

Anhang 2002

Neuere Ausführungsbeispiele zu den Empfehlungen E „Deckwerke und andere Längswerke als Küstenschutz“ und Empfehlungen F „Buhnen als Küstenschutz“ der EAK 1993 in „Die Küste“, H. 55, 1993

Vorwort

In den Empfehlungen E „Deckwerke und andere Längswerke“ sowie den Empfehlungen F „Buhnen als Küstenschutz“ der EAK 1993 sind jeweils in den Abschnitten 6 Ausführungsbeispiele enthalten. Als Fortschreibung dieser Beispiele werden nachfolgend Ergänzungen zu den dort dargestellten Konstruktionen, welche sich aufgrund einer wesentlichen Veränderung oder Erweiterung ergeben haben, sowie völlig neue Ausführungsbeispiele dargestellt. Diese berücksichtigen den Stand des Jahres 2002.

Beispielergänzungen werden mit dem Annex „a“ gekennzeichnet und beziehen sich auf das sonst gleich gekennzeichnete Beispiel der EAK 1993. Völlig neue Beispiele schließen sich an die Nummerierung der in der EAK 1993 behandelten Beispiele an.

Beispiele ausgeführter Deckwerke und anderer Längswerke:

- Beispiel 8a Schüttsteindeckwerk auf Filtervlies mit Findlingsreihen
- Beispiel 13a: Dünendeckwerk mit wellenaufdämpfenden Elementen
- Beispiel 22: Molenpacksteinwerk
- Beispiel 23: Wellenbrechersystem Streckelsberg

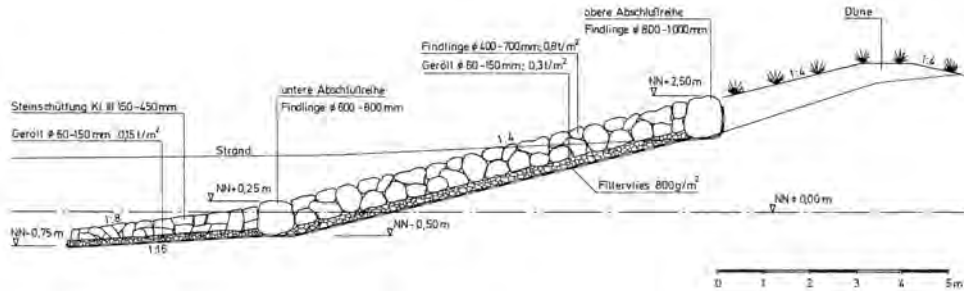
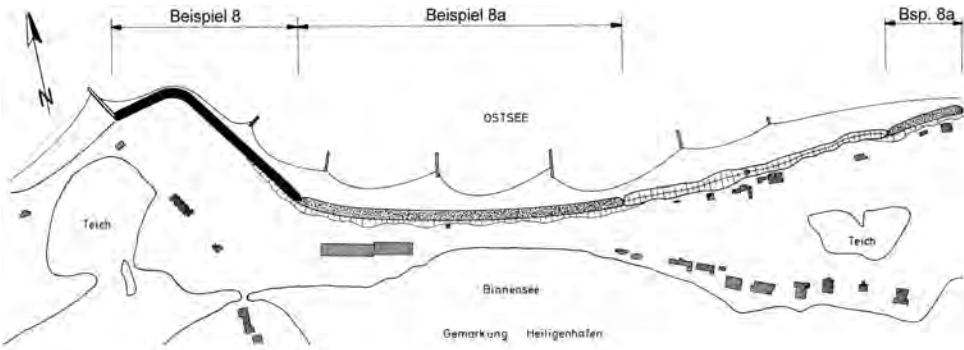
Beispiele ausgeführter Buhnen:

- Beispiel 9a: Stahlspundwandbuhne mit Krone aus Stahlbetonformteilen
- Beispiel 16: Betonfertigteilmuhne mit durchgehender Stahlspundwand
- Beispiel 17: Gewölbte Buhne in Steinbauweise
- Beispiel 18: Holzpahlbuhne mit massivem Buhnenkopf
- Beispiel 19: Buhnensystem an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins
- Beispiel 20: Buhnensystem vor dem Sierksdorfer Steilufer an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins
- Beispiel 21: Buhnensystem Börgerende/Mecklenburg-Vorpommern
- Beispiel 22: Buhnensystem Zingst Ost/Mecklenburg-Vorpommern
- Beispiel 23: Buhnensystem Ahrenshoop/Mecklenburg-Vorpommern

Eine Übersichtskarte zu diesen Ausführungsbeispielen findet sich am Ende dieses Anhangs auf den Seiten 588/589.

Beispiel 8a Schüttsteindeckwerk auf Filtervlies mit Findlingsreihen

Lage:	Ostsee-Küstenabschnitt vor Heiligenhafen in Ostholstein Der Bereich gliedert sich in ein westlich gelegenes Steilufer mit einer in Sediment-Transportrichtung nach Osten hin anschließenden Niederung („Eichholzniederung“) und einem System von Nehrungshaken („Steinwarder“, „Graswarder“). Die Sicherung der Küste mit Strand und umfangreicher touristischer Infrastruktur und Bebauung erfolgte anfangs nur durch Buhnen. Um die Lee-Erosionswirkung der zuerst errichteten westlich gelegenen großen Buhne zu mindern, wurden das verklammerte Deckwerk aus Beispiel 8 und drei Steinbuhnen errichtet. Da weiterhin Küstenrückgang zu verzeichnen war, wurde eine Reihe weiterer Buhnen errichtet. Diese konnten ein Ausräumen des Strandes nicht verhindern, so dass dieses Deckwerk zur Sicherung des Dünengürtels bei Hochwassern erforderlich wurde.
Beanspruchung:	Mittlerer Seegang, Eis, Morphologie einer Ausgleichsküste (Rückgang)
Baugrund:	Oberflächlich marine Sande, darunter Grundmoräne (Geschiebemergel mit örtlichen Einlagerungen von Schmelzwassersand und Beckenschluff)
Bauweise:	Fußsicherung: Findlinge $d = 60\text{--}80$ cm einreihig gesetzt mit Schüttsteinvorlage auf Geröll und Vlies
Deckwerksaufbau:	Findlinge $d = 40\text{--}70$ cm geschüttet, Flächengewicht $0,8 \text{ t/m}^2$ auf Filtervlies 800 g/m^2 , Neigung 1:4
Oberer Abschluss:	Findlinge $d = 80\text{--}100$ cm, einreihig gesetzt
Beurteilung:	Die Erweiterungen des Küstenschutzsystems wurden erforderlich, um die negativen Folgen im Lee-Bereich der jeweiligen Vorgänger-Maßnahme zu begrenzen. Außerdem soll der natürliche Küstenrückgang beeinflusst werden, um Strandbreite durch Buhnen zu erhalten. Das Deckwerk dient zur Sicherung des Dünengürtels, um die Uferpromenade und die dahinter liegende Bebauung vor einem Durchbruch des Nehrungshakens bei Hochwasser zu schützen. Die Anlagen haben die Beanspruchungen der bislang aufgetretenen Sturmfluten mit z. T. geringen Schäden überstanden. Substanzverluste des Strandes werden durch Sandzugaben ausgeglichen. Durch das tiefe Einbinden der Fußsicherung in den Strandbereich und die insgesamt flexible Gestaltung des Deckwerkes soll es sich den Beanspruchungen durch Sturmfluten und Veränderungen des Strandniveaus ohne Beeinträchtigung gut anpassen. Durch den Abbau der Wellenenergie auf der geneigten, rauen Böschung wurden Erosionserscheinungen im Strandbereich bisher nicht beobachtet.

