



Eindverslag

# VERRUIMING PASSAGE ZEEBURG

## ONDERZOEK NAAR UITVOERINGSMETHODE SIFON

①

DL: 103727



# ENLARGEMENT PASSAGE ZEEBURG RESEARCH FOR WAY OF REALISATION SIPHON

BIBLIOTHEEK

Bouwdienst Rijkswaterstaat

Postbus 20.000

3502 LA Utrecht

BIBLIOTHEEK BOUWDIENST RIJKSWATERSTAAT  
NR. C.6984 BD4

Afstudeeronderzoek:  
Janneke van Dusseldorp

In opdracht van:  
Hogeschool van Utrecht

In samenwerking met:  
Bouwdienst Rijkswaterstaat

**Eindverslag**

# VERRUIMING PASSAGE ZEEBURG ONDERZOEK NAAR UITVOERINGSMETHODE SIFON



## INHOUDSOPGAVE

<b><u>SAMENVATTING</u></b>	<b><u>1</u></b>
<b><u>1. INLEIDING</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>2. VOORSTUDIE</u></b>	<b><u>6</u></b>
2.1 BESCHRIJVING PLANGEBIED	6
2.2 VERKEER & VERVOER	8
2.3 WATERHUISHOUDING	9
2.4 MILIEU-ASPECTEN	10
<b><u>3. VARIANTENSTUDIE</u></b>	<b><u>12</u></b>
3.1 TECHNISCH PROGRAMMA VAN EISEN	12
3.2 BOUWMETHODEN	12
3.3 VARIANTEN	16
3.4 BEOORDELINGSCRITEIA	26
3.5 SELECTIE	27
<b><u>4. UITWERKING VARIANTEN</u></b>	<b><u>29</u></b>
4.1 AFZINKEN KUNSTSTOF LEIDING	29
4.2 PERSEN BETONNEN LEIDING	32
4.3 SCHUIVEN BETONNEN ELEMENTEN	36
<b><u>5. RAMING VAN KOSTEN</u></b>	<b><u>40</u></b>
<b><u>6. CONCLUSIE</u></b>	<b><u>41</u></b>
<b><u>7. EVALUATIE UITGANGSPUNTEN</u></b>	<b><u>42</u></b>



**BIJLAGEN**

- A. VERKLARENDE WOORDENLIJST**
- B. LITERATUURLIJST**
- C. OVERZICHT DEELONDERWERPEN**
- D. OVERZICHTSFOTO PASSAGE ZEEBURG**
  
- 1. TECHNISCHE PROGRAMMA VAN EISEN**
- 2. HYDRAULISCHE BEREKENING**
- 3. STERKTEBEREKENING**
- 4. BEREKENING BOUWPUTTEN**
- 5. GEGEVENS GRONDONDERZOEK**
- 6. BEREKENING TREKPALEN**
- 7. RAMING VAN KOSTEN**



## SAMENVATTING

Passage Zeeburg is een onderdeel van het Amsterdam-Rijnkanaal ter hoogte van Amsterdam. Het kanaal is één van de hoofdtransportassen van Nederland en heeft een belangrijke functie in de waterhuishouding. Bij de laatste verruiming van het kanaal in 1982 is de Passage niet meegenomen. Door de aanwezigheid van een sluiscomplex vormt het kanaal een knelpunt voor de scheepvaart. Daarom is in 1997 het project 'Verruiming Passage Zeeburg' van start gegaan. Ten behoeve van de verruiming wordt het sluiscomplex verwijderd en wordt gekeken naar de mogelijkheden van een verlegging van de oostelijke dijk. In verband met de lage ecologische gesteldheid van het kanaal worden de harde damwanden vervangen door natuurvriendelijke oevers.

In de Passage bevindt zich tevens een sifon. Deze sifon is stamt uit 1940 en is aangelegd ten behoeve van de waterhuishouding van Amsterdam. De constructie bestaat uit twee betonnen uitstroomopeningen, verbonden door drie plaatstalen kokers met een gezamenlijke doorsnede van 30 m<sup>2</sup>. De sifon is echter in een zeer slechte onderhoudstoestand en zal moeten worden vervangen.

Bij de bouw van een nieuwe sifon moet de scheepvaart zo weinig mogelijk gehinderd worden. Daarom is niet elke bouwmethode geschikt om toegepast te worden. De volgende negen varianten voldoen echter wel aan de eisen:

1. Afzinken van betonnen elementen;
2. Afzinken en naspannen van betonnen elementen;
3. Afzinken stalen leiding;
4. Afzinken kunststof leiding;
5. Boren betonnen leiding;
6. Persen betonnen leiding;
7. Trekken betonnen leiding;
8. Trekken stalen leiding;
9. Schuiven betonnen elementen.

Elk van deze varianten heeft zijn eigen voor- en nadelen. Om uiteindelijk toch tot een keuze te komen zijn de varianten beoordeeld op overlast, milieu, bouwtijd, bouwkosten, onderhoud en innovativiteit. Hieruit komt de variant 4 als beste naar voren. Ter vergelijking worden de varianten 6 en 9 ook verder uitgewerkt.

Na uitwerking van deze drie varianten kunnen de kosten van elke variant worden geraamd. Deze voorontwerp-ramingen zijn van belang voor de uiteindelijke keuze voor een variant en kunnen tevens worden gebruikt voor een budget-reservering voor de uitvoering. De kosten zijn als volgt geraamd:

- Variant 4 - Afzinken kunststof leiding ca. f 13.500.000,-
- Variant 6 - Persen betonnen leiding ca. f 22.000.000,-
- Variant 9 - Schuiven betonnen koker ca. f 22.700.000,-

Op basis van de kostenramingen komt het afzinken van de kunststof leiding als beste naar voren. Omdat deze variant bij de voorafweging ook als beste naar voren kwam, kan worden geconcludeerd dat **het afzinken van een kunststof leiding het best kan worden toegepast bij de sifon in Passage Zeeburg.**



## 1. INLEIDING

Jaarlijks varen er zo'n 100 duizend vracht- en recreatieschepen over het Amsterdam-Rijnkanaal en daarmee is dit het drukst bevaren kanaal van Nederland en vergelijkbaar met de grote Nederlandse autosnelwegen A2 en A12. Om files in deze drukke waterweg te voorkomen, is het van belang dat het kanaal voldoende breed is en de schepen elkaar kunnen inhalen. Daarom is in de jaren '60 en '70 het kanaal bijna volledig uitgediept en verbreed van 50 naar 100 meter. Hierdoor is het kanaal volledig 3-strooks geworden en kunnen ook de grote schepen elkaar zonder problemen voorbij lopen.

Er zijn echter nog een paar plaatsen in het Amsterdam-Rijnkanaal, waar de vaarweg maar twee- of zelfs maar éénstrooks is. Daar kunnen de schepen elkaar niet inhalen, wat natuurlijk voor de nodige stremmingen zorgt. Een van deze versmallingen is Passage Zeeburg bij Amsterdam. Daar is het kanaal over een lengte van 300 meter maar 76 meter breed. Grote schepen zullen hier met inhalen moeten wachten tot ze door de versmalling heen zijn. In deze Passage bevindt zich ook een nog een sluiscomplex, waar de doorvaartbreedte zelfs maar 45 meter is. Dit is zo smal, dat er maar één groot schip tegelijk doorheen kan. En als je op de snelweg A2 zit en er is bij Amsterdam opeens een wegversmalling waar maar één auto tegelijk doorheen kan, dan vraagt dat om files, ergernis en ongelukken. Zo ook in Passage Zeeburg voor de scheepvaart. Op die plaats vinden de meeste aanvaringen van het hele Amsterdam-Rijnkanaal plaats.

Daarom is Rijkswaterstaat in november 1996 het project 'Verruiming Passage Zeeburg' gestart. Dit houdt in dat er gekeken is naar wat er allemaal moet gebeuren om dit knelpunt uit het Amsterdam-Rijnkanaal te halen. Het belangrijkste knelpunt in de Passage is natuurlijk het sluiscomplex met een doorvaartbreedte van 45 meter. Dit sluiscomplex bestaat uit een keersluis, een sluiseiland en een schutsluis. Omdat de keersluis in 2000 zijn functie verliest en de schutsluis al voor scheepvaartverkeer is afgesloten, is het mogelijk het hele sluiscomplex in een keer te verwijderen. Een ander knelpunt in de Passage is de duiker (sifon) die onder het Amsterdam-Rijnkanaal doorloopt. Deze sifon bestaat uit drie stalen buizen met elk een doorsnede van ca. 10 m<sup>2</sup> en een lengte van ca. 85 meter. De huidige sifon ligt echter niet diep genoeg en ook de onderhoudstoestand is heel slecht. Daarom zal de sifon moeten worden vervangen.

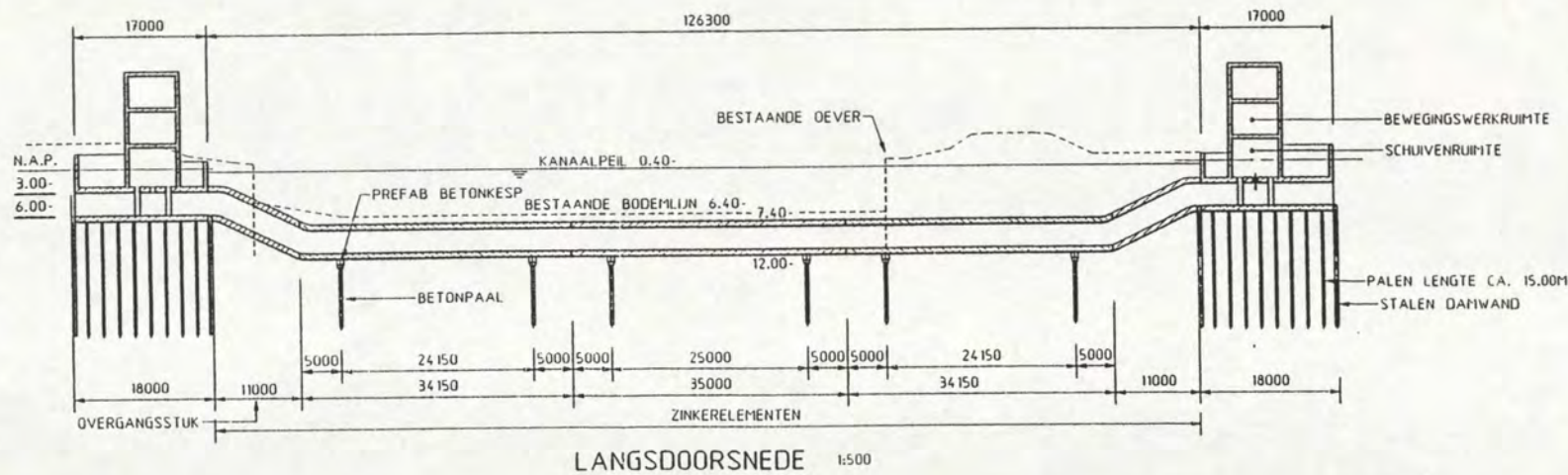
Voor een Civiel Technicus is het hele probleem van de Passage interessant om te bestuderen. Voor een afstuderen is het onderwerp echter te groot en te uitgebreid om helemaal te kunnen behandelen. Daarom is deze studie beperkt tot de bouw van de nieuwe sifon. De sifon is te vergelijken met een kleine verkeerstunnel onder het water door. In de tunnelbouw zijn al verschillende bouwmethoden bekend, waarmee de scheepvaart zo weinig mogelijk gehinderd wordt. Veel van deze methoden zijn ook te gebruiken voor de bouw van de sifon. Er zijn echter ook meerdere bouwmethoden bekend die voor de tunnelbouw net niet goed genoeg waren, maar voor de bouw van een sifon misschien wel voldoen. Omdat hier nog nooit onderzoek naar is gedaan, worden deze bouwmethoden op een rijtje gezet en wordt uitgezocht welke methode het beste kan worden toegepast bij de nieuwbouw van de sifon in Passage Zeeburg.



### Afstudeeronderzoek

Dit onderzoek richt zich voornamelijk op de vorm en uitvoering van de sifon in Passage Zeeburg. Door Rijkswaterstaat Bouwdienst is er al een eerste voorontwerp gemaakt voor de raming van de kosten. Dit voorontwerp voorziet in een betonnen koker die bestaat uit meerdere moten. Deze moten worden afgezonken op dwarsliggers, welke zijn gefundeerd op betonnen palen. Deze zogenaamde 'afzinkmethode' is bekend uit de tunnelbouw. Het is een beproefde methode die weinig overlast veroorzaakt voor de scheepvaart en toepasbaar is tot grote afmetingen. Bij de bouw van een sifon zijn veel randvoorwaarden gelijk aan die van de bouw van een tunnel. Hierbij moet gedacht worden aan het zo min mogelijk hinderen van de scheepvaart en het bouwen van een waterdichte constructie in een natte omgeving. Wat niet over het hoofd mag worden gezien zijn de verschillen tussen de tunnelbouw en de bouw van een sifon. Hierbij gaat het niet alleen om de verschillen in de schaal (deze verschillen zijn gering), maar vooral om de eisen van veiligheid, vlakheid en waterdichtheid.

Het gebied van de uitvoeringsmethode voor een sifon is nog een vrij blanco onderzoeksgebied. Een belangrijke rede daarvoor is dat een sifon van dergelijke afmetingen zo weinig voorkomt, dat het verwachte voordeel uit een dergelijk onderzoek niet opweegt tegen de kosten ervan. Het is echter ook bekend dat er in het verleden verschillende bouwmethoden op de markt zijn gebracht, die voor de tunnelbouw zijn ontworpen, maar die niet voldeden aan de gestelde eisen. Deze innovatieve bouwmethoden worden nu opnieuw onder de loep genomen en bekeken waar hun sterke en zwakke punten zitten en of ze wel toepasbaar zijn voor de bouw van de sifon in Passage Zeeburg.



Figuur: langsdoorsnede voorontwerp sifon



### **Probleemstelling**

Om het onderzoek naar de vorm en bouwmethoden van de sifon in Passage Zeeburg een duidelijke richting te geven, moet gedurende het onderzoek antwoord worden gegeven op de volgende vraag:

*Welke bouwmethode kan het best worden toegepast bij de sifon in Passage Zeeburg?*

Het is echter niet mogelijk direct op deze vraag antwoord te geven, zonder vooronderzoek. Om dit vooronderzoek duidelijk uit te splitsen zijn de volgende deelvragen gesteld:

1. Wat zijn de omstandigheden waaronder moet worden gewerkt?
2. Welke bouwmethoden zijn er mogelijk?
3. Welke aspecten spelen mee in de uiteindelijke afweging?

Deze deelvragen zijn een basis voor de deelstudies die in de rest van dit eindverslag aan de orde komen. Het onderzoek wordt afgesloten met een technische uitwerking van de meest voordelige innovatieve bouwmethode.

### **Doelstelling**

De reden van dit onderzoek is tweërlei. In eerste instantie is het een afstudeeronderzoek in opdracht van de Hogeschool van Utrecht opleiding Civiele Techniek. Het doel van het afstuderen is het verwerven van voldoende kennis en vaardigheden voor afronden van een hbo-opleiding. Dit leerdoel is echter zeer ruim en daardoor ongeschikt aan het praktijkdoel.

Het hoofddoel van het onderzoek is een praktijkdoel. Dit is het eigenlijke doel van de Bouwdienst Rijkswaterstaat is als volgt geformuleerd:

*Het uitzoeken of er een bouwmethode is die, bij een tunnel van deze afmetingen, meer voordelen biedt dan de huidige, meest toegepaste, afzinkmethode.*

Omdat het bij dit doel gaat om sifons in het algemeen is dit doel ruimer van opzet dan de probleemstelling waarop het onderzoek is gegrond. De reden hiervoor is dat aan de hand van dit onderzoek, waarin de sifon in Passage Zeeburg als uitgangspunt wordt genomen, conclusies kunnen worden getrokken voor andere overeenkomstige situaties.

### **Deelstudies**

Het onderzoek is verdeeld in vier deelstudies. Deze studies zijn gebaseerd op de eerder gestelde onderzoeksvragen:

#### *A) Voorstudie.*

Om te bepalen onder welke omstandigheden de bouw van de sifon plaats moet vinden, is het eerst nodig een uitgebreide studie te doen naar de ontwikkelingen van de Passage. De volgende onderzoeksvragen zijn bij die studie te stellen:

1. Hoe ziet het deelgebied er nu uit?
2. Hoe heeft het deelgebied zich in het verleden ontwikkeld?
3. Wat zijn de algemene ontwikkelingen op het gebied van landelijk beleid en nautiek?
4. Wat zijn de ontwikkelingen van het deelgebied in de toekomst?



*B) Variantenstudie.*

Er zijn een groot aantal bouwmethoden op de markt op het gebied van de tunnelbouw. De vraag is echter welke geschikt zijn voor de bouw op deze lokatie en schaal. Daarvoor zal is een inventarisatie gemaakt moeten worden van de mogelijke bouwmethoden. De volgende onderzoeksvragen zijn daarvoor te stellen:

5. Welke verschillende bouwmethoden worden er nu toegepast?
6. Welke innovatieve bouwmethoden zijn er op de markt?
7. Welke bouwmethoden kunnen er in deze situatie worden toepast?

De voorafweging tussen de mogelijke bouwmethoden wordt gemaakt op basis van eigenschappen. Daartoe zullen eerst de volgende vragen moeten worden gesteld:

8. Wat zijn de voor- en nadelen van elke methode?
9. Hoe kan een afweging worden gemaakt?
10. Welke varianten krijgen de uiteindelijke voorkeur?

Hiermee is het doel van het onderzoek in feite bereikt. Ter onderbouwing van het resultaat zullen de varianten tot voorontwerpniveau worden uitgewerkt.

*C) Uitwerking varianten.*

Dit is de constructieve kant van het onderzoek. De varianten, die uit de voorafweging als meest aantrekkelijk naar voren zijn gekomen, zullen tot voorontwerpniveau worden uitgewerkt om een raming van de kosten te kunnen maken.

*D) Raming van kosten.*

De eindafweging voor de sifon Zeeburg vind plaats op basis van de kosten van de bouw van de varianten.



## 2. VOORSTUDIE

### 2.1 Beschrijving Plangebied

#### **Amsterdam-Rijnkanaal**

Amsterdam is van oudsher een havenstad. Nadat in 1275 de mensen die bij de dam in de Amstel woonden vrije vaart werd verleend over de Hollandse wateren, heeft Amsterdam zich in de Middeleeuwen ontwikkeld van vissersdorp tot handelscentrum. Om handel te drijven is echter een goede verbinding met het achterland noodzakelijk. Daarom werd in 1892 het Merwedekanaal aangelegd van Amsterdam tot de Merwede bij Culemborg. Dit kanaal had een gemiddelde doorvaartbreedte van 34 meter en een waterdiepte van 2,4 meter. Ter plekke waar de dijk naar Schellingwoude moest worden doorgraven, werd een dubbel schutsluis gebouwd. Door de schaalvergroting van de scheepvaart bleek het Merwedekanaal echter al snel niet meer te voldoen. Daarom werd in 1933 de wet Aanleg Amsterdam-Rijnkanaal vastgelegd. Het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) moest een bodembreedte hebben van 50 meter, een breedte op de waterlijn van 75 meter en een waterdiepte van 4,2 meter. Vanwege onvoldoende budget is het sluiscomplex van Zeeburg toen nog niet aan de nieuwe eisen aangepast. Het ARK werd in 1952 officieel door de koningin geopend.

