

# Entwurf und Ausführung der Oosterscheldebrücke

Autor(en): **Hoving, H.T. / Krijn, A.C. / Loenen, J.H. van**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **84 (1966)**

Heft 27

PDF erstellt am: **29.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-68943>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Entwurf und Ausführung der Oosterscheldebrücke<sup>1)</sup>

DK 624.21.002.22 : 624.012.47

Von H. T. Hoving, A. C. Krijn und J. H. van Loenen, dipl. Ingenieure

### Einleitung

#### Vorgeschichte

Durch die Ausführung des Delta-Projektes wird der südwestliche Teil der Niederlande allmählich aus seiner Isolierung befreit. Durch die projektierten und sich im Bau befindlichen Dämme werden Verbindungen zwischen den seeländischen Inseln und Süd-Holland geschaffen. Ungefähr im Jahre 1978 soll die direkte Strassenverbindung von Middelburg mit Rotterdam über die Dämme von Veerse Gat, Oosterschelde, Brouwerhavense Gat und Haringvliet erstellt sein.

Ein Blick auf die Karte von Seeland (Bild 1) zeigt aber, dass östlich von diesen grossen Abschlussdämmen eine direkte Landverbindung Rotterdam-Zieriksee schon besteht. Sie führt über eine mit Hilfe von privaten Mitteln erbaute Brücke über den Haringvliet<sup>2)</sup>, einen Damm über die Heilegatbänke, die Insel Overflakkee und den Grevelingen-damm. Südlich Zieriksee fehlt zur Herstellung einer durchgehenden Strassenverbindung Rotterdam-Middelburg nur noch eine gute Verbindung zwischen den Ufern der Oosterschelde. Die als Folge der sich im Herzen Seelands entwickelnden Industrie eingetretene Verkehrssteigerung verlangte einen sofortigen Ausbau der Verbindung über die Oosterschelde. Dafür standen verschiedene Lösungsmöglichkeiten offen. In erster Linie wurde an eine Verbesserung des bestehenden Fährsystems gedacht. Dies wäre gemäss durchgeführten Studien nur mit der Beschaffung von ein oder zwei 100 m langen Fährschiffen, welche eine Frontalbeladung anstatt der zur Zeit üblichen Seitenbeladung erlauben (ähnlich wie diejenigen an der Westerschelde), sowie mit der Neueinrichtung der Fährhäfen in Kats (auf der Insel Noord-Beveland) und De Val (auf der Insel Schouwen) möglich gewesen mit einem Aufwand von 20 bis 30 Mio Gulden. Dazu kommen jährlich 2 bis 3 Mio Gulden für Betrieb und Instandhaltung von Häfen und Fähren. Ins Gewicht fallen – volkswirtschaftlich gesehen – als Verluste die durch den Fährbetrieb bedingten Wartezeiten.

So lag es auf der Hand, eine dauernde Verbindung zwischen den beiden Ufern ins Auge zu fassen. Dabei stand zum vornherein fest, dass ein Damm erst dann erstellt werden kann, wenn der grosse Damm des Deltaprojektes in der Mündung der Oosterschelde vorhanden ist. Somit fiel diese Lösung ausser Betracht. Es wurde daher auf Initiative von J. G. Snip, damals Oberingenieur im Büro für besondere Bauaufgaben des Wasserweg- und Strassenbauamtes der Provinz Seeland, die Möglichkeit eines Brückenbaues untersucht. Diese erwies sich als durchführbar. Ein in der Zwischenzeit von den Bauunternehmungen Van Hattum en Blankevoort N.V. in Beverwijk und N.V. Amsterdamsche Ballast Maatschappij in Amsterdam ausgearbeiteter Entwurf schien baureif zu sein. Als Basis für die Finanzierung der Brücke sollten Zollgebühren erhoben werden.

Am 12. April 1962 entschloss sich die seeländische Provinzbehörde, die Brücke zu bauen, und am 27. April wurde dieser Beschluss von der Königin gutgeheissen. Leider konnte J. G. Snip den Beginn der Bauarbeiten nicht mehr erleben; anfangs 1963 verschied er plötzlich. Bereits am 29. Mai 1962 konnten die obenerwähnten Baufirmen mit dem Bau, der rund 64 Mio Gulden kosten sollte, beauftragt werden.

#### Bauprogramm

Bis Ende 1964 sollten sowohl der Grevelingen-Damm wie auch die Haringvliet-Brückenverbindung fertiggestellt werden. Es war daher wünschenswert, die Oosterschelde-Brücke so bald als möglich in Angriff zu nehmen. Tatsächlich wurde die Haringvliet-Brücke am 20. Juli 1964 dem Verkehr übergeben. Die Schliessung des Grevelingen-Damms verzögerte sich, so dass der sich darauf befindliche Verkehrsweg erst Ende 1965 freigegeben werden konnte. [Die Eröffnung der Oosterscheldebrücke erfolgte am 15. Dezember 1965, nach

<sup>1)</sup> Übersetzung eines in holländisch erschienenen Aufsatzes in «Cement/Beton», Vol. 16, Nov. 1964, H. 11, S. 685 und Dez. 1964, H. 12, S. 760. Hinweise auf seither eingetretene Verhältnisse in eckiger Klammer.

<sup>2)</sup> Siehe SBZ 1965, H. 20, S. 332.

einer Bauzeit von knapp zweieinhalb Jahren, früher als erwartet. – Red.]

#### Verkehrsprognosen

Die Reichswasseradministration (Rijkswaterstaat) stellte folgende Prognose über die Entwicklung des Verkehrs in den Jahren 1966 bis 1978, welche als Grundlage für die Finanzierung des Projektes diente:

1965: 2200 Fahrzeuge pro Tag oder 800 000 pro Jahr

1968: 4000 Fahrzeuge pro Tag oder 1 400 000 pro Jahr

1972: 5000 Fahrzeuge pro Tag oder 1 800 000 pro Jahr

1978: 7000 Fahrzeuge pro Tag oder 2 500 000 pro Jahr.

Es wurde angenommen, dass während dieser Zeitspanne die jährliche Anzahl der Fahr- und Motorräder von 510 000 auf 780 000 ansteigen wird.

#### Standort, Anschluss ans Verkehrsnetz

Bei der Wahl des richtigen Standortes der Brücke mussten eine Reihe von Gesichtspunkten mitberücksichtigt werden:

1. Anschluss ans bestehende Verkehrsnetz;
2. Gesamtlänge der Brücke;
3. Vermeiden der tiefsten Stellen in der Oosterschelde;
4. Notwendigkeit einer gewissen minimalen Wassertiefe im Zusammenhang mit der Erstellung der Fundamente.

Am nördlichen Ende der Brücke, in Schouwen-Duiveland, war der Anschluss ans Strassennetz mit dem bisherigen Warteplatz für die Fähre von de Val gegeben. Am anderen Brückenende, auf der Insel Noord-Beveland, wurde die Lage des Brückenkopfes etwas östlich von Colijnsplaat mit Rücksicht auf die Bedingungen 2 und 4 bestimmt. Die Festlegung des eigentlichen Brückenstrasses schuf günstige Verhältnisse, weil die Erstellung aller Pfeiler mittels der speziell hierfür entworfenen Geräte ermöglicht wurde.

#### Hauptabmessungen der Brücke

Die Gesamtlänge der Brücke mit den beiden Rampenbrücken beträgt 5020 m, die totale Breite einschliesslich Längsbord 11,85 m. Auf der Brücke sind zwei Fahrspuren von 7,60 m im gesamten sowie ein Fahrradweg von 2,75 m Breite angeordnet. Im Falle eines Ausbaues kann die ganze Breite der Brücke als Fahrbahn verwendet werden. Diese Breite ist im Vergleich zu den grossen Staatsbrücken gering. Es war aber nicht möglich, mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln eine grössere Brückenbreite vorzusehen. Es wird jedoch erwartet, dass die Verkehrskapazität sicher genügend gross sein wird. Vergleichsweise hat der Tunnel unter der Schelde in Ant-

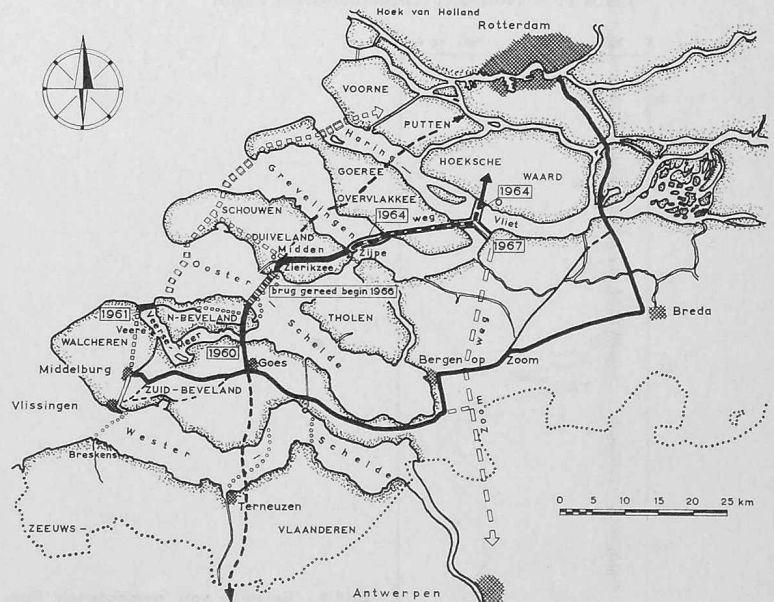


Bild 1. Uebersichtskarte von Seeland

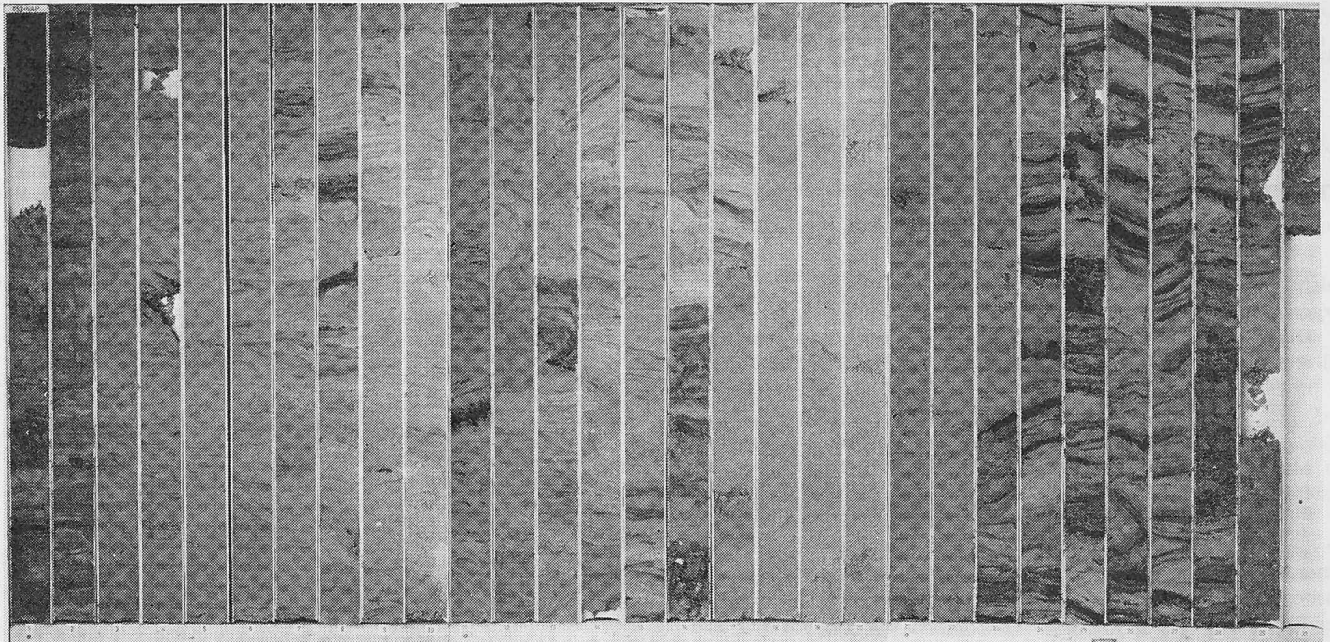


Bild 2. Bodenprobe aus dem geologischen Profil der Brücke

werfen eine Fahrbahnbreite von 6,75 m und wurde 1959 von nahezu 7 Mio Fahrzeugen benutzt.

#### Längsprofil

Die freie Durchfahrts Höhe von 15 m unter der Brücke sollte praktisch keine Beeinträchtigung für den Schiffsverkehr auf der Oosterschelde bieten. Ferner ist durch das Anbringen einer Klappbrücke, etwa 400 m vom Schouwen-Duiveland-Ufer entfernt, mit einer Durchfahrtsbreite von 40 m dafür gesorgt worden, dass die schweren schwimmenden Einheiten, welche beim Bau des Oosterschelde-Dammes eingesetzt werden, an der Brücke vorbeifahren können. Im übrigen ist die Klappbrücke für die Durchfahrt von grösseren Schiffen wie zum Beispiel Küstendampfer geeignet. Die Durchfahrtsbreite von 40 m wurde festgelegt mit Rücksicht auf die Stromrichtung, die an dieser Stelle nicht senkrecht zur Brückenaxe steht. Die Brückenfahrbahn befindet sich auf Kote +17 m in bezug auf den offiziellen Nullpunkt von Amsterdam (N.A.P.)<sup>3)</sup>.

Die Deiche werden auf beiden Seiten in genügender Höhe gekreuzt, so dass die Möglichkeit einer späteren Deicherhöhung weiterhin besteht. Die Brückenzufahrten weisen eine Längsneigung von rund 1:45 auf. An der Nordseite verläuft die Strasse unmittelbar nach der Brücke in einer Kurve Richtung Osten mit einem Radius von 350 m. In südlicher Richtung wird die Brückenaxe um weitere 2 km geradlinig fortgesetzt.