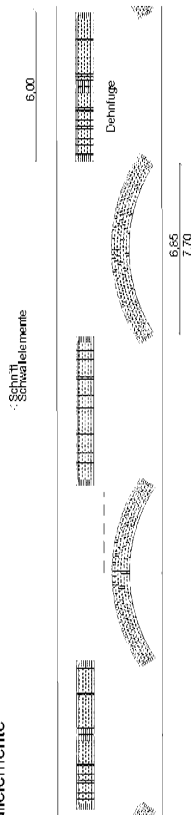


Beispiel 13a: Dünendeckwerk mit wellenauflaufdämpfenden Elementen

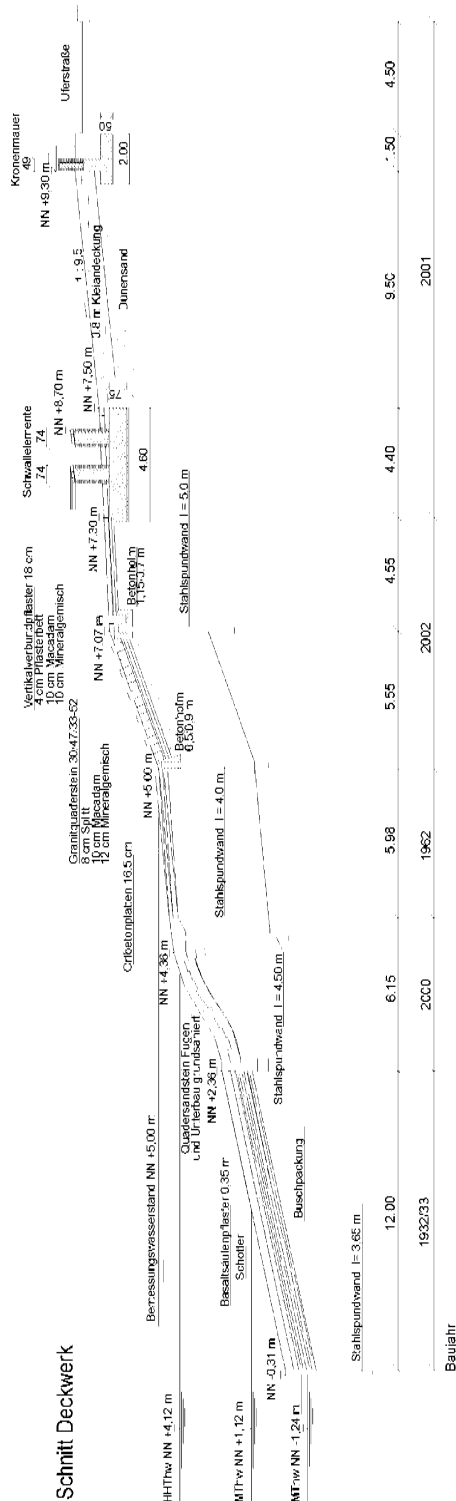
Lage:	Nordstrand der Insel Norderney
Beanspruchung:	Schwerer Seegang
Baugrund:	Fein- und Mittelsand
Baujahr:	S-Profil 1860–1870, grundsaniert 2000/2001, Fußsicherung 1932/33 mit Teilabschnitten 1998, untere Berme 1962, Schrägdeckwerk, obere Berme, Schwallwände und Kronenwand 2001–2002
Bauweise:	Fußsicherung: Gesetzte Basaltsäulen auf Buschpackung und Schotterunterbau bzw. geotextilem Filter und Schottererschicht mit Fußspundwand
S-Profil:	Quadersandsteinmauerwerk mit Hinterpressung von Hohlräumen und neu-aufgebauten Fugen im Trockenspritzverfahren
Untere Berme:	Ortbetonplatten mit Z-Fugen
Schrägdeckwerk:	Granitquadersteine $d = 33 \text{ cm}$ mit Rauigkeitselementen und vergossenen Fugen
Obere Berme:	Betondeckwerksteine mit Vertikalverbund $d = 18 \text{ cm}$
Schwallwände:	Verklinkerte Stahlbetonelemente mit Längen $L = 6 \text{ m}$ bzw. $7,7 \text{ m}$ und $h = 1,4 \text{ m}$ auf Gründungsplatte mit $d = 0,75 \text{ m}$ und $b = 4,6 \text{ m}$. Dehnfugen alle 25 m
Kronenwand:	Durchgehende verlinkerte Stahlbetonwand $d = 0,49 \text{ m}$ und $h = 0,8 \text{ m}$ auf Gründungsplatte mit $d = 0,5 \text{ m}$ und $b = 2,0 \text{ m}$
Beurteilung:	In mehreren Ausbauphasen ist das Deckwerk bis zu seinem heutigen Zustand umgestaltet bzw. erweitert worden. Grundlage für den Ausbau der Jahre 2001–2002 waren numerische und physikalische Modellversuche zur Ermittlung der Druckbelastung sowie des Wellenauf- und -überlaufs. Diese hatten ergeben, dass die nach den Sturmflutschäden von 1962 neu erbauten oberen Deckwerksteile sowie das S-Profil zu schwach hinsichtlich der ermittelten Druckschlag- und Innendruckbelastung dimensioniert waren. Weiterhin ergab sich, dass trotz der 1976 durchgeführten Kronenerhöhung mit erheblichem Wellenüberlauf zu rechnen war. Aufgrund der räumlichen Verhältnisse durch direkt an das Bauwerk angrenzende Bebauung war eine weitere Erhöhung der Krone nicht mehr durchführbar, so dass eine wirkungsvolle Reduzierung des Wellenaufbaus und -überlaufs nur über im oberen Deckwerksbereich versetzt angeordnete wellenauflaufdämpfende Schwallmauer-elemente und eine Kronenmauer erreicht werden konnte. Diese unterliegen einer erheblichen Druckbelastung. Ein Rückfluss des Überlaufwassers ist durch die versetzte Anordnung der Schwallmauern möglich. Zur Sicherung des Fußbereiches des Deckwerkes waren seit 1951 insgesamt 10 Strandaufspülungen notwendig.



Lageplan Schwallelemente

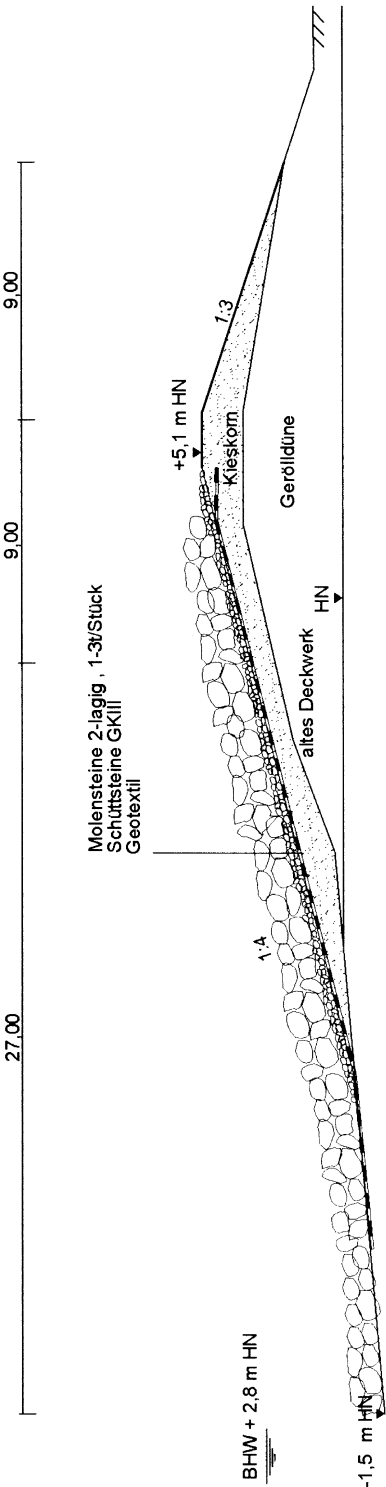


Schnitt Deckwerk



Beispiel 22: Molenpacksteinwerk

Lage:	Ostseeküste westlich von Börgerende, Konverter Niederung, Jemnitzschleuse
Beanspruchung:	Schwerer Seegang
Baugrund:	Mittelkies (Geröll des Heiligendammes), darunter Torf, Feinsand und Schlick
Baujahr:	1999
Bauweise:	2-lagige Molensteinpackung (Einzelgewicht 1–3 t) mit Unterschicht aus Schüttsteinen der Größenklasse 3 auf schwerem Geotextil $\geq 1000 \text{ g/m}^2$. Auf das vorhandene Packwerk (Baujahr 1967/70) wurde als Schutzschicht zum Geotextil eine Kiestrennschicht aufgebracht.
Beurteilung:	Das vorhandene Packwerk wies Höhen von 3,0–3,4 m HN auf. Bei Eintreten einer sehr schweren Sturmflut hätte eine akute Durchbruchgefahr zur Konverter Niederung bestanden. Ein Ausbau des Packwerkes wurde erforderlich und 1999 auf eine Höhe von 5,1 m HN ausgeführt. Aufgrund morphologischer, infrastruktureller und naturschutzrechtlicher Gegebenheiten war die Verstärkung seeseitig auszuführen. Dies hatte zur Folge, dass der seeseitige Packwerksfuß auf –1,5 m HN gegründet werden musste.

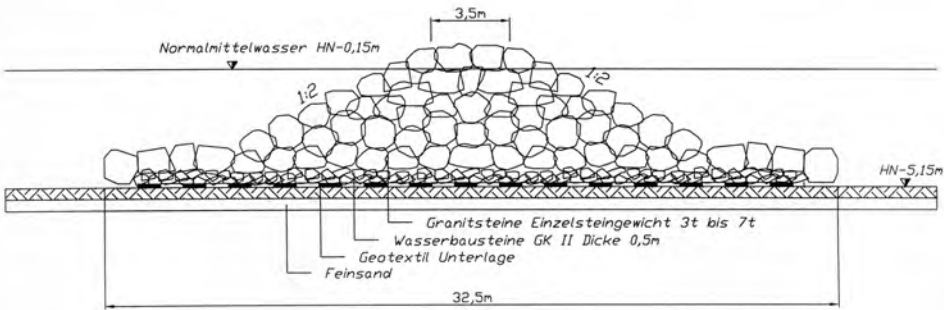
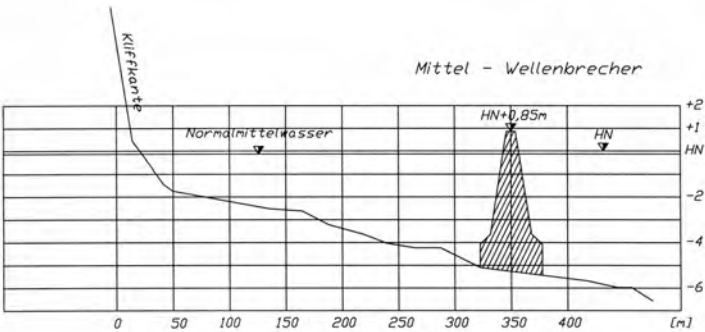


Beispiel 23: Wellenbrechersystem Streckelsberg

Lage:	Ostseeküste Vorpommern, Außenküste der Insel Usedom, nahe Koserow
Beanspruchung:	Starker Seegang, Eis, Wasserspiegel regelmäßig höher als Bauwerkskrone
Baugrund:	Feinsand
Baujahr:	1995/1996
Bauweise:	Das System besteht aus drei küstenparallelen Wellenbrechern von je 170 m bis 190 m Länge in einer Uferentfernung von ca. 200 m. Die Öffnungsweite zwischen den Wellenbrechern beträgt 60 m. Die Wellenbrecher sind aus Granitsteinen mit einem Gewicht von ca. 3–7 t aufgebaut. Sie sind auf sandgefüllten Kolkschutzmatten, die durch Wasserbausteine der Größenklasse 3 geschützt sind, errichtet. Der Antransport der Granitsteine erfolgte mit Pontonschuten. Am Einbauort wurden die Steine von Deck geschoben und mit Polypgreifern profiliert. Die Kronenhöhe der Wellenbrecher befindet sich 1,0 m über Normalmittelwasser der Ostsee. Die Sohle der Wellenbrecher liegt in 5 m Wassertiefe. Die Tombolos der neuen Uferlinie sind durch eine Aufspülung von ca. 500 000 m³ Sand künstlich hergestellt worden. Die beiden Nachbargebiete der Wellenbrecher, deren Steilufer bisher aktiv waren, werden durch Buhnsysteme und Aufspülung geschützt.
Beurteilung:	Durch den Bau der Wellenbrecher und die künstliche Aufspülung der Tombolos wird der Streckelsberg wirksam geschützt. Dadurch, dass der Streckelsberg als Aufhänger für die benachbarten Flachküstenabschnitte fungiert, wirkt sich das Schutzsystem positiv für die Sturmflutsicherung im Übergangsbereich Steilküste/Flachküste aus.