Bij de opening was echter al bekend dat het kanaal niet lang zou functioneren zonder modernisering. In verband met de ontwikkeling van de duwvaart werd in 1960 het sluiscomplex alsnog aangepast en werd het kanaal over de hele lengte verruimd tot 6 meter diepte en 100 meter breedte. In 1982 was deze verruiming zo goed als gereed en kon het kanaal worden opengesteld voor de 4-baks duwvaart. Omdat toen nog niet het hele kanaal was aangepast, is in 1990 het project 'Afbouw verruiming ARK' van start gegaan. Een onderdeel van dit project was het geschikt maken van het kanaal voor schepen met een diepgang van 4 meter. Hiertoe is onder andere de drempel van de keersluis Zeeburg verlaagd tot 5,5 m<sup>-</sup>NAP en is de mond van het ARK tussen km 0,0 en 0,9 verbreed. In 1994 is het kanaal opengesteld voor schepen met een diepgang van 4 meter.

Ten behoeve van het uitwerken van een lange termijnvisie heeft Bouwdienst Rijkswaterstaat een corridorstudie Amsterdam-Utrecht uitgevoerd, waarvan in 1993 de nota (*lit.2*) verscheen. Ook is in 1997 de nota 'Integrale Visie Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal' (*lit.18*) verschenen. Hierin staan concreet de strategieën en maatregelen die de komende jaren genomen zullen worden als de verruiming van Passage Zeeburg en het aanleggen van natuurvriendelijke oevers.

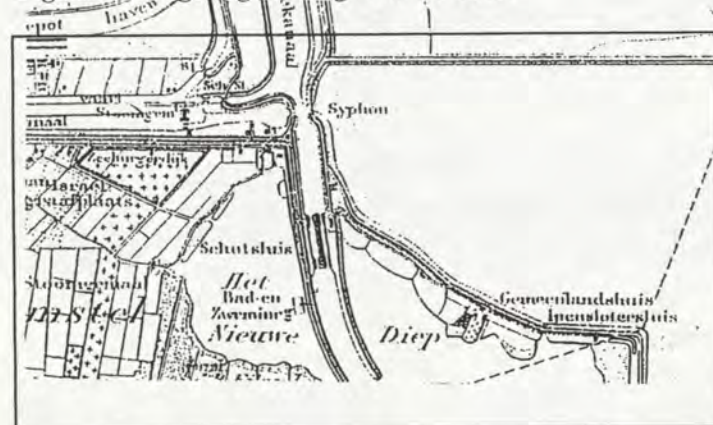
#### **Passage Zeeburg**

Passage Zeeburg is het gedeelte van het ARK van km 0,8 tot en met km 1,6. In de Passage bevinden zich een keersluis, een schutsluis, een brug en een sifon. De schutsluis stamt uit 1892. Bij de aanleg van het Merwedekanaal is de dijk rond het Binnen-IJ doorgraven en vervangen door een dubbele schutsluis. (*zie figuur 2.1 en 2.2*) De kolken van de schutsluis hadden een breedte van 9,60 meter met kerende deuren in beide richtingen en stormdeuren die keren richting het Binnen-IJ. Vanwege de toenemende scheepvaart is in 1960 de oostelijke sluiskolk vervangen door een keersluis met een doorvaartbreedte van 45 meter. (*zie figuur 2.3*) Dit was al een hele verbetering ten opzichte van de oude schutsluis. De keersluis bestaat uit twee betonnen heftorens en een stalen hefdeur. Net als de sluiskolken, staat ook de keersluis bijna altijd open.

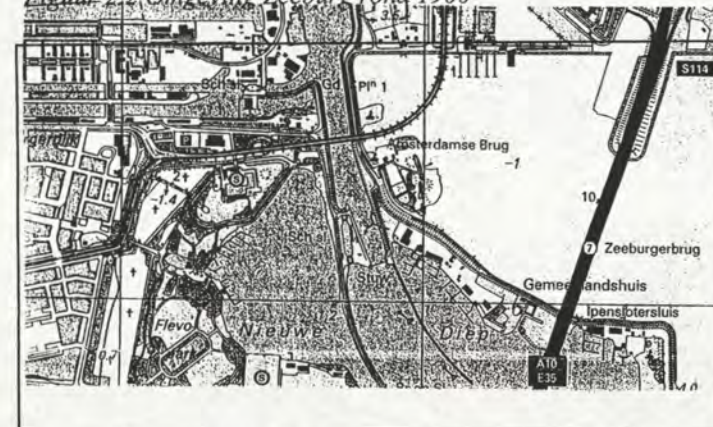




Figuur 2.1 Omgeving Zeeburg in de 18<sup>e</sup> eeuw



Figuur 2.2 Omgeving Zeeburg rond 1900



Figuur 2.3 Huidige situatie omgeving Zeeburg

Bij de 'Afbouw Verruiming ARK' werd gezocht naar een goedkope oplossing voor Passage Zeeburg. Daarom is in 1991 de drempel van de keersluis verlaagd van 4,6 m<sup>-</sup>NAP tot 5,5 m<sup>-</sup>NAP. De enig overgebleven sluiscolk is in 1998 dicht gezet vanwege de slechte onderhoudstoestand. In verband met het project 'Afbouw Verruiming ARK' is in april 1997 het project 'Verruiming Passage Zeeburg' (lit.20) van start gegaan. Het doel van dat project was het komen tot een doorvaartbreedte van 100 meter en een diepte van 6 meter. Behalve verwijdering van het sluiscomplex is daarvoor ook een dijkverplaatsing in oostelijke richting nodig. Alle aspecten in overweging nemend is Rijkswaterstaat tot de conclusie gekomen dat voorlopig echter kan worden volstaan met enkel de sloop van het sluiscomplex. Verwijdering van de keersluis is mogelijk doordat in 2000 de laatste versterkingswerken aan het sluiscomplex van IJmuiden zijn afgerond en de keersluis Zeeburg zijn functie als tweede waterkering verliest.

### Sifon

Vóór de aanleg van het Noordzeekanaal in 1876 kon het water uit het Amstelland via de Amsterdamse grachten worden geloosd op het open IJ. Door het afsluiten van het IJ werden die lozingsmogelijkheden echter veel beperkter. Daarom werd in 1891, bij de aanleg van het Merwedekanaal, tegenover het stoomgemaal een grondduiker (sifon) onder het Merwedekanaal door gelegd, welke de Amsterdamse grachten in verbinding stelde met het Buiten-IJ. Deze sifon bestond uit negen ijzeren kokers met een doorsnede van elk 1,5 meter en een lengte van 18,6 meter. Restanten van de fundering van deze sifon zijn nog in de Passage terug te vinden. In 1940 werd het stoomgemaal van Zeeburg vervangen door een gemaal met een capaciteit van 3x800 m<sup>3</sup>/min. In verband met de geplande verbreding van het kanaal, werd ruimte gehouden voor een vierde pomp, welke in 1966 daadwerkelijk werd geplaatst.

Omdat de waterkwaliteit van het Buiten-IJ beter was dan van het ARK werd besloten om, gelijk met de vervanging van het gemaal Zeeburg, ook een nieuwe sifon aan te leggen ten noorden van de oude sifon. Deze sifon bestond uit twee landhoofden van gewapend beton, verbonden door drie ronde plaatstalen kokers met een gezamenlijke doorsnede van 30 m<sup>2</sup>. Bij een onderhoudsinspectie in 1992 (lit.20) bleek dat de sifon in slechte staat verkeert. De kokers vertonen putcorrosie en een aantal aansluitflenzen lekt. Uit de resultaten van de inspectie van 1999 (lit.10) is de conclusie getrokken dat de sifon vervangen moet worden. In verband met de toekomstige dijkverlegging in oostelijke richting, zal de nieuwe sifon zodanig moeten worden gemaakt dat hij bij een verlegging van de oostelijke dijk direct op lengte is.



## 2.2 Verkeer & Vervoer

Het Merwedekanaal is primair aangelegd voor het transport van goederen van Amsterdam naar het achterland en vice versa. Met de aanleg van het ARK heeft het kanaal daar een functie bij gekregen, namelijk de aan- en afvoer van water. Daarom zullen deze twee functies uitgebreid worden bekeken.

### Goederentransport

Op het ARK zijn twee hoofdstromen te onderscheiden. Ten eerst het vervoer tussen de havens van Amsterdam/Noordzeekanaal via Wijk bij Duurstede naar het achterland. Deze route heeft in de landelijke beleidsnota's de hoogste status van hoofdtransportas klasse VIb gekregen. Dat betekent dat de route minimaal geschikt moet zijn voor vervoer met 4-baks duwvaart. De tweede stroom, die voor een deel over het ARK gaat, loopt van Scandinavië, noord Duitsland en noord Nederland via de Oranjesluizen in het IJ, het ARK, het Lekkanaal en de Lek naar Rotterdam, België en Frankrijk. Deze route heeft de status hoofdvaarweg klasse Vb, waarover minimaal vervoer met 2-baks duwvaart in langverband plaats moet kunnen vinden. Beide stromen maken gebruik van het gedeelte van het ARK tussen Amsterdam en de splitsing met het Lekkanaal bij Nieuwegein.

Prognoses van NEA (instituut voor transportonderzoek en -opleidingen) geven aan dat het aantal binnenvaart reizen groeit met 11 en 36 procent voor de jaren 2010 en 2020. Het vervoer in tonnen neemt echter toe met respectievelijk 31 en 70 procent. Dit duidt op de inzet van grotere schepen. Deze ontwikkeling van de scheepvaart zal naar verwachting zo doorgaan. Dit zal voor het ARK geen extra problemen opleveren, zolang ze binnen de afmetingen van een 4-baks duwstel blijven.

### Nautische aspecten

Voor de noodzaak van de verruiming van de Passage Zeeburg is niet alleen het aantal schepen, maar ook het type schepen dat de Passage passeert van belang. Het ARK heeft de status hoofdvaarwegklasse VIb gekregen, wat betekent dat het kanaal geschikt moet zijn voor 4-baks duwvaart in beide richtingen. Vanwege de lage frequentie waarmee deze schepen op het ARK voorkomen is het echter niet nodig dat voor deze schepen een derde inhaalstrook wordt gedimensioneerd. Wel moeten kleine snelle schepen de duwconvoien kunnen inhalen. Al deze eisen naast elkaar leggend komt men op een minimale theoretische breedte van het ARK van 100 meter. In verband met de kleine kans dat twee duwconvoien elkaar bij de Passage tegenkomen in combinatie met een inhaalverbod ter plaatse van de Passage, maakt dat de theoretische breedte ter plaatse van de Passage van 76 meter in veel situaties nog voldoet. Bij toename van het aantal duwconvoien wordt echter wel aangeraden de kanaalbreedte ter plaatse van de Passage aan te passen om grote vertragingen door wachttijden te voorkomen.

### Verkeersveiligheid

Bij een verkeersdrukte als op het ARK rijst al snel de vraag hoe het staat met de verkeersveiligheid. Transport over water is relatief veilig. In de periode 1983-1989 bedroeg het aantal ongevallen op het ARK 0,6 per km per jaar. Ter vergelijking: bij het Schelde-Rijnkanaal en het Noordzeekanaal zijn resp. 1,1 en 1,3 ongevallen per km per jaar geregistreerd. Het aantal ongevallen op het ARK is dus relatief laag. Het is echter bekend dat het aantal ongevallen bij onveranderde omstandigheden evenredig toeneemt met het aantal scheepvaartbewegingen, maar door de invoering van een verkeersbegeleidingssysteem zal er voorlopig geen verslechtering van de verkeersveiligheid ontstaan.



## 2.3 Waterhuishouding

Bij de aanleg van het ARK in 1952 kreeg het kanaal naast de functie van transportas ook de functie van aan- en afvoer van water. Het ARK ten noorden van de Lek vormt, samen met het Lekkanaal en het Noordzeekanaal, de boezem van het Amstelland en zorgt daarbij voor de afvoer van het overtollige water uit de polder. In de jaren daarna kwam er meer aandacht voor water en werd deze functieomschrijving nog uitgebreid met de functies drinkwatervoorziening, koelwater, natuur en landschap, oeverrecreatie, beroepsvisserij, recreatievaart en zandwinning. Voor de instandhouding van deze functies spelen verschillende aspecten een rol. Binnen de waterhuishouding zijn dat de waterkwantiteit, waterkwaliteit, waterbodemkwaliteit en beveiliging tegen overstromen.

De functie van de sifon is het inlaten van schoon IJ-water ten behoeve van het doorspoelen van de Amsterdamse grachten en het afvoeren van water van de Amstelboezem tijdens perioden van hoog water op het Noordzeekanaal. Daarom spelen voor de sifon alleen de aspecten waterkwantiteit en waterkwaliteit een rol.

### Waterkwantiteit

Het ARK is van groot belang voor de afvoer van overtollig water uit de omliggende gebieden en voor de aanvoer van water ten tijde van droogte. In het peilbesluit Noorzeekanaal/ Amsterdam-Rijnkanaal is het streefpeil van het ARK ten noorden van de Lek vastgelegd op 0,40 m<sup>-</sup>NAP. De inlaat van water op het ARK kan worden geregeld met de Irenesluizen en Beatrixsluizen bij de Lek. In de mond van het ARK wordt daarmee een noordwaarts debiet gehandhaafd van minimaal 10 m<sup>3</sup>/sec om zo te voorkomen dat de zouttong vanuit het Noordzeekanaal verder zuidwaarts dringt. Deze zouttong ontstaat door het binnenkomen van zeewater tijdens het schutten van de schepen te IJmuiden. De gemiddelde afvoer van het ARK bedraagt 30 m<sup>3</sup>/sec.

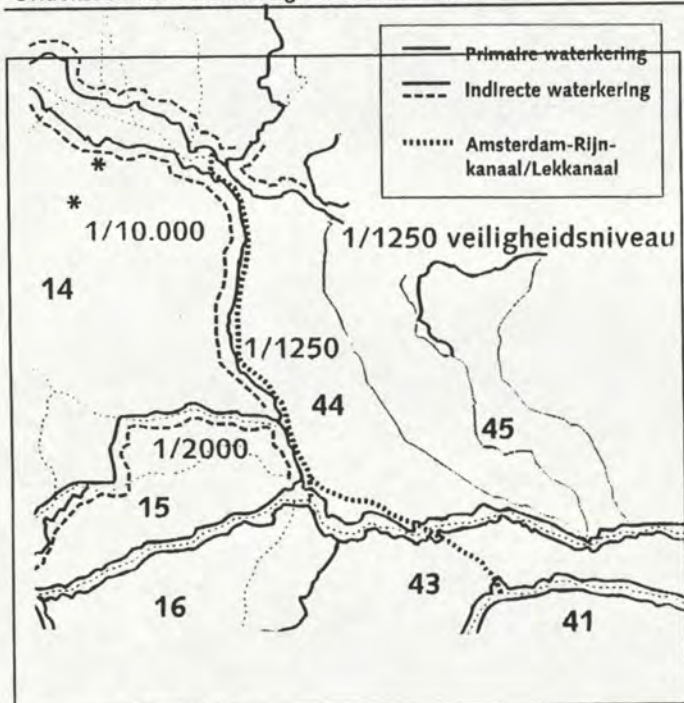
Onder normale omstandigheden wordt het gemaal Zeeburg nauwelijks gebruikt. Het water uit de Amstelboezem wordt via de Amstel en de Amsterdamse grachten geloosd op het Noordzeekanaal. Als de waterkwaliteit van de Amsterdamse grachten toch sterk achteruit gaat door straatvuil en overstortingen van het riool, wordt het gemaal Zeeburg ingeschakeld voor de verversing van het water van de Amsterdamse grachten. De inlaatcapaciteit van gemaal Zeeburg bedraagt 13 m<sup>3</sup>/sec.

Bij een zware westerstorm is afvoer van het water van het Noordzeekanaal via het gemaal bij IJmuiden niet mogelijk. Als er dan ook nog sprake is van zware regenval moet het gemaal Zeeburg worden ingeschakeld om overtollig water naar het IJmeer te verpompen. De maximale uitlaatcapaciteit bij de inzet van al de vier pompen, ligt op ca. 60 m<sup>3</sup>/sec. Deze capaciteit is toereikend voor de afvoer van al het water van het Amstelland naar het IJmeer.

### Waterkwaliteit

De waterkwaliteit van het ARK wordt voornamelijk bepaald door de kwaliteit van het ingelaten Rijnwater, het water van de Utrechtse en Noord-Hollandse Vecht, lozingen van RWZI's, water uit de omliggende polders en diffuse lozingen. Volgens het beheersplan Rijkswateren moet het water van het ARK in 2000 voldoen aan de Grenswaarde Milieudoelstellingen voor bodem en water (MILBOWA) en aan de waterdoelstelling voor karperachtigen. Bij de toetsing aan de grens-waarde MILBOWA overschrijden vooral het stikstof-, fosfaat en kopergehalte regelmatig de grenswaarde. In het noordelijkste deel van het ARK overschrijdt ook het zoutgehalte regelmatig de grenswaarde, als gevolg van de zouttong uit het Noordzeekanaal.





Figuur 2.4 Dijkkringen

Aan de kwaliteit voor karperachtigen wordt alleen voor het fosfaatgehalte niet voldaan, als gevolg van RWZI-lozingen op de Vecht. De waterkwaliteit van het aangeboden Rijnwater is sterk verbeterd, maar omdat de kwaliteit van het water beter is dan die van de waterbodem zullen de verontreinigingen door nalevering alsnog in het water terecht komen.

#### Waterbodembkwaliteit

De waterbodembkwaliteit wordt bepaald door de concentraties schadelijke stoffen die erin voorkomen. Voor zware metalen en organische verbindingen zijn streef, grens- en interventiewaarden opgesteld. De verontreiniging van de waterbodem van het ARK blijft voor een belangrijk deel onder de toetsingswaarde en is dus niet tot licht verontreinigd. Er zijn echter ook een aantal locaties die matig tot sterk verontreinigd zijn. Bij verruiming van de Passage zal zo'n 165.000 m<sup>3</sup> slib moeten worden uitgebaggerd. Hiervan is ruim 100.000 m<sup>3</sup> klasse 2 (matig verontreinigd), zo'n 5000 m<sup>3</sup> klasse 1 (licht verontreinigd) en 60.000 m<sup>3</sup> klasse 0 (niet verontreinigd). Vanwege deze lichte mate van verontreiniging, kan de grond worden verwerkt in de natuurvriendelijke oevers en bij projecten in de nabijheid van de Passage.

#### Beveiliging tegen overstromen

Om Nederland te beschermen tegen overstromingen, is het land opgedeeld in gebieden, welke worden omsloten door waterkeringen. Deze gebieden worden dijkkringen genoemd en elke dijkkring kent zijn eigen veiligheidsnorm. De dijken ter plaatse van de Passage maken deel uit van de dijkkringen 14 en 44 (zie figuur 2.4). Het veiligheidsniveau bepaalt de kruinhoogte van de dijk. De huidige oostelijke dijk heeft bij de Passage een kruinhoogte van 3,6 m<sup>+</sup>NAP. Deze waarde stamt echter nog uit de tijd van de Zuiderzee. Bij een dijkverplaatsing in oostelijke richting, kan een kruinhoogte van 2,1 m<sup>+</sup>NAP worden aangehouden.

## 2.4 Milieu-aspecten

De milieu-aspecten vormen een steeds belangrijker onderdeel van een projectstudie. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de uitgebreide MER-studies die aan veel projecten vooraf gaan. Daarom komen ook in deze studie de milieu-aspecten aan de orde die van belang zijn bij de verbreding van de Passage.