<sup>3)</sup> N.A.P. = Normaler Amsterdamscher Pegel.

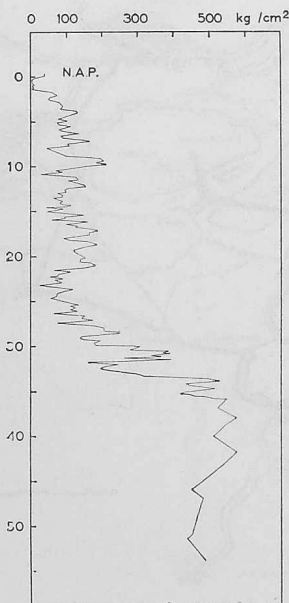


Bild 3. Beispiel von gemessenen Sondierwerten

#### Wahl des Entwurfes

Bei der Wahl des Pfeilerabstandes war auch dem Eisgang Rechnung zu tragen. Obwohl hier weniger Eis abfließt, hat man den gleichen Pfeilerabstand von 95 m wie im Falle einer Brücke über den Hollands Diep bei Moerdijk gewählt. Eine noch grössere Spannweite wurde damals als unwirtschaftlich erachtet.

Mit Rücksicht auf die grosse Wassertiefe (bis 30 ÷ 35 m) unter gewissen Teilen der Brücke war die Ausführung der bei Staatsbrücken üblichen Pfeilerkonstruktion mit Spundwänden nicht gut durchführbar. Eine Bodenuntersuchung durch das Bodenmechanische Labor (Delft) und den Staatlichen Geologischen Dienst zeigte, dass der Boden der Oosterschelde bis zu einer Tiefe von rund 20 bis 45 m unter dem N.A.P. aus einer Aufschichtung von jungem Meersand (ein Subatlantikum aus dem Holozän) besteht. Darunter befindet sich Sand aus dem Pleistozän. Eine der vielen Bodenproben, die an Ort und Stelle entnommen wurden, wird in Bild 2 gezeigt. Das geologische Profil längs der Brückenaxe wird in Bild 4 wiedergegeben. Im Pleistozän wurden Rammwiderstände von 200 ÷ 250 kg/cm<sup>2</sup> und höher gemessen (Bild 3). Die Werte für den darüberliegenden jungen Meersand waren wesentlich kleiner. Ferner haben viele grössere Bodenbewegungen in diesem Meersand stattgefunden, wie aus Lotungen seit 1827 hervorgeht. Es wurde bald klar, dass die Brücke in den Pleistozän-Schichten zu fundieren ist. Ebenfalls in Bild 4 sind die Resultate einiger Lotungen aus vergangenen Jahren wiedergegeben; zudem zeigt das geologische Profil ganz deutlich, dass schon im Pleistozän Auswaschungen stattgefunden haben müssen. Beruhend auf einem durch die Bauunternehmerfirma Van Hattum en Blankevoort N.V. bereits früher ausgeführten Pfahlfundierungssystem wurde eine Pfeilerkonstruktion gewählt. Sie besteht aus 3 hohlen Betonpfählen von 4,25 m Aussendurchmesser, welche mit einer speziell dafür entworfenen Pfahlschwimminstallation versetzt werden. Die Länge dieser Pfähle erlaubt die Aufnahme von vertikalen Belastungen wie von Einspannmomenten. Von dieser Fundationsart und der Tiefhaltung des Eigengewichtes in Feldmitte ausgehend – da dieses grosse zusätzliche Biegemomente erzeugt –, wurde als Hauptsystem eine Aneinanderreihung von im Boden eingespannten T-Einheiten gewählt (Bild 5). Dieser Entwurf ergab eine Ersparnis von rund 50% in der für den Oberbau benötigten Betonmenge gegenüber einem Vorprojekt, welches als Überbau Kragbalken und Einhängträger vorsieht (siehe Bild 6).

Bei der Wahl des Entwurfes hat von Anfang an der Gedanke an einer Vorfabrikation eine grosse Rolle gespielt. Denn die Bauzeit war auf ein Minimum zu beschränken, weil man die neue Brücke bis 1978 möglichst lange ausnutzen wollte; von da an werden die neuerstellten Dämme bei den Flussmündungen eine weitere Verbindung bieten. Da sich die Brücke praktisch im offenen Meer befindet, schien es vorteilhaft, soviel wie möglich auf einem vom Meer geschützten Platz vorzufabrikieren und die Arbeit auf der Baustelle auf ein Minimum zu beschränken. Angesichts der grossen Länge der Brücke und der



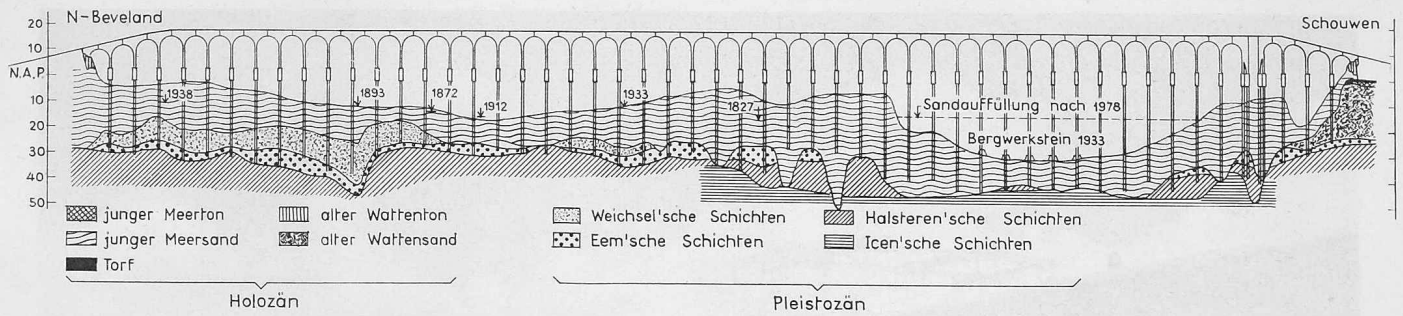


Bild 4. Geologisches Profil längs der Brückenaxe

erforderlichen Pfeilerabmessungen lag es auf der Hand, sehr grosse vorfabrizierte Bauelemente zu entwerfen.

Das für diese Brücke gewählte statische Hauptsystem eignete sich nicht für eine Balkenausführung. Deshalb wurde für den Oberbau ein Kastenquerschnitt mit beidseitiger Kragplatte gewählt (Bild 7), eine bei modernen deutschen, im Freivorbau erstellten Strassenbrücken übliche Konstruktion. Die Höhe des Kastenquerschnittes variiert von 1,90 m in Feldmitte bis 5,47 m über den Pfeilern.

### Der Entwurf

#### Die Belastungen

Ursprünglich lagen dem Entwurf die Verkehrslasten gemäss Klasse B der Holländischen Brückennormen V.O.S.B. (1938) zugrunde. Diese aus Wirtschaftlichkeitsüberlegungen getroffene Wahl befriedigte jedoch nicht. Neue Entwürfe beruhen auf den Verkehrslasten gemäss Klasse 60 der inzwischen erschienenen Normen V.O.S.B. (1963). Die Hauptabmessungen blieben unverändert. Die Biegemomente und Schubkräfte in der Brückenlängsrichtung wurden um  $2 \div 3\%$  grösser. Anders verhielt es sich mit der Fahrbahnplatte selbst. Anstatt vier waren acht dicht nebeneinanderliegende 5-t-Räder anzunehmen. Die Plattendicke blieb unverändert, aber die Längs- und Querbewehrung musste vergrössert werden. Im weiteren war die Möglichkeit einer ungleichmässigen Pfeilersetzung zu berücksichtigen. Nach Rücksprache beim bodenmechanischen Labor wurde ein Setzungsunterschied von maximal 6 cm zwischen zwei benachbarten Pfeilern angenommen.

Beim Unterbau spielte die Belastung infolge Eisdruck eine grosse Rolle. Über die Grösse des Eisdruckes bestehen nur wenige Angaben. In der Literatur finden sich Hinweise, die, umgerechnet auf die gegebenen Pfeilerabmessungen, folgende Beträge ergeben:

Sowjetunion	900 t
Kanada	600 t
Deutschland	430 t
Vereinigte Staaten	800 t

In Zusammenarbeit mit dem Rijkswaterstaat wurde für die vorliegende Brücke ein Eisdruck von 500 t pro Pfeiler angenommen für die Zeit, während welcher die Oosterschelde noch in offener Verbindung mit dem Meer steht. Nach der Fertigstellung des Damms an der Flussmündung muss jedoch mit 1000 t gerechnet werden. Diese Werte schliessen eine Windbelastung von rund 100 t ein. Nach der Abschliessung der Oosterschelde wird das neu entstehende Süsswasser die Eisbildung fördern. Dazu kommt noch, dass der Druck von bewegten Eismassen auf einen ruhenden Gegenstand mit abnehmender Eisgeschwindigkeit zunimmt. Vom Moment an, wo die Oosterschelde nicht mehr fliesst und das Eis praktisch nur noch durch den Wind in Bewegung versetzt wird, nimmt die Wahrscheinlichkeit des Auf-

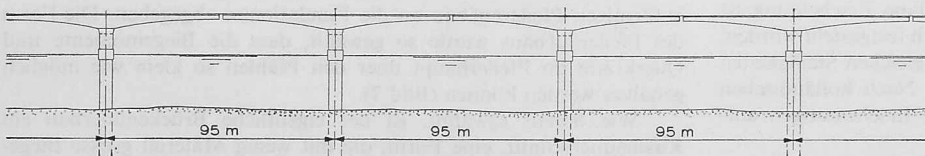


Bild 5. Hauptsystem der ausgeführten Brücke: aneinandergereihte T-Einheiten

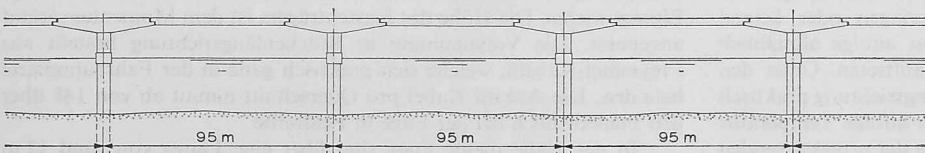
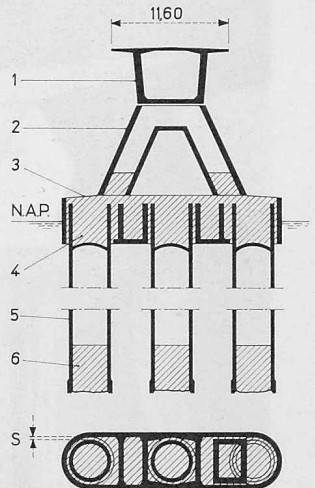


Bild 6. Vorprojekt: Kragbalken und Hängträger

Bild 7 (rechts). Oben: Vertikaler Querschnitt durch Brückenaufbau und Pfeiler, Masstab 1:800

- 1 Brückenteil A oder «Hammerstück»
- 2 V-förmiger Pfeileraufsatz
- 3 Pfeilerkopf
- 4 Betonfüllung
- 5 Pfähle
- 6 Unterwasserbeton



Unten: Horizontaler Schnitt durch Pfahlrost und Pfeilerkopf. Spielraum  $S = 35$  cm

treten grosser Drücke erheblich zu. Freilich erscheint es auf den ersten Blick sinnlos, im Stadium der noch strömenden Oosterschelde mit kleineren Eisdrücken zu rechnen. Man darf aber nicht vergessen, dass eine horizontale Kraft von 1000 t die stärkste Beanspruchung auf die grösste freie Pfeilerlänge verursacht, das heisst, in den tiefsten Stellen des Wassers. Überdies wird es erst nach 1978 bei einer abgeschlossenen Oosterschelde möglich sein, die grössten Wassertiefen von rund 30 m mit Sandauffüllungen auf eine Tiefe von 15 m zu reduzieren. Damit kann die erhöhte Beanspruchung mit einer Verkürzung der freien Pfeilerlänge ausgeglichen werden. Die Sandauffüllung im stehenden Wasser nach 1978 kostet weniger als der Bau von wesentlich stärkeren Pfeilern an den tiefen Stellen jetzt. Die zukünftige Sandauffüllung ist in Bild 4 angegeben.

#### Das statische Hauptsystem

Wie vorhin beschrieben, besteht die Brücke aus einer Aneinanderreihung von im Boden eingespannten T-Einheiten. Jede ist für sich allein stark genug, um alle Belastungen infolge Eigengewichts und Verkehrslast aufzunehmen; die Unterschiede in den Durchbiegungen zwischen zwei benachbarten Trägerenden könnten jedoch unzulässig gross werden. Dies ist bereits der Fall bei Vollbelastung einer Feldhälfte durch verteilte Belastung gemäss V.O.S.B.-Normen zusammen mit zwei Achslasten von je 60 t. Dann senkt sich nämlich das betreffende Trägerende um 25 cm bei der mittleren Wassertiefe, bzw. um rund 40 cm bei der grössten Wassertiefe (33 m), während die andere Hälfte des Feldes unverändert bleibt.

