlagen – werden Transportbehälter mit verschließbarer Bodenklappe verwendet, die gut isoliert sein müssen oder sogar beheizbar sind. Im Allgemeinen benötigt man dazu Pontons, auf denen eine Mischanlage für die Herstellung des Mischgutes steht, und eine mechanische Steuereinrichtung für ein gezieltes Vergießen der vorgesehenen Flächengewichte vor Ort. Die Mischanlagen können auch durch angelieferte Halbprodukte versorgt werden, bei denen ein rieselfähiges und damit transport- und lagerfähiges Gemisch aus Mineralstoffen und einer geringeren Menge Bitumen in einem zweiten Arbeitsgang durch weitere Zugabe von Bitumen zum Endprodukt gemischt wird (Roos u. Tukker, 1982).

4.3.5.5 Mastix-Verguss zur Unterhaltung von Deckwerken

Werden Vergussmassen benutzt, um größere Ausschläge an der Oberfläche von Asphaltbetondeckwerken oder Absackungen infolge Sandaustritt durch Risse oder offene Fugen zu füllen, so ist besonders darauf zu achten, dass die Unterlage zur Erzielung einer guten Haftung sauber und trocken ist, da die Vergussmassen sich sonst durch mechanische Beanspruchung von dieser wieder lösen können. Empfehlenswert ist es, die gereinigte Unterlage zusätzlich vorsichtig mit offener Flamme oder durch schonende Infrarot-Aufheizung zu erwärmen, so dass eine wirkliche Verklebung der Unterlage mit der Auftragsmasse stattfindet. Auch das Aufsprühen eines Haftklebers ist möglich.

Auch der nachträgliche Verguss von Steinpackungen (Setzsteinlagen), deren Steine durch Kornverluste oder schlechte Setztechnik später zu wackeln anfangen, ist möglich und verlängert die Lebensdauer beträchtlich. Der Verguss kann von Hand mit Eimern, über Rinnen oder – am wirtschaftlichsten – durch Mastixpumpen erfolgen.

4.3.5.6 Eingussdecke

Die bis in die 60er Jahre an Nord- und Ostsee regelmäßig ausgeführten ein- bis dreilagigen Asphalteingussdecken nach den Empfehlungen E 3.1.1.4 benötigten früher einen umfangreichen Handeinbau, der sie heute als eine unwirtschaftliche Bauweise abstempeln würde. Durch ihre flexiblen Eigenschaften gegenüber nachträglichen Setzungen des Deichkörpers und ihre Dauerhaftigkeit auch nach sehr langer Liegezeit ohne jegliche Unterhaltungskosten, insbesondere durch die Beständigkeit ihrer Oberfläche gegenüber allen Witterungseinflüssen, wird dieser Nachteil jedoch wieder aufgehoben (Abb. E 22: Dreilagige Asphalteingussdecke bei St. Peter-Ording nach 30 Jahren Liegezeit). Mit Hilfe moderner Geräte, wie Hydraulikbagger und Turmkräne, kann der Einbau der Schüttsteinlagen zudem wirtschaftlicher gestaltet werden. Besonders aber wird das Einbringen der benötigten Eingussmassen durch Mastixpumpen erleichtert, die durch Ausleger mit großen Reichweiten einen sehr beweglichen und gezielten Verguss gestatten, wenn die Austrittsöffnung des Schlauches von erfahrenem Personal ausreichend nahe zum Vergussbereich geführt wird, um Fehlstellen oder ggf. Überfüllungen zu vermeiden (Abb. E 36).

4.3.5.7 Offene Deckwerke aus Mastixgestein

Offene Deckwerke aus einem Mastixgestein sind sowohl für Seedeiche als auch für Tidestromdeiche geeignet. Sie bestehen i. a. aus einem Mastixschotter (s. Empf. E 3.1.3.5), der auch offener Steinasphalt genannt wird und haben eine sehr hohe Durchlässigkeit, die einerseits den Aufbau eines Wasserüberdrucks hinter dem Deckwerk sicher verhindert, andererseits durch die raue Struktur der Oberfläche auch den Wellenauflauf verringert. Als Unterlage dient entweder eine gebundene Filterschicht aus magerem, heiß eingebautem Bitumensand (BAW, 1976, TAW, 1987 und Empf. E 2.3.3) oder einem Filtervlies. Die Filterschicht aus Bitumensand wird nur leicht verdichtet.

Deckwerke aus Mastixschotter können durch Verfüllen der Hohlräume mit Erde und Ansaat auch begrünt oder auch einfach durchwachsen werden, ohne ihre Widerstandskraft bei Belastung zu verlieren. Damit liefern sie ein umweltfreundliches Deckwerk, das sich gut mit grünen Kleideckwerken verträgt. Sie sind geeignet als widerstandsfähiges Fußdeckwerk im Tidebereich (Abb. G 50, siehe volles Deichprofil in Abschn. G 6, Beispiel 11, Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog).

Ebenso kann ein Mastixschotterdeckwerk zur ungefährlichen Aufnahme von Sandflug eingesetzt werden, wenn dieser zu Problemen bei der Unterhaltung der Grasnarbe von Kleideckwerken durch im Vorland vorgelagerte Sanddünen führt. Im Rahmen der Deichverstärkung Tümlauer Koog (Westabschnitt) bis Ording Nackhörn erhielt deshalb die seeseitige Deichböschung von Stat. 1+650 bis Stat. 2+660 von der Überschlagsicherung in Asphaltbauweise bis oberhalb des Bemessungshochwasserstandes auf NN + 5,30 m (Abb. G 51a) und von Stat. 2+660 bis Stat. 2+860 sogar über das gesamte Deichprofil (Abb. G 36) bis zum Fuß der Binnenböschung ein Mastixschotterdeckwerk (Abb. G 51b+c).

Damit die gewünschte Dauerfestigkeit erreicht wird, ist beim Herstellen des Mischgutes in der Mischanlage – in einem Zweiphasen-Mischvorgang (s. Empf. E 3.1.3.5) – bei der Zwischenlagerung an der Mischanlage, auf dem Transport zur Einbaustelle, einer dortigen Zwischenlagerung und beim Verteilen und Profilieren des Mischgutes darauf zu achten, dass der das Gestein umhüllende Mastixfilm in der gewünschten Dicke erhalten bleibt, somit einer-

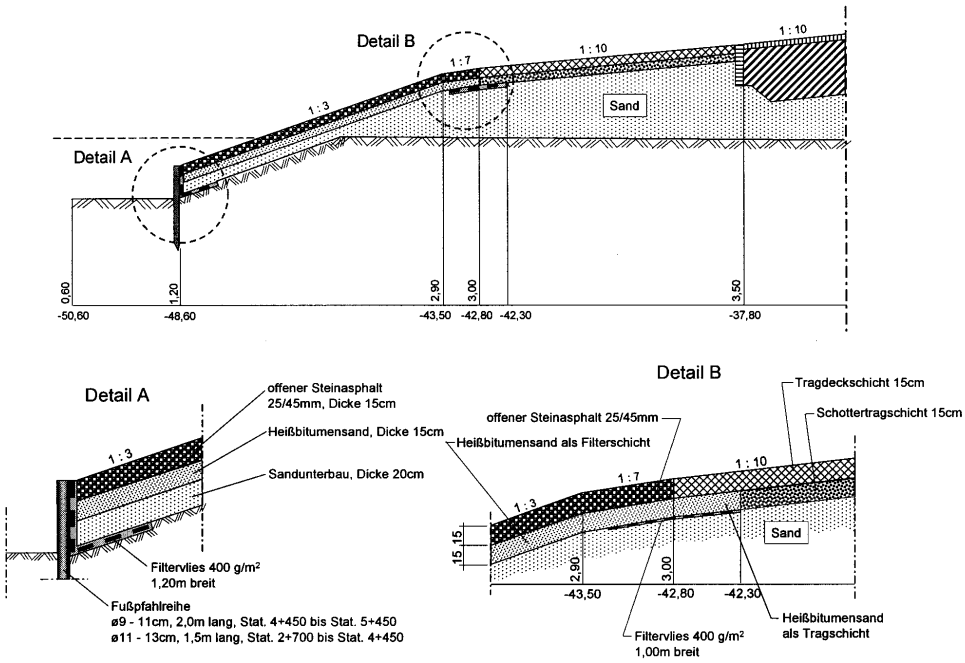


Abb. G 50a: Deichverstärkung Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog hinter Vorland: Fußdeckwerk 2001/2002 aus 15 cm Mastixschotter auf 15 cm Bitumensand-Filter bis zur Überschlagssicherung



Abb. G 50b+c: Deichverstärkung Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog hinter Vorland 2001/2002: Einbau von Mastixschotter als Fußdeckwerk auf Bitumensand-Filter bis zur Überschlagssicherung

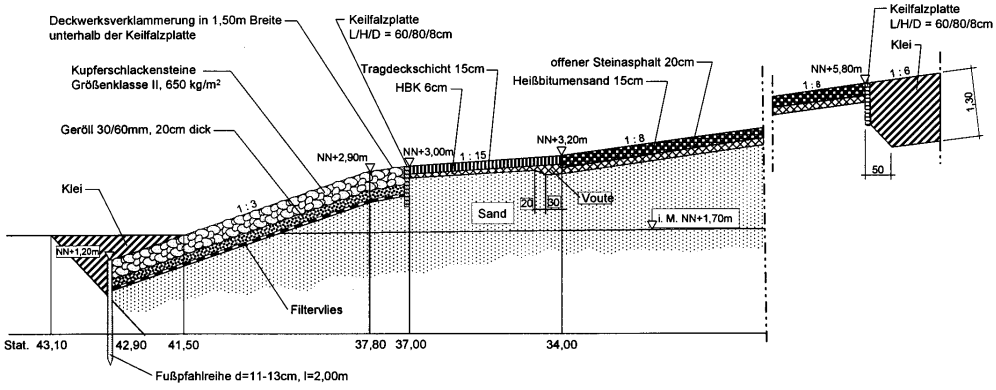


Abb. G 51a: Deichverstärkung Tümlauer Koog 1994/95: Deckwerk auf der Außenböschung auf 20 cm offenem Steinasphalt (Mastixschotter) auf 15 cm Bitumensand-Filter



Abb. G 51b: Deichverstärkung Tümlauer Koog 1994/95 (Westabschnitt), Stat. 2+660 bis Stat. 2+860: Deckwerk aus 20 cm Mastixschotter auf der Außenböschung bis zur Dammkrone – wasserdurchlässig und begrünt

seits nicht abläuft und andererseits beim Verteilvorgang nicht übermäßig zwischen den einzelnen, sich berührenden Gesteinkörnern weggedrückt wird.

Langzeiterfahrungen haben gezeigt, dass es zweckmäßig sein kann, den Bitumen-Feinstoff-Film zur Umhüllung der Gesteinskörner durch Zusätze von temperaturbeständigen Faserstoffen zu versteifen, um auf lange Dauer eine Ablösung des Bindemittelfilms zu unterbinden und besonders für nicht begrünte und damit voll der Witterung ausgesetzte Deckwerke die Lebensdauer des Deckwerks zu erhöhen.



Abb. G 51c: Deichverstärkung Tümlauer Koog 1994/95 (Westabschnitt), Stat. 2+660 bis Stat. 2+860: Deckwerk aus 20 cm Mastixschotter auf der Außenböschung bis zur Dammkrone und 15 cm bis zum Fuß der Binnenböschung über das gesamte Deichprofil – wasserdurchlässig und begrünt

Für eine Zwischenlagerung an der Einbaustelle ist ein offener Container vorzuhalten, aus dem die Schaufel des verteilenden Baggers das Mischgut entnehmen kann (Abb. G 52). Die Schicht aus Mastixgestein darf nicht verdichtet, sondern höchstens im Verteilvorgang mit der leeren Baggerschaufel leicht angedrückt werden (Abb. G 53). Der Einbau mit Fertigern, die eine Vorverdichtung durch die Verteilerbohle erzielen, verbietet sich deshalb.

4.3.5.8 Matten

Dichte Matten aus Asphaltmastix oder Steinlagen, vergossen/gefüllt mit Asphaltmastix, als horizontale Vorlage von Fußausbildungen wurden ebenfalls in den Empfehlungen E gezeigt (Abb. E 19 bis E 21 und E 24 [g + h]). Sie werden als reine Mastixmatten nach holländischen Erfahrungen nicht bewehrt (Abb. G 54) und im Allgemeinen vor Ort hergestellt.

Sollen durchlässige Matten auf Böschungen, die bis weit unter MThw reichen, verlegt werden oder aber zur Sicherung der Sohle bei Deichschlüssen oder als Kolkschutz in größeren Wassertiefen dienen, so sind dazu entsprechende Einbaugeräte vorzuhalten oder zu entwickeln, wie sie zum Beispiel in den holländischen Ausführungen der vergangenen Jahrzehnten im Rahmen des Delta-Plans eingesetzt wurden (TAW, 1985). Die Matten aus Mastixgestein erhalten dann neben der tragenden Unterlage aus Kunststoffgewebe eine Bewehrung aus Stahlseilen für ihren Transport und das Verlegen mit Hydraulik-Bagger. Sie können auf der Baustelle hergestellt und verlegt oder aber im Profil vor Ort hergestellt werden (Abb. G 55 (a + b).



Abb. G 52: Container zur Zwischenlagerung von Mastixgestein an der Einbaustelle (Bitumarin, 1990)



Abb. G 53: Verlegen von Mastixgestein mit dem Hydraulikbagger, leichtes Andrücken mit der leeren Schaufel



Abb. G 54: Unbewehrte dichte Asphaltmastixmatten-Vorlage als Schutz gegen Unterspülung



Abb. G 55a: Deich im Tidebereich des Elbe-Ästuars bei Glückstadt mit höherem Vorland, deshalb mit einem wasserseitigen Entwässerungsgraben mit einem erosionsfesten offenen Deckwerk aus Mastixgestein auf geotextilem Filter zur schnelleren Wasserabführung



Abb. G 55b: Deich im Tidebereich des Elbe-Ästuars mit höherem Vorland bei Glückstadt, wasserseitiger Entwässerungsgraben zur schnelleren Wasserabführung: Begrüntes offenes Deckwerk aus Mastixgestein

4.3.6 Betondeckschichten

4.3.6.1 Allgemeines

In den Empfehlungen E „Deckwerke und andere Längswerke“ werden bereits zahlreiche wichtige, die Bauausführung von Deckwerken betreffende Maßnahmen angesprochen. In Abschn. E 2.5 „Fußausbildung von Deckwerken“ sind neben den Entwurfskriterien und Anforderungen an die Standsicherheit Bauausführungen in Text, Systemskizzen und Fotos dargestellt. Bewährte Betonbauweisen für offene und geschlossene Deckwerke sind im Abschn. E 2.4.1 (Tab. E 1) aufgeführt; in Abschn. 3.2 „Deckwerke in Betonbauweise“ wird auf die Bauausführung eingegangen: auf Betonsteinpflaster und deren Verlegung (E 3.2.1.2), auf konstruktive Einzelheiten (E 3.2.2) und im Besonderen auf die Bauausführung von verklammerten Steinschüttungen (E 3.2.3). Auf diese Abschnitte wird verwiesen.

Vor dem Hintergrund, dass im Zusammenhang mit den neuen Europäischen Regelwerken praktisch alle Normen, die sich mit zementgebundenen Baustoffen befassen, mit völlig neuen Kriterien, Anforderungen und Festlegungen erschienen sind, war es sinnvoll, Abschn. E 3.2.2.2 „Verklammerung und Vollverguss von Deckwerken“ und Abschn. E 3.2.3 „Bauausführung von Deckwerken in Betonbauweise“ zu überarbeiten, den neuen Regelwerken anzupassen und in die Empfehlungen G aufzunehmen.

Das Gleiche gilt für Abschn. E 3.2.2.1 „Bermen-, Kronen- und Fußausbildung von Deckwerken in Betonsteinpflaster“ hinsichtlich der derzeit gültigen Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen (ZTV) des BMV bzw. BMVBW, die zukünftig in der ZTV ING zusammengefasst werden.

4.3.6.2 Fußausbildung von Betonsteindeckwerken

Wird das Betonsteindeckwerk durch eine Spundwand gestützt, so ist zwischen Spundwandkopf und der ersten Pflasterreihe ein an den Spundsohlen verankerter Holm aus Beton oder Faserbeton (Größtkorn 8 mm) oder aus zementgebundenem Vergussmörtel (nach EVU 1990) herzustellen. Dabei dienen Spundwand und die erste Pflasterreihe als Schalung, um einen „fugenlosen" Übergang zu erreichen.

Wenn zur Sicherung des Bereichs vor der Spundwand bzw. Pfahlreihe eine horizontale flexible Fußvorlage z. B. nach Empfehlung E, Abb. E 16 d oder 16 f angeordnet wird, so ist die Matte an der Spundwand über Ösen bzw. an der Pfahlreihe mit Schlaufen auf Dauer zugfest zu verankern. Bei Verwendung von Betonmatten sind nur solche einzusetzen, die sich möglichen Randkolken flexibel anpassen.

4.3.6.3 Teilvergossenes Schüttsteindeckwerk als Sicherung der Außenböschung

Deichböschungen werden häufig durch Schüttungen aus Wasserbausteinen (Größenklasse I bis III) geschützt, die zur Erhöhung der Lagestabilität und Verringerung des Unterhaltungsaufwandes „verklammert" werden. Darunter versteht man die „punktweise" zug- und druckfeste Verbindung der Wasserbausteine über die gesamte Dicke des Deckwerks. Dadurch werden die Einzelsteine zu größeren und damit schwereren Konglomeraten verbunden, die ein offenes Deckwerk mit höherer Standsicherheit gewährleisten, das gleichzeitig durch ein günstiges (einstellbares) Bruchverhalten nicht oder nur begrenzt als starre Konstruktion wirkt.

Der für die Verklammerung vorgesehene Zementmörtel ist hinsichtlich des Größtkorns auf die zu verklammernde Steinschüttung abzustimmen. Als Faustregel gilt, dass das Größtkorn des Vergussmörtels höchstens 1/20 des kleinsten für die Größenklasse maßgebenden Steinmaßes betragen darf. Das heißt, für die Größenklassen der Schüttsteine 0, I, II und III gilt ein Größtkorn von 2, 4 bzw. 8 mm.

Zementmörtel- und Betonarten

Die Ausgangsstoffe für den Vergussmörtel müssen den Baustoffnormen entsprechen und der Güteüberwachung unterliegen. Im Unterwasser- und Wasserwechselbereich muss der Vergussmörtel einen hohen Widerstand gegen Frost aufweisen. Dazu ist ein Beton bzw. Mörtel der Betonfestigkeitsklasse ≥ C 20/25 und ein Wasserzementwert von w/z ≤ 0,60 als Grenzwert (Zielwert der Mörtelzusammensetzung 0,55) erforderlich. Die Anforderungen an die Eigenschaften des Frisch- und Festmörtels richten sich nach den Einbaubereichen (EVU 1990).

Stets zu erfüllende Eigenschaften sind:

- gute Fließfähigkeit bei gutem inneren Zusammenhalt (geringe Entmischungsneigung),
- gute Haftung an den Oberflächen von Wasserbausteinen und Stahl (Spundwänden) sowie anderen Baustoffen und
- Erreichen der vorgegebenen Mörteldruckfestigkeit (DIN EN 206-1, DIN1045-2).

Besondere Eigenschaften sind:

- im frischen Zustand großer Widerstand gegen Erosion durch Strömung, Wellen und Niederschläge,

– Wasserundurchlässigkeit nach DIN EN 12390-8,
– Wasserdurchlässigkeit (k-Wert) bei geforderter hydraulischer Filterfähigkeit,
– großer Widerstand gegen Frost nach DIN EN 206-1 und
– Verschleißbeanspruchung nach DIN EN 206-1, z. B. bei Sandschliff, Geschiebetrieb u. dgl..

Die o. g. Forderungen nach besonderen Eigenschaften des Vergussmörtels sind abhängig von den Einbaubereichen „Ständige Unterwasserzone", „Wasserwechselzone" und „Ständige Überwasserzone".

Die Wasserwechselzone umfasst den Bereich des Tidehubs und des Wellenauflaufs. Für den Unterwasserbereich und die Wasserwechselzone sind vereinfachend zwei Typen (Arten) Vergussmörtel zu unterscheiden:

Typ A – Dichter Vergussmörtel mit spezieller Aufbereitung: In sog. Kolloidalmühlen durch Hochgeschwindigkeits-Scheraktion (2200 bis 2500 U/min., Mischzeit mindestens eine Minute) aufbereiteter Zementmörtel.

Typ B – Dichter Vergussmörtel mit Betonzusätzen: In Betonmischer aufbereiteter Zementmörtel, der nach Zugabe eines oder mehrerer Zusatzmittel und Zusatzstoffe die geforderten Eigenschaften erreicht.

In der ständigen Überwasserzone kann ein dichter Vergussmörtel der Druckfestigkeit ≥ C 25/30 eingesetzt werden, der beim Einbau eine fließfähige Konsistenz aufweisen muss. Als Richtwerte für den Zementgehalt von Vergussmörtel gelten die in Tab. G 10 in Abhängigkeit von Anwendungsbereich und Vergussmörtelart genannten Mengen.

Tab. G 10: Richtwerte für Zementgehalt des Vergussmörtels in kg/m^3 (EVU 1990)

Anwendungsbereich	Typ A	Typ B
Ständige Unterwasserzone	550	350
Wasserwechselzone	550	450
Ständige Überwasserzone	500	400

Mit den angegebenen Zementgehalten werden in der Regel die Festigkeitsklassen C 20/25 bis C 30/37 erreicht. Bei besonderen Anforderungen, wie z. B. Sandschliff, ist mindestens die Festigkeitsklasse C 30/37 einzuhalten (EVU 1990).

Zementmörtelbedarf und Qualitätssicherung

Der Mörtelbedarf bei der Verklammerung wird beeinflusst durch die Dicke der Deckschicht, die Größenklasse, Abstufung und Lagerungsdichte der Wasserbausteine, die Einbauart des Vergussmörtels (von Hand oder maschinell) und die Ebenheit der Steinschüttung. Für unterschiedliche Beanspruchungen und Deckwerksdicken (d) enthält Tab. G 11 Richtwerte für den Mörtelbedarf beim Einbau mit einer Toleranz von ± 10 %.

Die in der Tab. G 11 angegebenen Richtwerte können darüber hinaus besonderen Erfordernissen angepasst werden:

– Bei Einbau unter Wasser von Hand durch Taucher sind die Vergussmengen um 10 bis 20 % zu vergrößern.
– Im Wasserwechselbereich empfiehlt es sich, bei starker Strömung oder Wellenwirkung die Vergussmassen um 10 bis 20 % zu vergrößern.

Tab. G 11: Richtwerte des Mörtelbedarfs für Verklammerung in l/m² in Abhängigkeit von den Einbaubedingungen (EVU 1990)

	über Wasser[1]		Wasserwechselzone und unter Wasser		über Wasser[1]	Wasserwechselzone und unter Wasser
Deckwerksdicke	d = 40 cm		d = 40 cm		d = 60 cm	d = 60 cm
Steinklasse	Kl. II	Kl. III	Kl. II	Kl. III	K. III	Kl. III
Verklammerungstiefe	20–30 cm	25–35 cm	30–40 cm	30–40 cm	45–55 cm	45–55 cm
Gruppe I[2]: geringe Beanspruchung, z. B. Wellenhöhe ≤ 0,75 m	45	55	50	75	80	110
Gruppe II[3]: größere Beanspruchung, z. B. Wellenhöhe ≥ 0,75 m	65	80	75	90	110	130

1 Einbau im Trockenen (oberhalb der Wasserwechselzone)
2 Gruppe I: Gering beanspruchte Sohlen- und Böschungssicherungen
3 Gruppe II: Böschungs- und Sohlensicherungen mit größerer Beanspruchung, wie z. B. bei Seebuhnen, Leitdämmen, Sielen, Sperrwerken, Seeschleusen und schweren Deckwerken

Die Durchlässigkeit der Deckschicht muss auch nach der Verklammerung gegeben sein, was bei einem Hohlraumgehalt von mindestens 10 % je 5 cm Deckschichthöhe gewährleistet ist. Im Mittel sollten über die gesamte Höhe der Deckschicht 20 % Hohlraum verbleiben.

