

## Empfehlungen C:

### Baustoffe für Küstenschutzwerke

#### Inhalt

1. Einführung . . . . .	234
2. Boden . . . . .	235
2.1 Allgemeines . . . . .	235
2.2 Bodenarten . . . . .	235
2.2.1 Allgemeines . . . . .	235
2.2.2 Klei . . . . .	235
2.2.3 Sand . . . . .	236
3. Natursteine . . . . .	238
3.1 Allgemeine Anforderungen . . . . .	238
3.2 Spezielle Anforderungen . . . . .	238
3.2.1 Pflastersteine . . . . .	238
3.2.2 Schüttsteine . . . . .	239
3.2.3 Trockenrohdichte und Druckfestigkeit . . . . .	239
3.2.4 Verwitterungsbeständigkeit . . . . .	240
3.3 Güteüberwachung . . . . .	240
4. Künstliche Steine . . . . .	240
4.1 Anforderungen . . . . .	240
4.2 Verwendung . . . . .	240
4.3 Prüfungen . . . . .	241
5. Beton . . . . .	241
5.1 Einführung . . . . .	241
5.2 Europäische Richtlinien und Normen . . . . .	241
5.3 Ausgangsstoffe . . . . .	242
5.4 Anforderungen und Zusammensetzung . . . . .	243
5.4.1 Widerstand gegen Meerwasser . . . . .	243
5.4.2 Widerstand gegen Wellen, Strömung und sonstige mechanische Angriffe . . . . .	246
5.4.3 Hoher Frost- und Tausalzwiderstand . . . . .	247
5.4.4 Betonzusätze . . . . .	248
5.5 Betonpflastersteine und Betonplatten . . . . .	248
5.6 Unterwasserbeton . . . . .	249
5.7 Ausgußbeton . . . . .	250
5.8 Steinverguß, Fugenverguß und Steinverklammerung . . . . .	251
5.9 Bodenverfestigung mit Zement . . . . .	251
5.10 Sand-Zement-Schüttsteine . . . . .	252
5.11 Prüfungen . . . . .	252
6. Asphalt . . . . .	252
6.1 Allgemeines . . . . .	252
6.2 Mineralstoffe . . . . .	253
6.3 Bindemittel . . . . .	253
6.4 Asphaltbeton, Gußasphalt und Sandasphalt . . . . .	253
6.5 Hohlraumreiche Bitumen-Mineralstoff-Gemische . . . . .	255
6.6 Asphalteingußmasse . . . . .	256
6.7 Fugenvergußmasse . . . . .	256
6.8 Bitumensand . . . . .	256
6.9 Sondergemische . . . . .	256
6.10 Prüfungen . . . . .	258
7. Geokunststoffe . . . . .	258
7.1 Allgemeines . . . . .	258

7.2	Kunststoffdichtungsbahnen . . . . .	259
7.3	Geotextilien . . . . .	260
7.3.1	Allgemeines . . . . .	260
7.3.2	Gewebe . . . . .	261
7.3.3	Vliesstoffe . . . . .	263
7.3.4	Verbundstoffe . . . . .	265
7.4	Geotextilverwandte Produkte . . . . .	265
7.5	Zusammenfassung . . . . .	268
8.	Holz . . . . .	268
8.1	Allgemeines . . . . .	268
8.2	Physikalische Eigenschaften . . . . .	268
8.3	Zulässige Spannungen . . . . .	270
8.4	Dauerhaftigkeit . . . . .	270
8.5	Schutzmaßnahmen . . . . .	272
9.	Stahl . . . . .	272
9.1	Allgemeines . . . . .	272
9.2	Anforderungen und Eigenschaften . . . . .	273
9.3	Stahlpundwände . . . . .	273
9.4	Stahlpfähle . . . . .	275
9.5	Drahtnetze und Drahtgeflecht . . . . .	276
10.	Schriftenverzeichnis und Normen . . . . .	276
	Zu Abschnitt 2: Boden . . . . .	276
	Zu Abschnitt 3: Natursteine . . . . .	277
	Zu Abschnitt 4: Künstliche Steine . . . . .	277
	Zu Abschnitt 5: Beton . . . . .	277
	Zu Abschnitt 6: Asphalt . . . . .	279
	Zu Abschnitt 7: Geokunststoffe . . . . .	279
	Zu Abschnitt 8: Holz . . . . .	280
	Zu Abschnitt 9: Stahl . . . . .	281

## 1. Einführung

Baustoffe für Küstenschutzwerke müssen dem Verwendungszweck und den örtlichen Bedingungen entsprechen. Ihre Eignung ist zu beurteilen und zu prüfen, außerdem sind die Umweltbelange und die Prüfung der Umweltverträglichkeit zu berücksichtigen. Diese Untersuchungen beziehen sich nicht nur auf die ökologisch bedeutsamen Eigenschaften der Baustoffe, sondern auch auf deren Gewinnung oder Herstellung, den Transport, die spätere Wiederverwendung oder Wiederverwertung und den Einsatz von Recyclingbaustoffen.

Die hauptsächlich verwendeten Baustoffe sind:

Boden	Asphalt
Natursteine	Kunststoffe
Künstliche Steine	Holz
Beton	Stahl

Für Eignung, Lieferung, Lagerung, Verarbeitung und Einbau der Baustoffe sind die einschlägigen Normen, Vorschriften und Zulassungsbedingungen maßgebend. Darüber hinaus sind die zugehörigen Richtlinien und Empfehlungen zu beachten, die zusammen mit dem einschlägigen Schrifttum – getrennt nach Baustoffen – im Abschnitt 10 aufgeführt sind.

## 2. Boden

## 2.1 Allgemeines

Der Boden wurde bereits in der Empfehlung B „Boden und Baugrund“ auch als Baustoff ausführlich behandelt. Es wird deshalb darauf verwiesen. Die nachstehenden Ausführungen haben lediglich die Aufgabe, das Thema durch erläuternde Hinweise und Ergänzungen abzurunden.

## 2.2 Bodenarten

## 2.2.1 Allgemeines

Im Seewasserbau wird Boden als Baustoff in der Regel nur als Sand und Klei verwendet. Während Sand überwiegend im Damm- und Deichbau benutzt wird, dient Klei der erosions-sicheren Abdeckung von Böschungen.

Für die Beurteilung von Böden müssen Korngrößen, Kornverteilung und Verdichtungsfähigkeit bekannt sein (s. Tabellen in Empfehlungen B). Als Bewertungsfaktoren für die Verdichtungsfähigkeit sind bei rolligen Böden die Ungleichförmigkeit und bei bindigen Böden die Plastizität und Konsistenz maßgebend.

Das in Abb. C1 dargestellte Diagramm weist Bereiche der Körnungskurven von Sand und Klei aus, wie sie meistens im Küstengebiet anzutreffen sind. In einzelnen küstennahen Seebereichen ist der Sand grobkörniger, wie z. B. im Seegebiet westlich der Insel Sylt (s. auch Empfehlungen B).

## 2.2.2 Klei

Sonderlösungen in Kleimangelgebieten: Auf den Nordseeinseln und an Küstenstreifen, denen ein breiter Marschengürtel fehlt, bestehen Schwierigkeiten, den Klei in der für

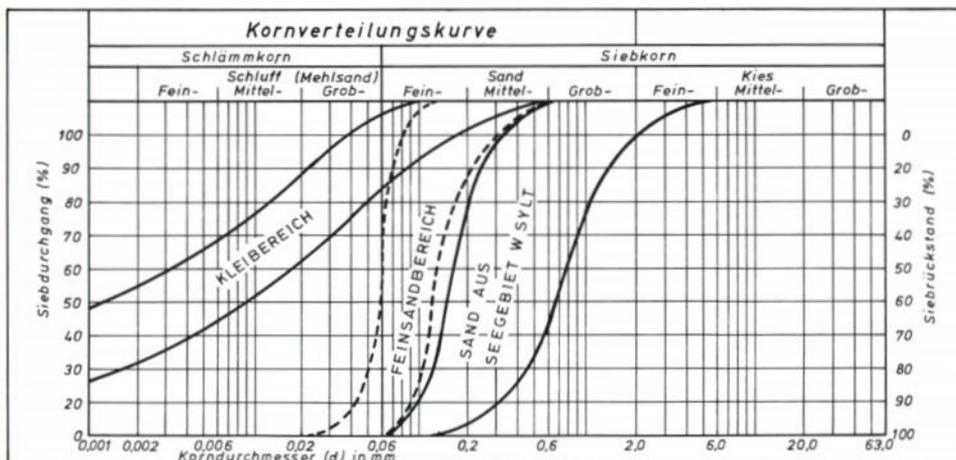


Abb. C1. Kornverteilung von Sand und Klei

den Deichbau erforderlichen Menge und Qualität zu gewinnen. Diesem Mangel kann durch folgende Lösungen begegnet werden:

- Antransport von Klei über größere Landentfernungen oder per Schiff vom Festland zur Insel,
- Abflachung der Außenböschung und ggf. Verminderung der Dicke der Kleiabdeckung,
- Einbau einer dünnen Kleiabdeckung, die als zusätzliche Erosionssicherung des Sandkerns eine Unterlage aus Vliesstoff erhält, jedoch nur möglich bei geringem Wellenangriff,
- Bau eines reinen, flachgeböschten Sanddeiches ohne und ggf. mit Sicherung durch ein Deckwerk (s. Empfehlungen E, Abschnitte 2 und 3).

Als Entscheidungshilfen sind eingehende technische und wirtschaftliche Untersuchungen erforderlich.

**Verdichtung:** Eine Verdichtung im Sinne einer Grobhohlraum-Beseitigung wird erzielt, wenn der Klei lagenweise mit Raupen eingebracht und dabei überlaufen wird. Ein Abstampfen der Kleilage mit dem Korb oder Schürfkübel des Einbaubaggers ist eine Mindestforderung.

### 2.2.3 Sand

Im Seebau wird Sand weitgehend hydraulisch gelöst. Um geeignete Methoden für das Lösen, den Transport und das Ablagern des Sandes im voraus zu bestimmen, sind fachgerechte Bodenaufschlüsse in der Sandentnahme unerlässlich. Die Bohrungen sollten bei entsprechendem Mengenbedarf so tief hinunterführen, daß der Einsatz jeder Gerätegröße möglich ist (bis etwa -60,0 m NN).

Schlauchkernbohrungen (Rammkern-Bohrverfahren, s. Empfehlungen B) sind zu empfehlen, um auch schwache Zwischenschichten aus bindigem Material zu erfassen, die die Beurteilung des Bodens, z. B. auf seine Grundsaugfähigkeit, beeinflussen. Neben der Bodenansprache nach der Kornverteilung ist auch die geologische Einordnung des Materials erforderlich.

Da noch keine Beurteilungskriterien für die Spüleigenschaften von Böden existieren, geben die Kornanalysen (Siebkurven) der verschiedenen Bodenarten einen wichtigen Anhalt, wobei der Schluffanteil von besonderer Bedeutung ist.

**Spülentfernung und Spülleistung:** Die physikalischen Grundlagen der Vorgänge für den Feststofftransport in Spülrohrleitungen sind noch nicht ausreichend erforscht. Für die Berechnung des Druckabfalles liegt aber eine Fülle empirisch ermittelter Ansätze vor. Da die Ansätze sich jedoch häufig widersprechen und oftmals wichtige Versuchsbedingungen unbekannt sind, wird für die Berechnung des Druckabfalls empfohlen, nach Bodenarten zu unterteilen und für jeden Bereich die empirisch am besten fundierte Berechnungsart anzuwenden. Für den wirtschaftlichen Transport grober Böden empfiehlt sich eine weitere Unterteilung nach dem Rohrleitungsdurchmesser. Bei der Ablagerung hydraulisch transportierter Sande auf einem Spülfeld können unter normalen Bedingungen und bei einem Spülrohrdurchmesser von mindestens 0,50 m folgende Böschungsneigungen als Anhalt die Werte der Tabelle C1 angegeben werden.

**Entwässerung des Spülgutes:** Rolliges Bodenmaterial mit einem Mindestanteil an Fein- und Mittelsand von 30 % und nur wenigen Prozenten an Schluff läßt ein zügiges Bauverfahren zu. Spülfelder aus diesem Material können während des Spülvorganges betreten und befahren werden. Es ist dann möglich, während des Betriebes aus dem Spülgut Hilfsdeiche aufzuschieben. Dieses Material gestattet auch eine Profilierung unmittelbar nach dem Hochspülen des Kerns.

Tabelle C1. Böschungsneigungen hydraulisch transportierter Sande

	Böschungsneigungen		
	über Wasser	ruhig	unter Wasser fließend
Feinsand	$\geq 1:100$	1:5 bis 1:8	1:10 bis 1:30
Mittelsand	1:50		
Grobsand	1:25	1:3 bis 1:4	1:4 bis 1:10
Kies	1:5 bis 1:10	1:2	1:3 bis 1:6

Feinsandige Böden mit Schluffanteilen zwischen 5 und 20 % ergeben während des Spülvorganges eine Böschungsneigung von 1:100 bis 1:500. Das heißt, diese Materialien bedürfen einer vollen Spülfeldeinfassung, und das Spülfeld kann während des Spülvorganges nicht betreten werden. Der aufgespülte Boden muß durch Umsetzen getrocknet werden, um für den Einbau in den Deichkern geeignet zu sein.

Stehen nur schluffige Sande (Schluffanteil  $\leq 30\%$ ) an und sollen die vorgenannten negativen Eigenschaften beim Spülfeldaufbau vermieden werden, so müssen die Feianteile ausgewaschen werden. Durch eine möglichst hohe Spülrohrgeschwindigkeit wird die Entmischung des Sandes gefördert, und durch kurze Spülfelder oder Spülfelder ohne bzw. mit nur teilweiser Einfassung wird verhindert, daß sich die Feinteile im Spülfeld ablagern.

Lagerungsdichte aufgespülter Sande: Ein Maß für die Lagerungsdichte ist der Verdichtungsgrad  $D = \frac{n_o - n}{n_o - n_d}$ , wobei  $n_o$  das Porenvolumen bei lockerster,  $n_d$  das Porenvolumen bei dichtester Lagerung und  $n$  das vorhandene Porenvolumen bedeuten.

Eine Umrechnung Lagerungsdichte ( $D$ ) auf Proctordichte ( $q_{Pr}$ ) erfolgt nach STEDECK-Voss.

Für die Lagerungsdichte von aufgespülten Sanden sollten die in Tabelle C2 genannten Werte erreicht werden.

Steifeziffern: Als Anhalt für Steifeziffern in Abhängigkeit von der Ungleichförmigkeit des Bodens kann gelten:

$$E = 40 \text{ bis } 70 \text{ MN/m}^2$$

Tabelle C2. Erforderliche Lagerungsdichte bei aufgespülten Sanden

Lagerung	Ungleichförmigkeit U	Verdichtungsgrad D	Proctordichte in % $q_{Pr}$
über Wasser	$> 3$	0,45	95 bis 97
	$\leq 3$	0,3	92 bis 95
unter Wasser	2 bis 3 FM/MS	0,5	98 bis 103
	2 bis 3 MS	0,3	95

### 3. Natursteine

#### 3.1 Allgemeine Anforderungen

Natursteine werden im Küstenschutz überwiegend für Pflasterungen und Schüttungen bei Deckwerken, für Setzpacklagen bei Bühnen und Längswerken u.ä. verwendet. Natursteine im Seewasserbau (Wasserbausteine) sollen eine hohe Festigkeit und Rohdichte haben, um die auftretenden statischen und dynamischen Beanspruchungen durch Auflast und Wasserkräfte aufnehmen zu können. Sie müssen zudem verwitterungsbeständig sein, u. a. frei von schädlichen Rissen, Schieferungen und mergeligen, sandigen oder tonigen Einlagerungen, um den Beanspruchungen durch Wasser, Luft, Frost sowie den biologischen und chemischen Einflüssen zu widerstehen. Scharfe Kanten, rauhe Flächen, eine weitgehend kubische Form und ein gleichmäßig dichtes Gefüge sind weitere Anforderungen.

Als Wasserbausteine sind insbesondere Erstarrungsgesteine geeignet; Sandsteine und Quarzite werden ebenfalls verwendet. Mineralgefüge, Schichtung und Porosität sind für die Witterungsbeständigkeit und den Widerstand gegen Beanspruchungen aus Frost-Tau-Wechseln ausschlaggebend.

Die an den deutschen Küsten vor allem verwendeten Gesteine sind in Tabelle C3 zusammengestellt.

Tabelle C 3. Im deutschen Küstengebiet verwendete Natursteine

Gesteinsart	Dichte $\rho_0$ t/m <sup>3</sup>	mittl. Schüttdichte $\rho_s^e$ bei Porenvol. von 40 bis 45 % t/m <sup>3</sup>	Herkunft
Basalt	2,9 ... 3,1	1,70	Mittelrhein, ehem. Tschechoslowakei
Labradorit	2,9 ... 3,1	1,70	Norwegen
Norit	2,9 ... 3,1	1,70	Norwegen
Diorit	2,8 ... 3,0	1,65	verschiedene
Gabbro	2,8 ... 3,0	1,65	Herkunftsländer
Diabas	2,8 ... 2,9	1,65	Harz, Schweden
Granit	2,6 ... 2,8	1,55	Schweden, Bornholm
Syenit	2,6 ... 2,8	1,55	
Quarzporphyr	2,55 ... 2,8	1,55	verschiedene
Grauwacke	2,6	1,50	Herkunftsländer
Piesberger Karbonquarzit	2,6	1,50	Raum Osnabrück
Quarzit	2,6	1,50	Harz

#### 3.2 Spezielle Anforderungen

##### 3.2.1 Pflastersteine

Aus Felsgestein gewonnene, behauene Pflastersteine müssen quaderförmig sein und ebene Oberflächen haben. Unbehauene (bruchraue) Pflastersteine sollen eine quaderähnliche, paralleleflächige Form aufweisen. Die Abmessungen werden nach dem Verwendungszweck und den einwirkenden Kräften festgelegt.

## 3.2.2 Schüttsteine

Schüttsteine sind gebrochene Natursteine, deren Größe und Gewicht von der Dicke und der Beanspruchung der Schüttsteinlage und ihrer konstruktiven Ausbildung – mit oder ohne Verfuß – abhängig sind.

Die Abmessungen von Schüttsteinen sind nach dem Verwendungszweck in Größenklassen festgelegt (Tab. C4).

Tabelle C4. Größenklassen von Schüttsteinen

Größenklasse	Abmessungen <sup>1)</sup> in cm
0	5–15
I	10–20
II	10–30
III	15–45
IV	20–60
V <sup>2)</sup>	35–100

<sup>1)</sup> Die gegebenen Grenzwerte einer Klasse gelten für die jeweils größte Steinlänge

<sup>2)</sup> Klasse V gilt nur für Schüttsteine aus Felsgestein

Es reicht im allgemeinen aus, stichprobenartig etwa 10 Steine nachzumessen und im übrigen die Steingrößen nach Augenschein abzuschätzen. Eine Lieferung darf bis zu 10 Masse-% Wasserbausteine mit Überlängen und bis zu 15 Masse-% solche mit Unterlängen enthalten. Der Anteil von Steinen mit Unterlängen von  $\geq 5$  cm darf höchstens 5 Masse-% betragen.

Um eine gute Verteilung der eingebauten Schüttsteine zu erreichen, darf der Anteil ungünstig geformter Steine bis zu 20 Masse-% einer Lieferung betragen. Ungünstig geformt sind Steine, bei denen das Verhältnis der kleinsten zur größten Steinlänge 1:3 überschreitet.

Das erforderliche Einzelgewicht unverklammerter Schüttsteine ist in erster Linie nach der Beanspruchung durch Wasserkräfte, nach der Rauigkeit und Neigung der Böschung, ihrer Lage (einzeln oder verkeilt) sowie abhängig von der Rohdichte und Form der Steine zu wählen. Bei einem verklammernten Deckwerk sind geringere Steingewichte möglich. Das Einzelgewicht sollte jedoch nicht kleiner als 20 kg sein. Das Schüttgewicht schwankt je nach Größe und Rohdichte der Steine zwischen 1,4 und 1,6 t/m<sup>3</sup> und ist jeweils an Ort und Stelle zu bestimmen.

## 3.2.3 Trockenrohichte und Druckfestigkeit

Die Trockenrohichte darf im Mittel den Wert von 2,3 t/m<sup>3</sup> nicht unterschreiten (Einzelwerte  $\geq 2,27$  t/m<sup>3</sup>). Anzustreben ist eine Rohdichte  $> 2,5$  t/m<sup>3</sup>.

Die Druckfestigkeit ist nach DIN 52 105 [28] zu bestimmen. Sie muß im lufttrockenen Zustand der Proben im Mittel mindestens 80 N/mm<sup>2</sup> betragen (Einzelwerte  $\geq 70$  N/mm<sup>2</sup>).

### 3.2.4 Verwitterungsbeständigkeit

Die Verwitterungsbeständigkeit ist nach DIN 52 106 [29], die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck nach DIN 52 103 [26] zu bestimmen. Ist die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck  $< 0,5$  Masse-% und treten bei der Wasserlagerung keine Risse oder sonstige Anzeichen von Schäden auf, so gelten die Wasserbausteine als verwitterungsbeständig. Ein Frostversuch ist dann in der Regel nicht erforderlich.

Ist die Wasseraufnahme unter Atmosphärendruck  $> 0,5$  Masse-%, so sind in jedem Fall Frostversuche nach dem Luftfrostverfahren erforderlich. Die Frostprüfung gilt als bestanden, wenn der Gewichtsverlust unter  $0,5$  Masse-% bleibt und keine Schäden wie Risse und Abplatzungen auftreten.

### 3.3 Güteüberwachung

Die Qualitätseigenschaften der Natursteine werden in den Lieferwerken durch Eigen- und Fremdüberwachung bestimmt. Im Rahmen der Prüfungen werden Abmessungen, Trockenrohichte, Druckfestigkeit und Verwitterungsbeständigkeit regelmäßig ermittelt.