Deshalb sind die beiden Trägerenden in Feldmitte miteinander zu verbinden. Diese Verbindung soll in der Lage sein, eine gegenseitige vertikale Bewegung von zwei aneinandergrenzenden Trägerenden zu

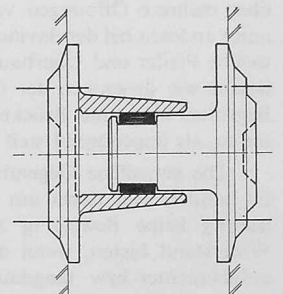


Bild 8. Querkraftgelenk als Verbindungselement, befestigt mit Dywidagstäben  $\phi 32$  mm (siehe auch Bild 34)





Bild 9. Die Oosterscheldebrücke in ihrer Umgebung

verhindern und damit Querkräfte aufzunehmen. Das Verbindungselement muss aber, im Zusammenhang mit Längenänderungen infolge Temperatur, Schwindens und Kriechens, Änderungen in der Fugenbreite und gegenseitige Verdrehungen der Enden zulassen. Eine Übertragung von Biegemomenten darf nicht stattfinden. Die Konstruktion des Verbindungselementes geht aus Bild 8 hervor. Der Durchbiegungsunterschied beim Anschlusspunkt wird eliminiert und die absolute Durchbiegung auf maximal rund 14 cm bei einer Wassertiefe von 15 m und auf maximal rund 21 cm bei einer Wassertiefe von 30 m reduziert. Die letztgenannte Durchbiegung überschreitet den zulässigen Grenzwert von  $1/600$  der Spannweite. Um innerhalb dieser Grenze zu bleiben, wurde in jeder zweiten Öffnung zusätzlich noch eine in Längsrichtung unverschiebliche Verbindung angeordnet. Die Anordnung dieser Verbindungen war möglich, weil die Pfähle beträchtliche freie Längen aufweisen und die Biegemomente aufnehmen können, welche aus Längenveränderungen infolge Temperatureinflüssen usw. in den 95 m langen Öffnungen entstehen. Je länger der freie Teil des Pfahls, desto geringer werden die darin durch die gegebene Längenänderung der Spannweite hervorgerufenen Biegemomente sein.

Obwohl dadurch die Durchbiegungen in Feldmitte weniger als  $1/600$  der Spannweite betragen, war zu erwarten, dass ein schnell über die Brücke fahrendes schweres Fahrzeug spürbare Schwingungen über mehrere Öffnungen verursachen würde. Diese Erscheinung ist unter anderen bei der Savine-Brücke in Frankreich festgestellt worden, welche Pfeiler und Überbau mit den fast genau gleichen Steifigkeiten besitzt wie diejenigen der Oosterscheldebrücke. Nach holländischen Begriffen wird eine Brücke, bei welcher solche Erscheinungen auftreten, als ungenügend steif angesehen.

Die getroffene Gegenmassnahme besteht aus «Stossdämpfern». Es handelt sich dabei um Elemente, welche unter kurzzeitiger Belastung keine Bewegung zulassen, dagegen geringen oder keinen Widerstand bieten, wenn die Längenänderungen infolge allmählich aufgebracht bzw. langdauernder Belastungen auftreten. Unter den Verkehrslasten bleibt die Fugenverbindung in Längsrichtung praktisch unverschieblich, während für Längenänderungen infolge Temperatur ausreichende Möglichkeiten bestehen. Im Auftrag der projektierenden Ingenieure wurde von der Firma Koni in Oud Beierland ein Stoss-

dämpfer entwickelt, der diese Bedingungen erfüllt. Bei jeder Fuge sind zwei oder drei Stück eingebaut (Bild 33).

#### Fundationen

Wie schon erwähnt, ist jeder Pfeiler auf drei hohlen Betonpfählen fundiert. Diese haben einen Aussendurchmesser von 4,25 m und sind durch ein schweres, massives Pfeilerhaupt miteinander verbunden. Neben der vertikalen Belastung können sie auch Biegemomente auf den Boden übertragen. Die Pfähle stehen unter einer vertikalen Vorspannung von rund 25 kg/cm<sup>2</sup>. Die maximale Vertikallast beträgt rund 3000 t und das maximale Biegemoment rund 3000 mt pro Pfahl. Beim Biegemoment ist der Anteil infolge Eisdrucks sehr gross. Nach dem Einbringen eines jeden hohlen Pfahles wurden die untersten 4 ÷ 5 m nach dem Prepakt-Verfahren betoniert. Dabei wurden besondere Massnahmen getroffen, um zu gewährleisten, dass der ganze Querschnitt des Pfahles voll wirksam ist.

Die übrige Länge des Pfahles bis zur Unterseite des Pfeilerhauptes wurde hohl gelassen. Doch ist es möglich, die Pfähle später ganz zu füllen, zum Beispiel mit Sand. Dieser Schritt könnte beispielsweise notwendig sein, wenn Strömungen der Oosterschelde in den Pfählen Schwingungen hervorrufen würden.

#### Oberbau

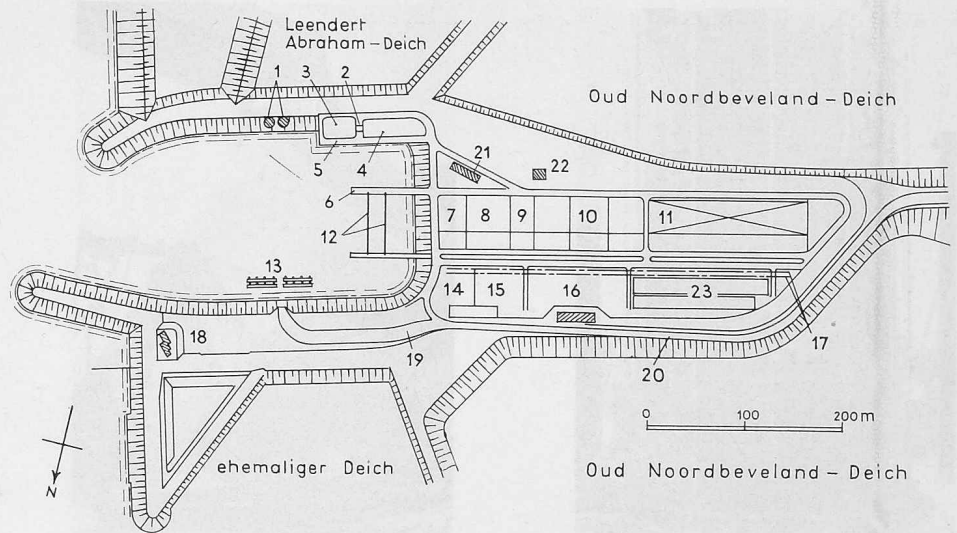
Die von Überbau herrührenden Belastungen werden durch den V-förmigen Pfeileraufbau an die Fundationen abgegeben. Die Form des Pfeileraufbaus wurde so gewählt, dass die Biegemomente und Querkräfte im Pfeilerhaupt über den Pfählen so klein wie möglich gehalten werden können (Bild 7).

Wie bereits erwähnt, ist der eigentliche Brückenüberbau ein Kastenquerschnitt, eine Form, die mit wenig Material grosse Biegemomente in der Längsrichtung aufnehmen kann. Über den Pfeilern betragen diese Momente rund 26000 mt, wovon 19000 mt infolge Eigengewichts. Die Höhe des Kastenträgers ist dem Momentenverlauf angepasst. Die Vorspannung in Brückenlängsrichtung besteht aus Freyssinet-Kabeln, welche sich praktisch ganz in der Fahrbahnplatte befinden. Die Anzahl Kabel pro Querschnitt nimmt ab von 148 über den Pfeilern bis 6 bei der Fuge in Feldmitte.

In der Nähe dieser Fuge sind über eine Länge von rund 12 m auch in der Bodenplatte noch einige Vorspannkabel vorgesehen, da

Bild 11. Anlage des Werkareals,  
Grundriss 1:8000

- 1 Zementsilos
- 2 Betonaufbereitung
- 3 Sand
- 4 Kies
- 5 Greiferkran
- 6 Ladesteg
- 7 Pfeilerelemente
- 8 Kragelemente
- 9 Pfeilerköpfe
- 10 Trägerelemente
- 11 Pfähle
- 12 Zwei 300-t-Portalkräne
- 13 Fährsteg
- 14 Magazin
- 15 Werkstätte
- 16 Vorbereitungsanlage für Armierung
- 17 Zwei Peine-Kräne
- 18 Wasserbauamt der Provinz Seeland
- 19 Strasse zur Fähre
- 20 Erhöhte Strasse
- 21 Garage
- 22 Kantine
- 23 Vorspannkabel



hier infolge Belastungen in angrenzenden Feldern entgegengesetzte Biegemomente auftreten könnten. Die Wandstärke des Kastenträgers wird hauptsächlich durch die aufzunehmenden Querkräfte bestimmt. Um das Eigengewicht niedrig zu halten, sind die Stege so dünn wie möglich ausgebildet, wobei es notwendig war, diese vertikal stark vorzuspannen. Das Innere des Kastenträgers ist durch Aussparungen in der Bodenplatte, die mit Betonplatten geschlossen werden, zugänglich.

Bei der Fuge ist es ebenfalls möglich, durch Öffnungen in den Querschotten von einem Kastenträger in den nächsten zu gelangen. Diese Öffnungen können auch der Führung von Leitungen dienen. Das Längsbord besteht aus vorfabrizierten Teilen, wozu auch das stählerne Brückengeländer gehört.

#### Die Vorfabrikation

##### Die Idee der Vorfabrikation

Die Baustelle liegt mitten in der Oosterschelde und ist den Einflüssen von Wetter und Wasser stark ausgesetzt. Beim Bau im Freien ist mit einer grossen Zahl von Tagen pro Jahr zu rechnen, an welchen nicht gearbeitet werden kann. Auch der Transport von Personal und Material ist nicht jederzeit gesichert.

Diese Überlegungen, unter Berücksichtigung der äusserst kurzen Bauzeit und der grossen Anzahl gleicher Spannweiten, führten die Projektverfasser in Richtung Vorfabrikation. Die Idee der Vorfabrikation ist so weitgehend wie möglich verwirklicht worden, indem über dem Wasser nur noch grosse Elemente zusammenzubauen waren mit einem Minimum an Arbeitskräften und Transporten. Die Arbeit ist weit weniger abhängig von Wetter und Seegang. Eine schematische Darstellung der vorfabrizierten Elemente befindet sich in Bild 10.

Wegen der grossen Anzahl gleicher Elemente (1000 Pfahlsegmente, 54 Pfeilerköpfe, rund 100 Stück von jedem Typ des Überbaus) lohnte es sich, der Anlage der Vorfabrikationsareale und den Hilfsgeräten grosse Sorgfalt zu widmen. Beim Entwurf der Betonkonstruktion hatten die Verfasser ihr Augenmerk bereits auf Einzelheiten gerichtet, die bei der Montage Arbeit ersparen sollten. So hatten zum Beispiel die Wände der Kastenträger eine Neigung erhalten, so dass die Elemente aus den Schalungen herausgehoben werden konnten, ohne diese zu demontieren.

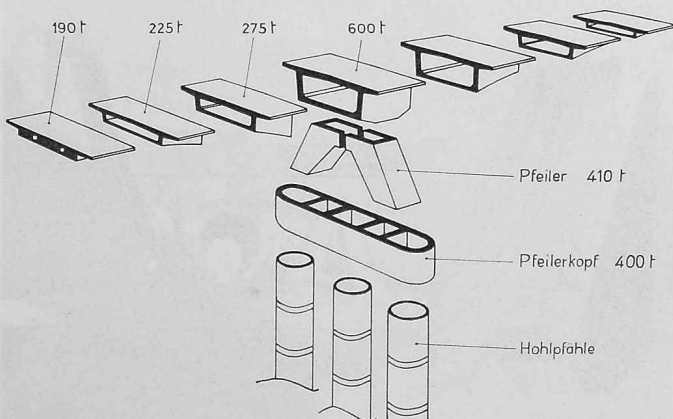


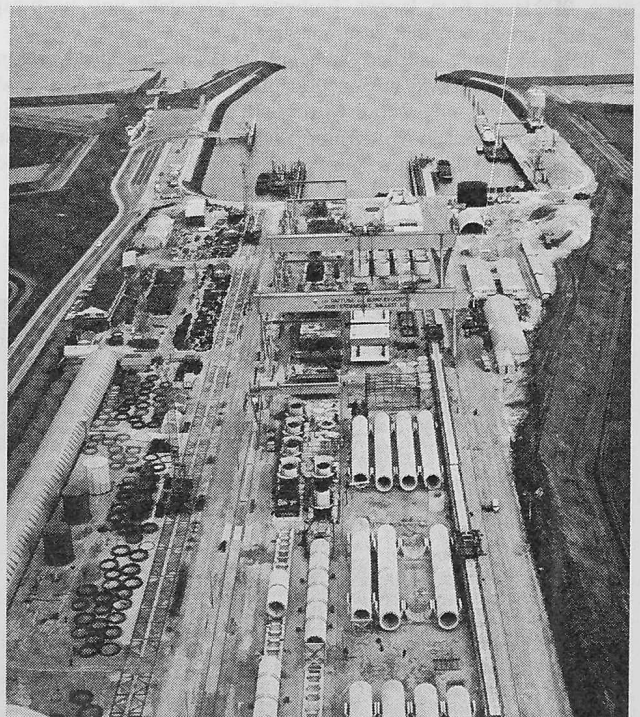
Bild 10. Die vorfabrizierten Elemente eines Brückenfeldes

#### Anlegung des Werkareals

Ein Terrain von rund 7 Hektaren nahe dem Fährhafen von Kats auf der Insel Noord-Beveland wurde den Bauunternehmern zur Verfügung gestellt. Dieses Areal wurde zunächst auf die Kote 4,25 m über N.A.P. erhöht, so dass es meistens über dem Hochwasserspiegel liegt. Ferner waren die Deiche und Strassen rund um dieses Terrain umzuleiten.