Der Hohlraumanteil einer Steinschüttung aus Wasserbausteinen liegt im Allgemeinen zwischen 35 % und 55 %. Er kann geringer als diese Werte sein, wenn die Steinschüttung durch maschinelles Andrücken oder manuelles Auszwicken nachgearbeitet wird. Bei Vollverguss ist die Vergussmenge so zu wählen, dass die Hohlräume des zu vergießenden Steingerüstes voll ausgefüllt werden. Ist eine große Rauigkeit der Deckschicht erwünscht, so sind die Deckschichtdicke und die Einbaudicke des Vergussstoffes so aufeinander abzustimmen, dass die Steine an der Oberfläche der Deckschicht je nach der erwünschten Rauigkeit mehr oder weniger weit aus dem Verguss herausragen.

4.3.6.4 Hinweise zur Bauausführung des teilvergossenen Schüttsteindeckwerks

Bei den Einbauverfahren wird unterschieden zwischen dem Überwasser-, Unterwasser- und Wasserwechselbereich. Der Einbau über Wasser ist von Hand oder maschinell möglich, indem der Vergussmörtel mittels eines Einbaugeräts gleichmäßig im Deckwerk verteilt wird. Bei Einbau von Hand und bei maschinellem Einbau wird die eingebrachte Mörtelmenge nach den Lieferscheinen der Ausgangsstoffe oder des Vergussmörtels und der Einbaufläche überwacht. Bei maschinellem Einbau wird der Arbeitsfortschritt des Einbaugerätes durch die geförderte Vergussmörtelmenge gesteuert.

Der für den Einbau unter Wasser verwendete Vergussmörtel muss einen großen Widerstand gegen Erosion aufweisen. Bei Wassertiefen über 1 m werden die Vergussarbeiten i. d. R. maschinell ausgeführt, in Ausnahmefällen von Hand durch Taucher (z. B. bei kleinen Vergussflächen). Die Einbaumenge ist über die Menge des Vergussmörtels und die Fläche zu

ermitteln. Der maschinelle Einbau erfolgt mit einem Verteilerwagen, der über das Deckwerk läuft und den Vergussmörtel durch gesteuerte Schlauchbewegungen gleichmäßig verteilt. Die Fortbewegung des Einbaugerätes wird dabei ebenfalls elektronisch über die Förderleistung gesteuert.

Der beim Einbau im Wasserwechselbereich verwendete Vergussmörtel muss wie im Unterwasserbereich einen großen Widerstand gegen Erosion haben. Da in diesem Bereich mit Einbauverlusten durch Strömung und Wellenwirkung zu rechnen ist, sollte von Hand und mit Sichtkontrolle eingebaut werden.

Die Prüfungen zur Qualitätssicherung der Ausgangsstoffe, des Frischmörtels und des erhärteten Mörtels – Verklammerung oder Vollverguss – sind in der Tab. G 12 zusammengestellt.

Die Verklammerungsarbeiten sind grundsätzlich nach den Empfehlungen des Arbeitskreises „Verklammerung und Vollverguss von Uferschutzwerken und Sohlensicherungen“ (EVU 1990) auszuführen. Das Verklammerungsverfahren muss für die Verklammerung und den Verguss von Schüttsteindeckwerken mit dichtem Vergussmörtel über und unter Wasser bei der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, geprüft und zugelassen sein. Außerdem sind das Merkblatt – „Anwendung von hydraulisch- und bitumengebundenen Stoffen zum Verguss von Wasserbausteinen an Wasserstraßen“ (MAV) – und die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen – Wasserbau für Böschungs- und Sohlensicherungen“ (ZTV-W) – einzuhalten. Vor dem Einbau des Verklammerungsmörtels ist die Steinschüttung auf ihre Lage und Einbaudicke zu überprüfen. Bei teilvergossenen wie vollvergossenen Deckschichten sind Filter bzw. Trennschichten nach BAW-Regelwerk zu dimensionieren.

Im Bereich der Deckwerksverklammerung und des Vollvergusses bei Bauwerksanschlüssen müssen die Wasserbausteine eine saubere Oberfläche besitzen, um die erwünschte Verbundfestigkeit mit dem Vergussstoff erreichen zu können. Verschmutzte Wasserbausteine dürfen nicht eingebaut werden. Falls die Wasserbausteine verschmutzt angeliefert oder durch Zwischenlagerungen verunreinigt werden, ist die Steinoberfläche zu säubern.

Die Verklammerungs- und Vergussarbeiten müssen sobald wie möglich nach dem Einbau der Wasserbausteine durchgeführt werden. Bei Verschlammungsgefahr sind bei größeren Deckwerksflächen Steinschüttung und Verklammerung Zug um Zug (in Teilflächen) auszuführen, am besten innerhalb einer Arbeitsschicht. Falls bis zum Zeitpunkt der Verklammerung Schlammablagerungen im Steingerüst eingetreten sind, müssen Wasserbausteine und die Hohlräume von Sand und Schlickeintreibungen freigespült werden. Bestehen Zweifel an der Qualität des Reinigungsgrades, so ist die Verbundfestigkeit zu prüfen.

Die Verklammerungsfläche muss fachgerecht erstellt, durchlässig und von gleichmäßiger Struktur sein. Es soll ein flächenhafter Verbund durch den Verguss der Fugen in der Steinpacklage (ohne Bildung von Würsten oder Mörtelhaufen auf den Steinen) erreicht werden. Um diese Anforderung bei der Ausführung zu gewährleisten, sind Einbauschläuche mit geeigneten Austrittsöffnungen und Fördergeräte mit regelbarer Pumpenleistung zur Dosierung der Fördermenge zu verwenden.

Zur Verklammerung bis in die untere Schüttlage muss der Zementmörtel über die gesamte Verarbeitungszeit eine gute Fließfähigkeit aufweisen und darf nicht entmischen. Bei Wassertiefen von $t \geq 1$ m müssen die Arbeiten bei großen Vergussflächen maschinell ausgeführt werden. Diese Arbeiten sind durch Taucher zu begleiten und zu kontrollieren.

Das ausführende Bauunternehmen muss nachweisen, dass die gewählten Baugeräte, Einbauverfahren und Fachkräfte die geforderten Vertragsleistungen gewährleisten können. Bei der Anwendung von nicht erprobten Baugeräten und -verfahren muss der Nachweis der grundsätzlichen Eignung erbracht werden (Grundsatzprüfung BAW-Karlsruhe).

Tab. G 12: Prüfungen zur Qualitätssicherung des Zementmörtels für Verklammerung und Vollverguss (EVU 1990)

Erforderliche Prüfungen	Grundprüfung durch BAW als Zulassung für den Auftragnehmer	Eignungsprüfung vor Baubeginn durch den Auftragnehmer bei Flächen > 5000 m² bzw. Abweichungen von Grundprüfung	Eigenüberwachung während der Bauarbeiten durch den Auftragnehmer	Kontrollprüfungen im Bedarfsfall durch Auftraggeber festzulegen
1	2	3	4	5
Ausgangsstoffe Gesteinskörnungen nach DIN 4226 (Stand 09/2000)	X	X	Lieferscheine, Augenschein, Absiebung bei vermuteten Abweichungen von Sollkörnung	
Zement nach DIN EN 197-1 und DIN 11664	X	Lieferschein	Lieferscheine (jede Lieferung)	
Zusätze nach DIN 4226, DIN 51043 oder mit gültigem Prüfzeichen	Lieferschein (Wirksamkeit bei Prüfung der geforderten Frisch- und Festmörteleigenschaften)	Lieferschein (Wirksamkeit bei Prüfung der geforderten Frisch- und Festmörteleigenschaften)	Lieferschein (jede Lieferung)	
Frischmörtel				
Temperatur des Mörtels	X	X	1× täglich	
Rohdichte	X	X	1× täglich	
Luftporengehalt	X	X	1× täglich	
Konsistenz in Anlehnung an DIN 1048 a) ohne Schocken a = 32 cm ± 2 cm für Einbau unter Wasser a = 36 cm ± 2 cm für Einbau im Trockenen	X	X	3 × täglich	
	X	X	1 × täglich	
b) nach 15maligem Schocken a = 48 ein ± 2 cm für Einbau unter Wasser a = 52 cm ± 2 cm für Einbau im Trockenen	X	X	3 × täglich	
	X	X	1 × täglich	
Widerstand gegen Erosion a) Unterwasser- und Wasserwechselzone Turbulenztest ≤ 4 M.-% Ausspültest ≤ 6 M.-%	X	–	–	
	X	X	3 × täglich	
b) bei Einbau im Trockenen Turbulenztest ≤ 4 M.-% Ausspültest ≤ 6 M.-%	X	–	–	
	X	X	1 × täglich	
Wasserzementwert (Soll ≤ 0,60) bzw. w/z eq-Wert mit FA-Anrechnung	X	X	1 × wöchentlich	
Erhärteter Vergussmörtel				
Druckfestigkeit C 20/25 ≥ 30 N/mm² und Rohdichte	X	X	3 Prüfkörper je 5000 m² Fläche	
Spaltzugfestigkeit	X	X	3 Prüfkörper je 10 000 m² oder 2 Arbeitswochen	
Wasserundurchlässigkeit bzw. k-Wert	X	X	3 Prüfkörper je 10 000 m² oder 2 Arbeitswochen	
Widerstand gegen Frost	X	–	–	

4.3.6.5 Ausgeführte Beispiele auf Norderney und Hiddensee

Südstrandpolderdeich Norderney

Böschungsfuß: Vertikale Sicherung durch 2,8 m lange, 12 cm dicke Spundwand aus Stahlbetonbohlen mit Trapezverbund und anbetoniertem Ortbetonholm, vor 50 cm schwerem Schüttsteindeckwerk auf 15 cm Schotter-Unterbau und Geotex-Filter 1200 g/m² mit Teilverguss (s. Abb. 56 und Beispiel G 5)

Böschungssicherung des Deiches im Bereich des Hafens Vitte auf Hiddensee

Böschungsfuß: Zwischen Deckwerk und Spundwandholm Tiefbord und Ortbetonbalken als zusätzliche Stütze (s. Abb. G 57)

Böschungsbefestigung: Offenes Deckwerk aus verklammerten Schüttsteinen Größenklasse III mit Zementmörtel auf 10 cm Schotter 4/60 und Geotextil (Filtervlies). Im Bereich mit schmalem niedrigem Vorland Befestigung ebenfalls mit verklammertem Schüttsteindeckwerk (s. Abb. G 58)

Deichkrone mit Deichunterhaltungs- und Fahrradweg

Kronenbreite 3,0 m, Radwegbreite 2,0 m (s. Abb. G 59)

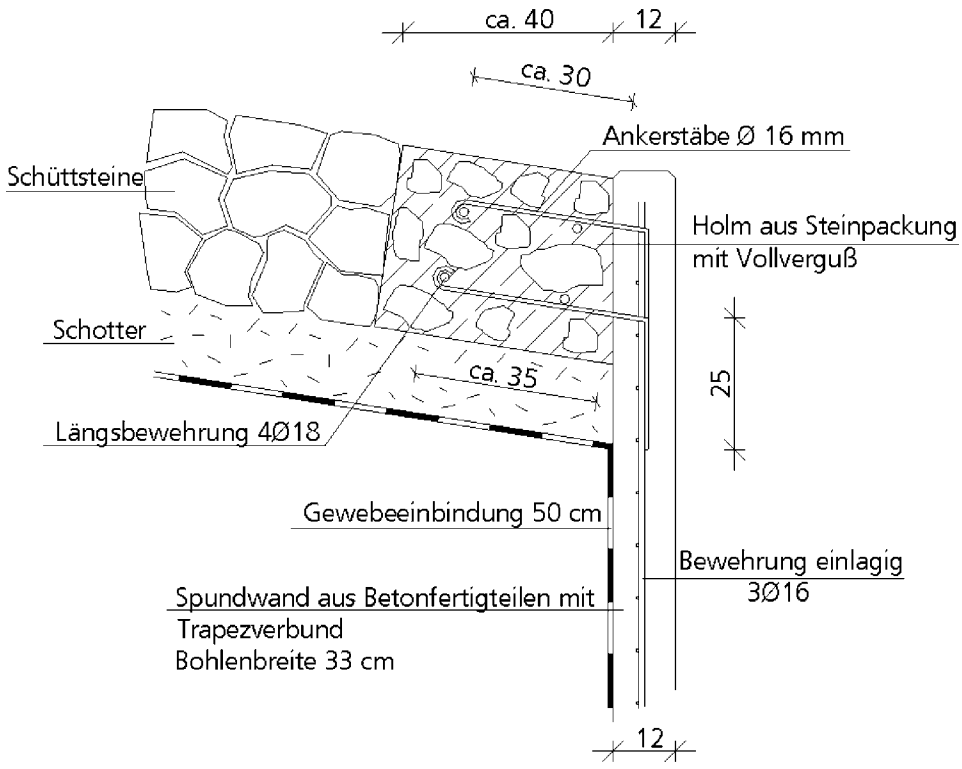


Abb. G 56: Vertikale Fußausbildung aus Stahlbetonbohlen und anbetoniertem Ortbetonholm

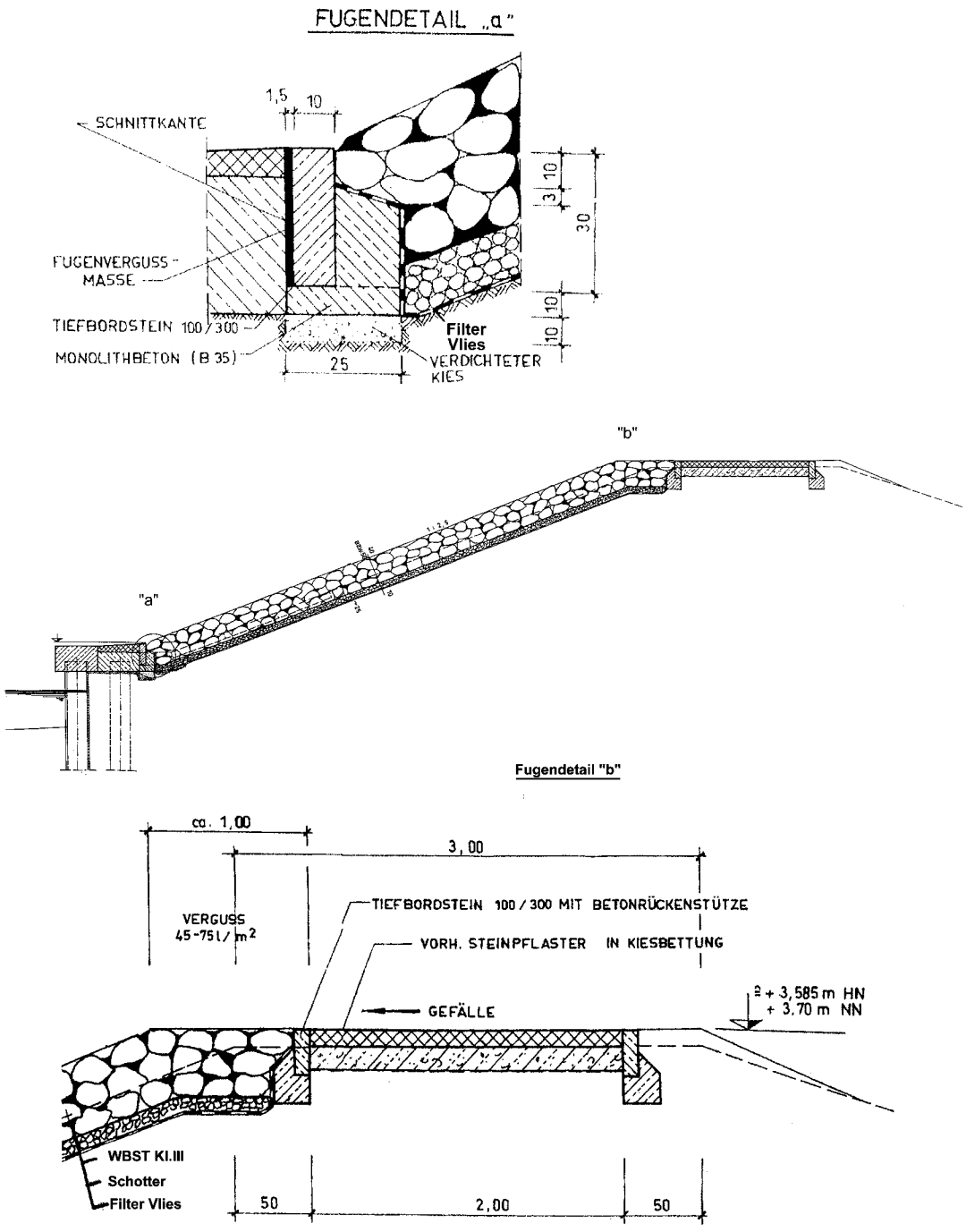


Abb. G 57 : Verklammertes Deckwerk mit Anschluss an die Spundwand im Hafen (Hiddensee)



Abb. G 58: Verklammertes Deckwerk zwischen Spundwand und Deichkrone



Abb. G 59: Radweg auf der Deichkrone

4.3.7 Steindeckschichten in Schwergewichtsbauweise

4.3.7.1 Allgemeines

Grundsätzliches zur Konstruktion von Deckwerken aus Natur- und Schlackesteinen ist in den Empfehlungen E 1993, Abschnitt 3.3 ausgeführt (EAK 1993).

Unverklammerte Steindeckwerke in Schwergewichtsbauweise besitzen bei Setzungen oder Umlagerungen des Stützkörpermaterials eine weitgehend flexible Anpassung ohne Verlust der Funktionssicherheit.

Der größere Hohlraumgehalt der Deckschicht verbunden mit einer hohen Rauigkeit reduziert den Wellenauflauf und damit die erforderliche Kronenhöhe.

Die Stabilität des Deckwerks wird bestimmt von der Lagestabilität des Einzelsteins, die neben der Böschungsneigung und der Verzahnung der Steine untereinander im Wesentlichen von dem Steingewicht abhängt. Deshalb ergeben sich relativ große Steingrößen und Deckschichtdicken. Der Bemessung der Steingröße kommt entscheidende Bedeutung zu.

4.3.7.2 Deckwerksaufbau

Der reine Kornfilteraufbau mit Filterstabilität zwischen Stützkörpermaterial und schwerer Deckschicht wird heute wegen der erheblichen mehrschichtigen Konstruktionsdicke kaum noch angewandt.

Statt dessen wird als unterste Filterlage ein geeignetes Geotextil eingesetzt. Dieses muss den Technischen Lieferbedingungen für geotextile Filter (TLG 1993) entsprechen und unter Berücksichtigung des Merkblattes „Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen“ (MAG der BAW, 1993) verwendet werden.

Die Filterstabilität gegenüber dem Stützkörpermaterial und die Durchschlagssicherheit gegenüber der folgenden Steinlage ist durch die Grundprüfung der BAW nachzuweisen. BAW-zertifizierte Geotextilien weisen eine maximale Durchschlagfestigkeit von 1200 Nm mit Eignung bis Steinklasse III gemäß Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW 1987) auf.

Werden bei scharliegenden und schwer belasteten Deckwerken Decklagen aus Steinklassen IV und V oder schwereren Molensteinen erforderlich, so ist eine Unterschicht aus Material <= Steinklasse III anzuordnen. Die Dicke der Unterschicht sollte mindestens dem 1,5-fachen des Steindurchmessers D_{100} (Steingröße bei 100 % Gewichtsdurchgang) entsprechen.

Hansen (1985) empfiehlt je nach verwendeter Steinklasse folgende Unterschichtdicken:
- Steinklasse I : 33 cm
- Steinklasse II : 50 cm
- Steinklasse III : 75 cm.

Die Steinklasse der Unterschicht muss die Sperrbedingung D15/d85 < = 4...5 gegenüber der Deckschicht erfüllen.

Die mindestens zweilagige Deckschicht ist auf die maßgebende Seegangsbelastung bei Eintritt des Bemessungshochwassers zu bemessen (s. Empf. A 2002).

Bei maßgebenden Wellenhöhen zwischen 2 und 3 m und Böschungsneigungen von ca.1 : 4 entstehen sehr schwere Deckschichten mit 10 bis 30 kN Einzelsteingewicht, die durch Hydraulikbagger mit Polypgreifern gepackt werden (s. Beispiel Nr. 22, Empf. E 2002, Molensteinpackwerk Börgerende, M-V).

Bei äußerst selten, nur im Fall sehr schwerer Sturmfluten belasteten Deichen an der mecklenburg-vorpommerschen Ostseeküste wird teilweise auf die Zweilagigkeit der Deckschicht verzichtet (leichtes Deckwerk). Vorraussetzung ist ein relativ stabiles Vorland, das die maßgeblichen Wellenhöhen auf 0,8 bis 1,2 m reduziert (siehe auch Abb. G 10). Die Deckschicht wird in diesem Fall als einlagiger Steinsatz mit 3 bis 10 kN Einzelsteingewicht auf einem robusten, mindestens 1000g/m² schweren Geotextil aufgebracht. Die Böschungsneigung beträgt 1:3 bis 1:5 (s. Abb. G 6).

Schäden am Deckwerk (nicht am Deich) im seltenen Belastungsfall werden hingenommen und müssen anschließend saniert werden.

4.3.7.3 Fuß- und Kronenaufbau

Zur Fußsicherung von losen Steindeckwerken eignet sich in besonderem Maße eine einfache horizontale oder leicht geneigte Vorlage, die sich begrenzten Vorlandveränderungen flexibel anpasst. Sie sollte so breit sein, dass nur die seeseitige Hälfte Lageveränderungen erfährt (s. Empf. E 1993).

Der Deckwerksaufbau der Böschung sollte bis zum seeseitigen Fuß der Vorlage beibehalten werden. Lediglich das Geotextil sollte vor dem Randstein enden, um nicht Gefahr zu laufen, freigelegt zu werden. Sind starke Vorlandausräumungen bei Sturmfluten oder tendenzieller Rückgang zu befürchten, so ist es günstiger, die Vorlage durch eine Fußwand (Pfahlreihe oder Spundwand) zu ersetzen oder zu ergänzen.

Der Anschluss des Deckwerks an die Deichkrone ist in der Regel problemlos. Bei aus funktionellen oder touristischen Gründen befestigter Krone endet das Geotextil überlappend an oder unter dem seeseitigen Randstein der Kronenbefestigung. Die Unterschicht oder eingefügte Zwicksteine ermöglichen einen dichten Anschluss an den Randstein. Eine Verklammerung der Zwick- oder Unterschichtsteine am Kronenanschluss mit Asphaltmastix und ein flach liegender schwerer Betonrandstein 50/30 sind zur Stabilitätserhöhung sinnvoll (s. Beispiel Nr. 22, Empf. G 2002, Deichdeckwerk Thiessow, M-V).

Der Übergang des Deckwerks zu einer unbefestigten, grünen Krone kann einschließlich Randstein (eventuell Betongitterstein) ähnlich ausgeführt werden. Gleichfalls ist es möglich, das Geotextil in einem trapezförmigen Graben enden zu lassen, der mit Zwicksteinen aufgefüllt und bei Bedarf verklammert wird.

