

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Article, Published Version

**Scherenberg, Rudolf; Saggau, Walter**

## **Der Bau der Vordeichung vor der Hattstedter Marsch im Rahmen der Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht**

Die Küste

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI)**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101282>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Scherenberg, Rudolf; Saggau, Walter (1988): Der Bau der Vordeichung vor der Hattstedter Marsch im Rahmen der Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht. In: Die Küste 47. Heide, Holstein: Boyens. S. 205-243.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Der Bau der Vordeichung vor der Hattstedter Marsch im Rahmen der Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht

Von RUDOLF SCHERENBERG und WALTER SAGGAU

## Zusammenfassung

Der erste Teil der Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht – der Vordeich vor der Hattstedter Marsch – ist nach sorgfältiger Planung und unter Heranziehung der umfangreichen holländischen Erfahrungen 1987 geschlossen worden. Damit ist der vordringlich notwendige Sturmflutschutz der betroffenen Bevölkerung erreicht.

Die außerdem zum Gesamtprojekt gehörenden Maßnahmen sollen bis etwa 1995 abgeschlossen werden. 1988 folgt die Verstärkung des 7 km langen Deiches vor dem Sönke-Nissen-Koog, 1989 ist die 3 km lange Vordeichung vor Ockholm geplant, und voraussichtlich 1990 soll mit dem 15 km langen Sicherungsdamm nach Pellworm begonnen werden.

## Summary

*The first phase of the coastal protection measures for Nordstrander Bay – the foreland dyke before the Hattstedt Marsh – was completed in 1987 following intensive planning as well as use of extensive Dutch experience. In this manner, the most pressing storm protection has been achieved.*

*Other steps planned in the project are to be completed by 1995. The 7 km long dyke before Sönke-Nissen-Koog is to be reinforced in 1988. A 3 km long foreland dyke at Ockholm is planned for 1989. Construction of the 15 km protection causeway to Pellworm will probably be started in 1990.*

## Inhaltsverzeichnis

1. Entwicklung der Landschaft . . . . .	206
2. Planung und Entscheidung . . . . .	209
3. Ausgleichsmaßnahmen . . . . .	213
4. Der Bau des Vordeiches von 1983 bis 1987 . . . . .	215
4.1 Sandentnahmen . . . . .	215
4.2 Kleientnahmen . . . . .	215
4.3 Der Sandkern des Deiches . . . . .	216
4.4 Der zeitliche Bauablauf . . . . .	217
5. Besondere Baukonstruktionen . . . . .	218
5.1 Vorkopfsicherungen . . . . .	218
5.2 Deckwerk . . . . .	218
5.3 Wellenüberschlagssicherung und Deichverteidigungsweg . . . . .	220
5.4 Kleiabdeckung . . . . .	221
6. Wiederverwendung von Ausbauasphalt . . . . .	222
6.1 Ausbauasphalt am Holmer Siel . . . . .	222
6.2 Wiederverwendung beim Deichbau . . . . .	222
6.3 Güteanforderungen . . . . .	222
7. Sielbauwerke . . . . .	224
7.1 Holmer Siel . . . . .	224
7.2 Lüttmoor Siel . . . . .	231
7.3 Siel „Sönke-Nissen-Koog-Schleuse“ . . . . .	231

8. Deichschluß in der Holmer Fährre . . . . .	232
8.1 Allgemeines . . . . .	232
8.2 Verschiedene Deichschlußverfahren . . . . .	232
8.3 Planungsvorgaben . . . . .	234
8.3.1 Entwässerung der Arlau- und Jelstromeinzugsgebiete . . . . .	234
8.3.2 Hydraulische Rahmenbedingungen . . . . .	234
8.3.3 Bodenverhältnisse . . . . .	235
8.4 Bodenschutz . . . . .	235
8.4.1 Größe und Bestandteile des Bodenschutzes . . . . .	235
8.4.2 Ausführung des Bodenschutzes . . . . .	237
8.4.3 Kontrollmessung der verlegten Matten und der Steinschüttungen . . . . .	237
8.5 Antransport und Lagerung des Steinmaterials . . . . .	238
8.6 Bau des Steindammes . . . . .	239
8.7 Kontrollmessungen während der Deichschlußphase . . . . .	241
9. Schriftenverzeichnis . . . . .	243

## Die Vordeichung vor der Hattstedter Marsch

### 1. Entwicklung der Landschaft

Die Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht müssen im Zusammenhang mit der Landschaftsentwicklung im nordfriesischen Wattenmeer gesehen werden, die durch die gestaltenden und zerstörenden Kräfte der Nordsee geprägt ist.

Die heute vorhandene Landschaft im Planungsgebiet ist das Ergebnis der nacheiszeitlichen geologischen Entwicklung. Dabei war und ist entscheidend, daß die Wattgebiete zu denjenigen Küstenregionen gehören, die sich außerordentlich schnell verändern. Sedimentation, Erosion und Umlagerung sind die Kriterien der Landschaftsentwicklung.

Um 3000 v. Chr. lag der weit westlich liegende Wattsockelrand noch im Schutze einer Insel im Gebiet der heutigen Amrumbank; heute befindet er sich bei den Außensänden. Dieser fortwährende Rückgang des Wattsockelrandes und die Verluste an besiedeltem Land vor der heutigen Küstenlinie kennzeichnen die Entwicklung. Das durch Wattströme und Priele zergliederte Wattgebiet ist durch großräumige Meereseinbrüche und tiefe Erosion von Rinnen entstanden.

Bei Beginn der Besiedelung und des Deichbaues etwa um das Jahr 1000 n. Chr. bestanden die Landflächen aus der alten Marsch, die gegen die Nordsee teils durch einen Streifen hoher mariner Marsch, teils durch Strandwälle und Dünen geschützt waren. Die alte Marsch, die sich bis zum Geestrand erstreckte, war teilweise von Sümpfen und Hochmooren überlagert.

Seit der Jahrtausendwende sind Menschen durch Bedeichung und Besiedelung schrittweise in dieses Gebiet vorgedrungen und haben systematisch die Flächen des Planungsgebietes für ihre Zwecke erschlossen. Entwässerung, Verfehnung, Abbau der Torfschichten zur Brenntorf- und Salzgewinnung senkten die Landoberfläche. Die mittelalterliche Siedlungsfläche lag dadurch zum Teil tiefer als das mittlere Tidehochwasser (MThw), was sich bei den späteren Sturmfluten als folgenschwer erweisen sollte. Nach einer Serie von Sturmfluten traf die als erste „Manndränke“ bezeichnete Katastrophenflut von 1362 auf die für eine solche Belastung zu schwachen und zu niedrigen Deiche.

Vor der zweiten „Manndränke“, der Katastrophenflut von 1634, schwächte eine weitere Serie von Sturmfluten die Küstenschutzwerke. Die Sturmflut von 1634 – als die schwerste dieser Serie – zerstörte die Deiche an vielen Stellen. Nahezu der gesamte mittelalterliche Siedlungsraum der nordfriesischen Marschen ging verloren.

Das Planungsgebiet ist durch die beiden Wattströme Süderau und Norderhever geprägt.

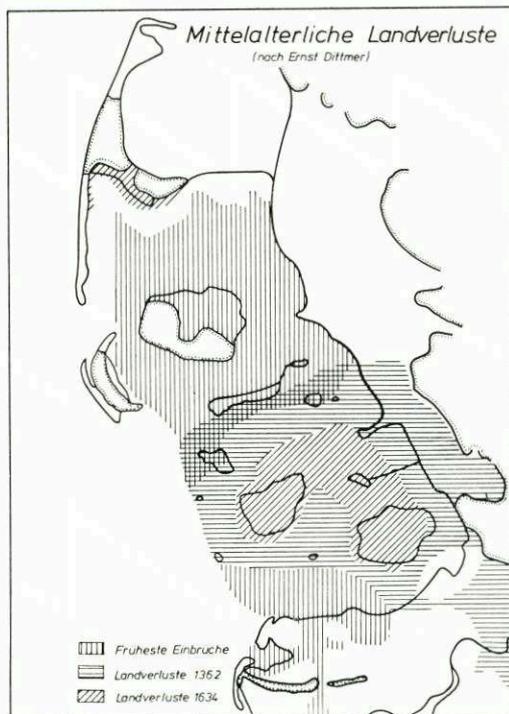


Abb. 1

Etwa in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts reichte das Einzugsgebiet der Süderau, nach den Karten jener Zeit zu urteilen, bereits bis in die Gegend des jetzigen Nordstrander Dammes. Es war im Norden durch die Halliggruppe Nordmarsch-Langeneß-Oland, im Osten durch die zerrissene Festlandküste von Ockholm bis Bredstedt, im Süden durch die übriggebliebenen nördlichen Vorländereien der Insel Alt-Nordstrand begrenzt.

Die Norderhever als Seitenarm des alten Heverstroms war bis 1634 unter der Bezeichnung Fallstief ein unbedeutender Wattstrom, dessen Einzugsgebiet nur die südlich in Alt-Nordstrand einschneidende Rungholt-Bucht umfaßte. Wie unbedeutend dieser Strom damals gewesen ist, geht aus der Absicht der Bewohner jener Zeit hervor, das Fallstief zwischen Pellworm und der Hallig Südfall zu durchdämmen – ein Plan, dessen Ausführung offenbar durchaus im Bereich des Möglichen gelegen hat und das Schicksal Alt-Nordstrand hätte wenden können.

Nach 1634 lag der zerstörte Teil Alt-Nordstrands zum größten Teil im Einzugsgebiet des Fallstiefs, das sich in der Folge als Norderhever bis in die Nähe der Hamburger Hallig ausgeweitet hat. So hat sich die Norderhever im Planungsraum allmählich zum beherrschenden Wattstrom entwickelt, der den Einfluß der Süderau erheblich zurückgedrängt hat. Aus der Wechselwirkung zwischen der Süderau und der Norderhever ist das Rummelloch zurückgeblieben.

Die allmähliche Ausweitung der Norderhever und der damit wachsende Energieeintrag hatten die Zerstörung der dem Festland vorgelagerten großen Inseln und Halligen zur Folge und bewirkten, daß sich die Landzerstörung und Gezeitenkräfte wechselseitig verstärkten. Der fortschreitenden Aushöhlung des Wattenmeeres stand – als Folge der Zerstörung – eine starke Auflandung am Ufer des Festlands und der Inselreste gegenüber.



Der Untergang eines großen Teils der mittelalterlichen Marschen Nordfrieslands hat eine Neugestaltung der Landschaft eingeleitet, die bis heute nicht abgeschlossen ist. Die Fluträume der Wattströme vergrößern sich nach wie vor. Die Wattströme tendieren außerdem zu einer landnahen Verbindung untereinander.

Der Einzugsbereich der Norderhever reicht heute im Norden bis etwa zur Linie Habel-Pellworm. Die Ausweitung des Einzugsgebietes ist noch nicht abgeschlossen. Seit der zweiten „Mandränke“ von 1634 bis heute hat sich die Norderhever zwischen Südfall und Pellworm von zwei Meter auf bis zu 25 Meter vertieft und von einigen 100 Metern auf mehrere Kilometer verbreitert. Das „Strandley“ nordwestlich der Hamburger Hallig hat sich seit 1909 von zwei auf 12 Meter vertieft. Die von 1937 bis 1939 von der Forschungsabteilung des Marschenbauamtes Husum angestellten Strömungsmessungen ergaben, daß in einer Tide bei Flut die Norderhever (Meßstelle: Linie Pellworm-Südfall) und Süderau (Meßstelle: Linie Hooge-Langeneß) jeweils während des Flutstromes etwa 400 bzw. 210 Mio. m<sup>3</sup> Wasser je Tide stromauf führen. Bei ablaufendem Wasser fließen durch die Norderhever etwa 340 und durch die Süderau etwa 260 Mio. m<sup>3</sup> je Tide ab. Es werden demnach bei Flut von der Norderhever rd. 50 Mio. m<sup>3</sup> Wasser landwärts geführt, die bei Ebbe nicht auf dem gleichen Wege, sondern durch die Süderau und zum Teil durch das Rummelloch und die Watten zurückfließen.

Durch das sich ständig vertiefende Strandley zwischen der Norderhever und Süderau ist die letzte schmale Verbindung zwischen dem Pellwormer Wattsockel (mit der Insel Pellworm und den Halligen Hooge, Süderoog und Norderoog) und dem Festlandwatt im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte unterbrochen worden. Messungen und Sedimentuntersuchungen zeigen, daß das gesamte Wattgebiet im Planungsraum während der letzten drei Jahrzehnte trotz der Anlandungen vor den Festlandsdeichen erheblich an Substanz verloren hat. Der Verlust ist zur Hauptsache durch die Verbreiterung und Vertiefung der Norderhever und zum Teil auch der Süderau entstanden.

Nach gutachterlicher Aussage des Franzius-Instituts werden ohne Gegenmaßnahmen noch rd. 100 Mio. m<sup>3</sup> Boden allein im Einzugsgebiet der Norderhever ausgeräumt, bis zwischen Prielquerschnitt und zugehörigem Flutraum ein Gleichgewichtszustand herrscht. Aufgabe der in der Nordstrander Bucht geplanten Maßnahmen des flächenhaften Küstenschutzes ist es, dieser künftigen Erosion entgegenzuwirken, um die Wattflächen als Fundament für die Inseln und Halligen und als Schutzzone für die Festlandmarschen zu erhalten.

## 2. Planung und Entscheidung

Um naturwissenschaftlich abgesicherte Grundlagen für die Planungsentscheidung zu gewinnen, sind in einem umfassenden Forschungsprogramm Gutachten zur Hydrologie, Morphologie, Geologie und Bodenkunde sowie ökologische Gutachten zu den Vegetationsverhältnissen des Vorlandes, zur vogelkundlichen Bedeutung, zur Bodenfauna und zur Fischereibiologie der Nordstrander Bucht sowie ein Gutachten zu den verkehrs- und regionalwirtschaftlichen Auswirkungen erstellt worden.

Die Modellversuche, das hydrologisch-morphologische Gutachten, die Prognosen aus Luftbildvergleichen und geologische Gutachten (Tab. 1) kommen zu dem grundlegenden Ergebnis, daß zur Stabilisierung des Planungsgebietes eine Vordeichung und ein Sicherungsdamm nach Pellworm erforderlich sind. Nur durch die Kombination beider Maßnahmen sehen es die Gutachter als möglich an, einerseits die Zerstörung der Wattsockel zu verhindern und andererseits die Verbreiterung und Vertiefung der Priele, insbesondere der Norderhever,

Tabelle 1

Zu Fragen des Küstenschutzes		
1. Partensky, H. W., Schwarze, H.; Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover: Wissenschaftliches Gutachten zu den hydrologischen und morphologischen Auswirkungen der geplanten Bau- maßnahmen in der Nordstrander Bucht, 1980	6. Higelke, B.; Institut für Geographie der Universität Regensburg: Bestandsaufnahme des Wattreliefs, Morphodynamik und Tendenzen morphologischer Veränderungen im Tidebecken der Nordherver und westlich der Insel Pellworm – Luftbildinterpretation, 1980	10. Reise, K.; II. Zoologisches Institut der Universität Göttingen: Gutachten zur Bodenfauna im Gebiet der Nordstrander Bucht, 1980
2. Partensky, H. W., Dieckmann, R.; Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover: Stabilitätsuntersuchungen für das südliche Nordfriesische Wattenmeer, 1980	7. Ramming: Einfluß der geplanten Bau- maßnahmen im südlichen Nordfriesischen Wattenmeer – Sicherungsdamm und Eindeichung der Nordstrander Bucht – auf die Wasserstände und Geschwindigkeit, 1982	11. Lillelund, K., Berghahn, R.; Institut für Hydrobiologie und Fischereiwissenschaft der Universität Hamburg: Gutachten zur Fischereibiologie der Nordstrander Bucht, 1980
3. Hensen, W., Schwarze, H.; Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover: Modellversuche für die Nordstrander Bucht von 1967	Zu Fragen der Ökologie	Zu Fragen der Verkehrs- und Fischereiwirtschaft:
4. Köster, R.; Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität Kiel: Geologisches Gutachten zu den geplanten Küstenschutzmaßnahmen im südlichen Nordfriesischen Wattenmeer, 1980	8. Knauer, N.; Institut für Wasserwirtschaft und Landschaftsökologie der Universität Kiel: Gutachten über die Vegetationsverhältnisse des Vorlandes in der Nordstrander Bucht und Entwicklungsmöglichkeiten, 1980	12. Dr. Bernd und Rieke: Verkehrswirtschaftliche Auswirkungen des Dammbaus zwischen Pellworm und Hamburger Hallig, 1981
5. Finnnern, H., Lippert, G.; Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein: Bodenkundliches Gutachten zur Vordeichung der Nordstrander Bucht, 1980	9. Schultz, W.; Institut für Haustierkunde der Universität Kiel, Staatliche Vogelschutzstation Schleswig-Holstein: Forschungsvorhaben „Vogelkundliche Bedeutung der Nordstrander Bucht“, 1980	Weitere Gutachten: – Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover: Untersuchungen über die Entwicklung der nordfriesischen Watt- und Vorlandflächen, 1981 – Prof. Dr.-Ing. A. Führböter; Technische Universität Braunschweig: Über den Sicherheitszuwachs im Küstenschutz durch die geplanten Vordeichungen in der Nordstrander Bucht, 1981

zum Stillstand zu bringen. Aus hydrologisch-morphologischen Gründen wird als Minimallösung eine Vordeichung von der Insel Nordstrand bis zur Hamburger Hallig und ein Sicherungsdamm von der Insel Pellworm bis zur Hamburger Hallig für erforderlich angesehen. Um das bedeutsame Naturschutzgebiet Hamburger Hallig und die Vorländer vor dem Sönke-Nissen-Koog unbeeinträchtigt zu lassen und damit den Eingriff in die Ökologie des Wattenmeeres soweit als möglich zu reduzieren, ist dem Planfeststellungsverfahren die sogenannte „Kleine Lösung“ der Vordeichung zugrundegelegt worden.