Die Anlage des Werkareals (Bild 11) wurde durch den Transport der schweren vorfabrizierten Elemente vom Herstellungsort zum Abladeplatz und weiter zum Hafen bestimmt. Zwei Portalkräne mit einem Hubvermögen von 300 t und einer Spannweite von 60 m bestreichen einen Teil des Areals. Die Kräne fahren auf Schienenpaaren, die sich über die ganze Länge des Areals und auf Stegen bis in den Hafen hinaus erstrecken. Zwischen diesen Kranbahnen befinden sich die Produktions- und Lagereinrichtungen. Das Fabrikationsareal wird ferner von 8 weiteren Portalkränen mit Hubvermögen von 8 bis 75 t bedient. Diese Kräne können gerade knapp unter den grossen 300-t-Kränen durchfahren. Sobald ein Element die notwendige Festigkeit erreicht hat, wird es mit dem 300-t-Kran aus der Schalung gehoben und auf dem Lagerplatz deponiert, wo die Vorspann- und Fertigstellungsarbeiten ausgeführt werden. Mit den 300-t-Kränen werden die Elemente nach Bedarf vom Lagerplatz zum Hafen transportiert und auf speziellen Kähnen zur Baustelle befördert. Die Nebenbetriebe sind rund um dieses Transportsystem gruppiert.

Bild 12. Luftaufnahme vom Werkareal





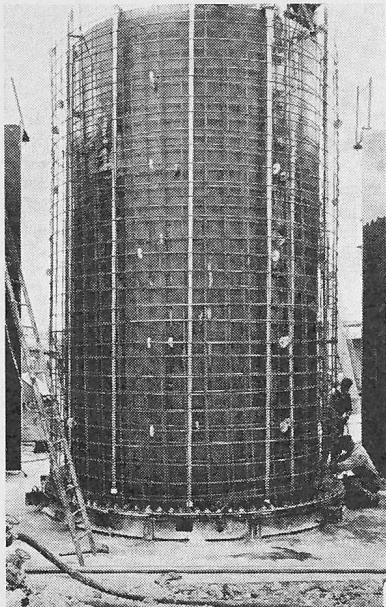


Bild 13. Schalung und Armierung eines Pfahlteiles

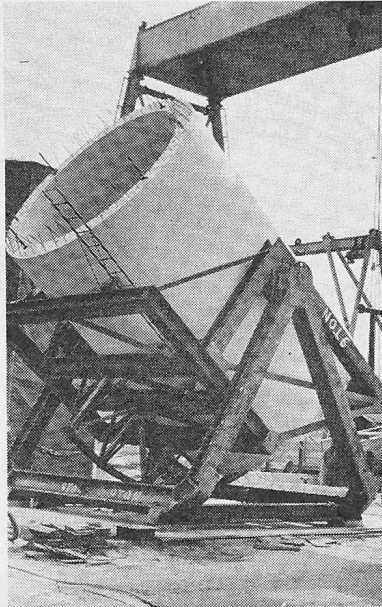


Bild 14. Pfahlteil im Kippgestell

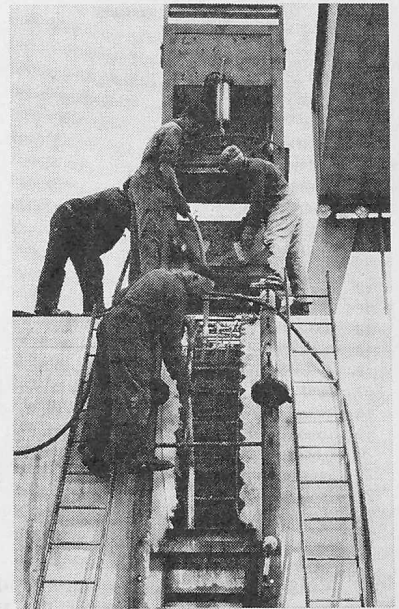


Bild 15. Fuge zwischen zwei Pfahlteilen

Zum Hafen gehört auch ein Umschlagsteg, der aus Spundwänden konstruiert und mit einem fahrbaren Quaikran versehen ist. Hier werden die Sand- und Kiesschiffe ausgeladen. Die Betonaufbereitungsanlage befindet sich zwischen den Sand- und Kiesdepots und umfasst zwei vollautomatische 1000-l-Mischer. Im Hafen sind zwei auf Pfählen stehende Zementsilos von je 500 t Kapazität angeordnet, wo die Schiffe anlegen können. Längs einer über dem Hafen verlaufenden Kranbahn ist ein Umschlagsteg ausgebaut, auf welchem die Armierungseisen ausgeladen werden.

Es sind ferner folgende Anlagen längs dem Rand des Werkareals gruppiert: Wasserbehälter, Garagen, Sägerei, Magazine, Dampferzeuger und Kompressorstationen, eine 145 m lange Halle für die Vorbereitung der Spannkabel, die Biegeanlage für Armierungseisen und die mechanische Werkstätte (vgl. auch Bild 12). Nebst den bereits erwähnten Kränen sind ferner zwei Turmdrehkräne und ein fahrbarer Kran verfügbar. Auf dem Areal ist ein Strassennetz angelegt, auf welchem auch der Betontransport mit Kippwagen stattfindet.

#### Die Herstellung der Pfähle

Die Fundationspfähle weisen einen Aussendurchmesser von 4,25 m und einen Innendurchmesser von 3,55 m auf und variieren in der Länge zwischen 25 und 50 m. Um verschiedene Längen herstellen zu können und möglichst hohe Betonqualität zu erhalten, wurden diese Pfähle in 6 m langen Einheiten hergestellt und nachträglich auf einem speziellen Bett zusammengefügt.

Die Elemente werden stehend in Stahlschalungen betoniert. Diese Schalungen sind aussen und innen mit Betonrüttler versehen. Die innere Schalungswand wird nicht auseinandergenommen; sie bleibt stets stehen. Die Armierung, bestehend aus einem vorfabrizierten Käfig, wird mit Hilfe eines Turmkranes um die innere Schalung gelegt.

Bild 16. Transport eines Pfahles über das Werkareal



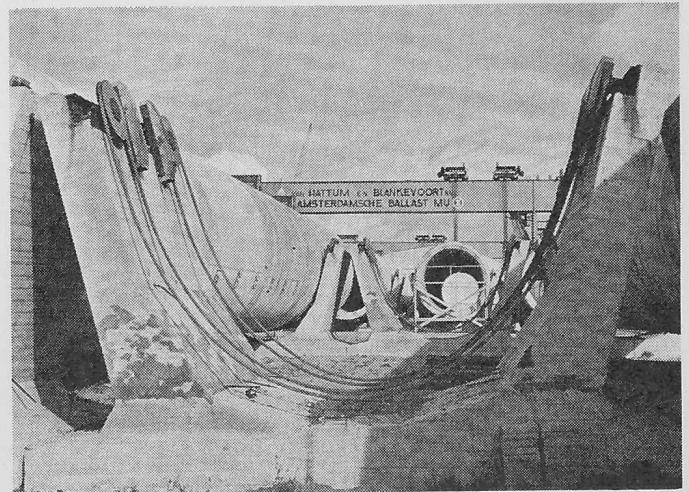
Hierauf werden die Hüllen für die Längsvorspannkabel verlegt und die äussere Schalung, bestehend aus zwei Hälften, geschlossen (Bild 13). Die 6 m hohen Einheiten werden von oben her durch Rohre betoniert, wobei die 20 Aussenrüttler gemäss einem bestimmten Schema ein- und ausgeschaltet werden.

Über die Schalung wird eine Dampfhaube gestellt und der Beton während der ganzen Nacht mit Dampf behandelt. Am folgenden Morgen, wenn die Würfeldruckfestigkeit grösser als 150 kg/cm<sup>2</sup> ist, wird die äussere Schalung entfernt, der Durchmesser der inneren verringert und die vorfabrizierte Einheit mittels eines Portalkranes herausgehoben. Sie wird auf ein Kippgestell gesetzt und von der vertikalen in eine horizontale Lage gekippt (Bild 14).

Danach wird jede Einheit, in zwei Schlaufen am 75-t-Portalkran hängend, auf die Montagebahn gelegt und dann gerichtet. Die 40 cm breiten Fugen zwischen benachbarten Elementen werden ausarmiert und die Kabelhüllen miteinander verbunden (Bild 15). Die Fugen werden ausbetoniert und nach 24 Stunden vier Vorspannkabel gespannt. Sobald die Druckfestigkeit des Fugenbetons 150 kg/cm<sup>2</sup> beträgt, werden die übrigen 8 Kabel gespannt. Die Kabel sind vom Typ BBRV und bestehen aus je 22 Drähten von 7 mm Durchmesser. Diese Kabel haben eine Injektionsverankerung, so dass die Hüllen zuerst ausinjiziert werden müssen, bevor die Hilfsteile der Verankerung zur Wiederverwendung zurückgewonnen werden können und der Pfahl für den Abtransport auf die Baustelle bereit ist. Unterdessen ist der Pfahl mit Hilfe von zwei 300-t-Kränen bereits vom Bett weggehoben und auf Lagergestelle gelegt worden (Bilder 16 und 17).

Um die Quermomente beim Lagern auf ein Minimum zu reduzieren (max. Auflagerreaktion 300 t), werden für die Auflagerung statt Böcke mehrere Windungen von Seilschlingen, die in einer Beton-

Bild 17. Lagergestell mit Schlaufen, in welches der Pfahl gelegt wird





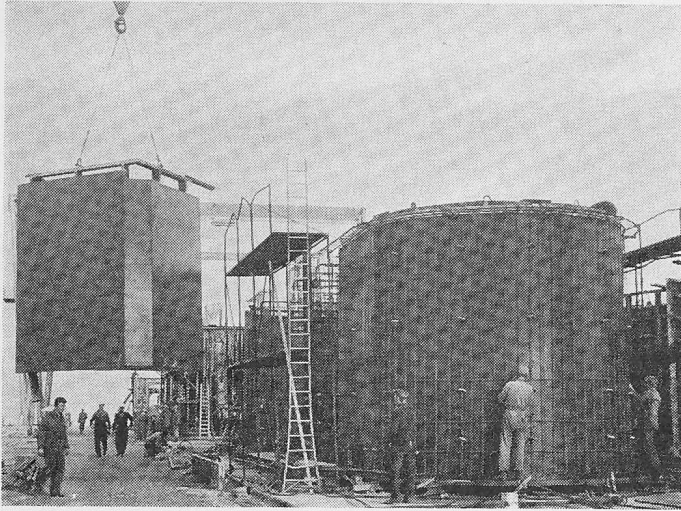


Bild 18. Die Pfeilerkopfschalung ist in grosse Stücke unterteilt

konstruktion hängen, verwendet. Auch für den Pfahltransport mit den 300-t-Kränen und dem Pfahltransportschiff wird eine ähnliche Anordnung verwendet. Die untere Kante eines jeden Pfahls ist mit einer Schneide aus Profilstahl versehen. Um die Mantelreibung zu reduzieren, ist der Radius des Pfahles oberhalb dieser Schneide um 3 cm kleiner. Um diesen, möglicherweise mit losem Sand ausgefüllten Raum von 3 cm rund um den Pfahl zu verfestigen, wird nach dem Einbringen des Pfahles Mörtel aus einer ringförmigen Leitung aus dem Pfahl gepresst, bis ein bestimmter Gegendruck aufgebaut ist.

Beim Lagerplatz wird der Pfahl mit einer 7 m langen Stahlkappe, die für das Fassen des Pfahles benötigt wird, versehen. Auf dem Areal für die Herstellung der Pfähle werden auch die Kugelschalen fabriziert, die als verlorene Schalung beim Betonieren der obersten 4 m des Pfahles im Pfeilerkopf zur Anwendung kommen.

#### Herstellung der Pfeilerköpfe und Pfeileraufsätze

Wegen der komplizierten Formen der Pfeilerköpfe (vgl. Bild 7) kann nur ein kleiner Teil der Schalung nach dem Betonieren stehen bleiben. Die inneren, wie auch die äusseren Wände müssen jeweils demontiert und wieder zusammengebaut werden. Durch die Anwendung von sehr grossen Einzelteilen war es möglich, diese arbeitsintensive Operation rasch durchzuführen (Bild 18). Ein grosser Teil der Bewehrung der Böden und Zwischenwände ist auch hier vorfabriziert; aber infolge der grossen Zahl von Spanngliedern und deren komplizierter Führung war es nicht möglich, die Vorfabrikation noch weiter zu treiben (Bild 19).

Für die äussere Vorspannung werden 60 Freyssinet Kabel mit je 12  $\varnothing$  7 mm verwendet; die Zwischenwände erhalten Ausgleichkabel mit je einer festen Verankerung. Ferner reichen BBRV-Kabel aus 21  $\varnothing$  7 mm bestehend, vom Pfeileraufsatz in den Kopf hinein.

