

Ein neues Verfahren zum Verbau von Tideflüssen

Von Hans-Gerhard Knieß

Summary

The main channel of the Eider river in Northern Germany was the final part to be crossed to complete a barrage across the estuary. For the closure of the gap measuring 600 metres a new method was used. In principle, the cross section of the channel was gradually reduced by pumping sand in between two permeable steel walls crossing the gap. Model tests and nature measurements preceded and accompanied the operation, confirming the suitability of the method for closing tidal rivers.

Der Verbau von Tideflüssen ist ein risikoreiches Unternehmen, da der Tidestrom periodisch seine Richtung, seine Geschwindigkeit und seinen Wasserstand ändert. Bei dem letzten wesentlichen Abschnitt der Baumaßnahme Eiderabdämmung wurde ein neues Verfahren zum Verbau von Tideflüssen entwickelt und erfolgreich angewendet. Im Gegensatz zu sonst üblichen Verfahren wurde dabei die Hauptstromrinne der Eider, der Purrenstrom, nur durch Aufspülen von Sand unter dem Schutz von durchlässigen Pfahlwänden geschlossen.

1. Baufeld

Etwa auf halbem Weg zwischen der Elbemündung und der dänischen Grenze mündet die Eider in die Nordsee. Die Eider bildet den wichtigsten Vorfluter für die Niederungsgebiete von Schleswig-Holstein. Ihr Einzugsgebiet beträgt 2000 km². Von 1967 bis 1973 wurde die Mündung der Eider durch einen 5 km langen Seedeich mit einem 200 m weiten Siel abgedämmt, um einen besseren Schutz gegen Sturmfluten sowie günstigere Entwässerungs- und Schifffahrtsverhältnisse zu erhalten.

Im Sommer 1972 sollte der Purrenstrom südlich des bereits fertigen Sperrwerks verbaut werden. Das geöffnete und frei durchströmbare Siel ergab in der zu verbauenden Stromrinne mit Tiefen bis NN — 10 m zunächst keine merkliche Entlastung, so daß dort unverändert Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 3 m/s eintraten. Der ein- und ausschwingende Tidestrom mußte mit dem Verbau des Purrenstroms in seinen neuen Verlauf gezwungen werden.

Das Tidevolumen betrug 45 Mio. m³ mit einem durchschnittlichen Tidehub von 3,20 m. Boden und Untergrund bestehen aus schluffigem Feinsand mit eingelagerten Kleinschichten.

2. Verfahren

Für den Verbau des Purrenstroms war zunächst ein bei ähnlichen Projekten oft angewandtes Verfahren vorgesehen worden: zwei Grundswellen aus Schüttsteinen auf zuvor abgesenkten Sinkstücken sollten den Stromquerschnitt von der Sohle her einengen, so daß das Siel schrittweise mehr beaufschlagt und der Tidestrom umgelenkt werden konnte. Zwischen den beiden Grundswellen sollte der eigentliche Deichkörper aus Spülboden aufgebaut werden. Die wesentlichen Nachteile dieses Verfahrens sind:

1. Beschaffung, Transport, Lagerung und Einbau großer Mengen von Verbaumaterial (Schüttsteine, Sinkstücke) innerhalb möglichst kurzer Zeit,
2. Schlechte Anpassungsmöglichkeit des Verbaublaufs an mögliche Sohlenerosion während des Verbaues und
3. Abhängigkeit des Bauablaufs von Tide, Seegang und Wetter.

In Anbetracht dieser Nachteile üblicher Verbaufverfahren, der begrenzten Bauzeit und der labilen Bodenverhältnisse im Wattbereich wurde in Zusammenarbeit von Auftraggeber und Auftragnehmer ein neues Verbaufverfahren entwickelt, bei dem der Stromquerschnitt mit Sand, bei gleichzeitigem Einsatz von Schutzeinrichtungen, aufgespült werden sollte.