Diese Alternative sieht eine rd. 3300 ha umfassende Vordeichung von Nordstrand bis zur

Südspitze des Sönke-Nissen-Kooges und einen Sicherungsdamm von Pellworm in nordöstlicher Richtung bis zum Festland südlich des Hauke-Haien-Kooges vor. Daneben sind noch folgende Varianten untersucht worden:

- „Große Lösung“: Vordeichung von Nordstrand bis zum Hauke-Haien-Koog; eingedeichte Fläche rd. 5600 ha
- Verstärkung der vorhandenen Landesschutzdeiche und Anlage von Poldern zur Flutraumverminderung außendeichs
- Vordeichung im deichnahen Bereich und Anlage der Polder außendeichs.

Mit Ausnahme der Variante „Große Lösung“ sind die anderen Varianten teurer und bewirken nicht die erforderliche Stabilisierung der Wattprielsysteme durch Abdeichung von Flutraum.

Nach sorgfältiger Abwägung zwischen den Erfordernissen des Küstenschutzes und den Belangen des Naturschutzes ist der Plan bezüglich der Küstenschutzmaßnahmen in der Nordstrander Bucht am 05. 04. 1982 festgestellt und die sofortige Vollziehung angeordnet worden. Die sehr schwere Sturmflut vom 24. 11. 1981 hat die Richtigkeit und Dringlichkeit dieser Entscheidung unterstrichen.

Der festgestellte Plan umfaßt folgende Maßnahmen:

- Vordeichung Hattstedter Marsch (3345 ha)
- Vordeichung Ockholmer Koog (90 ha)
- Deichverstärkung Sönke-Nissen-Koog
- Sicherungsdamm Festland – Insel Pellworm.

Die optimale Lösung hinsichtlich des Küstenschutzes (Vordeich von Nordstrand bis zum Hauke-Haien-Koog) wurde zugunsten des Naturschutzes auf die „Kleine Lösung“ (Vordeich von Nordstrand bis zum Süden des Sönke-Nissen-Kooges) zurückgenommen.

Die Maßnahmen ergänzen sich in ihren Wirkungen. Mit ihnen werden folgende Ziele gleichzeitig erreicht:

- Die östliche Umströmung Pellworms aus der Norderhever in die Süderau und der damit verbundene Wattabtrag wird aufgehalten.
- Der Flutraum der Norderhever und der Holmer Fähre wird eingegrenzt und verringert, so daß die Priele sich zurückbilden.
- Der Vordeich vor der Hattstedter Marsch verkürzt die Deichlinie gegen die Hauptangriffsrichtung der Sturmfluten von 16,7 km auf 8,9 km (Deichverkürzung rd. 47 %).
- Für den Ockholmer Koog und die Hattstedter Marsch sowie für den Morsum- und Pohnshalligkoog auf Nordstrand werden zweite Deichlinien geschaffen.
- Die enge trichterförmige Bucht nördlich des Nordstrander Dammes wird beseitigt.
- Die erforderliche Flutraumverkleinerung im Bereich des Butterloches wird durch verstärkte Vorlandarbeiten erreicht.
- Die dauerhafte Hochwasser-Entlastung in den Einzugsgebieten von Arlau, Jelstrom und Sönke-Nissen-Koog-Schleuse wird durch Speicherbecken erreicht.

Die Maßnahmen dienen der Sicherheit von rd. 8000 Menschen, die auf einer Fläche von rd. 36 000 ha der zu schützenden Halligen, Inseln und Festlandsmarschen wohnen.

Der Sicherungsdamm und die Vordeichung dienen den Zielen des flächenhaften Küstenschutzes und somit dem Erhalt der vorhandenen Wattsockel.

Der Damm schafft eine feste Wattwasserscheide zwischen dem Tidebecken von Norderhever und Süderau. Dadurch wird verhindert, daß bei normalen Tiden Wasser von der Norderhever in die Süderau überströmt. Die Festlegung der Wattwasserscheide allein reicht indessen nicht, um die Erosion im Gesamtgebiet der Norderhever und ihrer landseitigen Nebenpriele zum Stillstand zu bringen. Die Vordeichung vor der Hattstedter Marsch verkleinert das Flutvolumen der Norderhever um rd. 40 Mio. m<sup>3</sup> bei mittlerer Tide. Diese

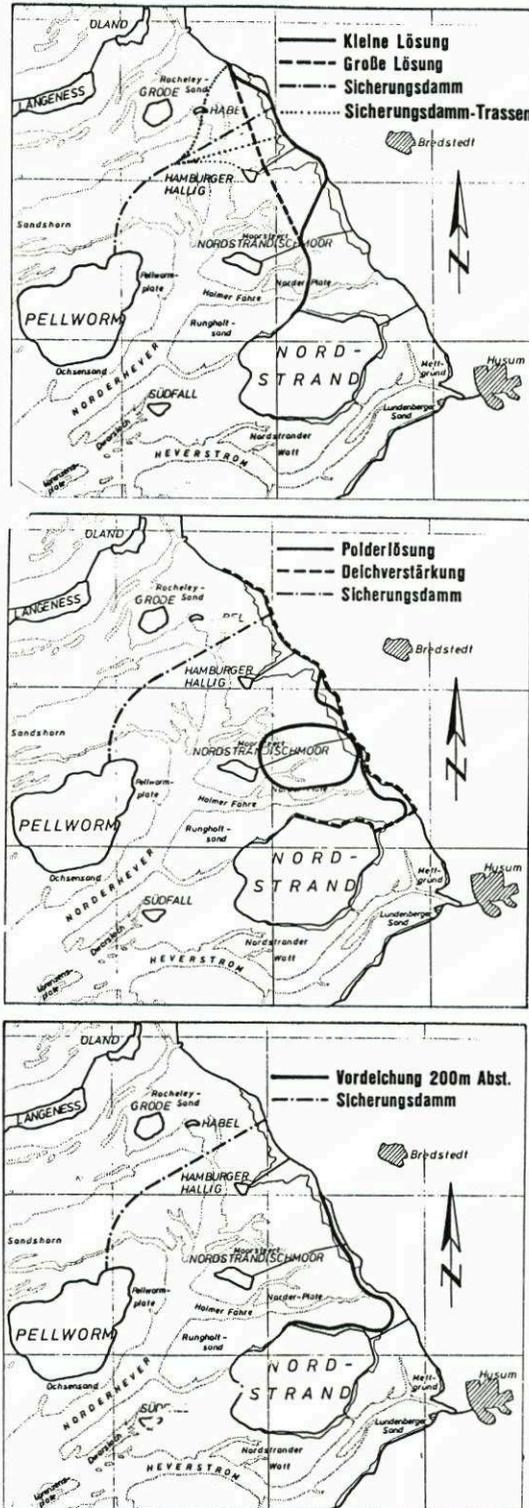


Abb. 3: Variantenuntersuchung

Verringerung der täglich zweimal ein- und ausströmenden Wassermengen hat geringere Strömungsgeschwindigkeiten zur Folge und wird somit den weiteren Abtrag der Wattsockel und die weitere Vertiefung der Priele im Planungsgebiet beenden.

Außerdem schafft die 8,9 km lange Vordeichung Hattstedter Marsch die nötige Deichsicherheit. Die heutigen Deiche auf der rd. 17 km langen Strecke sind zu niedrig und haben außen wie innen zu steile Böschungen. Im Vergleich zu den gegenwärtigen Küstenschutzanlagen werden die neuen Seedeiche etwa die doppelte Basisbreite und die doppelte Querschnittsfläche erhalten. In Verbindung mit den vorhandenen Deichen, die künftig als zweite Deichlinie weder abgetragen noch verändert werden dürfen, wird für die angrenzenden Köge ein optimaler Küstenschutz geschaffen.

Innerhalb der eingedeichten Flächen vor der Hattstedter Marsch werden zur Hochwasserentlastung für die Einzugsgebiete der Arlau und des Jelstromes (zusammen rd. 30 000 ha) im Bereich der Holmer Fähre ein 430 ha großes Speicherbecken sowie für das Einzugsgebiet des Deich- und Hauptsielverbandes Sönke-Nissen-Koog-Schleuse (rd. 3000 ha) ein 40 ha großes Speicherbecken angelegt. Die Speicherbecken entwässern durch Deichsiele in die Nordsee.

### 3. Ausgleichsmaßnahmen

#### Allgemeines

Das Wattenmeer an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste ist Teil eines von den Helder in den Niederlanden bis Esbjerg in Dänemark reichenden zusammenhängenden Naturraumes.

Die vielfältige Gliederung, die hohe Primärproduktion, die typische Flora und die hochspezialisierte Fauna machen das Wattenmeer zu einem Raum von besonderer ökologischer Bedeutung. Es ist geboten, den Gesamtbiotop mit seiner für diesen Raum charakteristischen Pflanzen- und Tierwelt zu schützen und – soweit erforderlich – zu entwickeln und wiederherzustellen.

Ziel des Ausgleichs ist die Entwicklung eines Nebeneinanders von Watten und Vorländern sowie von binnendeichs gelegenen Salz- und Süßwasserbiotopen. Dies wird durch die Ausweisung und Gestaltung folgender Bereiche verwirklicht:

#### Außendeichs

- Anlage gestaffelter Lahnungssysteme
- Gewinnung von rd. 1770 ha neuen Vorlandes und hoher Wattflächen vor den neuen Landesschutzdeichen
- Intensivierung der Vorlandarbeiten auf mindestens 1000 ha im weiteren Umfeld der Vordeichungen

#### Binnendeichs

##### – Gestaltungszone I

In dieser Zone entsteht ein Salzwasserbiotop mit einer Gesamtfläche von rd. 860 ha, einem regulierbaren Wasserstand und der Möglichkeit des Salzwasseraustausches. Damit wird angestrebt, eine salzwasserorientierte Flora und Fauna zu erhalten. Der Salzwasserbiotop mit den dazugehörigen Anlagen ist die umfangreichste Ausgleichsmaßnahme.

##### – Gestaltungszone II

Auf diesen rd. 755 ha (einschl. 35 ha Geestanschluß vor Wobbenbüll) wird ein Süßwasserbiotop entstehen, der der Entwicklung einer Feuchtwiesen- und Grünlandvegetation dienen soll.

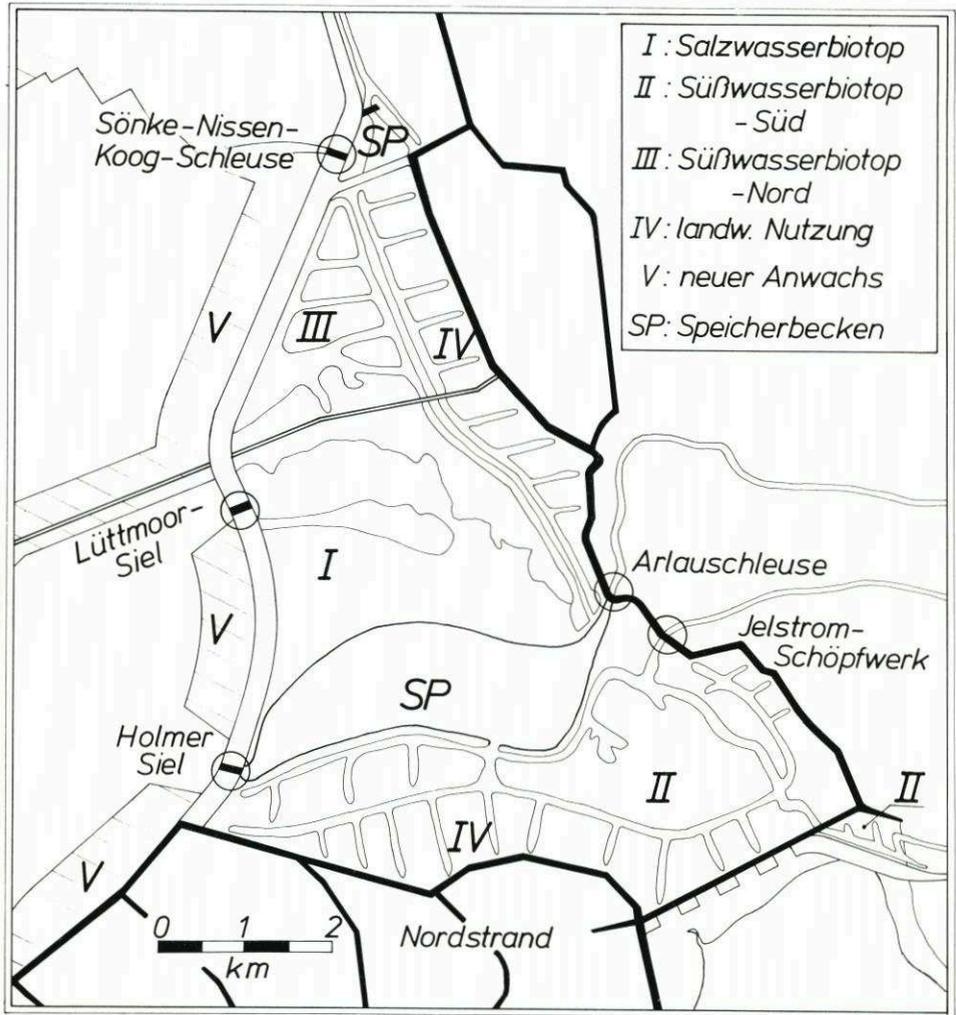


Abb. 4: Gestaltung des neuen Beltringharder Kooges

- Gestaltungszone III

In diesem rd. 350 ha großen Gebiet ist die Entwicklung von Grünlandflächen als Rast- und Nahrungsplatz für Wildgänse sowie als Brut-, Rast- und Nahrungsplatz für andere Küstenvögel vorgesehen.

- Speicherbecken (SP)

Diese rd. 430 ha großen Becken werden unter wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben, tragen jedoch als Süßwasserbiotope im Rahmen der Gesamtmaßnahme zur Entwicklung einer möglichst großen ökologischen Vielfalt bei und dienen damit auch dem Ausgleich.

- Gestaltungszone IV

Die rd. 910 ha große Gestaltungszone IV besteht überwiegend aus Vorlandflächen vor der heutigen Deichlinie. Auf diesen Flächen wird während einer Übergangszeit die bisherige Weidenutzung fortgesetzt.

Für alle Gestaltungszonen werden den ökologischen Veränderungen anzupassende Pflegepläne erarbeitet. Sie stellen die Ausgleichsfunktion sicher.