#### Bodem

De bodem ter plaatse van de Passage heeft van oorsprong een geringe draagkracht. Tot ca. 17 meter onder NAP bestaat de ondergrond uit opeenvolgende slappe veen- en kleilagen. Dit profiel is echter op veel plaatsen verstoord door vergravingen, zandstortingen en oppersingen. Om te bepalen welke gedeelten zijn verstoord zijn gegevens benodigd van een grondonderzoek en van een historisch onderzoek. (zie bijlage 5)

Op een aantal locaties in de directe omgeving van de Passage is de bodem verontreinigd. Ernstige verontreinigingen zijn aangetroffen op het zuidwestelijk deel van het Zeeburgereiland en op Camping Zeeburg. Vooral de sanering van Camping Zeeburg wordt als urgent beschouwd en zal bij de verbreding van de Passage zeker meegenomen moeten worden.



Door de aanwezigheid van veel oppervlaktewater stroomt het grondwater voornamelijk horizontaal af. Er is echter ook sprake van neerwaartse afstroming doordat het oppervlaktewaterpeil hoger is dan de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket. (16 m<sup>-</sup> NAP) De mate van neerwaartse afstroming is afhankelijk van de hydraulische weerstand van de deklaag en is ter plaatse van de vergravingen en funderingen aanzienlijk. Daarom moeten bij verwijdering van het sluiscomplex de palen op hoogte worden afgeknepen. De damwanden steken niet door de deklaag heen en kunnen daarom wel volledig worden verwijderd.

### **Natuur**

Met het Natuur Beleidsplan (*lit.*) heeft de overheid een beleid uitgezet ten behoeve van de instandhouding, herstel en ontwikkeling van natuurlijke en landschappelijke waarden. Concrete maatregelen binnen deze doelstelling zijn het realiseren van de Ecologische Hoofd-Structuur (EHS) en het terugdringen van de achteruitgang van de natuur.

Over het algemeen is het ecologische niveau van het ARK zo laag dat men kan spreken van een watersysteem dat uit balans is. Het water, de bodem en de oevers zijn arm aan plant- en diersoorten en per soort arm aan individuen. Oorzaken hiervan zijn het ontbreken van glooiende oevers, de relatief grote diepte, de vele turbulentie en de mindere kwaliteit van het water. Ontwikkelingen om de ecologische gesteldheid te verbeteren zijn het ontwikkelen van de waterkwaliteit, saneren van de bodem en maatregelen aan de oevers. Verschillende ecologische onderzoeken hebben uitgewezen dat de ecologische gesteldheid verbeterd door de aanleg van natuurvriendelijke oevers. In 1997 is langs het gedeelte van het ARK ten zuiden van de Lek een natuurvriendelijke oever aangelegd over een lengte van 1500 meter en een breedte van 20 meter. De ondiepe zone is vooral bedoeld als paaiplaats voor vissen, maar dient ook als rustgebied voor vogels en insecten en als oversteekplaats voor landdieren. De oever wordt afgeschermd tegen golfslag door een vooroeververdediging met een flauw talud.

### **Landschap**

Het ARK is een doorgaand element in het landschap. Op- en afritten van bruggen en sluiscomplexen geven daaraan opvallende accenten. De oevers van het kanaal worden veel gebruikt voor recreatieve doeleinden als wandelen, fietsen en sportvisserij. Hoewel het kanaal daarvoor niet is aangelegd, zal deze vorm van recreatie alleen maar toenemen. Een andere vorm van recreatie op het ARK is de recreatievaart. Deze vorm van recreatie is echter niet bevorderlijk voor de veiligheid van het ARK en wordt daarom zo weinig mogelijk aantrekkelijk gemaakt.

Beelddragers in een landschap zijn de landschappelijke en cultuurhistorische kenmerken, die de herkenbaarheid van een landschap bepalen. Dit kunnen verschillende elementen zijn al dijken, bruggen, sluizen en oude molens. Beelddragers spelen een belangrijke rol in het beleid ten aanzien van de inrichting van de omgeving. Daarbij is het van belang dat onze cultuurhistorische erfenis bewaard blijft voor de toekomst. De Zuider IJdijk en de schutsluis zijn nauw verbonden met de geschiedenis van het Amsterdam-Rijnkanaal en hebben daarom een belangrijke historische en bouwkundige waarde. Bij de verwijdering van de Passage en de bouw van een nieuwe sifon is landschappelijke inpassing een belangrijke doelstelling van Rijkswaterstaat.

### **Externe veiligheid**

Bij externe veiligheid gaat het niet meer om de veiligheid van de schepen, maar om de veiligheid van de omgeving als er iets mis mocht gaan tijdens het vervoer van gevaarlijke stoffen. Om deze veiligheid ook bij de verwachte toename van het aantal gevaarlijke transporten te bewaren, wordt de veiligheid bij de bron aangepakt. Concrete maatregelen zijn het verwijderen van knelpunten, het verkeersbegeleidingssysteem en het veilig maken van de schepen die gevaarlijke stoffen transporteren.



### 3. VARIANTENSTUDIE

#### 3.1 Technisch Programma van Eisen

Zoals in de inleiding vermeld, betreft het resultaat van dit onderzoek een voorontwerp met raming van kosten van een aantal waterbouwkundige werken in de Passage Zeeburg. De eisen en wensen ten aanzien van het resultaat komen voort uit de voorstudie. Voorbeelden van de gestelde eisen zijn:

- Bij dijkverplaatsing wordt voor de oostelijke dijk een kruinhoogte aangehouden van 2,50 m+NAP.
- Het ontwerpdebiet bedraagt 57 m<sup>3</sup>/sec. bij een maximaal verval van 500 mm.
- Ten behoeve van de scheepvaart moet ten alleen tijde een vaarstrook van 30 meter beschikbaar zijn. Gedeeltelijke stremming is toegestaan gedurende een periode van maximaal één maand aaneengesloten. Een volledige stremming is bespreekbaar tot een periode van 48 uur aaneengesloten.
- Streven in het ontwerp naar de meest milieuvriendelijke oplossingen, mede in relatie tot de kosten van aanleg en exploitatie.

Het volledig Technisch Programma van Eisen (PvE) staat in bijlage 1. Het voorontwerp moet aan de, in het PvE gestelde, eisen voldoen. Na de besluitvorming aan het einde van deze voorontwerpfase worden de eisen aangescherpt voor de ontwerpfase. De meest gedetailleerde beschrijving van de geformuleerde eisen vertaalt zich uiteindelijk in het opstellen van een bestek.

#### 3.2 Bouwmethoden

Er zijn verschillende bouwmethoden die kunnen worden toegepast bij de bouw van een sifon. Met sommige hiervan is al veel ervaring opgedaan, terwijl andere innovatieve methoden slechts een enkele keer zijn toegepast of nog op de ontwerptafel liggen. Om een volledig beeld van de mogelijke bouwmethoden te krijgen worden hier onder de meer en minder bekende technieken besproken en beoordeeld.

##### **Afzinkmethode**

Het afzinken van buizen in één geheel werd toegepast bij de bouw van de huidige sifon in 1939. Het is een beproefde methode die vaak wordt gebruikt bij het oversteken van een waterweg met kabels en leidingen. Bij deze methode wordt de leiding in één geheel naar de plaats getransporteerd en afgezonken. Daartoe wordt de vaarweg gedurende een korte tijd geheel gestremd. Een nadeel van deze constructie is echter dat bij zettingen van de ondergrond de leiding gaat reageren als een ligger op twee steunpunten, wat grote spanningen in het materiaal ter plaatse van de opleggingen tot gevolg heeft. Dit is te voorkomen door het toepassen van een paalfundering of door het toepassen van flexibele voegen en/ of materialen.



Naast deze methode bestaat ook het afzinken in gedeelten. Het voordeel hiervan is dat het niet altijd nodig is de vaarweg in zijn geheel af te sluiten en dat met grote doorsneden kan worden gewerkt. Deze afzinkmethode wordt daarom veel in de tunnelbouw gebruikt en was tot voor kort de enige bouwmethode voor tunnels in zachte grond. Bij het afzinken worden de elementen met behulp van waterdruk aan elkaar verbonden. Dit vraagt om een grote nauwkeurigheid van materieel en personeel. Een in gedeelten afgezonken tunnel is ook gevoelig voor zettingen. Dit stelt grote eisen aan de fundering waar de elementen op rusten. Bij kleine diameters is het mogelijk de elementen op een goed verdicht zandbed te laten rusten. Bij een slechte ondergrond of grote belastingen is een paalfundering genodigd.

Het naspannen van de afgezonken elementen is een combinatie van deze twee methoden. De tunnel wordt dan in gedeelten afgezonken en dan door kabels nagespannen, waardoor de constructie als één geheel gaat reageren en minder gevoelig is voor zettingen van de ondergrond. Een meer innovatieve methode is het ondergraven van pneumatische caissons. Hierbij worden de elementen op het maaiveld gelegd en ondergraven. Deze methode is echter niet toereikend voor de sifon omdat de overlast aan het maaiveld zeer groot is.

### **Boor- en Persmethode**

De boormethode en de persmethode zijn eigenlijk twee verschillende No-dig methoden, maar in veel opzichten lijken ze wel op elkaar. Bij beide methoden wordt een graafwiel gebruikt om de grond te verwijderen. Dit graafwiel wordt bestuurd vanuit een centraal regelpunt en kan door het gebruik van vijzels nauwkeurig in de goede richting worden gestuurd. Achter dit boorfront wordt de tunnel aangebracht. Het verschil tussen de beide methoden zit in de manier van aanbrengen van de tunnelementen.

Bij het boren van een tunnel worden de elementen in gedeelten door de tunnel aangevoerd en achter de boorkop aangebracht. Na het aanbrengen van een volledige ring worden de vijzels verplaatst en zet de boorkop zich af op de laatst geplaatste ring. Bij de persmethode worden de elementen in één geheel aan de staart ingevoegd, waarna de hele tunnel naar voren wordt geschoven. De vijzels bevinden zich dus niet achter de snijkop, maar aan de staart van de tunnel. Om tijdens het persen de wrijvingsweerstand zo laag mogelijk te houden wordt de tunnel met behulp van ballast bijna gewichtloos gemaakt en wordt aan de buitenzijde van de elementen bentoniet aangebracht. Het voordeel van deze methode is dat de techniek bij de kop eenvoudiger is dan bij de boormethode. Hierdoor kan het persen ook bij kleine diameters worden toegepast. Het omslagpunt tussen de beide methoden ligt bij een diameter van 2½ à 3½ meter, maar het is ook mogelijk te persen tot een diameter van 6 meter.

Een specifiek probleem van het boren en persen is het waterdicht houden van de vertrek- en ontvangstuip. Om het kokergedeelte op diepte te krijgen is het vaak noodzakelijk dat wordt gestart onder de waterlijn. Er moeten dan maatregelen worden genomen om het binnendringen van grondwater tijdens het doorboren van de damwand tot een minimum te beperken. Maatregelen die hierbij genomen kunnen worden zijn het toepassen van een dubbele damwand of het aanbrengen van een klei-cement mengsel aan de buitenzijde van de damwand.



### Trekmethode

De trekmethodes komt in grote lijnen overeen met de persmethode. In tegenstelling tot de boor- en persmethode, waarbij het schild door de grond heen wordt gedrukt, wordt bij de trekmethodes het schild door de grond heen getrokken. Hiertoe moeten eerst vanuit de ontvangstuip trekkabels exact op de juiste plaats in de grond worden aangebracht. Daarna worden deze trekkabels door het schild heen aan de tunnel bevestigd en kan de tunnel door de grond heen worden getrokken. Als de trekkabels goed zijn aangebracht levert de plaatsbepaling van het leidinggedeelte verder weinig problemen meer op.

Tot op heden is er nog geen ervaring met het trekken van kokers met een grote diameter. De grootste koker die in uitvoering is geweest is de duiker die in 1982 werd getrokken ten behoeve van het Bathse Spuikanaal (*lit.15*). Deze duiker had een diameter van 1250 mm en een lengte van circa 40 meter. De grootste probleem waar tegenaan werd gelopen bij dit project, was het nauwkeurig aanbrengen van de trekankers. Door een obstakel in de grond was de lokatie van de ankers anders dan berekend, waardoor één van de ankers brak door overbelasting.

Een voordeel van deze No-dig methodes ten opzichte van de boor- en persmethode is dat er eenvoudig andere materialen toegepast kunnen worden. Door de afwezigheid van grote drukkrachten is het mogelijk materialen als staal, PE of glasvezel versterkt kunststof (GVK) toe te passen. Wel moet daarbij sterk rekening worden gehouden met spanningconcentraties ter plaatse van de bevestigingspunten van de trekkabels.

### Schuifmethode

Over deze innovatieve methode is in de tunnelbouw nog weinig bekend. Het is een methode waar al wel mee is ontworpen, maar die nog nooit in uitvoering is geweest. Kort komt de methode op het volgende neer:

De methode is afgeleid van de afzink- en de persmethode. Net als bij de afzinkmethode wordt eerst een sleuf gegraven waardoor de elementen direct op hoogte kunnen worden aangebracht. In de sleuf worden eerst de palen geheid. Na het op hoogte brengen van de paalkoppen wordt de schuifbaan aangebracht en nauwkeurig op hoogte gesteld. Hierna volgt het gedeelte dat het meest lijkt op de persmethode. De betonelementen worden namelijk niet afgezonken, maar vanuit een bouwkuip over de schuifbaan in de sleuf geschoven. Afhankelijk van de beschikbare ruimte en de lengte van de duiker kan het schuiven van één of beide zijden geschieden. Doordat de baan licht gebogen is, moet de hoekverdraaiing tussen de elementen worden opgevangen. Dit kan door het toepassen van flexibele voegen en/of door het verdraaien van de aansluitzijde. Na het schuiven kan de tunnel aan de reeds aanwezige fundering worden bevestigd en wordt de schuifsleuf aangevuld. Het voordeel van deze methode ten opzicht van de afzinkmethode is dat het plaatsen van de elementen geen overlast voor de scheepvaart tot gevolg heeft. Het voordeel van de schuifmethode ten opzichte van de persmethode is dat de perkrachten geringer zijn, dat er geen bentoniet nodig is en dat rechthoekige doorsneden zonder extra problemen kunnen worden toegepast.



<i>Alternatieven/ Varianten</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>	<i>Alternatieven/ Varianten</i>	<i>Voordelen</i>	<i>Nadelen</i>
<b>Afzinken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lagere bouwkosten</li> <li>- Beproefde methode</li> <li>- Geringe gronddekking</li> <li>- Eenvoudige fundering</li> <li>- Goede kwaliteitscontrole</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Overlast voor scheepvaart</li> <li>- Sleuf baggeren en in stand houden</li> <li>- Bouwdok en/of transport</li> <li>- Primaire waterkering moet worden doorbroken</li> </ul>			
- In één geheel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen zinkvoegen</li> <li>- Lichte materialen (staal/pe/gvk) mogelijk</li> <li>- Meerdere kleine kokers mogelijk</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volledige stremming kanaal noodzakelijk</li> <li>- Grotere gronddekking (3m)</li> <li>- Grote bouwdok</li> </ul>	- Gestuurd boren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alle grondsoorten een eigen voorkeursvariant</li> <li>- Geen overlast aan m.v.</li> <li>- Geen doorbraak primaire waterkering</li> <li>- Geen verstoring van bestaande kabels- en leidingen</li> <li>- Minder diepe vertrek- en ontvangstoppen</li> <li>- Kleine verticale boogstraal mogelijk (25xD)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoge bouwkosten</li> <li>- Fundering moeilijk aan te brengen</li> <li>- Aansluiting op de landhoofden</li> <li>- Hinder ondergrondse obstakels</li> <li>- Grote gronddekking (1½xD)</li> <li>- Verbinding tussen de schaaldelen</li> <li>- Grote gronddekking in het midden</li> <li>- Gecompliceerde maatvoering</li> </ul>
- In meerdere elementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gedeeltelijke stremming mogelijk</li> <li>- Geringe gronddekking (1m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waterdichtheid van de zink- en sluitvoegen</li> <li>- Transport</li> <li>- Volledige stremming noodzakelijk</li> <li>- Zware constructie door liggerwerking</li> </ul>	- Recht boren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleinere gronddekking</li> <li>- Eenvoudige rechte elementen</li> <li>- Eenvoudige maatvoering</li> <li>- Kleinere gronddekking mogelijk</li> <li>- Geen bentoniet nodig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diepe vertrek- en ontvangstoppen</li> </ul>
- Steunend op landhoofden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niet zettingsgevoelig</li> <li>- Geen funderingsconstructie noodzakelijk</li> </ul>		- Gesloten graafwiel		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grote zettingen</li> </ul>
- Oplegging op palen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niet zettingsgevoelig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Palen heien zorgt voor overlast scheepvaart</li> </ul>	- Steunvloeistof	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flexibel ontgravingsfront</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steundruk moet nauwkeurig in de gaten worden gehouden.</li> <li>- Scheidingsinstallatie nodig.</li> </ul>
- Oplegging op zandbed	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minder overlast voor scheepvaart</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zettingsgevoelig</li> <li>- Grondverbetering zorgt voor overlast scheepvaart</li> </ul>	<b>Trekken</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geen overlast aan m.v.</li> <li>- Vroegtijdige signalering obstakels</li> <li>- Gebruik van verschillende materialen</li> <li>- Geen doorbraak primaire waterkering</li> <li>- Geen verstoring van bestaande kabels en leidingen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alleen ervaring met kleine diameters</li> <li>- Risicovol</li> <li>- Bentoniet is milieubelastend</li> </ul>
- Pneumatische caissons	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ondiepe sleuf baggeren</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lange bouwtijd</li> <li>- Duikers lang onder water</li> </ul>	<b>Schuiven</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eenvoudige fundering</li> <li>- Minder overlast</li> <li>- Geringe gronddekking (1m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fundering aanbrengen zorgt voor overlast</li> <li>- Nog geen ervaring mee</li> </ul>
- Naspannen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minder zettingsgevoelig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Voegafdichting</li> <li>- Zware constructie door liggerwerking</li> <li>- Zware voorspanning</li> </ul>			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sleuf baggeren</li> <li>- Primaire waterkering moet worden doorbroken</li> <li>- Specifieke voegconstructies</li> </ul>
<b>Persen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Goedkoper dan boren</li> <li>- Geringe gronddekking (1xD)</li> <li>- Geen overlast aan m.v.</li> <li>- Geen doorbraak primaire waterkering</li> <li>- Geen verstoring van bestaande kabels- en leidingen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lichte constructie wil opdrijven → fundering</li> <li>- Aansluiting op landhoofden</li> <li>- Hinder ondergrondse obstakels</li> <li>- Zware vijzelconstructie op damwand startkuip</li> <li>- Bentoniet is milieubelastend</li> <li>- Grote minimale verticale boogstraal (150xD)</li> <li>- Geen grote diameters</li> </ul>	- Flexibele voegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gelijke elementen</li> </ul>	
- dezelfde varianten als boren			- Starre voegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eenvoudige voegconstructie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moeilijk egaliseren onnauwkeurigheden en zettingen</li> </ul>
			- Van twee zijden	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kleinere vijzelkrachten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Twee schuifkuipen inrichten</li> </ul>
			-	-	-

Figuur: Varianten, voor- en nadelen van de bouwmethoden.



### 3.3 Varianten

Zo als eerder vermeld zijn de omstandigheden van elk project verschillend. Daardoor is niet elke methode van uitvoering geschikt om toe te passen. Dit is afhankelijk van het programma van eisen. Het bouwen in een open bouwput is voor Zeeburg daarom al bij voorbaat afgefallen, omdat deze methode veel overlast voor de scheepvaart met zich meebrengt en niet binnen de gestelde tijd van één maand gedeeltelijke stremming kan worden gebouwd. De bouwmethoden aldus in overweging nemend, zijn een negental varianten voor Zeeburg geselecteerd, die aan de eisen voldoen en onderling moeten worden afgewogen.