Lösung

Im ersten Schritt wurden die Hauptmerkmale des Bauverfahrens erarbeitet: Der Stromquerschnitt sollte mit zwei durchlässigen Pfahlwänden und darin eingeschobenen Lochtafeln schrittweise von der Sohle und den Ufern her verbaut werden, so daß sich einerseits zwischen den Pfahlwänden eingespülter Sand bei geschwächtem Tidestrom ab-

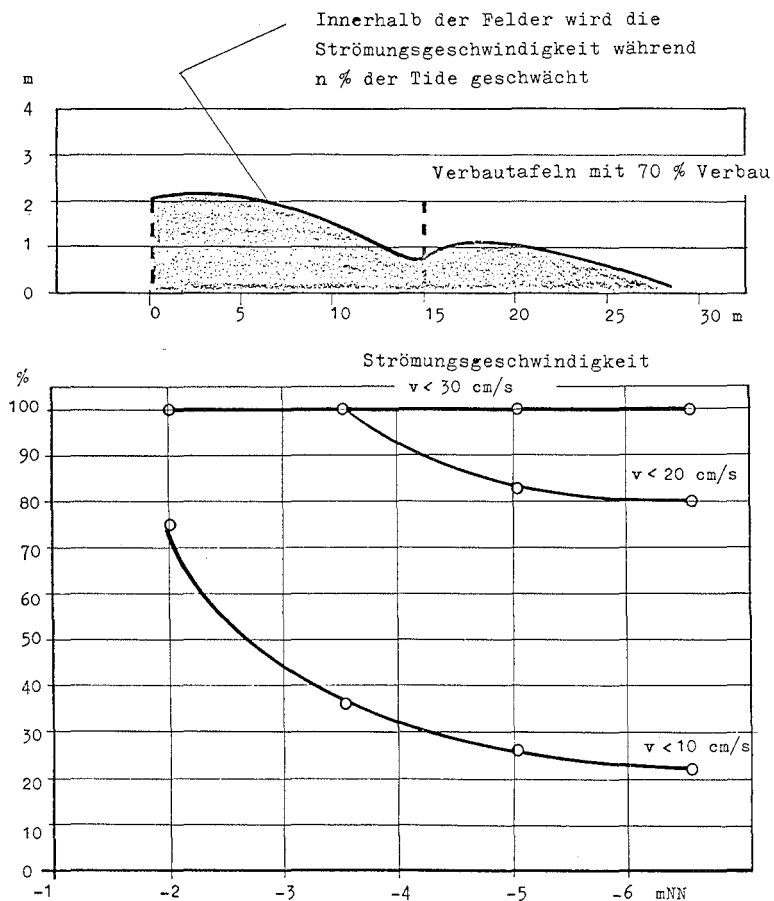


Abb. 1. Geschwindigkeitsverteilung bei Einsatz von 2 Pfahlwänden

lagern konnte, aber andererseits die Belastung der Pfahlwände durch Wasseraufstau, Strömungsdruck und Seegang nur so groß wurde, daß sich eine wirtschaftliche Verbaukonstruktion erzielen ließ.

Im zweiten Schritt wurden die wichtigsten Konstruktionsmaße der vorgesehenen Pfahlwände im *Franzius-Institut* der TU Hannover im Modell untersucht: Abstand der Pfahlwände, Lochanteil der Verbaufafeln, Verbaufolge.

Um einen möglichst kontinuierlichen Bauablauf zu schaffen, sollte der Verbau bei allen zu erwartenden Tide- und Seegangsverhältnissen durchgeführt werden, so daß stabile und ausgedehnte Abschirmbereiche beiderseits der Pfahlwände anzustreben waren.