#### 4. Der Bau des Vordeiches von 1983 bis 1987

##### 4.1 Sandentnahmen

Nach den Vorgaben des Planfeststellungsbeschlusses war der Sand für den Vordeich möglichst innerhalb des neuen Kooges zu entnehmen, um keine weiteren Wattflächen abzutragen und den Belangen des Küsten- und des Naturschutzes Rechnung zu tragen. Außerdem bereichern die durch die binnenseitigen Entnahmen entstandenen Tiefwasserbereiche die ökologische Vielfalt und schaffen in den Speicherbecken zusätzliches Speichervolumen. Insgesamt sind rd. 6 Mio. m<sup>3</sup> Sand entnommen worden. Der Bodenaufbau innerhalb der holozänen Schichtenfolge variiert auf kurze Entfernungen. Es wechseln schluffige Wattfeinsande mit schwach tonigen Schluffgemengen und Feinsandzwischenlagen bis hin zu fetten, bereichsweise humosen Kleischichten. Unter der teilweise rd. 7 m mächtigen Holozänschicht folgen schwach bis stark mittelsandige Feinsande, die eine bindige Eem-Schicht aus Schluff-Feinsandgemenge sowie sandreichem und tonig-feinsandigem Schluff in rd. 1,5 m Stärke überdecken. Die unterhalb NN - 14 m anstehenden Sande besitzen eine feine bis mittlere Körnung; ab etwa NN - 23 m bis zur Endteufe von NN - 30 m stehen Mittelsande mit geringer Kies-, Fein- und Grobsandbeimengung an.

##### 4.2 Kleientnahmen

Der Klei dient als Abdeckboden der heutigen modernen Sandkerndeiche mit ihren relativ flachen Böschungen. Zusammen mit der Grasnarbe und ihrer Pflege durch Schafbeweidung ist diese Art der Abdeckung landschaftsgerecht.

Für die einzelnen Abschnitte wurden an jeweils kostengünstiger Stelle rd. 700 000 m<sup>3</sup> Klei aus dem Vorland im eingedeichten Bereich entnommen.

Der Bodenaufbau in den Entnahmen ist relativ gleichartig. Unter einer stark durchwurzelten, etwa 30 cm starken Deckschicht aus schluffreichem Ton mit wechselnder Feinsandbänderung stehen bis zur Tiefe von 0,9-1,1 m unter Oberkante Gelände (GOK) Kleischichten mit Pflanzenresten und gelegentlichen Wattsandstreifen an, die ihrerseits einer 0,1-0,2 m starken schwarzgrauen schlickigen Kleischicht aufliegen. Ab etwa 1,3 m unter GOK wurden durchweg schluffreiche Wattenfeinsande mit Übergängen zum schwach tonigen Schluff-Feinsandgemenge erbohrt.

Auf die verschiedenen Kornfraktionen entfielen die folgenden Anteile (in Gew. + %) Trockensubstanz, arithmetischer Mittelwert eingeklammert:

Korngröße:			
bis 0,002 mm	Ton	13-34	(24,9) %
0,002-0,063 mm	Schluff	56-75	(67,4) %
0,063-2,000 mm	Sand	2-14	( 7,7) %

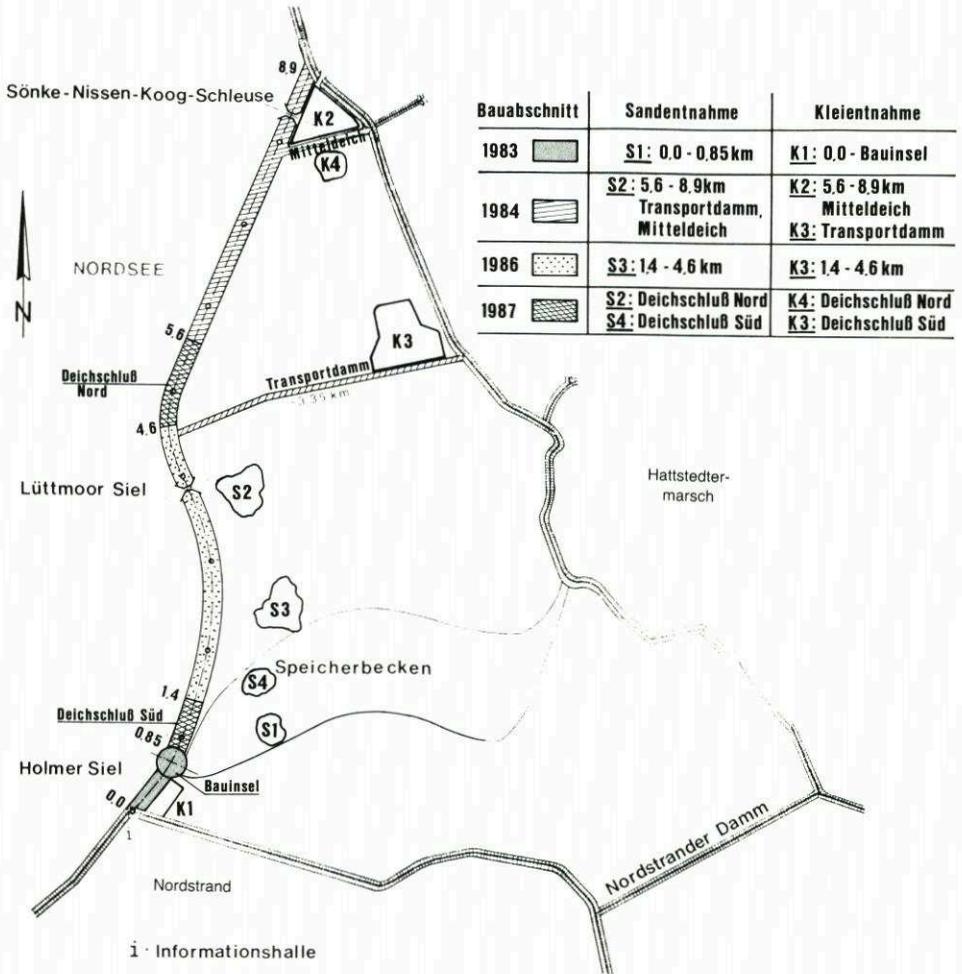


Abb. 5: Sand- und Kleientnahmen

### 4.3 Der Sandkern des Deiches

Der Vordeich erstreckt sich über drei unterschiedliche Bereiche: Vorland, Watt und Priele.

Für die Sandeinspülung im Vorlandbereich wurde der anstehende Kleiboden beidseitig der Deichbasis zu Spülfeldbegrenzungsämmen aufgesetzt.

Im Wattbereich mußte die erste Sandlage unter Tideeinfluß eingespült werden. Zur Sicherheit vor „Kantenfluten“ (= kleine Sturmfluten) und um spätere Sandquertransporte zu minimieren, betrug ihre Höhe rd. 1,50 m über MThw. In Deichlängsrichtung war das Spülfeld offen.

Für den ersten Deichbauabschnitt 1983 im Wattbereich wurde eine seitliche Begrenzung mit Geröll bis  $\varnothing$  160 mm gewählt. Das Material widerstand den Seegangskräften bei einer mittleren Böschungsneigung von 1:2. Die Geröllämmen mußten während der unruhigen

Wochen im frühen Frühjahr gebaut werden, damit die sehr witterungsabhängigen Arbeiten bis zum Herbst abgeschlossen werden konnten. Häufigere und höhere Sturmfluten können das Bauziel andernfalls gefährden und zu erheblichen Mehrkosten führen.

Die technisch und wirtschaftlich günstigere Alternative besteht darin, die erste Sandlage in nach allen Seiten vorerst unbegrenzte Spülfelder einzuspülen. Dabei wurde das „Auslaufen“ des Sandes seitlich außerhalb der Deichbasis durch Aufschieben von Sandwällen auf das notwendige Maß reduziert. In Deichlängsrichtung erfolgen keinerlei Maßnahmen, die das „freie“ Auslaufen des Sandes behindern. Je nach Korngröße des eingespülten Sandes ergab sich eine Längsneigung des Spülfeldes von im Mittel 1:60 bis 1:100.

Aus der Sicht des Küstenschutzes ergeben sich durch diese Spülmethode folgende Vorteile:

Die Seegangsbelastung ist infolge der geringeren Wassertiefe vor dem neuen Deckwerk kleiner; mögliche Längsströmungen und damit Erosionen werden vom Deichfuß ferngehalten, so daß Folgebauwerke wie Steinbuhnen oder Steinvorschüttungen entfallen können.

Aus der Sicht des Naturschutzes wird eine Übersandung des vorhandenen Watts teils als unerwünscht bezeichnet. Wie Erfahrungen zeigen, erfolgt aber schon nach kurzer Zeit eine natürliche Besiedlung der aufgespülten Sandflächen. Außerdem ist ein allmählicher Übergang vom Deich zum Watt ökologisch wertvoll. Ferner wird der Zeitraum der Vorlandarbeiten bis zur Neubildung wertvoller Salzwiesen deutlich verkürzt.

#### 4.4 Der zeitliche Bauablauf

Der 8,9 km lange Vordeich beseitigt die tiefe Nordstrander Bucht und schafft einen neuen Koog von rd. 3300 ha. Der Bau dieses Vordeiches bedeutete einen erheblichen Eingriff in das großräumige Strömungsbild der angrenzenden Teiltidebecken von Holmer Fähre, Schinderloch und Butterloch und damit letztlich auch der Norderhever. Der Bauablauf sollte möglichst „sanft“ in dieses Wattssystem eingreifen.

Der erste Deichbauabschnitt von der Insel Nordstrand bis zum südlichen Ufer der „Holmer Fähre“ (Station 0+900) wurde 1983 in Angriff genommen. Am Kopf des Deichabschnitts wurde eine rd. 10 ha große Insel aufgespült und bedeiht. Diese Bauinsel war erforderlich, um in den Jahren 1984–87 das Holmer Siel als Entwässerungsbauwerk des Einzugsgebietes der Arlau bauen zu können.

Die Sielinsel mit dem rd. 600 m langen Deichabschnitt wirkte vier Jahre lang wie eine Großbuhne, ohne daß das Watt und der Wattstrom „Holmer Fähre“ sich nennenswert veränderten.

Mit dem zweiten Bauabschnitt (1984) vom Sönke-Nissen-Koog in Richtung Süden bis Station 5+600 wurde das Abflußverhalten im Teiltidebecken Butterloch wesentlich stärker beeinflußt. Es war deshalb notwendig, mit dem Vortreiben des Deiches landseitig einen sogenannten Entlastungsgraben zu ziehen, um die Strömung möglichst vom binnenseitigen Deichfuß fern zu halten. Dieser Graben hat sich bis zum Zeitpunkt des Deichschlusses auf den vierfachen Querschnitt erweitert, was seine Notwendigkeit unterstreicht.

1984 erfolgte außerdem – an die Nordseite des Lorendammes zur Hallig Nordstrandischmoor angelehnt – der Bau des Transportdammes, um den Deich von hier nach Süden und Norden vortreiben zu können.

1985 wurde die Sohle der Holmer Fähre im Bereich des geplanten Deichschlusses (von Station 1+500 bis 0+900) auf einer Fläche von rd. 12 ha mit Sinkstückmatten befestigt. Da der nördlich anschließende Vordeich bis zum Transportdamm noch fehlte, ergaben sich keine

zusätzlichen Erschwernisse für die Sohlsicherungsarbeiten infolge von Strömungsveränderungen.

Erst 1986 entstand der Vordeich von Station 4+600 bis 1+500. Die verbleibenden Deichschlußlücken (1000 m im Norden und 600 m im Süden) lagen in den tiefen Prielen und ließen für die Überwinterung 1986/87 kaum Erosionen erwarten.

1987 konnten beide Lücken in den günstigen Monaten April bis Juni geschlossen werden (s. Abb. 5).

Deichverstärkungen vor besiedelten Küstenbereichen fordern ein höheres Maß an Sicherheit hinsichtlich der Einhaltung der Bauzeit als Vordeichungen. Anfang Oktober muß die notwendige Wehrfähigkeit des verstärkten Deiches zum Schutz der hinter dem Deich wohnenden Menschen gegen mögliche Sturmfluten gegeben sein. Beim Bau eines Vordeiches bleibt dagegen die Sicherheit der bestehenden Deiche während der ganzen Bauzeit erhalten, so daß diese insgesamt länger sein kann.

Die einzelnen Bauabschnitte sind unter Berücksichtigung baubetrieblicher und wirtschaftlicher Gesichtspunkte gesondert ausgeschrieben und vergeben worden.

## 5. Besondere Baukonstruktionen

### 5.1 Vorkopfsicherungen

Zum Ende eines jeden Baujahres muß der Vordeich ein Maß an Wehrhaftigkeit aufweisen, das hinsichtlich des Schadensrisikos vertretbar ist. Für den Vordeich Hattstedter Marsch galten deswegen folgende vertraglich vereinbarte Termine:

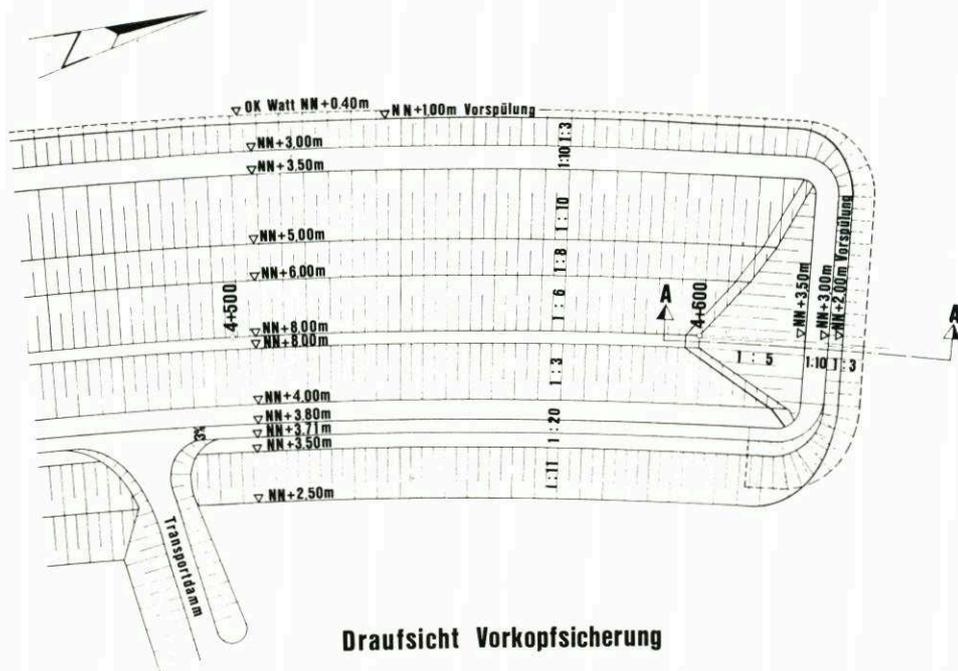
	Fertigstellung
Deckwerk einschl. Verklammerung:	15. 10. d. J.
Kleiandeckung: bis $HHW_{\text{maßg.}}$ :	30. 9. d. J.
bis $HHW_{\text{maßg.}}+1,50$ :	30. 11. d. J.
$HHW_{\text{maßg.}}$ : für die Deichbemessung maßgebender Sturmflut-Wasserstand	

Das Kopfende jedes jährlichen Deichbauabschnittes war je nach Lage zur Hauptangriffsrichtung der Sturmfluten besonders zu schützen. Mindestens über einen Winter mußte diese Konstruktion – die sogenannte Vorkopfsicherung – den Sturmfluten trotzen. Nach den Erfahrungen hat sich folgende Konstruktion bewährt: Der Sand wird in der Deichachse relativ hoch aufgespült. Damit wird ein ausreichender, kostengünstiger Schutz des provisorischen Deichfußes geschaffen. Beim Deckwerk wird auf die sonst übliche Gerölllage und auf eine Verklammerung verzichtet. Einen entsprechenden Aufbau erhält auch die Steinabdeckung bis zum Deichkopf. Diese Steine werden im Rahmen der Arbeiten für das folgende Baulos wieder aufgenommen und verwendet. Eine um den Kopf herumführende Baustraße wie auch ein Steindepot sind aus Unterhaltungsgründen erforderlich.

### 5.2 Deckwerk

Das Deckwerk ist das Bauteil eines scharliegenden Deiches, das täglich, besonders aber bei den relativ häufigen kleineren Sturmfluten, extrem belastet wird.

Der Kostenanteil des Deckwerkes an den Gesamtkosten des Vordeiches ist verhältnismäßig hoch und betrug bei der hier beschriebenen Baumaßnahme 21 %.