Alle Varianten sind bei Setzungen des Deckwerks leicht durch ergänzende Zwicksteine zu sanieren.

5. Bedingungen der Baustelle und der Bodenentnahmestellen

5.1 Tideverhältnisse

5.1.1 Bauzeit

Bei der Erhöhung und Verstärkung eines Deiches muss seine Funktion des Sturmflutschutzes jederzeit gewährleistet sein. Daher beschränkt sich die Bauzeit am Deichkörper auf die Zeit von Mitte April bis Mitte September. Bauvorbereitende Arbeiten sollen weitgehend vorher und die Fertigstellung nicht sicherheitsrelevanter Bauteile kann danach noch durchgeführt werden. Die fünfmonatige Kernbauzeit kann somit voll für eine zügige Baudurchführung am Deichkörper und seinen für die Sicherheit erforderlichen Elementen genutzt werden. Zeitreserven für Schlechtwetterperioden und andere den Baufortschritt behindernde Ereignisse sollten rechtzeitig durch gute Arbeitsplanung erwirtschaftet werden. Die zeitgerechte Fertigstellung des verstärkten Deiches ist äußerst wichtig, da er in den Herbststurmfluten bereits seine Wehrhaftigkeit beweisen muss (Abb G 67).

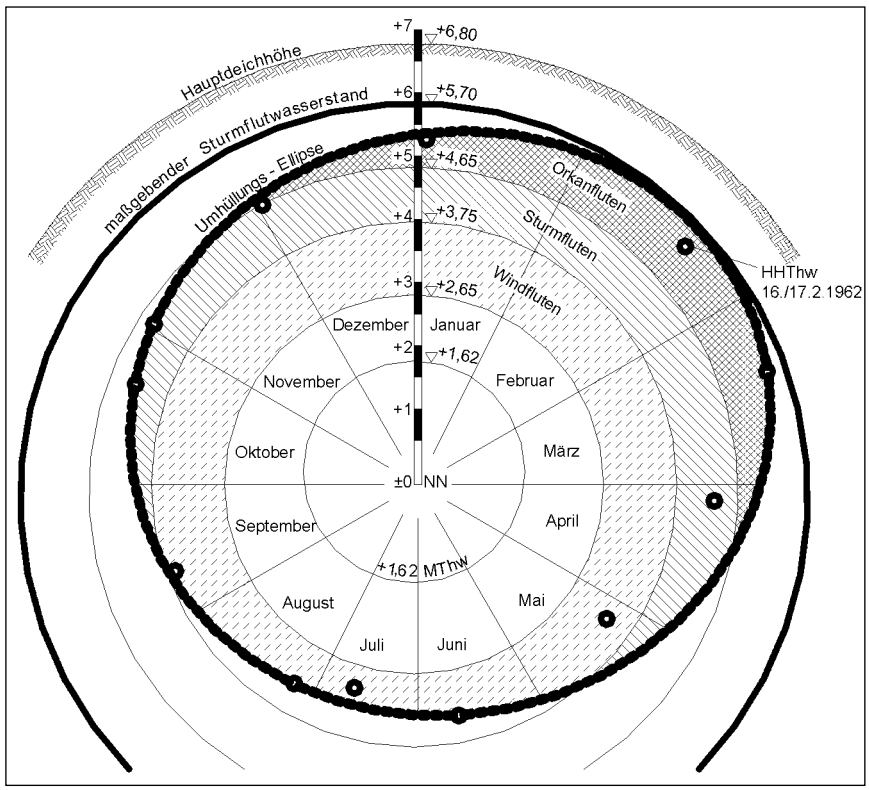


Abb. G 67: Monatsrose der Sturmtiden am Beispiel der über 100-jährigen Beobachtungszeitspanne des Pegels Wilhelmshaven mit
- der Verteilung ihrer Höhenstufen auf die einzelnen Monate eines Jahres,
- ihrer Unterteilung nach Wind-, Sturm- und Orkanfluten und
- der umhüllenden Ellipse der höchsten Monatswasserstände, nach der die Orkanfluten in den Monaten November bis März auftreten können (LÜDERS u. LUCK, 1976).

5.1.2 Bauablauf, Baustellenentwässerung

Der Schardeich grenzt unmittelbar an das Watt oder den Tidefluss ohne ein schützendes Vorland. Ein Umbau oder Neubau des Fußdeckwerkes einschl. der Fußwand kann jeweils nur in kurzen Einzelschritten in Abhängigkeit von der täglichen Tide vorgenommen werden. Besondere Verhältnisse können in Einzelfällen sogar zur Erstellung eines Schutzwalles bzw. einer Schutzwand für die Bauzeit des Deckwerkfußes zwingen. Der Baustellenverkehr für den erheblichen Materialtransport und -einbau nutzt den alten oberen Deckwerkstreifen oder den neuerstellten Deckwerksunterbau in seinem oberen Bereich.

Zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Deiches empfiehlt es sich vielfach, einerseits den äußeren Deichstreifen mit dem Fußdeckwerk sowie den unteren Streifen der Außenböschung und andererseits den Hauptdeichkörper mit Binnenberme als je einen Jahresbauschritt auszubauen.

Bei landseitiger Verbreiterung des Deiches sollte die neue Binnenberme mit Deichlängsweg und der Deichlängsgraben zu Beginn der Maßnahme angelegt werden. Der Deichlängsgraben kann auch die Dränung des eingespülten Sandkerns und der deichseitigen Binnenberme aufnehmen. Mit diesen Maßnahmen ist der Baustellenverkehr auf dem tragfesten Straßen-Unterbau sowie die Entwässerung der Baustelle gesichert.

Auch beim *Vorlanddeich* mit binnenseitiger Verstärkung bieten sich die Verkehrserschließung und Entwässerung der Deichbaustelle als erster Schritt an.

Wenn deichnah Bebauung, überörtliche Straßen oder dgl. eine seeseitige Verbreiterung erforderlich machen, hat sich die Außenverstärkung als erster Schritt mit anschließender Anpassung auf der Binnenseite bewährt.

5.2 Verkehrsbedingungen

5.2.1 Allgemein

Jeder Deichbau erfordert umfangreiche Boden- und Baustofftransporte. Vor allem sind umfangreiche Transporte von Kleiboden, Mergel u. dgl. für die bindige Deckschicht sowie bei Schardeichen für Stein- und Bindemitteltransporte für das Fußdeckwerk zur Baustelle zu befördern. Wenn der Deichkern nicht eingespült werden kann, erhöhten sich die trocken zu transportierenden Massen um ein Vielfaches. Für den Transport von der Bodenentnahmestelle zur Einbaustelle auf dem Deich werden i. d. R. Lkw, Dumper und dgl. eingesetzt, bei größeren Massen nichtbindigen Bodens für den Deichkern auch Scraper.

Eine leistungsfähige Verkehrsanbindung der Baustelle ist Voraussetzung für eine zügige Baudurchführung. Zweispurige Deichzuwegungen empfehlen sich, wenn die Transportdichte, die Länge der Deichzuwegung und eine fehlende Möglichkeit eines Einbahn-Rundverkehrs einen zügigen Transportablauf behindern. Sie sind auch für die Deichverteidigung von großem Vorteil.

Die Bodenentnahme ist durch einen mit Hilfsbaustoffen befestigten Haupterschließungsweg, bei extrem witterungsempfindlichen Böden auch im Bereich der Stichwege, zu erschließen, je nach Transportdichte auch zweispurig. Wartezeiten durch Festfahren und Freischleppen von Transportfahrzeugen sind zu vermeiden.

5.2.2 Baustraßen auf weichem Untergrund

Im Bereich von Tidestrom- und Seedeichen befinden sich häufig wenig tragfähige Weichschichten, die nur in der zeitweilig angetrockneten Deckschicht eine etwas höhere Anfangsscherfestigkeit aufweisen. Da eine gute Befahrbarkeit dieser Weichböden mit schweren Baufahrzeugen vor allem bei Niederschlägen nicht zu garantieren ist, sind Baustraßen notwendig. Mit Rücksicht auf den in den Marschen und Niederungen oft hohen Grundwasserspiegel sollte das Baustraßen-Rohplanum möglichst hoch gelegt werden, um bei guter Entwässerung zu den Randgräben eine bessere Tragfähigkeit zu erreichen und die Verformungen aus dem Fuhrbetrieb zu minimieren. Bei unebenem Gelände muss zunächst durch Abziehen der Deckschicht ein ebenes Planum hergestellt werden, bevor die zur Stabilisierung der Schüttung erforderliche Geokunststoffbahn ausgelegt wird. Bei der Querung von Gräben sollte zuvor eine ggf. vorhandene Schlickfüllung gegen Füllsand ausgetauscht werden. Im Deichhinterland empfiehlt es sich, die sehr locker gelagerte, unter ungünstigen Witterungsbedingungen im durchnäßten Zustand nicht verdichtbare Mutterbodenauflage im Straßenplanum auszutauschen. Generell ist insbesondere beim oberflächennahen Vorkommen wassergesättigter schwach bindiger Weichschichten darauf zu achten, dass das Rohplanum durch das Befahren mit Bagger-, Raupen- und Transportfahrzeugen nicht aufgeweicht bzw. aufgelockert wird.

Für die Planung einer Baustraße auf weichem Untergrund ist eine detaillierte Kenntnis des Bodenaufbaus im obersten Meter unerlässlich. Ergänzend zu den üblichen Aufschlüssen durch Kleinrammbohrungen, deren Schichtenfolge im oberen Meter durch Einrütteln der lockeren Deckschicht, örtliche Pfropfenbildung und partiellen Kernverlust in der Bohrschappe häufig verfälscht ist, sollten einzelne Kontrollschürfe angelegt werden. Darüber hinaus empfiehlt sich die Ausführung einiger Plattendruckversuche auf dem Rohplanum sowie vorab die Ausführung engständiger Handflügelsondierungen zur Feststellung der tiefenbezogenen Verteilung der Anfangsscherfestigkeit unterhalb des Rohplanums. Ist nur eine geringmächtige, verhältnismäßig feste Deckschicht über sehr weichem Untergrund vorhanden, sollte diese unbedingt erhalten bleiben (s. Abb. G 68), wobei die niedrige Scherfestigkeit der unterlagernden Weichschicht in die Bemessung der zur besseren Lastverteilung und -übertragung gemäß Merkblatt „Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbau“ regelmäßig einzubauenden, zugfesten und filterwirksamen Geokunststoffunterlage einzubeziehen ist.

Eine zu geringe Tragfähigkeit auf dem verdichteten Schotterplanum kann durch eine Absenkung des Wasserspiegels in den Seitengräben deutlich verbessert werden.

Beim Einbau der untersten flächenhaft aufgebrachten Füllsandschicht ist darauf zu achten, dass ein zur Stabilisierung des Rohplanums ausgelegtes Geogitter beim Schubraupeneinsatz nicht durch einbaubedingte Scherspannungen überdehnt und beschädigt wird. Beim Vorkommen wassergesättigter, schwach bindiger Schluffsande (Bodengruppen SU*, ST und UL) im Rohplanum, die unter Vibration zu raschem Aufweichen neigen, ist durch die Wahl eines geeigneten, gut verdichtbaren Schüttmaterials sowie ggf. durch eine Erhöhung der Füllsandmächtigkeit gegenüber der errechneten Mindeststärke eine ausreichende Verdichtbarkeit des Straßenunterbaus sicherzustellen.

In den schleswig-holsteinischen Marschen und Deichvorländern hat sich in letzter Zeit der in Abb. G 69 und 70 dargestellte Profilaufbau bewährt.

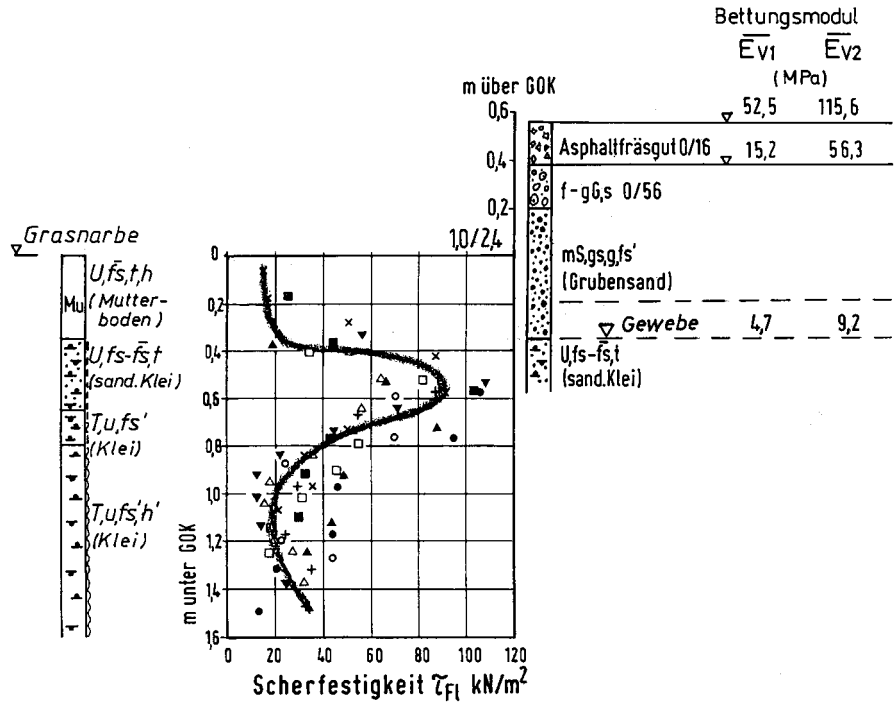


Abb. G 68: Scherfestigkeitsverteilung und Tragfähigkeit einer Baustraße im Wiedingharder Koog/ Nordfriesland

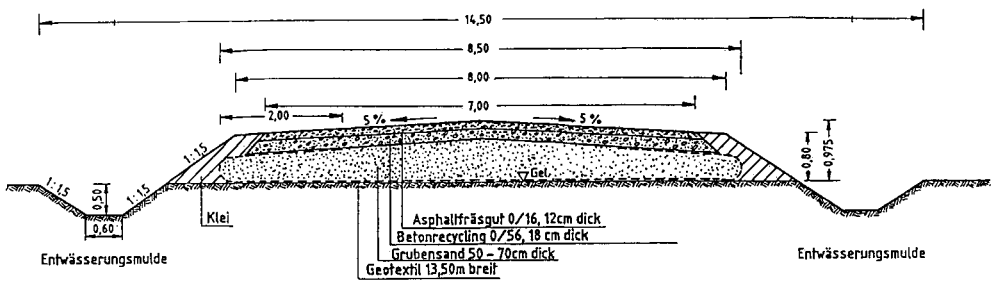


Abb. G 69: Querschnitt einer Baustraße in Nordfriesland unter Verwendung eines Kunststoff-Gewebes

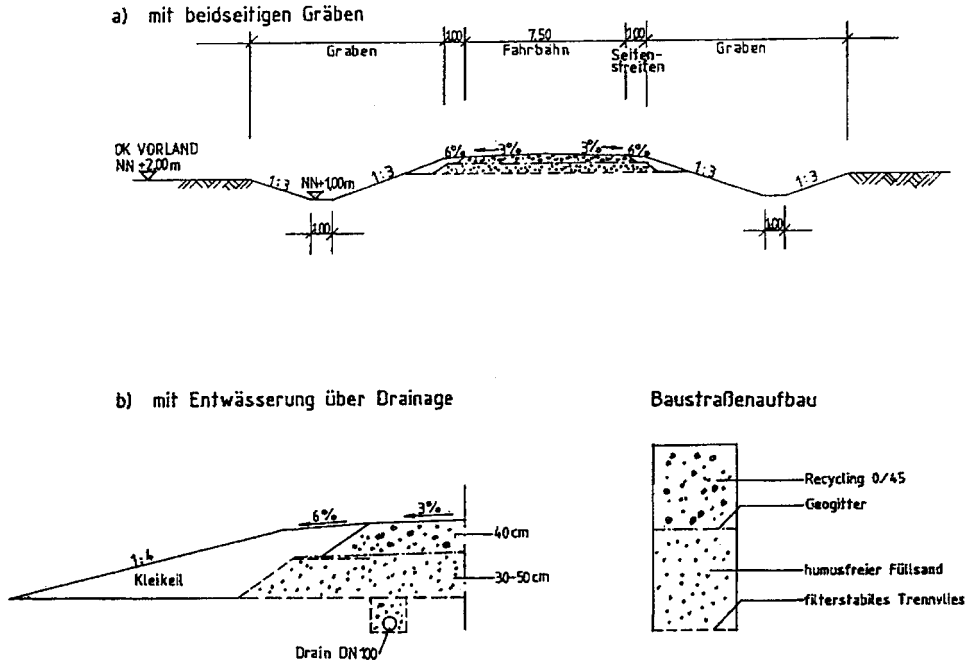


Abb. G 70: Schematischer Querschnitt einer Baustraße in Dithmarschen unter Verwendung eines Geogitters

5.3 Umweltbedingungen

Die Berücksichtigung von Umweltbedingungen und naturschutzfachlichen Belangen ist für den Deichbau von erheblicher Bedeutung, zumal viele Deichstrecken an Nationalparks oder Naturschutzgebiete angrenzen. Der Charakter dieser technischen Empfehlungen eignet sich jedoch nicht für allgemeine umwelt- und naturschutzfachliche Abhandlungen.

Auf folgende Regeln soll jedoch hingewiesen werden:

Grundsätzlich gelten Neubauten und wesentliche Veränderungen von Deichen als Eingriffe in Natur und Landschaft und müssen nach den Richtlinien der Eingriffsregelung ausgeglichen werden. Der Ausgleich ist im landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP) darzustellen.

Je nach Lage, Ausdehnung und Beschaffenheit ist jeder Deich hinsichtlich seiner Auswirkungen auf die umweltrelevanten Schutzgüter für sich zu bewerten. Allgemeine Hinweise sind nur bedingt möglich.

Grundsätzlich sind aufgrund des steigenden Flächenentzuges aus Gründen des Boden- und Grundwasserschutzes unversiegelte Deichbauten dem der befestigten vorzuziehen.

Bei Betroffenheit von geschützten Biotopen, wie salzbeeinflusste Röhrichte und Grünlandbereiche, Feuchtbiotope auf Niedermoorstandorten oder naturnahe Waldbiotope, sind die Ausmaße des Deichfußes so gering wie möglich zu halten.

Diese Auflagen und Regeln sind in den einzelnen Landesnaturschutzgesetzen und zugehörigen Verordnungen bzw. im Bundesnaturschutzgesetz so oder ähnlich ausgedrückt, so dass sie hier für die gesamte deutsche Küste als allgemeiner Hinweis formuliert werden konnten. Nach dem geltenden Europäischen Recht ist auch bei Maßnahmen der Erhöhung und Verstärkung von Hauptdeichen die Pflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) zu prüfen und die Planung ggf. einer UVP zu unterziehen. Daneben sind die europäischen Umwelt-Rechtsnormen (der Natura 2000) zu beachten.

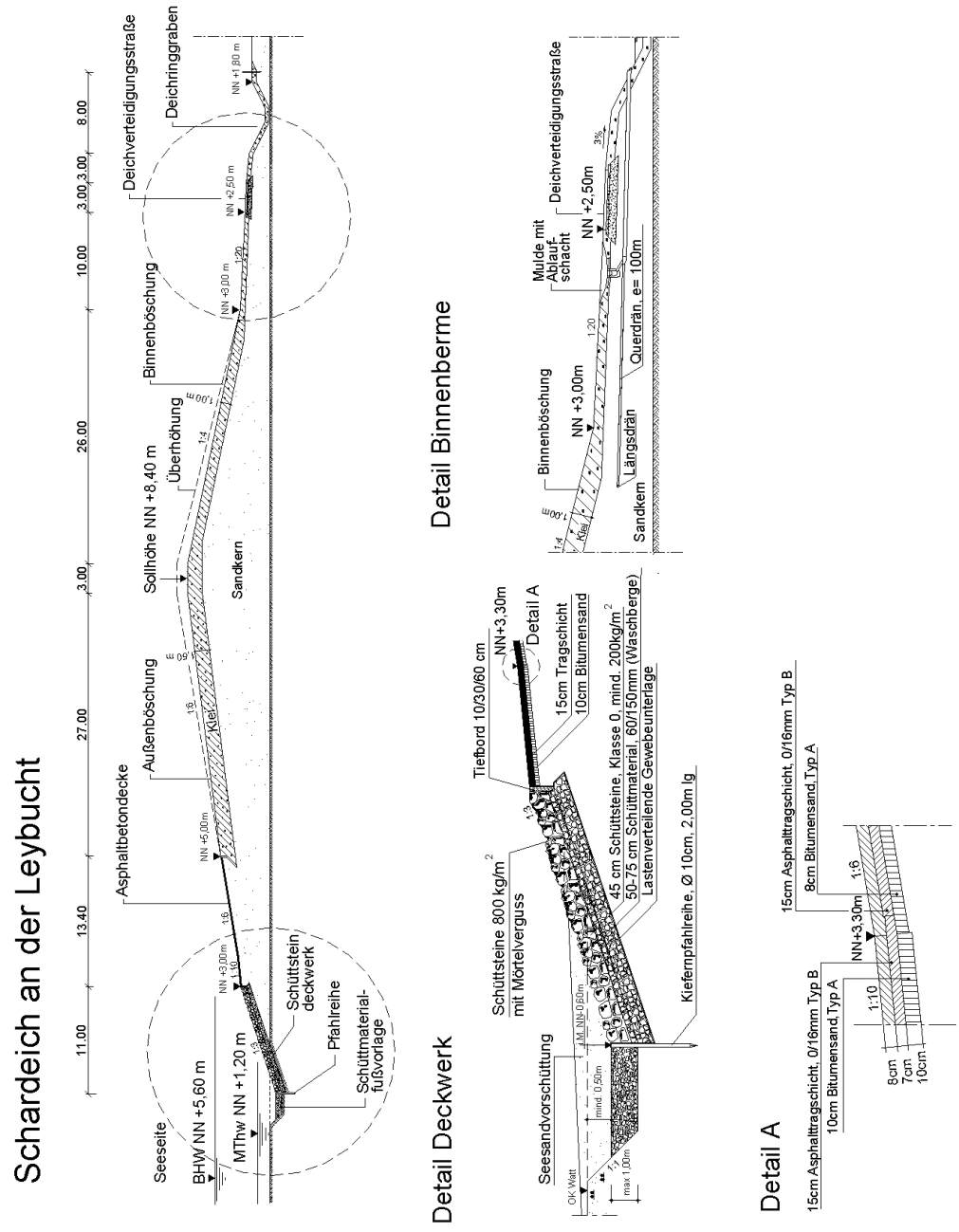
6. Beispiele ausgeführter Deichbauten

Beispiel 1: Schardeich an der Leybucht/Ostfriesland
Beispiel 2: Vorlanddeich an der Leybucht/Ostfriesland
Beispiel 3: Schardeich Norden-Westermarsch
Beispiel 4: Vorlanddeich Westerneßmerpolder mit vorgelagertem Sommerdeich
Beispiel 5: Südstrandpolderdeich auf Norderney als Schardeich
Beispiel 6: Süddeich auf Juist als Vorlanddeich
Beispiel 7: Stromdeich an der Ems bei Ditzum
Beispiel 8: Gauerter Hauptdeich an der Elbe/Hamburg
Beispiel 9: Zollenspieker Hauptdeich an der Elbe/Hamburg
Beispiel 10: Neuengammer Hauptdeich an der Elbe/Hamburg
Beispiel 11: Vorlanddeich Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog
Beispiel 12: Schardeich Pellworm
Beispiel 13: Schardeich Nordstrand, Trendermarsch
Beispiel 14: Schardeich Nordstrand, Süden
Beispiel 15: Deichverstärkung Neufelderkoog
Beispiel 16: Deichverstärkung Büttel
Beispiel 17: Schardeich Probstei, Ostseeküste Schleswig-Holstein
Beispiel 18: Vorlanddeich vor der Klosterseeniederung, Ostseeküste Schleswig-Holstein
Beispiel 19: Sonstiger Deich: Nördlich der Schleimündung, Ostseeküste Schleswig-Holstein
Beispiel 20: Deich mit Strandwall im Ostbereich der Kieler Bucht, Ostseeküste Schleswig-Holstein
Beispiel 21: Deich Börgerende mit vorgelagertem Geröllwall, Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommern
Beispiel 22: Deichdeckwerk Thiessow, Rügen

Eine Übersichtskarte mit den 22 Beispielen ausgeführter Deichbauten G 2002 sowie der neueren Beispiele zu E und F 1993 findet sich am Ende des Anhangs auf den Seiten 588/589.