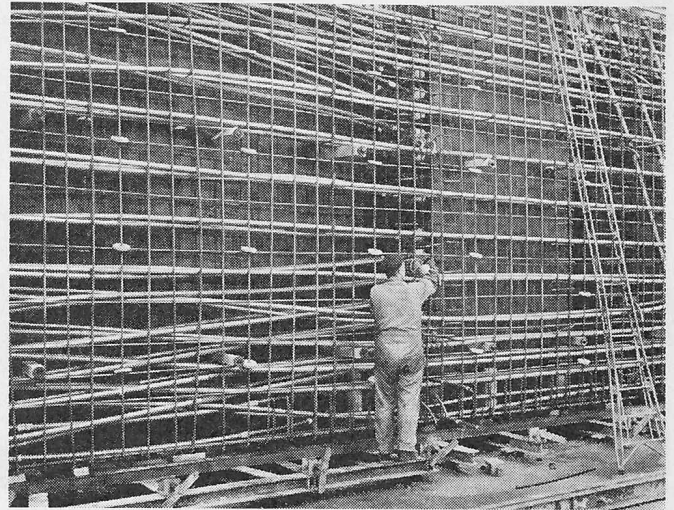
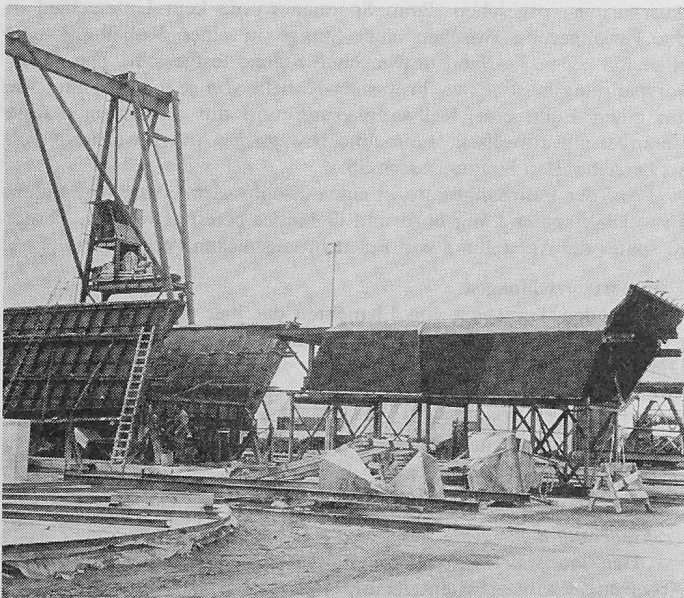


Bild 19. Verwickelter Kabelverlauf bei einem Pfeilerkopf

Der V-förmige Pfeileraufsatz wird in zwei Hälften unterteilt. Die Schalung für jede Hälfte ist liegend angeordnet und besteht aus einer festen Aussenwand und einer beweglichen Innenwand.

Zuerst wird in der Aussenschalung die Bewehrung des «Bodens» und der «Wände» mit den Vorspannkabeln geflochten. Anschliessend wird auf Verteilerblöcken aus Beton eine Schienenbahn montiert, auf welcher die zusammengeklappte Innenschalung eingefahren wird (Bild 20). Dieser Kern ist ähnlich konstruiert wie die Schalungen, welche für Tunnelauskleidungen verwendet werden.

Nachdem die Innenschalung auf ihre richtige Form ausgeklappt ist, kann die Armierung des «Daches» – das heisst, der späteren Seitenwand des V-förmigen Pfeileraufsatzes – eingebaut werden. Nach Erhärtung des Betons wird der Kern aus der Schalung ausgefahren und die Aussenschalung mittels Spanschlössern und Gewindestangen etwas geöffnet. Die Freyssinet-Querkabel von je 12  $\varnothing$  7 mm müssen vorgespannt werden, bevor das Element ausgeschalt werden kann, da die Drahtenden abgeschnitten werden. Vorher kann die Einheit nicht aus der Schalung gehoben werden.

Die Transporttraversen, an denen das Element aus der Schalung gehoben und transportiert wird, werden mittels Dywidag-Stangen befestigt. Diese werden später für die Verbindung zwischen Überbau und Pfeiler verwendet. An der Unterseite der Einheit wird vorübergehend eine Hilfsrolle befestigt, auf der das Element rollt, während es aus der Schalung herausgekippt wird (Bild 21). Dieses kombinierte Heben und Kippen der Einheit bringt sie in ihre richtige, endgültige Lage.

Zwei der Pfeileraufsatz-Hälften werden mit Hilfe eines 300-t-Kranes auf einen Stahlrahmen gestellt (Bild 22), worauf die Fuge ausbetoniert werden kann. Nach Erhärtung dieses Fugenbetons werden die Kupplungskabel gespannt. Der Stahlrahmen wird auch ge-

Bild 20 (links). Innen- und Aussenschalung eines V-förmigen Pfeileraufsatzes

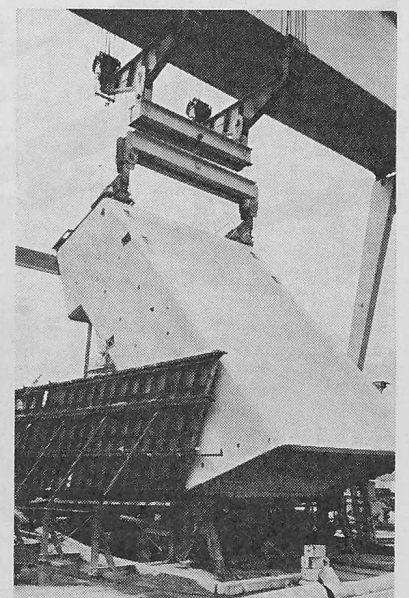


Bild 21 (rechts). Kippen der Hälfte eines V-förmigen Pfeileraufsatzes aus der Schalung



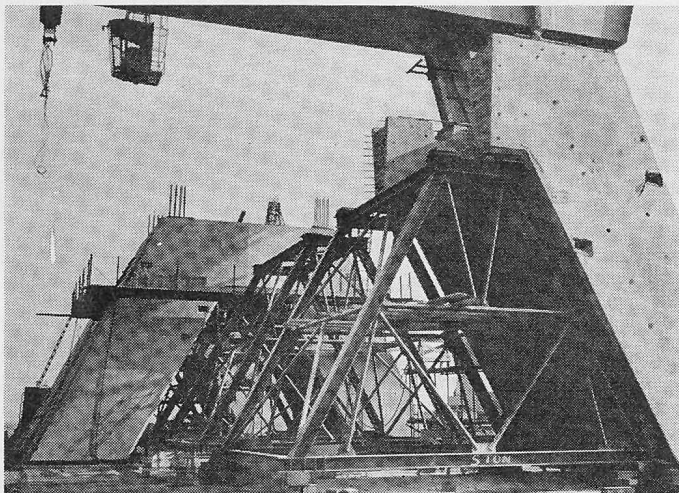


Bild 22. Die Hälfte eines V-förmigen Pfeileraufsatzes auf dem Stahlrahmen

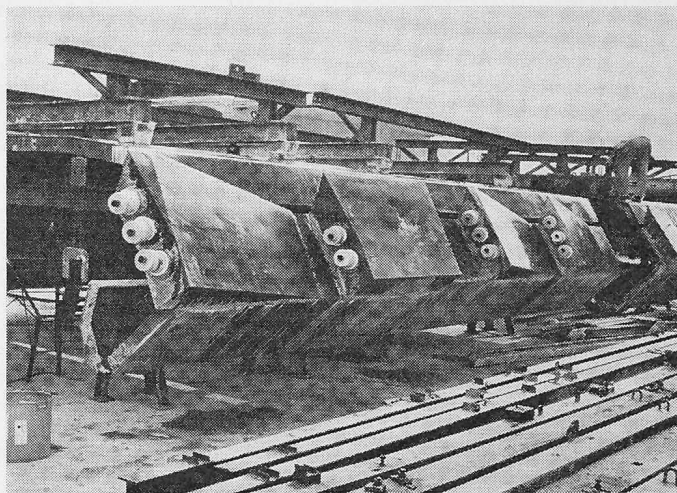


Bild 23 (nebenstehend). Zusammenklappbare Innenschalung des V-förmigen Pfeileraufsatzes

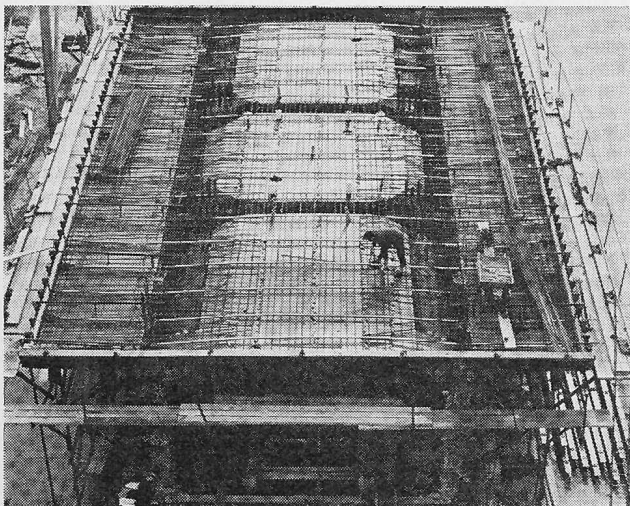


Bild 24. «Hammerstück»: Bewehrung der Fahrbahnplatte

Bild 25. Die Innenschalung für die B-Einheit wird eingefahren



braucht, um den Pfeileraufsatz während der Montage auf dem Pfeilerkopf zu stützen. Die Unterteilung des V-förmigen Pfeileraufsatzes in zwei Hälften war erwünscht, um die Schalung einfach zu halten und die Herstellungsdauer dem Arbeitszyklus anzupassen.

#### Herstellung der Überbauelemente

Pro Öffnung sind ein «Hammerstück» und je zwei Einheiten B, C und D für die Kragarme erforderlich. Für das relativ komplizierte «Hammerstück» steht daher zweimal soviel Zeit als für die übrigen Teile zur Verfügung.

Der Aufbau der Schalung entspricht demjenigen für die Pfeileraufsätze: eine feste Aussenschalung mit geneigten Wänden und eine bewegliche, ineinanderklappbare Innenschalung (Bild 23). Die Stirnschalung besteht aus einzelnen Teilen, weil die herausragende Stossarmierung die Entfernung von grossen Schalungswänden erschwert hätte.

In die Elemente werden in dieser Reihenfolge eingebracht: Bodenarmierung, äussere Wandarmierung, Dywidag-Vorspannstangen in den Wänden, Dywidag-Hebestangen, innere Wandarmierung, innere Schalung, untere Armierung der Fahrbahnplatte, Quer- und Längsvorspannung der Fahrbahnplatte und obere Armierung der Fahrbahnplatte (Bilder 24 und 25).

Die Verdichtung des Betons geschieht hier mit Tauchvibratoren, während die Fahrbahnplatte zusätzlich mit Oberflächenvibratoren bearbeitet wird. Die Einheiten werden dampfgehärtet, und nach einer Nacht beträgt die Druckfestigkeit mit Hochofenzement der Klasse B ungefähr 250 kg/cm<sup>2</sup>.

Die Dywidag-Stangen in den Wänden der Elemente werden nicht in Hüllen verlegt, sondern mit einer speziellen Sorte «Denso»-Band umwickelt und einbetoniert. Am unteren Ende der Stange befindet sich eine feste Ankerplatte, während oben an der Spannseite die Verankerung aus einer Ankerplatte besteht, die vorübergehend an einer Mutter angeleimt ist. Für das Ansetzen der Spannpressen wird eine Aussparung vorgesehen. Beim Spannen wurde kein Unterschied in der Verlängerung zwischen einer Stange in einer Kabelhülle und einer mit «Denso»-Band umwickelten Stange festgestellt. Die Quervorspannung besteht aus Freyssinet-Kabeln von je 12  $\varnothing$  7 mm, die am einen Ende eine Keilverankerung und am andern eine feste Verankerung aufweisen. Feste und bewegliche Anker wechseln sich an benachbarten Spanngliedern ab.

Auf der Fahrbahnplatte ist eine Anschlussarmierung vorhanden, an welcher später Längsbord und Geländer befestigt werden. Ferner ist später die Aufstellung von Beleuchtungsmasten vorgesehen.

#### Transportvorrichtungen

Für den Transport von Elementen der hier verwendeten, ungewöhnlichen Abmessungen waren spezielle Konstruktionen notwendig. Die Gewichte betragen:

Pfähle	300 $\div$ 500 t
Pfeilerköpfe	400 t
Pfeileraufsätze	410 t
Hammerstücke	600 t
Überbauelemente	275 $\div$ 225 $\div$ 190 t

#### Transport auf dem Land

Der Transport von fertigen vorgespannten Einheiten über das Arbeitsareal wird grösstenteils mit Hilfe der 300-t-Portalkrane durch-



geführt, wie im Abschnitt «Vorfabrikation» beschrieben. Alle Elemente, mit Ausnahme der «kleinen» Überbauteile, werden mit diesen beiden Kränen befördert (Bilder 16 und 29).

Die Befestigung des Hebezeugs am Beton erfolgt im allgemeinen mit Dywidag-Stangen. Vor dem Heben eines Elementes werden die Stangen mit einer Spannung, die zweimal so gross wie die berechnete Spannung während des Hebens ist, vorgespannt. Auf diese Weise wird die Befestigung geprüft und überdies auch gegen Gleiten bei allfälliger schiefer Belastung gesichert (vgl. unter anderem das Kippen der Pfeilerhälften aus der Schalung).

#### Transport über dem Wasser

Die Foundationspfähle werden mit einem Transportschiff befördert, das aus zwei miteinander unter Wasser verbundenen Spezialpontons besteht. Zwischen diesen liegen die Pfähle in Schlaufen. Die Seile beim oberen Ende des Pfahles sind am Schiff befestigt, während die anderen Seile an einem Kipprahmen hängen. Diese Kippkonstruktion erhält für jeden Pfahl eine dazu passende Länge und dient während des Aufrichtens durch die Pfahlramme als Unterstützung des Pfahls in mehreren Punkten. Dadurch werden die Biegemomente im Pfahl vermindert.

Die Pfeilerköpfe werden auf demselben Schiff wie die Pfähle transportiert. Für den Transport und das Versetzen der Pfeileraufsätze und «Hammerstücke» wurde ein aus zwei gekoppelten Kähnen konstruiertes Schiff verwendet. Weitere Einzelheiten sind später aufgeführt.

Die Überbauelemente B, C und D werden auf zwei Einheiten, die aus je drei gekoppelten 140-t-Kähnen bestehen, befördert. Die Verbindungsbalken sind so ausgeführt, dass die Oberfläche der Elemente, das heisst, die künftige Fahrbahn, bei verschiedener Neigung der Unterseite immer horizontal bleibt (vgl. Bild 26). Auf diesen Kähnen ist ebenfalls Platz vorhanden für den Transport des Gerüsts, von dem aus die Fugen zwischen den verschiedenen Überbauelementen geschalt und betoniert werden. Ferner steht folgendes schwimmende Material zur Verfügung: eine schwimmende Betonmischanlage mit einem 1000-l-Mischer, ein spezielles Schiff für das Injizieren des Prepackt-Betons, der Pfahlränder und eines Teils der Vorspannkabel, ein schwimmender Derrickkran, Transportschiffe für allgemeine Zwecke, Schlepper, Leichter und Personalboote.