## 4. Künstliche Steine

### 4.1 Anforderungen

Als künstliche Steine werden im Küstenwasserbau Hochofen- und Metallhüttenschlacke, Betonsteine und Sand-Zement-Steine verwendet. Voraussetzung dafür ist, daß sie die Güteanforderungen (s. Abschnitt 4.3) erfüllen. Ziegelsteine sind heute bei Neubauten nicht mehr gebräuchlich, es sei denn als Verblendmauerwerk. Betonsteine werden in Abschnitt 5 behandelt.

Hochofenschlacke entsteht als künstliche Gesteinsschmelze bei der Roheisengewinnung im Hochofen und enthält in der Hauptsache Kalk-Magnesia-Tonerde-Silikate. Metallhüttenschlacke fällt beim Schmelzen von Kupfer- und Bleierzen als Nebenprodukt an. Beide Schlackenarten müssen bei Verwendung als Baustoff in kristalliner Form vorliegen und dürfen keine Verunreinigungen enthalten. Der Anteil an schaumigen und glasigen Schlackenstücken darf  $5$  Masse-% nicht überschreiten. Sie müssen raumbeständig, frost- und wetterbeständig sein und ein dichtes Gefüge haben. Die Wasseraufnahme darf bei Hochofenschlacke im Mittel höchstens  $4,0$  Masse-% und bei Metallhüttenschlacke höchstens  $1,5$  Masse-% betragen. Die Güte muß den Anforderungen der DIN 4301 „Hochofenschlacke und Metallhüttenschlacke für den Straßenbau“ [36] sowie den Bedingungen des Abschnittes 3.1 „Natursteine“ entsprechen. Bei Metallhüttenschlacken liegen z.Z. über die mögliche Auslaugung von Schadstoffen keine gesicherten Daten vor. Es wird empfohlen, diese Frage beim Einsatz derartiger Baustoffe zu beachten.

### 4.2 Verwendung

Hochofenschlacke und Metallhüttenschlacke werden im gebrochenen Zustand als Schotter und Splitt, ungebrochen als Schüttsteine und gegossen als Schlackenformsteine eingebaut. Für Hochofenschlacke als Betonzuschlag gilt DIN 4226 [47] (s. Abschnitt 5). Schlackenform-

steine sollen vollkantig sein und ebene Flächen mit möglichst geschlossener Struktur aufweisen. Die Kopfflächen von Kupferschlackensteinen müssen gesandet oder gesplittet sein.

Die Rohdichten sollen für Hochofenschlacke  $\geq 2,4 \text{ t/m}^3$ , für Metallhüttenschlacke  $\geq 3,5 \text{ t/m}^3$  betragen. Die Schüttgewichte für Schotter sollen bei Hochofenschlacke über  $1,25 \text{ t/m}^3$ , bei Metallhüttenschlacke über  $1,5 \text{ t/m}^3$  liegen. Kupferschlackensteine werden mit Rohdichten von  $3,6$  und  $2,9 \text{ t/m}^3$  benutzt. Damit werden bei Stückgewichten zwischen  $35 \text{ kg}$  und  $63 \text{ kg}$  Flächenlasten von  $5,25$  bis  $12,60 \text{ kN/m}^2$  erreicht.

#### 4.3 Prüfungen

Die Prüfung der gesteinsphysikalischen Eigenschaften der künstlichen Steine sollte mindestens erfassen:

- Beurteilung der Kanten, Kopf- und Seitenflächen nach Augenschein
- Abmessungen und Gewicht
- Rohdichte nach DIN 52 102 [25]
- Frost- und Wetterbeständigkeit nach DIN 52 104 [27] bzw. DIN 52 106 [29].

### 5. Beton

#### 5.1 Einführung

Nach DIN 1045 „Beton und Stahlbeton“ [41] besteht Beton aus einem Gemisch von Zement, Betonzuschlag und Wasser – gegebenenfalls auch mit Betonzusatzmitteln und Betonzusatzstoffen; er erhärtet auch unter Wasser und unterliegt praktisch keinen nachträglichen Formänderungen.

Für den Bau von Küstenschutzwerken werden Ortbeton, vorgefertigte Betonbauteile, Stahlbetonbauteile und Spannbetonbauteile verwendet. Zum Ortbeton zählen auch Sonderbauweisen wie Unterwasserbeton, Ausgußbeton, Spritzbeton, Fugenverguß und Steinverklammerung; zu den vorgefertigten Bauteilen gehören u. a. neben schweren Formkörpern (z. B. Tetrapoden), Platten, Pflaster- und Treppensteinen auch größere, einschwimmbare konstruktive Bauelemente (z. B. Gründungscaissons, Molen, Schutzmauern) und schwimmende Bauwerke.

Für die Dauerhaftigkeit der Betonbauwerke sind neben der Betonzusammensetzung die fachgerechte Verarbeitung und eine frühzeitig einsetzende und ausreichende Nachbehandlung ausschlaggebend (siehe Abschnitt 5.4.1). Bei Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen kommt dem Schutz der Bewehrung durch eine ausreichend dicke und gleichzeitig dichte Betondeckung ebenfalls eine für die Lebensdauer des Bauwerks maßgebende Bedeutung zu.

#### 5.2 Europäische Richtlinien und Normen

Die vom EG-Ministerrat beschlossene Konzeption auf dem Gebiet der technischen Harmonisierung und Normung ordnet europäische Richtlinien und Normen auf zwei Ebenen an: Rahmenanforderungen an Produkte und Bauwerke durch Richtlinien in Form funktionaler Vorgaben und technische Regeln zur Erfüllung dieser Anforderungen durch europäische Normen und Zulassungen.

Für den Betonbau ist seit November 1989 die Europäische Norm EN 196 „Prüfverfahren für Zement“ [38] in Kraft und ersetzt DIN 1164, Teil 3 bis Teil 7 [44].

Die europäischen Bemessungsnormen für Betonwerke Vornorm DIN V ENV 1992-1-1, EURO-CODE 2, „Planung von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken“, Teil 1, sowie die dazugehörige Baustoffnorm für Beton Vornorm DIN V ENV 206 „Beton – Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis“ sind erschienen. Letztere umfaßt die Abschnitte 1 bis 11 der DIN 1045. Der Deutsche Ausschuß für Stahlbeton hat zusätzliche Richtlinien zur Anwendung von DIN V ENV 206 sowie EUROCODE 2, Teil 1, herausgegeben. Darin werden wichtige Hinweise für die Anwendung und Zusatzregelungen für die Dauer der Erprobungszeit – z. B. Verweise auf nationale Regelungen dort, wo die entsprechenden europäischen noch nicht vorliegen – gegeben. Die Einführung der beiden letztgenannten Europäischen Normen als Vornormen bedeutet, daß deren Festlegungen *parallel* zum entsprechenden nationalen Normenwerk, also parallel zu DIN 1045 und DIN 4227, gelten: Es können während der Laufzeit von 3 Jahren entweder DIN 1045/DIN 4227 *oder* Eurocode 2/ENV 206 zur Berechnung und Ausführung von Bauwerken herangezogen werden. Eine Mischung von Teilen der Deutschen Normen mit den europäischen Regelungen ist wegen unterschiedlicher Konzeptionen dieser Regelwerke nicht möglich.

Im Hinblick auf den für 1993 zu verwirklichenden freien Güterverkehr ist die Frage der Übergangsfristen für den Ersatz nationaler durch europäische Normen noch offen. Solange die entsprechenden Europäischen Normen (EN) oder Vornormen (ENV) nicht verabschiedet und eingeführt sind, gelten die nationalen Normen weiter. Nach Einführung der endgültigen Normen (EN) verlieren die nationalen Normen ihre Gültigkeit.

### 5.3 Ausgangsstoffe

Als Bindemittel dürfen nur Zemente nach DIN 1164 oder bauaufsichtlich zugelassene Zemente verwendet werden. Zu den Betonzuschlägen rechnen gebrochene und ungebrochene dichte Zuschläge aus natürlichem Gestein und künstlich hergestellte, wie z. B. Hochofen- und Metallhütten-Stückschlacke. Sie müssen hinsichtlich Kornzusammensetzung, Reinheit, Festigkeit, Kornform sowie Widerstand gegen Frost und Verschleiß erhöhten Anforderungen genügen, die in DIN 1045 und DIN 4226 [47] niedergelegt sind; insbesondere ist die Erfüllung der Anforderungen „starker“ Frosteinwirkung einzuhalten. Das bedeutet, daß nach DIN 4226, Teil 1, Abschnitt 7.5.4 und bei der Prüfung nach DIN 4226, Teil 3, Abschnitt 3.5.1/3.5.3 der Durchgang durch das vorgesehene Prüfsieb 2,0 Gewichtsprozent nicht überschreiten darf. Es wird empfohlen, den Siebdurchgang auf < 1 Masse-% zu begrenzen. Bei der Verarbeitung von Zuschlägen mit alkaliempfindlichen Bestandteilen, die in einigen Bereichen Norddeutschlands vorkommen, sind Zemente mit einem niedrigen wirksamen Alkaligehalt – sogenannte NA-Zemente – einzusetzen.

Als Zugabewasser sind alle sauberen Wässer geeignet. Auszuschließen ist Wasser mit Bestandteilen, die das Erhärten oder andere Eigenschaften des Betons ungünstig beeinflussen oder den Korrosionsschutz der Bewehrung beeinträchtigen (u. U. Industrieabwässer, Moorwasser, Sickerwasser von Halden usw.). Meerwasser darf nur für unbewehrten und bewehrten Beton nicht berührende Bauteile verwendet werden.

## 5.4 Anforderungen und Zusammensetzung

## 5.4.1 Widerstand gegen Meerwasser

Meerwasser enthält als betonangreifende Bestandteile vorwiegend Magnesiumverbindungen und Sulfate. Ostsee und Nordsee haben annähernd die in Tabelle C5 angegebene Zusammensetzung.

Bei Meerwasser ist trotz des hohen Sulfatgehalts die Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand nicht erforderlich. Beton widersteht den Angriffen durch Meerwasser, wenn er nach DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.5 einen hohen Widerstand gegen „starken“ chemischen Angriff und – sofern sich das Bauteil nicht ständig unter Wasser befindet – einen hohen Frostwiderstand aufweist.

Meerwasser im Bereich von Fluß- und Kanalmündungen und Brackwasser können Zusammensetzungen aufweisen, die von den Werten nach Tabelle C5 erheblich abweichen. Liegen für derartige Gebiete keine mehrjährigen Analysen vor, aus denen auch mögliche Schwankungen des Salzgehalts abgeschätzt werden können, so sind die Wässer in der Regel als „stark angreifend“ nach Tabelle C6 einzustufen; es ist ein HS-Zement (siehe DIN 1164, Teil

Tabelle C5. Zusammensetzung von Meerwasser (Richtwerte) [46]

1 Bestandteile	2 Nordsee (Helgoland) mg/l	3 Ostsee (Kieler Bucht) mg/l
Na <sup>+</sup>	11 000	5000
K <sup>+</sup>	400	200
Ca <sup>2+</sup>	400	200
Mg <sup>2+</sup>	1 300	600
Cl <sup>-</sup>	19 900	9000
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	2 800	1300
pH-Wert	> 8	> 7

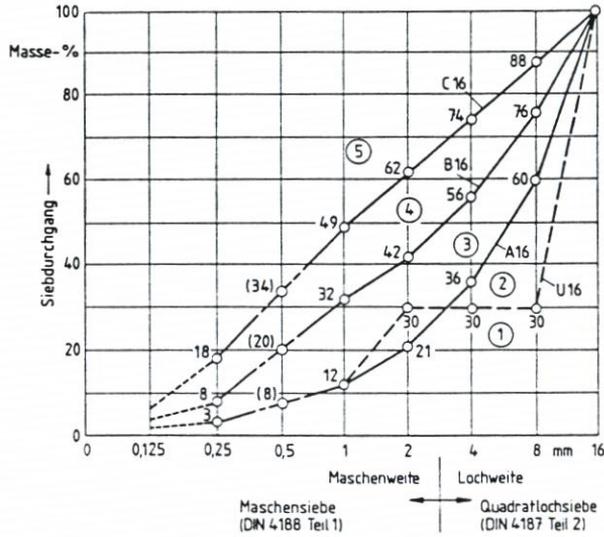
Der Gesamtsalzgehalt beträgt in der Nordsee, ähnlich wie im Atlantischen Ozean, etwa 36 000 mg/l, in der Ostsee (Kieler Bucht) im Jahresmittel etwa 16 000 mg/l.

Tabelle C6. Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung [46]

1 Untersuchung	2 schwach angreifend	3 Angriffsgrad stark angreifend	4 sehr stark angreifend
1 pH-Wert	6,5 bis 5,5	< 5,5 bis 4,5	< 4,5
2 kalklösende Kohlensäure (CO <sub>2</sub> ) mg/l (Marmorlöseversuch nach Heyer [4])	15 bis 40	> 40 bis 100	> 100
3 Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/l	15 bis 30	> 30 bis 60	> 60
4 Magnesium (Mg <sup>2+</sup> ) mg/l	300 bis 1000	> 1000 bis 3000	> 3000
5 Sulfat <sup>1)</sup> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) mg/l	200 bis 600	> 600 bis 3000	> 3000

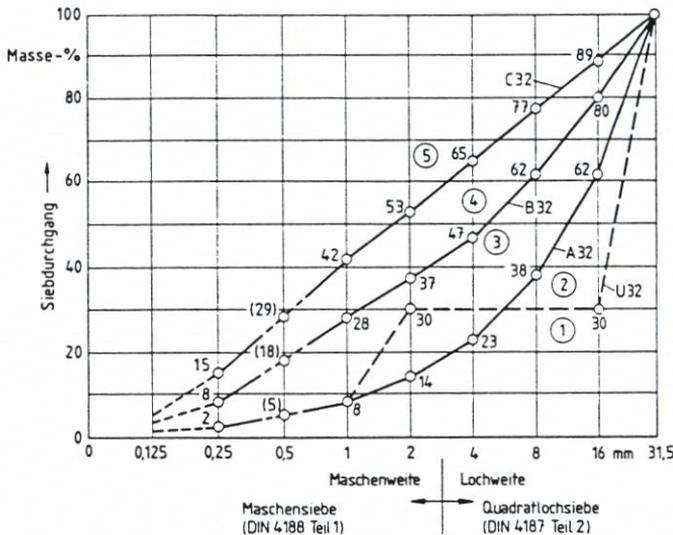
<sup>1)</sup> Bei Sulfatgehalten über 600 mg SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> je l Wasser, ausgenommen Meerwasser, ist ein Zement mit hohem Sulfatwiderstand (HS) zu verwenden (siehe DIN 1164 Teil 1/03.90, Abschnitt 4.6 und DIN 1045/07.88, Abschnitt 6.5.7.5).

1) zu verwenden. Liegen jedoch entsprechende Analysenwerte vor, kann die Wirkung der Wässer auf der Grundlage der Grenzwerte nach Tabelle C6 erfolgen. Entsprechen die Analyseergebnisse den Richtwerten nach Tabelle C5, und dies gilt vor allem auch für den Gesamtsalzgehalt, so kann auf die Verwendung eines HS-Zements verzichtet werden. Das Wasser ist für die Zeilen 1 bis 4 der Tabelle C6 als „stark angreifend“ einzustufen. Voraussetzungen hierfür sind



Sieblinien mit einem Größtkorn von 16 mm

Abb. C2. Sieblinien mit einem Größtkorn von 16 mm [41]



Sieblinien mit einem Größtkorn von 32 mm

Abb. C3. Sieblinien mit einem Größtkorn von 32 mm [41]

- ein Mindestzementgehalt von  $300 \text{ kg/m}^3$
- die in Abschnitt 5.3 genannten erhöhten Anforderungen an die Zuschläge
- eine Kornzusammensetzung in Bereich 3 nach DIN 1045 (Abb. C2 und C3)
- soviel Mehlkorn und Feinstsand (Kornanteil der Korngröße 0 bis  $0,25 \text{ mm}$ ), daß der Beton gut verarbeitbar ist und ein geschlossenes Gefüge erhält (gleichzeitig ist der Mehlkorngehalt sowie der Mehlkorn- und Feinstsandgehalt nach oben zu begrenzen, Tabelle C7)

Tabelle C7. Höchstzulässiger Mehlkorngehalt sowie höchstzulässiger Mehlkorn- und Feinstsandgehalt für Beton mit einem Größtkorn des Zuschlaggemisches von  $16 \text{ mm}$  bis  $63 \text{ mm}$

1	Zementgehalt $\text{kg/m}^3$	2		3
		Höchstzulässiger Gehalt in $\text{kg/m}^3$ an Mehlkorn		Mehl- und Feinstsand
		bei einer Prüfkorngröße von $0,125 \text{ mm}$		bei einer Prüfkorngröße von $0,250 \text{ mm}$
1	$\leq 300$	350		450
2	350	400		500

Bei Zementgehalten zwischen  $300 \text{ kg/m}^3$  und  $350 \text{ kg/m}^3$  ist zwischen den Tabellenwerten geradlinig zu interpolieren.

Die Werte der Spalten 2 und 3 der Tabelle C7 dürfen erhöht werden,

- wenn der Zementgehalt  $350 \text{ kg/m}^3$  übersteigt, um den über  $350 \text{ kg/m}^3$  hinausgehenden Zementgehalt, jedoch höchstens um  $50 \text{ kg/m}^3$
- wenn ein puzzolanischer Betonzusatzstoff (z. B. Traß, Steinkohlenflugasche) verwendet wird, um den Gehalt an puzzolanischem Betonzusatzstoff, jedoch höchstens um  $50 \text{ kg/m}^3$

Von den vorgenannten Möglichkeiten der Erhöhung darf nur eine zur Anwendung gelangen,

- wenn das Größtkorn des Zuschlaggemisches  $8 \text{ mm}$  beträgt, um  $50 \text{ kg/m}^3$ .

- ein Wasserzementwert  $w/z > 0,50$  - ggf. unter Anrechnung der Zugabemengen flüssiger Zusatzmittel (Abschnitt 5.4.4)
  - eine vollständige Betonverdichtung sowie
  - eine sorgfältige Nachbehandlung nach der Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton.
- Die größte Wassereindringtiefe bei der obligatorischen Prüfung nach DIN 1048 darf  $30 \text{ mm}$  nicht überschreiten (Mittel aus 3 Prüfkörpern).

Die aggressiven Umgebungsbedingungen der Küste - Frost bei wassergesättigtem Beton und die Chloride des Meerwassers - erfordern für die Stahlbewehrung einen optimalen Schutz: Das Nennmaß der Betondeckung muß nach DIN 1045, Tafel 10, mindestens  $5,0 \text{ cm}$  betragen, für Bauteile in der Wasserwechselzone werden  $6-8 \text{ cm}$  empfohlen. Abstandhalter aus Beton oder faserbewehrtem Mörtel haben sich bewährt. Die geometrisch mögliche, dichte Umhüllbarkeit der Abstandhalter ist wichtig.

Um gleichzeitig eine funktionstüchtige dichte Betondeckung zu erreichen, müssen Nachbehandlungsart und -dauer auf Betonzusammensetzung, Frischbetontemperatur und Umgebungsbedingungen abgestimmt werden. Die Tabellen C8 und C9 fassen die Art der Maßnahmen und die Mindestnachbehandlungsdauer unter Berücksichtigung der besonderen Anforderungen an die Bauwerke an der Küste in Anlehnung an die „Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton“ zusammen.

### 5.4.2 Widerstand gegen Wellen, Strömung und sonstige mechanische Angriffe

Die i. d. R. gegebene starke mechanische Beanspruchung der Betonoberflächen – z. B. durch häufige Stöße, durch Sand-Wassergemische mit großer Strömungsgeschwindigkeit oder Wellenschlag – verlangt einen hohen Verschleißwiderstand des Betons (DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.6). Dabei sollte der Zementgehalt nach oben begrenzt sein, z. B. bei einem Größtkorn von 32 mm maximal 350 kg/m<sup>3</sup> betragen. Zuschläge bis 4 mm Korngröße sollten überwiegend aus Quarz oder Stoffen mindestens gleicher Härte bestehen, das größere Korn aus zähem Gestein oder künstlichen Stoffen mit hohem Verschleißwiderstand (siehe auch DIN 52 100, Tafel 1, Spalte 8 [23]). Das Zuschlaggemisch soll möglichst eine Sieblinie nahe der Sieblinie A (Abb. C2 und C3) aufweisen. Um bei einem möglichst niedrigen Wasserzementwert und gleichzeitig nach oben begrenzten Zementgehalt eine gute Verarbeitbarkeit des Betons zu erreichen, ist die Zugabe eines Betonverflüssigers oder Fließmittels häufig sinnvoll (siehe auch Abschnitt 5.4.4).

Tabelle C8. Nachbehandlungsmaßnahmen für Beton

Maßnahmen	Außentemperatur in °C				
	unter -3°	-3° bis +5°	5° bis 10°	10° bis 25°	über 25°
Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen und benetzen; Holzschalung nässen; Stahlschalung vor Sonnenstrahlung schützen					×
Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen			×	×	
Abdecken bzw. Nachbehandlungsfilm aufsprühen und Wärmedämmung; Verwendung wärmedämmender Schalung – z. B. Holz – sinnvoll		×*)			
Abdecken und Wärmedämmung; Umschließen des Arbeitsplatzes (Zelt) oder Beheizen (z. B. Heizstrahler); zusätzlich Betontemperaturen wenigstens 3 Tage lang auf +10 °C halten	×*)				
Durch Benetzen ohne Unterbrechung feuchthalten				×	

\*) Nachbehandlungs- und Ausschulfristen um Anzahl der Frosttage verlängern; Beton mindestens 7 Tage vor Niederschlägen schützen.