Beispiel 1: Schardeich an der Leybucht/Ostfriesland

Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 8,40 m, 1987/1988
Deicherhaltung:	Deichacht Krummhörn, Krummhörn-Pewsum
Lage:	An der Außenems, hinter niedrigem Watt
Beanspruchung:	Schwerer Wattseegang bei westlichen Stürmen
Wasserstände, Seegang:	MThw = NN + 1,30 m, BHW = NN + 5,6 m mit H_s = 1,50 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden mit Schlickeinlagen und Niederungsmoorschichten im Untergrund
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand
Fußdeckwerk:	Schweres Schüttsteindeckwerk mit Fußpfahlreihe, 2 m lang, mit mind. 0,5 m Wattüberdeckung, äußerer Schüttung aus Waschberge-Material 0/150 mm, max. 1,0 m dick, zur Stabilisierung des schluffigen Wattbodens, Schüttsteindeckwerk aus Steinen Klasse II/III, verklammert mit 80 l/m² kolloidalem Mörtel auf Unterbau aus Waschberge-Material 60/150 auf lastverteilender geotextiler Gewebeunterlage 200 g/m², Zugfestigkeit 70 kN/m, DW = 0,12 mm
Oberer Abschluss:	OK NN + 3,0 m mit Tiefbord 60 cm tief mit H+V-Verbund
Überschlagsicherung:	Aus 3 m Fahrspur, 1 : 10, mit 15 cm Tragschicht aus Asphaltbeton 0/16, auf 10 cm Bitumensand und ~ 10 m befestigter Böschung 1 : 6, mit 15 cm Tragschicht aus Asphaltbeton 0/16, auf 8 cm Bitumensand, OK Asphaltbeton NN +5,0 m, Abschluss Tiefbord 60 cm tief mit H+V-Verbund
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,50 m dick, 1 : 6 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,50 m dick, mit 0,15 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 1,0 m dick, 1 : 4 geneigt aus erdstatischen Gründen
Binnenberme:	Auf NN + 3,0 m, 16 m breit, 1 : 20 geneigt, anschließend Deichlängsgraben, Entwässerungsmulde mit Ablaufschacht und Drän.
Deichlängsweg:	OK NN + 2,50 m, 3 m breit
Beurteilung:	Der Deich ist für schweren Wattseegang gebaut und hat sich bisher bewährt. Schäden traten nicht auf. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.


Schardeich an der Leybucht
11.00
13.40
27.00
3.00
26.00
10.00
3.00
3.00
8.00
Seeseite
BHW NN +5,60 m
MThw NN +1,20 m
Asphaltbetondecke
Außenböschung
Kleideich
Sollhöhe NN +8,40 m
Überhöhung
Binnenböschung
Sandkern
Deichverteidigungsstraße
Deichringgraben
NN +5,00m
NN +3,00 m
NN +2,50 m
NN +1,80 m
Schüttstein deckwerk
Pfahlreihe
Schüttmaterial-fußvorlage
Detail Deckwerk
Tiefbord 10/30/60 cm
NN+3,30m
Detail A
Schüttsteine 800 kg/m²
mit Mörtelverguss
15cm Tragschicht
10cm Bitumensand
45 cm Schüttsteine, Klasse 0, mind. 200kg/m²
50-75 cm Schüttmaterial, 60/150mm (Waschberge)
Lastenverteilende Gewebeunterlage
Kiefernpfahlreihe, Ø 10cm, 2,00m lg
Seesandvorschüttung
OK Watt
MThw NN+0,60m
mind. 0,50m
max 1,00m
Detail Binnenberme
Mulde mit Ablauf-schacht
NN +2,50m
Deichverteidigungsstraße
Binnenböschung
NN +3,00m
Längsdrän
Querdrän, e= 100m
Sandkern
Detail A
15cm Asphalttragschicht, 0/16mm Typ B
8cm Bitumensand, Typ A
15cm Asphalttragschicht, 0/16mm Typ B
10cm Bitumensand, Typ A
NN+3,30m
8cm
7cm
10cm

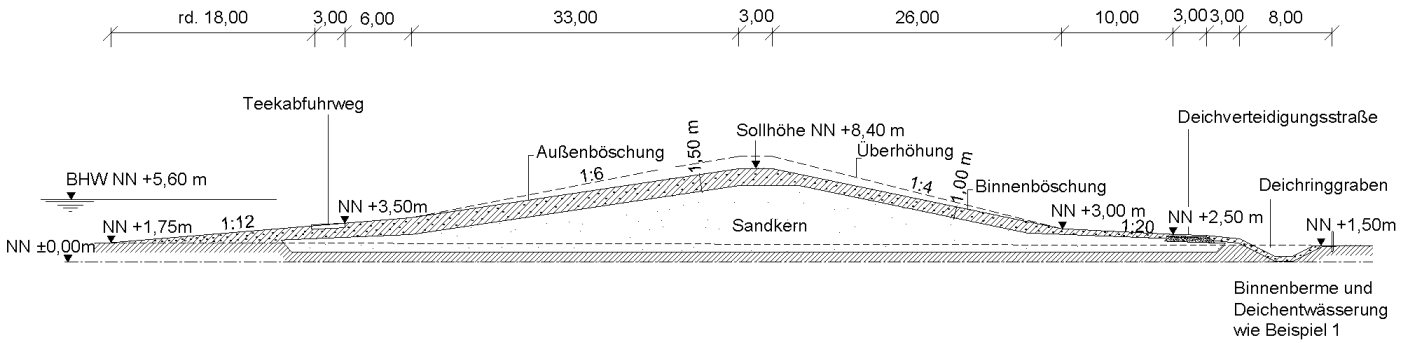
Beispiel 2: **Vorlanddeich an der Leybucht/Ostfriesland**

Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 8,40 m, 1996/1997
Deicherhaltung:	Land Niedersachsen, NLWK-BS Norden
Lage:	In der Leybucht, hinter breitem Vorland
Beanspruchung:	Mittelschwerer Seegang über Deichvorland bei Stürmen aus W–NW
Wasserstände:	MThw = NN + 1,34 m, BHW = NN + 5,7m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden mit Schlickeinlagen und Niederungsmoorschichten im Untergrund.
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand
Deichfußentwässerung:	Vorlandgrüppen, Abstand: 12 m
Teekabfuhrweg:	Auf NN + 3,35–3,50 m, 3 m breit, Querneigung 5 %
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,50 m dick, Neigung 1 : 6 oberhalb NN + 4,0 m, 1:12 unterhalb NN + 4,0 m
Krone:	Kleideckschicht 1,50 m dick, mit 0,15 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 1,0 m dick, 1 : 4 aus erdstatischen Gründen geneigt
Binnenberme:	Auf NN + 3,0 m, 16 m breit, 1 : 20 geneigt, anschließend Deichlängsgraben,
Deichlängsweg.:	OK NN + 2,50 m, 3 m breit, oberhalb Entwässerungsmulde mit Ablaufschacht und Drän.
Beurteilung:	Der Deich ist noch nicht extrem beansprucht worden. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.

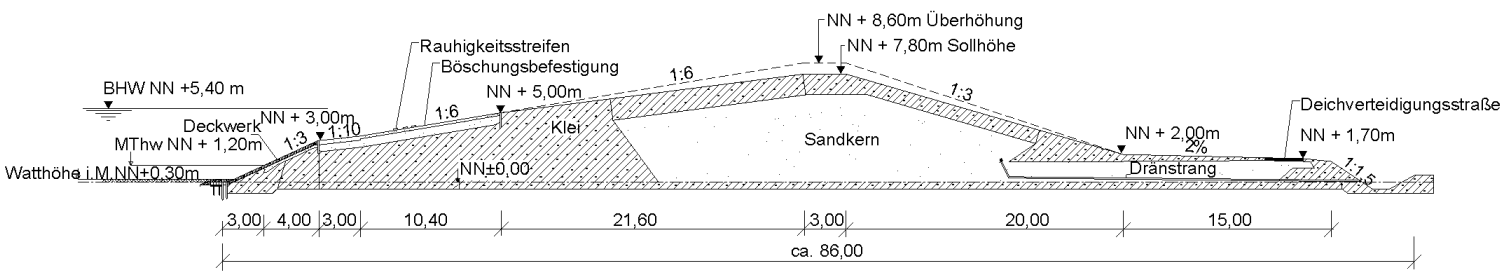
Beispiel 3: **Schardeich Norden-Westermarsch**

Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 7,80 m, erhöht und verstärkt 1974/1975
Deicherhaltung:	Deichacht Norden
Lage:	Hinter dem im deichnahen Bereich sehr niedrigen Juister Watt
Beanspruchung:	Sehr schwerer Seegang bei Stürmen aus W-NW
Wasserstände, Seegang:	MThw: NN + 1,28 m, BHW: NN + 5,5 m mit H_s = 1,50 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden mit Schlickeinlagen.
Bauweise:	
1. Bauabschnitt (1974):	Basalt-Fußdeckwerk von ~1900 saniert, unterhalb MThw unvergossen, 1 : 2 geneigt, oberhalb mit Asphalt-Vollverguss, 1 : 2,5 geneigt, Wellenüberschlagsicherung von NN + 3,0–5,0 m Asphaltbeton 15 cm Tragschicht 0/16 mm Typ B auf Bitumensand Typ A, 10 cm dick (oberhalb der Fahrspur 8 cm dick), oben und unten durch Tiefbord d = 10, h = 60, b = 33 cm mit H + V-Verbund eingefasst, oberhalb 1:6 geneigte Außenböschung mit 1,5 m dicker Kleideckschicht.
2. Bauabschnitt (1975):	Binnenberme um rd. 40 m nach binnen verlegt, verbreitert und neuen 3 m breiten Deichlängsweg geschaffen; Klei des alten Deichkerns zu binnenseitigem Spüldeich aufgesetzt und Dränung landseitig unter Sandkern verlegt; Kern aus Wattsand eingespült, profiliert und mit Klei angedeckt, außen 1,5 m, 1 : 6 geneigt, binnen 1,0 m dick, 1 : 3 geneigt. Dabei sind Setz- und Sackmaß zuzuschlagen.
Beurteilung:	Der Deich hat sich bewährt. In den schweren Sturmfluten der 80er und 90er Jahre hat er keine Schäden gezeigt. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.

Vorlanddeich an der Leybucht



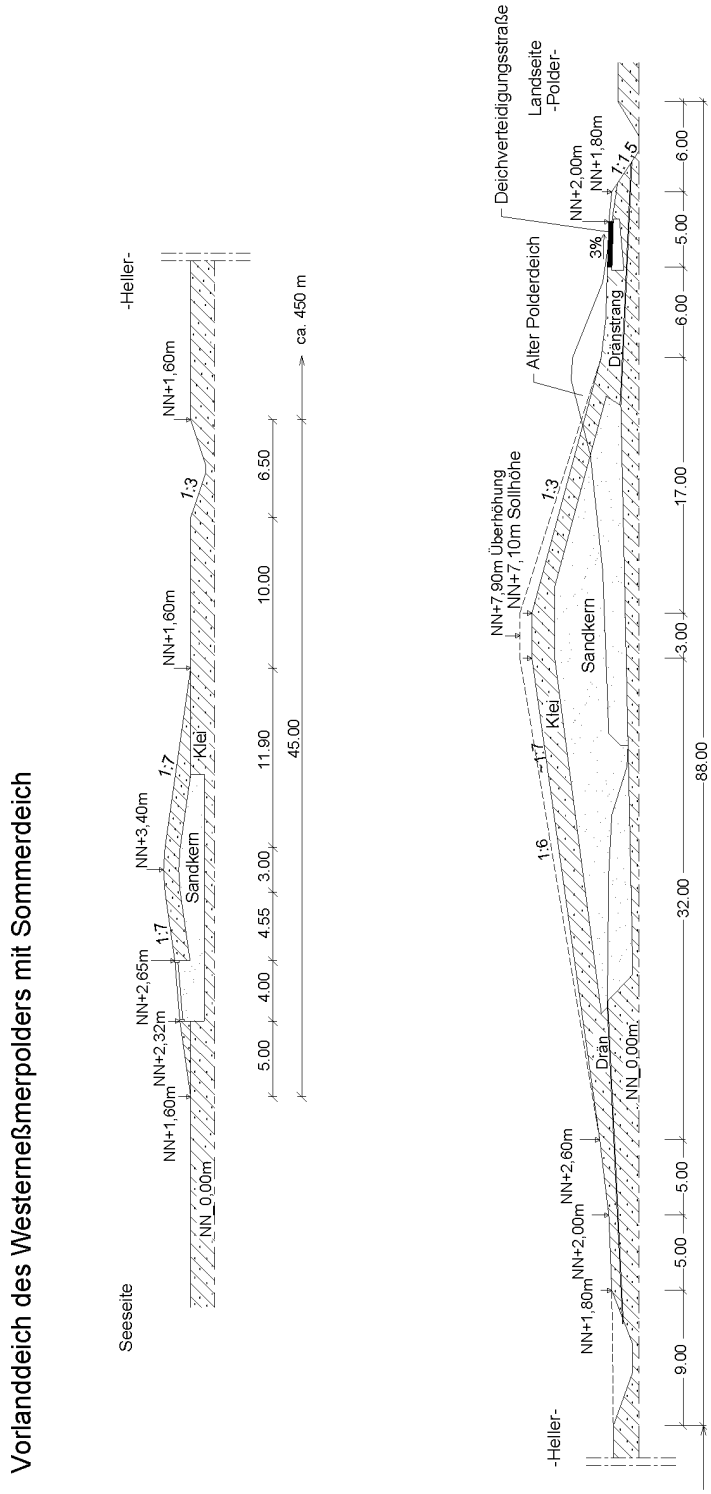
Schardeich Norden-Westermarsch



Beispiel 4: **Vorlanddeich Westerneßmerpolder mit vorgelagertem Sommerdeich**

Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 7,1 m, erhöht und verstärkt 1981/1982
Deicherhaltung:	Deichacht Norden in Norden
Lage:	Hinter dem hohen Norderneyer Watt, etwa 500 m Deichvorland u. 400 m Sommerpolder
Beanspruchung:	Mäßiger Seegang hinter Deichvorland und Sommerdeichschutz bei Stürmen aus N–NW
Wasserstände:	MThw = NN + 1,33 m, BHW = NN + 5,5 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	Der alte Winterdeich von 1785 wurde nach außen verstärkt und erhöht durch Aufsetzen des Kleibodens unter dem Deichkern zum Spüldeich. Aufspülen des Kerns aus Wattsand, Profilieren und Klei andecken, außen 1,5 m Solldicke, 1 : 6 geneigt, binnen 1,0 m Solldicke, 1 : 3 geneigt
Deichlängsweg:	Von NN + 2,1 m am deichseitigen Straßenrand mit 3 % (Seitenstreifen 5 %) zum Längsgraben abfallend.
	Sommerdeich:
Funktion:	Der Deich mit Kronenhöhe NN + 3,4 m ermöglicht die Jungviehbeweidung des Sommerpolders. Er hält Wasserstände, Seegang, Treibsel und Eis bis zu seiner Kronenhöhe völlig vom Deich fern. Bei höheren Sturmflutwasserständen wird der Seegang erheblich gedämpft.
Bauweise:	Der außen und binnen 1 : 7 geneigte Sommerdeich weist eine 1,0 m starke Kleidecke über dem Wattsandkern auf. Ihm vorgelagert ist ein 3 m breiter Wirtschafts- und Wanderweg aus 8 cm Betonverbundpflasterung mit 5 % Querneigung.
Beurteilung:	Der Hauptdeich und der Sommerdeich haben die sehr schweren Sturmfluten der 80er und 90er Jahre ohne Schäden überstanden. Der erhebliche Treibselanfall auf dieser Küstenstrecke belastet den Hauptdeich nur bei sehr hohen Fluten und daher recht selten. Die Grasnarbe des Hauptdeiches wird durch Schafbeweidung, die des Sommerdeiches im Rahmen der Vorlandbeweidung gepflegt.

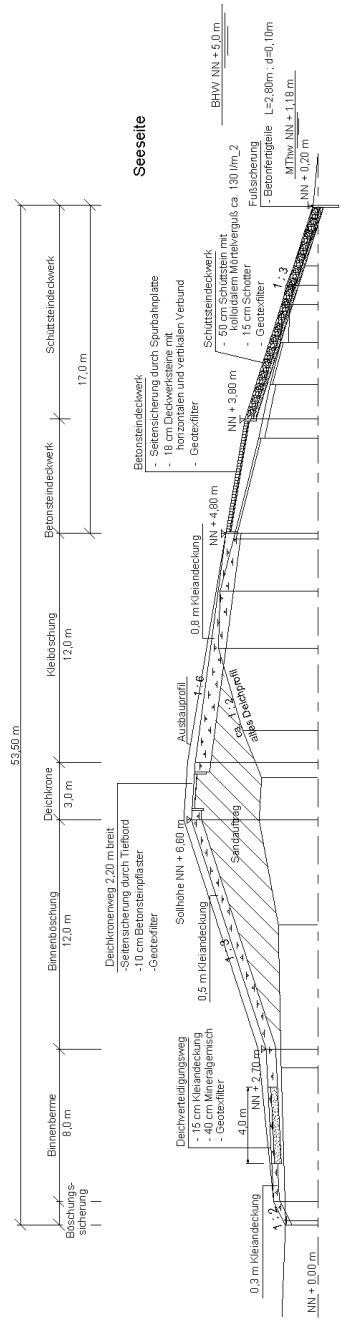
Vorlanddeich des Westermeßmerpolders mit Sommerdeich



Beispiel 5: **Südstrandpolderdeich auf Norderney als Schardeich**

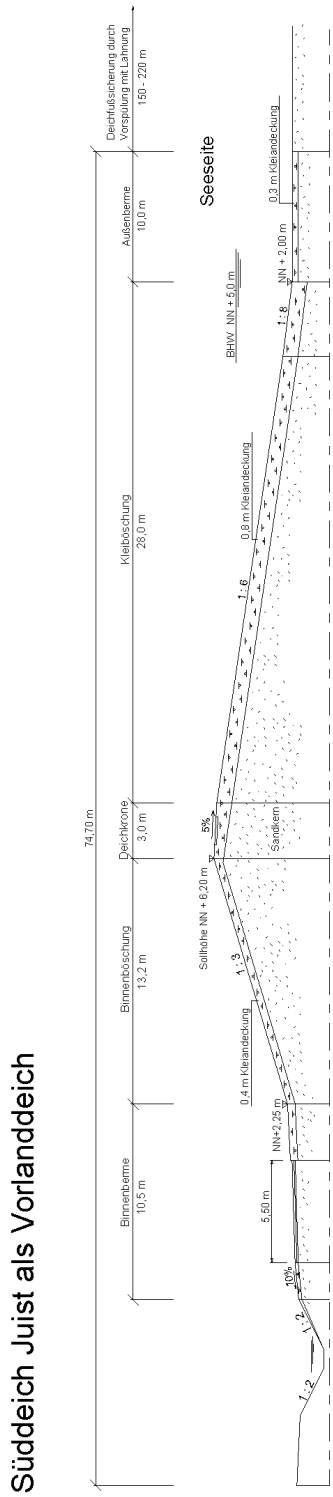
Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 6,60 m, erhöht und verstärkt 1999/2000
Deicherhaltung:	Land Niedersachsen, NLWK – BS Norden
Lage:	Südstrandpolder, südöstlich der Ortslage, unmittelbar am 16 m tiefen Riffgat des Norderneyer Watts
Beanspruchung:	Schwerer Wattseegang bei Stürmen aus W-SW
Wasserstände:	MThw = NN + 1,20 m, BHW = NN + 5,0 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand
Fußdeckwerk:	Schweres Schüttsteindeckwerk mit Fuß aus Betonbohlen 2,80 m lang, 0,10 m dick, 50 cm Schüttsteine mit 130 l/m² kolloidalem Mörtel auf 15 cm Schotter-Unterbau auf Geotexfilter R 1200 g/m²
Oberer Abschluss:	OK NN + 3,80 m mit 0,65 m Tiefbord mit H+V-Verbund
Überschlagsicherung:	18 cm Betonsteindeckwerk mit H+V-Verbund, 1 : 6 geneigt, obere Sicherung NN + 4,80 m mit Tiefbord 0,65 m mit H+V-Verbund
Außenböschung:	Kleideckschicht 0,8 m dick, 1 : 6 geneigt
Deichkrone:	3,0 m breit mit Kronenweg 2,20 m breit, 10 cm Betonsteinpflaster auf Geotexfilter zwischen Tiefbord
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,5 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	Auf NN + 2,60 m, 8,0 m breit, 1 : 10 geneigt mit Deichverteidigungsweg aus 40 cm Mineralgemisch in 4 m Breite auf Geotexfilter mit 15 cm kleihaltigem Boden bedeckt, anschl. Böschungssicherung, 1 : 2 geneigt bis zum unterschiedlich hohen Gelände (Naturschutzgebiet)
Beurteilung:	Der Deich ist noch nicht extrem beansprucht worden. Die Grasnarbe wird durch Mahd gepflegt.

Südstrandpolderdeich Norderney als Schardeich



Beispiel 6: **Süddeich auf Juist als Vorlanddeich**

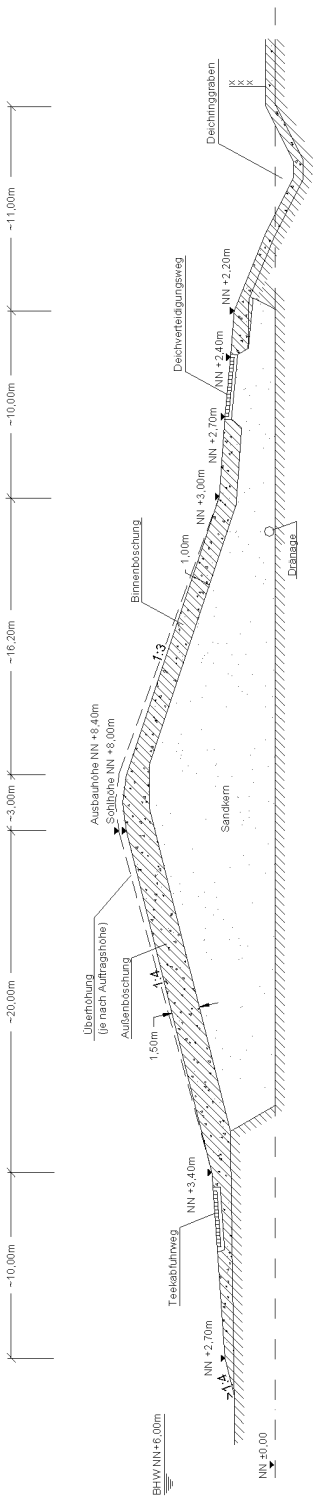
Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 6,20 m, 1977/1979
Deicherhaltung:	Land Niedersachsen, NLWK – BS Norden
Lage:	Südlich der Ortslage
Beanspruchung:	Mittelschwerer Wattseegang über Deichvorland bei Stürmen aus SW–W
Wasserstände:	MThw = NN + 1,20 m, BHW= NN + 5,0 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand
Deichfußsicherung:	Aufgespültes Deichvorland, 150 bis 220 m breit, Deichaußenberme, 10 m breit mit Kleiandeckung, 0,3 m dick, Betonlahnung zum Watt
Deichfußentwässerung:	Vorlandgrüppen
Außenböschung:	Kleideckschicht, 0,8 m dick, 1 : 6 geneigt, der untere 6 m breite Streifen 1 : 8 geneigt
Deichkrone:	3 m breit, Kleideckschicht 0,8–0,5 m dick, mit 1,5 m breitem Fußweg mit Betonsteinpflaster 10 cm mit H-Verbund
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,4 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	Auf NN + 2,25 m, 10,5 m breit, 1 : 10 geneigt mit anschließendem Deichlängsgraben, Deichverteidigungsweg und Dorfumgehungsstraße mit 5,5 m breitem Betonsteinpflaster 10 cm
Beurteilung:	Der Deich hat sich in den sehr schweren Sturmfluten von 1981 und 1994 bewährt und wurde nicht beschädigt. Die Grasnarbe wird durch Mahd gepflegt.