Das Bild 1 zeigt, in zwei Diagrammen gerafft, das Versuchsergebnis. Bei einem optimalen Abstand beider Pfahlwände von 15 bis 20 m und einem optimalen Lochanteil von 20 bis 30 % bildet sich der dargestellte Abschirmbereich aus, wobei die Lochtafeln 2 m oberhalb der jeweils vorhandenen Sohle enden. Die Schwächung des Tidestroms innerhalb des angegebenen Abschirmbereiches, dessen Grenze mit der 0,30-m/s-Linie angenommen wurde, ist abhängig von der Verbauhöhe, d. h. von der Höhenlage der geschaffenen Sohle innerhalb der Pfahlwände. Die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Abschirmbereiches nehmen mit wachsender Verbauhöhe zu, sie sind jedoch auch bei einer Verbauhöhe von NN - 2 m noch während der gesamten Tidedauer kleiner als die Grenzgeschwindigkeit 0,30 m/s. Dieses bedeutet, daß eine kontinuierliche Ablagerung des eingespülten Bodens während der gesamten Tidedauer zu erwarten war, sofern der Boden unmittelbar sohlennah in die Abschirmbereiche gespült wurde.

3. V e r b a u

Unter Berücksichtigung der ermittelten Konstruktionsmerkmale wurden die durchlässigen Pfahlwände in einem Abstand von 16 m und die Lochtafeln mit einem Lochanteil von 20 % vorgesehen. Zur konstruktiven Ausbildung wurde eine Belastung von 1 Mp/m² für Wasseraufstau, Strömungsdruck (3 m/s) und Wellenbelastung angesetzt.

In einem Abstand von 7 m wurden Stahlträger (PSP 600 LuS) durch den Verbaquerschnitt gerammt und mit Querriegeln zu Halbrahmen verbunden. Das Bild 2 zeigt in schematischer Darstellung Aufbau und Ablauf des Verbaues. Auf den Halbrahmen wurden die zentrale Spülrohrleitung und die Fahrbahnen für Portalkräne sowie für zwei Spülwagen angeordnet. Die Lochtafeln wurden aus leichten Spundwandprofilen gebildet, in die im Lieferwerk Löcher von 10 cm \varnothing gestanzt worden waren. Die gelochten Profile wurden zu 7 × 2 m großen Tafeln zusammengezogen.

Der Spülboden wurde von einem Saugbagger westlich der Deichlücke aus Tiefen zwischen 30 und 40 m unter dem Wasserspiegel entnommen, durch eine Rohrleitung zum Verbaugerüst transportiert und dort über jeweils einen der beiden Spülwagen über Auslaßrohre sohlennah zwischen die Pfahlwände gespült. In Anlehnung an die Modellversuche wurden der Einbau der Lochtafeln und das Einspülen von Sand dem Baufortschritt so angeglichen, daß ein gleichmäßiger und kontinuierlicher Verbau des Querschnitts von der Sohle und den Ufern her erreicht werden konnte. Der unmittelbar an die Sohle gebrachte Spülboden hatte eine durchschnittliche Feststoffkonzentration von 30 %, so daß eine Förderleistung von 1000 m³/h Feststoff erreicht werden konnte. Der verwendete Sand bestand im wesentlichen aus Feinsand mit einem mittleren Korndurchmesser von 0,2 mm.