Bild 26. Transport von C-Einheiten auf dem Wasser

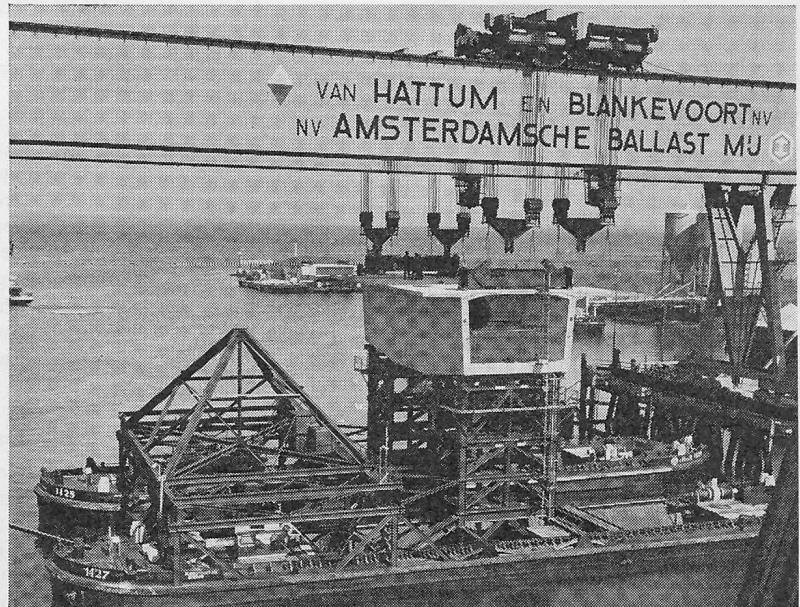


Bild 29. Der Transport von Pfeileraufsätzen und Hammerstücken geschieht mittels eines speziell ausgerüstetes Schiffes

Bild 27. Die Pfähle werden mit einem Schwimmkran eingeschwommen, mit dessen Hilfe der Pfeilerkopf gesetzt werden kann

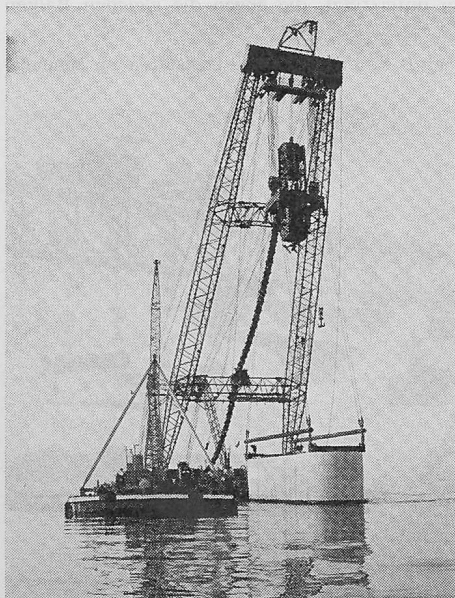
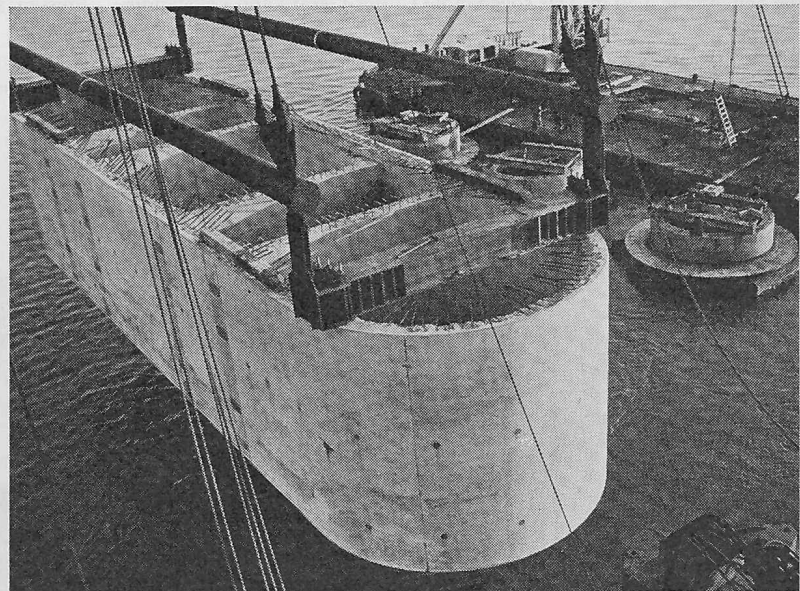


Bild 28. Herunterlassen des Pfeilerkopfes auf die drei versetzten Pfähle





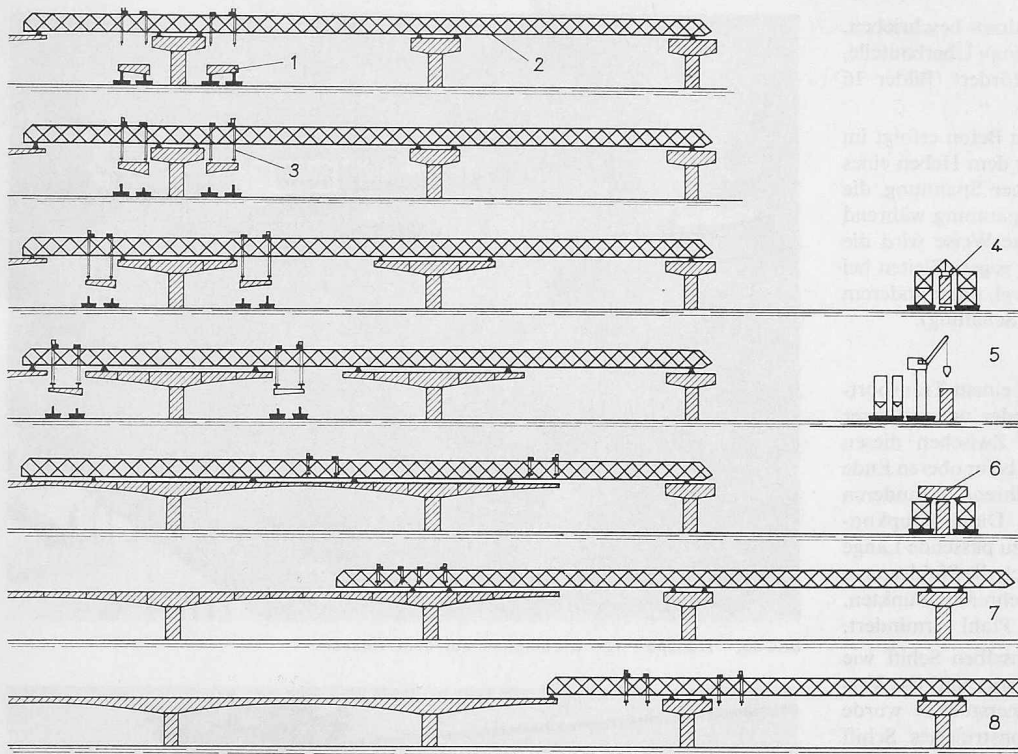


Bild 31. Schematische Darstellung der Montage der B-, C- und D-Elemente mit einer Montage-Brücke

- 1 Die Brückenelemente B werden auf Kähnen zur Baustelle gebracht
- 2 Montagebrücke
- 3 Die Brückenelemente werden mit Laufkatzen emporgehoben
- 4 Die Pfeileraufsätze werden eingefahren
- 5 Die Betonfüllung wird mit einer schwimmenden Betonieranlage eingebracht
- 6 Das Brückenelement A («Hammerstück») wird eingefahren
- 7 Nach Fertigstellung des Brückenfeldes wird die Montagebrücke vorgeschoben
- 8 Die Montagebrücke ist zur Erstellung des nächsten Brückenfeldes bereit

## Versetzen der Pfähle und Pfahlköpfe

### Versetzen der Pfähle

Der Grund der Oosterschelde besteht grösstenteils aus feinem Sand. Die rohrförmigen Pfähle werden hineingetrieben, indem man den Sand am unteren Ende des Pfahles ausgräbt. Hiefür wird ein Schwimmkran mit einem Hubvermögen von 600 t verwendet. Dieser ist auch mit einem Cutter und einer Pumpanlage ausgerüstet (Bild 27).

Die Reihenfolge der Arbeitsgänge ist wie folgt: Der Pfahl, der zuerst liegend auf dem Transportschiff herangeführt wurde, wird vom Schwimmkran an der Pfahlkappe gefasst, in eine vertikale Lage gebracht und dann gehoben. An seinem richtigen Standort eingemessen, wird der Pfahl auf den Boden gestellt und die Pumpegeräte und Cutter darin hinuntergelassen. Mit diesen Geräten wird der Boden am Pfahlfuss weggepumpt, nachdem er, sofern nötig, vom Cutter ausgeschnitten wurde. Hiedurch beginnt der Pfahl, von seinem Eigengewicht belastet, zu sinken. Wenn die Mantelreibung für weiteres Eindringen zu gross geworden ist, wird der Pfahl durch den Kahn belastet, wodurch eine vertikale Last bis 500 t aufgebracht werden kann. Während der letzten paar Meter der Bewegung nach unten wird das Wasserniveau innerhalb des Pfahls einige Meter höher als das äussere Niveau gehalten. Diese Massnahme verhindert einen hydraulischen Grundbruch.

Die Pontonabmessungen des Schwimmkranes betragen  $56 \times 23$  m, die Seitenhöhe 4,50 m. Das sogenannte Cutter-Gerät kann vollständig

unter Wasser arbeiten. Die Abfuhr des ausgeschnittenen Bodens und die Zufuhr von Spülwasser erfolgt durch Leitungen. Während des Einbringens wird der Pfahl durch eine Anzahl Rollen, die sich auf O.K.-Deck vor dem Schwimmkran befinden, geführt. Wenn der Pfahl auf seiner vorgeschriebenen Tiefe angelangt ist, wird er mit der grösstmöglichen Kraft durch den Schwimmkran belastet, so dass eine Vorbelastung von 500 t erfolgt. Gleichzeitig wird der Zustand des Bodens unter dem Pfahl mit einem elektrischen Sondierapparat kontrolliert und wenn nötig mit Hilfe von Luftvibratoren verbessert, bis man ein befriedigendes Resultat erhält.

Die unteren 4 bis 5 m des Pfahls werden mit Unterwasserbeton nach der Prepekt-Methode gefüllt. Im Rest des Pfahls bis zur Unterkante des Pfeilerkopfes bleibt das Wasser.

### Versetzen der Pfeilerköpfe

Wenn drei Pfähle eingebracht sind, wird ein Pfeilerkopf darüber gestülpt (Bild 28). Die Öffnungen im Boden des Pfeilerkopfes ergeben einen Spielraum von 35 cm rund um die Pfähle. Damit können Ungenauigkeiten beim Versetzen der Pfähle toleriert werden. Bevor der Schwimmkran den Pfeilerkopf versetzt, werden um jeden Pfahl schwimmende Kisten geschoben, die als Schalung unter dem Pfeilerkopf für die erste Betonlage dienen. Nach der Erhärtung dieses Betons können die Kisten aufgeklappt und in zwei Halbkreisen abgeschwommen werden. Der Pfeilerkopf wird vorübergehend mit hydraulischen Pressen auf den Pfählen unterstützt, die gegen die gleichen Balken

Bild 30. Montage eines «Hammerstückes» (A-Einheit)

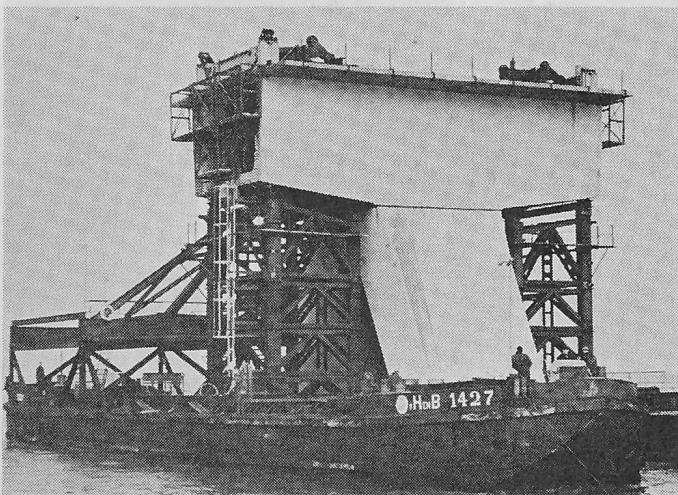
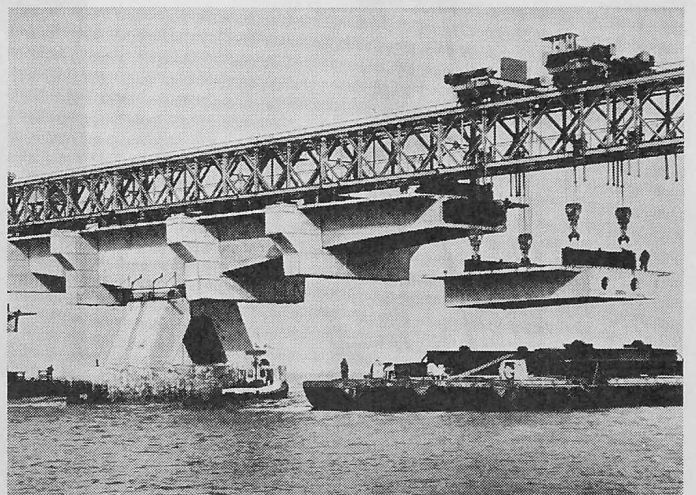


Bild 32. Eine Brückeneinheit D wird mit Hilfe von Laufkatzen zur Montagebrücke emporgehoben



stützen, mittels welcher der Pfeilerkopf auf dem Werkareal aus der Schalung gehoben wurde. Mit diesen Pressen wird der Pfeilerkopf genau einnivelliert. Daraufhin kann der obere Teil des Pfahles sowie der Pfeilerkopf ausbetoniert werden. Anschliessend wird der Raum zwischen Pfahl und Pfeilerkopf ausbetoniert; nach dem Erhärten können von den Spannischen aus die Freyssinet-Kabel gespannt und injiziert werden. Zum Schluss werden auch die Spannischen ausbetoniert und der Rest des Pfeilerkopfes fertigbearbeitet.