Süddeich Juist als Vorlanddeich
Deichfußsicherung durch Vorspülung mit Lahnung
150 - 220 m
Außenberme
10,0 m
Kleiböschung
28,0 m
Deichkrone
3,0 m
Binnenböschung
13,2 m
Binnenberme
10,5 m
74,70 m
Seeseite
0,3 m Kleiabdeckung
NN + 2,00 m
1 : 8
BHW NN + 5,0 m
0,8 m Kleiabdeckung
1 : 6
5%
Sollhöhe NN + 6,20 m
Sandkern
1 : 3
0,4 m Kleiabdeckung
NN+2,25 m
5,50 m
10%
1 : 2
1 : 2

Beispiel 7: Stromdeich an der Ems

Objekt, Baujahr:	Hauptdeich, Deichsollhöhe NN + 8,0 m, 1998/1999
Deicherhaltung:	Rheider Deichacht
Lage:	Am Südufer der Ems bei Ditzum unterhalb des Emssperrwerkes
Beanspruchung:	Mittelschwerer Seegang über Deichvorland bei Stürmen aus W bis NNW
Wasserstände:	MThw = NN + 1,60 m, BHW = NN + 6,0 m
Baugrund:	Tiefgründiger Klei, Niederungsmoorschichten, in tiefer Lage Feinsand
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Feinsand (Emssand)
Deichfußsicherung:	60–100 m breites Deichvorland
Deichfußentwässerung:	Deichringgraben
Teekabfuhrweg:	16 cm bewehrter Ortbeton, 3 m breit, auf 30 cm Mineralgemisch OK: NN + 3,10 bis 3,30 m, in 1 : 14 geneigter Außenberme, die unterhalb NN + 2,7 m flacher als 1 : 4 ins Deichvorland abfällt
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,5 m dick, 1 : 4 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,5 m dick, mit 0,15 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 1,0 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	OK: NN + 3,0 m bis NN + 2,2 m, 10 m breit, anschließend Deichringgraben
Deichlängsweg.:	OK: NN + 2,7 m bis 2,4 m, 16 cm bewehrter Ortbeton, 3 m breit, auf 30 cm Mineralgemisch
Beurteilung:	Dieses seit längerer Zeit gebaute Regelprofil blieb bisher schadensfrei und hat sich bewährt. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.

Stromdeich an der Ems (Ditzum)



Beispiel 8: Gauerter Hauptdeich

Lage: Elbkilometer 610

Wellenhöhen bei Eintritt des Bemessungswasserstandes: h_s = 0,45 m

Planungsrandbedingungen:
- Deichverstärkung 1997 bis 1999
- Erhöhung des 1967 gebauten Deiches um i. M. 1,15 m
- Wasserseitige Verbreiterung des scharliegenden Deiches durch Ufervorverlegung
- Neue Kleiabdeckung anstelle der alten pechbelasteten Asphaltabdeckung
- Entwässerung des Deichkerns über eine Dränage zum Binnendeichgraben

Beispiel 9: Zollenspieker Hauptdeich

Lage: Elbkilometer 599

Wellenhöhen bei Eintritt des Bemessungswasserstandes: h_s = 0,44 m

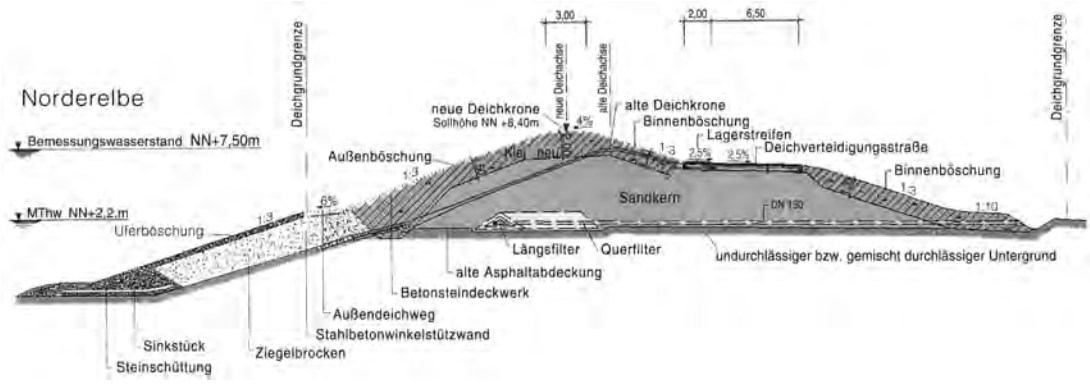
Planungsrandbedingungen:
- Binnenseitige Deichverstärkung und Abflachung der wasserseitigen Deichböschung 1995 bis 1997
- Erhöhung des 1967 gebauten Deiches um 1,30 m
- Wasserseitige Verbreiterung des scharliegenden Deiches durch Ufervorverlegung
- Entwässerung des Deichkerns über durchlässigen Untergrund und Binnendeichgraben

Beispiel 10: Neuengammer Hauptdeich

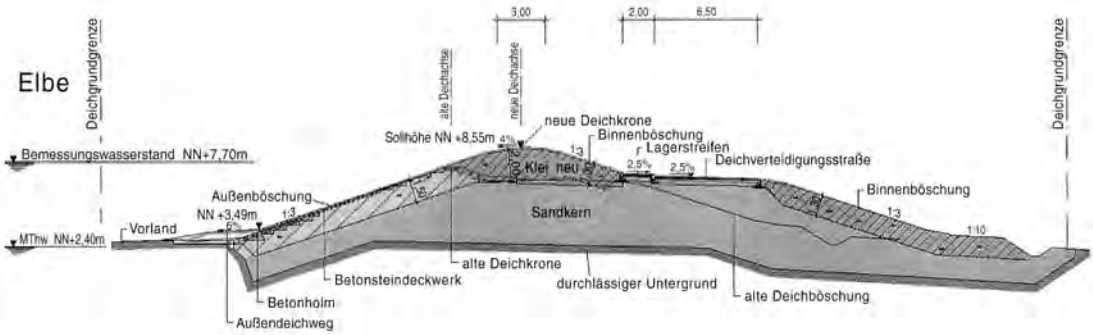
Lage: Elbkilometer 592

Wellenhöhen bei Eintritt des Bemessungswasserstandes: h_s = 0,36 m

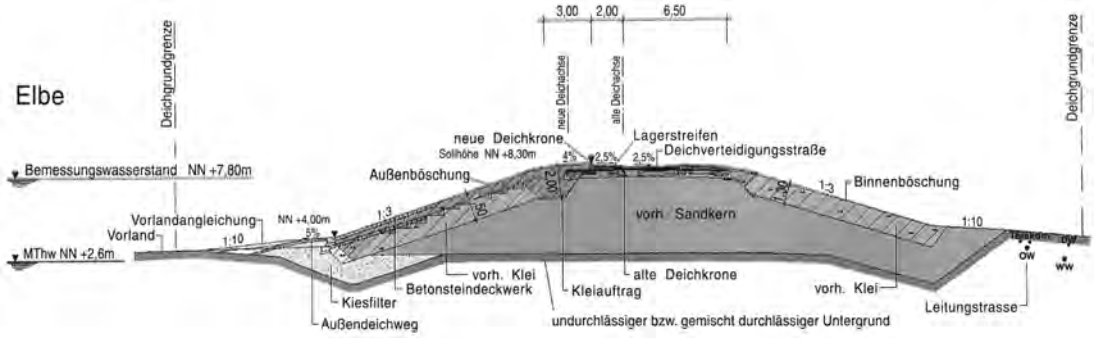
Planungsrandbedingungen:
- Deichverstärkung 2000 bis 2002
- Verstärkung und Erhöhung des 1968 gebauten Deiches um i. M. 0,30 m
- Vorlandbreite bis zu 250 m
- Entwässerung des Deichkerns über Kiesfilter am außenseitigen Deichfuß aufgrund gering durchlässigen Untergrundes und fehlender Entwässerungsmöglichkeit zur Binnenseite



Beispiel 8: Gauerter Hauptdeich



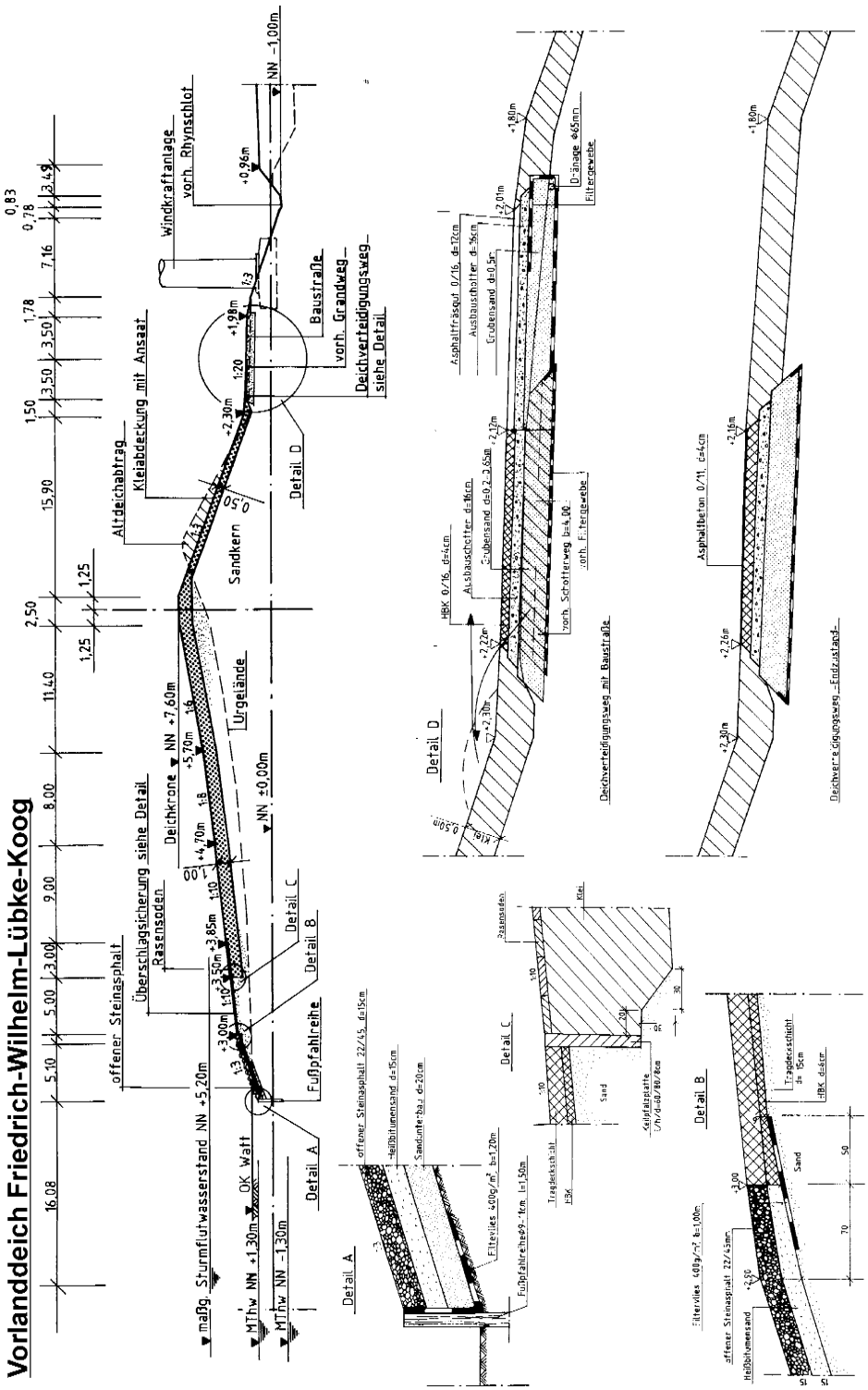
Beispiel 9: Zollenspieker Hauptdeich



Beispiel 10: Neuengammer Hauptdeich

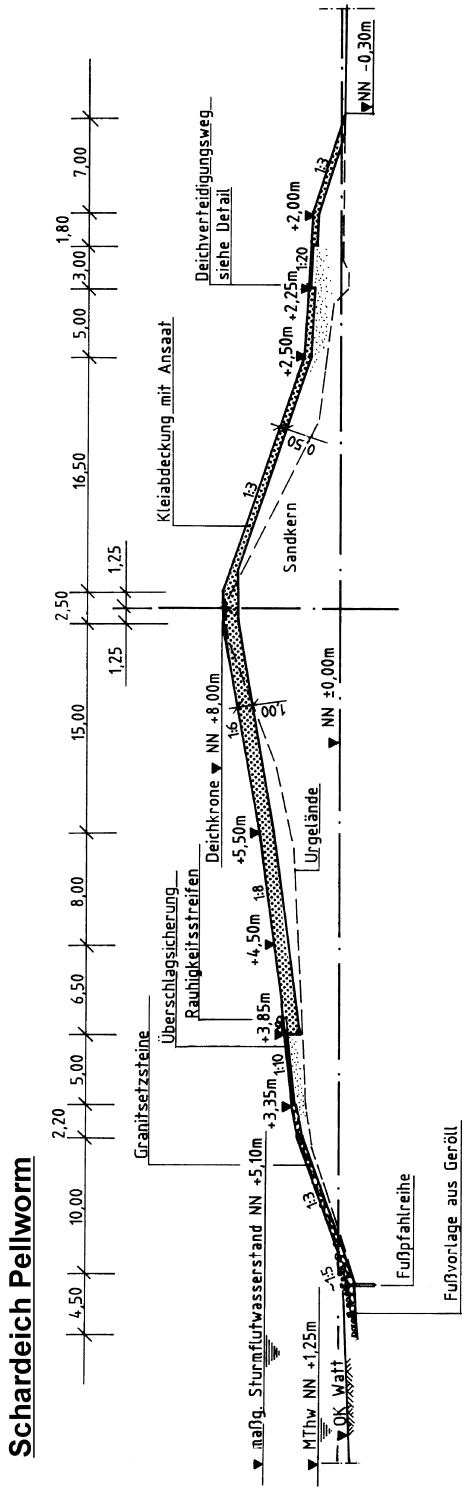
Beispiel 11: Vorlanddeich Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog

Objekt:	Landesschutzdeich, Deichsollhöhe NN + 7,60 m
Träger der Deicherhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	1998 bis 2004
Lage:	Südl. des Hindenburgdammes
Beanspruchung:	Schwerer Seegang bei südwestlichen Stürmen
Wasserstände:	MThw = NN + 1,30 m, maßg. Stflw.st. NN + 5,20 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	
vorh. Deichkern:	Eingespülter gleichkörniger Wattenfeinsand, Verstärkung des Deichkerns aus schluffigem Feinsand aus Innenentnahmen im Fuhrbetrieb
Fußdeckwerk:	Leichtes Mastixschotterdeckwerk mit Fußpfahlreihe, 1,5 m lang mit mind. 0,5 m Überdeckung, Sandunterbau 20 cm dick, Filterschicht aus Bitumensand, offener Steinasphalt 22/44 mm mit 4 % Bitumen, oberer Abschluss: NN + 3,0 m; Überschlagsicherung: 5 m breit, 1:10, mit 15 cm Tragschicht aus Schotter 0/63 und 15 cm Tragdeckschicht 0/16, deichseitiger Abschluss mit Betonkeilfalzplatten 60/80/8 cm
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,25 m dick, 1 : 6, 1 : 8, 1 : 10 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,25 m dick, mit 0,15 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,6 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	NN + 2,5 m, 10 m breit, 1 : 20 geneigt, Deichlängsgraben
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,30 m, 3,5 m breit
Beurteilung:	Der Deich ist für mittleren bis schweren Wattseegang gebaut. Die Grasnarbe soll durch Schafbeweidung gepflegt werden.


Vorlanddeich Friedrich-Wilhelm-Lübke-Koog
maßg. Sturmflutwasserstand NN +5,20m
MThw NN +1,30m
MTnw NN -1,30m
OK Watt
offener Steinasphalt
Überschlagsicherung siehe Detail
Rasensoden
Deichkrone NN +7,60m
Urgelände
NN ±0,00m
Sandkern
Altdeichabtrag
Kleiabdeckung mit Ansaat
Windkraftanlage vorh. Rhynschlot
NN -1,00m
Baustraße vorh. Grandweg
Deichverteidigungsweg siehe Detail
Fußpfahlreihe
Detail A
Detail B
Detail C
Detail D
Asphaltfräsgut 0/16, d=12cm
Ausbauschotter d=36cm
Grubensand d=0,5m
Dränage ø65mm
Filtergewebe
HBK 0/16, d=4cm
Grubensand d=0,2-0,65m
vorh. Schotterweg bis A.OK
vorh. Filtergewebe
Deichverteidigungsweg mit Baustraße
Asphaltbeton 0/11, d=4cm
Deichverteidigungsweg - Endzustand
Heißbitumensand d=15cm
Sandunterbau d=20cm
Filtervlies >400g/m² b=1,20m
Fußpfahlreihe ø9 - 4cm l=1,50m
Tragdeckschicht HBK
Sand
Kalkfahnatte
Rasensoden
Filtervlies >600g/m² b=1,00m
Tragdeckschicht HBK d=8cm

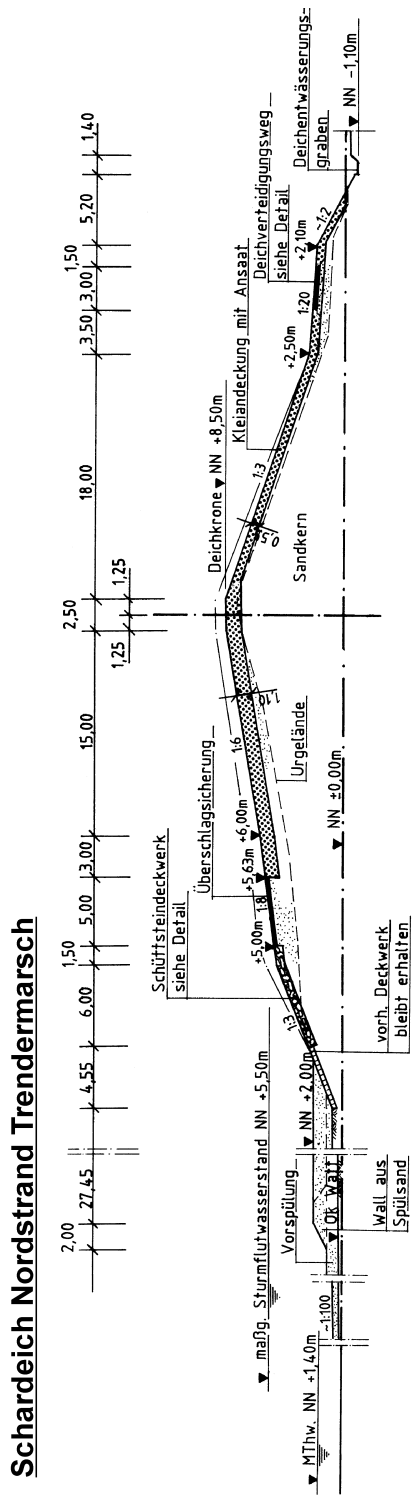
Beispiel 12: **Schardeich Pellworm**

Objekt:	Landesschutzdeich, Deichsollhöhe NN + 8,0 m
Träger der Deichunterhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	1978/79
Lage:	Westseite Insel Pellworm (Großer Koog)
Beanspruchung:	Schwerer Seegang bei südwestlichen bis nordwestlichen Stürmen
Wasserstände:	MThw = NN + 1,25 m, maßgebender Sturmflutwasserstand NN + 5,10 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand aus Wattentnahme, Entfernung ca, 1,5 km
Fußdeckwerk:	2,0 m Fußpfahlreihe, Aufnahme und Wiederverwendung des vorhandenen Findlingsdeckwerks, ca. 900 kg/m^2, Mastix-Verklammerung, Unterbau: 20 cm Geröll 32/63 mm; Geotextiler Filter: PE-Vlies ca. 600 g/m^2, d = > 4 mm, Fußvorlage: Geröll und Schüttst. auf Vlies
Oberer Abschluss:	Kleiner Asphaltsporn mit Filtervliessicherung
Überschlagsicherung:	5,0 m breit, bestehend aus 15 cm Kiestragschicht 0/63 mm, darauf 15 cm Asphaltbeton 0/16 mm; Oberer Abschluss Betonkeilfalzplatte b/h/d = 60/80/8 cm, anschließend 2,0 m Rauhstreifen aus Granitschüttsteinen mit Mastix-Verklammerung
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,0 m dick, 1 : 10, 1 : 8, 1 : 6 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,0 m dick, 2,5 m breit mit 0,15 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,5 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	Ca. 10,0 m breit, 1 : 20 geneigt mit Innendeichfußentwässerung (Rigole)
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,25 m, 3,0 m breit in Asphaltbauweise
Beurteilung:	Der Deich ist für schweren Seegang gebaut. Er hat sich bewährt. Schäden, auch nach schweren Sturmfluten, sind nicht aufgetreten. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.