Während des Verbaues wurden in regelmäßigen Abständen Peilungen und Strö-

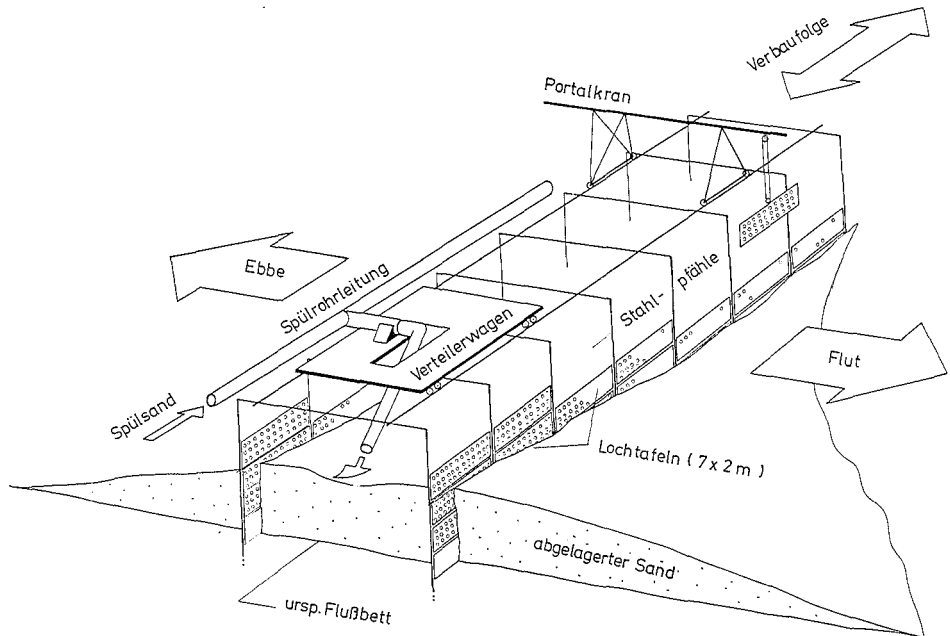


Abb. 2. Schematische Darstellung des Verbaues

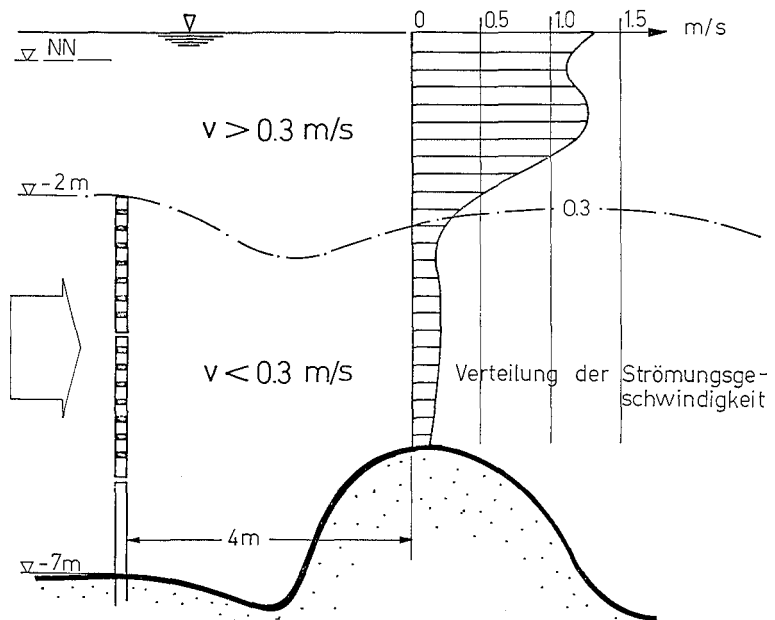


Abb. 3. Verteilung der Strömungsgeschwindigkeit hinter Lochtafeln

mungsmessungen durchgeführt, mit denen sich der unter Wasser ablaufende Bauvorgang beobachten und steuern ließ.

Ein Beispiel der Strömungsmessungen ist in Bild 3 dargestellt. Es zeigt die Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten hinter kurz vorher eingebauten Lochtafeln. Deutlich ist die Abschirmwirkung der Lochtafeln zu erkennen. In unmittelbarer Nähe der Lochtafeln bildeten sich bis zu 2 m tiefe Kolke, die auf örtlich große Turbulenzen schließen ließen, die sich jedoch auf den Verlauf der daran anschließenden Unterwasserböschungen innerhalb der ausgedehnten Abschirmbereiche nicht merklich auswirkten. Der Verlauf der Unterwasserböschungen ist mit zwei Zustandsaufnahmen in Bild 4 dargestellt. Die Querschnitte bei Verbauhöhen von 3 und 6 m über der ursprünglichen Sohle von NN — 10 m zeigten außerhalb des Kolkbereichs an den Lochtafeln einen stetigen Böschungsverlauf beiderseits der Pfahlwände. Bei größerer Verbauhöhe werden die Kolkbereiche gleichfalls größer und die Böschungen steiler. Die zum Vergleich angegebenen Querschnitte, die sich aus den nach Modellversuchen gewonnenen Abschirmbereichen herleiten lassen, zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen Modell- und Naturzustand.