#### Versetzen der Pfeileraufsätze und Hammerstücke

Für das Versetzen der Pfeileraufsätze und Hammerstücke wird ein spezielles Schiff verwendet. Die 410 t bzw. 600 t schweren Elemente werden auf zwei Türmen, wovon jeder auf einem 400-t-Kran aufgebaut ist, gestützt (Bild 29). Die zwei Kähne sind mittels eines räumlichen Fachwerkes zwischen den Hecks starr miteinander verbunden. Oben in den Türmen sind vier 150-t-Pressen mit einem Hub von 1000 m angeordnet.

Der Pfeileraufsatz hängt an zwei Balken, die auf diesen Türmen aufliegen; darunter hängt der stählerne Stellrahmen, auf dem das Element zusammengebaut wurde. Bei Flut fährt dieses Schiff an den Pfeilerkopf heran, ein Kahn auf jeder Seite desselben. Auf dem Pfeilerkopf sind vier Pressen aufgestellt, auf denen der stählerne Stellrahmen mit dem daraufliegenden V-förmigen Pfeileraufsatz zu ruhen kommt. Mit Hilfe der Pressen kann das Aufsatzstück genau eingemessen werden. Die BBRV-Kabel im Pfeilerkopf und im V-förmigen Pfeileraufsatz werden gekuppelt und die Kabelhüllen gestossen. Die Fuge wird ausarmiert, worauf die Schalung geschlossen werden kann.

Nachdem die rund 40 cm breite Fuge ausbetoniert ist, werden die Pfeiler bis zu einer Höhe N.A.P. + 5 m mit Beton gefüllt, um dem eventuell auftretenden Druck von Treibeis auf den verhältnismässig dünnen Wänden des Hohl Pfeilers standhalten zu können. Sobald der Fugenbeton erhärtet ist, werden der Stellrahmen entfernt, die BBRV-Kabel gespannt und Gummilager für das «Hammerstück» vorübergehend auf den V-förmigen Pfeiler aufgesetzt.

Das Versetzen eines «Hammerstückes» wird mit dem selben Transportschiff ausgeführt. In diesem Fall aber wird das «Hammerstück» direkt von den Pressen gestützt. Die Kähne fahren bei Flut auf beide Seiten des Pfeilerkopfes, womit das «Hammerstück» über den V-förmigen Pfeileraufsatz hängt (Bild 30). Die Pressen werden dann teilweise gehoben, damit, sobald der Wasserspiegel infolge der Gezeiten zu sinken anfängt, die Einheit auf der richtigen Höhe liegt und abgesetzt werden kann. Sollte die Lage nicht richtig sein, kann die Einheit nochmals angehoben werden. Sobald das Stück am richtigen Ort steht, wird es mit 4mal 10 vertikalen Dywidag-Stangen gesichert, wobei die Muttern angezogen, die Stangen jedoch nicht gespannt werden. Nach der Vollendung einer Brückenöffnung wird das «Hammerstück» von seinen provisorischen Gummilagern mittels acht 300-t-Pressen gehoben. Die ganze Öffnung kann jetzt auf die richtige Höhe justiert und die rund 5 cm breite Fuge zwischen dem «Hammerstück» und dem V-förmigen Pfeileraufsatz mit Feinbeton aufgefüllt werden. Daraufhin werden die vierzig Dywidag-Stangen definitiv vorgespannt.



Bild 33. Stossdämpfer

#### Montage der übrigen Überbauelemente

Für die Montage der 275 t, 225 t und 190 t schweren B-, C- und D-Einheiten wurde eine Montagebrücke konstruiert (Bilder 31 und 32). In der Ausgangslage liegt diese Hilfsbrücke auf zwei Hammerstücken, ihr hinteres Ende auf der fertigen Konstruktion und ihr vorderer Vorbauschubel auf dem folgenden Pfeiler. Zwei B-Einheiten werden mit Transportschiffen, die auf je einer Seite des Pfeilers vertäut sind, gebracht. Auf der Montagebrücke fahren vier Laufkatzen mit einem Hubvermögen von je 150 t. Mit zwei Katzen pro Element werden jetzt die Einheiten gleichzeitig von den Kähnen bis knapp unter die Montagebrücke gehoben. Hier wird jede Einheit von acht Pressen übernommen, mit denen die Einheit auf die berechnete Lage gebracht werden kann. In der Zwischenzeit sind die Laufkatzen zum anderen Pfeiler gefahren, wo auf gleiche Weise auch hier zwei B-Einheiten gehoben werden.

Gleichzeitig mit den Elementen, oder kurz nachher, wird ein Gerüst, welches die Fuge umschliesst, heraufgezogen. Die Kabelhüllen benachbarter Elemente werden gestossen, Vorspannkabel durchgeschoben, Armierungseisen verlegt und die Schalung geschlossen. Anschliessend wird die rund 40 cm breite Fuge betoniert. Ein Monoraill auf der Montagebrücke dient für die Anfuhr des Betons. Die Erhärtung kann während der Kälteperiode durch Zufuhr von Dampf im Fugengerüst beschleunigt werden.

Sobald die Druckfestigkeit des Fugenbetons genügt, werden die Längsvorspannkabel gespannt. Ist die Hälfte dieser Kabel gespannt, so kann das Eigengewicht der Elemente getragen werden, und die Aufhängekonstruktion wird entfernt (Bild 32). Sobald die übrigen Kabel vorgespannt sind, wird die Lagerung der Montagebrücke vom Hammerstück nach den äusseren Enden von jedem B-Teil verlegt. Nun können die C- und dann die D-Einheiten auf genau die gleiche Weise herangeführt und versetzt werden. Wenn diese Einheiten selbst-

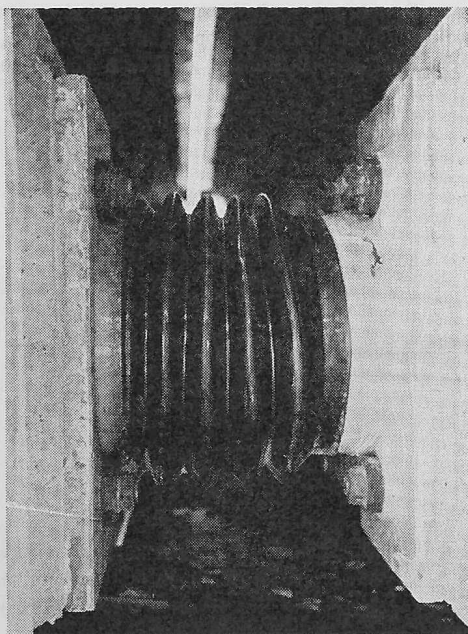


Bild 34. (links). Das Querkraftgelenk bildet eine in Querrichtung unverschiebbliche Verbindung (siehe auch Bild 8)

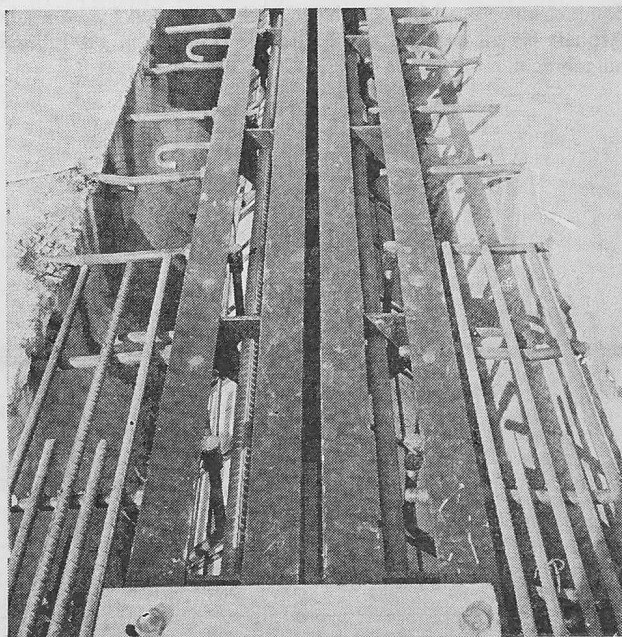


Bild 35 (rechts). Profilstahlrahmen auf beiden D-Elementen, worauf später die Fahrbahnübergänge befestigt werden



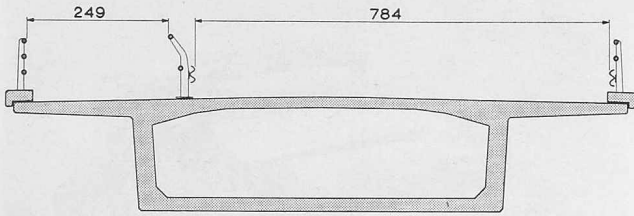


Bild 36. Querschnitt durch die Fahrbahnplatte. Das Zwischengeländer kann später auf einfache Weise entfernt werden

tragend werden, wird die Montagebrücke zu ihrer nächsten Arbeitsstellung vorgefahren, das heisst zwei Brückenöffnungen weiter.

Die Radsätze auf den Hammerstücken werden mit hydraulischen Pressen so weit gehoben, dass die Montagebrücke ausschliesslich auf diesen Rädern ruht. Schienenprofile, die auf der Unterseite der Montagebrücke befestigt sind, rollen auf diesen Rädern. Mit Hilfe einer elektrischen Winde wird jetzt der Träger über  $2 \times 95$  m vorgefahren und von hier aus der Arbeitsvorgang in derselben Reihenfolge wiederholt. Die Dauer eines Montagezyklus für zwei Öffnungen beträgt rund drei Wochen.

#### Fertigstellung des Überbaues

Nach der Montage werden die Abschlussarbeiten des Brückenüberbaues ausgeführt. Dies umfasst in erster Linie das Spannen und Injizieren der übrigen Vorspannkabel. Die Brückenöffnungen können jetzt auch durch Anheben einer ganzen 95 m langen Kragkonstruktion (zwischen Brückengelenken in Feldmitte) mit Hilfe der acht 300-t-Pressen zwischen dem V-förmigen Pfeiler und dem Hammerstück gerichtet werden. Die Fuge wird zubetoniert, und die Dywidag-Stangen, die das Hammerstück an den Pfeiler kuppeln, können so angespannt werden, wie oben bereits beschrieben wurde.

Wenn zwei benachbarte Kragkonstruktionen fertiggestellt sind, können in der Fuge zwischen den D-Elementen die Querkraftgelenke sowie die Stossdämpfer montiert und daraufhin die Fahrbahnplatte geschlossen werden (Bilder 33 und 34). An die D-Einheiten wird eine Auskragung mit einem Profilstahlrahmen anbetoniert, woran später der Fahrbahnübergang befestigt wird (Bild 35).

Die Brückenfahrbahnplatte ist längs den Rändern mit einem 20 cm starken vorgefabrizierten Längsbord versehen, in welchem das Geländer (bestehend aus flachen Stützen und Rohren) befestigt wird. Zwischen Fahrbahn und Fahrradweg kommt ein Geländer, das an die Fahrbahnplatte angeschraubt wird und nach Wunsch leicht entfernt werden könnte, um eine weitere Fahrspur zu erhalten (Bild 36). Überdies wird an beiden Seiten der Fahrbahn eine Leitplanke montiert. Da die Brücke über das offene Meer führt, wurden die Rohrprofile nicht zu leicht gewählt. Das Geländer ist im Vollbad verzinkt worden.

Die Fahrbahn wird mit einem Belag von 5 cm Asphaltbeton und Sammelrinnen aus Mastixasphalt versehen. Bei den Fugen wird dieser Asphalt bis zu den auf der Fahrbahn angebauten Fahrübergängen aufgebracht.

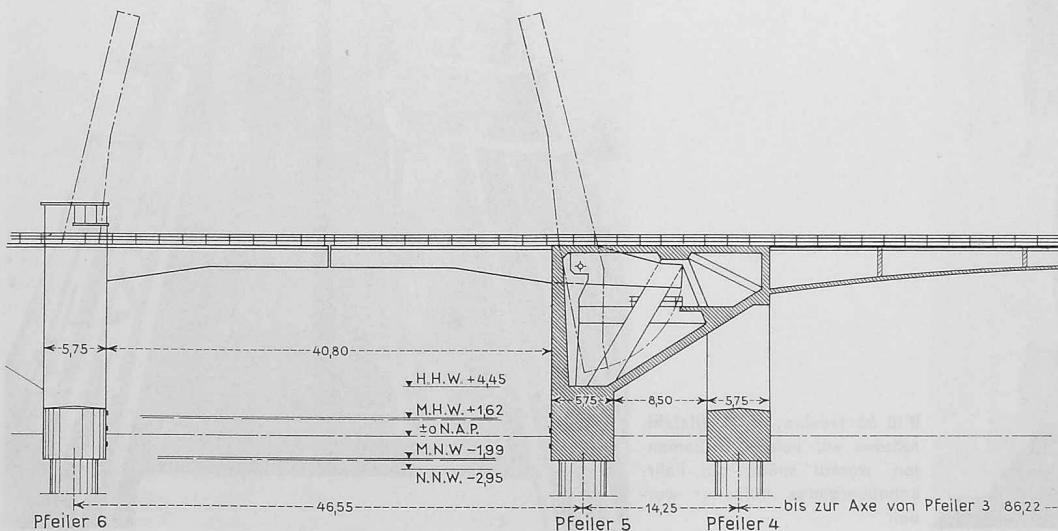


Bild 37. Zweiflüglige Klappbrücke mit 40 m Durchfahrtsbreite bei Schouwen-Duiveland, Querschnitt 1:700

#### Klappbrücke

Obwohl ein grosser Teil von jeder Brückenöffnung eine Durchfahrtsbreite von N.A.P. + 15 m bietet, wurde es als notwendig erachtet, unter anderem für die Ausführung des Abschlussdammes in der Oosterschelde eine bewegliche Brückenöffnung mit unbegrenzter Durchfahrtsbreite vorzusehen. Der geeignete Platz hierfür befand sich an der Nordseite des tiefen Schiffahrtsweges bei Schouwen-Duiveland. Weil die Stromrichtung hier nicht senkrecht zur Brückenaxe steht, war eine lichte Durchfahrtsbreite von 40 m notwendig.