Foto: Gurwell

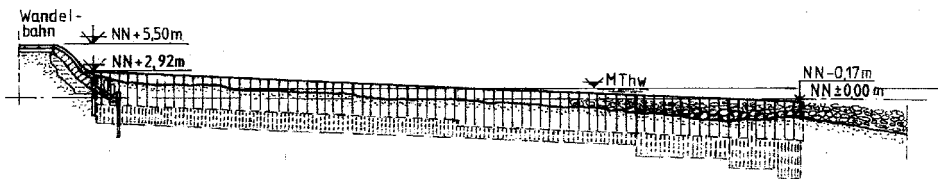


Beispiel 9a: Stahlspundwandbuhne mit Krone aus Stahlbetonformteilen

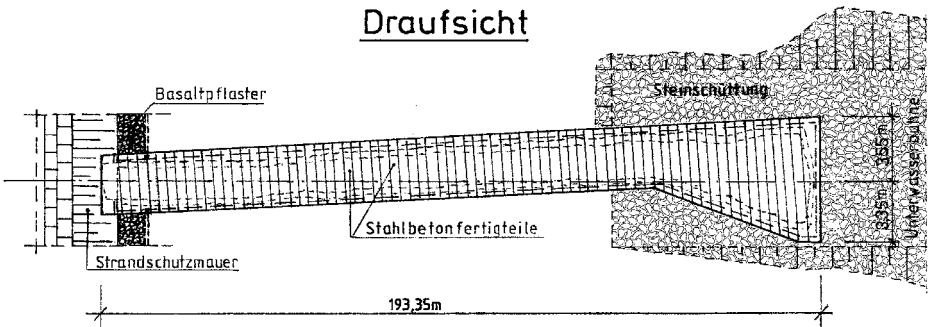
- Buhnentyp: Kastenbuhne
Lage: Buhne 21 am Südweststrand der Insel Borkum
Beanspruchung: Tide- und Brandungsströmung, Seegang, Eisgang
Baugrund: Feinsand (0,15 bis 0,2 mm Korndurchmesser)
Baujahr: 1950/51, Instandsetzung 1986
Bauweise: Die Basaltsäulen aus der vorhandenen Kastenbuhne (vgl. Beispiel 9) wurden entfernt. In der entstandenen Fläche wurde beidseitig an der Innenseite der Stahlspundwand ein Auflager für die Betonfertigteile eingeschalt und betoniert. Anschließend wurden die Stahlbetonfertigteile übergestülpt und der Hohlraum mit kolloidalem Zementmörtel ausgefüllt. Zeitgleich erfolgten Angleichung und Optimierung der vorgelagerten Unterwasserbuhne.
- Beurteilung: a) *k o n s t r u k t i v*: Der Einbau der Trägerkonstruktion für die Herstellung der Auflagerung der Fertigteile war im Tidebereich schwierig. Handling und Einbau der Betonfertigteile mit den Abmessungen $L = 2,50$ m, $B = 3,20$ m und $H = 3,50/4,00$ m waren nur mit entsprechend dimensioniertem Gerät möglich. Eine weitere Schwächung der Stahlspundwände durch Sandschliff und Korrosion konnte durch die Überdeckung mit den Stahlbetonfertigteilen wirksam verhindert werden.
b) *f u n k t i o n e l l*: Die Buhne 21 ist eine Strombuhne, die eine weitere Annäherung der Stromrinne der Ems und eine Ausräumung des Strandes zum Schutz des oberhalb anschließenden Deckwerks verhindern soll. Die Hauptbelastung trägt die Unterwasserbuhne. Das Bauwerk erfüllt voll seine Aufgabe.