### 5.4.3 Hoher Frost- und Tausalzwiderstand

Ein nach Abschnitt 5.4.1 hergestellter Beton erfüllt die betontechnologischen Forderungen eines Betons mit hohem Frostwiderstand. Für Betontreppen in Deckwerken und anderen Flächen, auf denen im Winter Tausalz gestreut wird, sind luftporenbildende Zusatzmittel in solcher Menge zuzugeben, daß der in Tabelle C.10 angegebene Luftgehalt eingehalten wird. Zusätzlich ist erforderlich, daß die Zuschläge den zuvor in Abschnitt 5.3 beschriebenen Widerstand gegen Frosteinwirkung aufweisen.

Tabelle C9. Mindestnachbehandlungsdauer in Tagen für Bauteile im Wasserbau nach den „Richtlinien zur Nachbehandlung von Beton“

Umgebungsbedingungen	Beton- temperatur, ggf. mittlere Luft- temperatur	Festigkeitsentwicklung des Betons		
		schnell, z. B. w/z < 0,50 Z 55, Z 45 F	mittel, z. B. w/z 0,50 bis 0,60 Z 55, Z 45, Z 35 F oder w/z < 0,50 Z 35 L	langsam, z. B. w/z 0,50 bis 0,60 Z 35 L oder w/z < 0,50 Z 35 L-NW/HS
<i>günstig</i>				
vor unmittelbarer Sonneneinstrahlung	$\geq 10^{\circ}\text{C}$	2	3	3
und vor Windeinwirkung geschützt, relat. Luftfeuchte durchgehend $\geq 80\%$	$< 10^{\circ}\text{C}$	3	6	6
<i>normal</i>				
mittlere Sonneneinstrahlung und/oder	$\geq 10^{\circ}\text{C}$	2	4	6
mittlere Windeinwirkung und/oder relat. Luftfeuchte $\geq 50\%$	$< 10^{\circ}\text{C}$	3	9	12
<i>ungünstig</i>				
starke Sonneneinstrahlung und/oder	$\geq 10^{\circ}\text{C}$	3	6	8
starke Windeinwirkung und/oder relat. Luftfeuchte $< 50\%$	$< 10^{\circ}\text{C}$	6	12	15

Tabelle C10. Luftgehalt im Frischbeton unmittelbar vor dem Einbau [41]

	1 Größtkorn des Zuschlaggemisches in mm	2 Mittlerer Luftgehalt, Volumenanteil in % <sup>*)</sup>
1	8	$\geq 5,5$
2	16	$\geq 4,5$
3	32	$\geq 4,0$
4	63	$\geq 3,5$

<sup>\*)</sup> Einzelwerte dürfen diese Anforderungen um einen Volumenanteil von höchstens 0,5 % unterschreiten.

#### 5.4.4 Betonzusätze

Betonzusätze – das sind Betonzusatzmittel und Betonzusatzstoffe, die bestimmte Eigenschaften des Frisch- oder Festbetons günstig beeinflussen – können bei amtlich nachgewiesener Eignung verwendet werden.

Betonzusatzmittel müssen ein gültiges Prüfzeichen besitzen und brauchen als Volumenanteil nicht berücksichtigt zu werden. Sie beeinflussen durch chemische und/oder physikalische Wirkung z. B. die Verarbeitbarkeit, das Erhärten oder das Erstarren des Betons. Ihrer Verwendung hat stets eine Eignungsprüfung des Betons mit den vorgesehenen Zusatzmitteln

vorauszugehen, um festzustellen, ob der Frisch- und Festbeton die geforderten Eigenschaften erreicht. Die Zugabemenge ist bei Verwendung eines Betonzusatzmittels auf 50 ml/kg bzw. 50 g/kg der Zementmenge begrenzt, bei der Zugabe mehrerer Zusatzmittel darf die zugegebene Menge insgesamt 60 ml/kg bzw. 60 g/kg Zement nicht überschreiten. Die Mindestzugabemenge soll 2 ml/kg bzw. 2 g/kg Zement nicht unterschreiten. Flüssige Betonzusatzmittel sind dem Wassergehalt bei der Bestimmung des Wasserzementwertes zuzurechnen, wenn ihre gesamte Zugabemenge 2,5 l je m<sup>3</sup> Beton übersteigt.

Betonzusatzstoffe (z. B. Traß und Flugasche) sind fein aufgeteilte Zusätze, die in so großer Menge zugegeben werden, daß sie als Volumenanteil zu berücksichtigen sind. Sie müssen einer dafür vorgesehenen Norm (z. B. DIN 51 043 für Traß [51]) entsprechen oder ein gültiges Prüfzeichen bzw. eine bauaufsichtliche Zulassung haben. Betonzusatzstoffe werden in erster Linie bei Massenbetonbauwerken eingesetzt, um die Verarbeitbarkeit und Temperaturentwicklung des erhärtenden Betons günstig zu beeinflussen. Wegen des notwendigen Frostwiderstandes muß die Zugabe jedoch begrenzt und die Nachbehandlungsdauer verlängert werden.

## 5.5 Betonpflastersteine und Betonplatten

Für die Unterscheidung zwischen „Platte“ und „Stein“ gilt folgende Begriffsbestimmung: Das Verhältnis der Abmessungen Länge (l) zu Dicke (d) ist maßgebend, wobei keine scharfe Abgrenzung möglich und der Übergang fließend ist. Betonkörper mit einem Verhältnis  $l:d < 2,5$  werden als Steine, mit  $l:d > 2,5$  als Platten definiert. Ferner kann die Steingröße dadurch eingeschränkt werden, daß der Stein „handlich“ sein soll und von zwei Mann verlegt werden kann. Das Einzelgewicht darf deshalb 50 kg nicht überschreiten.

Betonpflastersteine werden werkmäßig aus hochwertigem Beton hergestellt. Sie werden zum Bau von Deckwerken ohne oder mit Verbund untereinander (horizontal und/oder vertikal) und zur Befestigung von Deichsicherungswegen und Deichrampen verwendet. Als Deckwerksteine sollten nur solche Betonsteine verwendet werden, die die im „Merkblatt für Deckwerksteine aus Beton für den Uferschutz“ [58] geforderten Güteeigenschaften aufweisen. Für die Betonzusammensetzung gelten die im Abschnitt 5.4 gemachten Angaben. Die Form und die geringen Abweichungen von den Sollmaßen ermöglichen die lückenlose Deckung unterschiedlich geformter Böschungflächen. Die zulässigen Abweichungen betragen  $\pm 3$  mm für das Längen- und Breitenmaß und  $\pm 5$  mm für das Höhenmaß. Die Einzel- und Flächengewichte richten sich nach der örtlichen Beanspruchung.

Über die Forderungen von Abschnitt 5.4 hinaus muß die Druckfestigkeit jedes Steines bei Auslieferung, spätestens aber nach 28 Tagen, mindestens 50 N/mm<sup>2</sup>, die mittlere Druckfestigkeit mindestens 60 N/mm<sup>2</sup> betragen. Der Beton der Platten muß den Anforderungen der Abschnitte 5.3 und 5.4 entsprechen. Großformatige Platten sollten bewehrt und nach DIN 1045 bemessen werden. Die Betondruckfestigkeit bei der Verlegung sollte mindestens 35 N/mm<sup>2</sup> betragen, um eine ausreichende Kantenfestigkeit zu garantieren.

## 5.6 Unterwasserbeton

Unterwasserbeton wird i. d. R. in frischem Zustand, gelegentlich auch bereits erhärtet in Form von Fertigteilen eingebaut. Tabelle C11 gibt eine Übersicht über Betonarten und Einbaumethoden. Die wichtigsten Voraussetzungen zur Erreichung der angestrebten Beton-

Tabelle C11. Einbaumethoden für Unterwasserbeton

Betonart	Einbaumethode
1 Betonfertigteile	- Absenken und Stapeln der Bauteile - Verbinden der Bauteile
2 Frischbeton verpackt in Geokunststoffen (s. Abschnitt 7)	Absenken und Stapeln der Elemente
3 Mörtel	Injektion in bereits eingebaute geotextile Matten und Schläuche
4 Frischbeton	- Schüttrohr - Pumpen - Hydroventil - Transportkübel - freier Absturz durchs Wasser (z. B. Sibo-Beton „Hydrocrete“)
5 Ausgußbeton	Injektion des Mörtels in das bereits eingebaute Korngestüt (Colcrete-Verfahren u. a.)

qualität und der Einbau werden für die in Tabelle C11, Zeile 4 und 5, genannten Verfahren in diesem Abschnitt 5.6 und in Abschnitt 5.7 erläutert.

Beton, der über Wasser fertig gemischt wird und unter Wasser eingebracht werden muß, ist im allgemeinen nach DIN 1045, Abschnitt 6.5.7.8 als sog. Unterwasserbeton herzustellen. Er kann nach Tabelle C11 mit Fallrohren, durch Pumpeneinsatz, durch Hydroventile oder mit Krankübeln eingebracht werden.

Die unterschiedlichen Einbauverfahren sind wie folgt charakterisiert:

**Schüttrohr- und Pumpmethode:** Es werden vertikal angeordnete Schüttrohre von im allgemeinen 20 bis 30 cm Durchmesser, das entspricht dem achtfachen Größtkorndurchmesser, im Abstand von maximal 4 bis 6 m verwendet. Das Rohrende muß während des Betonierens ständig 1 bis 2,5 m tief im Frischbeton eintauchen und mit der Steighöhe des frischen Betons angehoben werden. Ein Ventil oder ein anderes Hilfsmittel zum Verschließen des Rohrendes, wie z. B. ein Papierpfropfen oder Kunststoffball, ist zweckmäßig, um vor Betonierbeginn zu verhindern, daß Wasser in das Rohr eindringt. - Während des Betonierens mit der Pumpmethode ist besonders darauf zu achten, daß das Rohrende nicht seitlich ausweicht.

**Hydroventilmethode:** Meistens trägt ein über Wasser längs- und querverfahbarer Wagen einen flexiblen Kunststoffschlauch und einen zylinderförmigen Schild an seinem unteren Ende. Der Beton wird durch den vertikal hängenden Schlauch gefördert, der vor der Füllung mit Beton durch den Wasserdruck zusammengedrückt und dadurch geschlossen wird. Sobald das Gewicht der Füllung ausreicht, den Schlauch auseinanderzudrücken, gleitet der Beton ohne Entmischung und ohne Kontakt mit dem Wasser nach unten. Hinter einem Betonschub wird der Schlauch durch den Wasserdruck wieder zusammengedrückt, bis die nächste Betonmenge abwärts gleitet. Der Schild befindet sich auf der Ebene der gewünschten Schütthöhe und gewährleistet die Einhaltung dieser Höhe. Auf diese Weise lassen sich Betonbeläge mit relativ geringen Dickentoleranzen herstellen.

**Betonieren mit Transportkübeln:** Der über Wasser gefüllte Betonkübel wird unter Wasser abgesenkt und auf den Boden oder den bereits eingefüllten Beton entleert. Der Kübel sollte immer vollständig gefüllt sein, langsam abgelassen und hochgezogen werden,

möglichst etwas in die freie Frischbetonoberfläche eindringen und die sich einstellende fortschreitende Betonböschung von unten her aufbauen.

Bei allen diesen Einbauverfahren muß der Beton als zusammenhängende Masse fließen, damit er auch ohne Verdichtung ein geschlossenes Gefüge erhält. Die Sieblinie der Zuschläge soll im Bereich 3 (Abb. C2 und C3) verlaufen, einen ausreichend großen Mehlkorngelhalt aufweisen (Tabelle C7) und i. a. ein Ausbreitmaß von 45 bis 50 cm aufweisen. Der erforderliche Zusammenhalt und das zu gewährleistende dichte Gefüge verlangen einen hohen Zementgehalt. Über die allgemeinen Anforderungen an den Beton für Küstenschutzwerke hinaus muß daher der Zementgehalt eines Betons mit Zuschlag bis 32 mm Größtkorn mindestens  $350 \text{ kg/m}^3$  betragen. Um den Wassergehalt zu reduzieren und eine gute Fließfähigkeit herzustellen – Konsistenz KR oder KF –, wird die Anwendung eines Fließmittels, das ist ein hochwirksamer Betonverflüssiger, empfohlen.

Weitere Möglichkeiten eines Unterwasserbetons bieten der Einbau von Ausgußbeton z. B. nach dem Colcrete-Verfahren (siehe Abschnitt 5.7), die Verlegung mit Beton gefüllter Säcke aus Geokunststoffen, die Füllung bereits verlegter geotextiler Matten und Schläuche mit Mörtel oder Beton und die Absenkung und Verbindung vorgefertigter Betonbauteile unter Wasser. Auf Einzelheiten zu diesen Verfahren wird an dieser Stelle verzichtet.

Die Qualität des Unterwasserbetons hängt nicht nur vom Mischungsaufbau, sondern wesentlich von der Einbaumethode ab. Als Beurteilungskriterien sind im allgemeinen Prüfen der Druckfestigkeit und der Homogenität an Bohrkernen vorzunehmen.

**Freier Absturz durchs Wasser:** Durch spezielle Zusätze und gezielte Zusammensetzung des Betons läßt sich ein Frischbeton herstellen, der, ohne sich zu entmischen, auch mehrere Meter frei durch stehendes Wasser geschüttet werden kann. Dies ist ein Sonderbeton, bei dem die Eigenschaften stets im Einzelfall nachzuweisen und die Einbaumethoden exakt festzulegen sind.

Bei bestimmten Anwendungsfällen (z. B. Steinverguß unter Wasser) ist die Dosierung der Einbaumenge mit Hilfe einer schwimmenden Palette möglich, die durch lamellenartige Verschlüsse den Beton zuverlässig verteilt.

## 5.7 Ausgußbeton

Unter Ausgußbeton wird eine Arbeitstechnik verstanden, bei der zuerst die Grobzuschläge eingebaut und die Hohlräume des Gesteinsgerüsts nachträglich mit Zementmörtel ausgefüllt werden. Der Einbau von dichtem Ausgußbeton erfordert besondere Erfahrung bei der Mörtelherstellung und beim Injizieren oder Vergießen der Hohlräume. Die Eigenschaften des Mörtels müssen den Anforderungen nach Abschnitt 5.4 entsprechen. Der Mörtel für Ausgußbeton soll sich gut pumpen lassen und kein Wasser absondern. Die Verarbeitung muß beendet sein, bevor der Zementleim des Mörtels zu erstarren beginnt. Beim Colcrete-Verfahren werden die Anforderungen an den Mörtel durch die Mischart in Sondermischern mit großer Drehzahl, bei anderen Verfahren durch die Zugabe von Zusätzen erreicht. Der Mörtel ist fließfähig, wasserundurchlässig sowie frost- und seewasserbeständig. Seine kurze Erstarrungszeit ist besonders bei Arbeiten in der Wasserwechselzone des Tidebereichs günstig und ermöglicht auch das Arbeiten bei geringen Fließgeschwindigkeiten. Die Verarbeitung erfolgt über und unter Wasser über Injektionslanzen, die vor dem Einbau der Zuschläge positioniert werden. Die Lanzen müssen bis zur Sohle des Bauteils reichen, damit der Mörtel mit langsam steigendem „Mörtel Spiegel“ das Wasser aus den Hohlräumen verdrängen und die

Zuschläge vollständig umhüllen kann. Bei Arbeiten im Trockenem wird in gleicher Weise verfahren, um Lufteinschlüsse im Steingerüst auf ein Minimum zu reduzieren.

Die Schüttung soll aus einem Haufwerk bestehen, das keine Korngruppen unter 32 mm enthält. Das Größtkorn des Mörtels darf höchstens  $\frac{1}{10}$  des Kleinstkorns der Schüttung betragen. Zum Ausgießen der Hohlräume führt man Injektionslanzen bis in den unteren Bereich der Schüttung und drückt von unten aufsteigenden Mörtel in die Hohlräume.

Auf größere Entfernungen wird mit handelsüblichen Mörtel- und Betonpumpen durch 2-Zoll-Rohre gefördert und mit 1,5-Zoll-Injektionsrohren eingebracht. Bei Unterwasser-Injektionsarbeiten wird die Mörtelspiegelhöhe im allgemeinen mittels Schwimmer in den Injektionsrohren oder durch elektrische Widerstandsmessung bestimmt. Die Fließfähigkeit wird mit einem Auslaufrichter, die Mörtelfestigkeit an Prismen geprüft.

### 5.8 Steinverguß, Fugenverguß und Steinverklammerung

Bei Steinschüttungen geringer Dicke, z. B. bei Sohlpanzerungen oder Deckwerken, können die Steine durch Vergießen der Hohlräume mit Mörtel zu einem geschlossenen, dichten Deckwerk verbunden werden. In gleicher Weise können Fugen zwischen Betonplatten, großformatigen Steinen u. ä. geschlossen werden.

Bei Steinverklammerungen werden die Hohlräume einer Steinschüttung nur zum Teil gefüllt, so daß der Mörtel die Einzelsteine „punktweise“ verbindet. Dadurch wird ein offenes, durchströmbares Deckwerk hergestellt, das zur Vermeidung von Ausspülungen einen dauerhaft wirksamen mineralischen oder geotextilen Filter benötigt. Die gute Haftung des Mörtels an den Steinen bewirkt auch bei geringen Mörtelmengen eine sichere Verklammerung. Verguß und Verklammerung werden über und unter Wasser ausgeführt. In der Wasserwechselzone und unter Wasser ist die Unempfindlichkeit des Frischmörtels gegen Auswaschung der Feinstanteile von ausschlaggebender Bedeutung für die Verklammerungswirkung. Das Merkblatt „Anwendung von hydraulisch und bituminös gebundenen Vergußstoffen zum Teil- und Vollverguß von Steinschüttungen an Wasserstraßen“ (MAV) [61] legt die technischen Anforderungen an Ausgangsstoffe und Bauausführung für den Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes fest. „Die Empfehlungen für die Verklammerung von Uferschutzwerken und Sohlensicherungen – EVU 1990“ [62] fassen die mit dieser Bauweise gemachten Erfahrungen und Erkenntnisse zusammen, um sie für die Planung und Bauausführung verfügbar zu machen, so daß hier auf Einzelheiten verzichtet werden kann.

### 5.9 Bodenverfestigung mit Zement

Durch eine Verfestigung des Bodens mit Zement wird seine Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Belastungen, insbesondere gegen Sandschliff, Eisgang, Wellenschlag und strömendes Wasser, erhöht, so daß der Boden dauerhaft tragfähig und frostbeständig wird. Die Bodenverfestigung wird als Tragschicht für Deckwerke verwandt, kann aber auch bei Dämmen zur lagenweisen Verfestigung des gesamten Dammquerschnitts und als Böschungsschutz durch Verfestigung der äußeren Zone genutzt werden.

Die Anforderungen an die zur Verfestigung vorgesehene und an die verfestigte Schicht sowie deren Herstellung und Prüfung sind im einzelnen im „Vorläufigen Merkblatt für Bodenverfestigung mit Zement im Wasserbau“ [59] niedergelegt.

## 5.10 Sand-Zement-Schüttsteine

Sand-Zement-Schüttsteine werden hergestellt, indem die einzelnen Lagen des verdichteten Boden-Zementgemisches blockförmig zerschnitten werden. Nach ausreichender Erhärtung werden die so entstandenen Steine aufgenommen und verbaut. Sand-Zement-Steine können vor allem für Dammschüttungen verwendet werden, die nur im Bauzustand starker Erosion ausgesetzt und späterhin überdeckt sind, z. B. bei Deichschlüssen, Priedurchdämmungen und Kolkverbau. Einzelheiten zu Anforderungen, der Herstellung und Prüfung sind in dem vorgenannten Merkblatt enthalten.

### 5.11 Prüfungen

Um die erforderlichen Eigenschaften des Betons sicher zu erreichen, sind mindestens nachstehende Prüfungen erforderlich:

**Betonzuschlag:** Kornzusammensetzung durch Siebversuch; Widerstand gegen Frost durch Frost-Prüfung nach DIN 4226 – Teil 3, Abschnitt 3.5; ggf. abschlämmbare Bestandteile und Stoffe organischen Ursprungs nach DIN 4226 – Teil 3, Abschnitt 3.6.1 bzw. 3.6.2 [47].

**Frischbeton:** DIN 1048 – Teil 1: Konsistenz nach Ausbreit- und Verdichtungsversuch nach Abschnitt 3.2.1 bzw. 3.2.2; Rohdichte nach Abschnitt 3.3; Luftgehalt nach Abschnitt 3.5; Wassergehalt nach Abschnitt 3.4.2 [42].

**Festbeton:** Druckfestigkeit am Würfel oder Bohrkern nach DIN 1048 – Teil 5 bzw. Teil 2; Wasserundurchlässigkeit nach DIN 1048 – Teil 5; für Pflastersteine: Wasseraufnahme nach DIN 52 103 [26] und „Merkblatt für Deckwerksteine aus Beton für den Uferschutz“ [58].

Die Einhaltung der geforderten Eigenschaften ist durch eine lückenlose Güteüberwachung nachzuprüfen. Als Eigenüberwachung sind die oben angegebenen Prüfungen durchzuführen; sie können jedoch bei vorgefertigten Bauteilen aus überwachten Herstellerbetrieben entfallen.

## 6. Asphalt

### 6.1 Allgemeines

Asphalt besteht aus einem Gemisch von Bitumen und Mineralstoffen. Er ist ein thermoplastischer Baustoff, dessen mechanische Eigenschaften temperatur- und zeitabhängig sind. Diese Eigenschaften ermöglichen begrenzte und dann schadlose Anpassungen des Bauwerks an Setzungen der Unterlage. Der Asphalt wird im allgemeinen heiß eingebaut.