Het gaat om de volgende varianten:

1. Afzinken van betonnen elementen;
2. Afzinken en naspannen van betonnen elementen;
3. Afzinken stalen leiding;
4. Afzinken kunststof leiding;
5. Boren betonnen leiding;
6. Persen betonnen leiding;
7. Trekken betonnen leiding;
8. Trekken stalen leiding;
9. Schuiven betonnen elementen.

Deze varianten voldoen aan het programma van eisen en worden hierna zover uitgewerkt dat een eerste afweging mogelijk is.



### **1 Afzinken betonnen elementen**

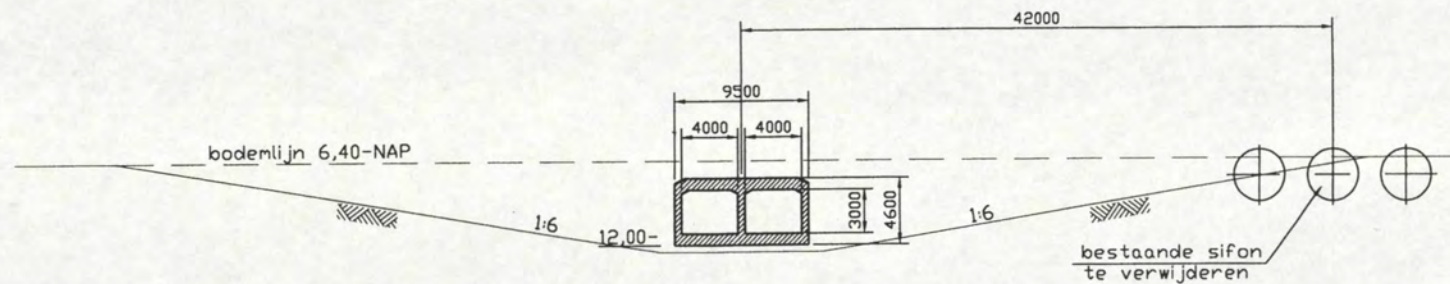
Het afzinken van elementen is de meest voor de hand liggende bouwmethode voor de sifon. Deze methode wordt veel toegepast in de tunnelbouw omdat de methode goedkoper is dan de meeste alternatieven. Nadelen aan de methode zijn echter de overlast voor de scheepvaart, de hoeveelheid grond die vrijkomt en de fundering. Door verschuiving in de afweging van kosten naar milieu en overlast, wordt deze methode steeds minder aantrekkelijk en komen de duurdere alternatieven in beeld. Toch blijft de afzinkmethode aantrekkelijk en kan niet als ouderwets van de hand worden gedaan.

De constructie bestaat uit één rechthoekige duiker, verdeeld in twee kokers van elk 3x4 meter. De lengte van het rechte gedeelte is ca. 100 meter, de overgangsgedeelten zijn elk ruim 10 meter. In deze overgangsgedeelten wordt het doorstroomprofiel omhoog gebracht van 11,2 m NAP b.o.k. tot 5 m NAP b.o.k. Om de overlast en bouwkosten tot een minimum te beperken wordt het gedeelte van de sifon ten oosten van de Zuider-IJdijk in een open bak gemaakt. Daartoe worden eerst de beide uitstroomopeningen gemaakt van gewapend beton. Daarna wordt het oostelijke gedeelte gemaakt in een droge bouwput. Na het afsluiten van de koker aan de westzijde met een kopschot, kan de Zuider-IJdijk worden omgelegd. Het westelijk deel bestaat uit drie afzinkelementen; twee van ca. 35 meter en één overgangsstuk van ruim 10 meter. De elementen kunnen worden aangevoerd over het Amsterdam-Rijnkanaal of het Noordzeekanaal. Na het afzinken van de elementen op de fundering, moet het sluitstuk worden gemaakt. Daarna kan de tunnel worden onderspoeld, de zinksleuf worden aangevuld en de ballast worden verwijderd.

De uitstroomopeningen worden op palen gefundeerd. Voor het kokergedeelte ligt de keus nog open; fundering op palen of op staal. In geval van een fundering op staal zal er een grondverbetering plaats moeten vinden, om grote zettingsverschillen tussen de kokers en de uitstroomopeningen te voorkomen. De mate van overlast voor de scheepvaart is afhankelijk van de toegepaste techniek en het vereiste draagvermogen van de ondergrond. Bij een fundering op palen zal de scheepvaart ook hinder ondervinden van het heiproces.

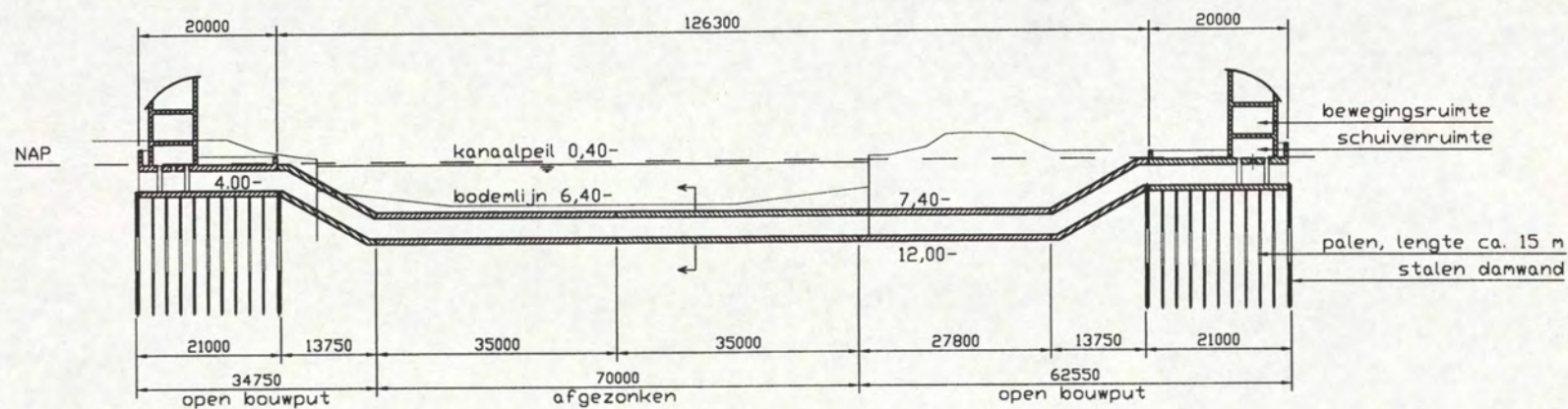
De kokers van de huidige sifon zullen moeten worden verwijderd voor de nieuwe kokers kunnen worden afgezonken. Dit is noodzakelijk om de zinksleuf op diepte te kunnen brengen. In deze periode zal het gemaal water inlaten van en, indien nodig, spuien op het Amsterdam-Rijnkanaal. Na ingebruikname van de nieuwe sifon kunnen ook de schuivengebouwten van de oude sifon worden verwijderd.





## DOORSNEDE

schaal 1:500



## VARIANT 1 – Afzinken betonnen elementen

schaal 1:1000



## 2 Afzinken en naspennen betonnen elementen

Om het scheepvaartverkeer tijdens de bouw zo weinig mogelijk te hinderen is het ook mogelijk de afgezonken betonelementen na te spannen. Bij deze methode zorgt het afzinken nog wel voor overlast, maar omdat de fundering veel lichter kan worden uitgevoerd dan bij de gewone afzinkmethode, is de overlast ten gevolge van het aanbrengen van de fundering veel geringer.

De constructie van de leiding bestaat uit één rechthoekige duiker welke bestaat uit twee kokers, elk met een binnenafmeting van 3x4 meter. In tegenstelling tot de vorige variant, wordt de nagespannen duiker volledig afgezonken. Hierdoor zal de Zuider IJdijk tijdelijk moeten worden omgelegd. Het onderwatergedeelte is circa 130 meter lang en wordt verdeeld in 6 elementen van ca. 20 meter. Deze elementen kunnen worden aangevoerd over het Amsterdam-Rijnkanaal of over het Buiten-IJ. Het afzinken gebeurt in de zinksleuf welke van te voren in het kanaal is uitgebaggerd. Bij het afzinken van de elementen is een grote nauwkeurigheid vereist. Het eerste en laatste element worden afgezonken op een drempel, welke is bevestigd aan de in- en uitstroomopeningen. Deze in- en uitstroomopeningen worden gemaakt van gewapend beton en gefundeerd op palen. Na het afzinken worden de kabels in de sparingen aangebracht en de elementen nagespannen. Na het naspennen kan het kokergedeelte waterdicht aan de in- en uitstroomopeningen worden bevestigd.

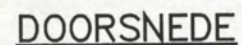
Een nadeel van deze methode is dat in het afgezonken en nagespannen kokergedeelte geen knikken aanwezig mogen zijn. Om toch de minimale aanlegdiepte te bereiken moeten de landhoofden dieper worden aangelegd dan wanneer een overgangsgedeelte zou kunnen worden ingevoegd. Om de uitstroomopeningen niet te laag uit te laten komen is het noodzakelijk de stroombuis in de landhoofden circa 7 meter omhoog te brengen van 11,2 m NAP b.o.k. tot 5 m NAP b.o.k.

Een andere mogelijkheid is het afzinken van de elementen op overgangsgedeelten, welke aan de landhoofden zijn gestort. Deze overgangsgedeelten zijn ruim 13 meter lang en brengen de stroombuis omhoog van 11,2 m NAP b.o.k. tot 5 m NAP b.o.k. Het afzinken gebeurt dan in 5 elementen van ca. 20 meter. Een voordeel hiervan is dat de in- en uitstroomopeningen eenvoudiger zijn te construeren en dat door de gelijkmatige verhoging de wrijvingsverliezen ten gevolge van de bochten geringer zijn dan bij een plotselinge verhoging.

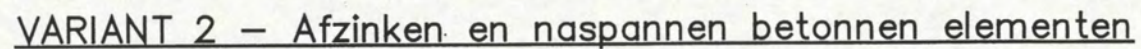
Ook is het mogelijk de naspanning lichter aan te brengen, waardoor het kokergedeelte alsnog steunt op de ondergrond. Hierdoor kan de constructie lichter worden uitgevoerd. Een nadeel is echter dat de ondergrond zo slecht is dat er grondverbetering plaats zal moeten vinden om de krachten af te kunnen voeren. De mate van en overlast door deze grondverbetering moet worden bekeken aan de hand van constructieve berekeningen. Een ander gevolg is dat verschillende details zullen veranderen. Zo zullen er flexibele voegen tussen de elementen worden aangebracht om de zettingsverschillen te kunnen volgen en de plaats van de voorspanning is anders door een gewijzigde krachtsverdeling.

De keus tussen deze methoden wordt echter pas gemaakt na de voorafweging, als meer bekend is over de belastingen en eventuele zettingen van de ondergrond.





schaal 1:500



schaal 1:1000



### 3 Afzinken stalen leiding

De leiding van de huidige sifon bestaat uit drie stalen kokers, welke in één geheel zijn afgezonken. Deze methode is dus zeker uitvoerbaar bij grote diameters. Het voordeel van het uitvoeren in staal is het lage gewicht van de constructie. Vooral in slechte ondergrond als in de Passage, vergen zware constructies een goede fundering. Een stalen constructie oefent echter weinig druk uit op de ondergrond en daarom kan worden volstaan met een lichte eenvoudige fundering, wat minder overlast voor de scheepvaart met zich meebrengt. Wel moeten de stalen kokers worden beschermd tegen opdrijven bij leegstand. Wat nog berekend moet worden is de minimale gronddekking die nodig is om opdrijven van de kokers tegen te gaan.

Er zijn echter ook grote nadelen aan deze bouwmethode verbonden. Doordat de kokers in één geheel worden afgezonken, ondervinden de schepen veel hinder van het afzinkproces. Afhankelijk of de kokers apart of tegelijk worden afgezonken, moet het Amsterdam-Rijnkanaal één of meerdere malen volledig voor de scheepvaart worden afgesloten. Een tweede nadeel is dat het staal snel zal worden aangetast door het hoge zoutgehalte op de bodem van het kanaal. Het aanbrengen van een corrosiebescherming als een coating, een PE-lining en/of een mantelbuis, is daarom aan te raden.

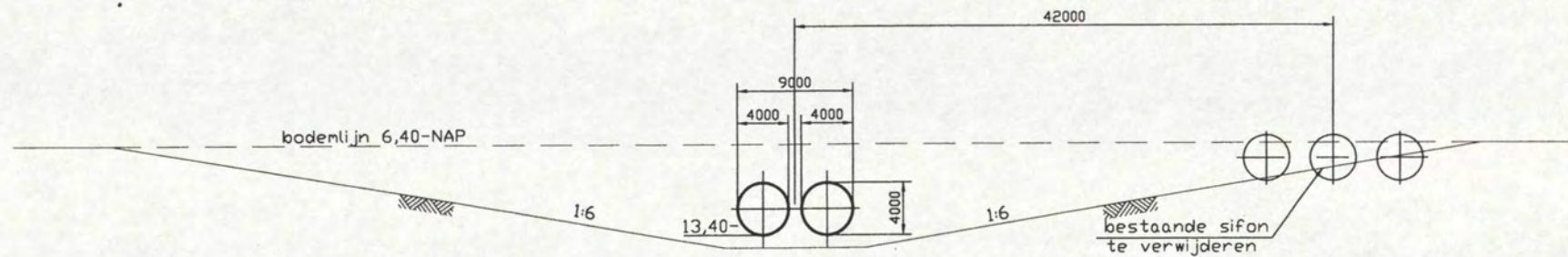
Als gevolg van het afzinken in één geheel zal de oostelijke dijk moeten worden omgelegd. Het gaat hier om een primaire waterkering. De werkzaamheden aan een primaire waterkering mogen alleen plaatsvinden in de maanden april tot oktober. Tijdens het opstellen van de uitvoeringsplanning moet hiermee rekening worden gehouden. Ook moet de functie van de waterkering worden gewaarborgd en zijn voor het werken aan een primaire waterkering zijn meerdere vergunningen vereist, welke voor de aanbesteding al zullen moeten worden aangevraagd om vertraging te voorkomen. Hetzelfde geldt echter voor het bestemmingsplan, het omleggen van bestaande kabels en leidingen en de vergunning voor het stremmen van het scheepvaartverkeer.

Het kokergedeelte van de sifon bestaat uit twee leidingen  $\varnothing$  4 meter of drie leidingen  $\varnothing$  3½ meter. Deze kunnen zowel in één geheel als afzonderlijk worden afgezonken. De lengte van de leidingen is 130 meter, waarvan 100 meter recht onder het Amsterdam-Rijnkanaal komt te liggen. De uiteinden bestaan uit overgangsgedeelten, waarin de leiding omhoog wordt geleid tot 5 m NAP b.o.k. en het ronde profiel van de kokers rechthoekig wordt. Ook moeten in deze overgangsgedeelten flexibele voegen worden aangebracht om eventuele kleine zettingsverschillen op te kunnen vangen. De stalen kokers worden opgelegd op gewapend betonnen landhoofden. Deze landhoofden worden gemaakt in een open bouwput. Omdat de kokers in één geheel worden afgezonken is het nodig de oostelijke dijk om te leggen.

Een punt waar in het ontwerp de nodige aandacht aan moet worden besteed is het opvangen van zettingen van de ondergrond. Hoewel het mogelijk is flexibele voegen toe te passen, mogen de zettingen niet te groot worden. Vooral zettingsverschillen ten gevolge van de aanvullen, zijn moeilijk op te vangen en moeten zo mogelijk worden voorkomen. Het toepassen van grondverbetering of een paalfundering behoort tot de mogelijkheden. Aan de hand van de nadere berekeningen zal naar voren komen welke fundering in de geval toegepast zal moeten worden.

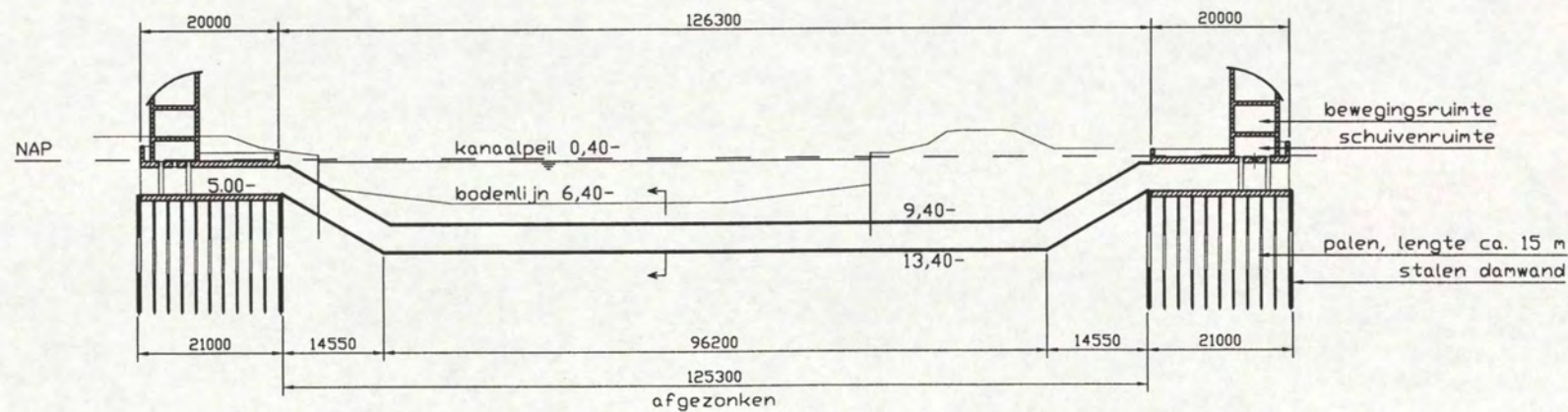
Hetzelfde geldt voor de aansluiting van de kokers op de landhoofden en de corrosiebescherming. Ook de specificatie van deze, toch niet onbelangrijke details, wordt uitgesteld tot meer bekend is van de definitieve constructie





### DOORSNEDE

schaal 1:500



### VARIANT 3 – Afzinken stalen leiding

schaal 1:1000



#### 4 Afzinken kunststof leiding

Bij het afzinken van een kunststof leiding komt meestal meteen de vraag naar boven: 'Welke soort kunststof kan er worden toegepast'. Voor leidingen met grote afmetingen komen twee kunststoffen aan de orde, polyethyleen (PE) en glasvezel versterkt kunststof (GVK). Dit zijn twee totaal verschillende materialen en zullen daarom ook los van elkaar worden besproken.