Buhne 21

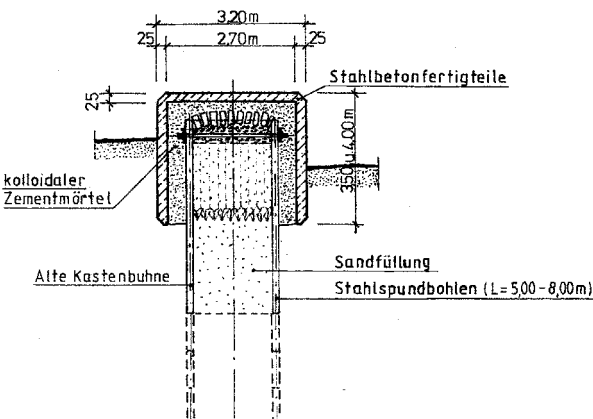
Seitenansicht



Draufsicht



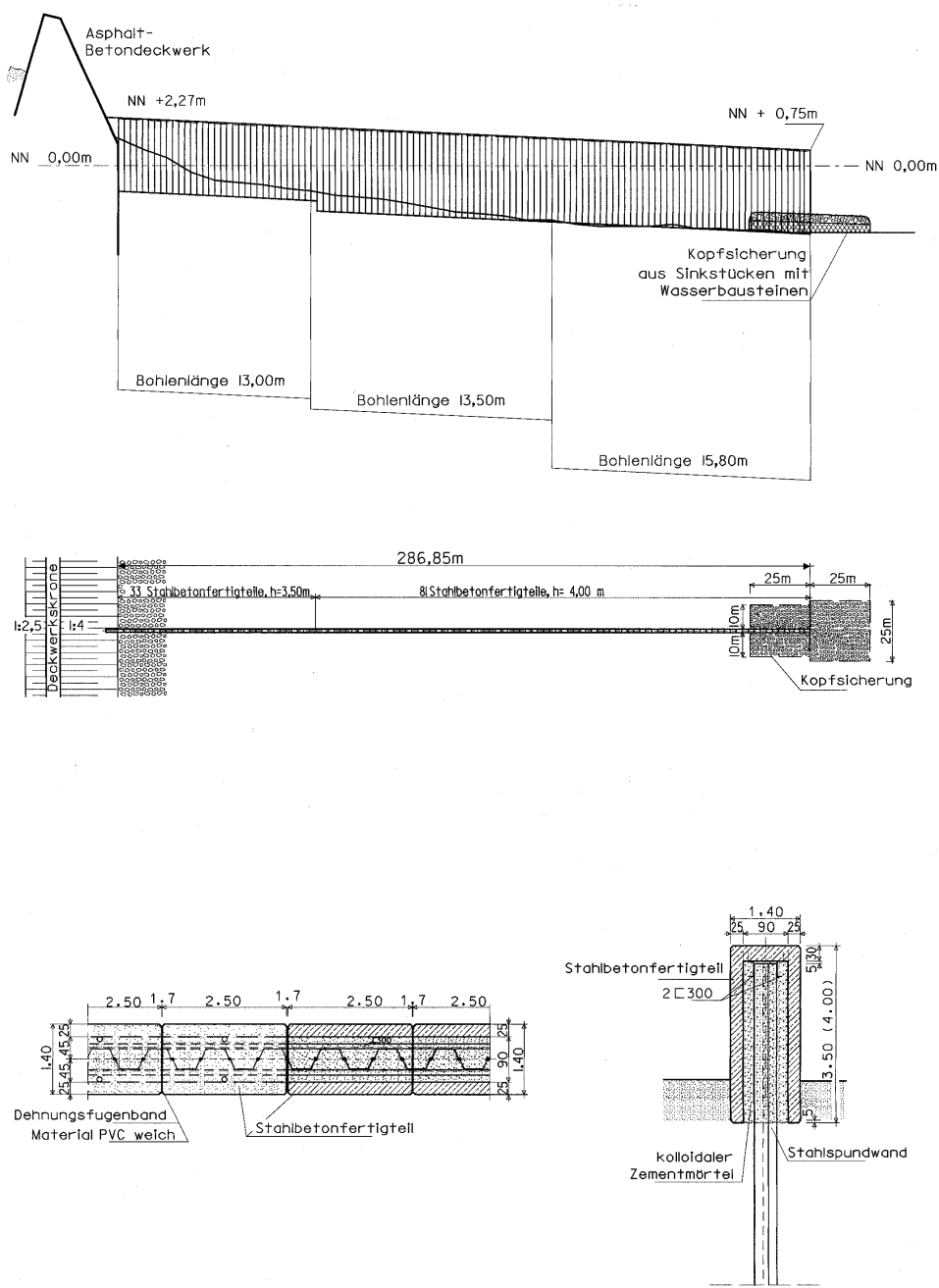
Querschnitt



Beispiel 16: Betonfertigteilbuhne mit durchgehender Stahlspundwand

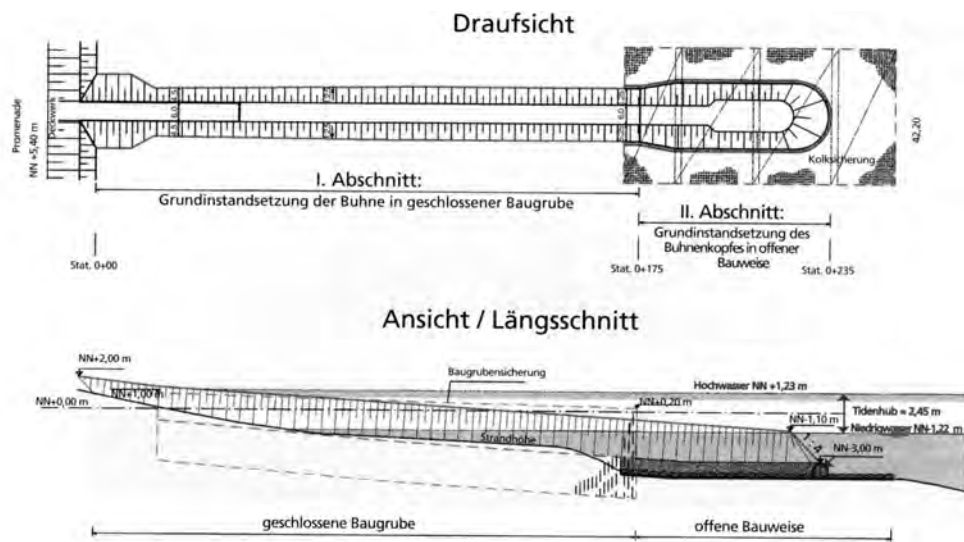
Buhnentyp:	Einwandbuhne
Lage:	Buhne 30 und 32 am Südweststrand der Insel Borkum
Beanspruchung:	Tide- und Brandungsströmung, Seegang, Eisgang
Baugrund:	Feinsand (0,15 bis 0,2 mm Korndurchmesser)
Baujahr:	1999
Bauweise:	Tragendes Element der Buhne ist eine freistehende, unverankerte, durchgängige Stahlspundwand. Zur Stabilisierung und als Auflager für die Stahlbetonfertigteile ist beidseitig eine Gurtung aus U-Profilen „U-300 mm“ eingebaut. Oberhalb der Gewässersohle wird die Stahlspundwand mit Stahlbetonfertigteilen in den Maßen $L = 2,50$ m, $B = 1,40$ m und $H = 3,50/4,00$ m „überkront“. Die an einer Seite mit Gummidichtungen versehenen Fertigteile werden lückenlos gegeneinander verlegt und die Hohlräume anschließend mit kolloidalem Zementmörtel ausgefüllt. Die Kopfsicherung besteht aus Wasserbausteinen der Klasse IV auf einer Geotextil-Matte mit aufgebundenen Faschinenwürsten.
Beurteilung:	a) k o n s t r u k t i v: Die Kombination aus einwandiger, durchgängiger Stahlspundwand mit aufgesetzten Stahlbetonfertigteilen hat sich seit dem Ende der 80er-Jahre für Seebuhnenneubauten auf Borkum als wirtschaftlichste und in der Herstellung risikoärmste Lösung durchgesetzt. Die geschlossene Überkronung der Stahlspundwand oberhalb der Gewässersohle garantiert vollständigen Schutz vor Korrosion und Sandschliff und damit lange Nutzungszeiten bei minimalem Unterhaltungsaufwand. b) f u n k t i o n e l l: Die Buhnen 30/32 sollen als Zwischenbuhnen innerhalb der großen Buhnenfelder am Südweststrand zur Verminderung der Erosion in den Buhnenfeldern beitragen. Mittelfristig soll durch die Erhöhung des Sandhorizontes eine Stabilisierung des Vorstrandes am Südweststrand erreicht werden. Schon wenige Wochen nach Fertigstellung der Bauwerke war eine positive Strandhöhenentwicklung festzustellen.

Seebühne 30

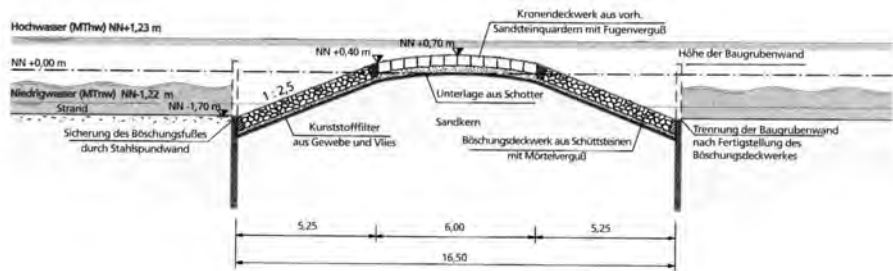


Beispiel 17: Gewölbte Buhne in Steinbauweise

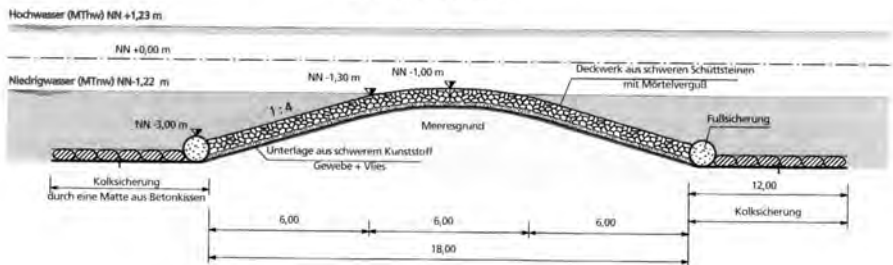
Bühnentyp:	Flachbuhne
Lage:	Buhne H1 am Nordstrand der Insel Norderney
Beanspruchung:	Seegang, Tide- und Brandungsströmung, Eis
Baugrund:	Feinsand (0,15 bis 0,2 mm Korndurchmesser)
Baujahr:	1999
Bauweise:	1877 als gewölbte Steinbuhne wie Beispiel 5 aus der EAK 1993 gebaut. Grundinstandsetzung 1999. Länge der Buhne ca. 220 m. Aufbau des Bühnenkörpers: Wasserbausteine Klasse 3 in einer Einbaudicke von $d = 60$ cm mit einer Flankenneigung von 1:2,5 bis 1:4 auf Schotterlage $d = 15$ cm und Kombinationsfiltermatte aus geotextilem Gewebe und Vlies. Bühnenkern aus Sand. Für die Bühnenkrone wurden zusätzlich aus der ursprünglichen Buhne stammende Sandsteinquader, deren Fugen vergossen wurden, sowie Basaltsäulen eingesetzt. Fuß- bzw. Flankensicherung im inselwärtigen Bühnenteil aus Stahlspundwänden, die gleichzeitig als Baugrubensicherung dienten und anschließend auf $l = 2,5$ m abgebrannt wurden. Lage OK Spundwand unterhalb des Strandniveaus. Im seewärtigen Bühnenteil mit einem Mörtelpressschlauch $\varnothing 1$ m und einer Kolksicherung aus flexiblen Betonmatten gesichert.
Beurteilung:	a) k o n s t r u k t i v: Die seitlich dichte Einfassung durch Spundwände bzw. Kolksicherungsmatten und Mörtelpressschlauch und die Abdeckung des Bühnenkerns aus vergossener Schüttsteinbedeckung auf geotextilem Filter vermindern wirksam ein Ausspülen des Bühnenkernes. Durch die flexible Bauweise der Kolksicherung kann sich diese gut an die starken Veränderungen des Unterwasserstrandes anpassen, ohne dass Schäden an der Buhne aufgetreten sind und die Kolksicherung in ihrer Wirkung beeinträchtigt wird. Erfahrungen mit Kolksicherungen aus Schüttsteinen auf Sinkstücken in diesem Einsatzbereich hatten gezeigt, dass die Lagestabilität der Steine aufgrund starker Seegangsexponiertheit dieses Strandabschnittes nur bedingt gegeben war. Durch die weitgehende vergossene Decke aus Schüttsteinen sind bisher keine Schäden an der Buhne durch Seegang, Strömung oder Eis aufgetreten. b) f u n k t i o n e l l: Die Buhne H1 dient der Stabilisierung eines vor allem Seegang aber auch Tideströmungen ausgesetzten sandigen Küstenabschnittes und der Sicherung des Fußes eines rückwärtig anschließenden Dünendeckwerkes. Ergänzend hierzu sind seit 1951/52 zehn Strandauffüllungen zum Ausgleich der Sedimentverluste vorgenommen worden.