Schardeich Pellworm
NN -0,30m
Deichverteidigungsweg
siehe Detail
+2,00m
+2,25m
+2,50m
1:20
1:3
Kleiabdeckung mit Ansaat
Sandkern
1:3
1:3
1:3

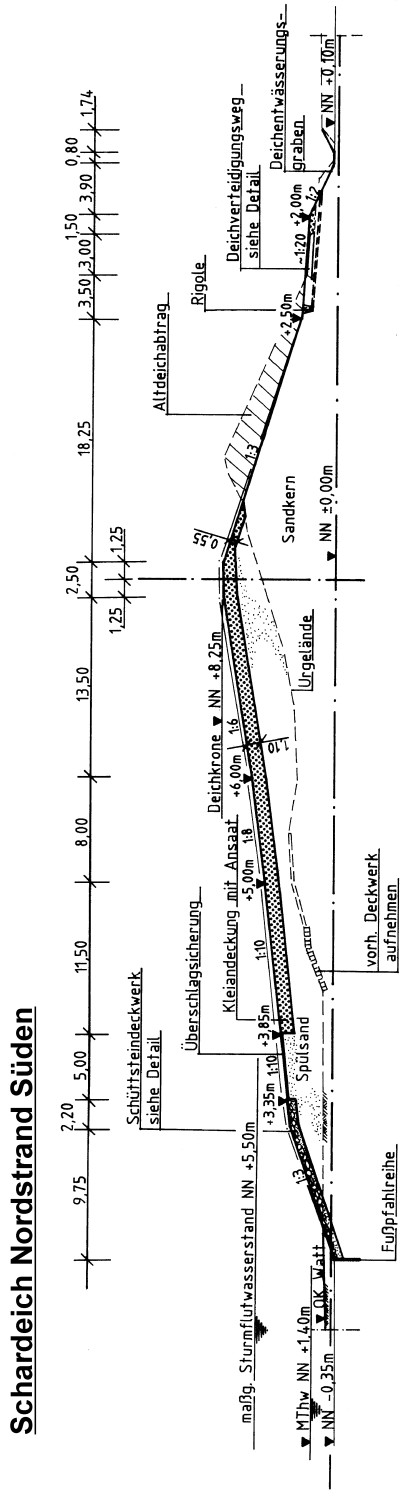
Beispiel 13: **Schardeich Nordstrand, Trendermarsch**

Objekt:	Landesschutzdeich, Deichsollhöhe NN + 8,50 m
Träger der Deichunterhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Lage/Baujahr	Südseite Nordstrand, freie See/1982/84
Beanspruchung:	Schwerer Seegang bei südwestlichen Stürmen
Wasserstände:	MThw = NN + 1,40 m, maßg. Stflwst. NN + 5,50 m
Baugrund:	Nicht tragfähig, daher konvexes Deichprofil innerhalb der vorhandenen Basis
Bauweise:	
Deichkern:	Fein- und Mittelsand aus 3 km entf. Wattentnahme, Vorspülung zur Stabilisierung des Deichfußes
Fußdeckwerk:	Vorh. Findlingsdeckwerk, darüber Granitschüttsteindeckwerk ca. 850 kg/m² Klasse II/III, Verklammerung mit Mastix ca. 65 l/m², Unterbau 20 cm Geröll 32/63 mm; Geotextiler Filter: PE-Vlies ca. 600 g/m², d = > 4 mm
Oberer Abschluss:	Betonkeilfalzplatten b/h/d = 60/80/8 cm
Überschlagsicherung:	5,0 m breit, 15 cm Kiestragschicht 0/63 cm, 15 cm Asphaltbeton 0/16 mm, Betonkeilfalzplatten 60/80/8 cm
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,10 m dick, 1 : 8 und 1 : 6 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,10 m dick mit 15 cm Stich, 2,50 m breit
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,55 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	Zwischen 7,0 m und 9,0 m breit und 1 : 20 geneigt mit Innendeichfußentwässerung (Rigole)
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,50 m, 3,0 m breit in Asphaltbauweise
Beurteilung:	Der Deich ist für schweren Seegang gebaut. Schäden, auch nach schweren Sturmfluten, sind nicht aufgetreten. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.


Schardeich Nordstrand Trendermarsch
2,00
27,45
4,55
6,00
1,50
5,00
3,00
15,00
2,50
1,25
1,25
18,00
3,50
3,00
1,50
5,20
1,40
Deichkrone NN +8,50m
Kleiandeckung mit Ansaat
Deichverteidigungsweg
siehe Detail
Deichentwässerungs-
graben
NN -1,10m
Sandkern
+2,10m
+2,50m
1:20
1:2
1:3
1:3
1:6
1:6
Schüttsteindeckwerk
siehe Detail
Überschlagsicherung
+6,00m
+5,63m
+5,00m
Urgelände
NN ±0,00m
vorh. Deckwerk
bleibt erhalten
mößg. Sturmflutwasserstand NN +5,50m
Vorspülung
NN +2,00m
OK Wall
Wall aus
Spülsand
1:100
MThw. NN +1,40m

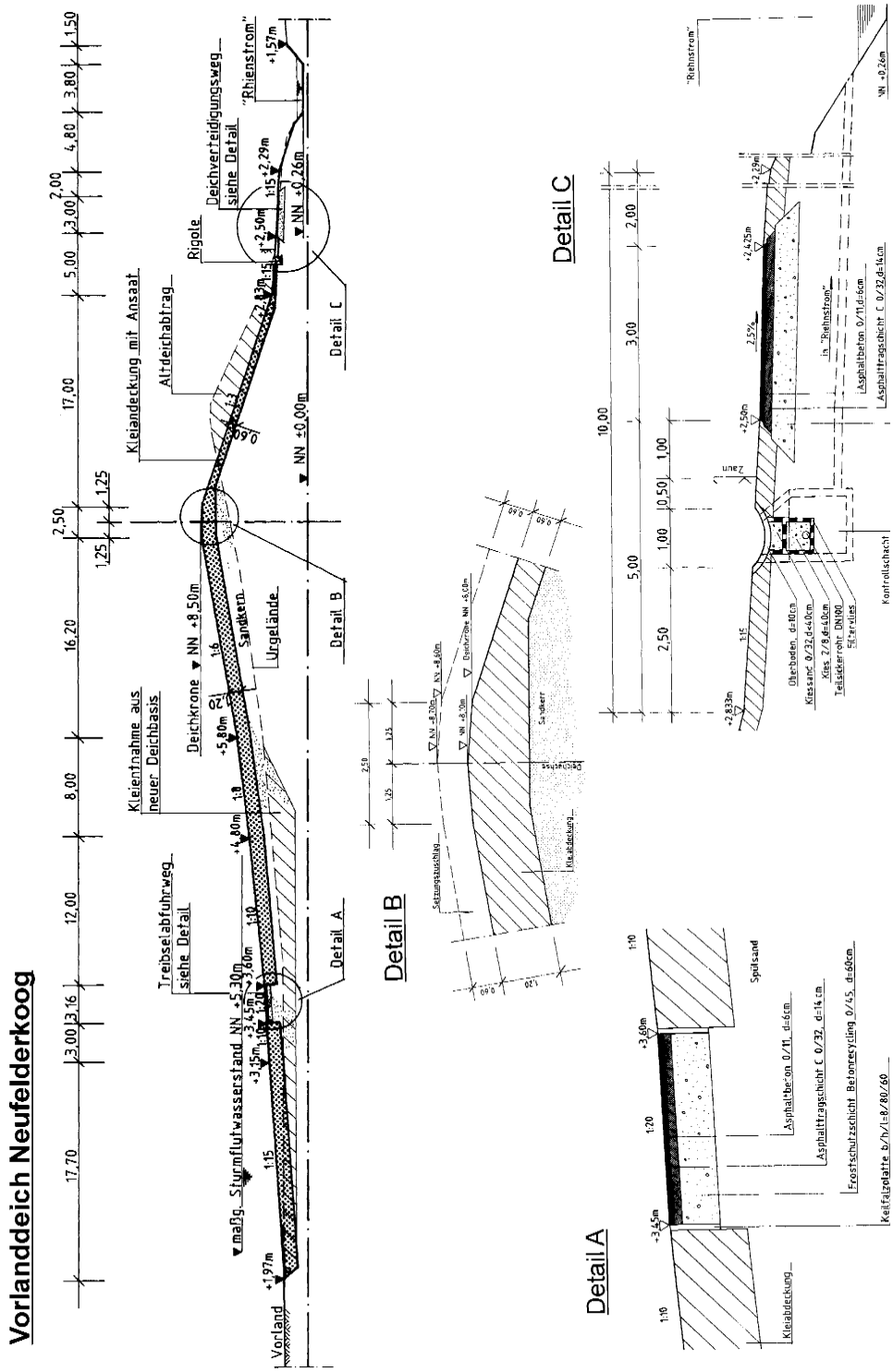
Beispiel 14: **Schardeich Nordstrand, Süden**

Objekt:	Landesschutzdeich, Deichsollhöhe NN + 8,25 m
Träger der Deichunterhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Lage/Baujahr:	Südseite Nordstrand/1986/87
Beanspruchung:	Schwerer Wattseegang bei südwestlichen Stürmen
Wasserstände:	MThw = NN + 1,40 m, maßg. Stflwst. NN + 5,50 m
Baugrund:	Schluffig-feinsandiger Wattboden
Bauweise:	
Deichkern:	Eingespülter Fein- und Mittelsand
Fußdeckwerk:	Granitschüttsteindeckwerk ca. 850 kg/m^2 Klasse II/III, Verklammerung: 65 l/m^2 Mastix, Unterbau: 20 cm Geröll 32/63 mm; PE-Vlies ca. 600 g/m^2; Oberer Abschluss: Betonkeilfalzplatte l/b/d = 60/80/8 cm
Überschlagsicherung:	5,0 m breit, 15 cm Kiestragschicht 0/63 cm, 15 cm Asphaltbeton 0/16 mm, Betonkeilfalzplatte 60/80/8 cm
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,10 m dick, 1 : 10, 1 : 8, 1 : 6 geneigt
Krone:	Kleideckschicht 1,10 m dick mit 0,15 m Stich, 2,5 m breit
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,55 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	NN + 2,5 m, 8 m breit, 1 : 20 geneigt, Entwässerungsrigole mit Ablaufdrän in Vorfluter
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,30 m, 3,0 m breit in Asphaltbauweise
Beurteilung:	Der Deich ist für schweren Seegang gebaut. Er hat sich bewährt. Schäden, auch nach schweren Sturmfluten, sind nicht aufgetreten. Die Grasnarbe wird durch Schafbeweidung gepflegt.

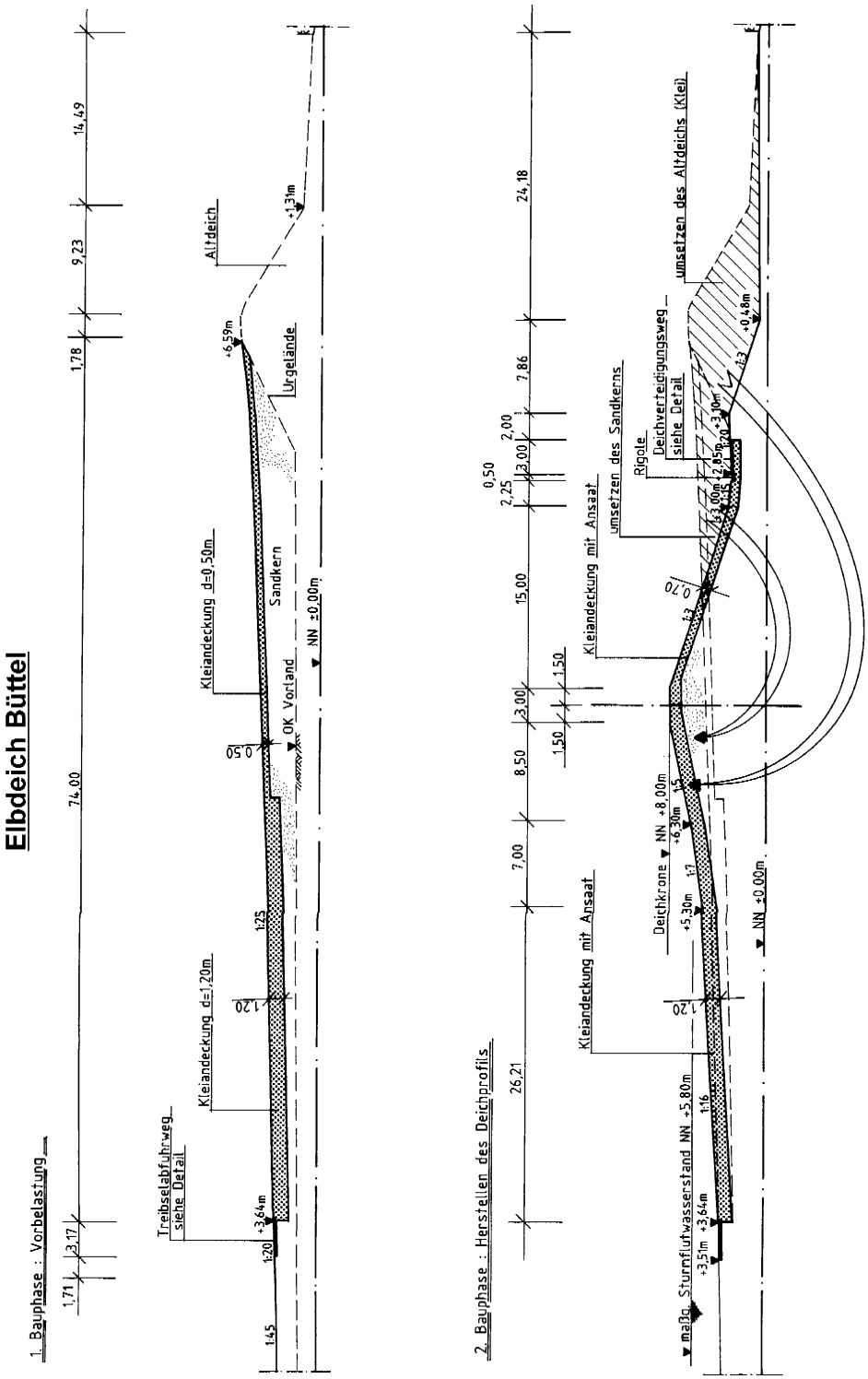

Schardeich Nordstrand Süden
9,75
2,20
5,00
11,50
8,00
13,50
2,50
1,25
1,25
18,25
3,50
3,00
1,50
3,90
0,80
1,74
Schüttsteindeckwerk
siehe Detail
Überschlagsicherung
Kleiandeckung mit Ansaat
Deichkrone NN +8,25m
Altdeichabtrag
Rigole
Deichverteidigungsweg
siehe Detail
Deichentwässerungs-
graben
Sandkern
Urgelände
NN ±0,00m
NN ±0,10m
+2,50m
+6,00m
+5,00m
+3,85m
+3,35m
1:3
1:10
1:8
1:6
1:20
2,00m
maßg. Sturmflutwasserstand NN +5,50m
MThw NN +1,40m
NN -0,35m
OK Watt
Spülsand
vorh. Deckwerk
aufnehmen
Fußpfahlreihe

Beispiel 15: **Deichverstärkung Neufelderkoog**

Objekt:	Landesschutzdeich, Sollhöhe NN + 8,50 m
Träger der Deichunterhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	2003 bis 2006
Lage:	Am Elbeästuar, hinter ca. 1,0 km Vorland NN + 2,00 m
Beanspruchung:	Schwerer Wattseegang bei westlichen Stürmen
Wasserstände:	MThw = NN + 1,51 m, $HHw_{maßg.}$ = NN + 5,30 m
Baugrund:	Schluffiger bis stark schluffiger Feinsand mit bis zu m-starken Zwischenlagen aus Klei bis auf NN – 28,00 m hinabreichend
Bauweise:	Außendeichverstärkung in Trockenbauweise
Deichkern:	Fein- und Mittelsand
Deichfuß:	Ins Vorland auslaufender Kleikeil, 1 : 15 geneigt
Treibselabfuhrweg:	3,00 m breit, 1 : 20 geneigt, 6 cm Deckschicht aus Asphaltbeton 0/11, 14 cm Asphalttragschicht C 0/32, 60 cm Tragschicht aus Betonrecycling 0/45, beidseitig eingefasst mit Betonkeilfalzplatten, h = 80 cm
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,20 cm dick, 1 : 10, 1 : 8, 1 : 6 geneigt
Krone:	2,50 m breit, Kleidecke 1,20 m dick mit 0,10 m Stich
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,60 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	NN + 2,83 m, 10 m breit, 1 : 15 geneigt, anschließend Deichentwässerungsgraben, Deichfußentwässerung über filterstabil hergestellte Rigole mit Dränrohr DN 100, Dränschächten sowie Querableitern zum Deichgraben
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,50 m, 3,00 m breit, 6 cm Deckschicht aus Asphaltbeton, 14 cm Asphalttragschicht C 0/32, 40 cm Tragschicht aus Betonrecycling 0/45
Beurteilung:	Noch nicht möglich, da Deich z. Zt. in Bau

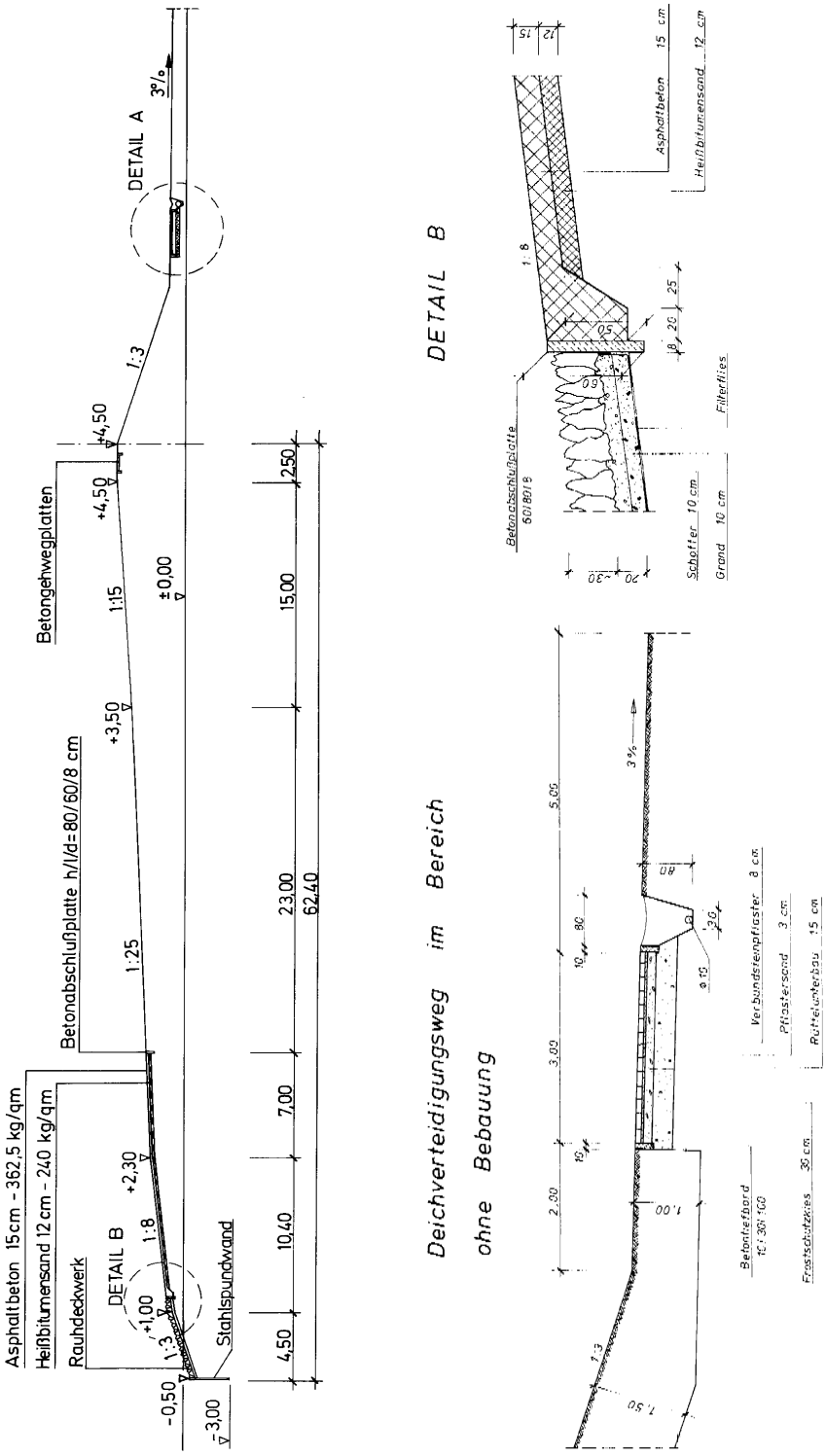

Vorlanddeich Neufelderkoog
Detail A
Detail B
Detail C
Vorland
Kleiabdeckung mit Ansaat
Altdeichabtrag
Rigole
Deichverteidigungsweg
siehe Detail
"Rhienstrom"
Kleientnahme aus neuer Deichbasis
Deichkrone NN +8,50m
Sandkern
Urgelände
Treibselabfuhrweg
siehe Detail
mittl. Sturmflutwasserstand NN +5,30m
Kleiabdeckung
Spülsand
Asphaltbeton 0/11, d=6cm
Asphalttragschicht C 0/32, d=14 cm
Frostschutzschicht Betonrecycling 0/45, d=60cm
Keilfalzplatte b/h/l=8/80/60
Zaun
Überboden, d=40cm
Kiessand 0/32,d=40cm
Teilsickerrohr DN100
Asphaltbeton 0/11,d=6cm
Asphalttragschicht C 0/32,d=14cm
Kontrollschacht

Beispiel 16:	**Deichverstärkung Büttel**
Objekt:	Landesschutzdeich, Sollhöhe NN + 8,00 m
Träger der Deichunterhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	1983 (1. Bauphase), 1993/94 (2. Bauphase)
Lage:	An der Unterelbe, hinter Vorland
Beanspruchung:	Mittlere Seegangsbelastung bei Stürmen aus West/Südwest
Wasserstände:	MThw NN + 1,52 m, Hw_{Bem} NN + 5,80 m
Baugrund:	Ton und Schluff in wechselnden Lagen, weich bis sehr weich, bis NN – 18,5 hinabreichend
Bauweise:	2-phasige Bauweise mit Vorbelastung des weichen Baugrundes
1. Bauphase (Vorbelastung):	Teilverstärkung des Deiches durch Anlegen einer flach geneigten Außenböschung unter Beibehaltung des Altdeichprofils im Kronen- und Binnenböschungsbereich, Kleibodengewinnung aus der Außenböschung des Altdeiches, Deichkern aus eingespültem Fein-/Mittelsand, Abdeckung des Deichkerns mit Kleiboden, Bau des Treibselabfuhrweges
2. Bauphase (Endausbau):	Ausbau des Deiches auf das Sollbestick nach mehrjähriger Liegezeit der Vorbelastung, Abtragung des Altdeiches
Treibselabfuhrweg:	3,0 m breit, 1 : 20 geneigt, Asphalttragschicht 360 kg/m², Asphaltdeckschicht 75 kg/m²
Außenböschung:	Kleideckschicht 1,20 m dick
Krone:	Kleideckschicht 1,20 m dick, Kronenbreite 3,0 m
Binnenböschung:	Kleideckschicht 0,70 m dick, 1 : 3 geneigt
Binnenberme:	NN + 3,00 m, 7,75 m breit, 1 : 20 geneigt, anschließend Deichentwässerungsgraben
Deichverteidigungsweg:	OK NN + 2,85 m, 3,0 m breit, Betonverbundpflaster d = 10 cm, 1 : 20 geneigt, Tragschicht Kies GW, d = 30 cm, Frostschutzschicht Sand SE, d = 30 cm
Beurteilung:	Der Deich hat den Sturmflutbelastungen schadlos standgehalten. Die Deichflächen werden mit Schafen beweidet.