##### GVK

De uitvoeringsmethode van een afgezonken GVK leiding komt nog het meest overeen met die van een stalen leiding. Het is een weinig flexibel materiaal en kan daardoor grote drukverschillen opnemen. GVK wordt vanwege deze grote sterkte en de chemische en temperatuursbestendigheid veel toegepast in de riolering, persleidingen en voor de opslag van chemische materialen. De leidingelementen zijn 6 meter lang en worden aan elkaar verbonden met behulp van flexibele of trekvastе koppelstukken. Voor de sifon zijn flexibele koppelingen gewenst om eventuele zettingen van de ondergrond te kunnen volgen en extra belastingen te voorkomen. De leidingen worden door Eternit geleverd tot een diameter van 2500 mm en in verschillende stijfheidsklassen. (lit.4)

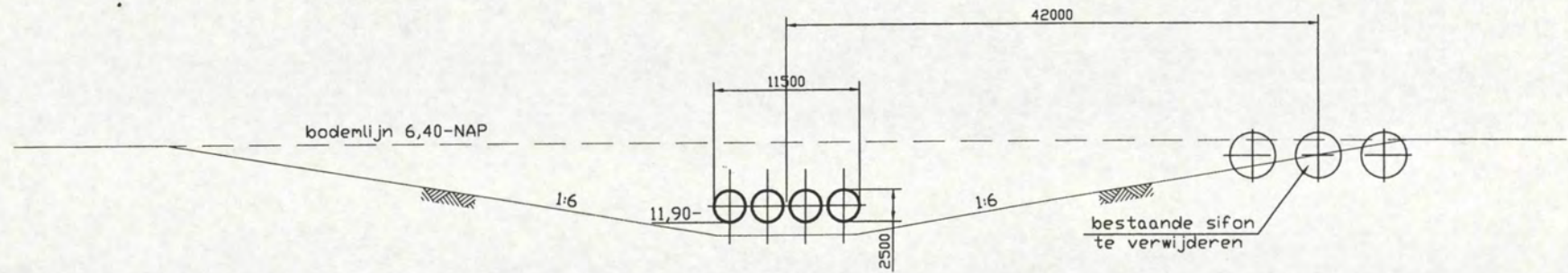
##### PE

In tegenstelling tot staal en GVK is PE wel een flexibel materiaal. Dit heeft tot voordeel dat er geen flexibele lassen toegepast hoeven worden. Zolang de zettingen van de ondergrond niet te groot zijn, volgt de leiding zonder problemen de ondergrond zonder dat dit een extra belasting voor de uitstroomopeningen met zich meebrengt. Een nadeel van deze flexibiliteit kan echter zijn dat de leiding niet vormvast is. Belastingen door zettingsverschillen en tijdens droogzetting leiden tot vormveranderingen. Deze lage vormvastheid is bij een verkeers- of leidingentunnel onacceptabel, maar leidt bij een sifon niet tot functieverlies. Alleen zal bij het berekenen van de hydraulische weerstand uitgegaan moeten worden van de meest ongunstige situatie, om problemen in de toekomst te voorkomen

Het grote voordeel van het toepassen van een kunststof leiding is dat het ongevoelig is voor invloeden van buitenaf. Vooral de zilde omgeving, die voor zowel staal als beton kan leiden tot een snel kwaliteitsverlies en veelvuldig onderhoud, heeft geen invloed op de kwaliteit van de kunststof. Hierdoor is het niet nodig de kunststof leiding veelvuldig te inspecteren en te onderhouden, wat de onderhoudskosten laag houdt. Dit in tegenstelling tot de aanschafkosten, welke van kunststof aanzienlijk hoger zijn van staal of beton. Daar komt nog bij dat in geval van beschadiging van een kunststof leiding door scherpe voorwerpen of vallende ankers, de reparatie moeilijk is uit te voeren en dat de kosten van de reparaties erg hoog liggen.

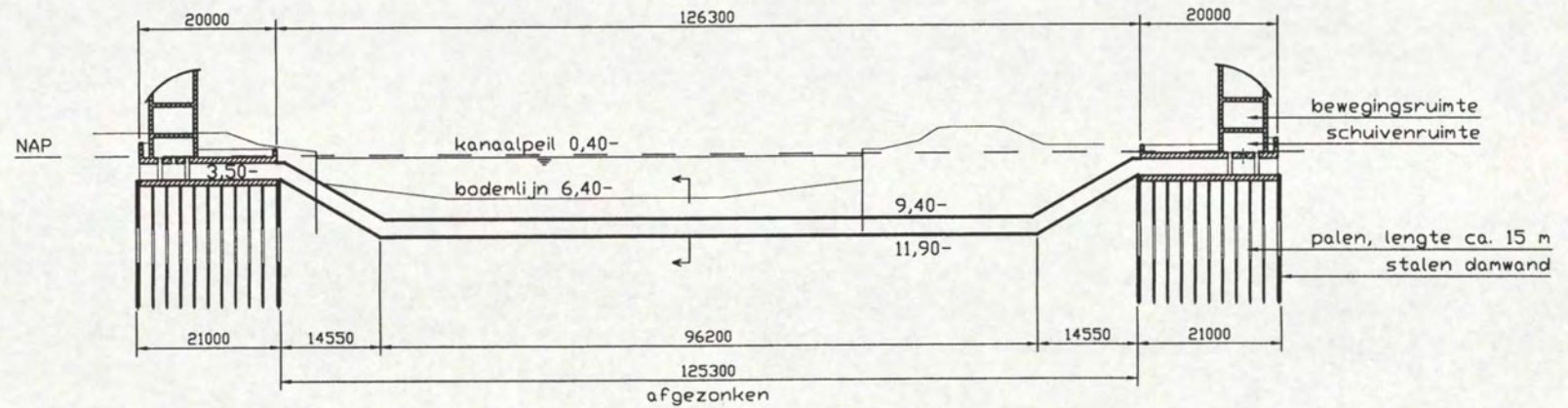
De leiding wordt in één geheel aangevoerd over het water. Hiertoe zal het Amsterdam-Rijnkanaal gedurende een korte tijd volledig moeten worden afgesloten voor scheepvaartverkeer. Na het binnendrijven van de leiding tot op de juiste positie kan hij met behulp van ballast worden afgezonken. De beide uiteinden worden aan de landhoofden bevestigd. Hiertoe zijn de damwanden van de bouwputten al verwijderd. Nadat de leiding volledig op de plaats ligt worden de zinksleuf en verwijderde oostelijke dijk aangevuld en kan de sifon in gebruik worden genomen.





### DOORSNEDE

schaal 1:500



### VARIANT 4 – Afzinken kunststof leiding

schaal 1:1000



### 5 Boren betonnen leiding

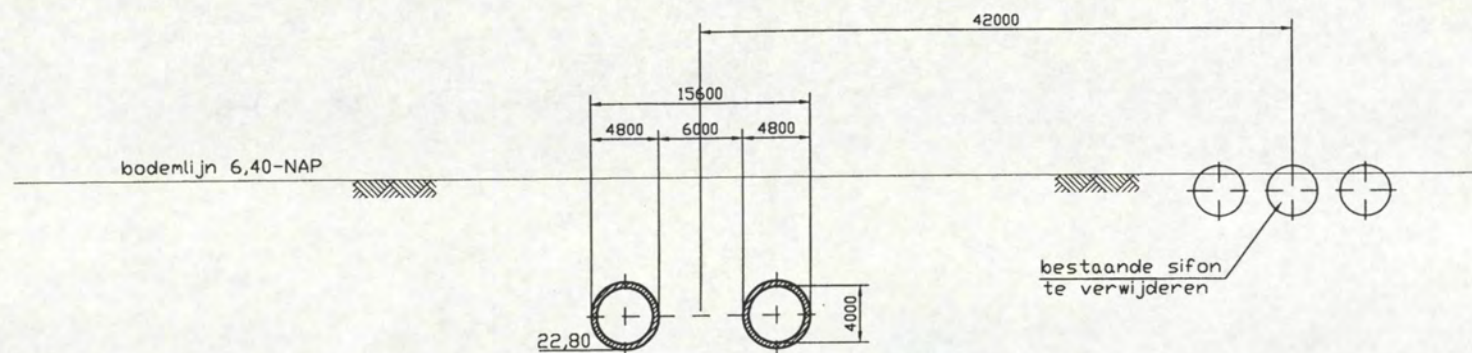
Omdat het scheepvaartverkeer op het Amsterdam-Rijnkanaal zo min mogelijk overlast van de werkzaamheden mag ondervinden, is het onderzoeken van een 'No-dig' methode een voor de hand liggende stap. De boormethode komt hiervoor het eerst aan de orde vanwege de grote diameter van de sifon.

Het boren van een leiding is echter een kostbare bezigheid. Om de kosten zoveel mogelijk te drukken is het noodzakelijk zo weinig mogelijk buizen te boren. Twee buizen is echter minimaal. Daarom wordt er uitgegaan van twee buizen met een inwendige diameter van  $\varnothing$  4 meter en een lengte van elk circa 130 meter. De totale lengte van de te boren leiding is 260 meter, onderverdeeld in elementen van 3 meter en een passtuk. Elk van deze elementen is onderverdeeld in drie prefab elementdelen, welke over de weg of per schip worden aangevoerd. Omdat het eenvoudiger is de tweede boorgang te beginnen in de kuip waar de boorkop na de eerste boorgang uitkomt, moet aan beide zijden van het kanaal een vertrekkuip worden ingericht. Dit heeft tot gevolg dat beide kuipen ook moeten worden ingericht op de aanvoer van de elementdelen en de aan- en afvoer van grond en bentoniet. Ook moeten de beide kuipen worden voorzien van een sluisconstructie of een klei-cement afdichting om de kuipen droog te houden tijdens het doorboren van de kuipwand.

Door de minimaal benodigde gronddekking van 6 meter komen de leidingen diep in de vertrek- en ontvangstuip uit. Hiervoor zal een zware damwandconstructie moeten worden toegepast om de grond te keren. De kuipen worden droog gehouden door een onderwaterbetonvloer en trekpalen. Nadat te beide buizen zijn geboord kunnen de landhoofden worden gemaakt. Deze betonnen landhoofden bestaan uit uitstroomopeningen en een schuivengebouwte. In de landhoofden zal de stroombuis omhoog gebracht moeten worden tot 5 m NAP b.o.k. De landhoofden worden gefundeerd op palen. Indien er gevaar is voor opdrijven worden de leidingen direct na het boren gefundeerd met behulp van boorankers. Bij een nadere uitwerking van de boortunnel, zal ook de verankering nader worden uitgewerkt.

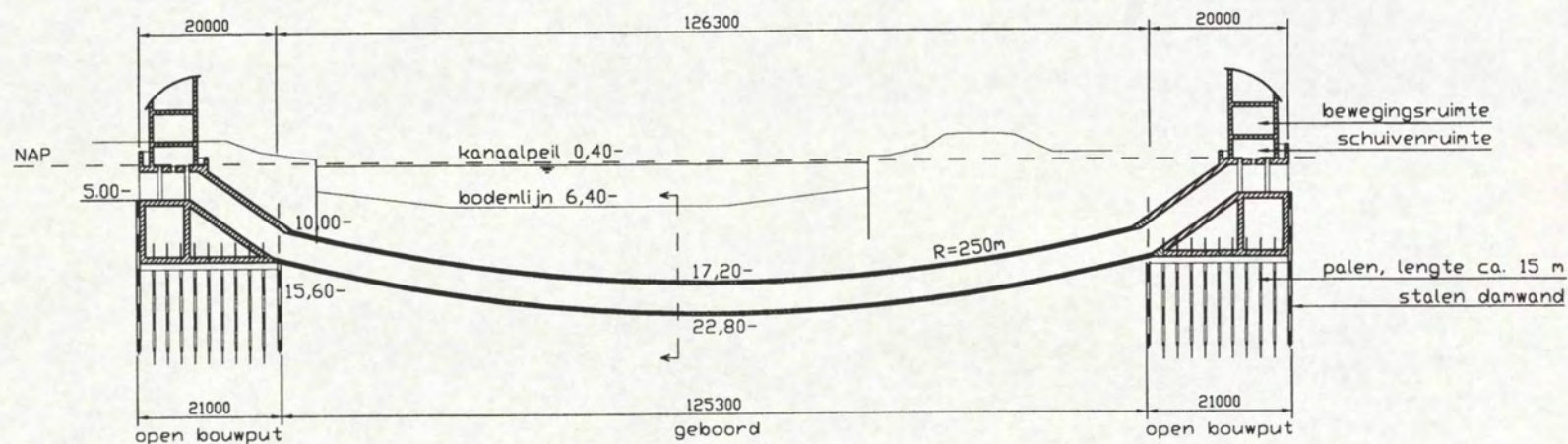
Een aandachtspunt bij het boren van de leiding is natuurlijk het waterdicht houden van de bouwkuipen en het boorsysteem. Helemaal doordat een primaire waterkering wordt doorboord, moet een 'blow-out', waardoor water van het kanaal door de leiding in de bouwput kan stromen, worden voorkomen. Hiervoor zal aan de afdichting tussen de elementen en elementen en de ondersteuning van het schild veel aandacht moeten worden besteed. Ook moeten de bouwkuipen zo worden gemaakt dat bij een eventuele 'blow-out' de damwand de waterkerende functie van de dijk over kan nemen.





### DOORSNEDE

schaal 1:500



### VARIANT 5 – Boren betonnen leiding

schaal 1:1000



### **6 Persen betonnen leiding**

Persen is een tweede 'No-dig' methode die bij de sifon kan worden toegepast. Helemaal nu het mogelijk is om te persen tot een diameter van 6 meter. Het leidinggedeelte van de sifon wordt ontworpen als twee betonnen leidingen met een inwendige diameter van 4 meter en een lengte van circa 130 meter. Deze kokers worden gewapend met wapeningsstaal, voorspanning en/of een plaatstalen kern. De lengte van elk element is 3 meter, de wanddikte circa 400 mm. Vanwege de grote diameter worden de elementen in twee elementen aangevoerd en op locatie nagespannen. Voor de opslag en het naspannen van de elementen zal extra ruimte moeten worden gereserveerd op het bouwterrein.

De perskuip van deze bouwmethode vraagt de nodige aandacht. Deze kuip moet droog zijn en er moet voldoende ruimte worden gecreëerd om achter de boorkop de elementen in te voegen en de vijzels te plaatsen. In tegenstelling tot het boren is het bij het persen met meest eenvoudig om twee maal vanuit dezelfde kuip te starten. In dat geval zal namelijk alleen de boorkop over het kanaal verplaatst moeten worden en kunnen de vijzel- en bentonietinstallatie blijven staan. Vanwege de benodigde ruimte, de aanvoer van elementen en de aan- en afvoer van grond en bentoniet, zal deze perskuip het best aan de oostzijde ingericht kunnen worden.

Door de geringe minimale boogstraal en een gronddekking van 4 meter van de persleiding moeten de pers- en ontvangstuip diep worden aangebracht. De kuipen worden nat ontgraven en na het aanbrengen van trekpalen en een onderwaterbetonvloer kan de kuip worden drooggezet. Een probleem van de perskuip is het opvangen van de perskrachten. Een afzetconstructie tegen de damwand is niet mogelijk omdat door verplaatsingen van de damwand de waterdichtheid ter plaatse van de onderwaterbetonvloer teniet wordt gedaan. De afzetconstructie moet daarom worden gekoppeld aan de damwand aan de voorzijde van de perskuip.

Na het persen van de beide leidingen kunnen de landhoofden worden gemaakt. Net als bij de andere varianten worden deze gemaakt van gewapend beton en gefundeerd op palen. Indien er gevaar is voor opdrijven moet de leiding worden voorzien van grondankers, welke direct na het persen vanuit de leiding worden aangebracht. De landhoofden bestaan uit een uitstroomopening en een schuivengebouwte. In de landhoofden wordt de stroombuis omhoog gebracht tot 5 m<sup>-</sup>NAP b.o.k.







### 7 Trekken betonnen leiding

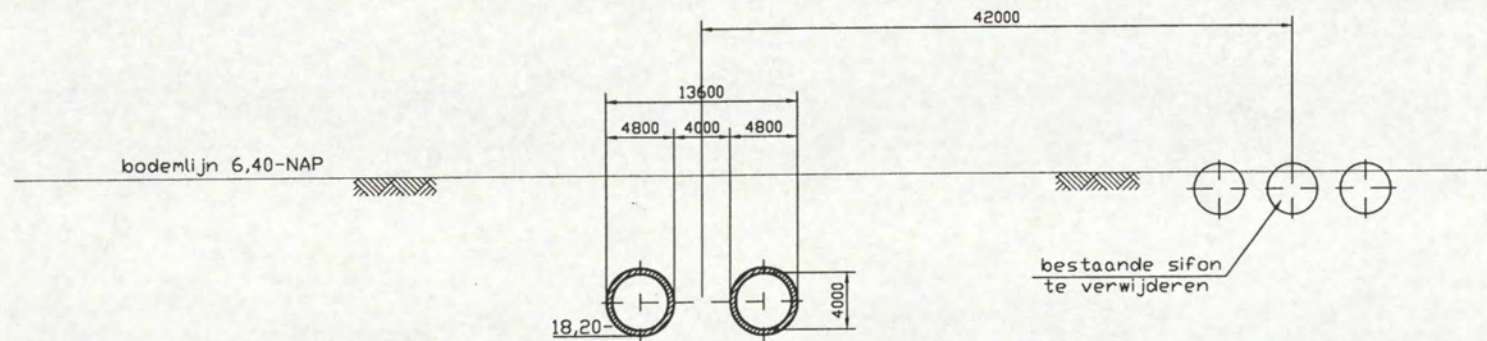
Een derde methode waarbij de overlast voor de scheepvaart tot een minimum wordt beperkt is het trekken van een betonnen leiding. Deze methode is echter nog vrij innovatief en er is nog geen ervaring met het trekken van grote diameters. Bij de sifon gaat het om het trekken van twee betonnen leidingen met een inwendige diameter van circa 4 meter en een lengte van circa 130 meter. Elke leiding bestaat uit elementen met een lengte van 3 meter die ter plaatse aan elkaar worden bevestigd.

Ten behoeven van het aanbrengen van de leiding worden eerst de beide bouwputten gegraven en drooggezet. De oostelijke bouwput is groter dan de westelijke omdat de elementen van oost naar west moeten getrokken. Daartoe wordt de westelijk bouwput ingericht voor het aanbrengen van de trekkabels. Onder de inrichting wordt verstaan het aanbrengen van een sluisconstructie of een klei-cement mengsel om de doorvoeropeningen van de kabels waterdicht af te sluiten en het aanbrengen van een vijzelconstructie die de kabels individueel kan spannen en de krachten afvoert naar de ondergrond. Daarna kunnen de trekkabels in de grond worden aangebracht. Het aantal benodigde kabels wordt geschat op 12 stuks, maar berekeningen van de benodigde trekkrachten en maximaal opneembare spanningen zullen het exacte aantal uitwijzen. Deze kabels worden vervolgens in de vertekput door het graafwiel heen aan de voorspanning van het eerste element bevestigd. Hierna kan worden begonnen met het doortrekken van de elementen. Deze elementen zullen in de vertekput met behulp van voorspanning aan elkaar bevestigd worden.

Om de weerstand van de tunnel tot een minimum te beperken wordt de leiding met behulp van tijdelijke ballast zo goed als gewichtsloos gemaakt. Ook kan de leiding aan de buitenzijde worden geïnjecteerd met bentoniet. Deze gel-achtige vloeistof is echter schadelijk voor het milieu en wordt daarom zo weinig mogelijk toegepast. Nadat de leiding volledig is aangebracht kan hij worden verankerd met trekankers. Deze trekankers worden van binnenuit aangebracht en kunnen zowel trek- als drukkrachten opnemen.