Aufbau und Querschnitt I. Abschnitt
- in geschlossener Baugrube -

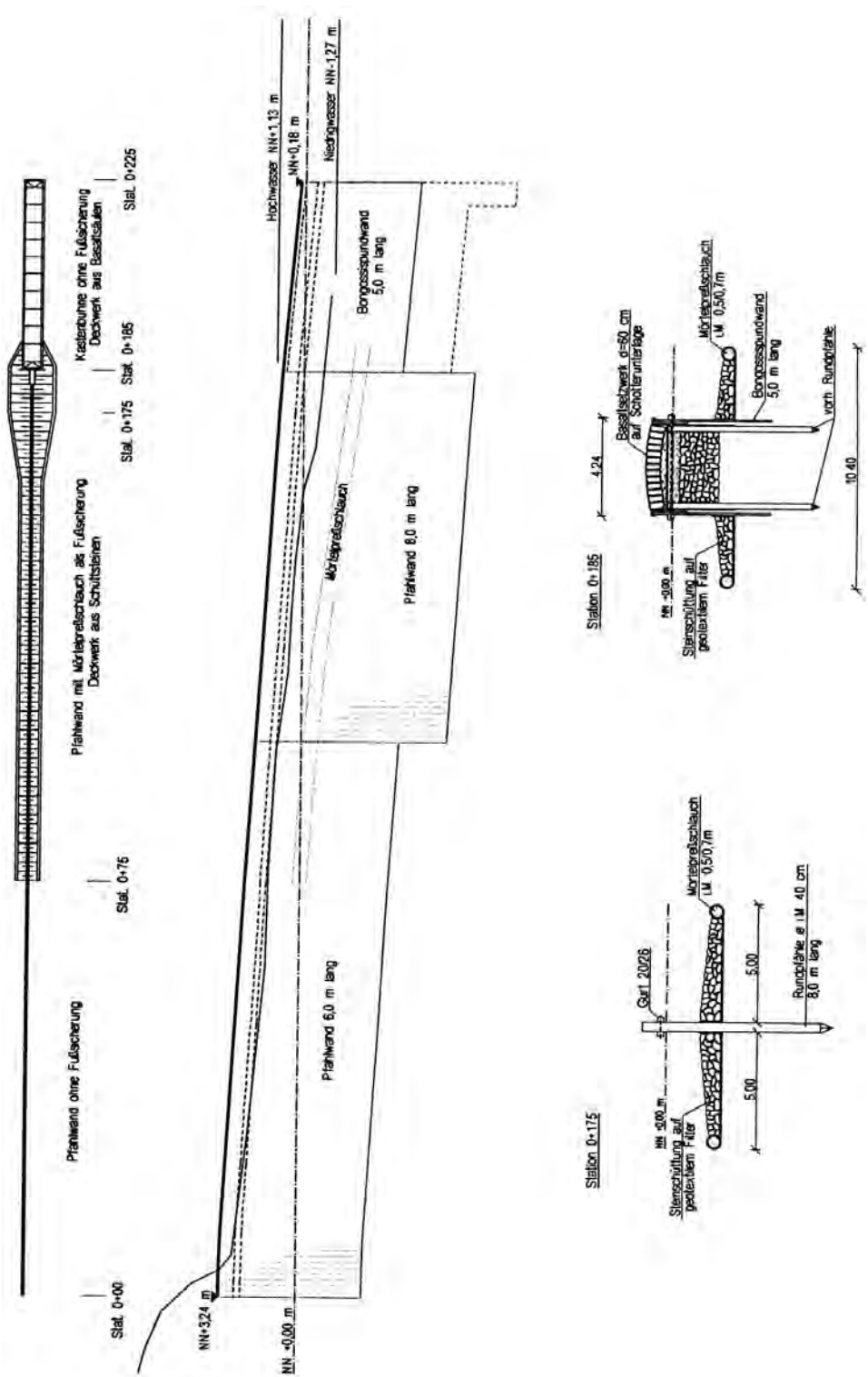


Aufbau und Querschnitt II. Abschnitt
- in offener Bauweise -



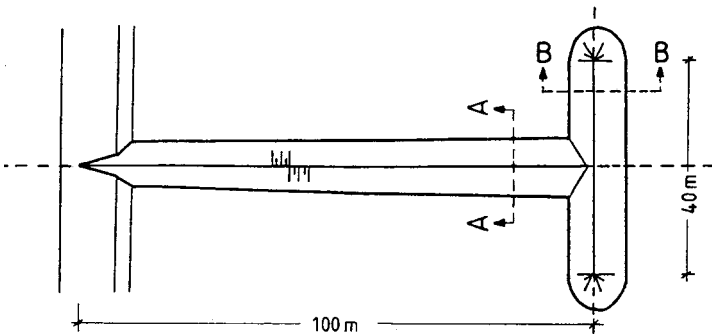
Beispiel 18: Holzpfahlbühne mit massivem Bühnenkopf

Bühnentyp:	Einwandbühne
Lage:	Bühne R1 am Nordstrand der Insel Norderney
Beanspruchung:	Seegang, Tide- und Brandungsströmung, Eis
Baugrund:	Feinsand (0,15 bis 0,2 mm Korndurchmesser)
Baujahr:	1951/1997
Bauweise:	Die Bühne war in ihrer ursprünglichen Form als eine einwandige Stahlspundwandkonstruktion mit einem Kopf in Kastenbühnenform und einer Gesamtlänge von 225 m ausgeführt worden. Starker Sandschliff und Korrosion haben zu einer fast vollständigen Zerstörung des oberhalb des Strandniveaus liegenden Teils der Stahlspundwand geführt. Dieser 185 m lange Teil der Bühne wurde durch eine beidseitig gegurtete Holzpfahlbühne mit $\varnothing$ 40 cm und $l = 6$ bzw. 8 m je Pfahl ersetzt und der noch intakte Bühnenkopf integriert. Der mittlere und untere Bereich der Bühne ist zusätzlich beidseitig durch eine Steinschüttung auf geotextilem Filter mit einer Einfassung aus Mörtelpressschläuchen gegen Kolkbildung geschützt. Wegen im Untergrund vorhandener Hindernisse aus altem Wasserbaumaterial musste in weiten Teilen der Bautrasse ein Bodenaustausch vorgenommen werden.
Beurteilung:	a) <i>k o n s t r u k t i v</i>: Im Vergleich zu Beispiel 17 liegen in diesem Strandabschnitt eine geringere Seegangsbelastung und günstigere Strandverhältnisse vor. Durch die tiefe Einbindung in den Strand, die doppelseitige Gurtung und die massive Kopfausbildung der Bühne ist die Standfestigkeit der Anlage voll gegeben. b) <i>f u n k t i o n e l l</i>: Die Bühne stabilisiert wirksam den Strand und den Fußbereich des oberhalb anschließenden Dünendeckwerkes. Bisher war nur eine Strandauffüllung im Jahr 1952 zum Ausgleich eines Sedimentdefizits notwendig.

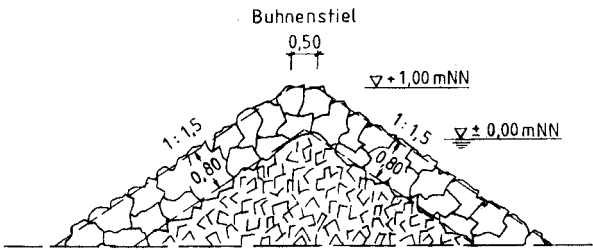


Beispiel 19: Buhnensystem an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins

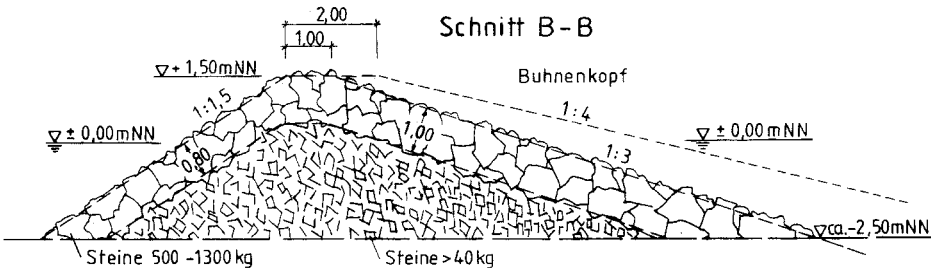
Buhnentyp:	Geböschte T-förmige Natursteinbuhnen
Lage:	Buhnensystem vor dem Landesschutzdeich Probstei, westlicher Außenbereich der Kieler Förde
Beanspruchung:	Seegang, Brandungsströmung, Eis
Baugrund:	Oberflächlich (0–3 m) marine Sande in stark wechselnder Körnung ($d_m = 0,08\text{--}0,67\text{ mm}$), darunter oberflächlich entkalkte, teilweise aufgeweichte Grundmoräne (Geschiebemergel mit örtlichen Einlagerungen von Schmelzwassersand und Beckenschluff); in einzelnen bis zu 23 m tiefen Rinnen holozäne Mudden mit gelegentlicher Torfüberdeckung.
Baujahr:	1982/88.
Bauweise:	Das System von 48 Buhnen, zeitlich parallel zur Verstärkung des jeweiligen Landesschutzdeichabschnittes (vgl. Empf. G, Abschn. 6, Beispiel Nr. 17) errichtet, schließt in östlicher Richtung an ein bestehendes Parallelwerk an. Die Buhnen sind 100 m, die Querwerke 40 m lang, wobei die Buhnenwurzeln an das Fußdeckwerk des Deiches anschließen. Der Abstand der Buhnen untereinander beträgt einheitlich 200 m. Die Steine wurden ohne Unterlage direkt auf dem Meeresboden aufgebracht. Für den Buhnenkern wurde überwiegend vorhandenes Steinmaterial aus dem Fußdeckwerk des Altdeiches verwendet. Die Deckschicht besteht aus Steinen mit Einzelgewichten zwischen 0,8 und 1,3 t und ist dadurch im oberen Bereich der Schüttung teildurchlässig.
Beurteilung:	a) <i>k o n s t r u k t i v</i>: Im Hinblick auf den wechselhaften Baugrund wurde von vornherein ein zweistufiger Ausbau der Buhnen vorgesehen und auf eine Unterlage verzichtet. Infolge von Seegangswirkungen und Baugrund bedingten Setzungen haben sich die Querwerke verformt; insbesondere an den Enden der Buhnenköpfe sind Fehlhöhen aufgetreten. In den Jahren 1996, 1998 und 2000 sind bisher mit insgesamt ca. 30.000 t Steinen bei 22 Buhnenköpfen die Krone auf 2 m verbreitert und die seeseitige Böschung auf 1 : 4 abgeflacht worden. b) <i>f u n k t i o n e l l</i>: Der bei der Deichverstärkung durch die Überbauung des trockenen Strandes erheblich gestörte Sandhaushalt vor dem neuen Deich ist durch Vorspülungen von insgesamt 546 000 m³ Sand in 1987 und 1990 ergänzt worden. Die durch den Buhnenbau angestrebte Stabilisierung des Strandes und Vorstrandes mit einer Neigung von flacher als 1 : 60 sowie die ufernahe relative Lagestabilität der Sedimente im Küstenabschnitt sind im Wesentlichen erreicht worden.