Um nicht allzu tiefe Klappenkeller zu erhalten, wurde eine zwei-flügelige Klappbrücke mit Klappen von je 20 m Auskragung gewählt. Die Stahlkonstruktion und der Bewegungsapparat wurden von der Firma N.V. Werkspoor entworfen und von dieser ausgeführt (Bild 37). Die Klappen, inklusive Gegengewicht, sind mit dem grossen Schwimmkran in einem Arbeitsgang eingebaut worden. Die Stützpunkte der stählernen Klappen liegen auf den Rändern der zugehörigen Klappenkeller. Da der Anschluss der übrigen Betonbrückenöffnungen an einer steifen Auflagerung schwer durchführbar ist, wurde von den Klappenkellern aus je ein 35 m langer Betonkragarm angeordnet. Dieses Mass war ebenfalls das Schliessmass auf der totalen Brückenlänge.

Auf die Klappenkeller wirken als Belastungen die Reaktionen von der Klappbrücke und die Momente und Querkräfte von der auskragenden 35-m-Brücke. Diese letzteren Kräfte sind beträchtlich. Um die Druckkraft, die von der Bodenplatte herrührt, und die Zugkraft, die aus der Deckplatte herrührt, aufzunehmen, ist der Klappenkeller mit einem Betonfachwerk versehen. Die Hauptbestandteile hievon sind die Kellerbodenplatte und zwei schwer vorgespannte Zugstäbe für die Aufnahme der Druck- bzw. Zugspannungen aus der Deckplatte. Die Bodenplatte des Klappenkellers ist gleichzeitig geneigt, um den Wellen, die zwischen den Pfeilern unter dieser Platte aufwärtsgerichteten Wellenschlag erzeugen könnten, Raum zu geben.

Da der Montageträger über die fertige Klappbrücke hinüberfahren musste, war die Ausführung dieser Klappbrücke bereits in einem frühen Stadium an die Hand zu nehmen. Die Fundationen der Klappbrücke bestehen aus den selben Bestandteilen, wie sie sonst bei der Brücke verwendet werden. Jeder Klappenkeller ruht auf zwei «Pfeilern», von welchen jeder aus drei Pfählen mit einem Pfeilerkopf besteht. Auf den Pfeilerköpfen ist auf der Durchfahrtsseite bis zur Höhe N.A.P. + 4,50 m aufbetoniert worden; auf den anderen sind hohle Türme bis zur Höhe N.A.P. + 12 m gesetzt worden. Um eine Unterstützungskonstruktion zur Zeit der Anfertigung der Bodenplatte des Klappenkellers zu vermeiden, ist diese Platte im Werk vorgefabriziert und mit dem Schwimmkran auf den ortsbetonierten Unterbau versetzt worden. Der Rest des Klappenkellers wurde am Ort betoniert (Bild 37). Die Zugstäbe enthalten 21 BBRV-Kabel, die unten im Pfeilerkopf verankert sind und von oben auf der Brückenfahrbahn gespannt werden.

Nach Fertigstellung der Klappenkeller sollen die auskragenden Brückenteile auf dieselbe Weise wie die übrigen Brückenöffnungen mit der Montagebrücke montiert werden. Die hier zu montierenden Überbau-Elemente weisen die selben Abmessungen auf wie die normalen Elemente; nur Bewehrung und Vorspannung sind etwas anders. Die Einheit, welche direkt an den Klappenkeller anschliesst, ist etwas kürzer als eine normale B-Einheit. Auf dem südlichen

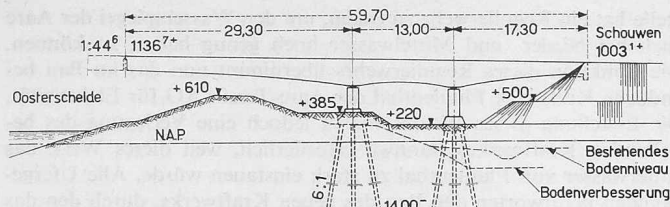
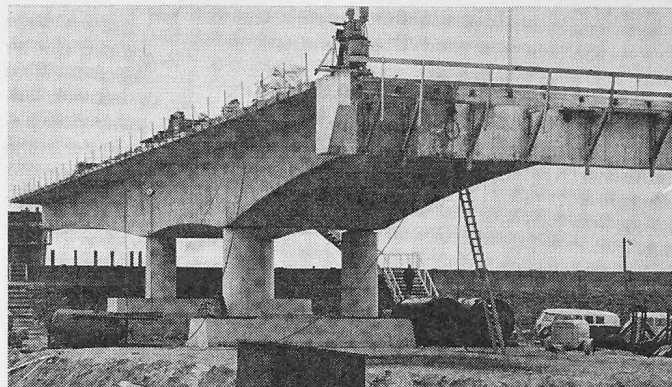


Bild 38 (oben). System der Rampenbrücke, Ansicht 1:1000

Bild 39 (nebenstehend). Die Rampenbrücke wurde in Ortsbeton erstellt



Klappenkeller befindet sich das Bedienungshaus, während in diesem Keller die Transformatorenanlagen, Schaltgeräte und Platz für ein Notsystem vorgesehen sind. Ebenfalls auf diesem Klappenkeller sollen die Schalter für die Brückenzollzahlung gebaut werden. Sollte jemals der Verkehrsandrang so gross werden, dass noch mehr Schalter nötig sind, hat man beim Fährhafen De Val einen grossen Platz hierfür zur Verfügung.

### Rampenbrücken

Jede Brücke, so auch diese, beginnt und endet irgendwo. Die Ausführungsmethoden von Foundation und Überbau machten es unmöglich, die normale Brückenkonstruktion über die Oosterschelde-Deiche hinweg fortzusetzen. Somit waren auf beiden Seiten auf andere Weise Rampenbrücken zu erstellen, die über die Deiche hinweg so weit über das Wasser hinausragten, dass die normale Brückenkonstruktion daran angeschlossen werden konnte. Vorgeschrieben war ferner, dass in den Deichkörper selbst keine Stützpunkte gestellt werden durften, dass bei beiden Ufern direkt hinter dem Deich eine Lokalstrasse überquert wird und dass die bestehenden Deiche in genügender Höhe gekreuzt werden müssen, damit eine allfällige Deicherhöhung um rund 2 m möglich bleiben würde. Wegen dieser letzten Bedingung war es notwendig, einen schweren Erddamm bis rund N.A.P. + 10 m für den Anschluss der Strasse an die Rampenbrücke zu erstellen. Um Bodenverschiebungen und Horizontaldrucke auf die noch zu bauenden Rampenbrücken soviel wie möglich zu vermeiden, sind bis zu einer Tiefe von N.A.P. — 1,60 m auf Noord-Beveland und N.A.P. — 3,50 m auf Schouwen-Duiveland Bodenverbesserungen durchgeführt worden. Die Rampenbrücken sind fundiert auf Rammpfählen aus armiertem Beton auf N.A.P. — 9,00 m auf Noord-Beveland und auf N.A.P. — 14,00 m auf Schouwen-Duiveland.

Ebenfalls zur Vermeidung von horizontalen Kräften auf die Pfähle ist vor dem Pfahlschlagen ein Teil der Sandfüllung eingebracht worden. Bei der weiteren Herstellung der aufgehäuften Wegkörper

sind dank diesen Massnahmen keine horizontalen Verschiebungen aufgetreten.

Die obenstehenden Bedingungen und Ausführungsweise haben zur Rampenbrückenform gemäss Bild 38 geführt; die Rampenbrücke ruht auf zwei Pfahljochen mit einem gegenseitigen Abstand von 13 m mit Kragarmen von 29,30 m wasserseits und 17,30 m landseits. Die landseitigen Pfeiler wirken als Pendelstützen; die wasserseitigen sind unten in der Foundation eingespannt und besitzen oben ein Gelenk. Der Querschnitt des Überbaues ist im Prinzip gleich dem der übrigen Brückenteile.

Auch hier besteht eine Längsvorspannung mit Freyssinet-Kabeln in der Brückenfahrbahn. Beide Rampenbrücken sind an Ort in Holzschalungen betoniert worden (Bild 39). Weil die Senkungen der Schalungsunterstützung auf dem Deichkörper beim Einbringen des Betons nicht genau vorausgesagt werden können, ist die Auflagerung des Überbaues auf den Pendelstützen so ausgeführt worden, dass nach Erhärtung und Ausrüstung die Höhenlage des Überbaues mit Hilfe von Pressen einige Zentimeter nach oben oder unten justiert werden kann. Erst nachher wird die definitive Auflagerung betoniert und vorgespannt.

### Schlussbemerkungen

Beim Bau der Oosterschelde-Brücke sind die folgenden Quantitäten verarbeitet worden:

- 130000 m<sup>3</sup> Beton (im Unterbau ist 60% und im Überbau 95% vorfabriziert)
- 7400 t Armierungsstahl
- 3300 t Vorspannstahl nach den Systemen Freyssinet, BBRV und Dywidag
- 162 Pfähle mit einer totalen Länge von rund 7000 m.

Deutsche Fassung von C. Lloyd Thomas Jr. und Gerald Welbergen, dipl. Bauingenieure ETH, Bureau BBR, Sophienstrasse 16, 8030 Zürich.

## Landschaftsschutz und Eigentumsrechte

DK 719.5:342

Manche Uferpartien des Neuenburgersees sind besonders reizvoll. Dazu gehören auch jene der Gemeinde Bevaix, die zwischen den bekannteren Ortschaften Cortaillod und St. Aubin liegt. Im Mai 1963 hiess die Gemeinde ein Reglement über den Schutz der Seeufer gut, das vom neuenburgischen Staatsrat nicht genehmigt wurde. Der Staatsrat schrieb der Gemeinde, er halte den Seeuferschutz für dringlich; er unterbreite ihr eine von kantonalen Stellen ausgearbeitete Vorlage. Diese wurde von den kommunalen Vorinstanzen gebilligt, an der Urne aber mit einer geringen Mehrheit verworfen. Hierauf erliess der Staatsrat zum Schutz des Seeufers und der dahinterliegenden Rebberge ein provisorisches Reglement, das sofort in Kraft getreten ist.

Das Bundesgericht hatte am 13. Oktober 1965 eine staatsrechtliche Beschwerde gegen das Vorgehen des Staatsrates zu beurteilen (BGE 91 I 329). Sein Entscheid, mit dem es die staatsrechtliche Beschwerde abwies, ist in rechtlicher Beziehung für den Landschaftsschutz wegweisend. Einerseits dehnt das Bundesgericht die freie Überprüfungsbefugnis gegenüber einer mit staatsrechtlicher Beschwerde angefochtenen Massnahme aus; andererseits präzisiert es, wann Einschränkungen der Eigentumsgarantie entschädigungspflichtig sind.

Nach der früheren Praxis prüfte das Bundesgericht üblicherweise die Rechtsgrundlage einer öffentlichrechtlichen Eigentumsbeschränkung nur vom Standpunkt der Willkür aus. Die Rechtsgrundlage

musste also ganz besonders «wackelig» sein, wenn der Beschwerdeführer Aussicht auf Erfolg haben wollte. Frei überprüft wurde bisher die Rechtsgrundlage nur, wenn die umstrittene Eigentumsbeschränkung einen ausgesprochen schweren Eingriff in die Eigentumsrechte darstellte und wenn diese in ihrer Art überdies nicht üblich war. Die Rechtsgrundlage für Baulinien, die praktisch in allen Kantonen seit Jahrzehnten festgesetzt werden, wurde vom Bundesgericht immer nur vom Standpunkt der Willkür aus beurteilt, mochte sich auch ausnahmsweise im Einzelfall der Eingriff für den Grundeigentümer noch so hart auswirken. In Zukunft hingegen spielt es keine Rolle mehr, ob es sich um eine übliche oder noch nicht allgemein bekannte Eigentumsbeschränkung handelt. Die Rechtsgrundlage jeder Eigentumsbeschränkung, die besonders weit geht, wird vom Bundesgericht frei und nicht mehr nur auf Willkür hin überprüft. Im vorliegenden Fall konnte sich der Staatsrat des Kantons Neuenburg auf einwandfreie gesetzliche Grundlagen berufen.

Ein Eingriff ins Eigentum ist aber auch dann, wenn eine gesetzliche Grundlage vorliegt, nur zulässig, wenn er im öffentlichen Interesse liegt. Das Bundesgericht erklärt, es habe schon oft entschieden, dass der Landschaftsschutz zu den Aufgaben im öffentlichen Interesse zähle. Das Verbot oder die Beschränkung von Bauten bildet das einzige Mittel, das Bild der Heimat für die künftigen Generationen so zu bewahren, wie es war, bevor es der Mensch entscheidend umgestaltet