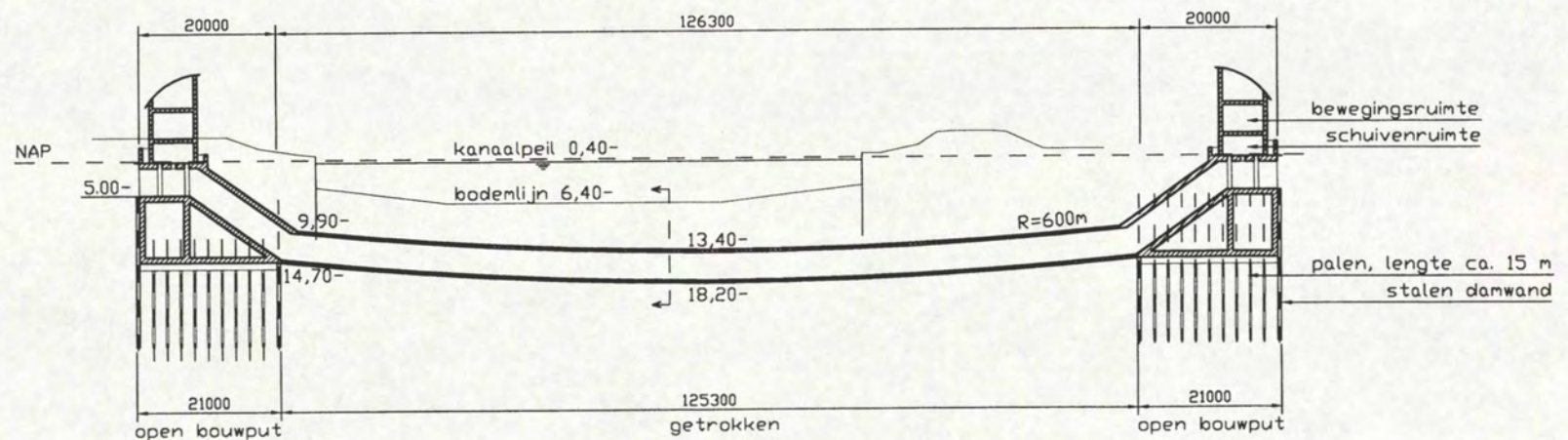
Nadat de tweede leiding op dezelfde wijze is aangebracht kunnen de landhoofden worden gebouwd. Deze landhoofden worden gemaakt van gewapend beton en gefundeerd op palen. In de landhoofden wordt het doorstroomprofiel omhoog gevoerd tot 5 m<sup>-</sup>NAP b.o.k. Ook worden de landhoofden voorzien van schuiven waarmee de sifon kan worden afgesloten en schotbalkspanningen zodat de sifon kan worden drooggezet.





### DOORSNEDE

schaal 1:500



### VARIANT 7 – Trekken betonnen leiding

schaal 1:1000



### 8 Trekken stalen leiding

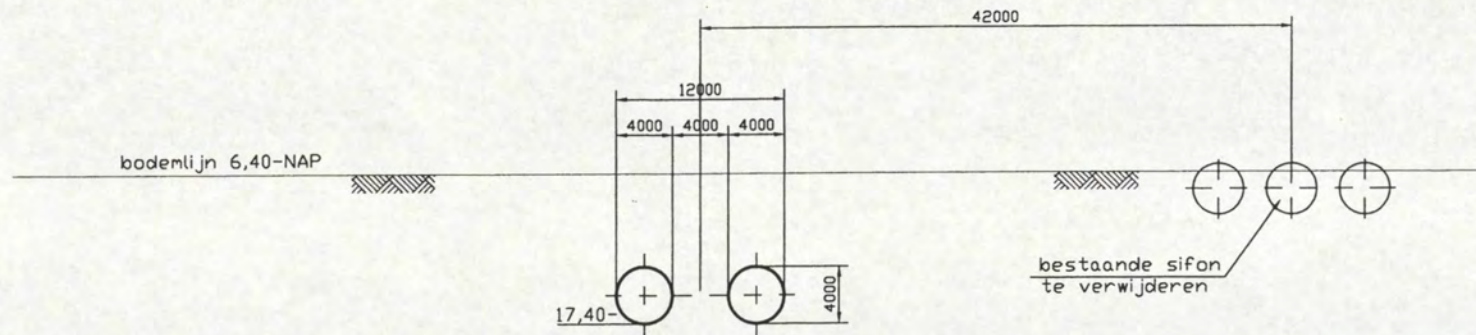
Er zitten vele voordelen aan het trekken van een stalen leiding boven het trekken van een betonnen leiding. Zo kan het beter trekkrachten opnemen en is het gladder waardoor de wrijvingskrachten afnemen. Een nadeel is echter dat het niet mogelijk is aan de buitenzijde een coating aan te brengen omdat de kans van beschadigen tijdens het trekken vrij groot is. Daarom zal de leiding moeten worden beschermd tegen corrosie met behulp van een mantelbuis gevolgd door een corrosiewerende coating of lining.

De constructie bestaat uit 2 leidingen met een inwendige diameter van 4 meter en een lengte van 130 meter. De leidingen worden aangevoerd in elementen met een lengte van 6 meter die op locatie aan elkaar worden gelast. Vanwege de benodigde ruimte voor transport en opslag van de elementen wordt de vertrekkuip aan de oostzijde gesitueerd. Daartoe moet de westelijke bouwkuip worden ingericht op het doorvoeren van de trekkabels en het opnemen van de trekkrachten. De leidingen worden beide vanaf dezelfde kant getrokken om het ruimtebeslag en de overlast zoveel mogelijk te beperken. Om opdrijven van de leiding te voorkomen is het noodzakelijk dat voldoende gronddekking wordt aangebracht. Vanwege het lage eigen gewicht van de leiding zullen deze zettingen gering zijn. Wel is het noodzakelijk flexibele voegen aan te brengen om extra belastingen door zettingsverschillen te voorkomen.

Nadat de leidingen zijn aangebracht kunnen de landhoofden worden gemaakt. Deze landhoofden zijn van gewapend beton en worden gefundeerd op palen. In de landhoofden wordt het doorstroomprofiel omhoog gevoerd tot 5 m<sup>-</sup>NAP b.o.k. Ook worden de landhoofden voorzien van schuiven waarmee de sifon kan worden afgesloten en schotbalkspanningen zodat de sifon kan worden drooggezet.

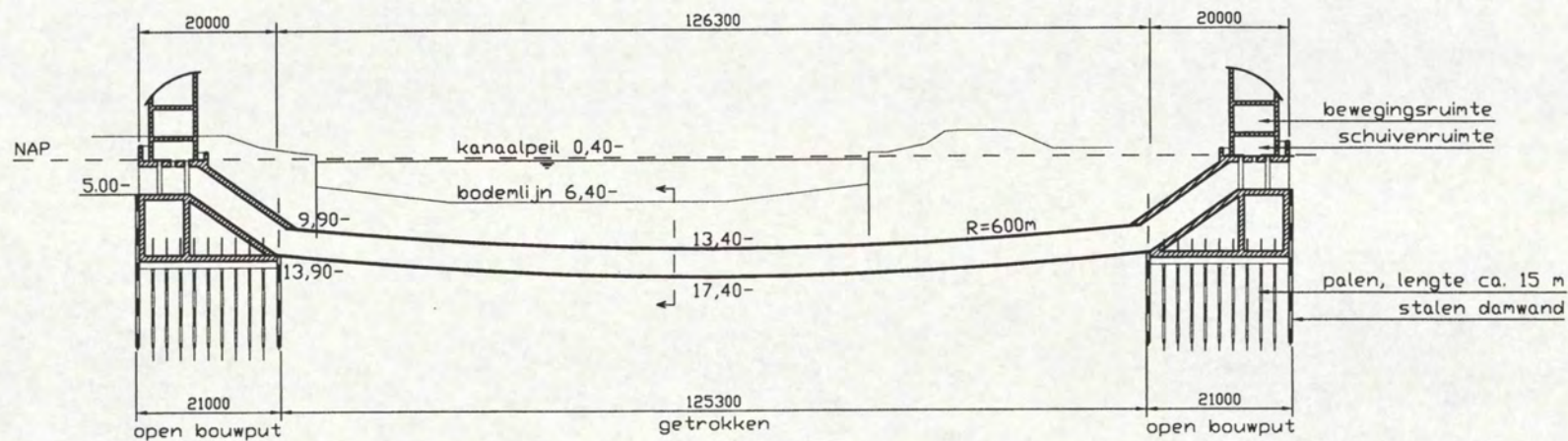
Een detail waar bij deze constructie veel aandacht aan moet worden besteed is de aansluiting van de leiding op de betonnen landhoofden. Deze is gevoelig voor zettingen en corrosie. Afdichting met behulp van een rubberen manchet zou hierin bekeken kunnen worden. Ook de flexibele verbindingen zijn een probleem. Omdat de leiding bestaat uit een binnen- en mantelbuis vergt deze verbinding een specifieke oplossing. Daarbij moet rekening worden gehouden met de corrosiegevoeligheid van smalle openingen en beschadiging van de corrosiewerende coating. Een derde detail is de aanhechting van de trekkabels aan het eerste element en de overdracht van krachten ter plaatse van de lassen. Gatverzwakking en mindere lassen mogen niet leiden tot het bezwijken van de vizelconstructie. Met de berekening moet hier rekening mee worden gehouden. Evenals met het breken van een trekkabel als gevolg van onverwachte overbelasting.





### DOORSNEDE

schaal 1:500



### VARIANT 8 – Trekken stalen leiding

schaal 1:1000



### 9 Schuiven betonnen elementen

Het schuiven van betonnen elementen is de meest innovatieve methode binnen deze variantenafweging; er is nog geen ervaring mee in de praktijk. Toch is het wel een methode die juist voor deze omstandigheden uitermate geschikt is. Na het aanbrengen van de fundering en schuifbaan, heeft de scheepvaart geen overlast meer van de bouwwerkzaamheden. Daarnaast is er geen milieubelastend bentoniet voor nodig en is de koker eenvoudig te funderen.

De constructie bestaat uit één rechthoekige duiker, welke is onderverdeeld in twee rechthoekige kokers van elk 3x4 meter. Het onderwatergedeelte is circa 125 meter lang en wordt onderverdeeld in 6 elementen van ruim 20 meter en een sluitmoot. Deze elementen worden prefab gemaakt en kunnen per schip worden aangevoerd. Nadat het element is aangevoerd kan het worden afgezonken en vervolgens naar de juiste plaats worden geschoven. Afhankelijk van de schuifmethode moeten deze elementen aan één of beide zijden van het kanaal kunnen worden afgezonken.

Ten behoeve van het schuiven van de sifon zal eerst een schuifsluif moeten worden gebaggerd. Hiertoe moet de oostelijke dijk worden omgelegd en de kokers van de huidige sifon worden verwijderd. Omdat beide waterkeringen deel uitmaken van een dijkkring kan dit alleen in de periode van april tot oktober. Na het graven van de schuifsluif kunnen de palen worden geheid en de schuifbaan worden aangebracht. Het op hoogte stellen van deze schuifbaan moet nauwkeurig gebruiken omdat onbalans van de schuifelementen extra schuifbelasting en spanningen met zich meebrengen.

Afhankelijk van de vorm van de schuifbaan wordt van één of beide zijden geschoven. In geval van een rechte schuifbaan wordt gekozen voor het schuiven vanuit de oostelijke kuip, omdat daar de meeste ruimte is voor het aanvoeren en afzinken van de elementen. Bij een gebogen of rechte schuifbaan kan het best van beide zijden worden geschoven, omdat de zwaarte kracht dan meewerkt en de schuifkrachten zullen afnemen. De keuze tussen deze mogelijkheden zal op een later tijdstip worden genomen, omdat het niet van belang is voor deze voorafweging.

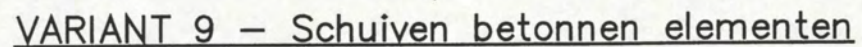
Tijdens het schuiven worden de elementen geballast zodat ze een kleine resulterende kracht naar beneden hebben. Nadat de elementen volledig op hun plaats liggen kunnen ze vrij eenvoudig aan de schuifbaan worden vastgekoppeld en de ballast worden verwijderd. De fundering van de schuifbaan gaat nu fungeren als fundering van de duiker en moet daarom zowel trek- als drukkrachten op kunnen vangen. Als de elementen dan volledig op hun plek liggen kan de schuifsluif worden aangevuld en de landhoofden worden gebouwd. Deze landhoofden bestaan uit gewapend beton en worden gefundeerd op palen. In de landhoofden wordt het doorstroomprofiel omhoog gevoerd tot 4 m NAP b.o.k. Ook is het mogelijk de overgangsgedeelten aan te brengen tussen de schuifelementen en de landhoofden. In dat geval moeten de bouwputten circa 10 meter verder naar binnen komen en zal het onderwatergedeelte een lengte hebben van circa 100 meter.

Aandachtspunten van de constructie zijn de fundering, de flexibele voegen tussen de elementen en de naspanning waarmee de elementen aan elkaar worden gekoppeld.





schaal 1:500



schaal 1:1000



### 3.4 beoordelingscriteria

In deze eerste afweging wordt alleen gekeken naar de haalbaarheid van een variant. Daarom is het in dit stadium nog niet mogelijk en niet zinvol de criteria met behulp van weegfactoren op de varianten toe te passen. In plaats daarvan kan worden volstaan met een zestal betrekkelijk grof gedefinieerde criteria. Deze criteria zijn:

#### **Overlast**

Het criterium 'Overlast' is onder te verdelen in overlast voor het scheepvaartverkeer, voor het wegverkeer en de omwonenden. In eerste instantie gaat het hierbij om overlast tijdens de uitvoeringsfase. Deze overlast wordt veroorzaakt door bijvoorbeeld het aanbrengen van de fundering, het afzinken van leidingen, het doorbreken van de dijken en geluidsoverlast van de bentonietinstallatie.

#### **Milieu**

Onder het criterium 'Milieu' vallen onder andere in de kwaliteit en kwantiteit van vrijgekomen materialen, het verstoren van de natuur door het doorbreken van de dijken, het gebruik van milieubelastende materialen en milieubelasting bij onderhoud.

#### **Bouwtijd**

Onder het criterium 'Bouwtijd' valt de volledige tijd van uitvoering, van de aanbesteding tot de oplevering.

#### **Bouwkosten**

Grof gezegd komt het criterium 'Bouwkosten' overeen met de aanneemsom. Hieronder vallen de kosten van alle betrokken disciplines, inclusief de benodigde vergunning, de materialen, materieel en personeel. Niet onder dit criterium vallen de kosten voor onderhoud en de kosten voor de verbreding en verdieping van de Passage.

#### **Onderhoud**

Het criterium 'Onderhoud' staat voor de kosten en overlast op lange termijn. Dit is vooral afhankelijk van het gebruikte materiaal.

#### **Innovativiteit**

Het criterium 'Innovativiteit' wordt normaal bij een variantenafweging niet meegenomen. De doelstelling van dit onderzoek is echter niet de beste methode, maar de beste innovatieve methode uit te werken.

Voor veel van de criteria is een cijfermatige beoordeling moeilijk, zo niet onmogelijk. Dit geldt niet voor de bouwkosten, maar omdat de varianten alleen maar globaal zijn uitgewerkt, zal ook dit criterium globaal worden beoordeeld. De beoordeling van de criteria wordt uitgedrukt in de termen zeer goed (++), goed (+), redelijk (+/-), matig (-) en slecht (--). Na een gedetailleerdere uitwerking van een aantal varianten in de volgende fase is het beter mogelijk een cijfermatige beoordeling te maken. Desgewenst kan dan ook op een aantal criteria een gevoeligheidsanalyse worden uitgevoerd.



### 3.5 Selectie

Deze eerste selectie is een vrij algemene afweging tussen de eerste varianten. Nadat varianten zijn uitgewerkt op voor- en nadelen, constructieve aandachtspunten en uitvoeringsmogelijkheden, worden ze in de eerste selectie getoetst op haalbaarheid. Omdat de varianten constructief niet zijn uitgewerkt is het alleen mogelijk een algemene afweging te maken. Uit de afweging moeten een drietal varianten naar voren komen die als haalbaar worden beschouwd. Deze varianten worden in het vervolg van het onderzoek verder uitgewerkt. Een uiteindelijke keuze voor een variant wordt gemaakt op basis van een raming van kosten.

Variant	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Criterium</b>									
<b>Overlast</b>	-	-	+/-	+/-	+	+	+	+	-
<b>Milieu</b>	-	-	-	-	+/-	+/-	+/-	+/-	-
<b>Bouwtijd</b>	+	+	++	++	+/-	+/-	+/-	+/-	+
<b>Bouwkosten</b>	+	+	++	+	--	-	--	--	+/-
<b>Onderhoud</b>	+/-	+/-	-	+	+/-	+/-	+/-	-	+/-
<b>Totaal</b>	+/-	+/-	+	+	+/-	+/-	+/-	-	-
<b>Innovativiteit</b>	-	+/-	-	+/-	+/-	+/-	+	+	++
<b>Totaal</b>	-	+/-	+/-	+	+/-	+/-	+/-	-	+/-

*Figuur 6.1 Keuzematrix varianten*

De genummerde varianten zijn de volgende, reeds beschreven, bouwmethoden:

- Variant 1* - Afzinken betonnen elementen, ten oosten huidige dijk open bak.
- Variant 2* - Afzinken en naspannen betonnen elementen.
- Variant 3* - Afzinken stalen leiding in één geheel.
- Variant 4* - Afzinken kunststof leiding in één geheel.
- Variant 5* - Boren betonnen leiding.
- Variant 6* - Persen betonnen leiding.
- Variant 7* - Trekken betonnen leiding.
- Variant 8* - Trekken stalen leiding.
- Variant 9* - Schuiven betonnen elementen.



### Selectie

Uit de eerste afweging komen twee varianten als 'goed' naar voren, namelijk het afzinken van een stalen of een kunststof leiding. Na het toepassen van het criterium 'Innovativiteit' blijft echter alleen de variant van het afzinken van een kunststof leiding als 'goed' over en zakt de variant van het afzinken van een stalen leiding terug naar redelijk. Om toch drie varianten uit te kunnen werken zijn naast de kunststof variant de volgende twee 'redelijke' varianten geselecteerd:

*Variant 4* - Afzinken kunststof leidingen in één geheel.

*Variant 6* - Persen betonnen leidingen.

*Variant 9* - Schuiven betonnen elementen.

De variant van het afzinken van een stalen leiding is niet geselecteerd omdat deze in grote lijnen overeen komt met de afgezonken kunststof leiding. Wel geselecteerd is variant 9 omdat deze als meest innovatief naar voren komt. Dit in het kader van de gestelde doelstelling, waarin wordt gezocht naar de beste innovatieve variant. Ook is het interessant deze variant verder uit te werken om een goed beeld te krijgen van de problemen waar men tegenaan loopt. Ter vergelijking van deze beide afzinkmethoden, wordt ook gekeken naar een No-dig methode. Het persen van een betonnen leiding (variant 6) komt van de No-dig methoden als beste naar voren en zal daarom ter vergelijking worden uitgewerkt.

In het volgende hoofdstuk zullen deze drie varianten verder worden uitgewerkt.



## 4. UITWERKING VARIANTEN

### 4.1 Afzinken kunststof leiding

De afgezonken kunststof leiding zal bestaan uit een viertal buizen met een diameter van elk 2,5 meter. Het leidinggedeelte is ruim 125 meter lang en wordt opgelegd op twee betonnen landhoofden. De leiding bestaat uit een recht gedeelte met een lengte van ruim 96 meter en twee opstaande gedeeltes met een lengte van elk  $14\frac{1}{2}$  meter. Het rechte gedeelte is opgebouwd uit 14 elementen met een lengte van 6 meter, de vier bochten zijn elk samengesteld uit twee bochtstukken met een hoek van  $22\frac{1}{2}^\circ$ . De elementen zijn onderling verbonden met flexibele koppelstukken om eventuele zettingen van de ondergrond te kunnen volgen. Dit voorkomt dat de belastingen op de oplegpunten te groot wordt. Om zettingsverschillen tussen het leidinggedeelte en de betonnen landhoofden op te vangen, wordt een flexibele rubberen koppeling ingevoegd.