Schnitt A-A

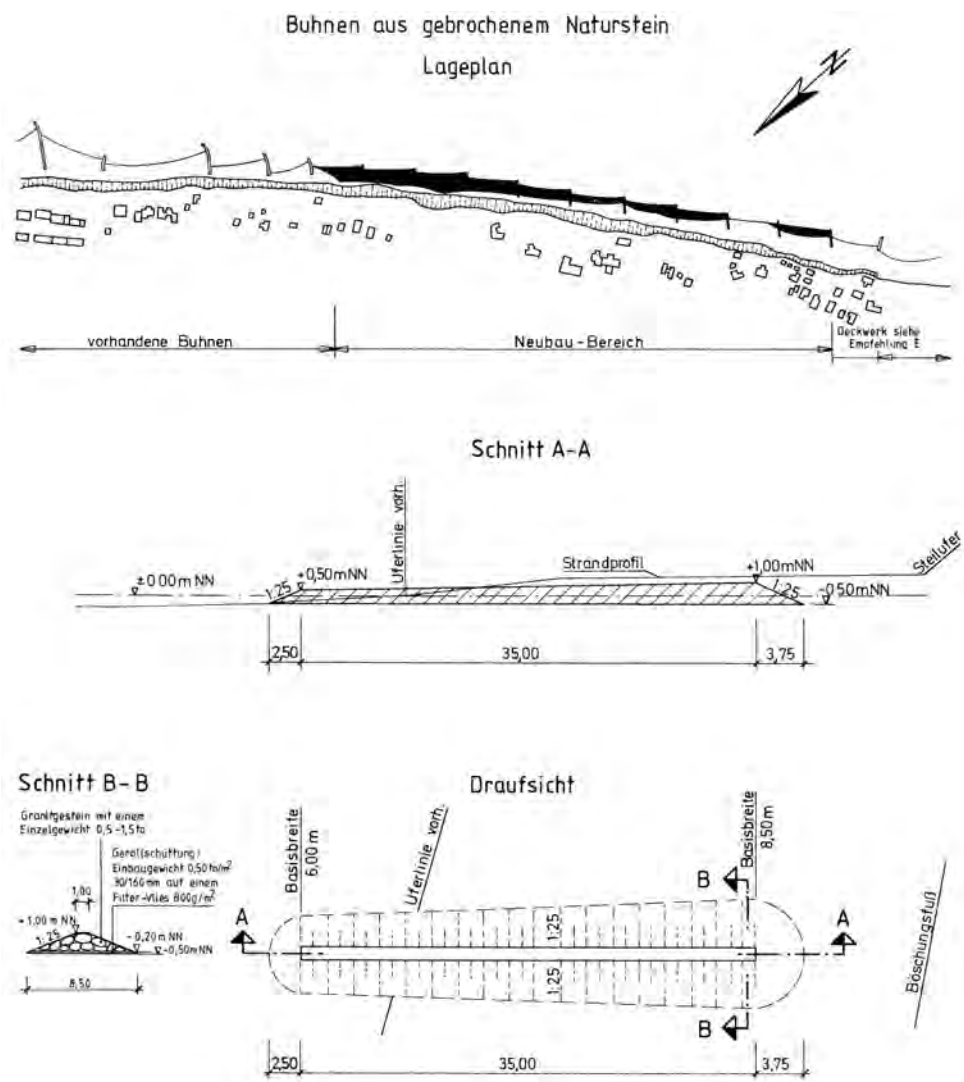


Schnitt B-B



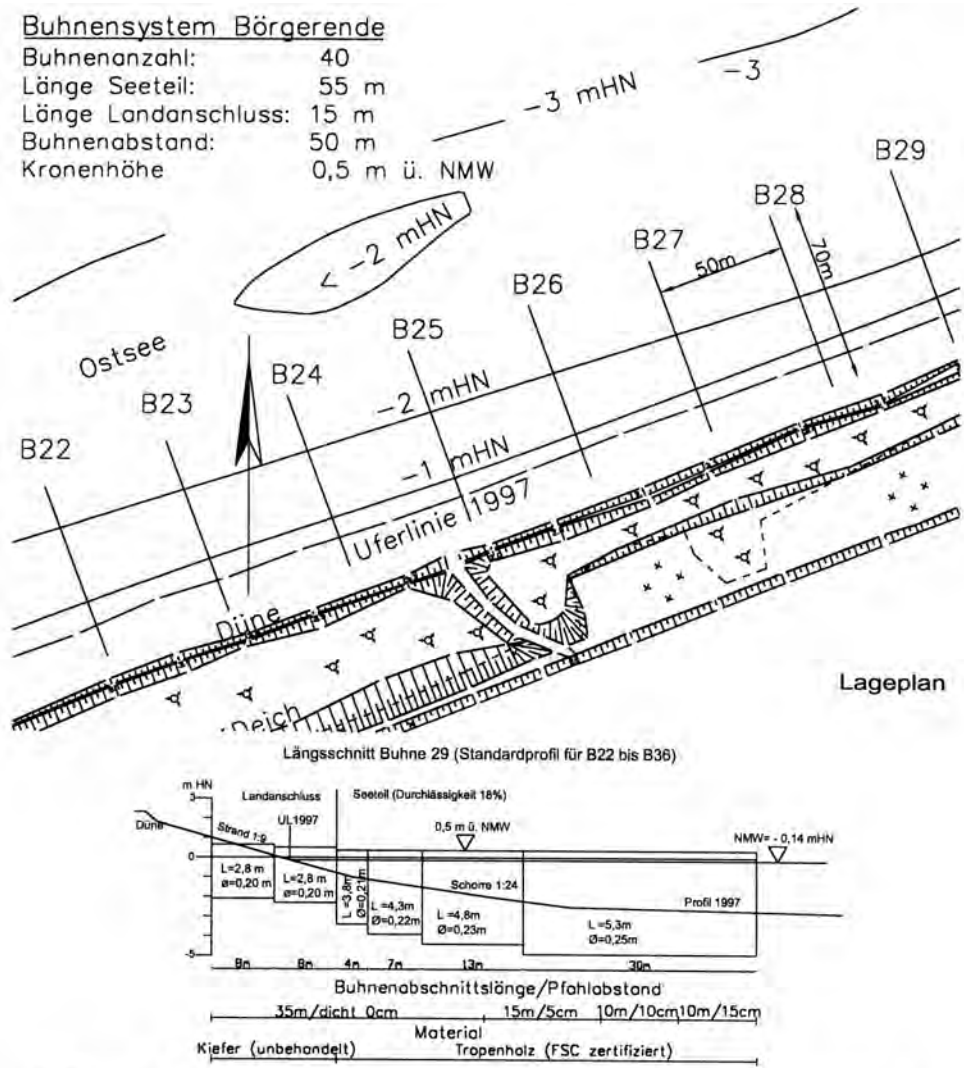
Beispiel 20: Buhnensystem vor dem Sierksdorfer Steilufer an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins

Buhnentyp:	Geböschte Buhnen aus gebrochenem Naturstein
Lage:	Küstenabschnitt vor dem Sierksdorfer Steilufer an der Lübecker Bucht. Im weiteren Verlauf schließt sich nach Südwesten hin das in der EAK 1993, Empfehlungen E, als Beispiel 6 beschriebene Deckwerk aus Betonsteinpflaster und Setzpacklage mit rauher Oberfläche an.
Beanspruchung:	Seegang, Brandungsströmung, Eis
Baugrund:	Geschiebemergel, oberflächlich geringe Überdeckung mit marinen Sanden
Baujahr:	1996
Bauweise:	S y s t e m : Im Lee-Bereich eines durch Buhnen vor Erosion geschützten Küstenabschnittes wurde ein Buhnenfeld mit 10 Schüttstein-Buhnen errichtet. In die einzelnen Buhnenfelder wurden insgesamt rd. 45.000 m³ Sand eingespült. B u h n e : Granitsteine mit einem Einzelgewicht von 0,5 bis 1,5 t auf 0,5 t/m² Geröllschüttung 30/160 mm und Filtervlies 800 g/m². Neigung der Böschungen 1:2,5 ; Kronenbreite 1,00 m; Höhe NN + 0,5 bis 1,0 m.
Beurteilung:	Die Buhnen und die Sandaufspülung haben die Beanspruchungen aus den bisher eingetretenen Hochwassern ohne Beeinträchtigung überstanden. Extreme Sturmfluten sind seit Fertigstellung nicht aufgetreten. Das Buhnensystem hat sich in Verbindung mit der eingebrachten Sandvorspülung als Sicherungsmaßnahme für Strand und Vorstrand vor einem bebauten Steiluferbereich bewährt. Inwieweit der Sandvorrat in den Buhnenfeldern langfristig wieder ergänzt werden muss, lässt sich zur Zeit noch nicht abschließend beurteilen.



Beispiel 21 Buhnensystem Börgerende / Mecklenburg-Vorpommern

Buhnentyp:	Einreihige, dichte Holzpfahlbuhne
Lage:	Börgerende, ca. 12 km westlich von Warnemünde
Beanspruchung:	Schwer; Seegang, Brandung, Strömung, Sandschliff, Eisgang
Baugrund:	Im liegenden Geschiebemergel (steifplastisch bis fest), von Sand und Geröll bedeckt (landseitig ca. 0,5–2 m; seeseitig ca. 0–1 m)
Bauzeitraum:	1998: B1–B9; 1999: B10–B30; 2000: B31–B40
Bauweise:	Das System besteht aus 40 Buhnen. Die steilen Strand- und Schorreverhältnisse (1:50 zwischen Uferlinie und 4-m-Tiefenlinie) bedingen eine geringe Buhnenlänge, enge Buhnenabstände und geringe Durchlässigkeit (18 %). Am westlichen und östlichen Rand des Buhnensystems wird die Durchlässigkeit in jeweils 4 Schritten auf 40 % erhöht (Auflösung des Systems), um die Lee-Wirkung auf die benachbarten Küstenabschnitte weitgehend zu verringern. Die Landanschlüsse bestehen aus unbehandelten Kiefernholzpählen, die Seeteile aus Tropenholz (Acariquara) mit FSC-Zertifikat (B1–B30) bzw. aus imprägnierten Kiefernspfählen (B31–B40); Kesseldruckimprägnierung mit einem Chrom-Kupfer-Holzschutzmittel und einer Mindesteinbringmenge von 18 kg pro m³ Holzvolumen. Der Einsatz imprägnierten Holzes war aufgrund von Schwierigkeiten beim Rammen der nicht vollstämmigen Acariquarapfähle in den von West nach Ost zunehmend härter werdenden Rammgrund erforderlich. Erste Ergebnisse von Untersuchungen zur Wirksamkeit und zur Umweltverträglichkeit von Chrom-Kupfer-Salzen als Imprägnierwirkstoff für Buhnenpfähle an der Ostseeküste ließen diese Entscheidung zu. Beide Pfahltypen gelten bisher als resistent gegen „<i>Terredo navalis</i>“. Der Geschiebemergel erwies sich als sehr schwer rammbaar, so dass nur Einbindelängen von ca. 2 m erreicht wurden. Vorgesehen waren ursprünglich $\frac{3}{5}$ der Pfahllänge (2–3,5 m). Stellenweise konnte die Rammtiefe nur erreicht werden, nachdem die Rammtrasse vorgeschlitzt worden war, ca. 10 cm breit und 0,5 m tief.
Beurteilung:	a) konstruktiv: Seit Fertigstellung allgemein gleichbleibend guter Zustand bei normal starker Seegangs- und Brandungsbelastung, allerdings kein Eisgang. Die während der langen Bauzeit z. T. stark erodierten Strandabschnitte (zwischen B31 und B40) haben sich stabilisiert und sind wieder ausgeglichen. Die Landanschlüsse wurden in diesen Abschnitten landwärts um bis zu 10 m verlängert. Schädlingsbefall der Tropenholz- und imprägnierten Kiefernpfähle wurde bisher nicht festgestellt. Die Resistenz wird in Langzeitbeobachtung kontrolliert. b) funktionell: Das Buhnensystem hat schon innerhalb des ersten Funktionsjahres zu beachtlicher Aufsandung des ufernahen Strandes und der Schorre geführt. Die Uferlinie ist um ca. 8 m seewärts verlagert worden. Die Akkumulationswirkung setzt entsprechende Sedimentverfügbarkeit in der küstennahen Strömung voraus. Die Lee-Wirkung des Buhnensystems ist deutlich sichtbar, aber nicht stärker als erwartet.