Entsprechend den Anforderungen an das Bauwerk werden dichte oder durchlässige Baustoffe eingesetzt. Dichte Massen sind Asphaltbeton, in der Mineralzusammensetzung nach dem Hohlraum-Minimumprinzip zusammengesetzt, und Steinlagen, deren Hohlräume mit Asphaltmastix voll vergossen werden. Sie sind alterungsbeständig, da die Witterung nur auf den unmittelbaren Oberflächenbereich Einfluß nehmen kann. Auch dünne Schichten aus reinem Bitumen sind dicht. Offene Bauweisen bestehen aus Steinlagen, deren Hohlräume nur teilweise mit Eingußmassen verfüllt sind, oder aus hohlraumreichen Bitumen-Mineralstoff-Gemischen. Letztere müssen um das größere Gesteinskorn einen dicken Bindemittelfilm aus Bitumen oder einem Bitumen-Feinstoffgemisch erhalten, der gegenüber Durchtritt von

Luftsauerstoff und Wasser dicht ist. Eine möglicherweise begrenzte Alterungsbeständigkeit hohlraumreicher Bitumen-Mineralstoff-Gemische ist in die Wirtschaftlichkeitsberechnung des Gesamtbauwerks einzubeziehen.

Die Baustoffe, ihre Eigenschaften und Zusammensetzung, die Beständigkeit gegenüber allen äußeren Einflüssen, die Prüfung sowie die Anwendung und die Einbauverfahren sind ausführlich in den „*Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltbauweisen im Wasserbau*“ (EAAW 83) beschrieben, die allen Ausschreibungen zugrunde gelegt werden sollten. Hier wird daher nur eine kurze Beschreibung der verschiedenen Stoffe gegeben. Weitere Prüfverfahren sind in DIN 1996 für den Asphalt sowie DIN 52 001 bis 52 0050 für das Bitumen aufgeführt.

## 6.2 Mineralstoffe

Verwendet werden Natursteinschotter, -splitte und -brechsande, Steinmehle, Kiese und Natursande. Sie sollen weder verwittert noch quellfähig sein, dagegen frostbeständig, sauber, von gleichbleibender Qualität und Kornzusammensetzung, ohne größere Mengen plattiger Anteile und für Asphaltbeton-Deckschichten im wesentlichen flintfrei.

Gesteinsmehle bestehen überwiegend aus Korn kleiner 0,09 mm, das man Füller nennt. Sie bestimmen wegen ihrer großen Oberfläche weitgehend den Bindemittelbedarf und damit teilweise auch die Stabilität des Gemisches.

## 6.3 Bindemittel

Als Bindemittel wird im allgemeinen ein Straßenbaubitumen nach DIN 1995 eingesetzt, das durch schonende Destillation aus Erdöl hergestellt wird (DIN 55 946, Teil 1). Es ist in hygienischer Hinsicht unbedenklich. Die Hauptsorten sind B 80 und B 65. Härtere und weichere Sorten (B 45 bis B 15 bzw. B 200 und B 300) sowie polymermodifizierte Bitumen mit gleicher oder ähnlicher Nadelpenetration können für besondere Beanspruchungen zweckmäßig sein, desgleichen Oxidationsbitumen, hochviskoses Fluxbitumen, das als Fluxmittel im Wasserbau aus hygienischen Gründen nur Erdölfractionen enthalten sollte, sowie Bitumenemulsionen und Kaltbitumen.

## 6.4 Asphaltbeton, Gußasphalt und Sandasphalt

Die Mineralmassen werden nach dem Hohlraum-Minimumprinzip zusammengesetzt und sollen etwa innerhalb der Sieblinienfläche der „*Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltbauweisen im Wasserbau*“ (EAAW 83) liegen (Abb. C4 und C5). Dort werden auch die Bindemittelmengen und die Anforderungen, insbesondere an den Hohlraum des verdichteten Gemisches, angegeben.

Deckschichten sind wasserdicht, wenn daraus entnommene Prüfstücke eine Wasseraufnahme im Vakuum von  $\leq 2$  Vol.-% oder einen berechneten Hohlraum von  $\leq 3$  Vol.-% (DIN 1996, Teil 8 und Teil 7) aufweisen.

Für Deckwerke und Böschungsbefestigungen oberhalb der Wasserwechselzone sowie für Deichverteidigungswege kann der Hohlraum höher liegen, nämlich bei einer Wasseraufnahme von  $\leq 3$  Vol.-% oder einem berechneten Hohlraum von  $\leq 4$  Vol.-%.

Ein niedriger Hohlraumgehalt gewährleistet nicht nur Wasserdichtigkeit, sondern ist

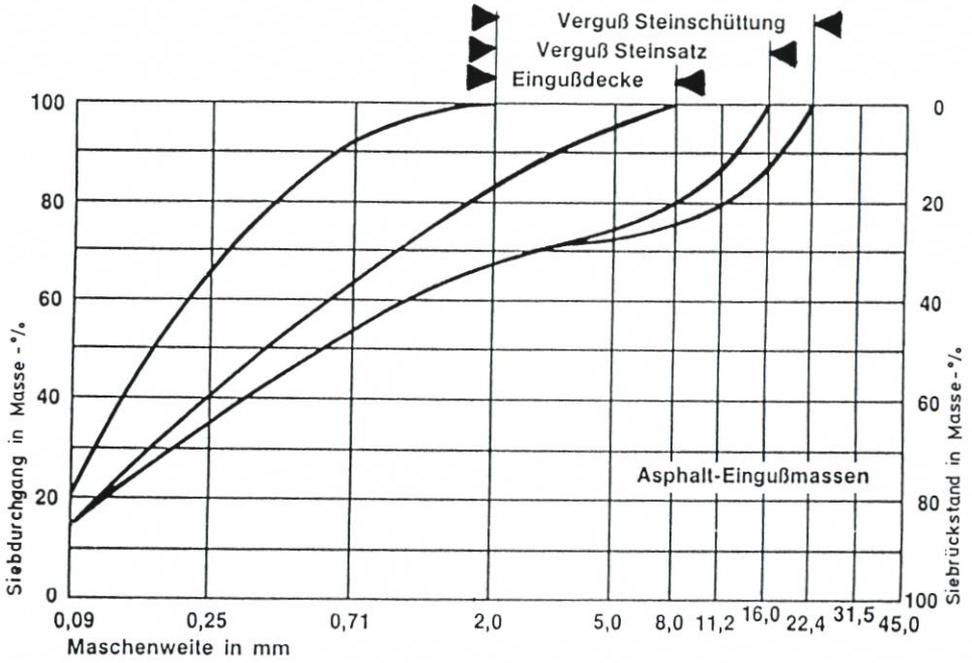


Abb. C4. Sieblinienbereich für Asphalt-Eingußmassen (Asphaltmastic) [90]

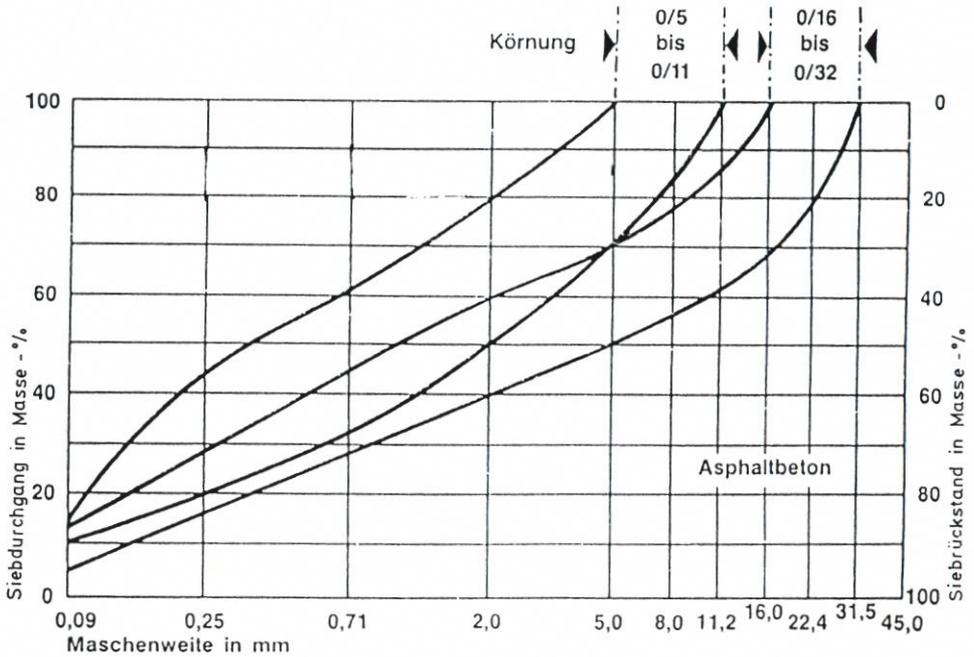


Abb. C5. Sieblinienbereich für Asphaltbeton [90]

auch wegen der Alterungsbeständigkeit des Bauwerks von wesentlicher Bedeutung. Sind die Hohlräume gering, so hat auch der Luftsauerstoff kaum Zutrittsmöglichkeiten zum Bindemittel im Inneren des Belages selbst; es kann dann auch keine Oxidierung und damit Verhärtung eintreten, die auf lange Sicht die Flexibilität der Decke beeinträchtigen würde.

Tab. C12 enthält in einer Zusammenstellung Angaben über Kornzusammensetzung und Bindemittelgehalt. Die Kornbereiche lassen sich für besondere Einbauverfahren und Anwendungsbereiche noch durch Einbeziehung größerer Korngruppen erweitern. Sandasphalt und Gußasphalt haben heute im Asphaltwasserbau nur noch in Sonderfällen eine Bedeutung, da sie mit Asphaltbeton in wirtschaftlicher Hinsicht kaum noch konkurrieren können.

Tabelle C12. Asphalt; Kornzusammensetzung und Bindemittelgehalt

	Kornbereich mm	Gehalt an Korn > 2 mm Masse-%	Füller- gehalt Masse-%	Bitumen- gehalt Masse-%
Asphaltbeton	0/5, 0/8, 0/11	20 ... 50	10 ... 15	7 ... 9
Asphaltbeton	0/16, 0/22, 0/32	40 ... 60	5 ... 13	5,5 ... 7
Sandasphalt	0/2	0 ... 20	10 ... 20	8 ... 12
Gußasphalt	0/8, 0/11, 0/16	25 ... 40	≥ 20	7 ... 10
Asphaltvergüß	Natursand 0/2	teilweise bis 30	10 ... 30	14 ... 20
Bitumensand	Natursand 0/2	-	bis 5	3 ... 5

Asphaltgemische von Bauwerken mit zeitlich begrenzter Nutzung – wie z. B. Deckwerke und Baustraßen – sollten als Ausbauasphalt wiederverwertet werden [94]. Dadurch werden auch Kosten und Deponieraum gespart. Ein Beispiel für eine solche Wiederverwertung von Ausbauasphalt als Baustoff für das Deckwerk der Überschlagsicherung und die Straßenbefestigung des Deichverteidigungsweges ist bei der Vordeichung Hattstedter Marsch an der Nordseeküste Mitte der 80er Jahre gegeben. Dort wurden nach eingehender Prüfung der Eigenschaften des Ausbauasphaltes und Erstellung entsprechender Eignungsprüfungen für das Deckwerk bis zu 80 % und für den Deichverteidigungsweg 75 % Altmaterial (Asphaltbeton und Asphalttragschicht) zugegeben [98] (s. a. Empf. E, Abschn. 3.5).

### 6.5 Hohlraumreiche Bitumen-Mineralstoff-Gemische

Sie dienen als Walzunterlage, Ausgleichsschicht gegenüber großkörnigen, nichtgebundenen Mineralschichten oder als Filter- und Dränschichten. Damit können sie bindemittelermer, grobkörniger und hohlraumreicher als die undurchlässigen Dichtungsschichten oder Deckwerke eingestellt werden. Die Zusammensetzung erfolgt im allgemeinen in Anlehnung an die Straßenbauvorschriften (ZTVT – StB 86 [180] und ZTV bit – StB 84 [181]). Für Deckwerke an Seedeichen haben diese Gemische im allgemeinen keine Bedeutung mehr. Werden sie jedoch als Drän- und Filterschichten benötigt, so ist für geeignete hohlraumreiche Gemische aus Bitumen und Kies, Splitt, Grobkies und Schotter ein dickerer Bitumenfilm durch Beigabe von Steinmehlen oder Brechsand mit entsprechendem Steinmehlgehalt anzustreben. Diese Gemische werden Mastixgestein genannt.

## 6.6 Asphalteingußmasse

Als Eingußmasse wird ein hohlraumfreies, heißes Gemisch aus feineren Mineralstoffen (Sande und Steinmehle) und Bitumen verwendet. Es ist im heißen Zustand fließfähig, nach dem Erkalten jedoch standfest und kann sich langsamen Bewegungen durch plastische Verformungen angleichen. Die Zusammensetzung für die verschiedenen Anwendungsgebiete ist wiederum in [90] festgelegt. Für die Mineralzusammensetzung sind Sieblinienflächen angegeben (Abb. C4 und C5). Je nach Größe der zu füllenden Hohlräume werden gröbere Mineralstoffe zugegeben, die für Sonderanwendungen bis zu Korngrößen von 150 mm reichen können.

## 6.7 Fugenvergußmasse

Für Fugenvergußmassen zum Schließen von horizontalen oder geneigten Fugen zwischen starren Baukörpern sind keine allgemeinen Angaben über ihre Zusammensetzung möglich, da diese entsprechend dem Anwendungsgebiet und den Bedingungen, wie Böschungseigung, Fugenbreite und -tiefe, sehr unterschiedlich sein kann. Es empfiehlt sich, erfahrenen Herstellern von Vergußmassen diese Bedingungen zu schildern und sich geeignete Zusammensetzungen anbieten zu lassen.

## 6.8 Bitumensand

Entsprechend seiner Anwendung als wirtschaftlicher Baustoff für Unterlagen von dichten Asphaltbelägen und Deckwerken, als Massenbaustoff zum Herstellen von Baukörpern unter Wasser und im Wasserwechselbereich sowie zum Verfüllen von Hohlräumen und als Filterschicht genügt es, eine Bindung durch geringere Bitumenmengen, etwa 3 bis 5 Masse-%, anzustreben. Der Endhohlraum liegt im allgemeinen zwischen 20 und 35 Vol.-%. Ist eine gewisse Standfestigkeit erforderlich, so kann die Stabilität des Mischgutes durch Zugabe von Steinmehl verbessert werden. Als Bitumensorte kommt im allgemeinen ein B 80 in Frage.

## 6.9 Sondergemische

Die Vielzahl der Anwendungsgebiete bedingt, daß außer den oben genannten Baustoffen gelegentlich auch Sondergemische eingesetzt werden. Dazu gehören u. a. bitumenreicher Versiegelungsmastix, Oberflächenbehandlungen mit Heißbitumen oder hochstabilisierte Bitumenemulsionen, Steingerüst-Asphaltbeton und Asphaltmatten. Sie sind größtenteils in [90] näher beschrieben oder werden von der Industrie für Sonderfälle angeboten.

## 6.10 Prüfungen

In der Tabelle C13 sind nach den EAAW 83, Teil C [90] die üblichen Prüfverfahren für Asphaltgemische aufgeführt und Angaben enthalten, wann die Prüfungen durchzuführen sind.

Tabelle C13. Angaben über Eigenschaften von Baustoffen und Baustoffgemischen bzw. Nachweis durch Prüfungen

Bewertung: 1 = erforderlich, 2 = Information, 3 = in Sonderfällen

EP = Eignungsprüfung EüP = Eigenüberwachungsprüfung KP = Kontrollprüfung	DIN Merkblätter (MBI) und Technische Lieferbedingungen (TL) der FGSV Abschnitte der EAAW 83	Eingußmassen nach EAAW 83 B 2			Asphaltbeton nach EAAW 83 B 1.3			Hohlraumreiche Bitumen-Mineralgemische nach EAAW 83			
		EP	EüP	KP	EP	EüP	KP	EP	EüP	KP	
<b>Mineralstoffe</b>											
Eigenschaften	TL Min-StB										
Prüfungen	TP Min-StB										
Güteüberwachung	RG Min-StB										
Art und Herkunft		1			1			1			
Beurteilung nach Augenschein		1	1		1	1		1	1		
Korngrößenverteilung der Lieferkörnungen	DIN 52 098	1	2		1	2		1	2		
Einzelne Eigenschaften	TL Min-StB	3	3		3	3					
<b>Bindemittel</b>											
Bindemittelsorte	DIN 1995, TL Bindemittel auf Bitumenbasis	1	2		1	2		1	2		
Eigenschaften des angelieferten Bindemittels	DIN 52 000 bis 52 050	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
<b>Asphaltgemische</b>											
Mengenanteile der Lieferkörnungen		1			1			1			
Korngrößenverteilung des Mineralstoffgemisches	DIN 1996 Teil 14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Bindemittelgehalt	DIN 1996 Teil 6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Eigenschaften des extrahierten Bindemittels*)	DIN 52 000 bis 52 050		3	3			2	1		2	1
Rohdichte des Asphalts					1	1	1				
Raumdicke des Asphalts	DIN 1996 Teil 7	2		2	1	1	1	1			2
Wasseraufnahme**)	DIN 1996 Teil 8				1	1	1				
Berechneter Hohlraumgehalt**)	DIN 1996 Teil 7				1	1	1				2
Wasserlagerung***)	DIN 1996 Teil 10										1
Quellversuch	DIN 1996 Teil 9				3	3		3	3		
Dicke des Ausbaustückes							1	1		1	1
Standfestigkeit auf geeigneten Flächen	Abschn. C 9.7.1	3			1				3		
Durchlässigkeit dichter Beläge	Abschn. C 9.7.2						3	3			
Wasserdurchtritt durch offene Beläge	Abschn. C 9.7.3								1		3
Verdichtbarkeit	Abschn. C 9.7.4				1	2	2				
Flexibilität	Abschn. C 9.7.5				3						
Viskosität von Eingußmassen	Abschn. C 9.7.6	3		3							

\*) Im allgemeinen genügt Bestimmung von Erweichungspunkt RuK und Nadelpenetration

\*\*) Entweder Wasseraufnahme oder berechneter Hohlraumgehalt

\*\*\*) Gilt nur für Bindemittel mit Penetration  $\geq 160$  [0,1 mm] (B 200 und weicher)

## 7. Geokunststoffe

### 7.1 Allgemeines

Kunststoffe werden im Küstenwasserbau vornehmlich für Filteraufgaben, daneben aber auch für Bewehrungsaufgaben, Dränzwecke, für Dichtungsaufgaben und zum Verpacken von Sand eingesetzt. Sie ersetzen herkömmliche Baustoffe oder ermöglichen in der Kombination mit diesen neue und wirtschaftliche Bauweisen, um insbesondere in der Kontaktzone von Boden und Wasser aufstauende bzw. dichtende oder filternde Funktionen zu übernehmen. Ihre vielseitige Verwendung beruht vor allem darauf, daß durch Formbarkeit und geeignete Verbindungstechniken die Flächengröße dem Einbauzweck angepaßt und Hohlkörper wie Säcke oder Container, Zellen-Matten und Schläuche hergestellt werden können. Außerdem ist eine weitestgehende Abstimmung auf gegebene Belastungsgrößen möglich. Diese sogenannten Geokunststoffe sind gegen chemische Einflüsse beständig, weisen eine hohe Verrottungsfestigkeit auf und sind infolge ihres geringen Eigengewichtes leicht zu handhaben. Zu beachten sind Gefährdungen der Geokunststoffe durch mechanische Beanspruchungen bei unsachgemäßem Einbau oder bei fehlender Abdeckung durch Vandalismus, Sandschliff oder Treibgut sowie die Empfindlichkeit gegenüber UV-Strahlung in Abhängigkeit von Rohstoff und Faserfeinheit.

Im folgenden wird ein Überblick über Produktformen der Geokunststoffe gegeben.

Synthetische Flächengebilde (Geosynthetics oder Geokunststoffe) können zunächst in wasserdurchlässig und wasserundurchlässig eingeteilt werden. Geotextilien und verwandte Produkte (die Bezeichnung „Related Products“ hat sich im deutschsprachigen Raum teilweise durchgesetzt) bilden die Gruppe der wasserdurchlässigen Flächengebilde. Kunststoffdichtungsbahnen (Geomembranen) und dichtungsbahnverwandte Produkte wie beispielsweise sogenannte Bentonitmatten stehen stellvertretend für wasserundurchlässige Flächengebilde.

In [120] werden die grundsätzlichen rohstoff- und produktspezifischen Eigenschaften von Geotextilien und Kunststoffdichtungsbahnen behandelt, die für die Auswahl und Anwendung von Geokunststoffen berücksichtigt werden müssen (s. Abb. C6).



Abb. C6. Grobgliederung der synthetischen Flächengebilde [121]

Weiterhin behandeln die Empfehlungen die besonderen, problemorientierten Anforderungen, die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung sowie die heute üblichen Prüfungen und Regeln zur Dimensionierung. Anwendungen und für Problemstellungen relevante Fragen der Bemessung sowie erforderliche Prüfungen werden in [110] behandelt. Die wichtigsten Rohstoffeigenschaften sind in Tabelle C14 dargestellt.

Tabelle C14. Rohstoffeigenschaften [110]

	Reißfestigkeit* (cN/dtex)	Naßreißfestigkeit	Kriechneigung	Verrottungsbeständigkeit	Lichtbeständigkeit	Beständigkeit gegen Bodenchemikalien
Polyacrylnitril (PAC)	2 – 4	etwas niedriger	vorhanden	gut	sehr gut	gut
Polyamid (PA)	4 – 8	10% niedriger (bei größerer Dehnung)	sehr gering	gut	gut	sehr gut
Polyester (PES)	4 – 8	keine Änderung	sehr gering	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Polyethylen (PEHD)	2,5 – 5	keine Änderung	sehr stark	sehr gut	nicht ausreichend	sehr gut
Polypropylen (PP)	4 – 6	keine Änderung	stark	sehr gut	schlecht	sehr gut

\* Bezogen auf das Filament bzw. die Spinnfaser, *nicht* auf das Geotextil; Krafteinheit in Centi-Newton (cN)

## 7.2 Kunststoffdichtungsbahnen

Bei Dichtungsbahnen wird allgemein unterschieden zwischen

- Kunststoffdichtungsbahnen (Hochpolymerbahnen) und
- Bitumenbahnen, die mit Kunststoffeinlagen verstärkt sind.