De leidingen zelf zijn van glasvezel versterkt kunststof (GVK). Het GVK dat wordt gebruikt bestaat uit het thermoharde polyester met glasvezels versterkt en met een beschermende binnenliner. Daarbij kan de wanddikte van de leiding worden gevarieerd om de gewenste sterkte te verkrijgen. Om te weten hoe het GVK reageert op trek- en druklasten moet meer bekend zijn van de laminaire opbouw van het materiaal en de eigenschappen van de verschillende materialen. Daarom worden van de kunststof leiding alleen de spanningen in de gebruiksfase berekend en wordt de dimensionering van de leiding aan de leverancier overgelaten. In een vervolgfase van het ontwerp moeten ook de spanningen op het materiaal gedurende de uitvoeringsfase worden meegenomen.

De leiding wordt in één geheel afgezonken. Daartoe worden de elementen tevoren aan elkaar bevestigd. Daarna wordt de leiding drijvend over het water naar de juiste plaats gevaren en kan hij worden afgezonken. In de ondergrond bevinden zich dunne veenlagen. Om te grote zettingen van de leiding te voorkomen zal een lichte grondverbetering worden toegepast tot 12,5 m NAP.

De landhoofden worden gebouwd op de plaats van de toekomstige dijken. De bouw vindt plaats in bouwputten die in den natte worden ontgraven en na het storten van onderwaterbeton kunnen worden drooggezet. Deze bouwputten hebben een afmeting van 16 bij 20 meter. De onderzijde van de constructievloer ligt op 4,3 m NAP. Om opdrijven van de onderwaterbetonvloer te voorkomen, worden voor het storten trekpalen geheid. Deze palen kunnen tevens worden gebruikt om de drukkrachten van de definitieve constructie op te vangen. Na het storten van de uitstroomconstructie tot boven de grondwaterstand, kunnen de damwanden boven de onderwaterbetonvloer worden verwijderd. De damwanden onder de onderwaterbetonvloer worden niet verwijderd, maar doen dienst als onderloopheidschermen.

#### Hydraulische berekening

De sifon is te schematiseren als een leiding tussen twee wateren met verschillende waterstanden. Door het drukverschil gaat het water stromen van hoogwater naar laagwater. Het snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van het drukverschil en de optredende energieverliezen. Deze energieverliezen zijn onder te verdelen in wrijvingsverliezen en vertragsingsverliezen en zijn afhankelijk van de vorm en het materiaal van de leiding en de in- en uitstroomopeningen.



Bij de kunststof leiding treed tussen de in- en de uitstroomopening een energieverval op van 0,52 meter (*zie bijlage 2*). Dit voldoet niet aan de eis van een maximaal verval van 500 mm, maar de afwijking valt wel binnen de 5 %. Omdat grotere diameters (nog) niet leverbaar zijn wordt deze afwijking getolereerd.

Om uitschuring van de bodem ter plaatse van de uitstroomopeningen te voorkomen moet een bodembescherming worden toegepast. De stroomsnelheid bij uitlaat is 3,0 m/s. Daar waar de snelheid van het water lager is dan 1,0 m/s zal geen uitschuring van de kleibodem meer plaatsvinden. Daarom wordt over een afstand van 140 meter vanaf de betonconstructie een zinkstuk met lichte stortsteen als bodembescherming toegepast (*zie bijlage 2*).

### Sterkteberekening

De ondergrond van de leiding bestaat tot ca. 12½ m<sup>-</sup>NAP uit kleilig zand met laagjes veen. Van 12½ m<sup>-</sup>NAP tot 18½ m<sup>-</sup>NAP bestaat de ondergrond uit afwisselend klei- en zandlagen. Vanaf 18½ m<sup>-</sup>NAP begint de vaste zandlaag. Om grote zettingen van de ondergrond te voorkomen zal de zinksleuf tot 12½ m<sup>-</sup>NAP worden uitgegraven en worden aangevuld met zand tot 11,9 m<sup>-</sup>NAP.

Voor de berekening van de doorsnede is de maximale belasting op de leiding maatgevend. Dit is ter plaatse van de oostelijke dijk. Hier ligt de bovenzijde van de leiding op 9,4 m<sup>-</sup>NAP. De bovenzijde van de dijk ligt op 3,7 m<sup>+</sup>NAP. De gronddekking komt hiermee op 13,1 meter. De waterstand wordt maximaal genomen op 0,2 m<sup>-</sup>NAP. Naast de gronddruk spelen ook de inwendige en uitwendige waterdruk en het eigen gewicht van de leiding een belangrijke rol. Omdat de leiding eigenlijk continue vol water staat, wordt de temperatuurbelasting niet meegenomen. Ook de verkeersbelasting wordt niet meegenomen. Vanwege de grote gronddekking wordt deze belasting zodanig verspreid, dat deze geen rol van betekenis heeft op de spanningen in de doorsnede.

Omdat de doorsnede rondom gelijk is, maakt het voor de dimensionering niet uit waar de maximale spanningen in de doorsnede optreden. Aan de hand van de maximale opneembare spanningen wordt dan de doorsnede gedimensioneerd. Vanwege de complexiteit van het materiaal wordt deze dimensionering aan de leverancier overgelaten. De berekening van de optredende spanningen staat in bijlage 3.

### Bouwputberekening

Het afgezonken gedeelte van de leiding bestaat uit een recht gedeelte van 100 meter en twee opstaande gedeeltes van 10 meter. De diepte van de zinksleuf is 6,1 meter. De onderzijde komt hiermee op 6,4+6,1 = 12,5 m<sup>-</sup>NAP. In de opstaande gedeeltes wordt het doorstroomprofiel omhoog gevoerd tot 3,5 m<sup>-</sup>NAP b.o.k. De bouwputten bestaan uit kerende damwandprofielen met een stempellaag boven de waterspiegel op 0,3 m<sup>+</sup>NAP en een onderwaterbetonvloer (owb vloer). De afmetingen van de bouwkuipen staan in de onderstaande tabel weergegeven. De berekening staat in bijlage 4.

	afmetingen	onderzijde	kerende	lengte	optredend	profiel	profiel	profiel
	bouwput	owb vloer	hoogte	damwand	moment	damwand	gording	stempeling
oostzijde	20x16 m	5,4 m <sup>-</sup> NAP	4,4 meter	14 meter	55 kNm	AZ13	2x HE160 B	318,0x7,1
westzijde	20x16 m	5,4 m <sup>-</sup> NAP	7,3 meter	15 meter	275 kNm	AZ13	2x HE300 B	323,9x25,0

Tabel: afmetingen en profielen bouwkuipen.



De berekening van de optredende krachten is uitgevoerd met het programma MSheet. De invoer is gedaan in vier fasen. In de meeste gevallen zijn de optredende krachten in de laatste fase, dat is als de put droog is gepompt, maatgevend.

Wat opvalt in de tabel is dat de damwanden een grote lengte hebben ten opzichte van de kerende hoogte. Dit is omdat zich in de ondergrond een veenlaag bevind tot circa 13 m NAP. Zou de onderzijde van de damwandplanken niet in de onderliggende zandlaag worden geheid, dan 'zwemt' de damwand in de veenlaag en zijn de verplaatsingen niet te controleren.

De owb vloer is berekend met behulp van een drukbooganalogie en NEN 6720 en bevestigd aan trekpalen. De berekening van de owb vloer en de uitleg van de rekenmethode staat in bijlage 4. De palen staan h.o.h. 3,0 meter. De rekenwaarde van de optredende paalkrachten die hieruit voortkomt, is gebruikt voor de berekening van de trekpalen.

#### **Paalberekening**

Uit de berekening van de owb vloer volgen de belastingen op de trekpalen. Vanuit deze gegevens zijn de trekpalen gedimensioneerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de NEN 6743. Naast deze methode is ook de CUR 166 in gebruik, maar omdat in deze norm nog veel fouten blijken te zitten, wordt deze tot nader onderzoek buiten beschouwing gelaten. In de NEN 6743 wordt aangegeven dat trekpalen moeten worden gecontroleerd op schachtwrijving en kluitgewicht. Vanwege de onzekerheid over het exacte gedrag van de grond, wordt bij de schachtwrijving een materiaalfactor van 1,4 aangehouden. Voor beide berekeningen geldt ook een belastingfactor van 1,2. De berekening van de palen staat in bijlage 4.

De afmetingen van beide bouwputten is 16x20 meter. Uit de berekening van de owb vloer volgt dat de palen h.o.h 3 meter staan. Voor beide putten komt dit neer op 5x6 palen. De gebruikte palen zijn van prefab beton en hebben een doorsnede van 450x450. Om een goede aanhechting met het onderwaterbeton te krijgen zijn de palen aan de bovenzijde aan twee zijden geribbeld. De maximale representatieve trekkracht op de palen tijdens de uitvoeringsfase is 284 kN. Uit de berekening komt een benodigde lengte van respectievelijk 8 meter in de westput en 10 meter in de oostput.

Na de bouw van de uitstroomopeningen en schuivengebouwen komt op de palen een drukkracht te staan van ca. 320 kN.



## 4.2 Persen betonnen leiding

Omdat de sifon moet bestaan uit minimaal twee leidingen, worden er bij deze variant twee ronde betonnen buizen geperst met een inwendige diameter van 4 meter en een lengte van ruim 125 meter. Om de gewenste diepte te bereiken en de bouwputten niet te diep uit te laten komen, wordt gewerkt een boogstraal van 600 meter. Hiermee komt het diepste gedeelte op 18,2 m<sup>+</sup>NAP en ligt de onderzijde van de uitstroomopeningen op 14,7 m<sup>+</sup>NAP. Elke leiding bestaat uit elementen met een lengte van 3 meter en een wanddikte van 400 mm. De elementen worden aangevoerd in twee schalen die ter plekke aan elkaar vast worden gekoppeld met behulp van voorspanning. De elementen zelf worden niet aan elkaar gekoppeld. Dit betekent dat de voegen geringe hoekverdraaiingen op moeten kunnen vangen. Hiertoe wordt een vaar-moereind met rubberen voegprofiel toegepast. Ter plaatse van de uitstroomopeningen worden de leidingen opgelegd. De uitstroomopeningen zijn op palen gefundeerd. In de uitstroomopeningen wordt het doorstroomprofiel omhoog gebracht tot 5,0 m<sup>+</sup>NAP.

De schaaldelen kunnen per schip over het water worden aangevoerd. Het persen gebeurt vanuit de oostelijke bouwput. Beide leidingen worden vanuit dezelfde put geperst, omdat dan de persinstallatie niet over het kanaal verplaatst hoeft te worden en maar één bouwput op het opnemen van de optredende perskrachten ingericht hoeft te worden. De grootte van de beide bouwputten is 17x20 meter, de onderzijde van de onderwaterbetonvloer zit op 16,2 m<sup>+</sup>NAP. Na het aanbrengen van deze onderwaterbetonvloer worden de bouwputten drooggezet. Om opdrijven te voorkomen wordt de onderwaterbeton aan trekpalen bevestigd. Deze prefab betonnen trekpalen staan h.o.h. 2 meter en hebben een maximale trekkracht van 500 kN. Vanwege deze grote kerende hoogte moeten combiwanden worden toegepast om de grote spanningen op te vangen. De stempeling zit boven het waterniveau op 0,3 m<sup>+</sup>NAP.

Na het persen van de leidingen vanuit de oostelijke bouwkuip worden de uitstroomopeningen gemaakt tot boven de grondwaterstand. Dan wordt de stempeling en de combiwanden verwijderd boven de onderwaterbetonvloer. Het gedeelte van de damwand onder de onderwaterbetonvloer wordt niet verwijderd, maar dient als onderloopsheidsscherm van de constructie. Na het verwijderen van de damwanden kan bovenop de uitstroomopeningen het schuivengebouwte worden aangebracht. Dit schuivengebouw bestaat uit gewapend beton met een geprofileerd stalen dak. In het schuiven gebouw is ruimte voor de schuiven in gehesen stand, de bewegingswerken en een verblijfsruimte voor de bediening. De afmetingen van de gebouwtjes is (lxbxh) 6x12x10 meter.

### Hydraulische berekening

De sifon is te schematiseren als een leiding tussen twee wateren met verschillende waterstanden. Door het drukverschil gaat het water stromen van hoogwater naar laagwater. Het snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van het drukverschil en de optredende energieverliezen. Deze energieverliezen zijn onder te verdelen in wrijvingsverliezen en vertragsingsverliezen en zijn afhankelijk van de vorm en het materiaal van de leiding en de in- en uitstroomopeningen.

Bij de betonnen leiding treedt tussen de in- en de uitstroomopening een energieval op van 0,42 meter (zie bijlage 2). Dit voldoet aan de eis van een maximaal verval van 500 mm.



Om uitschuring van de bodem ter plaatse van de uitstroomopeningen te voorkomen moet een bodembescherming worden toegepast. De stroomsnelheid bij uitlaat is 2,3 m/s. Daarom wordt over een afstand van 70 meter vanaf de betonconstructie een zinkstuk met lichte stortsteen als bodembescherming toegepast (*zie bijlage 2*).



### Sterkteberekening

De maximale belasting op de leiding is ter plaatse van de oostelijke dijk. Hier ligt de bovenzijde van de leiding op 12,3 m<sup>+</sup>NAP. De bovenzijde van de dijk ligt op 3,7 m<sup>+</sup>NAP. De maximale gronddekking komt hiermee op 16,0 meter. De waterstand wordt maximaal genomen op 0,2 m<sup>+</sup>NAP. Naast de gronddruk spelen ook de inwendige en uitwendige waterdruk en het eigen gewicht van de leiding een belangrijke rol. Omdat de leiding continue vol water staat, wordt de temperatuursbelasting niet meegenomen. Vanwege de grote gronddekking wordt verkeersbelasting zodanig verspreid, dat deze ook geen rol van betekenis heeft op de spanningen in de doorsnede. Daarom wordt ook deze belasting niet meegenomen in de berekening.

Op de doorsnede werken een drietal combinaties, namelijk de representatieve belasting, een volle leiding of een leegstaande leiding. Deze laatste komt weinig voor, maar voor inspectie zal de leiding wel droog gezet moeten kunnen worden. De leiding is volgens de norm (CUR 122) opgelegd op een hoek van 30°. Bij deze berekening wordt ervan uitgegaan dat door de voorspanning, de doorsnede als één geheel reageert. De grootte van de voorspanning die nodig is om die situatie te realiseren, moet bij de detaillering worden berekend. Deze voorspanning heeft dan natuurlijk wel invloed op de optredende normaalkrachten en de overige wapening in de doorsnede. De berekening van de optredende spanningen zonder de voorspanning staat in bijlage 3.

### Bouwputberekening

De minimale verticale boogstraal is 600 meter. Over een afstand van 130 meter geeft dit een vertikaal hoogteverschil van 3,5 meter. De gronddekking in het midden van de leiding komt daardoor op 7 meter. Het persen gebeurt vanuit de oostelijke bouwput. De bouwputten bestaan uit kerende damwandprofielen met een stempellaag boven de waterspiegel op 0,3 m<sup>+</sup>NAP en een onderwaterbetonvloer (owb vloer). De afmetingen van de bouwkuipen staan in de onderstaande tabel weergegeven. De berekening staat in bijlage 4.

	afmetingen	onderzijde	kerende	lengte	optredend	profiel	profiel	profiel
	bouwput	owb vloer	hoogte	damwand	moment	damwand	gording	stempeling
oostzijde	20x17 m	16,2 m <sup>+</sup> NAP	15,2 meter	23 meter	1970 kNm	1420x15	2x HE450 B	419x20,0
westzijde	20x17 m	16,2 m <sup>+</sup> NAP	18,1 meter	24,5 meter	2586 kNm	1620x16	2x HE600 B	419x36,0

Tabel: afmetingen en profielen bouwkuipen.

De berekening van de optredende krachten is uitgevoerd met het programma MSheet. De invoer is gedaan in vier fasen. In de meeste gevallen zijn de optredende krachten in de laatste fase, dat is als de put droog is gepompt, maatgevend.

De owb vloer is berekend met behulp van de drukbooganalogie en NEN 6720 en bevestigd aan trekpalen. De berekening van de owb vloer en de uitleg van de rekenmethode staat in bijlage 4. De palen staan h.o.h. ca. 2,0 meter. De rekenwaarde van de optredende paalkracht die hieruit voortkomt, is gebruikt voor de berekening van de trekpalen.



### **Paalberekningen**

Uit de berekening van de owb vloer volgen de belastingen op de trekpalen. Vanuit deze gegevens zijn de trekpalen gedimensioneerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de NEN 6743. Naast deze methode is ook de CUR 166 in gebruik, maar omdat in deze norm nog veel fouten blijken te zitten, wordt deze tot nader onderzoek buiten beschouwing gelaten. In de NEN 6743 wordt aangegeven dat trekpalen moeten worden gecontroleerd op schachtwrijving en kluitgewicht. Vanwege de onzekerheid over het exacte gedrag van de grond, wordt bij de schachtwrijving een materiaalfactor van 1,4 aangehouden. Voor beide berekeningen geldt ook een belastingfactor van 1,2. De berekening van de palen staat in bijlage 4.

De afmetingen van beide bouwputten is 17x20 meter. Uit de berekening van de owb vloer volgt dat de palen h.o.h 2 meter staan. Voor beide putten komt dit neer op 8x8 palen. De gebruikte palen zijn van prefab beton en hebben een doorsnede van 450x450. Om een goede aanhechting met het onderwaterbeton te krijgen zijn de palen aan de bovenzijde aan twee zijden geribbeld. De maximale representatieve trekkracht op de palen is 572 kN aan de westzijde en 592 kN aan de oostzijde. Uit de berekening komt een benodigde paallengte van 16 meter.

Na de bouw van de uitstroomopeningen en schuivengebouwen blijft op de palen een trekkracht staan van ca. 125 kN.



### 4.3 Schuiven betonnen elementen

De leiding van de schuifvariant is rechthoekig. De buitenafmeting is 4,3x9,5 meter, de kokers hebben een afmeting van 3x4 meter. De dikte van de wanden en het dak is 500 mm, de dikte van de vloer is 800 mm. Het geschoven gedeelte is 125 meter lang en het diepste punt ligt op 11,70 m<sup>-</sup>NAP (b.o.k.). In de uitstroomopeningen wordt het doorstroomprofiel omhoog gevoerd tot 4,0 m<sup>-</sup>NAP. De leiding bestaat uit elementen met een lengte van ruim 20 meter. Deze elementen worden in de oostelijke bouwput gemaakt en dan vanuit de bouwput over de schuifbaan geschoven. Deze schuifbaan bestaat uit twee dubbele HE-profielen op palen en heeft een verticale boogstraal van 10.000 meter. De zettingen van de constructie zullen hierdoor gering zijn. Wel komen tussen de elementen rubberen voegprofielen voor de afdichting en gelijkmatige verdeling van de drukspanningen.

De uitstroomconstructie worden gemaakt in bouwkuipen ter plaatse van de toekomstige dijken. Aan de oostzijde heeft dit tot gevolg dat de leiding door de bestaande dijk heen geschoven moet worden. Hiertoe wordt de dijk nat ontgraven tussen twee damwanden. Deze damwanden dienen wel de functie van de primaire waterkering over te nemen. In een volgende fase van het ontwerp zal dit moeten worden aangetoond. Hetzelfde geldt voor de bouwkuipen van de landhoofden. De afmetingen van deze bouwkuipen zijn 17x20 voor de westelijke bouwkuip en 13x30 voor de oostelijke, in verband met de benodigde persinrichting. De bovenzijde van de onderwaterbetonvloer komt op 12,4 m<sup>-</sup>NAP. Hiermee komt de kerende hoogte aan de oostzijde op 12,4+1,0=13,4 meter en aan de westzijde op 12,4+2,0=14,4 meter. Voor de damwanden zijn combi-wanden benodigd, welke worden gestempeld door het onderwaterbeton en met een stempellaag op 0,3 m<sup>+</sup>NAP.