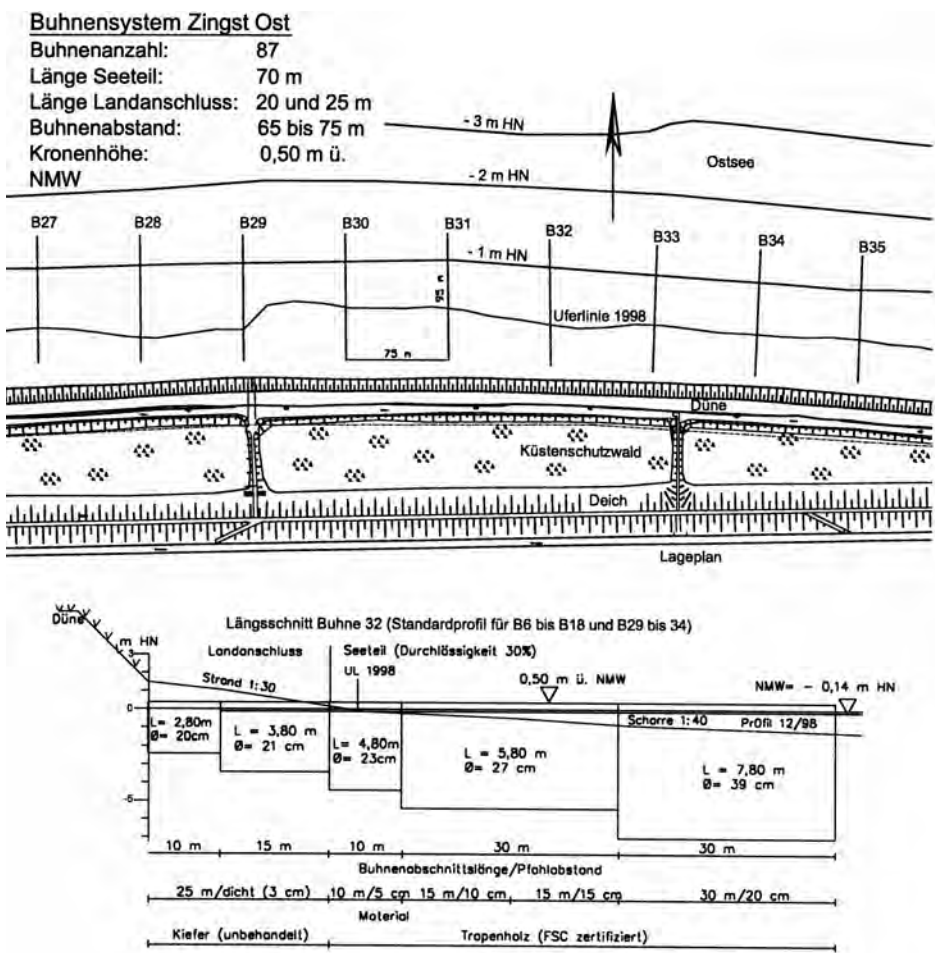


Auflösung des Buhnsystems in beiden Randbereichen (B1-B4 und B37-B40)

	Buhnenabschnittslänge/Pfahlabstand			
Buhnen B4 und B37	30m/dicht 0cm	20m/5cm	10m/10cm	10m/15cm
Durchlässigkeit im Seeteil 23 %				
Buhnen B3 und B38	22m/dicht 0cm	15m/5cm	15m/10cm	10m/15cm
Durchlässigkeit im Seeteil 29 %				
Buhnen B2 und B39	20m/dicht 0cm	10m/5cm	15m/10cm	10m/15cm
Durchlässigkeit im Seeteil 34 %				
Buhnen B1 und B40	20m/dicht 0cm	20m/10cm	30m/20cm	
Durchlässigkeit im Seeteil 40 %				

Beispiel 22: Buhnensystem Zingst Ost / Mecklenburg-Vorpommern

Buhnentyp:	Einreihige, offene Holzpfehlbuhne
Lage:	Ortslage Zingst (östl. Seebrücke) bis westl. Grenze Nationalparkkernzone
Beanspruchung:	Mittelschwer; Seegang, Brandung, Strömung, Sandschliff, Eisgang
Baugrund:	Oberflächlich anstehende Fein- und Mittelsande, schichtenweise Grobsande. Im Liegenden überwiegend Feinsande mit organogenen Horizonten von geringer Mächtigkeit.
Baujahr:	1994/95: 12 Buhnen, 1998: 19 Buhnen, 2000: 12 Buhnen, 2001: 30 Buhnen, (für 2002 sind 14 Buhnen in Planung)
Bauweise:	Das gesamte Buhnensystem Zingst Ost besteht nach der Fertigstellung im Jahr 2002 aus 87 Holzpfehlbuhnen. Die in den Jahren 1964/65/66 gebauten Buhnen erbrachten aufgrund ihrer Konstruktionsart (hohe Durchlässigkeit, niedrige Höhe) nicht die erforderliche positive Wirkung auf den Sedimenthaushalt. Die Zerstörung großer Buhnenbereiche durch den seit 1993 andauernden Befall des Holzes durch die Bohrmuschel „ <i>Teredo navalis</i> “ machte den kompletten Neubau des Buhnensystems erforderlich. Die flachen Strand- und Schorreineigungen (1:75 zwischen Uferlinie und 4-m-Tiefenlinie) sind charakteristisch für die Sedimentdynamik des Abschnittes mit traditionellem Sturmflutschutzsystem, das durch regelmäßige Aufspülungen erhalten wird. Sie erfordern eine große Buhnenlänge, große Buhnenabstände und gestatten mittlere Durchlässigkeiten im zentralen Bereich des Buhnensystems. Unmittelbar westlich der Seebrücke Zingst schließt die Buhne B1 an das alte Buhnensystem Prerow-Zingst/B59 an; daher ist hier keine Auflösung erforderlich. Im östlichen Bereich des Buhnensystems wurde die Durchlässigkeit von 30 auf 24 % verringert und dann in 5 Schritten auf 44 % erhöht, um die Lee-Wirkung auf die benachbarten unverbauten Küstenabschnitte zu verringern. Die Landanschlüsse bestehen aus Kiefernholzpfehlen, die Seeteile aus bisher gegen „ <i>Teredo navalis</i> “ resistentem Tropenholz verschiedener Arten mit FSC-Zertifikat. Lediglich die 12 Buhnen aus den Jahren 1994/95 wurden noch durchgängig aus unbehandeltem Kiefernholz gerammt.
Beurteilung:	a) konstruktiv: Seit Fertigstellung allgemein gleichbleibend sehr guter Zustand bei normaler Seegangs- und Brandungsbelastung; allerdings gibt es bisher keine Erfahrungen zur Belastbarkeit der spröden und hohlraumreichen Tropenhölzer bei Eisgang und Frost. b) funktionell: Das Buhnensystem konnte innerhalb der ersten Funktionssperre die Uferlinie stabilisieren und dabei längere Spülintervalle ermöglichen.