Kunststoffe für Dichtungsbahnen gliedern sich auf in

- Thermoplaste und
- Elastomere.

Bei den Thermoplasten ist zu unterscheiden zwischen

- amorphen und
- teilkristallinen Thermoplasten.

Werden Kunststoffe (z. B. Polyethylen PE) mit anderen Werkstoffen (z. B. Bitumina) vermischt, entstehen

- Mischpolymerisate.

Bei den amorphen Thermoplasten ist die Lage der Makromoleküle völlig ungeordnet. Die mechanischen Eigenschaften sind in hohem Maße temperaturabhängig. Der *plastische* Verformungsanteil ist hoch. Dagegen weist die Struktur der teilkristallinen Thermoplaste amorphe als auch kristalline Bereiche auf. In den kristallinen Bereichen liegen die Makromoleküle geordnet zueinander. Bei den Elastomeren ist die Lage der Makromoleküle zueinander wie bei den amorphen Thermoplasten statistisch verteilt. Allerdings sind sie in Teilbereichen mitein-

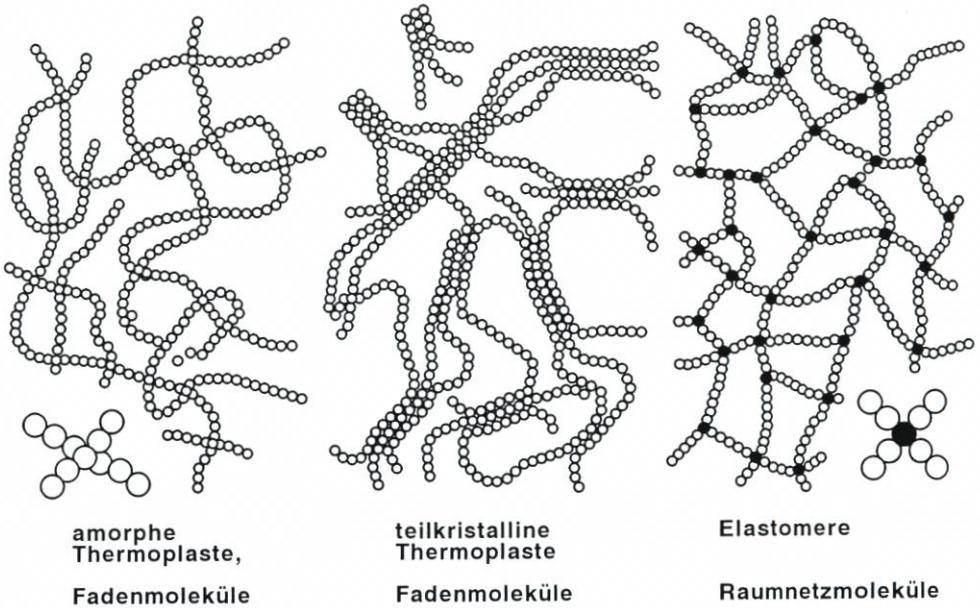


Abb. C7. Struktur der Kunststoffe [121]

ander räumlich vernetzt (Abb. C5). Der *elastische* Verformungsanteil ist hier hoch; der *plastische* Anteil entsprechend gering.

Bezüglich des Aufbaus unterscheidet man homogene Dichtungsbahnen, die ausschließlich aus einem Werkstoff bestehen, der auch aus mehreren Komponenten mit unterschiedlichen Eigenschaften zusammengesetzt sein kann, und heterogene Dichtungsbahnen, die ein- oder beidseitig mit Vliesstoffen oder Folien kaschiert oder mit Trägereinlagen aus Geweben oder Vliesstoffen versehen sind oder die aus mehreren Schichten bestehen.

Durch die Auswahl und Zusammensetzung der Werkstoffe, aber auch durch die Herstellungsverfahren selbst können die Kunststoffdichtungsbahnen auf sehr unterschiedliche Anwendungen abgestimmt werden.

### 7.3 Geotextilien

#### 7.3.1 Allgemeines

Unter dem Begriff Geotextilien werden wasserdurchlässige Flächengebilde aus synthetischen und/oder natürlichen Fasern verstanden. DIN 61 301 [107] definiert: „Ein Geotextil ist ein im Kontakt mit Böden und anderen Baustoffen im Bauwesen verwendetes, wasser- und luftdurchlässiges textiles Flächengebilde.“

Geotextilien werden neben Sonderformen unterteilt in

- Gewebe
- Vliesstoffe und
- Verbundstoffe.

Aber auch Maschenwaren wie Fadenlagennähgewirke und Raschelware werden als Geotextilien bezeichnet. Obwohl Geotextilien seit längerer Zeit im Erd- und Wasserbau eingesetzt

werden, sind sie als vergleichsweise junge Baustoffe anzusehen (erste Anwendungen um 1957). Der Begriff „Geotextilien“ ist relativ jung, die Bezeichnung hat sich erst in den letzten Jahren durchgesetzt. Zum jetzigen Zeitpunkt ist die Entwicklung an einem Punkt angekommen, an dem ein geotechnisches Ingenieurwesen ohne Geotextilien unvorstellbar ist [113]. Zudem kommen in jüngster Zeit immer wieder neue Anwendungsbereiche hinzu.

### 7.3.2 Gewebe

Gewebe sind Flächengebilde, die mittels Fachbildung aus sich rechtwinklig kreuzenden Fäden zweier Fadensysteme, Kette und Schuß, hergestellt sind [105].

Die Längsrichtung heißt bei Geweben Kettrichtung, die Querrichtung Schußrichtung. Die Gesamtheit der Kettfäden ist die Kette, die Gesamtheit der Schußfäden ist der Schuß. Für Kette und Schuß werden Spinnfasergarne, Multifilamentgarne, Zwirne, Monofilamente, Folienbändchen oder Spleißgarne verwendet – auch in unterschiedlicher Kombination. Als Kett- und Schußmaterial können gleiche oder verschiedene Garnarten verwendet werden, wie zum Beispiel Multifilamentgarne aus Polyester, Polypropylen, Monofilamentgarne aus Polyethylen, Folienbändchen und Spleißgarne aus Polyethylen und Polypropylen (Abb. C8).

Die Art der Verkreuzung/Verwebung der Fäden wird Bindung genannt. Die Art der Bindung kann die technischen Eigenschaften erheblich beeinflussen. Als Bindungsarten für geotextile Gewebe werden in der Regel Leinen- (im Textilwesen Leinwandbindung genannt) und Körperbindung angeboten (Abb. C9). Die Leinenbindung ermöglicht die Fertigung besonders fester, die Körperbindung die Fertigung besonders dichter Gewebe. Zur Erhöhung der Weiterreißfestigkeit sind bei Leinen- und Körperbindung Verstärkungen möglich, indem etwa jeder zehnte Kett- und Schußfaden doppelt vorhanden ist. Diese Gewebe werden als Karogewebe bezeichnet.

Abb. C10 zeigt eine Auswahl gebräuchlicher Gewebe. Dabei werden Gewebe mit großer Öffnungsweite (d. h. wenig Kett- und Schußfäden je Längeneinheit) Gittergewebe genannt. Sie sind in der Regel mit einer PVC-Ummantelung schiebefest (d. h. Fixierung der Maschenweite) ausgerüstet.

Grundsätzlich werden Gewebe vor allem dann bevorzugt, wenn hohe Zugfestigkeiten

## Multifilamentgarne

bestehen aus einer Anzahl miteinander gedrehter oder ungedrehter Filamente



Polyester  
Polypropylen  
(Polyamid)

## Monofilamentgarne

sind Drähte aus Kunststoff (Durchmesser > 100 µ)



Polyethylen

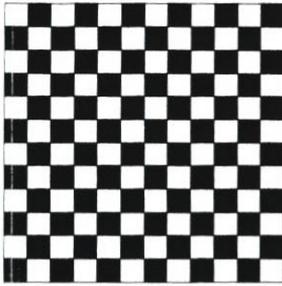
## Folienbändchen

werden durch Schneiden von Folien in schmale Streifen hergestellt

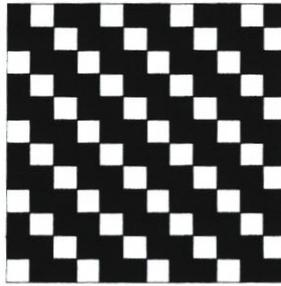


Polyethylen  
Polypropylen

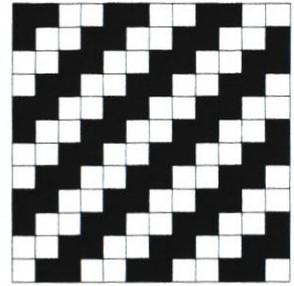
Abb. C8. Überblick über Garnarten und bevorzugt verwendete Rohstoffe [121]



Leinenbindung



Dreibindiger Körper



Vierbindiger Körper

Abb. C9. Bindungsbilder (Patronen) von Geweben [120]

gefordert werden. Sie eignen sich bei statischer Belastung auch als Filter für den Einsatz auf ungleichkörnigen Böden, da sich hier ein stabiler Sekundärfilter im Boden aufbauen kann. Bei dynamisch belasteten Filtern ist diese Randbedingung zumeist nicht gegeben.

### 7.3.3 Vliesstoffe

Vliesstoffe sind flexible Flächengebilde, die nach DIN 60000 und DIN 61210 durch Verfestigung von Faservliesen hergestellt sind [105] [106]. Diese bestehen aus flächenhaft aufeinander abgelegten, ungeordneten Spinnfasern oder Filamenten.

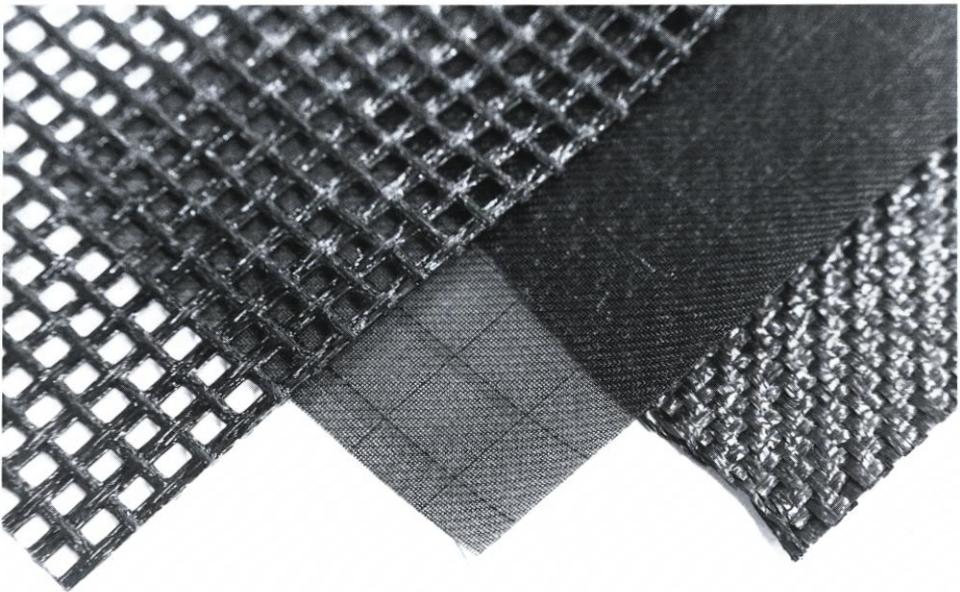


Abb. C10. Detailaufnahmen von Geweben [119]

Spinnfaser-Vliesstoffe werden durch Ablage von feingekräuselten Spinnfasern (früher Stapelfasern genannt) und anschließende Verfestigung gefertigt. Die Faserablage kann mechanisch auf Kardiermaschinen (z. B. Krempeln) oder auf aerodynamischem Wege erfolgen. Eine Vorzugsrichtung in der Faserlage führt bei mechanischer Ablage in der Regel zu höheren Festigkeiten in der Querrichtung. Dickenunterschiede (Wolkigkeiten) lassen sich durch sorgfältige KrempelEinstellung weitgehend vermeiden. Die aerodynamische Faserablage ergibt eine Wirrlage der Fasern mit einer meist höheren Zugfestigkeit in der Längsrichtung.

Filament-Vliesstoffe werden durch Ablegen und Verfestigen endlos aus Spinndüsen gewonnener, nicht gekräuselter Filamente (Fasern) hergestellt. Die Lage der Filamente ist in den meisten Herstellungsarten wirr. Bei Filament-Vliesstoffen lassen sich Ungleichmäßigkeiten in der Dicke (Wolkigkeiten) nicht bei allen Herstellungsverfahren vermeiden.

Nach der Ablage der Fasern (Spinnfasern oder Filamente) werden die Vliese mechanisch (vernadeln), adhäsiv (verkleben) oder kohäsiv (verschmelzen) zu Vliesstoffen verfestigt (Abb. C11). Bei einigen Produkten sind auch Mehrfachbindungen ausgeführt worden (z. B. mechanische und zusätzlich adhäsive oder kohäsive Bindung). Die Art der Verfestigung/ Bindung kann die technischen Eigenschaften erheblich beeinflussen.

Sowohl Spinnfaser- als auch Filament-Vliesstoffe können mechanisch verfestigt werden. Dabei werden Nadeln, an deren Kanten als Haken wirkende Vertiefungen angebracht sind (sog. Feltingnadeln) in das zu verfestigende Faserhaufwerk (Vlies) eingestochen und wieder herausgezogen (50 bis 500 Einstiche pro cm<sup>2</sup>). Dieser Vorgang wird „Vernadeln“ genannt. Die gewünschte Festigkeit wird durch Verschlingung erreicht. Durch die mechanische Verfestigung entstehen verschiebbliche Faserkreuzungspunkte. Mechanisch verfestigte Vliesstoffe sind in der Regel weich, flexibel und vergleichsweise dick (Abb. C12).

Eine adhäsive Bindung kann unter Zusatz von Bindemitteln, die nach verschiedenen Verfahren auf das zu verfestigende Vlies aufgebracht und anschließend durch eine Wärmebehandlung ausgehärtet werden, erfolgen. An den Berührungsstellen entstehen starre Verbindungen, die eine geringere Flexibilität als bei der mechanischen Verfestigung bewirken.

Die dritte Möglichkeit ist die kohäsive Bindung, bei der die Vliese durch Erhitzung und

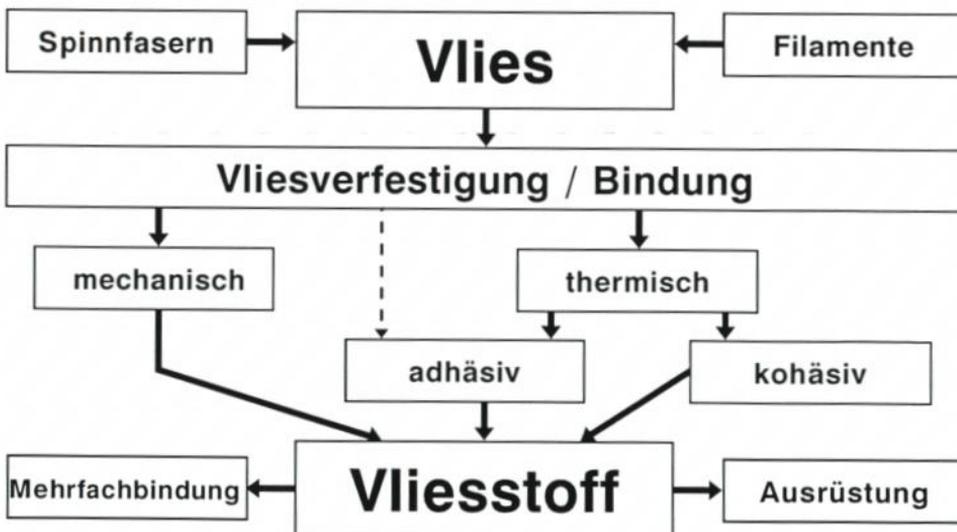


Abb. C11. Verfestigung/Bindung von Vliesstoffen [121]

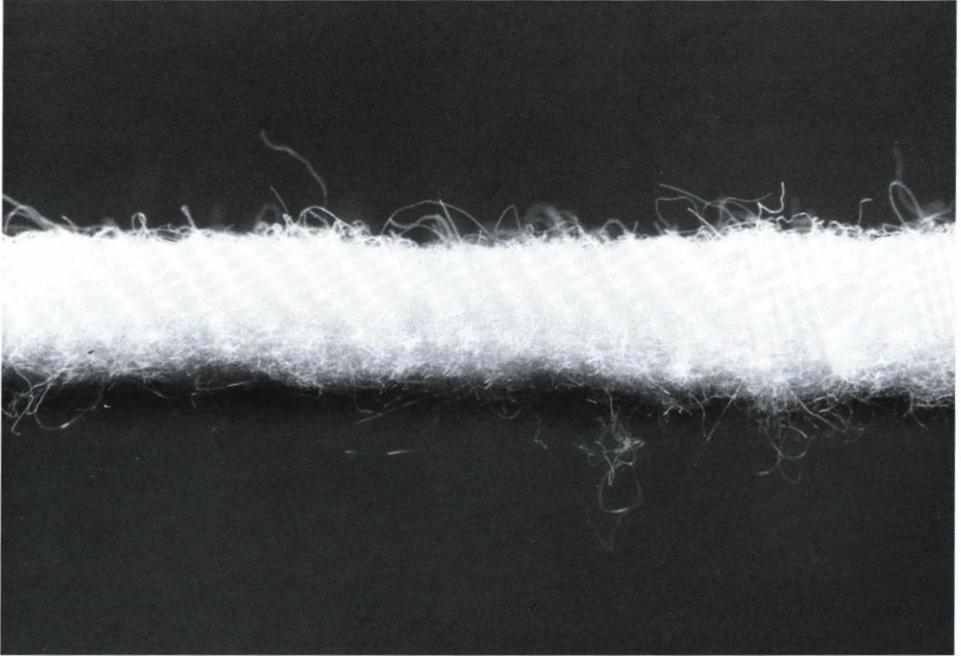


Abb. C12. Detailaufnahme eines mechanisch verfestigten Vliesstoffes (Querschnitt) [120]

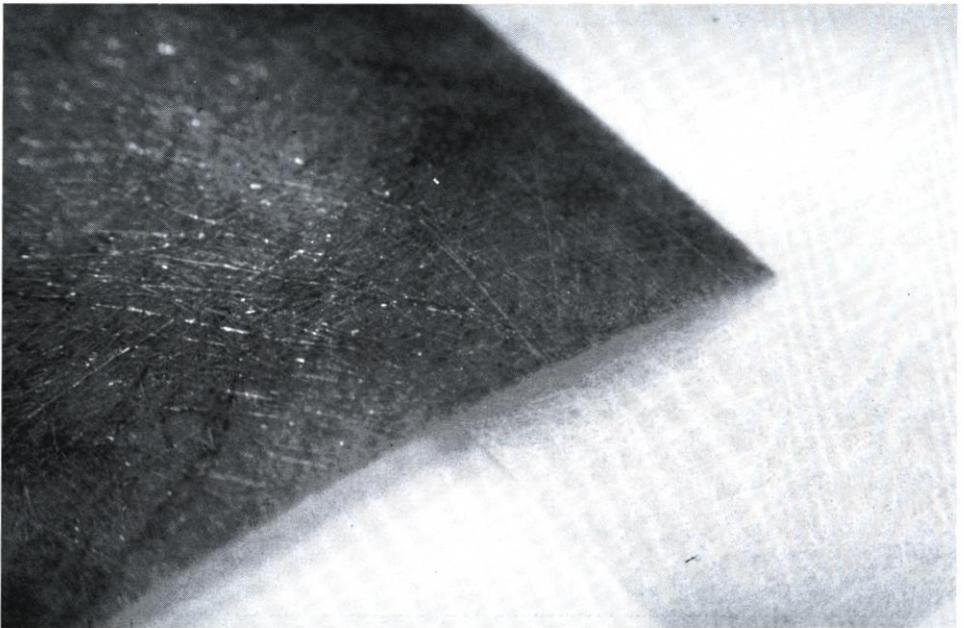


Abb. C13. Detailaufnahmen von thermisch verfestigten Vliesstoffen (Draufsicht) [120]

oftmals unter Druck, aber ohne zusätzliche Bindemittel miteinander verbunden werden. Die Kern-/Mantelfasern haben eine beim Erhitzen klebrig werdende, niedriger als der Kern der einzelnen Faser schmelzende Hülle (Anschmelzen der Faserhülle). Beim Wiedererkalten entstehen an den Faserkreuzungspunkten Bindungen, die im Vergleich zur adhäsiven Bindung weniger starr sind (Abb. C13).

Entgegen der differenzierten technologischen Einteilung von Vliesstoffen nach [106] haben sich im allgemeinen Sprachgebrauch nur die Begriffe *mechanisch* und *thermisch* verfestigte Vliesstoffe durchgesetzt. Thermisch verfestigte Vliesstoffe waren einer thermischen Behandlung, zumeist unter gleichzeitiger Druckbeanspruchung, ausgesetzt; die Bindung der Vliese ist überwiegend kohäsiv, kann aber auch adhäsiv sein.

### 7.3.4 Verbundstoffe

Verbundstoffe sind mehrschichtige Geotextilien aus flächenhaft oder punktförmig verbundenen Schichten, die sich in ihrer Struktur voneinander unterscheiden. Die Einzelkomponenten können Gewebe und Vliesstoffe oder andere Flächengebilde mit Sonderkonstruktionen sein.

Verbundstoffe bestehen zum Beispiel aus einer Kombination von porenmäßig aufeinander abgestimmten Vliesstoffen mit unterschiedlicher Faserfeinheit oder aus einer Kombination von Gewebe bzw. Geogitter und Vliesstoff (Abb. C14). Abb. C15 zeigt einen dreischichtigen Verbundstoff – Feinfilterschicht, Vorfilterschicht mit gröberer Faserfeinheit und Stabilisierungsschicht – im Schnitt.