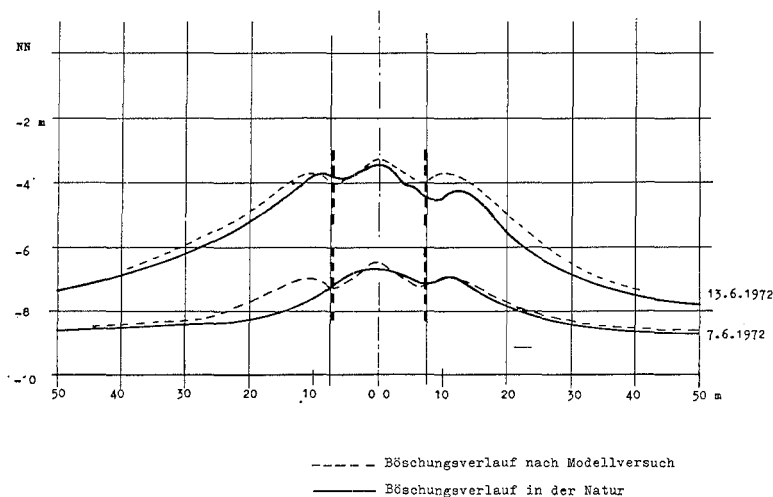


Abb. 4. Verlauf der Unterwasser-Böschung

Die Aufeinanderfolge wöchentlicher Kontrollpeilungen zeigt Bild 5 für einen repräsentativen Querschnitt. Die Neigung der UW-Böschungen veränderte sich mit der Verbauhöhe innerhalb der beiden Pfahlwände, so daß bei nahezu gleichmäßigem Verbaufortschritt innerhalb der Abschirmbereiche verschieden intensive Sandablagerung stattfand. Die steilsten Böschungen und somit die größten Sandverluste sind kurz vor Erreichen der MTnw-Linie festzustellen. Die dargestellten Peilungen zeigen ferner einen unterschiedlichen Böschungsverlauf auf der Binnen- und Seeseite. Die Böschungen auf der dem Flutstrom zugewandten Seite (Seeseite) sind durchweg steiler als die auf der Binnenseite.

An der Veränderung der mittleren Neigungen der Unterwasserböschungen bis zu 50 m beiderseits der Pfahlwände ist die Ablagerungstendenz des eingespülten Bodens in Abhängigkeit von der jeweils erreichten Verbauhöhe und der Tiefe des betrachteten Böschungsbereichs zu erkennen. In Bild 6 sind die Böschungsneigungen für Tiefenbereiche von jeweils 2 m für die Binnen- und Seeseite in Abhängigkeit von der Verbauhöhe dargestellt. Als grundsätzliche Tendenz ist festzustellen, daß nach dem Einsetzen einer Lochtafelreihe