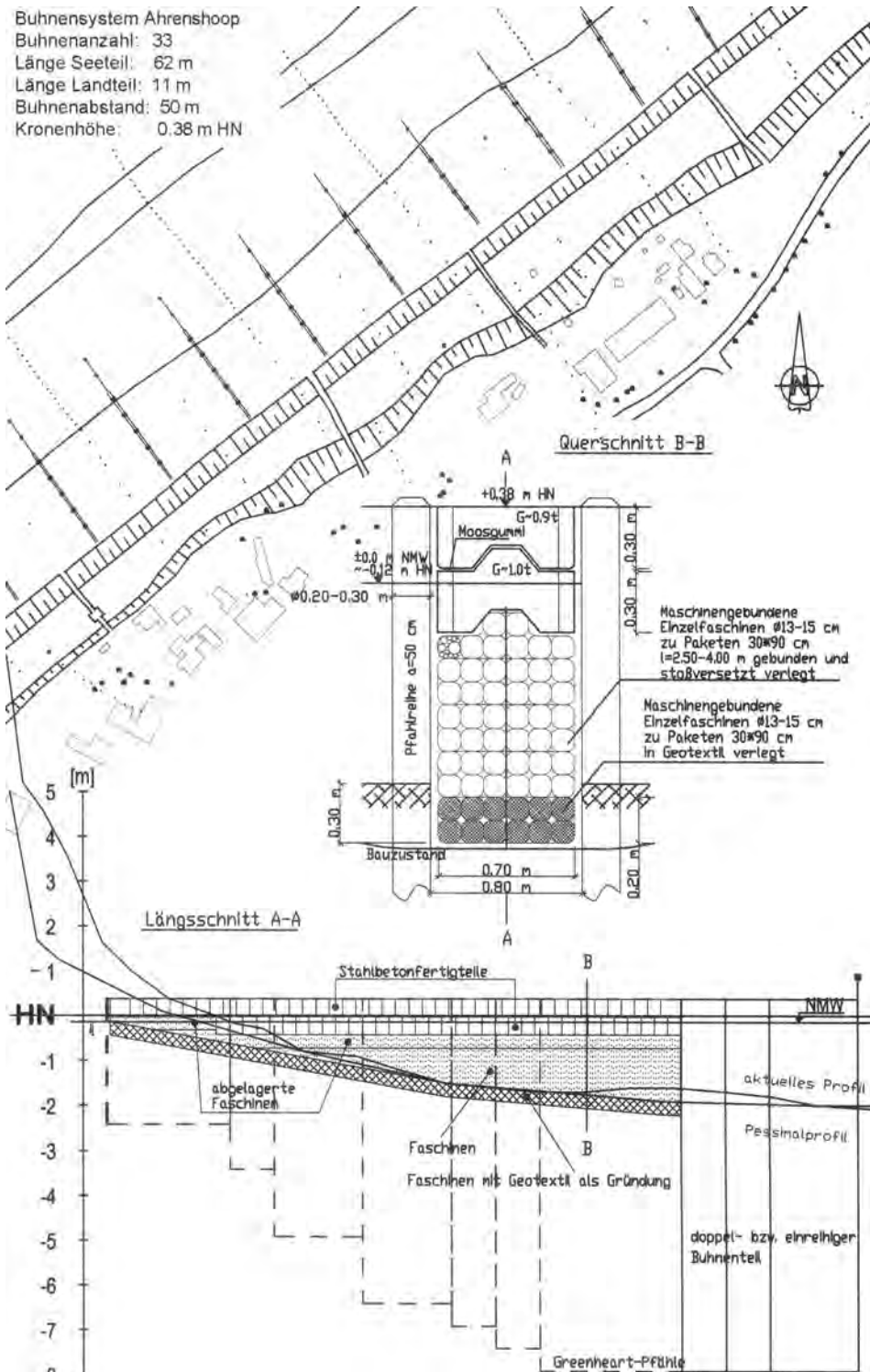


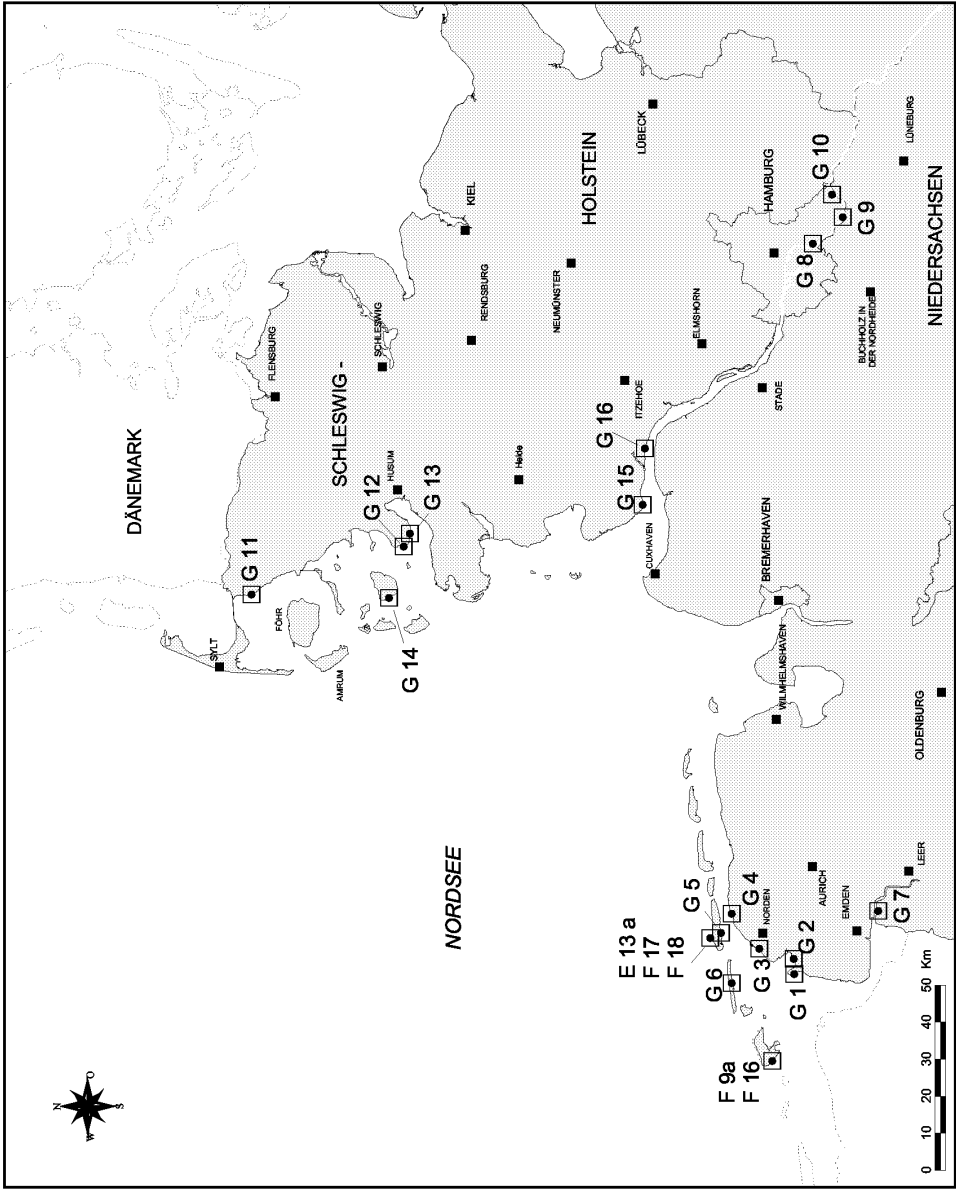
Auflösung des Buhnensystems im Osten (Seeteil, B62 bis B66)
Durchlässigkeit der Seeteile ab Buhne 33 bis B61= 24%

	Buhnenabschnittslänge/Pfahlabstand		
Buhne B61	25 m/5 cm	20 m/10 cm	25 m/15 cm
Durchlässigkeit 24%			
Buhne B62	50 m/10 cm		20 m/15 cm
Durchlässigkeit 28%			
Buhne B63	30 m/10 cm	20 m/15 cm	20 m/20 cm
Durchlässigkeit 32%			
Buhne B64	50 m/15 cm		20 m/20 cm
Durchlässigkeit 36%			
Buhne B65	30 m/15 cm	20 m/20 cm	20 m/25 cm
Durchlässigkeit 40%			
Buhne B66	30 m/20 cm	40 m/25 cm	
Durchlässigkeit 44%			

Beispiel 23: Bühnensystem Ahrenshoop / Mecklenburg-Vorpommern

Bühnentyp:	Kastenbühne
Material:	Greenheart-Tropenholz, Stahlbetonformsteine, Weidenfaschinenstrangfüllung
Lage:	Vor der Ortslage Ahrenshoop
Beanspruchung:	Seegang, Quer- und Längsströmungen
Baugrund:	Pleistozäne Geschiebemergel, holozäne Sande
Bauzeitraum:	1994–1997
Bauweise:	Zwei senkrecht zur Uferlinie gerammte Pfahlreihen Greenheart-Tropenholz mit lichtem Abstand von 0,90 m (Pfahlabstand innerhalb der Reihe: 0,50 m), lagenweise mit Weidenfaschinenpackungen entlang der Bühnenachse ausgefüllt; zweilagige, im Landbereich einlagige Betonfertigteileabdeckung zur Beschwerung über den Faschinen; zur Sohlsicherung Verpackung der unteren Faschinen in Geotextil; seeseitige Bühnenenden erst doppel- und dann einreihig von dichtem bis 10 cm offenem Pfahlabstand in Richtung See mit größer werdender Durchlässigkeit.
Beurteilung:	a) k o n s t r u k t i v: Schwächstes Element der Kastenbühne ist die Weidenfaschinenpackung. Sie wird durch dynamische Krafteinwirkung (Wellenbewegung + Auflast) zerrieben bzw. durch die Bohrmuschel (<i>Teredo navalis</i>) in der Lebensdauer herabgemindert. Ein Nachpacken bzw. Austausch der Faschinenstränge im Abstand von vier bis acht Jahren ist erforderlich. Die anderen Elemente weisen eine hohe Stabilität und Lebensdauer auf. b) f u n k t i o n e l l: Die Bühne vermindert die küstenparallelen Strömungen und verringert somit den Austrag von Sedimenten aus dem Bühnenfeld. Hauptsächlich wirkendes Element ist die Faschinenpacklage. Die sehr feinen und gleichmäßig über die gesamte Bühnenwand verteilten Öffnungen erlauben ein gedämpftes Durchströmen und vermindern bzw. verhindern lokalen Wasseraufstau im Bühnenfeld. Strömungswalzen bzw. Küstenquerströmungen entlang der Bühne treten kaum auf, und somit bleiben lokale Erosionen bzw. Kolke weitestgehend aus. Durch die Breite der Bühnen wird außerdem ein aus Küstenschutzsicht positiver Einfluss auf die Energiedissipation der Wellen ausgeübt.





Übersichtskarten zu den
Beispielen:
a) ausgeführte Deichbauten
der Empfehlung G 2002
b) ausgeführte Deckwerke
und andere Längswerke
sowie Bühnen des
Anhangs 2002 zu den
Empfehlungen E und F
1993