Die Verbindung einzelner Schichten untereinander kann durch Vernadeln, Verschweißen, Vernähen oder Verkleben sowie durch Kombination dieser Verbindungsarten erfolgen.

So können bei Verbundstoffen die günstigen Eigenschaften einzelner Geotextilien kombiniert werden, d. h. sie sind dann zweckmäßig, wenn eine Verbesserung einer oder mehrerer Eigenschaften erreicht wird bzw. Eigenschaften gefordert sind, die *eine* Produktart nicht bieten kann.

## 7.4 Geotextilverwandte Produkte

Geotextilverwandte Produkte sind Geogitter, gitterähnliche Produkte und Verbundstoffe (mit mindestens einer Einzelkomponente aus einem Geogitter oder gitterähnlichen Produkt).

Geogitter (Geogrids) sind hochfeste Polymergitter, die aus extrudierten Polymerbahnen bzw. -strukturen hergestellt werden.

Als Rohstoffe werden die Polyolefine Polypropylen und Polyethylen (UV-stabilisiertes PEHD) eingesetzt.

Die Polymerbahnen werden z. B. zunächst perforiert. Durch anschließendes Recken bei geregelter Temperaturführung werden die gelochten Bahnen in ihre endgültige, relativ steife Gitterform gebracht.

Die orientierten langkettigen Moleküle verleihen dem Geogitter eine hohe Zugfestigkeit. Zweiaxial gereckte Gitter (mit Längs- und Querrippen sowie Kreuzungspunkten) werden hergestellt, indem einaxial gereckte Gitter nochmals rechtwinklig zur einaxialen Orientierung gereckt werden. Jede Querrippe wirkt hier als Anker und garantiert eine hohe Zugfestigkeit.

Weitere Möglichkeiten zur Herstellung von Geogittern sind das einfache Stanzen der Polymerbahnen, das Extrudieren von Polymerstrukturen sowie das Zusammenfügen von einzelnen Polymerbändern, die im Knotenbereich miteinander verbunden sind.

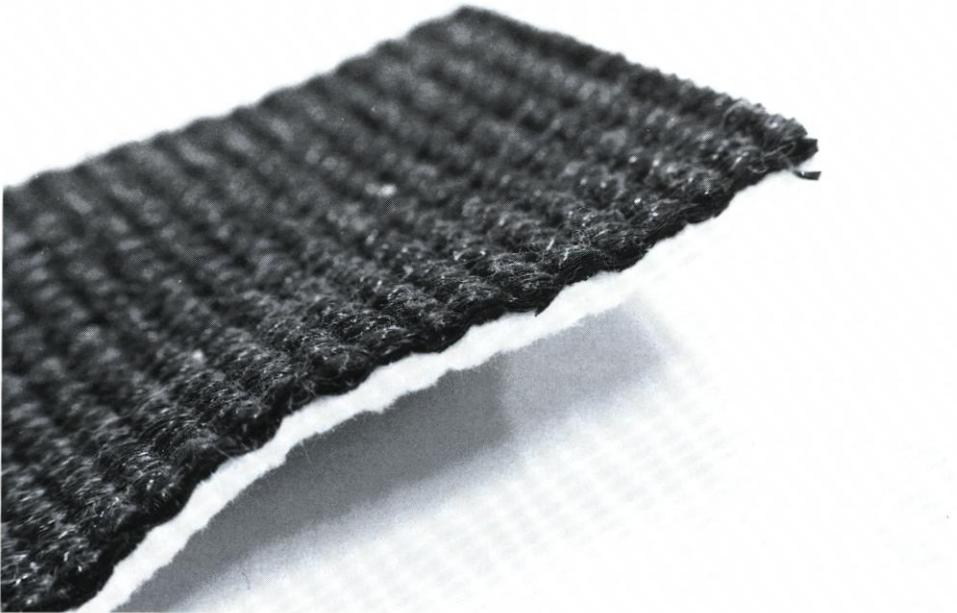


Abb. C14. Detailaufnahmen eines zweischichtigen Verbundstoffes aus Vliesstoff und Gewebe [120]

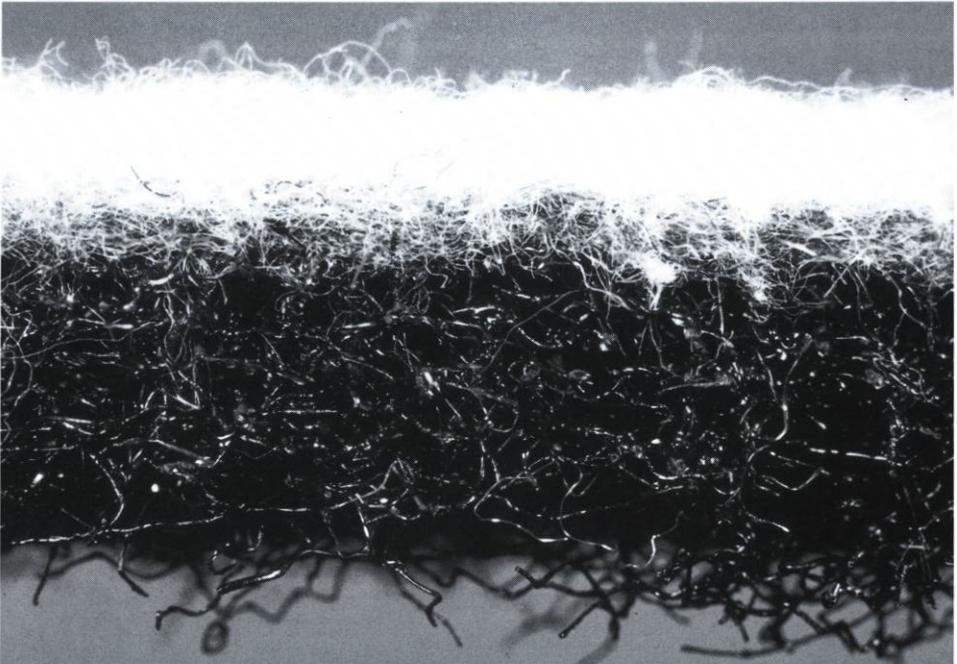


Abb. C15. Detailaufnahmen eines Vliesstoffes mit Stabilisierungsschicht [120]

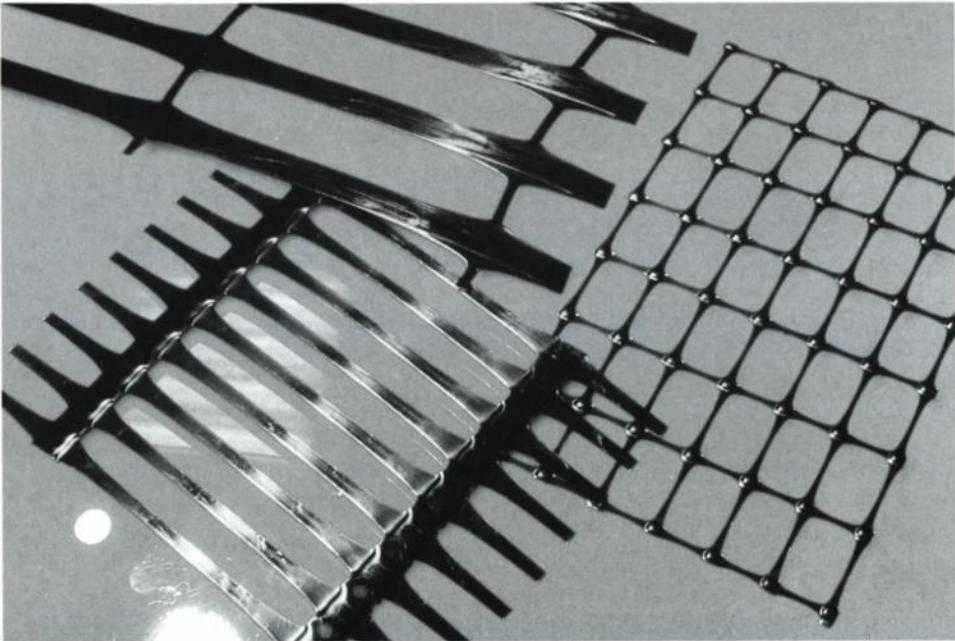


Abb. C16. Verschiedene Geogitter [121]

Abb. C16 zeigt verschiedene Produkte in der Draufsicht.

Geogitter werden hauptsächlich als Bewehrungsschichten, aber auch als Trennschichten für Untergrundstabilisierungen und als Verpackung beim Bau von Gabionen eingesetzt.

Aufgrund der in beiden Richtungen vorhandenen Zugfestigkeit werden beispielsweise Geogitter mit steifen Kreuzungspunkten (insbesondere zweiachial orientierte) als Bewehrungen von Tragschichten bei weichen, wenig tragfähigen Böden, z. B. unter Dammschüttungen, verwendet.

Neben den in Scherversuchen bestimmten Reibungsbeiwerten spielen bei der Dimensionierung von Geogittern Herausziehversuche (Verzahnungskräfte zwischen Gitter und umgebendem Boden), Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul und besonders das Kriechverhalten eine große Rolle.

### 7.5 Zusammenfassung

Die Entwicklungsgeschichte der Anwendung von Geokunststoffen im Erd- und Wasserbau ist etwa 35 Jahre alt. In diesem Zeitraum wurden im praktischen Einsatz viele Erfahrungen über das Verhalten der verschiedenen Produkte im Boden bei den unterschiedlichsten Beanspruchungen gesammelt.

Für die in den Empfehlungen E und F dargestellten Anwendungsbeispiele sind das Verhalten und die Wirkungsweise der verschiedenen Produkte genauestens zu ergründen. Für die Lebensdauer und Sicherheit der Konstruktion sind in den meisten Fällen die Auswahl eines geeigneten Geokunststoffes, der kontrollierte Einbau und das Langzeitverhalten von entscheidender Bedeutung.

## 8. Holz

### 8.1 Allgemeines

Für Bauwerke des Küstenschutzes werden europäische und überseeische Holzarten sowohl als Rundholz als auch in Form von Schnittholz verwendet. Der Baustoff Holz kann gegenüber anderen Baustoffen wie Stahl und Beton durch seine leichte Bearbeitbarkeit Vorteile haben. Holz hat gute Festigkeitseigenschaften im Verhältnis zu seinem Gewicht, es unterliegt jedoch als organischer Baustoff der Fäulnis und den Angriffen von Holzschädlingen und bedarf gegebenenfalls eines besonderen Schutzes. Tropische Hölzer haben einen hohen Abnutzungswiderstand und eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse. Zur Schonung des tropischen Regenwaldes sollten jedoch – wo immer möglich – andere verfügbare Hölzer oder andere Baustoffe eingesetzt werden.

Von seiner Struktur her ist Holz ein anisotroper Baustoff mit den Hauptbestandteilen Zellulose, Hemicellulose und Lignin. Ein hoher Ligningehalt bewirkt im allgemeinen eine höhere Festigkeit. Zu den Nebenbestandteilen rechnen Pektine, Stärke, Fette und Eiweiß, Farb- und Gerbstoffe, Harze, ätherische Öle, Mineralstoffe und andere. Sie bestimmen die Farbe, den Geruch, die Resistenz des Kernholzes gegen Schädlinge (siehe auch 8.4 Dauerhaftigkeit) und das chemische Verhalten.

### 8.2 Physikalische Eigenschaften

In Tabelle C15 sind Rohdichte, Festigkeit, Elastizitätsmodul und Härte einiger Holzarten angegeben. Da Holz ein poriger, hygroskopischer Stoff ist, verändert sich die Rohdichte mit dem Feuchtigkeitsgehalt. Als Basis für wissenschaftliche und technische Zwecke werden die Rohdichten bei 0 %, 12 % und 15 % Feuchtigkeitsgehalt bevorzugt. Die Dichte des Holzes ist für alle Holzarten gleich und beträgt  $15,6 \text{ kN/m}^3$ . Alle Angaben in Tabelle C15 gelten für den normalklimatisierten Zustand ( $20^\circ\text{C}/65\%$ ) des Holzes, d. h. für einen Holzfeuchtegehalt von etwa 12 %. Mit ansteigender Feuchte nimmt die Rohdichte zu, während die Festigkeiten abnehmen (siehe auch 8.3 Zulässige Spannungen). Die Rohdichte ist eine wichtige Kenngröße, weil mit steigender Rohdichte tendenziell die Festigkeiten, der Verschleißwiderstand und die Härte zunehmen. Auch die Quell- und Schwindmaße liegen bei dichteren Holzarten meist höher als bei weniger dichten.

In [133] werden Kennwerte überseeischer Harthölzer genannt, die aufgrund amerikanischer, englischer, französischer und niederländischer Forschungsergebnisse zusammengestellt worden sind. Diese Kennwerte sind nach anderen Kriterien ermittelt und aufgelistet, so daß eine Abstimmung mit den in Tabelle C15 genannten Daten nicht möglich ist. Da die in [133] genannten Kennwerte zusätzliche wertvolle Informationen liefern, sind sie in Tabelle C16 wiedergegeben.

### 8.3 Zulässige Spannungen

Für Bauholz sind die zulässigen Spannungen, Elastizitäts- und Schubmoduln in DIN 1052 [120] angegeben.

Bei Bauteilen, die der Feuchtigkeit und Nässe ungeschützt ausgesetzt sind, müssen die Werte für die zulässigen Spannungen nach DIN 1052 auf  $\frac{2}{3}$  ermäßigt werden. Eine Reduzie-

Tabelle C15. Holzarten und ihre Materialkennwerte<sup>4)</sup>

Holzart <sup>1)</sup>	Rohdichte g/cm <sup>3</sup>	Druck- festig- keit $\beta_D$ <sup>5)</sup> N/mm <sup>2</sup>	Biege- festig- keit $\beta_B$ N/mm <sup>2</sup>	Scher- festig- keit $\tau_a$ <sup>5)</sup> N/mm <sup>2</sup>	Long. Elastizitäts- modul E N/mm <sup>2</sup>	Härte nach Janka N/mm <sup>2</sup>	Zugfestig- keit $\beta_z$ N/mm <sup>2</sup>	
Kiefer	0,52	45	80	10	11 000	30 ... 36 25 ... 31	H <sup>2)</sup> S <sup>2)</sup>	100
Fichte	0,47	40	68	7,5	10 000	27 16	H S	80
Tanne	0,47	40	68	7,5	10 000	34 18	H S	80
Douglasie	0,54	50	80	9,5	12 000	30 24	H S	100
Pitch-Pine	0,70	53	94	10	12 900	42 38	H S	3)
Eiche	0,67	52	95	8,5	13 000	48 ... 69 26 ... 45	H S	110
Rüster	0,68	43	91	9	10 600	54 39	H S	3)
Buche	0,69	60	120	10	14 000	72 60	H S	135
Jarrah	1,00	57	103	13	13 400	122 110	H S	3)
Greenheart (Demerara)	1,00	100	180	14	22 000	3)		220
Azobé (Ekki Bongossi)	1,06	95	180	14	17 000	217 140 ... 180	H S	180
Bilinga (Badi, Opepe)	0,76	64	105	9	12 500	82 62	H S	110
Angélique (Basralocus)	0,76	70	120	12	14 000	93 ... 105 49 ... 55	H S	3)
Manbarklak (Kakoralli)	1,10	72	160	13	20 000	130 123	H S	3)
Keruing (Yang)	0,76	70	125	12	16 000	70 70	H S	140
Afzelia (Apa Doussie)	0,79	70	115	12,5	13 500	3)		120
Karri	0,95	66	129	13	19 200	84 73	H S	3)

<sup>1)</sup> Bezeichnungen nach DIN 4076. Gebräuchliche andere Bezeichnungen sind in Klammern angegeben

<sup>2)</sup> H – auf der Hirnfläche; S – auf der Seitenfläche des Holzes

<sup>3)</sup> in der Literatur nicht aufgeführt

<sup>4)</sup> alle Angaben beziehen sich auf einen Feuchtigkeitsgehalt von rd. 12 %; Mittelwerte nach [145] und [131]

<sup>5)</sup> die Druck- und Scherfestigkeiten wurden bei Belastung in Faserrichtung ermittelt

rung der Werte auf  $\frac{2}{3}$  muß auch vorgenommen werden für Bauteile, die dauernd im Wasser stehen, selbst wenn diese Hölzer imprägniert wurden. Falls die erstgenannten Bauteile jedoch mit einem geprüften Mittel [132] geschützt worden sind, genügt eine Abminderung der in den Tabellen der DIN 1052 angegebenen zulässigen Spannungen auf  $\frac{2}{3}$ . Für Hölzer in Bauteilen, die der Witterung allseitig ausgesetzt sind oder bei denen mit einer dauernden Durchfeuchtung zu rechnen ist, schreibt die DIN 1052 auch eine Abminderung der Elastizitäts- und Schubmoduln auf  $\frac{2}{3}$  der Werte vor.

Tabelle C16. Kennwerte wichtiger tropischer Harthölzer nach [133]

Name der Holzarten	Wissenschaftlicher Name	Mittl. Wichte kN/m <sup>3</sup>	Feuchtigkeit	Abs. Druckfestigk. MN/m <sup>2</sup>	E-Modul MN/m <sup>2</sup>	Abs. Biegefestigk. MN/m <sup>2</sup>	Scherfestigkeit MN/m <sup>2</sup>	Gebrauchsdauer <sup>*)</sup> (Jahre)		Teredo- beständig- keit
								A	B	
Demerara Greenheart	Ocotea rodiaei	10,5	trocken	92	21 500	185	21	> 25	50	Ja, aber etwas we- niger als Basralocus
			naß	72	20 000	107	12			
Opepe (Belinga)	Sarcoce- phalus	7,5	trocken naß	63 50	13 400 12 900	103 92	14 12	> 25	50	
Azobé (Ekki Bongossi)	Lophira procera	10,5	trocken naß	94 60	19 000 15 000	178 119	21 11	> 25	50	Ja, aber begrenzt
Manbarklak (Kakoralli)	Eschweilera longipes	11,0	trocken	72	20 000	160	13	15-25	40-50	Ja
			naß	52	18 900	120	11			
Basralocus Angélique	Dicorynia paraensis	8,0	trocken	62	15 500	122	11,5	> 25	50	Ja
			naß	39	12 900	80	7			
Jarrah	Eucalyptus marginata	10,0	trocken naß	57 35	13 400 9 900	103 66	13 9	15-25	40-50	Ja, aber begrenzt
Yang	Diptero- carpus Afzelia	8,5	trocken	54	14 600	109	11	10-15	25-40	Nein
			naß	39	12 300	80	10			
Afzelia (Apa Doussié)	Afzelia africana	7,5	trocken	66	13 000	106	13	15-25	40-50	Nein
			naß	30	9 900	66	9			

\*) Unter Gebrauchsdauer ist die Dauerhaftigkeit in Jahren angegeben ohne irgendwelche Pflege oder Imprägnierung. Und zwar für: A in fortwährendem Kontakt mit feuchtem Boden (Humus, Luft-, Wasserwechselzone), B nur der Witterung ausgesetzt.

Die Aussagen über die Dauerhaftigkeit tropischer Hölzer gelten vor allem für gemäßigte Klimazonen

#### 8.4 Dauerhaftigkeit

Wasserbauhölzer sind mechanischen Angriffen und Verschleiß (anlegende Schiffe, Sandschliff) sowie der Zerstörung durch pflanzliche Fäulnis und tierische Schädlinge ausgesetzt. Die Fäulnis des Holzes wird durch Pilze bei feuchtem Holz hervorgerufen. Trockenes Holz (Feuchte unter 20 %) und wassergesättigtes Holz werden nicht befallen. Gefährdet ist deshalb Holz in der Wasserwechselzone. Als tierische Schädlinge treten im Wasserbau vor allem Bohrmuscheln und Bohrrasseln auf, die jedoch auf einen Mindestsalzgehalt von 7‰ angewiesen sind. Keine Holzart ist völlig immun gegen Pilze, Insekten und Meerestiere; der Grad der Dauerhaftigkeit wird auf den Gehalt an Resistenzstoffen zurückgeführt. Eine Übersicht über die Haltbarkeit von Kernholz gibt Tabelle C17. Splintholz ist allgemein nur wenig bzw. nicht dauerhaft.

#### 8.5 Schutzmaßnahmen

Schutz gegen Abrieb kann in gewissen Grenzen durch Anbringung von Suhlplatten, Kunststoffprofilen, zusätzlichen Reibehölzern, Vermeiden ständiger Reibung in der Konstruktion, durch Zwischenschaltung von Stahl und durch Überdimensionierung mit entsprechender Reserve gewährleistet werden.