**Draufsicht Vorkopfsicherung**

**Schnitt A - A**

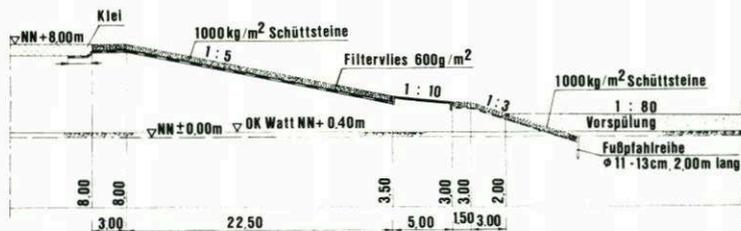


Abb. 6

Für den Vordeich der Nordstrander Bucht hat sich ein Standard-Deckwerk ergeben, das insbesondere die schwierigen Einbaubedingungen im Tidebereich berücksichtigt. Allein 1986 waren rd. 40 000 m<sup>2</sup> Deckwerk zu bauen.

Das Deckwerk kann günstigenfalls unmittelbar nach den Sandspülarbeiten gebaut werden. Dadurch geraten diese Arbeiten jedoch in eine Jahreszeit, in der kleine Sturmfluten häufiger auftreten. Besonders witterungsabhängig ist die Verklammerung des Deckwerkes, die erst nach Fertigstellung der Wellenüberschlagssicherung als Fahrstraße, wie sie für diese Arbeiten benötigt wird, vorgenommen werden kann. Die Verklammerung mit heißem Asphaltmastix hat neben den hohen Kosten auch den Nachteil der großen Witterungsabhängigkeit (Nässe und Sauberkeit der Gesteinsoberfläche). Ein kostengünstigeres und witterungsunabhängigeres Material zum Verklammern der Steine ist der kolloidale Mörtel, der sich

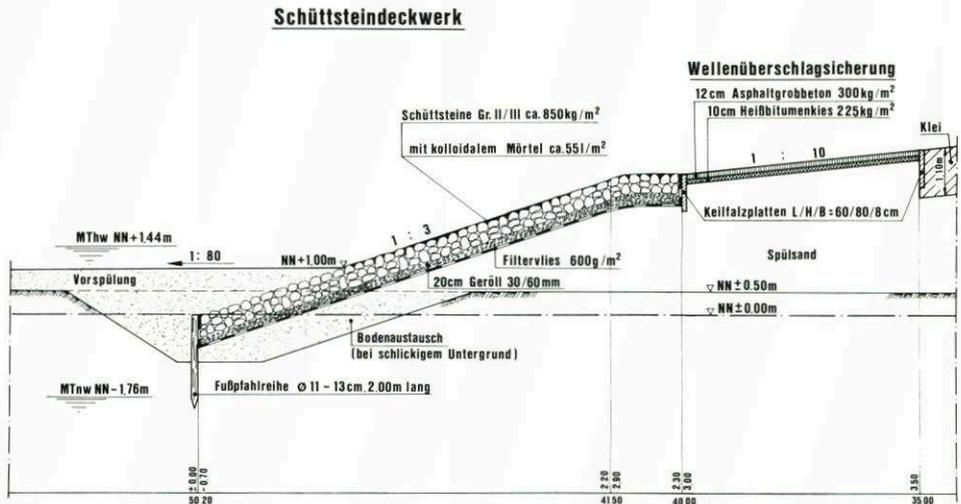


Abb. 7

durch sein günstiges Fließverhalten, seine Entmischungsstabilität und seine guten Haftungseigenschaften auszeichnet. Die Einbaumenge des kolloidal aufbereiteten Mörtels ist derart zu begrenzen (max. 55 l/m<sup>2</sup>), daß kein starres Deckwerk entsteht. Bei Abrissarbeiten von provisorischen Deckwerken, die mit kolloidalem Mörtel verklammert waren, konnte ein guter Verbund mit Granitsteinen festgestellt werden. Die Eindringtiefen entsprachen den Erfordernissen.

Die Verklammerung erhöht die Stabilität der Einzelsteine gegenüber den Wellenkräften um ein Vielfaches. Außerdem reduziert sie die Gefahr der mutwilligen Zerstörung.

### 5.3 Wellenüberschlagssicherung und Deichverteidigungsweg

Die Wellenüberschlagssicherung stellt den Übergang zwischen dem rauhen Steindeckwerk und der weichen Kleiabdeckung dar. Ihre Neigung und ihre Höhe sind aufgrund der Erfahrungen so gewählt, daß Zerstörungen der Grasnarbe durch tägliches Spritzwasser sowie Erosionsschäden durch häufige kleine und mittlere Sturmfluten an der Kleiböschung vermieden werden.

Gleichzeitig dient die 5 m breite Wellenüberschlagssicherung als Treibselabfuhrweg.

Die Stärke der Asphaltbetondecke ergibt sich aus der Belastungsgröße „Wasserüberdruck von innen“. Sie beträgt 15 cm. Der Unterbau der Decke besteht aus einer rd. 7 cm dicken Sauberkeitsschicht aus Heißbitumenkies. Gegenüber dem kostengünstigen Rüttelunterbau ist diese Methode unabhängig von Niederschlägen während der Einbauphase.

Der 3 m breite Deichverteidigungsweg befindet sich auf der Binnenberme des Deiches, rd. 2 m über MTW. Er dient dem Materialtransport für die Deichunterhaltung, vor allem aber auch zum schnellen Heranführen von Material und Mannschaft bei etwaigen größeren Sturmflutschäden.

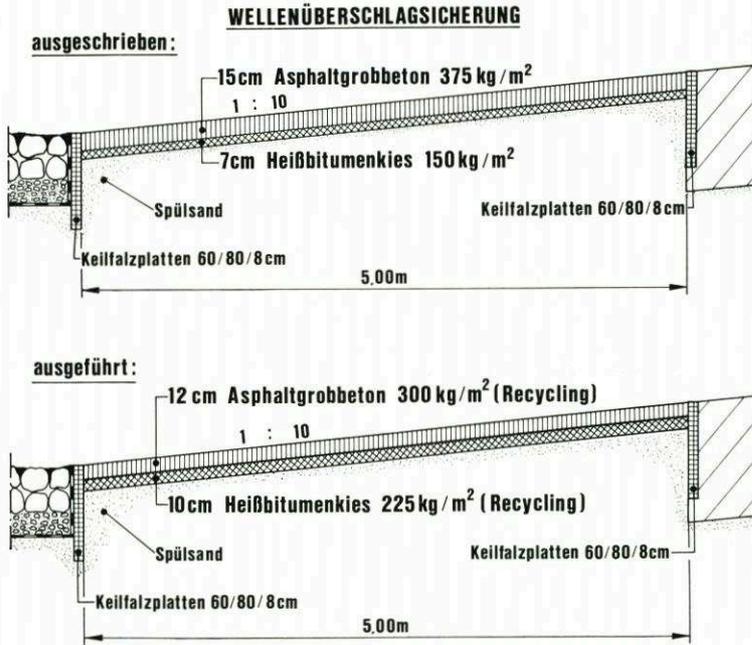


Abb. 8

#### 5.4 Kleiabdeckung

Landesschutzdeiche werden so bemessen, daß sie den bei Eintritt des Bemessungswasserstandes zu erwartenden Kräften genügend lange Widerstand leisten können, so daß kein Deichbruch eintritt. Dazu sind flache Böschungen auf der Außen- und Binnenseite und eine genügend widerstandsfähige Deichoberfläche wesentliche Voraussetzungen.

Die Außenböschung ist im Bereich des Bemessungswasserstandes 1:8 geneigt, so daß eine gut gepflegte Grasnarbe den zu erwartenden Belastungen standhält. Der Klei wird außen bis über die Krone mindestens 1,00 m, auf der Innenseite mindestens 0,50 m stark angedeckt.

#### Regelprofil des neuen Deiches mit Deckwerk

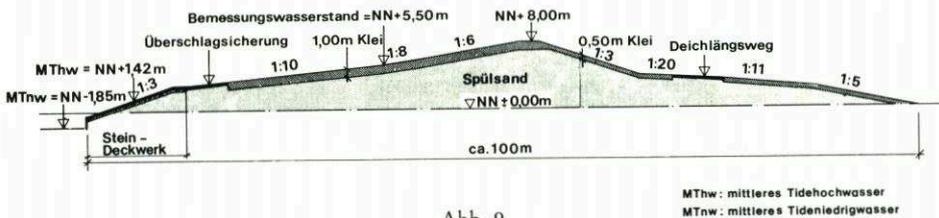


Abb. 9

Wegen seines hohen Wassergehaltes in der Entnahme war die geförderte Kleimenge um rd. 20 % größer als die eingebaute.

Aufgrund des hohen Salzgehaltes des Kleibodens konnte die Ansaat erst frühestens zwei Jahre nach Andeckung erfolgen. Vor der Ansaat wurden Bodenproben entnommen und auf

Salzgehalt und Nährstoffgehalt untersucht. Eine Aussaat erfolgte erst dann, wenn der Salzgehalt unter 5‰ abgesunken war. Die Düngegaben richteten sich nach den fehlenden Nährstoffen. Nennenswerte Schäden an der Kleiböschung (Auswaschungen) traten während dieser Zeit nicht ein. Die Erosionsverluste im Bauabschnitt 1984 betragen während der Überwinterung 1984/85 im Mittel nur rd. 0,5 m<sup>3</sup>/lfdm Deich.

## 6. Wiederverwendung von Ausbauasphalt

### 6.1 Ausbauasphalt am Holmer Siel

Mitten in der Nordstrander Bucht, am südlichen Ufer der Holmer Fähre, war das neue Holmer Siel zu errichten. Diese Baustelle mußte über mehrere Jahre gegen Sturmfluten geschützt werden. Entsprechend war der Ringdeich zu dimensionieren. Als wirtschaftliche Materialien für Böschungsabdeckungen stehen grundsätzlich Klei und Asphalt zur Verfügung. Klei erfordert flachere Böschungsneigungen, so daß die aufzuspülenden und später wieder abzutragenden Sandmengen größer sind. Außerdem könnte der Ringdeich nicht befahren werden, wie es für den Baubetrieb nötig ist. Deshalb entschloß sich der Planer, rd. 20 000 t Asphalt als Abdeckung des Ringdeiches einzubauen und dieses Material später wieder zu verwenden.

### 6.2 Wiederverwendung beim Deichbau

Um möglichst das gesamte anfallende Asphalt-Altmaterial wieder verwenden zu können, bedurfte es besonderer Überlegungen. Das Material konnte erst nach erfolgreichem Deichschluß im Bereich der Holmer Fähre ausgebaut werden, weil der Ringdeich gleichzeitig die südliche Flanke für den Deichschluß bildete. Bis zu diesem Zeitpunkt mußte aber auch der Deich als nördliche Deichschlußflanke einschließlich Wellenüberschlagssicherung und bituminöser Tragschicht des Deichverteidigungsweges bis an die Deichschlußlücke herangebaut sein.

Die Wellenüberschlagssicherung und der Deichverteidigungsweg waren die Bauteile, wo wesentliche Mengen Ausbauasphalt verwendet werden konnten. Deshalb wurden 1986 beide Bauteile in vorläufiger Bauweise und geringerer Dicke hergestellt, um sie 1987 unter Einsatz von Ausbauasphalt endgültig auszubauen.

### 6.3 Güteanforderungen

Die Ergebnisse eingehender Voruntersuchungen vor dem Ausbau bildeten die Basis für die Rezeptur des neuen Mischgutes. An dessen Qualität wurden die gleichen Anforderungen gestellt, wie sie für Asphaltmischgut aus ungebrauchten Baustoffen gelten.

Fachlabors untersuchten an einer Vielzahl von Proben das vorhandene Material nach Bindemittelgehalt, Bindemittelleigenschaften und Kornzusammensetzung, und zwar wegen des unterschiedlichen Aufbaus getrennt nach Außen- und Binnenböschung.

Mit dem Ziel, möglichst einen hohen Anteil Ausbauasphalt wiederzuverwenden, wurde eine Rezeptur entwickelt, die den hohen Güteanforderungen im Wasserbau entsprach. Der Vorschlag war,

– für die Tragschicht des Deichverteidigungsweges bis zu 60 % Ausbauasphalt und

– für die Wellenüberschlagssicherung bis zu 80 % Ausbauasphalt einzusetzen. Der allgemein zulässige Anteil Alt-Asphalt von ca. 25 % im Straßenbau wurde damit bei weitem überschritten. Tatsächlich wurden für die Wellenüberschlagssicherung rd. 75 Gewichts-Proz., für den Deichverteidigungsweg rd. 55 Gewichts-Proz. eingebaut.

Laufende Kontrollprüfungen des eingebauten Materials ermöglichten, die Zusammensetzung bei Bedarf so zu verändern, daß das Endprodukt den Anforderungen entsprach. – 1987 wurde der gesamte anfallende Ausbauasphalt verwendet. Anschließende Kontrollen führten zu keinen Beanstandungen. Künftige Beobachtungen werden zeigen, wie sich das Material unter natürlichen Bedingungen mittel- und langfristig bewährt.

### Beschreibung der Anlage

Die mobile Asphaltmischanlage, Fabrikat SIM, bestand im wesentlichen aus folgenden Einheiten:

1. 4fach Doseur für Fräsgut (fahrbar)
2. 2fach Doseur für Splitt mit Steuerkabine und Heizöltank (fahrbar)
3. Förderbänder
4. Recyclingtrommel (fahrbar)
5. Trockentrommel
6. Mischer
7. Verlaudesilo mit Kratzförderband
8. Filterentstaubung (fahrbar)
9. Bitumentank (fahrbar)
10. Füllersilo
11. Stromaggregat – Tagbetrieb
12. Stromaggregat – Nachtbetrieb

Der Asphalt des Ringdeiches wurde parallel zu den Deichschlußarbeiten, ohne die Sicherheit der Deichschlußarbeiten zu gefährden, abgetragen. Hydraulikbagger brachen die Decke zu

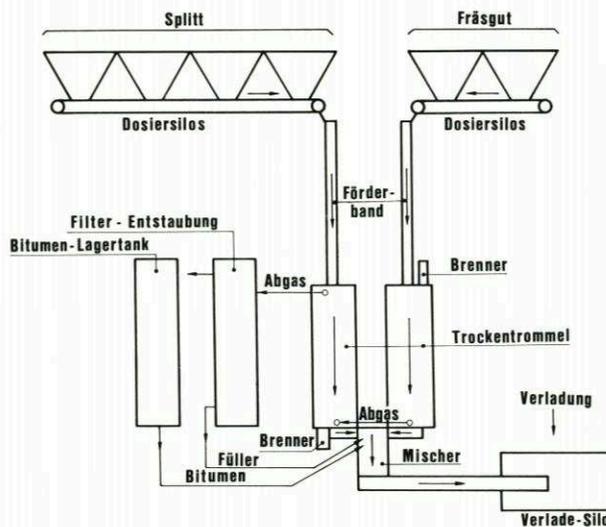


Abb. 10

Schollen auf. An der mobilen Mischanlage zerkleinerte ein Brecher die Schollen zu dem gewünschten Asphaltgranulat.

Dieses Material wurde über Förderbänder und Bandwaage einer Trockentrommel zugeführt und im Gleichstrom möglichst schonend getrocknet und erhitzt.

Die einzelnen, zusätzlich erforderlichen Splittsorten wurden gleichzeitig über Transportbänder und eine Bandwaage einer zweiten Trockentrommel zugeführt und im Gegenstromverfahren erhitzt.

Bei der Aufbereitung von Granulat läßt es sich – auch bei der Verwendung einer Gleichstromtrommel – kaum vermeiden, daß durch die Erhitzung des Altbitumens Kohlenwasserstoffe frei werden und durch leichten Schwelbrand in Flammennähe größere Mengen Kohlenmonoxyd entstehen. Aus diesem Grunde wurden die Abgase der ersten Trommel (Fräsgut) an der Brennerseite in die zweite Trommel (Splitt) eingeführt und so hoch erhitzt, daß die Kohlenwasserstoff- und Co-Anteile weitgehendst verbrannten.

Die Abgase aus der zweiten Trommel wurden dann mit einem Exhaustor abgesaugt und über einen Filter und einen 12 m hohen Kamin an die Außenluft abgegeben.

Die einzelnen Splittsorten und das separat erhitzte Granulat wurden nach Durchlaufen der beiden Trockentrommeln in einen Durchlaufmischer geleitet. In diesem Mischer wurde der Mischung das noch fehlende Bitumen und evtl. Füller beigegeben.