Elbdeich Büttel
1. Bauphase : Vorbelastung
2. Bauphase : Herstellen des Deichprofils
Altdeich
Urgelände
Kleiandeckung d=0,50m
Sandkern
OK Vorland
NN ±0,00m
Kleiandeckung d=1,20m
Treibselabfuhrweg siehe Detail
Kleiandeckung mit Ansaat
umsetzen des Sandkerns
Rigole
Deichverteidigungsweg siehe Detail
umsetzen des Altdeichs (Klei)
Deichkrone
maßg. Sturmflutwasserstand NN +5,80m
74,00
14,49
9,23
1,78
3,17
1,71
24,18
26,21

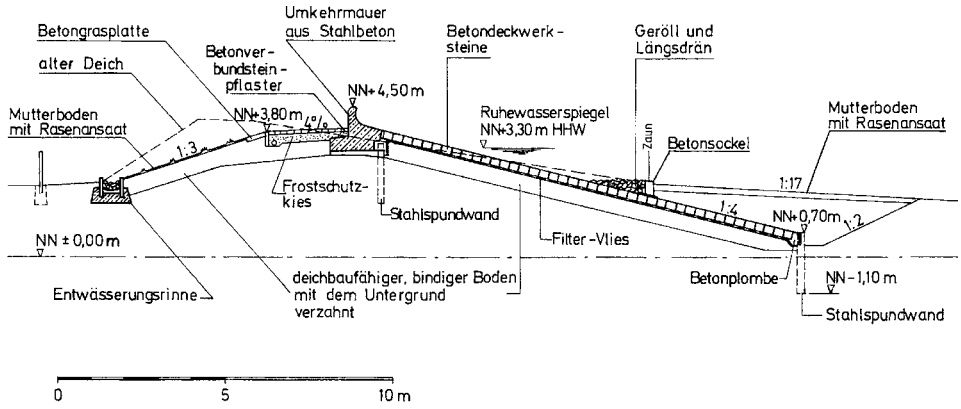
Beispiel 17: **Schardeich an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins**

Objekt:	Landesschutzdeich Probstei
Träger der Deicherhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	1974/1990 (Deichverstärkung)
Lage:	Bis auf schmalen niedrigen Sandstrand scharliegender Deich an der freien Ostseeküste, westlicher Außenbereich Kieler Förde
Beanspruchung:	Schwerer Seegang bei Stürmen aus NO/NW
Wasserstände:	BHW = NN + 3,40 m; HHW (13. 11. 1872) = NN + 2,97 m
Baugrund:	Differierende eiszeitliche Ablagerungen, größtenteils Mergel und Sande, abschnittsweise Torflinsen
Bauweise:	Sollhöhe NN + 4,50 m, Länge 14,3 km
Deichkörper:	Oberhalb ca. NN +/– 0,00 m angefahrener Geschiebelehm
Fußdeckwerk:	Raudeckwerk aus gesetzten gebrochenen Granitsteinen, Steingewicht >35 kg/Stück, auf Filtervlies 400 g/m², 20 cm Grand 30/60 mm; scharliegende Abschnitte bei Bedarf nachträglich mit kolloidalem Mörtel verklammert, mit Fußsicherung aus 2,50 m langer Stahlspundwand
Oberer Abschluss:	OK NN + 1,13 m, 60 cm hohe Betonwinkelstützen mit 25 cm Fußbreite, 8 cm Wandstärke und PVC-Schlauchdichtung
Überschlagsicherung:	16,40 m breit, davon 9,40 m mit 1 : 8 und 7 m mit 1 : 25 geneigt; mit 12 cm Heißbitumenkies und 15 cm Asphaltbeton
Oberer Abschluss:	NN + 2,58 m, Betonkeilfalzplatten 80/8/60 cm
Außenböschung:	Neigung 1 : 25 und 1 : 15
Krone:	2,50 m breit mit 1,50 m breitem Betongehwegplattenweg, eingefasst mit Betonrasenborden mit Betonnackenstütze
Binnenböschung:	Neigung 1 : 3
Deichverteidigungsweg:	OK mind. NN + 1,00 m, z.T. wassergebunden, Asphalt oder Betonverbundstein, im Regelfall 3,00 m breit
Buhnensystem:	Auf ca. 10 km Länge T-Buhnen aus gebrochenen Natursteinen zur Stabilisierung des Vorstrands (Mindestbedingung für Vorstrand: Neigung 1 : 60, bei NN+/– 0,00 m an Deckwerk anschließend); Abstand 200 m, 100 m lang, 1,50 m Höhe, Breite Buhnenkopf 40 m, seeseitige Böschung 1 : 4 (ursprünglich 1 : 3; wurde, soweit erforderlich, auf 1 : 4 abgeflacht), sonstige Böschungen 1 : 3 (vgl. auch EAK 2002, Anhang Empfehlung F, Beispiel Nr. 19)
Beurteilung:	Das Deich-/Buhnensystem ist für schweren Seegang gebaut und hat sich bis heute gut bewährt; bisher sind allerdings nur wenige Sturmfluten in einer Stärke deutlich unter dem Bemessungsereignis eingetreten. Schäden traten lediglich am künstlich errichteten dünenähnlichen Strandwallsystem auf, welches zur Verringerung des Sandfluges auf die Grasnarbe errichtet und gefördert wurde. Der Deich wird größtenteils gemäht; nur außerhalb der Fremdenverkehrssaison wird die Grasnarbe durch Schafbeweidung kurz gehalten. Der intensive Fremdenverkehr und die zahlreichen Veranstaltungen auf dem Deich bedeuten eine zusätzliche starke Beanspruchung und erschweren die Unterhaltung.

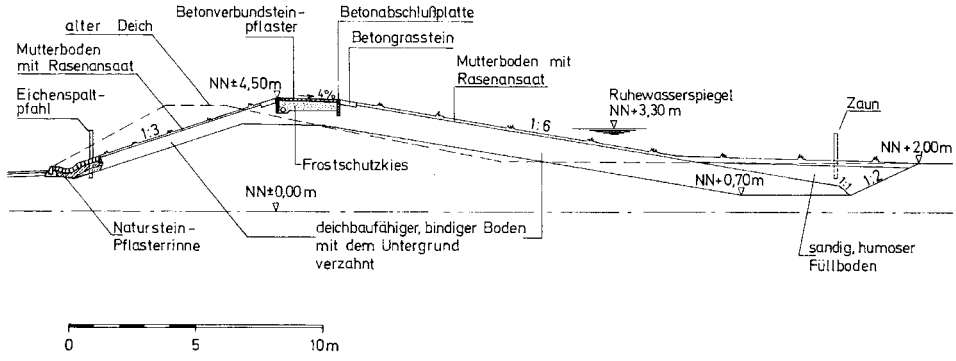

Asphaltbeton 15cm - 362,5 kg/qm
Heißbitumensand 12 cm - 240 kg/qm
Rauhdeckwerk
DETAIL B
+2,30
1:8
+1,00
1:3
Stahlspundwand
-0,50
-3,00
4,50
10,40
7,00
23,00
62,40
Betonabschlußplatte h/l/d=80/60/8 cm
+3,50
1:25
Betongehwegplatten
+4,50
1:15
±0,00
1:3
+4,50
DETAIL A
3%
15,00
2,50
DETAIL B
Deichverteidigungsweg im Bereich
ohne Bebauung
Betonabschlußplatte 60/80/8
1:8
Asphaltbeton 15 cm
Heißbitumensand 12 cm
Schotter 10 cm
Grand 10 cm
Filtervlies
Betonfertigbord
Verbundsteinpflaster 8 cm
Pflastersand 3 cm
Rüttelunterbau 15 cm
Frostschutzkies 30 cm
5,05
3,09
2,30
1,00
1:3
7,50
3%

Beispiel 18 **Vorlanddeich Abschnitt Grömitz**

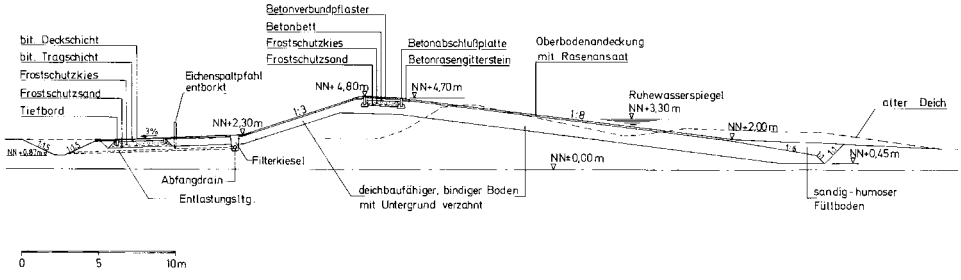
Objekt:	Landesschutzdeich vor der Klosterseeniederung; Abschnitt Grömitz
Träger der Deicherhaltung:	Land Schleswig-Holstein
Baujahr:	1878/79, teilweise verstärkt in 1990/92 und 1998
Lage:	Im nördlichen Bereich der Lübecker Bucht, südost-exponiert 80–100 m landwärts eines zur Kurpromenade umgestalteten Strandwalles
Beanspruchung:	Hochwasser und mittlerer Seegang bei Stürmen aus NO
Wasserstände:	MW = NN -0,01 m; BHW = NN + 3,30 m; HHW (13. 11. 1872) = NN + 2,82 m
Baugrund:	Fein- und Mittelsande, teilweise kiesig und schluffig
Bauweise:	
Deichkern:	Schluff und Sand, schwach tonig bis tonig, sandig bis schwach kiesig (Geschiebemergel)
Außenböschung:	a) Betonformsteindeckwerk d = 0,18 m, (Länge rd. 100 m), 1:4 geneigt, Einzelsteine 0,33 m · 0,33 m, horizontaler Verband und vertikaler Verbund auf Filtervlies 800 g/m^2 Unterer Abschluss: Fußspundwand Larssen 20, OK NN + 0,70 m, 1,8 m lang Oberer Abschluss: Wellenumkehrmauer aus Stahlbetonfertigteilen (l = 2,00 m) zwischen NN +3,80 m und NN + 4,50 m (Mauerkronenhöhe), seewärts gesichert durch Stahlspundwand Larssen 20, l = 1,8 m b) Begrünter Deichbereich: Deckschicht aus Geschiebemergel, >1,0 m dick, auf ca. 1025 m 1:6 bzw. auf ca. 555 m Länge 1:8 geneigt, am Deichfuß ca. 1,3 m tief in den sandigen Untergrund eingebunden; Grasansaat auf <0,05 m Mutterboden
Deichkrone:	a) Deckwerks- (Höhe NN + 3,90 m) und b) begrünter Bereich (Höhe NN + 4,50 m): Breite 2,50 m, 4 % Gefälle, eingebettet in die >1,0 m starke Deckschicht Betonverbundsteinpflaster d = 0,10 m auf >0,30 m Frostschutzkies mit Kofferbettdrainage DN 100, eingefasst mit Keilfalzplatten 60/80/8 cm; im nördlichen Bauabschnitt (Höhe NN + 4,80 m) 3,0 m Breite, 2,50 m breit mit Betonverbundsteinpflaster als Geh- und Radweg befestigt: d = 0,10 m, verlegt in 0,15 m Betonbett B 10, 4 % Gefälle zur Seeseite auf >0,30 m Frostschutzkies, beidseits eingefasst durch Keilfalzplatten 60/80/6 cm mit versetztem Falz (vgl. Abschn. 2.2.5, Abb. G 12)
Innenböschung:	Deckschicht aus Geschiebemergel >0,5 m dick, 1 : 3 geneigt
Deichverteidigungsweg:	3 m breit, bituminös befestigt einschließlich Bankette, OK i.M. NN + 1,90 m
Beurteilung:	Der verstärkte Deich ist für Ostsee-Seegang, gedämpft durch das „Riff“ Kurpromenade, gebaut und hat sich bisher bewährt. Die Grasnarbe der Deichböschungen wird gemäht. Eine Schafbeweidung ist aufgrund der Lage im Ostseeheilbad Grömitz nicht möglich. Der Fremdenverkehr bedeutet für den Deich eine zusätzliche starke Beanspruchung.



Deichprofil in der binnen- und außendeichs bebauten Ortslage von Grömitz;
(Deichverstärkung, 1. Bauabschnitt, 1990/92)



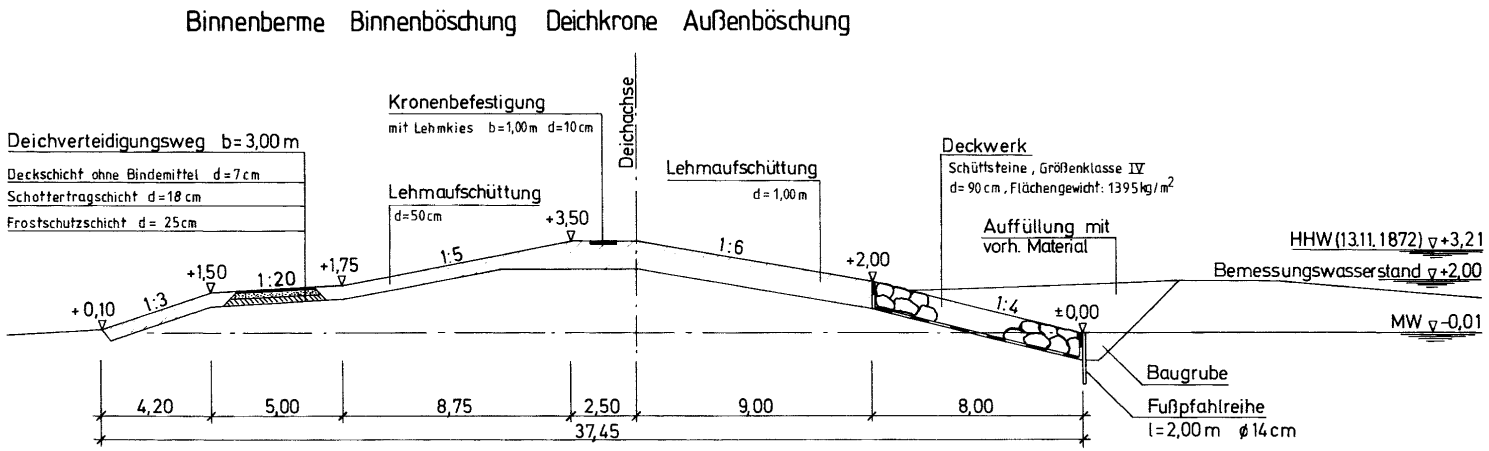
Deichprofil in der Ortslage von Grömitz;
(Deichverstärkung, 1. Bauabschnitt, 1990/92)



Deichprofil in der nördlichen Ortsrandlage von Grömitz;
(Deichverstärkung, 2. Bauabschnitt, 1998)

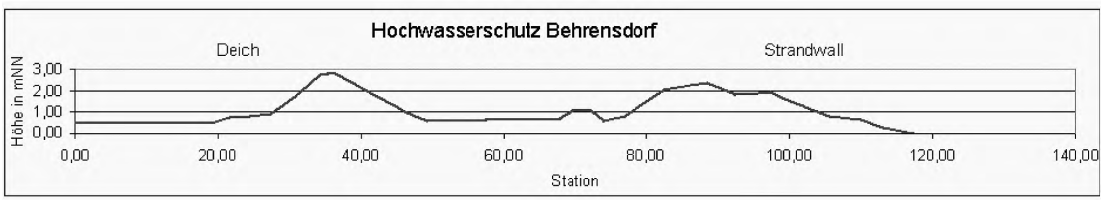
Beispiel 19:	**Sonstiger Deich nördlich der Schleimündung, Ostseeküste, Schleswig-Holstein**
Träger der Unterhaltung:	Wasser- und Bodenverband Oehe-Maasholm
Baujahr:	Geplante Verstärkung ab 2002
Lage:	Ostsee-Küstenabschnitt nördlich der Schleimündung; Schardeich mit geringer vorgelagerter Strandbreite
Beanspruchung:	Mittlerer Seegang bei Hochwasser und nordöstlichem Sturm
Baugrund:	Moränenablagerungen mit eingelagerten marinen Weichschichten
Bauweise (geplant):	
Deichkern:	Geschiebelehm/-mergel mit eingelagertem Sandkern
Fußdeckwerk:	Schüttsteine auf Vlies mit Fußpfahlreihe
Außenböschung:	Lehmboden, 1,00 m dick, 1 : 6 geneigt
Deichkrone:	Lehmschicht, 1,00 m dick, ausgerundet
Weg:	Lehmkies, 0,10 m dick
Binnenböschung:	Lehmboden-Aufschüttung, 0,50 m dick, 1 : 5 geneigt
Binnenberme:	Auf NN + 1,75 m, 5,00 m breit, 1 : 20 geneigt Deichverteidigungsweg mit wassergebundener Decke
Beurteilung:	Der Deich wird als „sonstiger Deich“ im Sinne des Landeswassergesetzes nach seiner Fertigstellung einen begrenzten Hochwasserschutz bis zu dem gewählten Ausbauhochwasser von NN + 2,00 m gewährleisten.

Beispiel 20:	**Deich mit Strandwall Ostbereich der Kieler Bucht, Ostseeküste, Schleswig-Holstein**
Träger der Unterhaltung:	Deich- und Entwässerungsverband Kembs-Behrensdorf
Lage:	Ostsee, Küstenabschnitt im Ostbereich der Kieler Bucht
Beanspruchung:	Starker Seegang bei Hochwasser und nordöstlichem Sturm
Baugrund:	Moränenablagerungen mit eingelagerten marinen Weichschichten
Bauweise:	
Strandwall und Düne:	Aus vorhandenem Material entstandene Küstenformation, durch Unterhaltungsmaßnahmen wie Aufschieben und Auffüllen von Fehlstellen nach Hochwasserereignissen gepflegt
Deichkern:	Geschiebelehm/-mergel mit eingelagerten Sanden
Außenböschung:	Lehmboden, 1 : 5 geneigt
Deichkrone:	NN + 2,80 m, im Überlaufbereich NN + 2,50 m
Binnenböschung:	Lehm, 1 : 2,5 (im Überlaufbereich 1 : 5) geneigt,
Deichverteidigungsweg:	NN + 0,60 m, wassergebundene Decke
Beurteilung:	Der Hochwasserschutz besteht aus wellendämpfendem Strandwall und Vorland sowie dem Deich selbst. Eine Bemessung des Deiches auf eine Hochwasser-Jährlichkeit erfolgte nicht; die Schutzwirkung von Strandwall und Vorland ist nicht rechnerisch beschrieben. Insgesamt gewährleistet der Deich gemäß seiner Bestimmung „sonstiger Deich“ gemäß Landeswassergesetz für die in seinem Schutz liegenden (Siedlungs-)gebiete einen begrenzten Hochwasserschutz.



Beispiel 19: sonstiger Deich nördlich der Schleimündung Ostseeküste, Schleswig-Holstein

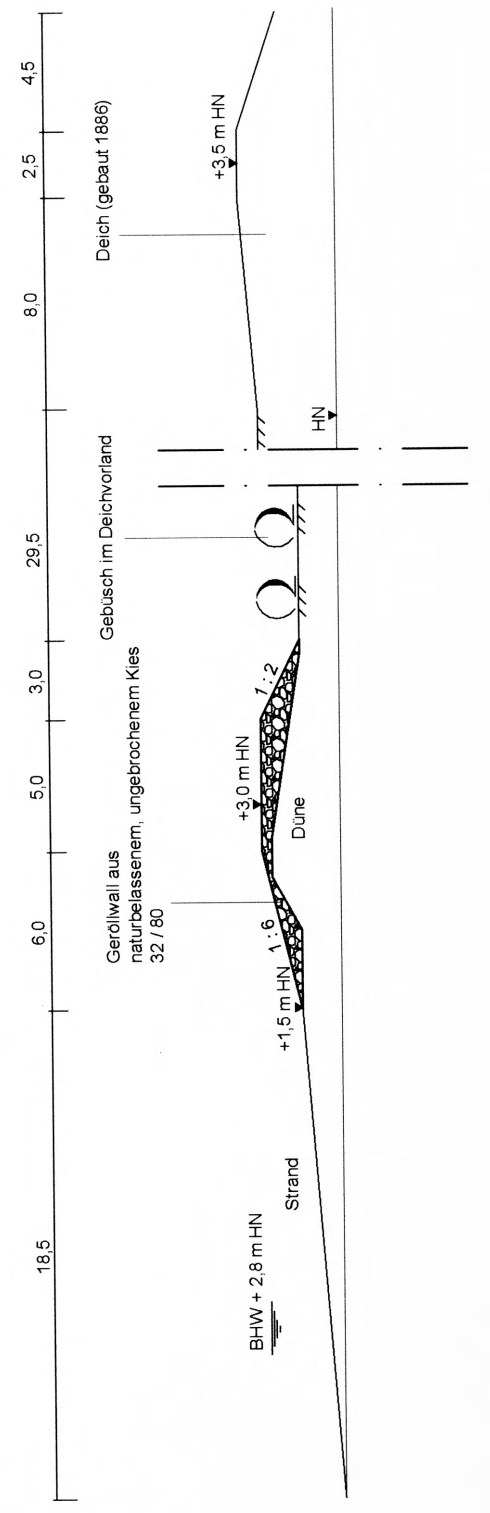




Beispiel 20: Deich mit vorgelagertem Strandwall an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins

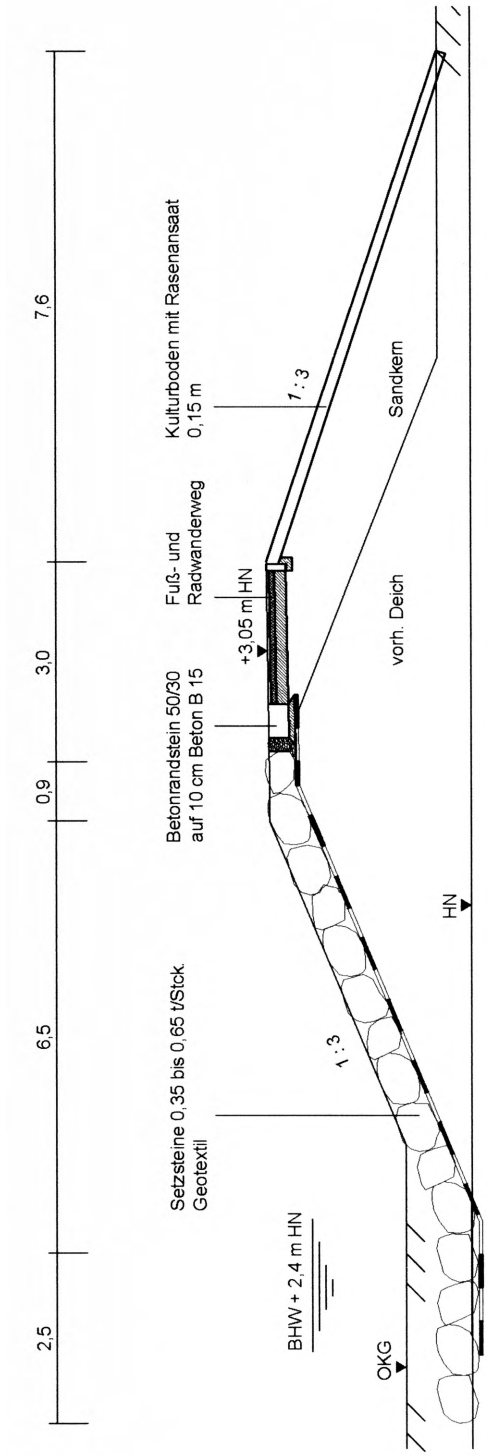
Beispiel 21: **Deich Börgerende mit vorgelagertem Geröllwall**

Objekt:	Landesschutzdeich
Träger der Deicherhaltung:	Land Mecklenburg-Vorpommern, StAUN Rostock
Baujahr:	Deich: 1886 Geröllwall: 1998
Lage:	Mecklenburger Bucht, schmaler Kiesstrand, sehr niedriges, schmales Deichvorland mit Buschbewuchs
Beanspruchung:	Bei schweren Sturmfluten, schwerer Seegang
Wasserstände:	BHW: + 2,80 m HN
Baugrund:	Geschiebemergel mit geringer Überdeckung mit sandigem und organogenem Material
Bauweise:	
Altdeich:	
Material:	Boden aus Vorlandbereich
Außenböschung:	Neigung 1 : 6
Krone:	Neigung 1 : 15, Breite 3,0 m, OK ca.+ 3,20 m HN
Innenböschung:	Neigung 1 : 2
Deichverteidigungsweg:	Öffentliche Straße mit Asphaltdecke, OK: 2,0 m HN, Breite: 3,5 m
Vorland:	Breite: 25,0 m, OK +1,5 m HN
Geröllwall:	
Material:	Geröll 30–80 mm
Außenböschung:	Neigung 1 : 6
Krone:	Breite: 5,0 m
Innenböschung:	Neigung 1 : 2
Beurteilung:	Der über 100 Jahre alte Deich selbst ist wegen seiner Dimensionierung (Kronenhöhe nur 0,4 m über BHW) und seines Aufbaues (keine definierte bindige Abdeckschicht) nicht in der Lage, Seegangsbelastung aufzunehmen. Zur Seegangsdämpfung wurde statt der bei Sturmfluten nahezu völlig abgebrochenen Düne ein Geröllwall angelegt. Auch bei Eintritt des BHW wird die erforderliche Seegangsreduzierung erwartet, da im Gegensatz zu Sandkörpern, die bei Belastung in Richtung See umgelagert werden, ausreichend dimensionierte Geröllwälle zur Landseite hin höher aufgeworfen werden. Eine Belastung mit einem Wasserstand ca. 1 m unter dem BHW hat nur zu begrenzten Umlagerungen geführt, die die Funktionstüchtigkeit nicht beeinträchtigen.