Als wirksamer Schutz europäischer Hölzer gegen Fäulnis und tierische Schädlinge wird

Tabelle C17. Haltbarkeit gebräuchlicher Holzarten [145]

Holzart	Härte Elastizität	Bearbeitbarkeit	Haltbarkeit von Kernholz
<b>a) Europäische Hölzer</b>			
Eiche	hart, zäh sehr elastisch	gut, beim Rammen Spaltgefahr bei kleinerem Querschnitt	in der Wasserwechselzone 15 bis 20 Jahre
Ulme	mittelhart, elastisch	schwer spaltbar	in der Wasserwechselzone 10 bis 15 Jahre
Erle	weich, wenig elastisch	gut	in der Wasserwechselzone nicht dauerhaft
Buche	hart, ziemlich elastisch	gut	in der Wasserwechselzone nicht dauerhaft
Kiefer	weich bis sehr weich, elastisch	gut	in der Wasserwechselzone 6 bis 7 Jahre
Lärche	ziemlich weich, zäh, elastisch	gut	in der Wasserwechselzone 6 bis 7 Jahre
Fichte Tanne	sehr weich, elastisch	gut	in der Wasserwechselzone sehr geringe Lebensdauer
<b>b) Überseeische Harthölzer</b>			
Angélique (Basalocus)	hart und fest, mäßig spröde	in frischem Zustand gut bearbeitbar, jedoch schwer zu nageln und zu schrauben; beim Rammen Maßnahmen gegen Splintern erforderlich, neigt besonders bei Frost zum Spalten	in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre, bohrmuschelbeständig
Greenheart (Demerara)	hart und sehr fest, wenig spröde	ziemlich gut bearbeitbar, schwer zu nageln und zu schrauben, leicht spaltbar	in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre, bohrmuschelbeständig
Manbarklak	sehr hart und fest, zäh, geradfaserig, wenig spröde	Neigung zum Spalten, schwierig zu bearbeiten, Verwendung als 4kantig behauene Pfähle	in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre bohrmuschelbeständig
Azobé (Bongossi)	hart und sehr fest	schwer bearbeitbar, großer Spaltwiderstand, als Schnittholz besonders geeignet, wird bei Nässe sehr glatt	in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre ziemlich bohrmuschelbeständig
Jarrah	hart, fest, sehr zäh	gut bearbeitbar, schwer zu nageln	in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre, aber wenig bohrmuschelbeständig
Goupie	hart	gut bearbeitbar	mäßig bohrmuschelbeständig
Afzelia (Doussié, Apa)	ziemlich hart, mäßig spröde	gut bearbeitbar, formbeständig, neigt zum Spalten	in der Wasserwechselzone 20 bis 25 Jahre, nicht bohrmuschelbeständig

eine Imprägnierung, ggf. als Druckimprägnierung, mit einem dafür zugelassenen Holzschutzmittel unter Beachtung der Teerölverordnung [182] angewandt.

Hierdurch kann die Lebensdauer wesentlich erhöht werden. Ungeschützte europäische Holzarten sollten nur eingebaut werden, wenn sie sich ständig unter Wasser befinden oder wenn mit einer Gebrauchsdauer von weniger als 10 Jahren gerechnet wird. Bei tropischen Holzarten können Standzeiten bis 50 Jahre, im Mittel in der Wasserwechselzone 20 bis 30 Jahre erreicht werden (s. Tabellen C16 und C17).

## 9. Stahl

### 9.1 Allgemeines

Stahl findet bei Bauwerken des Küstenschutzes hauptsächlich in Form von Walzprofilen für Spundwände und Pfähle sowie als Drahtgeflecht Verwendung.

Spundwände dienen als Stützwände zur Sicherung von Geländesprüngen und Steilufern, zum Bau von Bühnen, Fangedämmen und Molen, als Fußsicherung von Deckwerken, zur Erhöhung von Deichen in beengten Lagen und als Baugrubenumschließungen. Grundsätze und Einzelheiten zur statischen Berechnung, zur Konstruktion sowie zur Herstellung sind in [159] und [162] ausführlich beschrieben.

In Sonderfällen können Spundwände als gelochte Wände zur Verminderung von Strömungsgeschwindigkeiten und zur Umwandlung von Wellenenergie eingesetzt werden.

Dalben nehmen die Anfahrerenergie von Schiffen auf, dienen auch zur Aufnahme des Trossenzuges und können als Abweiser für zu schützende Bauwerke eingesetzt werden.

Stahlpfähle werden vorwiegend bei Pfahlgründungen als Zug- und Druckglieder und bei Spundwänden als Anker verwendet [162].

Draht wird zu Drahtgeflechten und Drahtnetzen verarbeitet, die für Steinmatten, Drahtschotterkästen, Drahtsenkwalzen und ähnlichem benötigt werden.

### 9.2 Anforderungen und Eigenschaften

Die Stahlsorten der Spundwandstähle müssen den „Technischen Lieferbedingungen für Stahlspundbohlen“ [158] entsprechen.

Spundwandstahl St Sp 37 ist wegen seiner hohen Dehnung, guten Formänderungsfähigkeit und Schweißbarkeit für alle Verwendungszwecke geeignet. Spundwandsonderstähle St Sp S finden dort Anwendung, wo neben den genannten Eigenschaften höhere Festigkeiten zu einer wirtschaftlichen Bemessung führen können. Neben einer wirtschaftlichen Bemessung ist die Rammbarkeit des anstehenden Untergrundes ein wesentliches Kriterium für die Wahl der Stahlsorte und des Profils.

In Sonderfällen, z. B. bei schwierigen Schweißarbeiten, räumlichen Spannungszuständen und bei dynamischen Wechselbeanspruchungen gem. EAU-Empfehlung E 20 [159] sind beruhigte Stähle nach DIN 17 100 wie R St 37-2, St 37-3 oder St 52-3 zu verwenden. Im Wasserbau eingesetzte Stähle sollten das Streckgrenzenverhältnis (= Streckgrenze zu Bruchfestigkeit) von 0,75 nicht überschreiten. Wird dieses Streckgrenzenverhältnis wesentlich überschritten, so ist bei hochfesten Stählen die Spannungsrißkorrosion zu beachten [151].

Spundwandprofile zeichnen sich durch harte, glatte Oberflächen mit hohen Festigkeiten aus.

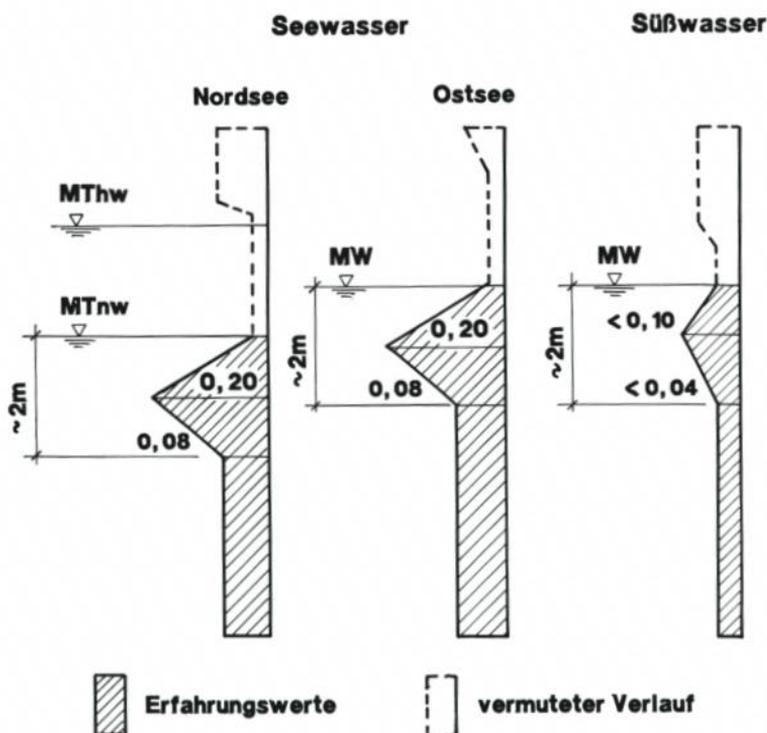
Die Lebensdauer des Stahles hängt von der chemischen Zusammensetzung des Seewassers, der Beanspruchung und den getroffenen Schutzmaßnahmen ab.

### 9.3 Stahlspundwände

Die Erfahrungen der letzten Jahre zeigen, daß die Nutzungsdauer von Stahlspundwänden erheblich durch Korrosion beeinflusst werden kann. Der Korrosionsverlauf kann nach [172] in guter Annäherung als logarithmische Funktion der Zeit dargestellt werden. Hohe Abrostungsraten treten bei ungestörter Korrosion in der Anfangsphase auf. Mit zunehmender Dichte der Rostschicht wird die Korrosion gehemmt, so daß die Abrostungsraten mit zunehmendem Alter abnehmen.

So bilden sich über die Höhe der Spundwand Bereiche mit unterschiedlich starker Korrosion aus [170]. Wie Abb. C17 zeigt, liegt die Hauptkorrosionszone

- im Tidegebiet (z.B. Nordsee) im Bereich zwischen der MThw-Linie und bis zu 2 m darunter sowie
- in den übrigen Gewässern (z.B. Ostsee und Binnenbereich) zwischen der MW-Linie und bis zu 2 m darunter.



#### Hauptkorrosionszonen (schematisch) und Erfahrungswerte für die mittleren Abrostungsraten in mm/Jahr

Abb. C17. Hauptkorrosionszonen (schematisch) und Erfahrungswerte für die mittleren Abrostungsraten in mm/Jahr nach [166] und [170]

Bei Bauwerken, die hohen und häufigen Wellenbelastungen ausgesetzt sind (z.B. Hafentmolen), muß außerdem in der Spritzwasserzone mit einem zweiten, oft jedoch nicht so ausgeprägten Korrosionsmaximum gerechnet werden.

Die Korrosion ist von zahlreichen, oft gleichzeitig auftretenden Einflußfaktoren abhängig, so daß sich nicht nur für verschiedene Standorte, sondern auch für jedes Bauwerk unterschiedliche jährliche Abrostungsraten ergeben [166].

- Neben den Einflüssen aus der Lage und Geometrie der Uferwand (Hauptwind- und Wellenrichtungen, Wasserstände, Eintauchtiefe, Höhe der Spritzwasserzone) wirken erhöhte Wassertemperaturen und aggressive Wässer (z.B. Brack- und Seewasser) korrosionsfördernd.
- Besonders hohe Abrostungsraten sind zu erwarten, wenn die Rostschicht durch mechanische Beanspruchungen immer wieder abgetragen wird. Dieses ist häufig dann der Fall, wenn Reibehölzer fehlen und Schiffe mit ihren Fendern direkt an der Spundwand scheuern. Auch können Seegang, Sandschliff und Eisgang die Ursache für einen Abrieb der schützenden Rostschicht sein.
- Auf der Bodenseite ist die Korrosion bei Spundwänden, die voll mit feinkörnigem Material hinterfüllt sind, normalerweise so gering, daß sie vernachlässigt werden kann.
- Auf der Rückseite von Spundwänden muß mit erhöhter Korrosion gerechnet werden, wenn durch eine Dränage das Außenwasser (z.B. Seewasser) hinter die Spundwand gelangen kann, die Spundwand mit stark durchlässigem Material (z.B. Schotter) hinterfüllt oder aggressivem Grundwasser und/oder Boden ausgesetzt ist.
- Ist die Spundwand beidseitig dem freien Wasser ausgesetzt, verdoppeln sich die Abrostungsraten.

Auf der Basis von systematischen Untersuchungen an über 50 Bauwerken werden Erfahrungswerte für die Abrostungsraten (bezogen auf eine 50jährige Beobachtungszeit) in der Hauptkorrosionszone im Seewasserbereich von im Mittel 0,2 mm/Jahr und max. 0,5 mm/Jahr beobachtet. Für die Hauptkorrosionszone im Süßwasserbereich ergeben sich Erfahrungswerte für die mittlere Abrostung < 0,1 mm/Jahr und für die maximale Abrostung < 0,25 mm/Jahr. In dem dauernd unter Wasser liegenden Bereich unterhalb der Hauptkorrosionszone liegen die Mittelwerte im Seewasser in der Größenordnung von 0,08 mm/Jahr und im Süßwasser unter 0,04 mm/Jahr (bezogen auf eine 50jährige Beobachtungszeit). Diese Werte können nur als grobe Anhaltswerte verstanden werden, da sich aufgrund der örtlichen Bedingungen erhebliche Abweichungen ergeben können. So gibt es im Süßwasserbereich an zahlreichen Standorten Bauwerke, die über Jahrzehnte nahezu keine Korrosion aufweisen. Diese außergewöhnlich geringen Abrostungsraten haben vermutlich ihre Ursache in der günstigen Zusammensetzung des Stahls und in der Ausbildung einer „natürlichen“ Schutzschicht, zu deren Bildung auch Wasserinhaltsstoffe beitragen können.

Bei der Abschätzung der Nutzungsdauer einer Spundwand sind folgende Kriterien zu beachten:

- In der statischen Berechnung zur Ermittlung des Zeitpunktes der ersten Spannungsüberschreitungen infolge Korrosion sind die mittleren Abrostungsraten anzusetzen, da die Spundwand ein Flächentragwerk ist.
- Für die Ermittlung des Zeitpunktes der ersten Durchrostungen ist die maximale Abrostungsrate in der Hauptkorrosionszone anzusetzen. In der Hauptkorrosionszone muß zusätzlich noch mit Mulden- und Narbenkorrosion gerechnet werden.

Infolge der Durchrostungen kann der hinterfüllte Boden ausspülen und Absenkungen an der Geländeoberfläche auslösen. Bei Bauwerken, bei denen die Geländeoberfläche hinter der Spundwand (z.B. mit einem Verbundpflaster) befestigt ist, bleibt der Oberflächenbelag

zunächst über der Ausspülung unversehrt und bricht erst bei einer äußeren Belastung (durch Fußgänger bzw. Fahrzeuge) zusammen. Durchrostungen in der Spundwand und Ausspülungen können deshalb ein erhebliches Sicherheitsrisiko darstellen. Um dieses Sicherheitsrisiko möglichst klein zu halten, wird eine Überwachung des tatsächlichen Korrosionszustandes der Spundwandbauwerke durch Wanddickenmessungen (mit Ultraschall und durch Unterwasser-Inspektionen) empfohlen. Bei der Unterwasser-Inspektion durch Taucher sind auch Schäden durch Risse, Schloßsprünge usw. mit zu erfassen. Auf der Basis dieser Ergebnisse können die noch vorhandene Standsicherheit und die verbleibende Restnutzungsdauer der Spundwandbauwerke beurteilt werden. Zur Durchführung und zum Umfang von Wanddickenmessungen werden in [164] Einzelheiten angegeben.

Das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden kann durch Beschichtung allein, besser in Kombination mit einem kathodischen Korrosionsschutz wirkungsvoll verbessert werden. Ein „Korrosionsschutz“ durch die Wahl von Profilen mit größerer Wanddicke als statisch erforderlich hat sich jedoch im Küstenschutzbau in vielen Fällen aus wirtschaftlicher und aus baupraktischer Sicht als sinnvoll erwiesen.

Auch für das Korrosionsverhalten von Holmen, Gurten, Gurtholmen und Verankerungskonstruktionen müssen die für die Spundwand geltenden Einflußfaktoren beachtet werden.

Neben der Korrosion kann Sandschliff ebenfalls die Lebensdauer von ungeschützten Stahlspundwänden reduzieren. Aus diesem Grund können Stahlspundwände nach EAU-Empfehlung E 23 [159] bei Sandschliffgefahr mit einer dauerhaften, verschleißfesten Beschichtung versehen werden.

#### 9.4 Stahlpfähle

Sandschliff und Korrosionsgefahr sind in gleicher Weise zu beachten wie im Abschnitt 9.3 angegeben.

#### 9.5 Drahtnetze und Drahtgeflecht

Drahtbauweisen im Seewasserbau werden in erster Linie bei Bauhilfsmaßnahmen angewendet. Für bleibende Ausführungen ist ein abriebfester Korrosionsschutz erforderlich, der durch Feuerverzinkung, PVC-Ummantelung oder PVC-Sinterung angestrebt wird. Nach den Erfahrungen ist die Wirksamkeit des Schutzes von Drahtnetzen und Drahtgeflechten nicht unumstritten, so daß die Beständigkeit trotz dieser Maßnahmen nicht als gesichert angesehen werden kann. Dasselbe gilt auch für Verrödelungsdrähte bei Herstellung von Sinkstücken und Steinmatten (s. Empfehlungen F).

Bei zu erwartendem starken Verschleiß der Drähte durch Sand-Wassergemische (Sohlströmung, Brandungszone) und anderen mechanischen Einflüssen (z. B. scheuernde Bewegungen von Schotter/scharfkantiger Steine in den Netzen infolge starker Wasserturbulenzen) sind diese Drahtbauweisen deshalb nicht geeignet.

## 10. Schriftenverzeichnis und Normen

### Zu Abschnitt 2: Boden

- [1] BLAUM, G., v. MARNITZ, F.: Die Schwimmbagger. Bd. I/II. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1963/1969.
- [2] BOBZIN, H.: Praktische Naßbaggerei. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 69, 1989.
- [3] BRÖSSKAMP, K.H.: Förderweite und Fördermenge im Spülbetrieb. Die Bautechnik 34, H. 11, 1957.
- [4] BRÖSSKAMP, K.H.: Entwicklung der Naßbaggertechnik. Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 32, 1969/71.
- [5] BRÖSSKAMP, K.H. u. a.: Seedeichbau – Theorie und Praxis. Vereinigung der Naßbaggerunternehmen e.V., Hamburg, 1977.
- [6] BRÜHL, H.: Einfluß von Feinstoffen in Korngemischen auf den hydraulischen Feststofftransport in Rohrleitungen. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 43, 1976.
- [7] DURAND, R.: Basic Relationships on the Transportation of Solids in Pipes. Proc. Minnesota Intern. Hydr. Conv., Minneapolis, Minnesota, 1953.
- [8] ERIKSON, O.P.: Latest Dredging Practice. J. Am. Soc. Civil Eng., 1961.
- [9] FRANKE, E.: Grundsätze für die Bemessung von dichten Deckwerken und Dichtungen auf Böschungen gegen Grundwasserüberdrücke. Bauingenieur 47, H. 1, 1972.
- [10] FRANKE, E. u. MANSKE, D.: Spülarbeiten zur Herstellung von Erdbaukörpern. Baumaschine und Bautechnik 22, H. 7/8, 1975.
- [11] FRANKE, E.: Anforderungen an Klei als Böschungsabdeckung im Deichbau in Norddeutschland. Wasser und Boden 29, H. 8, 1977.
- [12] FÜHRBÖTER, A.: Über die Förderung von Sand-Wasser-Gemischen in Rohrleitungen. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 19, 1961.
- [13] GIBERT, R.: Transport Hydraulique. Refoulement des Mixtures en Conduites: Annales des Ponts et Chaussées, 1960.
- [14] VAN GINDEREN, P.: Gespülte Straßendämme, Trassenspülung, Stabilität und Oberflächenverfestigung unter besonderer Berücksichtigung der Kornentmischung. Straße und Autobahn 19, H. 2, 1968.
- [15] HUSTON, J.: Hydraulic Dredging. Cambridge, Maryland. Cornell Maritime Press Inc., 1970.
- [16] KAZANSKIJ, I.: Zur Turbulenzstruktur von Feststoff-Wasserströmungen in Rohrleitungen. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 37, 1972.
- [17] KAZANSKIJ, I.: Berechnungsverfahren für die Förderung von Sand-Wasser-Gemischen in Rohrleitungen. Eigenverlag des Franzius-Instituts der TU Hannover, 1972.
- [18] LÖWENBERG, H.: Einbau und Verdichtung und Verdichtungsprüfung von Sand beim Spülverfahren im Straßenbau. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 23, 1963.
- [19] LÖWENBERG, H.: Austauschverfahren von Bodenmassen bei nichttragfähigem Untergrund. Straße und Autobahn 25, H. 11, 1974.
- [20] RAGUTZKI, G.: Beurteilung von Kleiabdeckungen ostfriesischer Seedeiche auf der Grundlage bodenphysikalischer Kennwerte. Jahresbericht der Forschungsstelle Küste des Nieders. Landesamtes für Wasser und Abfall, Norderney, Bd. 19, 1969.
- [21] SALZMANN, H.: Hydraulische bodentechnische Vorgänge beim Grundsaugen. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 31, 1968.
- [22] WASSER- UND SCHIFFFAHRTSDIREKTION NORD, Kiel: Meßprogramm Eiderdamm. Bericht Nr. 10, Dammbau.

### Zu Abschnitt 3: Natursteine

- [23] DIN 52 100: Auswahl und Bewertung von Natursteinen.
- [24] DIN 52 101: Probenahme.
- [25] DIN 52 102: Bestimmung der Dichte.
- [26] DIN 52 103: Bestimmung der Wasseraufnahme.

- [27] DIN 52 104: Frostbeständigkeit.
- [28] DIN 52 105: Druckversuch.
- [29] DIN 52 106: Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit.
- [30] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Karlsruhe: Frostversuch nach dem Luftfrostverfahren.
- [31] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Karlsruhe: Merkblatt über Verwendung von Natursteinen (Wasserbausteinen) für den Uferschutz an Binnenwasserstraßen; Fassung August 1971.
- [32] BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, Karlsruhe: Prüfrichtlinien zum Merkblatt über Verwendung von Natursteinen (Wasserbausteinen) für den Uferschutz an Binnenwasserstraßen; Fassung August 1971.
- [33] BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR: Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine; Ausgabe 1984.
- [34] KEIL, K.: Zur Frage der Frostbeständigkeit von Felsgesteinen. Die Natursteinindustrie, H. 1 und 2, 1970.
- [35] KNIß, H.-G.: Kriterien und Ansätze für die technische und wirtschaftliche Bemessung von Auskleidungen in Binnenschiffahrtskanälen. Dissertation TU Braunschweig, 1982.

#### Zu Abschnitt 4: Künstliche Steine

- [36] DIN 4301: Hochofenschlacke und Metallhüttenschlacke für den Straßenbau. (Für Steine aus Hochofen- und Metallhüttenschlacke sind die Vorschriften für Natursteine sinngemäß anzuwenden).
- [37] KÜSTENAUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Technisch-wissenschaftlicher Beirat: Deichsicherung durch Verhüttungsrückstände. Die Küste, H. 18, 1969.