Die Anlage besaß ihre eigene Stromversorgung. Das Kernstück der Anlage war die Doppeltrommeldurchlauf-Mischanlage mit einer Stundenleistung von ca. 30 bis 110 t.

## 7. Sielbauwerke

Aufgrund der wasserwirtschaftlichen Bedürfnisse und im Hinblick auf den Betrieb des Salzwasserbiotops sind drei Siele erforderlich:

- Holmer Siel: Ersatz des bestehenden Arlau-Siels und -Schöpfwerks zur Entwässerung des Arlau- und Jelstromgebietes
- Lüttmoor Siel: Einlaßbauwerk für den Salzwasserbiotop
- Siel Sönke-Nissen-Koog: Ersatz für das bestehende, rd. 1500 m nördlicher liegende alte Siel

### 7.1 Holmer Siel

Das gegenwärtige Einzugsgebiet der Arlau- und des Jelstromgebietes umfaßt rd. 292 km<sup>2</sup>. Davon beträgt der Geestanteil rd. 70 %.

Die Wasserbewirtschaftung auf den tiefliegenden Marschflächen erfolgt mit Hilfe von Unterschöpfwerken. Die Deiche beiderseits der Arlau sind wegen des Mooruntergrundes niedrig, so daß wegen des begrenzten Speicherraumes von rd. 1,3 Mio. m<sup>3</sup> ein Spitzenschöpfwerk erforderlich ist. Vier Kreiselpumpen mit einer maximalen Leistung von rd. 26 m<sup>3</sup>/s pumpen bei hohen Niederschlägen das Binnenwasser in die Nordsee. Das Arlau-Siel besteht aus zwei Kammern mit je 12 m<sup>2</sup> Abflußquerschnitt.

Das Jelstromeinzugsgebiet von rd. 20 km<sup>2</sup> Marschfläche entwässert über ein eigenes Schöpfwerk direkt in die Nordsee. Zur Verringerung der Betriebskosten und für den Notfall kann der Jelstrom bei entsprechenden Vorflutverhältnissen über einen Verbindungskanal in die Arlau entwässern.

Die bestehende Entwässerung ist unzureichend und wird zunehmend erschwert, weil verstärkte Abflüsse aus dem Hinterland infolge zunehmender Befestigung und Bebauung von

Flächen auftreten und andererseits außendeichs die Tidehochwasserstände steigen und die Häufigkeit von Sturmfluten zunehmen.

Auf tiefliegenden Wattflächen innerhalb der Vordeichungsfläche vor der Hattstedter Marsch wurde für das Arlau- und Jelstromeinzugsgebiet ein Speicherbecken von rd. 4,3 km<sup>2</sup> mit einem Speichervolumen von rd. 6,4 Mio. m<sup>3</sup> zwischen NN - 1,20 und NN + 0,20 m angelegt. Das Speicherbecken entwässert durch das Holmer Siel in die Nordsee. Das bisherige Spitzenschöpfwerk kann stillgelegt werden.

Für die Binnenentwässerung stehen am Holmer Siel vier Kammern mit je rd. 25 m<sup>2</sup> Abflußquerschnitt zur Verfügung. Eine zusätzliche und von dem Speicherbecken getrennte Abflußkammer dient dem Zu- und Abfluß von Salzwasser für den im neuen Koog liegenden Salzwasserbiotop.

### Dimensionierung des Speicherbeckens

Das Speicherbecken ist so angelegt, daß es den wasserwirtschaftlichen Erfordernissen des Binnenlandes sowie den Belangen des Naturschutzes und der Landwirtschaftspflege optimal Rechnung trägt. Nach Norden hin schafft ein Erddamm und im Bereich des Holmer Siels eine Stahlbetonwand die erforderliche Abgrenzung zum Salzwasserbiotop. Die Grenze nach Süden bildet ebenfalls ein Erddamm. Mit Ausnahme des Salzwasserbiotops können alle eingedeichten Flächen in das Speicherbecken entwässern und aus diesem auch bewässert werden.

Das Speicherbecken und der Sielquerschnitt wurden nach DREBES dimensioniert. Nach dieser Berechnungsmethode ist das Speicherbecken in Verbindung mit vier Sielkammern für ein Extremereignis ausgelegt, das statistisch etwa alle 100 Jahre einmal zu erwarten ist.

#### Konstruktive Grundsätze

Die Sielkammern haben folgende Abmessungen:

Kammerbreite	6,00 m
Kammerhöhe	4,30 m
Drempelhöhe	NN - 3,70 m

Der neue Abflußquerschnitt ist demnach insgesamt 4mal größer als der der alten Arlau-Schleuse, nämlich rd. 100 m<sup>2</sup>.

Bei der Bestimmung der Bauwerksabmessungen ist von folgenden Grundsätzen ausgegangen worden:

- die obere Wanddicke muß mindestens 0,50 m betragen, um den Beton wegen starker Bewehrung einwandfrei einbauen und verdichten zu können,
- für die Dicke am Wandfuß ist die Einhaltung der nach DIN 1045 zulässigen Vergleichsspannung maßgebend,
- die Gleitsicherheits- und Kippsicherheitsnachweise sind für den aktiven Erddruck zu führen.

#### Sohlensicherung

Jedes Siel stellt ein Hindernis für den natürlichen Abfluß dar. In seinem Nahbereich kommt es zu erheblichen Strömungsgeschwindigkeiten. Verwirbelungen und Ablösungen von Stromfäden verursachen darüber hinaus Strömungskräfte, die ein Vielfaches der Kräfte von zweidimensionalen Strömungen erreichen können. Die Sohlensicherung muß deshalb zwei



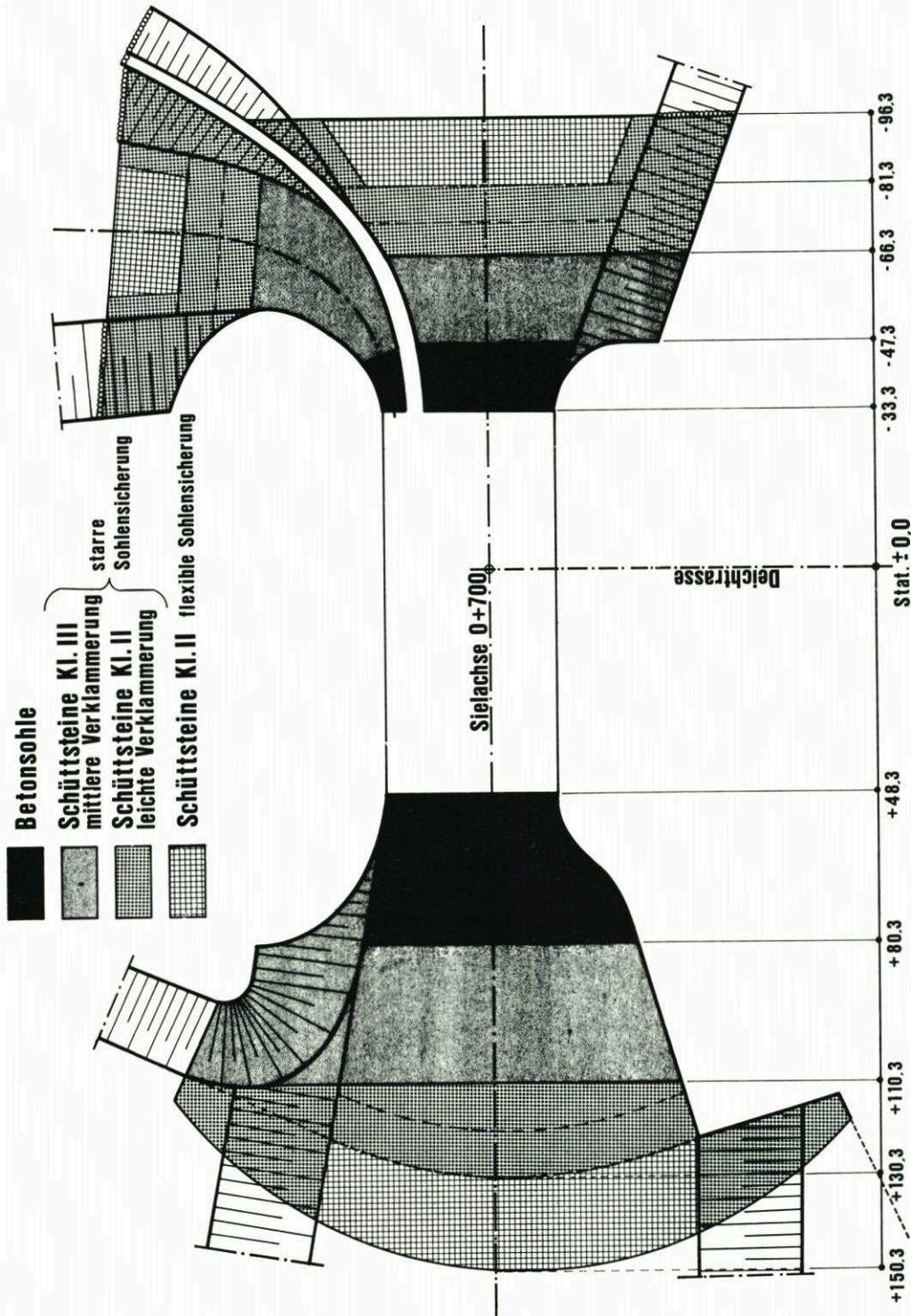


Abb. 12

Filterschicht erforderlich, wenn die Betonsohle wider Erwarten nicht wasserdicht sein sollte.

An die Betonsohle schließt eine Befestigung mit Schüttsteinen an. Die Bemessung der Schüttsteingröße erfolgte nach KNISS für lose Schüttungen: Die Strömungskräfte wurden in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung von Turbulenzerscheinungen ermittelt und bestimmen die Steingröße. Sie liegt im vorliegenden Falle zwischen Klasse II und Klasse IV, und zwar für Metallhüttenschlackensteine.

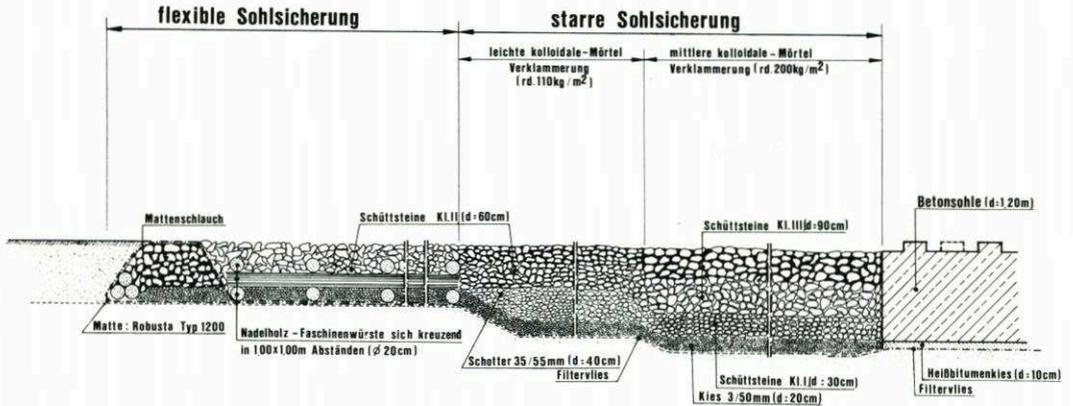


Abb. 13

Wegen der Unwägbarkeiten in den Berechnungsmethoden und -annahmen und aufgrund bekannter Schäden an bestehenden Sohlsicherungen sind zusätzlich ausgeführt worden:

- Verklammerung der Schüttsteine im starren Sohlsicherungsbereich mit kolloidalem Mörtel, so daß die Wasserdurchlässigkeit im erforderlichen Maße gegeben ist,
- natürlich abgestufter Mineralkornfilter zusätzlich zum Vlies,
- die Schichtdicke der Schüttsteine entspricht dem zweifachen des jeweiligen maximalen Steindurchmessers.

### Um- und Unterläufigkeit

Zur Vermeidung von Sickerströmungen wurden rd. 12 m lange Um- und rd. 6 m lange Unterläufigkeitsspundwände Larssen 22 eingebaut. Sie bewirken eine Verlängerung des natürlichen Sickerweges und damit den erforderlichen Druckabbau. Für die Sickerströmung sind folgende Randwerte zugrundegelegt worden:

- Tidewasserstand außen: NN + 6,50 m, das entspricht dem maßgebenden Sturmflutwasserstand zuzüglich 1,0 m Sicherheit
- Binnenwasserstand: NN - 0,50 m

Die erforderliche Länge der Spundwände ergibt sich nach der empirischen Formel:

$$L \geq c \times H$$

Dabei ist L die ungünstigste Sickerstreckenlänge unter dem Bauwerk, H der diesem Weg abgebaute Wasserüberdruck und c ein von der durchströmten Bodenart abhängiger Wert (hier: c = 8,5).

Die horizontale Sickerstrecke  $l_h$  wird gegenüber der vertikalen Sickerstrecke  $l_v$  nur mit  $\frac{1}{3}$

berücksichtigt, um dem vorhandenen Unterschied in der Durchlässigkeit in horizontaler und vertikaler Richtung näherungsweise Rechnung zu tragen:

$$L_v + \frac{1}{3} L_h \geq c \times H$$

### Wasserhaltung

Bei einer bis auf NN - 7,0 m liegenden Baugrubensohle und einem MThw von rd. NN + 1,50 m war eine leistungsfähige und flexible Grundwasserabsenkungsanlage erforderlich. Wegen einer bindigen Bodenschicht (Eemschluff) in einer Tiefe von rd. NN - 14 m lagen zwei Grundwasserleiter vor.

Die Absenkung des oberen Grundwassers erfolgte mit 17 Einzelbrunnen, die außerhalb der Baugrube angeordnet waren und ihr Wasser durch eine Sammelringleitung über den Ringdeich in die Nordsee abgaben.

Der untere Grundwasserleiter ist gespannt und korrespondiert mit den Nordsee-Wasserständen. Zur Entspannung dieses Grundwasserleiters sind vier Brunnen durch die Eemschicht getrieben worden. Um zu vermeiden, daß sich der obere Grundwasserleiter mit Wasser aus dem unteren Grundwasser-Stockwerk füllt, ist die Eemschicht nach dem Durchrammen wieder abgedichtet worden. Die Leistung dieser Entspannungsbrunnen ist in einem umfangreichen Untersuchungsprogramm ermittelt worden. Es zeigte sich, daß mit diesen Brunnen eine ausreichende Sicherheit gegenüber Sohlaufbrüchen - selbst bei Extremsturmfluten - bestand.

### Sielverschlüsse

Deichsiele dienen der Binnenentwässerung, werden aber erst im Zusammenhang mit Deichbauten erforderlich und gehören deswegen als Bestandteil zum Deich.

Ein Siel als Anlage des Landesschutzdeiches muß die entsprechende Sicherheit gegenüber Sturmfluten bieten und zwei voneinander unabhängige Verschlussmöglichkeiten enthalten.

Als erste Sicherheit ist für jede Kammer ein Stemmtorpaar vorhanden. Die Stemmtore bestehen aus Bongossiholz, Güteklasse I, mit Beschlägen und Verbänden aus Stahl 1.4571. Der Kraftfluß bei geschlossenen Toren erfolgt über horizontale Druckstäbe von den mittleren Anschlagssäulen zu den seitlichen Wendesäulen. Die Tore sind mit Steuerklappen ausgerüstet.

Der Verbund aus hochwertigem Stahl 1.4571 ist teuer, erhöht das Gewicht des Tores und beeinträchtigt damit seine Leichtgängigkeit. Für künftige Siele sollen deswegen die Überlegungen hinsichtlich der Anwendung von Anschlagtoren, die die Kräfte über den oberen und unteren Drempel abtragen, intensiviert werden. Außerdem wäre abzuwägen, ob für extreme Belastungsfälle Sollbruchstellen vorzusehen sind, die zusätzliche Verbände überflüssig machen.

Die Bemessung der Tore erfolgte für einen Außenwasserstand von NN + 6,50 m (maßgebender Wasserstand + 1,0 m Wellenhöhe) und einem Binnenwasserstand von NN - 0,50 m.

Die Stemmtore liegen im geöffneten Zustand außerhalb des durchströmten Kammerquerschnitts in Nischen.