4,5
2,5
8,0
29,5
3,0
5,0
6,0
18,5
Deich (gebaut 1886)
+3,5 m HN
HN
Gebüsch im Deichvorland
Geröllwall aus
naturbelassenem, ungebrochenem Kies
32 / 80
1 : 2
+3,0 m HN
Düne
1 : 6
+1,5 m HN
Strand
BHW + 2,8 m HN

Beispiel 22: **Deichdeckwerk Thiessow**

Objekt:	Landesschutzdeich
Träger der Deicherhaltung:	Land Mecklenburg-Vorpommern, StAUN Stralsund
Baujahr:	1997
Lage:	Greifswalder Bodden, Südost-Rügen
Beanspruchung:	Mittelschwerer Seegang bei normalen und Hochwasserständen, Strömung und leichter Seegang infolge Diffraktion bei schweren Sturmfluten, Eisgang
Wasserstände:	BHW: + 2,40 m HN
Baugrund:	Dünen- und Seesand
Bauweise:	
Deich:	
Material:	Bindiger/rolliger Erdstoff
Außenböschung:	Neigung 1 : 3, einlagiges, unverklammertes Natursteindeckwerk auf Geotextil, im Fußbereich bei Scharlage zweilagig
Krone:	Neigung 3 %, Breite 3,5 m, Kronenhöhe + 3,05 m HN, asphaltierter Unterhaltungs- und Radweg, Deckwerksanschluss mit flachliegendem Betonrandstein und Mastix verklammertem Schotter und Zwicksteinen
Innenböschung:	Neigung 1 : 3
Deichverteidigungsweg:	Krone
Vorland:	Schmaler Strand stabilisiert durch freistehende Wellenbrecher, teilweise völlige Scharlage, steile Schorreneigung
Beurteilung:	Konstruktion hat sich sowohl bei den permanenten Belastungen als auch bei Sturmfluten bewährt.


7,6
3,0
0,9
6,5
2,5
Kulturboden mit Rasenansaat
0,15 m
1 : 3
Sandkern
Fuß- und
Radwanderweg
+3,05 m HN
vorh. Deich
Betonrandstein 50/30
auf 10 cm Beton B 15
HN
Setzsteine 0,35 bis 0,65 t/Stck.
Geotextil
1 : 3
BHW + 2,4 m HN
OKG

7. Schriftenverzeichnis zu Empfehlungen G

Allgemein:

Brößkamp, K.: Seedeichbau in Theorie und Praxis. Vereinigung der Nassbaggerunternehmungen e.V., Hamburg 1976.

DGGT: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. – EBGEO, Verlag Ernst & Sohn Berlin, 1997.

EAK 1993: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken. Die Küste, H. 55, 1993.

Lüders, K. u. Luck, G.: Kleines Küstenlexikon. Verlagsbuchhandlung Aug. Lax, Hildesheim,1976.

Saggau, W.; Stadelmann, R.: Ein Deich wird gebaut – Vordeichung Nordstrander Bucht. Husum Druck- und Verlagsgesellschaft, 1988.

Ergänzende Literatur

Erchinger, H. F.: Wellenauflauf an Seedeichen – Naturmessungen an der ostfriesischen Küste – Mitt. d. Leichtweiß-Inst. der TU Braunschweig, H. 41, 1974.

Erchinger, H. F.: Küsteningenieurwesen, Abschn. 16 im Taschenbuch der Wasserwirtschaft, Hrsg. H. Bretschneider et al, Verlag Paul Parey, Hamburg u. Berlin, 7. Aufl., 1993.

Erchinger, H. F.: Intaktes Deichvorland für Küstenschutz unverzichtbar. Wasser und Boden, 47. Jahrgang, H. 2, 1995 (a).

Erchinger, H. F.: Zunehmende Bedrohung der Küste durch Sturmfluten. Wasser und Boden, H. 12, 1995 (b).

Erchinger, H. F. u. Thorenz, F.: Deichvorland und Sommerdeiche als aktiver Küstenschutz. In 1000 Jahre Leben mit dem Wasser in Niedersachsen, Hrsg. Kramer, J.; Erchinger, H. F. u. Schwark, G., S. 254-259, Verlag Rautenberg, Leer, 1999.

FGSV: Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus, Köln, 1994.

Jaecklin, F. P. u. Floss, R.: Methode zur Bemessung von Geotextilien im Straßenbau auf besonders weichem Untergrund. K-Geo Hamburg, 1988.

Janssen, Th. u. Ehmen,J.: Der neue Seedeich – hoch, breit und stark in: Das Bollwerk des Norderlandes, S. 123-160. Hrsg. Deichacht Norden, Norden 1989.

Kniess, H.-G.: Bemessung von Schüttsteindeckwerken im Verkehrswasserbau, Mitt. Bl. d. BAW Nr. 42, 1977.

Kramer, J.; Rohde, H.: Historischer Küstenschutz, Hrsg. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft, Konrad Wittwer GmbH, Stuttgart, 1992.

Stadelmann, R.: Meer – Deiche – Land, Küstenschutz und Landgewinnung an der deutschen Nordseeküste, Karl Wachholtz Verlag Neumünster, 1981.

Zu Abschnitt 2 (ergänzende Literatur)

Bezirksregierung Weser-Ems: Generalplan Küstenschutz für den Regierungsbezirk Weser-Ems. Oldenburg, 1997.

Coldewey, H.-G. u. Erchinger, H. F. : Deichvorland: Seine Entwicklung zwischen Ems und Jade und die Untersuchungen im Forschungsvorhaben „Erosionsfestigkeit von Hellern". Die Küste, H. 54, 1992.

Erchinger, H. F.: Wellenbrecher vor dem Deich – Aktiver Küstenschutz fördert die natürlichen Abwehrkräfte des Deichvorlandes in: Das Bollwerk des Norderlandes, S. 169 – 180, Hrsg. Deichacht Norden, Norden, 1989.

Erchinger, H. F.: Anfall und Entsorgung von Treibsel an der niedersächsischen Nordseeküste. Wasser und Abfall H. 1/2, 2001.

Erchinger, H. F.; Coldewey, H.-G. u. Meyer, C.: Interdisziplinäre Erforschung des Deichvorlandes im Forschungsvorhaben „Erosionsfestigkeit von Hellern". Die Küste, H. 58, 1996.

Kramer, J.: Küsten- und Inselschutz. 1000 Jahre Leben mit dem Wasser in Niedersachsen, Hrsg. Kramer, J.; Erchinger, H. F. u. Schwark, G.. Verlag Rautenberg, Leer, 1999.

MLR : Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein, Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus, 2001.

Nieders. Minister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Generalplan Küstenschutz Niedersachsen, Hannover, 1973.

Peters, K.-H.: Deichbau und Deichpflege für den Küstenschutz in Niedersachsen. Wasser und Abfall, H. 9, 1999.

Thorenz, F.: Küstenschutz auf den ostfriesischen Inseln: Aufgaben und Strategien. Wasser und Abfall, H. 10, 2001.

Zu Abschnitt 3

Alai-Omid, M. H.: Bodenphysikalische Eigenschaften der glazialen Beckensedimente Schl.-Holsteins. Analyse ihrer Beziehungen und Entwicklung einer Vorhersagegleichung für ihre Kompressibilität. Diss. CAU Kiel, 142 S., 1976.

Bartels-Langweige, J.: Befahrbarkeit bindiger Böden mit Raupenfahrzeugen, TIS 2/88, S. 53–57 + 72, 1988

Brandt, G. u. Richter, C.: Geophysikalische Untersuchung der Beschaffenheit der Deichanlagen und der geohydraulischen Eigenschaften des Untergrundes. – Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, Bd.5, 1998 (1), S. 43–49, Kleinmachnow, 1998.

EAK 1993: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzbauwerken. – Die Küste, H. 55, 1993.

Jörs, O. von: Erfahrungen bei der Ermittlung von c_u-Werten mit der Hilfe von Drucksondierungen in bindigen Böden. Geotechnik 21, S. 26–27, 1998.

Kiekbusch, M.: Beziehung zwischen Konsistenzzahl und undränierter Scherfestigkeit. – Bautechnik 76, H. 9, S. 775–784, 1999.

Langer, M.: Mineralogische und rheologische Untersuchungem an tonigem Deichbaumaterial. Z. der Deutschen Geologischen Gesellschaft, Bd. 115, S. 551–565, 1963.

Lunne, R.; Robertson, P. K. u. Powell J. J. M.: Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice. E & FN SPON, London, 1997.

Mardinli, M. A. u. Walger, E.: Beziehungen zwischen Kompressibilität und bodenphysikalischen Parametern von Marschsedimenten Schleswig-Holsteins. Meyniana Bd. 28, S. 45 – 67, Kiel, 1976.

Richwien,W. u. Weißmann, R : Zur Standsicherheit von Deichbinnenböschungen bei Wellenüberlauf. Teil I – IX, Essen 1995 (unveröffentlicht), 1995.

Schuppener, B.: Erfahrungen mit bodenmechanischen Laborversuchen am Klei. – Mitt.- Bl. d.. BAW, Nr. 60, S. 93–113, 1987.

Schuppener, B. u. Kiekbusch, M.: Plädoyer für die Abschaffung und den Ersatz der Konsistenzzahl. – Geotechnik, Bd. 11, S. 186–192, 1988.

Soos, P. von: Eigenschaftten von Boden und Fels, ihre Ermittlung im Labor. Grundbautaschenbuch, 6. Aufl., Teil 1: Geotechnische Grundlagen, 2001.

Striegler, W.: Bodenmechanische Grenzwerte zur Verdichtung natürlicher Erddichtungsstoffe im Wasserbau. WWT 18. Jg. Hz., S. 52–55, 1968.

Temmler, H.: Erläuterungen zur ing.-geologischen Planungskarte Glückstadt-Süd mit besonderer Berücksichtigung der geotechnischen Kennwerte von Marschablagerungen, 61 S.; Hrsg. Geol. Landesamt Schleswig-Holstein, Kiel, 1973.

Temmler, H.; Zeddel, A. u. Siem, H.-K.: Zur Verwendung von Baggergut für Deichbauzwecke. – LANU-Gutachten Nr. 99/2, 42 S., 43 Anlagen, Flintbek (unveröffentlicht), 1999.

Temmler, H. u. Filipinski, M.: Zur Stabilität von Landesschutzdeichen bei Wellenüberlauf an der Westküste und Elbe in Schleswig-Holstein. LANU-Gutachten Nr. 95/25, 76 S., 59 Anlagen, Flintbek (unveröffentlicht), 1997.

Temmler, H.: Zur Stabilität von Landesschutzdeichen bei Wellenüberlauf an der Westküste und Elbe in Schleswig-Holstein. Teilbericht III: Zur Aufweichung der bindigen Deichabdeckung durch Niederschläge und Sturmfluten. LANU-Gutachten Nr. 95/25-3, 13 S., 14 Anlagen, Flintbek (unveröffentlicht), 1999.

Zeiler, M., Schulz-Ohlberg, J. u. Figge, K.: Materialinventur an der deutschen Nordseeküste. – Die KÜSTE, H. 62, S. 53–86, 2000,

Ergänzende Literatur

KADO, H.; REUTER, R. u. BACHMANN, G.: Die ingenieurgeologischen Eigenschaften der wichtigsten Lockergesteine der DDR unter Berücksichtigung ihrer Genese und physikalischen Kennzahlen. Abhandlung des Zentralen Geologischen Instituts, Heft 2, 134 S., Berlin, 1966.

MUIJS, J. A. u. KRUSE, R. A. M.: Erosion und Permeability of Material for Clay Liners on Dikes. Proc. 6 th. Int. IAEG Congress, Vol. 2. p. 1213–1219, Balkema, Rotterdam, 1990.

RAGUTZKI, G.: Beurteilung von Kleiabdeckungen ostfriesischer Seedeiche auf der Grundlage bodenphysikalischer Kennwerte. Forschungsstelle Norderney, Jahresbericht, Bd. 19, S. 121–145, 1967.

RECHTERN, J.: Konstruktion und Bemessung von Hochwasserschutzdeichen. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge. Bd. 5, S. 31–36, Landesamt für Geowissenschaft und Rohstoffe Brandenburg, Kleinmachnow, 1998

RICHWIEN, W. u. WEHNER, T.: Bodenmechanische Kennwerte gespülter Seedeiche im norddeutschen Küstenraum. TIS 10/88, S. 544–549, 1988.

RICHWIEN, W.: Kritische Beanspruchung von Deichböden – Versagensformen und Nachweiskonzepte. Ber. HTG-Congress 1995, S. 301–308, 1995.

RICHWIEN,W. u. WEIßMANN, R.: Belastung der Binnenböschung von Seedeichen durch Wellenüberlauf. Teil I – III, Essen (unveröffentlicht), 2001.

RIZKALLAH, V. u. BLÜMEL, W.: Geotechnische Aspekte bei der Deponierung von Hafenschlick. – HANSA Schiffahrt – Schiffbau – Hafen – 132. Jahrgang Nr. 10, S. 123–129, 1995.

Zu Abschnitt 4.1

BAW: Bundesanstalt für Wasserbau, Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG), 1993.

BAW: Bundesanstalt für Wasserbau, Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK), 1989.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe: Erd- und Grundbau: Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund, 1988.

EBGEO: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe: Erd- und Grundbau: Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus, 1994.

KEMPFERT, H. G. u. WALLIS, P.: Geokunststoffummantelte Sandsäulen – ein neues Gründungsverfahren im Verkehrswegebau – 5. Informationsveranstaltung über „Kunststoffe in der Geotechnik", München, 1997.

RAITHEL, M. u. KEMPFERT, H.-G.: Geokunststoffummantelte Bodensäulen, HANSA-Schiffahrt-Schiffbau-Häfen, 137. Jahrgang Nr. 10, 2000.

TEMMLER, H. Deichbau mit Geokunststoffen auf Hafenschlick an der Unterelbe, 4 Informationsveranstaltungen über „Kunststoffe in der Geotechnik". Geotechnik Sonderheft, S. 56–64, 1995.

Zu Abschnitt 4.2

BRAY, R. N.; BATES, A. D.; LAND, J. M.: Dredging. A Handbook for Engineers. Second Edition. Arnold, London, Sydney, Auckland, 1997.

BRÖßKAMP, K. H. et al.: Seedeichbau. Theorie und Praxis. Vereinigung der Nassbaggerunternehmungen e.V. Hamburg, 1979.

CUR: Report 152: Artificial Sand Fills in Water. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1992.

EAU 1996: Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen. Ernst & Sohn, Berlin, 1997.

KRAMER, J.: Kein Deich, kein Land, kein Leben. Geschichte des Küstenschutzes an der Nordsee. Gerhard Rautenberg, Leer, 1989.

KÜHN, G.: Der maschinelle Wasserbau. B. G. Teubner, Stuttgart, 1997.

Pilarczyk, K.W. et al.: Dikes and Revetments. Design, Maintenance and Safety Assessment. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1998.

Smoltczyk, U. et al.: Grundbautaschenbuch. Teil 2. Ernst & Sohn, Berlin, 1991.

Welte, A.: Nassbaggertechnik. Ein Sondergebiet des Baubetriebes. Universität Fridericiana zu Karlsruhe, Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb, Vorlesungen, Reihe V/ H. 20, 2000.

Zu Abschnitt 4.3.4

Bundessortenamt: Beschreibende Sortenliste für Rasengräser. Verlag Alfred Strothe, Bezug durch Verlagsgruppe Deutscher Fachverlag, Buchverlage Mainzer Landstraße 251, Frankfurt a. M., Neueste Ausgabe.

Fachnormausschuss Wasserwesen (FNW) im Deuschen Normenausschuss (DNA), DIN 19 657, Sicherung von Gewässern, Deichen und Küstendünen, Richtlinen, Beuth-Vertrieb GmbH, 1973

Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.: Regel-Saatgut-Mischungen Rasen RSM. Colmantstraße 32, 53115 Bonn, neueste Ausgabe

Hiller, H.: Rasen im Landschaftsbau. Habilitationsschrift, Fachbereich 14 – Landschaftsentwicklung –, Technische Universität Berlin, D 83, 1976a.

Hiller, H. in: Erchinger, H. F. 1976: Kapitel „Grasnarbe" in Seedeichbau Theorie und Praxis herausgegeben von der Vereinigung der Nassbaggerunternehmungen e. V. Eigenverlag, Hamburg, 1976b.

Hiller, H.: Schriftliche Anmerkungen mit eigenen Empfehlungen zur Begrünung von Deichen an der Deutschen Nordseeküste von 1994/1995, 2000.

Jittler, M.: Struktur- und Standortanalysen der Vegetation von Landesschutzdeichen im Elbeästuar: eine Analyse vor dem Hintergrund der Deichsicherheit. Verlag Dr. Kovac in Hamburg, 2001.

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 18 917, Rasen und Saatarbeiten, Beuth-Vertrieb GmbH, 1990.

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., DIN 18 919, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege von Grünflächen, Beuth-Vertrieb GmbH, 1990.

Neugebohrn, L. u. Wenck, H.: Gutachten über die Begrünung Hamburgischer Hochwasserschutzanlagen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Unterhaltungsmaßnahmen. Institut für Angewandte Botanik der Universität Hamburg. Im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, Amt für Wasserwirtschaft und Stadtentwässerung, Hauptabteilung Wasserwirtschaft, 1990.

Oberdorfer, E.: Pflanzensoziologische Exkursionsflora. – Ulmer Verlag, Stuttgart, 1994.

Ergänzende Literatur

Becker, A.: Die Deichschafhaltung an der Oldenburger Nordseeküste. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 10. Jahrgang, Heft 2, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 1969.

Ehlers, M.: Gutachten zur Sicherung von Hochwasserschutzanlagen durch Begrünung der Deiche im Gebiet der Freien und Hansestadt Hamburg. Büro für Landschaftsplanungen. Erstellt im Auftrage der Freien und Hansestadt Hamburg, Baubehörde, Amt für Ingenieurwesen I – Hauptabteilung Wasserwirtschaft, 1964.

Ellenberg, H. F.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. –Ulmer Verlag, Stuttgart, 1996.

Erchinger, H. F.: Kapitel „Grasnarbe" in Seedeichbau Theorie und Praxis herausgegeben von der Vereinigung der Nassbaggerunternehmungen e. V. Eigenverlag, Hamburg, 1976.

Freie und Hansestadt Hamburg, Baubehörde; Amt für Wasserwirtschaft : Empfehlungen zur Begrünung von Deich-, Vorland- und Deckwerksflächen sowie Kennzeichnung und Kontrolle des eingesetzten Saatgutes, 1999.

Freie und Hansestadt Hamburg, Baubehörde; Amt für Wasserwirtschaft: Empfehlungen für den Kleieinbau und die Kleiverdichtung, 1988.

Freie und Hansestadt Hamburg, Umweltbehörde; Geologisches Landesamt: Geologische Karte von Hamburg 1 : 25.000, Erläuterungen, 1995.

HILLER, H.: Problematik der Deichsicherungen durch biologische Maßnahmen. Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 10, 1969.
HILLER, H.: Über das Schutzvermögen der Grasnarbe auf einigen Seedeichen in Ostfriesland. Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 14, 1973.
HILLER, H.: Grasnarbe auf Flussdeichen. Z. für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 15, 1974.
KLAPP, E. u. OPITZ VON BOBERFELD, W: Taschenbuch der Gräser: Erkennung und Bestimmung, Standort und Vergesellschaftung, Bewertung und Verwendung. – 12. überarbeitete Auflage. – Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg (282 Seiten), 1990.
WOHLENBERG, E: Der Deichbruch des Ülveshüller Kooges in der Februar-Sturmflut 1962. – Z. Die Küste, H. 11, 1963.
WOHLENBERG, E: Deichbau und Deichpflege auf biologischer Grundlage. – In: BUCHWALD/ENGELHARDT: Handbuch für Landschaftspflege und Naturschutz, Bd. 4: Planung und Ausführung. – BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien, 1969.

Zu Abschnitt 4.3.5

BAW: Vorab-Stellungnahme zur Eignung von Bitumensand als Filterlage in Uferschutzwerken. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 1976.
Bitumarin BV: Fixtone®, a Permeable Asphaltic Mixture. Prospekt, Zaltbommel, Niederlande, 1990.
CUR: Toepassing van asfalt bij binnenwateren (Verlegen von Asphalt an Binnenwasserstraßen). Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving CUR, VBW-ASFALT und Benelux, Bitumen No. 179, S. 17, 1995.
DGGT: Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltbauweisen im Wasserbau (EAAW 83/96). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Essen, 4.Ausgabe 1983, 2. Auflage 1996 (die EAAW befindet sich z. Zt. In einer grundlegenden Neubearbeitung, Fertigstellung voraussichtlich 2003 oder später).
JUNGHÄNEL, A.: Aufbereitung von Asphalt - Fragen zur Verfahrens- und Maschinentechnik. asphalt, Baden-Baden, 93, S. 26-27, 1995.
ROOS, H., u. TUKKER, H. G.: Bitumineuze bescherming van zinkers. Vereniging voor Bitumineuze Werken V.B.W., Breukelen, Niederlande, ASFALT 9, S. 100-106, 1982.
SCHÖNIAN, E.: The Shell Bitumen Hydraulic Engineering Handbook. Shell International Petroleum Company Ltd., London, Buch S. 456 und CD, 1999.
TAW: The Use of Asphalt in Hydraulic Engineering. Technical Advisory Committee on Waterdefences; Rijkswaterstaat Communifications No. 37, Den Haag, Niederlande, 1985.
TAW: Open steenasfalt. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft, und Bepalingen 52 .16.09 - niederländischer Standard 1987.

Zu Abschnitt 4.3.6

Siehe Schriftenverzeichnis zu Empfehlungen C 2002, Abschnitt 5, Beton

Zu Abschnitt 4.3.7

BAW: Bundesanstalt für Wasserbau Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG); 1993.
HANSEN, U. A.: Wasserbausteine im Deckwerksbau, Westholsteinische Verlagsanstalt Boyens & Co. Heide, 1985.
TLG 1993: Technische Lieferbedingungen für geotextile Filter, 1993.
TLW 1987: Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine, 1987.

Kapitel 5.2.2 (ergänzende Literatur)

DGGT: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. EBGEO, Verlag Ernst & Sohn Berlin, 1997.
FGSV: Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus, Köln, 1994.
JAECKLIN, F.P. u. FLOSS, R.: Methode zur Bemessung von Geotextilien im Straßenbau auf besonders weichem Untergrund. K-Geo 1, Hamburg, S.69-76, Dtsch. Ges. Erd- und Grundbau, Essen, 1988.