#### Zu Abschnitt 5: Beton

- [38] EN 196: Prüfverfahren für Zement.
- [39] DIN V ENV 206: Beton – Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis.
- [40] DIN V ENV 1992-1-1, Eurocode 2 – Planung von Stahlbeton und Spannbetonbauwerken, Teil 1: Grundlagen und Anwendungsregeln für den Hochbau.
- [41] DIN 1045: Beton- und Stahlbeton; Bemessung und Ausführung.
- [42] DIN 1048: Prüfverfahren für Beton.
- [43] DIN 1084: Güteüberwachung im Beton- und Stahlbetonbau.
- [44] DIN 1164: Portland-, Eisenportland-, Hochofen- und Traßzement.
- [45] DIN 4026: Rammpfähle; Herstellung und zulässige Belastung – Richtlinien.
- [46] DIN 4030: Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase.
- [47] DIN 4226: Zuschlag für Beton.
- [48] DIN 19657: Sicherungen an Gewässern, Deichen und Küstendünen – Richtlinien.
- [49] DIN 18 551: Spritzbeton.
- [50] DIN 18 501: Pflastersteine.
- [51] DIN 51 043: Traß; Anforderungen, Prüfung.
- [52] Richtlinie zur Anwendung von DIN V ENV 206, Richtlinie zur Anwendung von Eurocode 2, Teil 1. Deutscher Ausschuß für Stahlbeton (DAfStb).
- [53] Richtlinie Alkalireaktion im Beton. DAfStb.
- [54] Richtlinien für Beton mit Fließmittel und für Fließbeton – Herstellung, Verarbeitung, Prüfung. DAfStb.
- [55] Richtlinie zur Nachbehandlung von Beton. DAfStb.
- [56] Vorläufige Richtlinie für Beton mit verlängerter Verarbeitbarkeitszeit (verzögerter Beton). DAfStb.
- [57] Merkblatt Betondeckung. Herausgeber Deutscher Beton-Verein E.V., Wiesbaden.
- [58] Merkblatt für Deckwerksteine aus Beton für den Uferschutz. Schriftenreihe der Zementindustrie, H. 38, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1971.
- [59] Vorläufiges Merkblatt für Bodenverfestigung mit Zement im Wasserbau. Forschungsinstitut der Zementindustrie. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1978.
- [60] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, EAU 1990. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau, 8. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, Berlin-München, 1990.

- [61] Merkblatt „Anwendung von hydraulisch und bituminös gebundenen Ausgußstoffen zum Teil- und Vollverguß von Steinschüttungen an Wasserstraßen“ (MAV). Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, 1990.
- [62] Empfehlungen für die Verklammerung von Uferschutzwerken und Sohlensicherungen – EVU 1990. Herausgeber Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Köln, 1990.
- [63] ASTER, D., JÜRGENS, H.-H., WEITZEL, H.: Bühnenbauten auf Borkum. Hansa 126, H. 21, 1989.
- [64] BAYER, E.: Seebauwerke aus Beton. Beton 27, H. 1, 1977.
- [65] BAYER, E.: Bühnen aus Betonfertigteilen für den Küstenschutz – Bauweisen und Entwicklungen. Betonwerk + Fertigteiltechnik 51, H. 9 und 10, 1985.
- [66] BAYER, E.: Einsatz der Betonbauweise bei Offshore-Bauwerken. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 65, 1989.
- [67] BAYER, E.: Beton für Küstenschutzwerke. Vorabveröffentlichung von Abschnitt 5. Beton der „Empfehlungen C: Baustoffe für Küstenschutzwerke“. Hansa 127, H. 11, 1990.
- [68] BRÖSSKAMP, K. H. et al.: Seedeichbau – Theorie und Praxis. Herausgeber Vereinigung der Naßbaggerunternehmungen e. V., Hamburg, 1976.
- [69] BRUX, G.: Das Colcrete-Verfahren und seine Anwendungsgebiete. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1961.
- [70] EISENMANN, O.: Massenbeton höherer Festigkeitsklassen. Beton-Informationen 5, H. 4, 1975.
- [71] ERCHINGER, H. F.: Küstenschutz durch Vorlandgewinnung – neue Baustoffe und Bauverfahren. Wasser und Boden 19, H. 10, 1967.
- [72] ERCHINGER, H. F.: Ausbau des Wittmunder Außentiefs mit Leitdamm aus vorgefertigten Betonteilen. Hansa 126, H. 7, 1989.
- [73] FRANCO, L.: Nuove applicazioni del calcestruzzo nelle strutture di difesa delle coste (Neue Anwendung von Beton bei Küstenschutzwerken). L'industria Italiana del Cemento, H. 1, 1992.
- [74] HALLAUER, O.: Technische Eigenschaften von Sand-Zement-Schüttsteinen für den Wasserbau. Beton 27, H. 8, 1977.
- [75] LAMPRECHT, H.-O.: Verwendung von Tetrapoden. Beton 12, H. 3, 1962.
- [76] LAMPRECHT, H.-O.: Böschungsschutz (in: H. BLIND, Wasserbauten aus Beton. Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Herausgeber H. Kupfer). Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften, Berlin, 1987.
- [77] LOCHER, F. W.: Untersuchung des Betons von Uferschutzbauten auf Helgoland. Beton-technische Berichte 1968, Beton-Verlag, Düsseldorf, 1969.
- [78] MONNET, W., DARTSCH, B., WEHEFRITZ, K. W.: Colcrete-Beton im Wasserbau. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1980.
- [79] RECHENBERG, W.: Verhinderung und Beseitigung von Algen- und anderem Bewuchs auf Beton. Betontechnische Berichte. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1973.
- [80] SCHRÖDER, H. Th.: Beton als Baustoff im Wasserbau. Wasser und Boden 27, H. 10, 1975.
- [81] SCHUBENZ, D.: Bodenverfestigung mit Zement im Wasserbau. Wasser und Boden 24, H. 12, 1972.
- [82] VINKELOE, J. W.: Wasserundurchlässiger Beton – wasserundurchlässige Bauteile. Montanzement 5, H. 2, 1975.
- [83] WALZ, D.: Dammbau und Böschungsverkleidung mit Boden-Zement-Verfestigung. Beton-technische Berichte 1973. Beton-Verlag, Düsseldorf, 1974.
- [84] WEBER, R.: Zukünftige europäische Zement- und Betonnormen. Beton-Informationen 29, H. 5, 1989.

#### **Zu Abschnitt 6: Asphalt**

- [85] DIN 55 946 Teil 1: Begriffe für Bitumen und Zubereitungen aus Bitumen.
- [86] DIN 1995: Bituminöse Bindemittel für den Straßenbau.
- [87] DIN 1996: Prüfung bituminöser Massen für den Straßenbau und verwandte Gebiete.
- [88] DIN 52 001 bis DIN 52 050: Prüfung bituminöser Bindemittel.
- [89] TL – PmB 89 Teil 1, Ausgabe 1990: Technische Lieferbedingungen für Polymermodifizierte Bitumen in Asphaltsschichten im Heißeinbau, Teil 1: Gebrauchsfertige Polymermodifizierte Bitumen.

- [90] EAAW 83: Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau. Herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Arbeitskreis 8a „Asphaltbauweisen“, Essen, 4. Ausgabe, 1983.
- [91] Vorläufiger Bericht 1961 der Arbeitsgruppe Geschlossene Abdeckungen von Deichböschungen. Autorisierte Übersetzung des holländischen Originals von der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau.
- [92] v. ASBECK, W. F.: Bitumen im Wasserbau, Bd. 2. Übersetzt und bearbeitet von SCHÖNIAN, E. (42 Lit.); Verlagsanstalt Hüthig & Dreyer, Mainz und Heidelberg, 1968.
- [93] BRÖSSKAMP, K. H. et al.: Seedeichbau – Theorie und Praxis (zahlreiche Lit.). Vereinigung der Naßbaggerunternehmungen e. V., Hamburg, 1976.
- [94] DE GROOT, P., GRUIS, H. J. A.: Recycling of bituminous mixes in hydraulic engineering in The Netherlands. 3rd Eurobitume Symposium 1985: Bitumen, flexible and durable, Vol. 1, V. 15, den Haag, 1985.
- [95] KERKHOVEN, R. E. O.: Die Weiterentwicklung des Baustoffes Asphalt im holländischen Wasserbau. Bitumen 29, H. 1, 1967.
- [96] KRAMER, J., JANSSEN, Th.: Deichbau an der ostfriesischen Küste unter Anwendung von Asphaltbauweisen. Bitumen 38, H. 3, 1976.
- [97] RÖHNISCH, A.: Schrifttum Asphalt im Wasserbau (832 Lit.); Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, 1960.
- [98] SAGGAU, W., STADELMANN, R.: Ein Deich wird gebaut – Vordeichung Nordstrander Bucht. Eigenverlag Husum, 1989.
- [99] SCHÖNIAN, E.: Asphaltdeckwerke für den Bau des Eiderdammes. Bitumen 34, H. 4, 1972.
- [100] SCHÖNIAN, E.: Neue Bauweisen im holländischen Seewasserbau. Bitumen 38, H. 1, 1976.
- [101] SCHÖNIAN, E.: Erfahrung mit Asphaltdeckwerken – Sanierung und verbesserte Ausbildung von Nähten. Hansa 126, H. 7, 1989.
- [102] ZITSCHER, F. F.: Möglichkeiten und Grenzen in der konstruktiven Anwendung von Asphaltbauweisen bei Küstenschutzwerken (622 Lit.). Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 12, 1967.
- [103] ZITSCHER, F. F.: Neue Erkenntnisse im Asphaltwasserbau. Bitumen 26, H. 7, 1964.
- [104] ZITSCHER, F. F.: Erfahrungen bei Seedeichverkürzungen in Deutschland und Holland. Bitumen 31, H. 4, 1949.

#### Zu Abschnitt 7: Geokunststoffe

- [105] DIN 60 000: Textilien – Grundbegriffe.
- [106] DIN 61 210: Vliese, verfestigte Vliese (Filze, Vliesstoffe, Watten) und Vliesverbundstoffe auf Basis textiler Fasern: Technologische Einteilung.
- [107] DIN 61 301: Geotextilien – Begriffe und anzuwendende Prüfungen.
- [108] Materialprüfnormen für Kunststoffe, Kautschuk und Gummi. Deutscher Normenausschuß, Taschenbuch, H. 12, 1966.
- [109] Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering. Hrsg. E. Veldhuijzen van Zanten. A. A. Balkema Publishers, Rotterdam, Boston, 1986.
- [110] Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erdbau und Wasserbau. Empfehlung des Arbeitskreises 14 der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V., 2. Auflage, Schriftenreihe des DVWK. Herausgeber F. F. Zitscher. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin, 1989.
- [111] ERCHINGER, H. F., SNUIS, G.: Kunststoffgewebesläuche im Küstenwasserbau. Wasser und Boden 24, H. 19, 1972.
- [112] FRANKE, E.: Grundsätze für die Bemessung von dichten Deckwerken und Dichtungen auf Böschungen gegen Grundwasserüberdrücke. Der Bauingenieur 47, H. 1, 1972.
- [113] GIROUD, J.-P.: From Geotextiles to Geosynthetics: A Revolution in Geotechnical Engineering – Proc. of the 3rd International Conference on Geotextiles, Vienna, 1986.
- [114] HARTMANN, B.: Der Grevelingendamm. Tiefbau 7, H. 10, 1965.
- [115] LIST, H.-J.: Untersuchungen von instationär belasteten Kunststoff-Filtern für den Wasserbau. Mitteilungen der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 35, 1973.
- [116] PETERSEN, P.: Der Speicherkoog Dithmarschen Süd. Bau eines Seedeiches im Watt aus schluffigem Feinsand. Die Wasserwirtschaft 61, H. 10, 1971.
- [117] RAGUTZKI, G.: Einige Versuchsergebnisse über Filtereigenschaften von Kunststoffgeweben

- und deren Verwendung im Lahnungsbau. Forschungsstelle Norderney. Jahresbericht 1969, Bd. XXI, 1971.
- [118] RAGUTZKI, G.: Beitrag zur Ermittlung der Filterwirksamkeit durchlässiger Kunststoffe. Forschungsstelle Norderney. Jahresbericht 1973, Bd. XXV, 1974.
- [119] SAATHOFF, F.: Marktformen und Grundsätzliches zur Wirkungsweise von Geotextilien. Mitteilungen des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 64, 1987.
- [120] SAATHOFF, F.: Geotextilien – Marktformen und Grundsätzliches zur Wirkungsweise von Geotextilien und Geogittern, Prüfung an Geotextilien – Lehrgang „Geotextilien in der Baupraxis“, Technische Akademie Esslingen, 1989.
- [121] SAATHOFF, F.: Geotextilien im Deponiebau, Fachveranstaltung Haus der Technik, 1993.
- [122] SCHULZ, U.: Die Konstruktion und Berechnung von Membrantragwerken. Die Bautechnik 54, H. 7, 1977.
- [123] WATERLOOPKUNDING LABORATORIUM DEN VOORST, Niederlande: Onderzoek naar de waterloopkundige karakteristieken van Kunststoffweefsel (unveröffentlichte Übersetzung).
- [124] ZITSCHER, F.F.: Kunststoffe für den Wasserbau. Schriftenreihe Bauingenieur-Praxis H. 125, Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1971.

### Zu Abschnitt 8: Holz

- [125] DIN 1052, Teil 1: Holzbauwerke, Berechnung und Ausführung.
- [126] DIN 4026: Rammfähle, Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung.
- [127] DIN 4074, Teil 1: Gütebedingungen für Bauschnittholz (Nadelholz).
- [128] DIN 4074, Teil 2: Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz).
- [129] DIN 4076, Teil 1: Benennung und Kurzzeichen auf dem Kurzgebiet, Holzarten.
- [130] DIN 19 657: Sicherung von Gewässern, Deichen und Küstendünen; Richtlinien.
- [131] DIN 68 364: Kennwerte von Holzarten, Festigkeit, Elastizität, Resistenz.
- [132] DIN 68 800: Holzschutz im Hochbau.
- [133] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ EAU 1990 der HTG, Technische Gütezahlen überseeischer Harthölzer (E 163), 8. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin, 1990.
- [134] BAVENDAMM, W.: Welche Tropenhölzer sind gegen Meerwasserschädlinge resistent und können für den marinen Wasserbau empfohlen werden? Holz-Zentralblatt Nr. 12, 1959.
- [135] BAVENDAMM, W., ROCH, W.: Untersuchungen über die natürliche Resistenz von Tropenhölzern gegen Meerwasserschädlinge. Holz als Roh- und Werkstoff H. 3, 1970.
- [136] BURGT, C.: Tropisches Hartholz im Wasserbau. Amsterdam, 1960.
- [137] COTTON, K. E.: The Use of Timber in the Construction of Sea Defence and River Works. The Dock and Harbour Authority Nr. 430 und Nr. 431, 1956.
- [138] HAHN, A.: Die Bekämpfung der Bohrmuschel. Die Küste 5, 1956.
- [139] KOYEMANN, H. E., BELLMANN, H.: Die Verwendung von imprägnierten Hölzern im Wasserbau. Schiff und Hafen H. 9, 1954.
- [140] KREMER, R.: Bongossi – ein bewährtes Bauholz mit vielen Verwendungsmöglichkeiten. Wasser und Boden 24, H. 8, 1972.
- [141] KRUG, H. A.: Überseeische Harthölzer im Wasserbau. Schiff und Hafen H. 3, 1959.
- [142] KÜSTENAUSSCHUß NORD- UND OSTSEE, ARBEITSGRUPPE „BEKÄMPFUNG DER BOHRMUSCHEL“: Zusammenstellung der tropischen Hölzer, die gegen marine Schädlinge (Bohrmuschel, Bohrrassel) widerstandsfähig sind. 1961 (unveröffentlicht).
- [143] MOMBÄCHER, R.: Die Verwendung von Holz im marinen Wasserbau. Holz-Zentralblatt Nr. 9, 1965.
- [144] SANDERMANN, W., LANGE, W.: Studien über Wasserbauhölzer. Holzforschung H. 5, 1967.
- [145] SCHÖNBECK, D. C.: Der Baustoff Holz im Wasserbau. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Verkehrswasserbau, TU Hannover 1976 (unveröffentlicht).
- [146] WENDEBORN, W.: Untersuchungen an Wasserbauhölzern und ihren Werkstoffen gegenüber Meeresschädlingen. Dissertation Universität Hamburg, 1967.

### Zu Abschnitt 9: Stahl

- [147] DIN 1199: Drahtgeflecht mit viereckigen Maschen.
- [148] DIN 1200: Drahtgeflecht mit sechseckigen Maschen.
- [149] DIN 1548: Zinküberzüge auf runden Stahldrähten.

- [150] DIN 17 100: Allgemeine Baustähle.
- [151] DIN 18 800, Teil 1: Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion.
- [152] DIN 18 800, Teil 7: Stahlbauten; Herstellen, Eignungsnachweise zum Schweißen.
- [153] DIN 18 801: Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion, Herstellung.
- [154] Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbau DASr-Ri 007: Lieferung, Verarbeitung und Anwendung wetterfester Baustähle (Ausgabe November 1979).
- [155] Ausschuß für Korrosionsfragen der Hafentechnischen Gesellschaft e.V. Hamburg: Korrosionsschutz von Stahlspundwänden. Deutsche Übersetzung der Mitteilung Nr. 5 des Havnekorrosionsudvalget (ATV), Glostrup/Dänemark, Dezember 1974.
- [156] Ausschuß für Korrosionsfragen der HTG: Kathodischer Korrosionsschutz im Wasserbau (KKiW). 2. Auflage. Hafentechnische Gesellschaft, Hamburg, 1989.
- [157] Ausschuß für Korrosionsfragen der HTG: Empfehlungen für den Korrosionsschutz der Innenflächen von Hohlkörpern im Stahlwasserbau. Hansa 127, H. 9/10, 1990.
- [158] Technische Lieferbedingungen für Stahlspundbohlen. Fassung 1985.
- [159] Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Uferbefestigungen“, EAU 1990, 8. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1990  
 E 20 Zulässige Spannungen bei Spundwandbauwerken  
 E 23 Sandschliffgefahr bei Spundwänden  
 E 35 Korrosion bei Stahlspundwänden und Gegenmaßnahmen  
 E 67 Gütevorschriften für Stähle und Stahlspundbohlen  
 E 97 Toleranzen der Schloßabmessungen bei Stahlspundbohlen  
 E 98 Übernahmebedingungen für Stahlspundbohlen und Stahlpfähle auf der Baustelle  
 E 99 Ausbildung geschweißter Stöße an Stahlspundbohlen und Stahlrammpfählen  
 E 107 Böschungen in Seehäfen und in Binnenhäfen mit Tide  
 E 117 Wasserdichtheit von Stahlspundwänden.
- [160] Spundwand-Handbuch, Berechnung. Hoesch AG Dortmund.
- [161] Spundwand-Handbuch. Bauwerke. Hoesch AG Dortmund.
- [162] Grundbautaschenbuch, Teil 2, 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, 1982.
- [163] AGATZ, A. et al.: Bau der Stromkaje für das Containerkreuz in Bremerhaven. Die Bautechnik 49 (1972), H. 3 und H. 5, 51 (1974), H. 2 und H. 3, 52 (1975), H. 5 bis H. 7, 53 (1976), H. 6 bis H. 10.
- [164] ALBERTS, D.: Wanddickenmessungen an Stahlspundwänden. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Heft 60, 1987.
- [165] ALBERTS, D.: Ultraschallmessungen an stark korrodierten Stahlspundwänden. Hansa 128, H. 3, 1991.
- [166] ALBERTS, D., EISFELDT, F., SCHUPPENER, B.: Beurteilung alter Spundwandbauwerke an den norddeutschen Küsten. Baugrundtagung 1986, Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen, 1986.
- [167] BEYER, H. A.: Großdock 8a – HDW Kiel. Die Tiefbau-Berufsgenossenschaft H. 11, 1976.
- [168] BRACKEMANN, F.: Erfahrungen über Ausbildung und Einsatz von wellenförmigen Spundwänden mit großer Profilhöhe bei Kaimauern in deutschen Seehäfen. Baumaschine und Bautechnik, 18, H. 5, 1971.
- [169] GRIMME, D., v. OETEREN, K. A., PÖTSCHKE, M., SCHWENK, W.: Korrosion und Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe im Hoch- und Ingenieurbau. 2. Korrosionum 1976, Verlag Stahl Eisen mbH, Düsseldorf.
- [170] HEIN, W., LADEBURG, H., MENNENÖH, S., SCHRÖDER, H. Th.: Untersuchungen über das Korrosionsverhalten von ungeschütztem Stahl in Hafenwässern des deutschen Küstengebietes (Nord- und Ostsee). HTG-Jahrbuch 1975.
- [171] HEIN, W.: Über das Korrosionsverhalten von Stahlspundwänden im Mittelstandkanal. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Heft 59, 1986.
- [172] HEIN, W.: Zur Korrosion von Stahlspundwänden in Wasser. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, Heft 67, 1990.
- [173] HEIN, W.: Korrosion von Stahlspundwänden in Wasser. Hansa 128, H. 3 und 4, 1991.
- [174] ILLIGER, J.: Korrosionsuntersuchungen an Stahlspundwänden des Rhein-Herne-Kanals und des Dortmund-Ems-Kanals. Die Bautechnik 33, H. 6, 1956.
- [175] PENSING, K.: Schwere wellenförmige Stahlspundwände im Hafenbau. Das Baugewerbe H. 18, 1973.
- [176] ULRICH, G.: Korrosionsschutz durch Luftentfeuchtung. Hansa 127, H. 5 und 6, 1990.

- [177] WOLLIN, G.: Messung von Wanddicken an Spundbohlen mit Ultraschall. Schiff und Hafen H. 9, 1968.
- [178] STÜDEMANN, G.: Korrosion an Stahlspundwänden. Sonderheft Korrosionstagung, Schiff und Hafen, 1960.
- [179] STÜDEMANN, G.: Korrosionsschutzmaßnahmen bei Stahlspundwänden im Wasserbau. Die Bautechnik 43, H. 10, 1966.

#### **Nachträge**

- [180] Bundesminister für Verkehr (Hrsg): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTVT-StB 86), Fassung 1990.
- [181] Bundesminister für Verkehr (Hrsg): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau bituminöser Fahrbahndecken (ZTV-bit-StB 84), Fassung 1990.
- [182] Verordnung zur Beschränkung des Herstellens, des Inverkehrbringens und der Verwendung von Teerölen zum Holzschutz (Teerölverordnung) vom 27. Mai 1991. Bundesgesetzblatt I, S. 1195, Jahrg. 1991.