Durch die Sielkammer für das Salzwasserbiotop soll nicht nur die Entleerung (Regelfall), sondern auch die Füllung möglich sein. Beim Füllvorgang können die Steuerklappen und die Stemmtore deswegen festgesetzt werden.

Für den Fall, daß die Stemmtore versagen, ist in jeder Sielkammer ein Hubschütz als

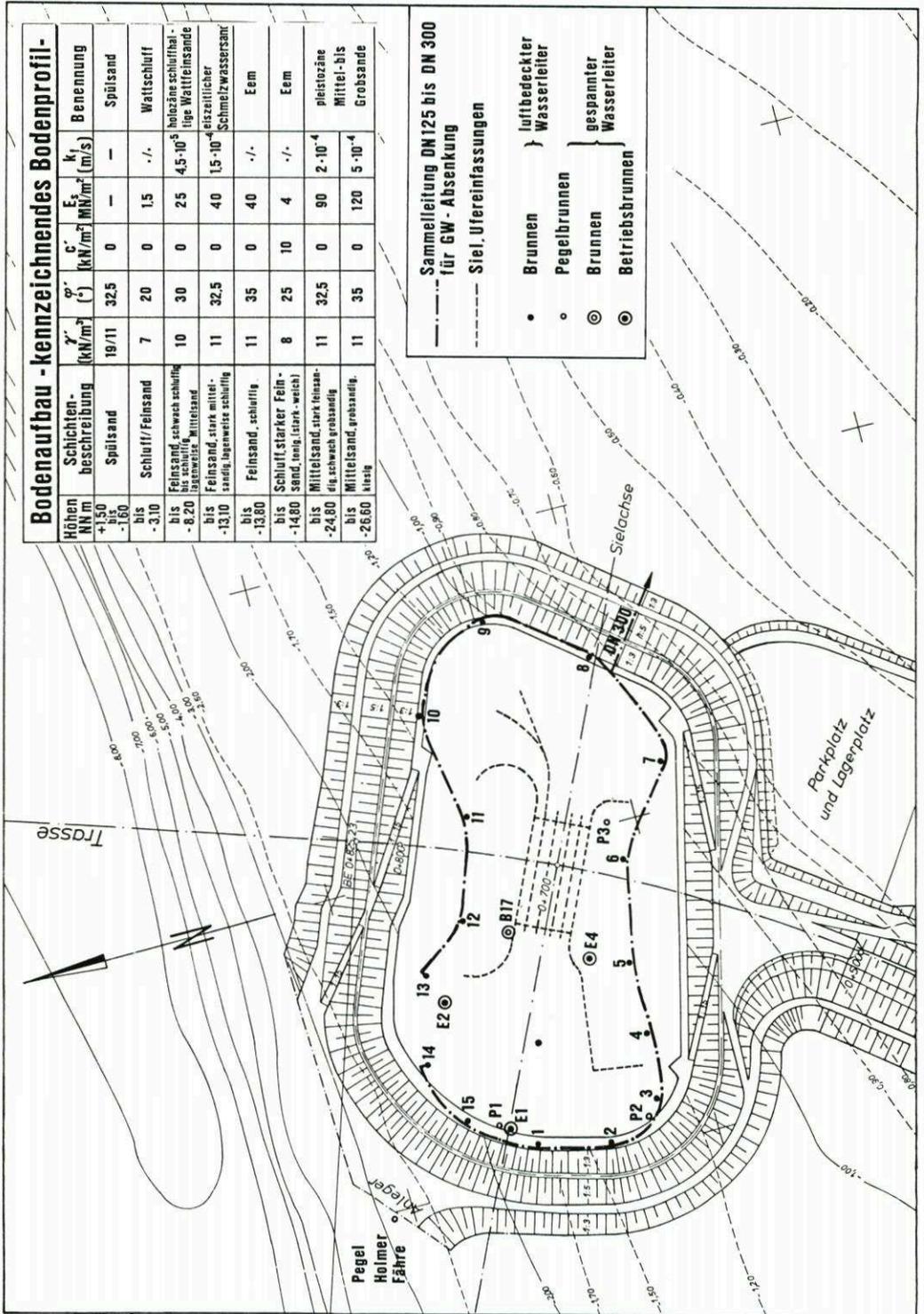


Abb. 14

zweites Sicherheitsorgan eingebaut worden. Die aus Bongossi bestehenden Schütze werden bei zu erwartenden Sturmfluten vorsorglich möglichst weit abgesenkt. Der Antrieb der rd. 13 t schweren Schütztafeln erfolgt mit synchron laufenden Spindeln. Es sind Trapezgewindespindeln und Spindelmuttern aus Bronze. Kegelradgetriebe mit einem Übersetzungsverhältnis von 8:1 gewährleisten das Öffnen oder Schließen einer Schütztafel in ca. 25 Minuten. Alle Spindelantriebe sind auf einer Flurhöhe von NN + 7,20 m im Hochbauteil installiert und somit hochwasserfrei. Bei Betrieb erfolgt eine automatische Dauerschmierung der Spindeln.

Zusätzlich zu den Hubschützen sind in zwei der vier Entwässerungskammern noch Sommerstau angeordnet worden. Diese Stau haben die Aufgabe, den Minimalwasserstand im Speicherbecken während des Sommers auf Höhen zwischen NN - 1,50 m und NN - 1,90 m zu begrenzen. Auf Nischenspüleinrichtungen und Vorrichtungen für die Eisfreihaltung bei den Verschlüssen ist verzichtet worden.

## 7.2 Lüttmoor Siel

Der rd. 860 ha große Salzwasserbiotop soll mit einem weitgehend regulierbaren Wasserstand und regelmäßigen Salzwasseraustausch betrieben werden. Als Ziel werden variable Wasserstände zwischen NN - 0,5 m und NN + 1,0 m angestrebt.

Das Salzwasser-Einlaßbauwerk ist das Lüttmoor Siel. Als Auslaß dient eine eigene Kammer im Holmer Siel. Beide Bauwerke können auch die jeweilige andere Funktion übernehmen.

Die hydraulische Leistung des Lüttmoor Siels und der Auslaßkammer im Holmer Siel sind aufeinander abgestimmt. Beide Kammern sind 6,0 m breit. So ergeben sich nach hydraulischen Berechnungen folgende Füll- bzw. Entleerungszeiten:

- Füllen des Salzwasserbiotops durch das Lüttmoor Siel von NN - 0,50 m bis NN + 0,50 in rd. 3,5 Tiden (rd.  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> Wasser)
- Leeren des Biotops durch das Holmer Siel von NN + 0,50 m bis NN - 0,50 m in rd. 3 Tiden.

Die Steuerung der Wasserstände erfolgt zentral vom Holmer Siel aus.

Wegen seiner besonderen Funktion als Ein- und Auslaßbauwerk erhält das Lüttmoor Siel zwei Hubschütze als erstes und zweites Deichsicherheitsorgan. Ihr Antrieb erfolgt über Doppelspindelantriebe mit automatischer Dauerschmierung.

Das Bauwerk ist flachgegründet worden. Es besteht im Deichbereich aus einer Sielröhre mit den Innenabmessungen von 6,0 × 3,55 m.

Die Ein- und Auslaufwände bestehen aus Winkelstützwänden aus Stahlbeton. Die zwischen den Winkelstützwänden liegende Sohlsicherung besteht aus verklammerten Steinschüttungen. Stärke und Gewicht der einzelnen Steine sind nach den zu erwartenden Geschwindigkeiten des aus- und einströmenden Wassers bemessen worden. Die Kornabstufungen des darunter angeordneten Filters sind so gewählt, daß kein Boden ausgespült werden kann.

## 7.3 Siel „Sönke-Nissen-Koog-Schleuse“

Das Einzugsgebiet, das durch die Sönke-Nissen-Koog-Schleuse entwässert wird, ist rd. 3000 ha groß.

Die bisherige Entwässerung erfolgte durch ein Siel rd. 2 km nördlich der Anbindung des

neuen Vordeiches an den Landesschutzdeich vor dem Sönke-Nissen-Koog. Der Neubau des Siels in Verbindung mit dem rd. 40 ha großen Speicherbecken ist kostengünstiger als das alte Siel im Rahmen der Deichverstärkung entsprechend umzubauen. Außerdem verhindert das Speicherbecken die bisher bei starken Niederschlägen auftretenden Überschwemmungen im Niederungsgebiet.

Das Speicherbecken ist Klei- und Bodenentnahme für die geplante Deichverstärkung vor dem Sönke-Nissen-Koog.

Das neue Außentief ist kürzer als das bisherige. Das Speicherbecken übernimmt zusätzlich die Funktion eines Spülbeckens, um das Außentief räumen zu können.

Im übrigen gelten die Konstruktionsprinzipien wie beim Holmer Siel.

## 8. Deichschluß in der Holmer Fähre

### 8.1 Allgemeines

Der Transportdamm, der angelehnt an den bestehenden Lorendamm nach Nordstrandischmoor gebaut worden ist, teilt die gesamte abgedeichte Fläche in zwei Teiltidebecken.

Beide Becken wurden bis zum Deichschluß durch zwei leistungsfähige Priele mit entsprechend großem Durchflußquerschnitt gefüllt und geleert.

Das Tidevolumen bei mittlerer Tide betrug für das nördliche Teilbecken rd. 3 Mio. m<sup>3</sup>, für das südliche rd. 33 Mio. m<sup>3</sup>. Der Deichschluß Süd übertraf – gemessen an dem abzuschließenden Tidevolumen – bei weitem alle bisherigen Deichschlüsse an der deutschen Küste.

### 8.2 Verschiedene Deichschlußverfahren

Im Rahmen einer Vordeichung stellt der Deichschluß die entscheidende Bauphase dar.

Mit fortschreitendem Deichbau erhöhen sich die Strömungsgeschwindigkeiten in der jeweils verbleibenden Deichschlußlücke. Die Deichschlußkonstruktion selbst, ihre Flanken und die Sohle müssen diesen Strömungskräften widerstehen. Bei den Deichschlußverfahren unterscheidet man den allmählichen (= stufenweisen) und den momentanen (= schlagartigen) Verbau.

Die Entscheidung hinsichtlich des anzuwendenden Deichschlußverfahrens im Bereich der Holmer Fähre ist mit Hilfe der niederländischen Ingenieurgesellschaft Haskoning/Rijkswaterstaat getroffen worden.

Die Ingenieurgesellschaft hatte

- zu untersuchen, welche Methoden der Abschließung aufgrund technischer Überlegungen in Frage kommen,
- Entwürfe für die Abschließungen mit Kostenanschlag anzufertigen,
- eine Risikoanalyse auszuarbeiten.

Der vertikal aufgebaute Steindamm (Methode IVc der Tab. 2) ist für den vorliegenden Fall die technisch und wirtschaftlich optimale Lösung. Sie ist schließlich ausgeschrieben und ausgeführt worden.

**Tabelle 2: Übersicht der Bewertungsergebnisse**  
 ++ = sehr günstig, + = günstig, -- = ungünstig, - = weniger günstig

Abschließungsmethoden	Hydraulik	Bodenmechanik	konstr. Gestaltung	Bewertungskriterien		
				Risiken in Durchführung	Kosten	Zeit
				Durchführung	Vorbereitung	Durchführung
I. momentane Abschließung	a) Schiebermethode (Brücke)	-	--	-	-	++
	b) Durchlaßcaisson	+ / ++	- / +	+	--	++
II. allmähliche horizontale Abschließung	a) Kistendamm	--	-	--	+	--
	b) Caissons	--	--	-	--	+
	c) Sand	++	++	- / --	++	+
	d) Steindamm	-	-	-	+	-
III. allmähliche vertikale Abschließung	a) Steindamm (Steintlader + Schw. Kran)	+	+	+	+	-
	b) Steindamm (Hilfsbrücke)	+	+	++	-	- / +
	c) Steindamm (Kabelbahn)	+	+	++	--	- / +
IV. Kombination der Abschließungen	a) Caissons mit hoher Schwelle (I <sub>b</sub> -II <sub>a</sub> )	--	-	-	--	+
	b) Durchlaßcaissons mit hoher Schwelle (III <sub>a</sub> -II <sub>a</sub> )	+	+	+	--	++
	c) Steindamm mit Steintlader u. Lkws (I <sub>a</sub> +II <sub>d</sub> )	+	+	+	+	-

### 8.3 Planungsvorgaben

#### 8.3.1 Entwässerung der Arlau- und Jelstromeinzugsgebiete

Als Folge der Deichschlußarbeiten wurde die Entwässerung des Arlau- und Jelstromgebietes kurzzeitig erschwert.

Bis zum Abschluß des allmählichen Verbaues der Holmer Fährre war vor dem alten Arlau-Siel mit einer Anhebung des Wasserstandes bei mittlerer Springtide bis auf NN + 0,70 m zu rechnen. Dieser Wasserstand ist höher als in der Arlau, so daß vorübergehend ausschließlich mit Hilfe des alten Schöpfwerkes entwässert werden mußte.

#### 8.3.2 Hydraulische Rahmenbedingungen

Die maßgebenden Belastungen für den Steindamm ergaben sich aus außergewöhnlichen Ereignissen mit großen Wasserstandsunterschieden zwischen Hoch- und Niedrigwasser.

Um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens extremer Sturmflutereignisse während der kritischen Bauphasen möglichst gering zu halten, mußte der Steindamm in der Zeit von April bis Juli gebaut werden.

Der Bemessung ist eine theoretisch höchste Sommersturmflut und eine besonders niedrige Sommertide bei Oststurm zugrundegelegt worden. Als Berechnungsgrundlage dienten Pegelaufzeichnungen, die am Pegel Holmer Fährre zwischen 1971 und 1980 in den Monaten April bis Oktober aufgezeichnet worden sind. Gewählt wurde ein Windstauereignis, das statistisch alle 25 Jahre einmal erreicht bzw. überschritten worden ist. Die Bemessungsturmflut ergab sich aus der Überlagerung des so ermittelten Windstaus von 2,10 m mit der mittleren Springtide mit einer Höhe von NN + 3,70 m.

Der maßgebende Niedrigwasserstand ergab sich aus der Überlagerung der mittleren Springtide mit einem um 80 cm abgesenkten TnW, das im Sommerhalbjahr bei Oststurm zu erwarten ist. Das entspricht einem Niedrigwasserstand von NN - 3,0 m.

Die zu berücksichtigende Wellenhöhe wird im wesentlichen bestimmt durch Wassertiefe, Streichlänge, Windgeschwindigkeit, Winddauer und Windrichtung. Für die Wassertiefe ist

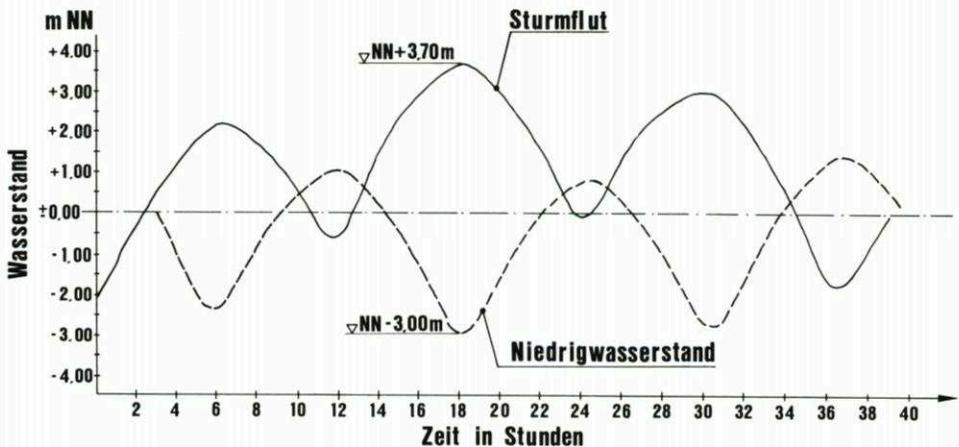


Abb. 15

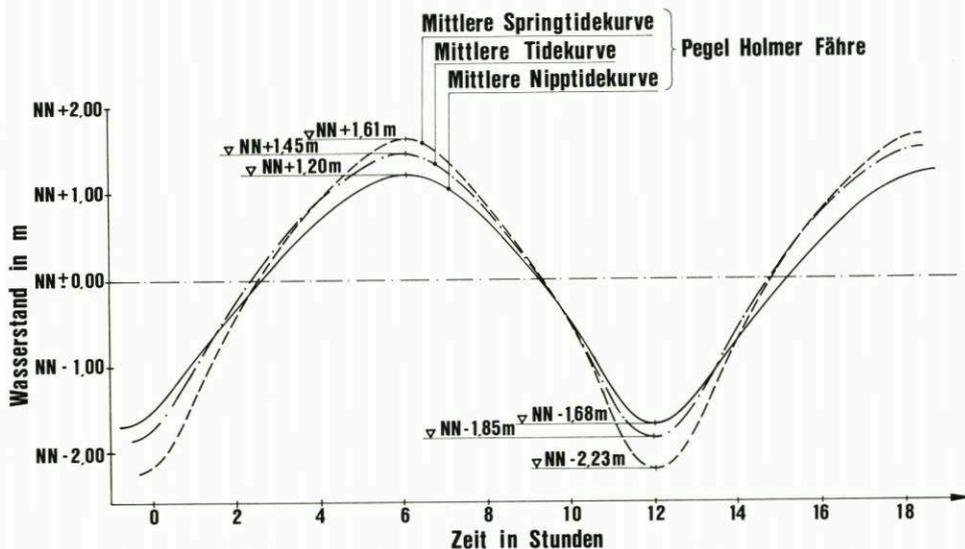


Abb. 16

eine mittlere Sohlenlage von NN - 1,75 m zugrunde gelegt worden. Außerdem waren folgende Beziehungen für die Berechnung der signifikanten Wellenhöhe maßgebend:

$$H \leq 0,4 \times (\text{HW} + 1,75) \text{ als Obergrenze}$$

$$H \leq 2,20 \text{ m}$$

$$H \leq 0,3 \times (\text{HW} + 1,75) \text{ als mittlere Wellenhöhe}$$

$$H \leq 1,65 \text{ m}$$

### 8.3.3 Bodenverhältnisse

Zur Beurteilung der Bodenbeschaffenheit im Bereich des Deichschlusses Süd sind umfassende Sondierungen und Bohrungen ausgeführt worden.