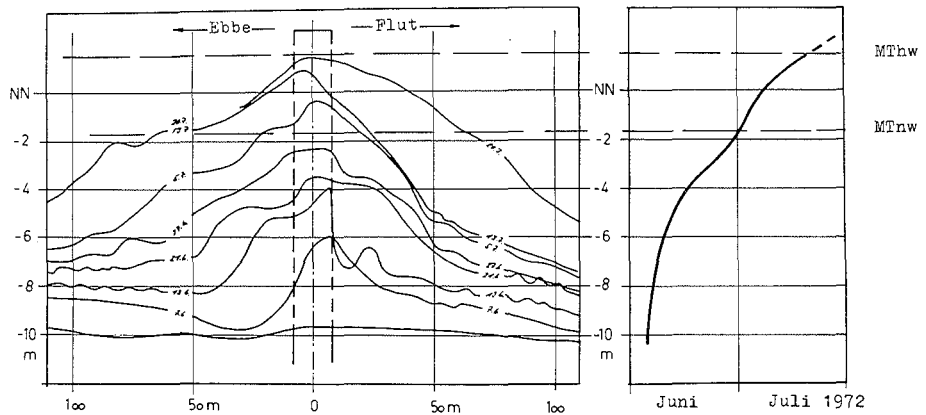


Abb. 5

die Verbauhöhe langsam zunimmt, während die Böschung des betrachteten Bereichs (z. B. die 8a-Linie) flacher wird. Es bildet sich hinter der Lochtafelreihe ein ausgedehnter und wirkungsvoller Abschirmbereich aus, in dem sich Sand großflächig ablagern kann. Bei weiter wachsendem Verbau wird die Böschung im betrachteten Bereich bei gleicher Abschirmwirkung steiler und stabilisiert sich schließlich bei Neigungen zwischen 1:10 und 1:20.

Dieses läßt den Schluß zu, daß Ausdehnung und Strömungsverhältnisse der Abschirmbereiche grundsätzlich unverändert blieben und sich den Sohlenlagen angleichen

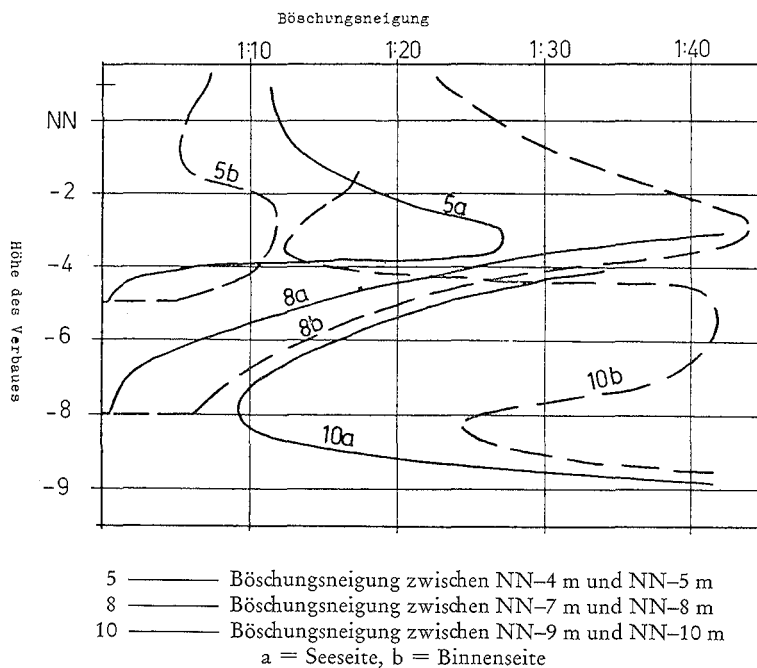


Abb. 6. Veränderung der Neigung der Unterwasser-Böschungen

konnten. Dieses gestattete bei kontinuierlicher Sandeinspülung und stetigem Einbau von Lochtafeln einen schnellen und sicheren Verbau.

Als Vorteile des Verfahrens sind somit zu nennen:

1. Die zu verbauende Deichlücke ist jederzeit, unabhängig von Tide, Seegang und Wetter, von allen Seiten her zugänglich, so daß ein ununterbrochener Verbau möglich wird.
2. Mit den Lochtafeln kann die Durchströmung gesteuert werden.
3. Die Bodenablagerung kann allen Sohlenverhältnissen angeglichen werden, so daß weder eine Kolkssicherung noch eine Sohlenpanzerung erforderlich ist.
4. Der Deich erhält einen homogenen Aufbau.

Die Stromrinne wurde bis zur MThw-Linie innerhalb von 6 Wochen mit 600 000 m³ Sand innerhalb und außerhalb der durchlässigen Pfahlwände verbaut. Eine Kostenersparnis von 40 % gegenüber herkömmlichen Verfahren belegt den praktischen Nutzen des geschilderten Bauverfahrens, das sicherlich auch bei ähnlichen Projekten brauchbar sein dürfte.