Die Standsicherheitsberechnungen des Steindammes ergaben bei einem Sicherheitsgrad  $\mu = 1,2$  eine erforderliche Böschungsneigung von 1:2 bis 1:4.

## 8.4 Bodenschutz

### 8.4.1 Größe und Bestandteile des Bodenschutzes

Die Einengung des Strömungsquerschnittes im Deichschlußbereich führt zu einer Erhöhung der Turbulenzen und Strömungsgeschwindigkeiten auf ein Mehrfaches der ursprünglichen Werte. Dadurch wird das bis dahin nahezu im Gleichgewicht stehende System von Strömungsverhältnissen und Sohlform nachhaltig gestört. Es entwickeln sich in den ungeschützten Bereichen der Sohle Erosionen (Kolke), die die Standsicherheit eines Steindammes gefährden können. Deshalb war ein entsprechender Bodenschutz erforderlich, der folgenden Anforderungen zu genügen hatte: Sanddichtheit, Stabilität gegenüber den Strömungskräften

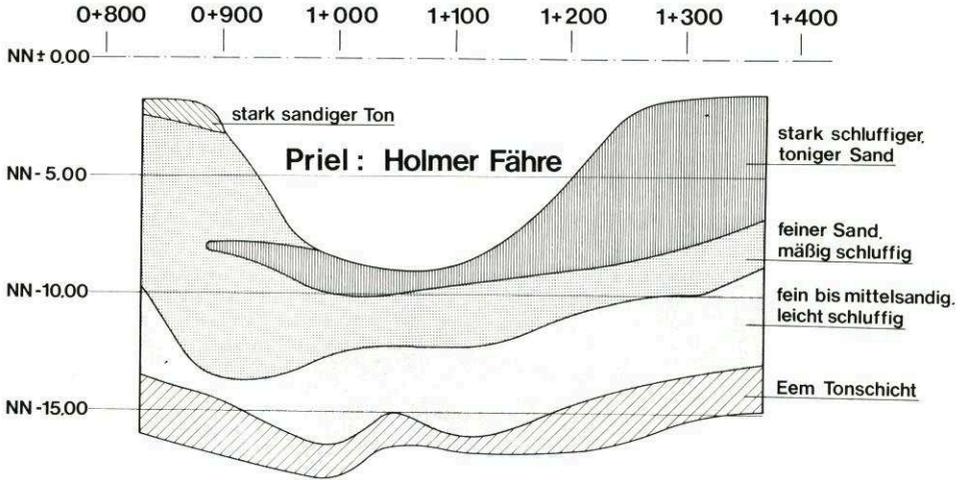


Abb. 17

(Steingröße), ausreichende Festigkeit gegenüber den Kräften, die während der Verlegung auftreten (Einschwimmen, Absenken), ausreichende Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit.

Gegenüber einem wasserundurchlässigen Bodenschutz ist eine „offene“ Filterkonstruktion technisch und wirtschaftlich vorteilhafter. Der Aufbau eines Mineralkornfilters entsprechend der Filterregel  $D_{50}:d_{50} = 6$  bis  $7$  ist zwar möglich, wegen der Einbauschwierigkeiten und der relativ großen Dicke aber unwirtschaftlich. Kostengünstiger ist es, die Sanddichtheit (mechanische Filterstabilität) mit einem entsprechend dimensionierten Kunststofffilter zu erreichen. Gegenüber den klassischen Sinkstücken aus Reisig ist das Gewebe bei niedrigeren Kosten sanddichter.

Die Weidenholzlage in einer Stärke von rd. 8 cm erfüllt mehrere Aufgaben. In Verbindung mit den drei Lagen Weidewürsten bewirkt sie den erforderlichen Auftrieb von rd.  $25 \text{ kg/m}^2$  für die Zeit, in der die Matte in Warteposition im Wasser liegt und für die Zeit des Einschwimmens. Zum anderen erhöht die Reisiglage die Lagestabilität der Matte während der Einbauphase und verhindert, daß sich die Matte verzieht oder an den Ecken und Seiten umschlägt. Eine weitere Aufgabe der Reisiglage besteht darin, daß sie bei der späteren Beschüttung mit Steinen von 60–300 kg – wobei Einzelsteine mit höherem Gewicht nicht auszuschließen sind – das Gewebe schützt.

Die Größe der Schüttsteine bestimmt sich aufgrund der berechneten Strömungsgeschwindigkeiten. Es sind zwei unterschiedliche Belastungszeiträume zu betrachten.

Für den Belastungsfall „Überwinterung“ (Zeitraum zwischen Fertigstellung der Sohlsicherung [1985] und Beginn des Steindammbaus [1987]) waren Steine mit einem Einzelgewicht von 10 bis 60 kg lagestabil.

Während des Einbaues des Steindammes (Bauzeit rd. 8 Wochen) ergaben sich in Abhängigkeit von der Höhenlage der Sohle und der Entfernung von der Achse des Steindammes erforderliche Steingewichte von 60 bis 300 kg, bzw. 1 bis 3 t.

Die erforderliche Länge einer Sohlsicherung bestimmt sich aus den erwarteten Strömungsverhältnissen (Geschwindigkeit und Turbulenz), aus der Dauer dieser Beanspruchung (Bauzeit des Steindammes) und der Bodenbeschaffenheit (besonders der Korngröße).

Der Sohlenschutz besteht aus zwei Mattenreihen, die an ihrem jeweiligen äußeren Rand mit aneinandergereihten Betonklötzen beschwert sind. Die einzelnen Matten weisen eine

Überlappung von 2,0 m auf. Am jeweiligen Außenrand der Matte liegt ein Betonrandbalken mit einem Gewicht von rd. 750 kg/m. Er setzt sich aus rd. 1,50 m langen Einzelbetonblöcken zusammen, die die Aufgabe haben, die Mattenränder auf der Sohle zu halten. Außerdem bewirken sie, daß sich die Matten in die sich ausbildende Kolke legen. Damit wird die Gefahr einer größeren Ausräumung der Kolkböschung verringert.

#### 8.4.2 Ausführung des Bodenschutzes

Die Sinkstücke von 120 m Länge und 30 m Breite sind unmittelbar südöstlich der Sielinsel auf einer etwa 0,5 ha großen aufgespülten Fläche hergestellt worden.

Die Randbanken wurden in einer besonderen Baugrube an der Matte befestigt und während des Einschwimmvorgangs von einer eigens dafür gebauten Schwimmkonstruktion getragen.

Ein Schlepper zog die Matte zur Einbaustelle, wo sie mit Hilfe eines Pontons und eines Steinstürzers in genaue Position gebracht wurde. Hatte die Matte die Sollposition erreicht, senkte ein Steinstürzer durch Beschüttung mit 150 kg/m<sup>2</sup> Geröll die schwimmende Matte ab.

Ein Absenkvorgang dauerte etwa 45 Minuten, das vorangehende Einmessen der schwimmenden Geräte etwa 1 Stunde. Entscheidend für das genaue Verlegen war die Positionierung des Pontons und des Steinstürzers. Die Feinpositionierung des Pontons erfolgte über vier Ankerwinden. Der Steinstürzer als zweiter Festpunkt konnte sich mit Bug- und Heckschottel selbst in genaue Position bringen und hielt sich mit Hilfe von sechs Ankerwinden in den Sollpositionen über der abzusenkenden Matte.

Der Bodenschutz erstreckte sich über einen tiefen Bereich, in dem das Absenken zu jeder Tidezeit stattfinden konnte, und über einen Bereich in der Wasserwechselzone, wo nur bei Stromkenterung zur Hochwasserzeit eine Matte abgesenkt werden konnte. Die Leistung im tiefen Bereich betrug im Mittel eine Matte pro Tag. Im flachen Bereich war die Leistung geringer, und es bestand die Gefahr der Berührung zwischen Steinstürzer und Matte.

Die Beanspruchung der Sohlensicherung, insbesondere durch die hohen Fließgeschwindigkeiten während der Deichschlußphase, erforderte eine zusätzliche Beschüttung der Sinkstücke mit 1 t/m<sup>2</sup> (Steingewicht 60–300 kg/Stein). Die Beschüttung erfolgte kontinuierlich vom selbstfahrenden Steinstürzer.

#### 8.4.3 Kontrollmessung der verlegten Matten und der Steinschüttungen

Die Einmessung der verlegten Matte und der Beschüttung teilte sich in die Landvermessung für die Randbereiche und die Seevermessung im Mittelbereich.

Die Landvermessung erfolgte durch tachymetrische Aufnahme und durch optische Kontrollen. Im bis zu 8 m tiefen Mittelbereich wurde ein Vermessungsschiff in Verbindung mit einer Polarortung und einem Echographen eingesetzt. Diese Arbeit übernahm ein hydrographisches Vermessungsbüro.

Als Basisstation wurde eine Totalstation mit V-24 Schnittstelle im örtlichen System aufgebaut und orientiert. An das Instrument war ein Telemetrie-Sender angeschlossen, der im 0,4-Sekunden-Takt die gemessenen Winkel- und Streckenwerte an den Telemetrie-Empfänger an Bord des Schiffes übertrug. Ein Calculator besorgte die Weiterverarbeitung zu Koordina-

## Absenkvorgang im Schnitt

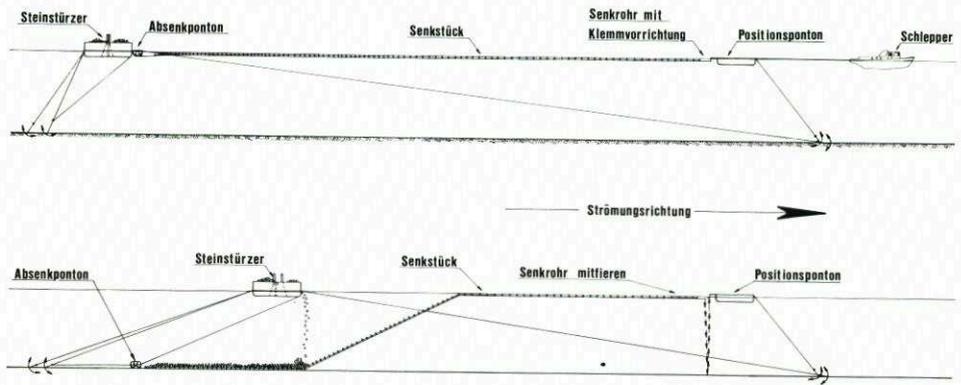


Abb. 18

ten und die Weitergabe an einen Plotter, auf dem das Meßgebiet in der Soll-darstellung im Format DIN A 3 bereits eingespannt war.

Die Verbindung zum Echographen stellten Eventmarken her. Beim Echolot kam ein eng bündelnder 210 kHz Schwinger zum Einsatz.

Mit diesen Hilfsmitteln wurden die jeweils kurz zuvor verlegten Matten und später auch die Steinschüttungen in den geforderten Profilen abgefahren. Die Ergebnisse der Mattenvermessung wurden in einem Gesamtplan dargestellt, wobei den Überlappungen das besondere Augenmerk galt. Bei der Steinschüttung war primär der Höhenvergleich der Oberkante und des Urgeländes wichtig. Die abgestufte farbige Darstellung der Überdeckung im Lageplan ermöglichte es, Schwachstellen ggfs. zu erkennen und entsprechende Nacharbeiten zu veranlassen.

Das angewandte Verfahren hat sich bewährt. Die Echolotung hat zudem zusätzliche Informationen über beschädigte Sinkstücke ergeben, die dann unverzüglich saniert werden konnten. Das Verfahren selbst ist durch Taucher und im flachen Bereich visuell laufend kontrolliert worden.

### 8.5 Antransport und Lagerung des Steinmaterials

Für die Deichschlußarbeiten waren rd. 400 000 t Steinmaterial zu liefern. Das Steinmaterial kam aus einem norwegischen Steinbruch in der Nähe von Bergen (Eikefet) und einem schwedischen Steinbruch in der Nähe von Göteborg (Thorshamskrossen). Es handelt sich um Gneis, der die Forderungen der Technischen Lieferbedingungen für Wasserbausteine erfüllt.

Die Steine wurden auf einem 20 000-t-Ponton mit den Abmessungen 120 × 30 m und max. Tiefgang von rd. 6,50 m angeliefert. Für diesen Antransport waren mehrere bauliche Maßnahmen erforderlich:

1. Die Holmer Fähre war in Teilbereichen zu vertiefen (Baggermenge: rd. 15 000 m<sup>3</sup>).
2. Ein Teil des Steinmaterials mußte an der bestehenden Spundwand-Kaje im Nordwesten der Sielbauinsel umgeschlagen werden, um Wartezeiten des Pontons und des 8000 PS starken Hochseeschleppers (Tageskosten rd. 20 000,- DM) zu verringern. Dazu war es erforder-

lich, vor der Kaje eine nahezu ebene Sohle auf NN - 4,50 m herzustellen, damit der Ponton zum Entladen auf die Sohle abgesenkt werden konnte und somit verankert war. Ein anderer Teil der Steine konnte am Ankerplatz in der Holmer Fähr direkt auf Steinstürzer umgeschlagen und dann eingebaut werden.

Das Steinmaterial wurde von einem auf dem Ponton stationierten Hydraulikbagger (Gewicht 85 t mit schmalem Laufwerk, Reichweite 12 m) direkt auf die Steinstürzer oder auf Lastkraftwagen und Muldenkipper umgeladen. Der Schürfkübel des Hydraulikbaggers wies einen Inhalt von  $4,5 \text{ m}^3$  auf. Die mittlere Stundenleistung im theoretisch ständigen Einsatz lag bei 500 bis 600 t/h. Die Vorgabe für die Dauer der Entladung eines Pontons betrug 72 Stunden.

Das Material für den Steindamm mußte vor Beginn der Abschließungsarbeiten vollständig angeliefert sein, um einen kontinuierlichen Einbau zu gewährleisten. Die Steine konnten auf einer rd. 10 ha großen Fläche südöstlich der Bauinsel zwischengelagert und nach verschiedenen Größen und Gewichten sortiert werden.

### 8.6 Bau des Steindammes

Den Empfehlungen des Gutachtens entsprechend wurde der Steindamm lagenweise in sieben Schichten von im Mittel 1,50 m Dicke aufgebaut. Die Innen- und Außenböschung erhielt eine einheitliche Neigung von 1:2. Dies erforderte im tiefen Bereich eine maximale Breite des Dammfußes von rd. 50 m. Die Kronenbreite der obersten Schicht betrug 5 m.

Für das gesamte Bauwerk wurden rd. 150 000 t Steine benötigt. Der lagenweise Aufbau des Steindammes führte zu einer kontinuierlichen Verkleinerung des Durchflußquerschnittes und damit zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeiten, für die bis zu 3,2 m/s bei mittlerer Tide und bis zu 4,5 m/s bei einer Sommersturmflut errechnet wurden. Auf diesen Grundlagen ist das erforderliche Einzelsteingewicht ermittelt worden: für die unteren drei Lagen (bis NN - 3,25 m) 60 - 300 kg (60 000 t), für die oberen vier Lagen 1 - 3 t (90 000 t).

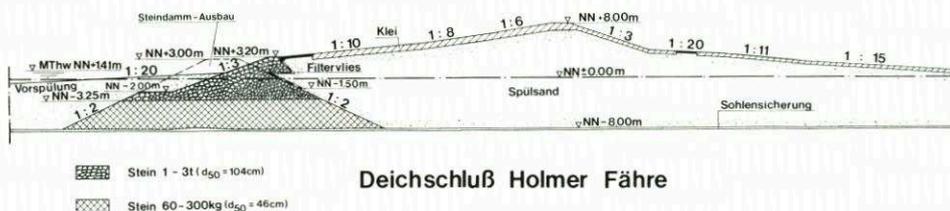


Abb. 19

Im April 1987 begann der Bau des Steindammes. Die Schüttung der Lagen 1 bis 4 erfolgte im Naßbetrieb durch schwimmendes Gerät. Im Steinlager südlich der Bauinsel wurden die Steine mit einem Hydraulikbagger (Schaufelinhalt  $4,5 \text{ m}^3$ , 450 PS) auf Muldenkipper mit einer Tragfähigkeit von 25 bzw. 45 t geladen und von dort auf das schwimmende Gerät transportiert. Bei Einsatz von vier Fahrzeugen lag die durchschnittliche Transportleistung bei 550 t/ Stunde.

Der Naßeinbau erfolgte mit einem Steinstürzer und einer Spaltschute, die beide keinen eigenen Antrieb besaßen. Ihre Tragfähigkeit betrug jeweils rd. 500 t. Die unterschiedlichen Entladungssysteme der beiden Fahrzeuge wurden gewählt, um eine möglichst ebene Schüttungsoberkante zu erhalten. Bei Entladung der Spaltschute entsteht mittig unter der Schiffs-

einheit eine etwa 5 m breite und 1,5 m hohe Schüttung von bis zu 27 m Länge. Beim Entladungsvorgang des Steinstürzers ergeben sich dagegen jeweils zwei Schüttungen beidseitig neben der Schiffseinheit von je 2,5 m Breite und 1,5 m Höhe.

Die abwechselnde Entladung der Transportsysteme an der genau festgelegten Position wurde durch einen eigens dafür hergerichteten Ponton erreicht, der über insgesamt sechs Ankerseile gehalten wurde und mit Hilfe von Hydraulikwinden manövrierbar war.

Die Position des Pontons konnte über eine Laserortung auf 0,5 m genau eingemessen werden.

Die Schütthöhe wurde vom Ponton aus mit Hilfe eines verschiebbaren Echolotes laufend kontrolliert. Wurden Fehlbereiche festgestellt, konnte gezielt nachgeschüttet werden.

Parallel zum Naßeinbau wurden 25 000 t Steine der Gewichtsklasse 1 bis 3 im Fährbetrieb vom Steinlager Süd auf die Nordseite der Deichschlußöffnung gebracht und dort zwischengelagert. Diese Steine waren für den Trockeneinbau von der Nordseite her bestimmt, um den Stromstrich von den erosionsanfälligen Bereichen im flacheren nördlichen Teil der Deichschlußlücke in den tieferen Teil der Holmer Fähre abzulenken. Als Fähre diente ein von Schleppern gezogener Ponton, auf dem jeweils fünf Muldenkipper mit einem Fassungsvermögen von je 30 t übergesetzt werden konnten.

### Steindamm Holmer Fähre

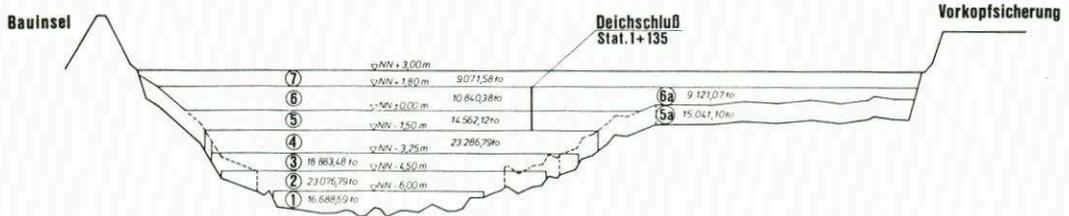


Abb. 20

Der Einbau der fünften Steindammschicht erfolgte zunächst von Norden aus mit insgesamt vier Muldenkippern. Als Schüttmaterial für die 5. Lage dienten Steine von 1 bis 3 t Gewicht. Die Muldenkipper fuhren rückwärts auf den Steindamm und kippten ihre Ladung vor Kopf ab. Ein Polypbagger verteilte die Schüttung anschließend auf die gesamte Steindammbreite.

Um den Muldenkippern das Fahren auf dem Steindamm zu ermöglichen, mußte zusätzlich Verzwickungsmaterial eingebracht und gleichmäßig auf der Krone verteilt werden. Das Verzwickungsmaterial bestand aus Deckwerksteinen und Geröll. Die Einbauzeiten verkürzten sich durch den allmählichen Anstieg des Tideniedrigwassers auf der Binnenseite von anfangs 6 h pro Tide auf etwa 2 h bei Schließung der fünften Schicht.

Der Einbau der sechsten Steindammlage bis zur Höhe von etwa MThw + 30 cm war tideunabhängiger, so daß die durchschnittliche Leistung auf 750 t/h anstieg. Als Verzwickungsmaterial konnte in diesem Höhenbereich auch Sand verwendet werden, weil die Dammkrone nicht mehr überströmt wurde.

Am 29. 5. 1987, gegen 17.00 Uhr, war die sechste, für das Gelingen des Deichschlusses entscheidende Schicht eingebaut.

An den folgenden Tagen wurde der Damm durch den Einbau der siebten Schicht mit rd. 10 000 t Steinen auf eine Kronenhöhe von NN + 3,00 m gebracht und damit auch gegen die zugrundegelegte Bemessungsturmflut gesichert.

Da der Steindamm durchströmt werden konnte, blieb auf der Binnenseite ein Tidehub von etwa 30 cm erhalten, was einem Tidevolumen von rd. 4 Mio. m<sup>3</sup> entspricht.

Erst durch die anschließende Sandhinterspülung für den eigentlichen Deichkörper wurde die Durchströmung allmählich vermindert und schließlich ganz unterbunden. Der Steindamm übernahm damit die Funktion des Deckwerks für den neuen Deich.

### 8.7 Kontrollmessungen während der Deichschlußphase

Die Deichschlußarbeiten wurden von einem umfangreichen Meßprogramm begleitet, mit dessen Hilfe hydraulische und morphologische Veränderungen während der Einengung des Strömungsquerschnitts ermittelt wurden. Die Messungen begannen bereits 1982. In regelmäßigen Abständen sind Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserstände aufgezeichnet und Tiefenpeilungen im Bereich der späteren Deichschlußstelle vorgenommen worden.

Zu Beginn der Deichschlußarbeiten wurden weitere Meßgeräte installiert, so daß während der Deichschlußarbeiten kontinuierliche Wasserstandsmessungen an insgesamt fünf Pegeln land- und seewärts des Steindammes sowie Dauerstrommessungen an zwei Meßpfählen am westlichen und östlichen Rand des Bodenschutzes sowie vom Positionierungsponton aus im Dammbereich durchgeführt werden konnten (Abb. 21).

Darüber hinaus wurden jeweils nach Fertigstellung einer Steinschicht Strömungsmessungen mit Schwimmkörpern vorgenommen, um die Strömungsverteilung großflächig beurteilen zu können.

Der Beobachtung der Kolkentwicklung im ungesicherten Randbereich der Bodenschuttmatten dienten Tiefenmessungen von einem Meßschiff aus, das mit Polarortung und Echograph ausgerüstet war. Außerdem wurden in den kolkgefährdeten Bereichen in einem engen Raster von 10 bis 20 m Abstand Längs- und Querprofile aufgenommen. Nach Fertigstellung der dritten Schicht, als sich Kolkentwicklungen abzeichneten, wurden diese Messungen täglich ausgeführt und unmittelbar ausgewertet. Auf diese Weise lagen in der entscheidenden Deichschlußphase stets genaue Kenntnisse über die Kolkentwicklung vor.

Die Wasserstände auf der Binnenseite veränderten sich – wie vorausgerechnet – im wesentlichen erst beim Einbau der letzten vier Steindammlagen. Die größten Wasserstandsunterschiede zwischen Binnen- und Außenpegel traten bei ablaufendem Wasser auf. Während des Einbaus der sechsten Lage wurde ein Maximalgefälle von etwa 2,2 m registriert.

In der Deichschlußlücke entstanden hohe Strömungsgeschwindigkeiten, die sich im unbefestigten Randbereich des Bodenschutzes jedoch auf weniger als 2 m/s verringerten. Bei den morphologischen Veränderungen im Bereich der Deichschlußlücke sind zwei Zeitabschnitte zu unterscheiden:

1. Die Zeit nach der Fertigstellung der Bauinsel und des Deiches mit Vorkopfsicherung (1985) bis zum Beginn des Steindammbaus (1987).
2. Die eigentliche Deichschlußphase vom 13. April bis zum 29. Mai 1987.

Die Einengung des Strömungsquerschnittes in der ersten Phase führte zu einer Verlagerung der tiefen Bereiche der Holmer Fähre nach Süden. Stellenweise traten Sohlenerosionen von bis zu 4,5 m Tiefe an der Westseite und von rd. 3 m Tiefe an der Ostseite des Bodenschutzes auf. Der Erosionsbeginn lag jedoch auf beiden Seiten 40–60 m vom Mattenrand entfernt.

Während der Aufschüttung des Steindammes konzentrierte sich die Kolkentwicklung auf die Westseite. Kolke von mehr als 8 m Tiefe im unmittelbaren Randbereich der Kolkenschutzmatte hätten die Standsicherheit des Steindammes gefährdet. Die tatsächliche Kolkentwicklung blieb aber besonders auf der Binnenseite deutlich geringer.

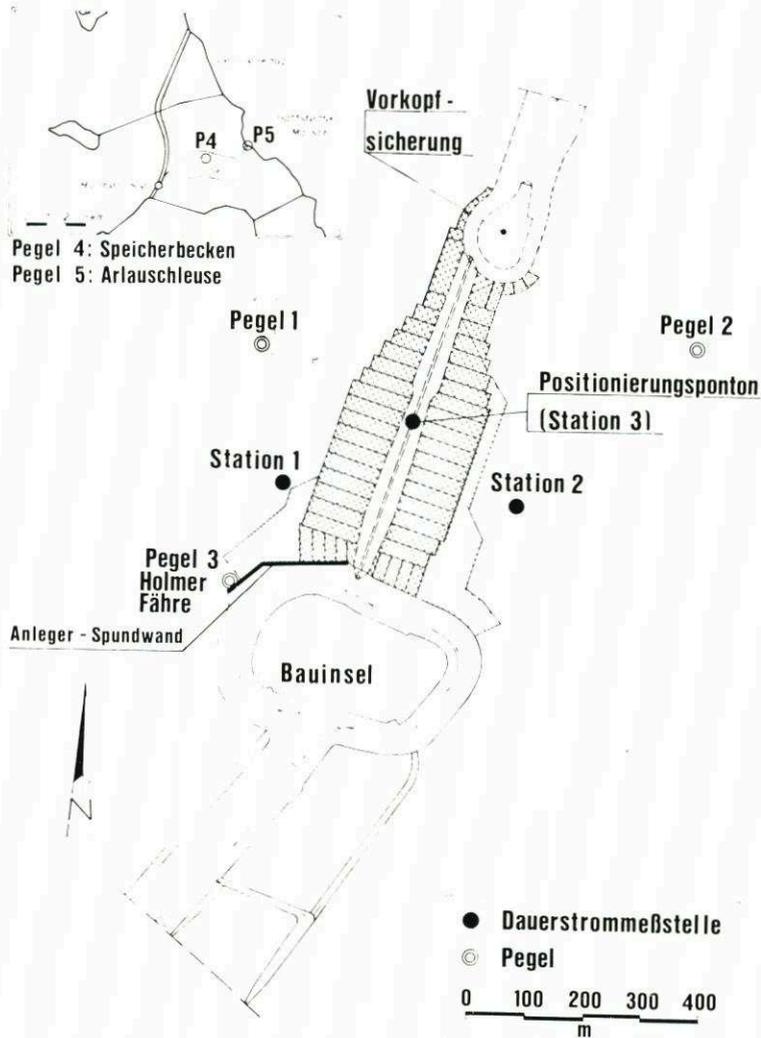


Abb. 21

Die größten Sohlenerosionen traten jeweils kurz vor Schließung der einzelnen Stein-dammschichten, insbesondere der oberen Schichten, auf.

Am Beispiel eines Meßprofils südlich des tieferen Bereichs der Holmer Fähre werden die starken Sohlveränderungen deutlich. Innerhalb von vier Tagen (9. 5. bis 13. 5.) entstanden auf einer Länge von 40 m Auskolkungen von mehr als 4 m Tiefe.

Durch gezielte Lenkung des Baufortschritts von Norden bzw. von Süden her konnte eine Verlagerung des Hauptstromstrichs in den tiefen Bereich der Holmer Fähre und damit eine Verringerung der Erosion erreicht werden.

Eine detaillierte Auswertung der Meßergebnisse wird z.Z. im Hinblick auf künftige vergleichbare Baumaßnahmen vorgenommen. Darin sollen die hydraulischen Verhältnisse und die Kolkentwicklung in Abhängigkeit vom Baufortschritt dargestellt und ein Vergleich mit den im Gutachten vorhergesagten Verhältnissen vorgenommen werden.

## 9. Schriftenverzeichnis

- VAN AALST, W.: The Closure of Tidal Basins. Delft University Press, 1984.
- AUSSCHUß „KÜSTENSCHUTZWERKE“ DER DGEG UND DER HTG: Empfehlungen für die Ausführung von Küstenschutzwerken – EAK 1981. Die Küste, H. 36 1981.
- BRÖSSKAMP, K.-H. u. a.: Seedeichbau – Theorie und Praxis. Vereinigung der Naßbaggerunternehmen e. V. 1986.
- DREBES, H.: Untersuchungen über die Bemessungsgrundlagen tideabhängiger Entwässerungssysteme. Dissertation, 1972.
- HASKONING/RIJKSWATERSTAAT: Projekt Vordeichung Hattstedter Marsch – Deichschlußuntersuchungen. 1984 (unveröff.).
- KNISS, H. G.: Bemessung von Schüttstein-Deckwerken im Verkehrswasserbau. Teil 1: Lose Steinschüttungen. Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau Nr. 42, 1977.
- KNOP, FRIEDRICH: Untersuchungen über Gezeitenbewegung und morphologische Veränderungen im nordfriesischen Wattgebiet als Vorarbeiten für Dammbauten. Mitt. Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, H. 1961/1.
- LORENZEN, Johann M.: Gedanken zur Generalplanung im nordfriesischen Wattenmeer nach dem Manuskript von 1940. Die Küste, Jahrgang 5, Doppelheft, 1956.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: Generalplan „Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein“, Fortschreibung 1986.
- MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN: Gutachten zur geplanten Vordeichung der Nordstrander Bucht. Schriftenreihe der Landesregierung Schleswig-Holstein, H. 12, 1981.
- PETERSEN, Marcus: Der Heverstrom – Schicksalsstrom Nordfrieslands. Nordfriesisches Jahrbuch 1987.
- RODLOFF, W.: Über Wattwasserläufe. Mitt. des Franzius-Instituts der TU Hannover, H. 34, 1970.
- SAGGAU, W. u. STADELMANN, R.: Die Vordeichung Hattstedter Marsch, Bild-/Text-Dokumentation. Oktober 1988.
- ZANKE, M.: Grundlagen der Sedimentbewegung. Springer Verlag, 1982.