Het onderwaterbeton wordt tegen opdrijven beschermd door trekpalen, welke h.o.h. 2 meter in de bouwkuip zijn geheid. Na het aanbrengen van de onderwaterbetonvloer kunnen de bouwkuipen worden drooggepompt. In de droge bouwputten worden dan de elementen gestorte en door een schuifraam in de frontwand geschoven. Dit schuifraam is nodig om de bouwputten waterdicht te houden. Na het schuiven van al de elementen worden de uitstroomopeningen gestort tot boven de grondwaterstand. Hierna kunnen de damwanden boven de onderwaterbetonvloer worden afgebrand en verwijderd. De damwand onder de onderwaterbetonvloer wordt niet verwijderd, maar doet dienst als onderloopseheidsscherm. Na het verwijderen van de damwand en het aanvullen van de grond, worden de schuivengebouwen verder aangebracht. Deze schuivengebouwen bestaan uit prefab beton en hebben een geprofileerd stalen dak. In de schuivengebouwen is ruimte voor de schuiven in geopende stand, de bewegingswerken en een verblijfsruimte voor het bedienend personeel.

#### Hydraulische berekening

De sifon is te schematiseren als een leiding tussen twee wateren met verschillende waterstanden. Door het drukverschil gaat het water stromen van hoogwater naar laagwater. Het snelheid waarmee dat gebeurt is afhankelijk van het drukverschil en de optredende energieverliezen. Deze energieverliezen zijn onder te verdelen in wrijvingsverliezen en vertragsingsverliezen en zijn afhankelijk van de vorm en het materiaal van de leiding en de in- en uitstroomopeningen.

Bij de schuifkoker treed tussen de in- en de uitstroomopening een energieverval op van 0,49 meter (zie bijlage 2). Dit voldoet aan de eis van een maximaal verval van 500 mm.



Om uitschuring van de bodem ter plaatse van de uitstroomopeningen te voorkomen moet een bodembescherming worden toegepast. De stroomsnelheid bij uitlaat is 2,4 m/s. Daarom wordt over een afstand van 90 meter vanaf de betonconstructie een zinkstuk met lichte stortsteen als bodembescherming toegepast (zie bijlage 2).

### Sterkteberekening

De ondergrond van de leiding bestaat uit een vaste zandlaag met tot ca. 18½ m<sup>-</sup>NAP dunne laagjes veen. Toch zal de schuifbaan op palen gefundeerd moeten worden om de hoogte te kunnen stellen en horizontale schuifkrachten op te nemen. Omdat zettingen van de palen zeer gering zijn en de koker is onderspoeld, wordt de doorsnede berekend zowel ondersteund door palen als ondersteund door de ondergrond.

De grootste belasting treed op ter plaatse van de oostelijke dijk. De bovenzijde van de koker ligt daar op 7,6 m<sup>-</sup>NAP, de bovenzijde van de dijk op 2,1 m<sup>+</sup>NAP. De gronddekking komt daarmee op 9,7 meter. De waterstand is maximaal genomen op 0,2 m<sup>-</sup>NAP. Naast de gronddruk spelen ook de inwendige en uitwendige waterdruk een belangrijke rol. In tegenstelling tot de vorige varianten kan deze doorsnede ook asymmetrisch worden belast als één van de kokers vol water staat terwijl de andere leeg is gepompt. Omdat de het leegpompen van de leidingen weinig voor zal komen, wordt de temperatuurlast op de doorsnede niet meegenomen. Ook de verkeersbelasting heeft geen invloed op de doorsnede door het grote grondmassief tussen de weg en de doorsnede.

Doordat de doorsnede asymmetrisch belast kan worden, ontstaan er een zestal belastingcombinaties die maatgevend kunnen zijn. Naast de representatieve waarden van de belastingen bij een volledig gevulde of aan één zijde gevulde koker, is er bij beide varianten nog variatie mogelijk tussen positief en negatief gekozen veiligheidsfactoren. Aan de hand van de optredende momenten en dwarskrachten is de benodigde wapening berekend. Deze berekening staat in bijlage 3.

De wapening is echter berekend voor de belastingen in de gebruiksfase. De krachten die optreden tijdens transport en schuiven zijn hierin niet meegenomen. Deze wapening is dus niet definitief en zal nog verder gedimensioneerd en gedetailleerd moeten worden.

### Bouwputberekening

Er wordt geschoven met een boogstraal van 10.000 meter. Over een afstand van 130 meter geeft dit een hoogteverschil van 0,21 meter. De dekking in het midden van de leiding is dus 1,21 meter. Het schuiven gebeurt vanuit de oostelijke bouwput. De bouwputten bestaan uit kerende damwandprofielen met een stempellaag boven de waterspiegel op 0,3 m<sup>+</sup>NAP en een onderwaterbetonvloer (owb vloer). De afmetingen van de bouwkuipen staan in de onderstaande tabel weergegeven. De berekening staat in bijlage 4.

	afmetingen	onderzijde	kerende	lengte	optredend	profiel	profiel	profiel
	bouwput	owb vloer	hoogte	damwand	moment	damwand	gording	stempeling
oostzijde	30x17	13,5 m <sup>-</sup> NAP	12,5 meter	21 meter	1099 kNm	1120x11	2x HE360 B	406,4x16,0
westzijde	20x17	13,5 m <sup>-</sup> NAP	15,4 meter	22,5 meter	1566 kNm	1320x13	2x HE500 B	406,4x30,0

Tabel: afmetingen en profielen bouwkuipen.



De oostelijke bouwput is groter dan de westelijke. Dit komt doordat in deze bouwput de te schuiven elementen worden gemaakt. Deze elementen hebben een lengte van ca. 20 meter. Samen met de schuifinstallaties brengt dit een minimaal benodigde lengte op van 30 meter.



De owb vloer is berekend met behulp van een drukbooganalogie en NEN 6720 en bevestigd aan trekpalen. De berekening van de owb vloer en de uitleg van de rekenmethode staat in bijlage 4. De palen staan h.o.h. ca. 2,0 meter. De rekenwaarde van de optredende paalkrachten die hieruit voortkomt, is gebruikt voor de berekening van de trekpalen.

#### **Paalberekening**

Uit de berekening van de owb vloer volgen de belastingen op de trekpalen. Vanuit deze gegevens zijn de trekpalen gedimensioneerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de NEN 6743. Naast deze methode is ook de CUR 166 in gebruik, maar omdat in deze norm nog veel fouten blijken te zitten, wordt deze tot nader onderzoek buiten beschouwing gelaten. In de NEN 6743 wordt aangegeven dat trekpalen moeten worden gecontroleerd op schachtwrijving en kluitgewicht. Vanwege de onzekerheid over het exacte gedrag van de grond, wordt bij de schachtwrijving een materiaalfactor van 1,4 aangehouden. Voor beide berekeningen geldt ook een belastingfactor van 1,2. De berekening van de palen staat in bijlage 4.

De afmetingen van westelijke bouwputten is 17x20 meter. De oostelijke bouwput is 17x30 meter. Uit de berekening van de owb vloer volgt dat de palen h.o.h 2 meter staan. Voor westelijke komt dit neer op 8x8 palen. De oostelijke put wordt gefundeerd op 8x13 palen. De gebruikte palen zijn van prefab beton en hebben een doorsnede van 450x450. Om een goede aanhechting met het onderwaterbeton te krijgen zijn de palen aan de bovenzijde aan twee zijden geribbeld. De maximale representatieve trekkracht op de palen is 460 kN aan de westzijde en 462 kN aan de oostzijde. Uit de berekening komt een benodigde paallengte van 14 meter voor de westput en 12,5 meter voor de oostput.

Na de bouw van de uitstroomopeningen en schuivengebouwen komt op een palen een drukkracht te staan van ca. 125 kN



## 5. RAMING VAN KOSTEN

In het vorige hoofdstuk zijn de drie varianten zover uitgewerkt dat er een raming van kosten kon worden gemaakt. Deze raming staat volledig in bijlage 7.

Een raming van kosten bestaat uit verschillende onderdelen. Wat het eerst wordt bepaald zijn de directe kosten. Onder deze kosten vallen de materiaalkosten, de huur van kranen en bemalingsinstallatie etc. en natuurlijk de loonkosten van de uitvoerders. Toch is hiermee de raming van kosten niet gereed. Ook meegenomen moeten worden de indirecte kosten zoals de kosten van de aan- en afvoer van het materieel, van de leiding op het werk en de bedrijfskosten van de aannemer. Daaroverheen rekent de aannemer nog een winstmarge en een risicomarge en moet betaald worden voor het gebruik van een RAW-bestek. Dit alles bij elkaar zijn de totale kosten van een uitvoering van een werk

Omdat de raming wordt gemaakt in de voorontwerpfase van een werk is de grootte van de bovengenoemde bedragen moeilijk in te schatten. Om toch niet te laag uit te komen, worden er over de totale kosten nog veiligheidsbedragen gerekend voor de detaillering van het ontwerp en onvoorziene omstandigheden. Inclusief BTW komen de ramingen van kosten en nu zo uit te zien:

- Variant 4 - Afzinken kunststof leiding      ca. f 13.500.000,-
- Variant 6 - Persen betonnen leiding        ca. f 22.000.000,-
- Variant 9 - Schuiven betonnen koker        ca. f 22.700.000,-

Deze ramingen zijn gemaakt op het prijspeil van februari 2000. De nauwkeurigheid in dit voorontwerp stadium is +/- 30%. Niet meegenomen zijn de verkeers- en scheepvaartmaatregelen en het verwijderen van de huidige sifon. Dit laatste is voor al de varianten gelijk. De kosten voor verkeers- en scheepvaartmaatregelen zijn in deze fase moeilijk in geld uit te drukken en zijn daarom alleen in de voorafweging meegenomen.

Deze vergelijking komt aardig overeen met de scores van de keuzematrix van de voorafweging (zie paragraaf 3.5). Als goedkoopste komt naar voren variant 4 - het afzinken van een gvk leiding. De verwachting is dat de kosten voor de varianten 1 en 2 op hetzelfde vlak liggen. De kostprijs van de stalen leiding (variant 3) zal naar verwachting bij aanschaf lager liggen dan de kostprijs van de kunststof leiding, maar na inspectie en onderhoud gelijk of zelfs hoger uitkomen. Niet meegenomen in dit stadium is de variant van een stalen leiding met kunststof coating.

Het verschil tussen de kosten van de varianten 6 en 9 is geringer dan verwacht. Vooral door de vijzelconstructie en diepe bouwkuip nemen de kosten toe. Omdat de constructie van de varianten 5, 7 en 8 op veel punten overeenkomt met de constructie van de persleiding, zal ook de raming van kosten van deze varianten overeen komen met de raming van kosten van variant 6.



## 6. CONCLUSIE

Passage Zeeburg is een aandachtspunt van het Amsterdam-Rijnkanaal. De reden hiervan is op meerdere aspecten terug te voeren; de stremming van de scheepvaart door aanwezigheid van een sluiscomplex, de lage ecologische gesteldheid door het bakprofiel van het kanaal en de slechte onderhoudstoestand van de sifon van gemaal Zeeburg. Daarom wordt de Passage door Rijkswaterstaat onder handen genomen.

De huidige sifon Zeeburg is in een slechte onderhoudstoestand en heeft een ondiepe ligging, waardoor het een obstakel vormt in het kanaalprofiel. Daarom is er voor gekozen de oude sifon te verwijderen en er een nieuwe voor in de plaats te leggen. In verband met de verwachte verbreding van de Passage op middellange termijn wordt de sifon direct op lengte gemaakt, zodat aanpassing bij de verbreding niet meer noodzakelijk is.

Bij het ontwerp moet rekening worden gehouden met verschillende aspecten. Naast de kosten spelen ook het milieu en de overlast een grote rol. Alles in overweging nemend komt het afzinken van kunststof leidingen als meest geschikt uit de bus. Hierbij gaat het om vier leiding met een diameter van elk 2,5 meter. De lengte van het leidinggedeelte is 130 meter en is hiermee afgestemd op de toekomstige kanaalbreedte. De uitstroomopeningen worden gemaakt van gewapend beton en bevinden zich ter plaatse van de westelijke dijk en de toekomstige oostelijke dijk. De totale kosten van het project worden geraamd op 13,5 miljoen gulden.

Wanneer de bouw van een nieuwe sifon uitgevoerd gaat worden is nog de vraag. Door uitbreiding van gemaal IJmuiden in 2001 kan al het water van het Amstelland via het Noordzeekanaal naar de Noordzee worden verpompt en vervalt de noodzaak van de sifon voor de afvoer van water. Of er de sifon nog wel herbouwd moet worden, wordt op dit ogenblik bekeken door Rijkswaterstaat directie Utrecht. De vorm en tijd van de uitvoering hangt af van het besluit dat wordt genomen.

Omdat dit rapport niet alleen gericht is op de sifon van Zeebrug is het goed om nieuwe ontwikkelingen op de voet te blijven volgen. Aantrekkelijke ontwikkelingen in het materiaal zijn bijvoorbeeld staal met een kunststof coating. Dit materiaal combineert de sterkte van staal met de weerstand van kunststof en kan tot grote diameters worden toegepast. Daarnaast worden ook de materiaal-eigenschappen van GVK steeds beter en komen er steeds grotere diameters op de markt. Voor sifon Zeeburg houdt dit in dat door het afzinken van minder leidingen met een grotere diameter de bouwkosten omlaag zullen gaan.



## 7. EVALUATIE UITGANGSPUNTEN

In elke voorontwerpfase van een project moeten aannamen worden gedaan. Gebeurt dit niet, dan zal het achterhalen van de juiste gegevens veel tijd kosten en kan de projectvoortgang zelfs stil komen te liggen. Daarom is men bij elk project de ontbrekende gegevens zo goed mogelijk in te schatten. De nauwkeurigheid en hoeveelheid van de genomen aannamen is van belang voor de bruikbaarheid van een voorontwerp. Daarom moeten de aannamen worden geëvalueerd en moeten de gevolgen van de aannamen voor het ontwerp goed worden bekeken.

De aannamen die zijn gemaakt voor het voorontwerp van sifon Zeeburg staan hieronder vermeld:

1. Er wordt uitgegaan van een kanaalverbreding in oostelijke richting tot een breedte van 130 meter. De toekomstige breedte van het kanaal ligt echter nog niet vast en kan variëren van 100 tot 130. Een ontwerpaanpassing tot een kanaalbreedte van 100 meter heeft tot gevolg dat het energieverval over de leiding kleiner zal worden en dat de materiaalkosten af zullen nemen.
2. Het Technisch Programma van Eisen is grotendeels gefundeerd op aannamen. Omdat het hier gaat om een fictief project liggen er geen eisen op tafel van de opdrachtgever en kunstwerkbeheerders. Bij een eventuele opdracht zullen de eisen opnieuw geformuleerd moeten worden en zal het ontwerp aan deze nieuwe eisen getoetst moeten worden.
3. In verband met onvoldoende materiaal informatie is de hydraulische weerstand van de kunststof leiding aangenomen op 0,02 mm. Deze waarde is aan de lage kant en gebaseerd op een gecoate binnenzijde van de leiding. Zonder coating zal deze waarde zeker toenemen. Het gevolg hiervan is dat de wrijvingsverliezen toe zullen nemen het energieverval over de leiding groter wordt. Omdat dit niet is toegestaan, zal een grotere hydraulische weerstand leiden tot een aanpassing van het ontwerp met een extra leiding.
4. Bij de sterkteberekening van de betonnen en kunststof leiding is rekening gehouden met een opleghoek van 30°. Deze waarde wordt door de schrijvers van CUR 122 voorgedragen. Gezien de geringe invloed die de oplegdruk heeft op de optredende krachten, zal een herberening bij gewijzigde opleghoek niet direct noodzakelijk zijn.
5. Bij de sterkteberekening van de betonnen koker op een bedding wordt gerekend met een beddingconstante van 50.000 kN/m<sup>2</sup>/m<sup>1</sup>. Deze waarde is aan de hoge kant. Een lagere beddingconstante heeft echter tot gevolg dat de kans dat de koker op de palen rust, groter wordt en hiermee is al rekening gehouden door de berekening zowel op een verende bedding als op palen uit te voeren. Een wijziging van deze constante heeft dus geen gevolgen voor het ontwerp.



## BIJLAGE A. VERKLARENDE WOORDENLIJST

<i>aansluitflens</i>	Aansluitpunt aan het einde van een buis.
<i>ARK</i>	Amsterdam-Rijnkanaal.
<i>bakprofiel</i>	Rechthoekige kanaaldoorsnede met verticale wanden.
<i>barrièrewerking</i>	Mate waarin een kanaal fysiek of psychologisch een belemmering vormt voor mens, dier of plant om zich van de ene naar de andere kant te begeven.
<i>belastingfactor</i>	Veiligheidsfactor, waarmee de bealstingen worden vermenigvuldigd
<i>bentoniet</i>	Vloeistofmengsel van water, kleimineralen, plastificeerders en andere hulpstoffen.
<i>bentoniet-installatie</i>	Installatie ten behoeve van het reinigen van bentoniet.
<i>bestek</i>	Gedetailleerd bouwplan.
<i>binnenliner</i>	Dunne laag kunststof coating aan de binnenzijde van de constructie.
<i>bodembescherming</i>	De laag grond boven een constructie om deze tegen beschadiging te beschermen.
<i>boezem</i>	Waterstelsel ten behoeve van het bergen van polderwater.
<i>boogbrug</i>	Vaste brug waarbij het wegdek wordt gedragen door een boogconstructie.
<i>combiwand</i>	Damwand, bestaande uit buisprofielen en damwandprofielen
<i>debiet</i>	Hoeveelheid water die per tijdseenheid passeert.
<i>dijkkring</i>	Gebied, omsloten door hoogwaterkeringen.
<i>duiker</i>	Een koker onder een dijk of weg die tot doel heeft een verbinding te vormen tussen twee wateren aan weerszijden van de dijk of weg.
<i>duwconvooi</i>	Vaartuigcombinatie, bestaande uit een losse bakken waarin de lading vervoerd wordt en een duwboot die voor de voortstuwing zorgt.
<i>ecologie</i>	Leer van de betrekkingen tussen planten en dieren en hun omgeving en de betrekkingen onderling.
<i>ecologische hoofdstructuur</i>	Samenhangend stelsel van kerngebieden, natuur-ontwikkelingsgebieden en ecologische verbindingzones, geïntroduceerd in het Natuurbeleidsplan.
<i>eerste watervoerend pakket</i>	Bovenste grondlaag waarin grondwater stroomt.



<i>energieverval</i>	Energieverlies over een constructie. Bij gelijkblijvende snelheid leidt dit tot waterstandsverschil.
<i>gording</i>	Een balkconstructie om krachten gelijkmatig te verdelen.
<i>GVK</i>	Glasvezelversterkt kunststof.
<i>hoofdtransportas</i>	Vaarweg met belangrijke internationale distributiefunctie.
<i>hydraulische weerstand</i>	Maat voor de waterdichtheid.
<i>keersluis</i>	Een sluis die slechts in bepaalde gevallen gesloten wordt om het gebied achter de sluis voor calamiteiten te behoeden.
<i>kluitgewicht</i>	Het gewicht van de grond die aan de paal 'hangt'.
<i>kunstwerk</i>	Een civiel technische constructie.
<i>landhoofd</i>	Grondkerende constructie ter plaatse van een kunstwerk.
<i>materiaalfactor</i>	Een veiligheidsfactor, waarmee de sterkte van het materiaal wordt vermenigvuldigd.
<i>MER</i>	Milieu-Effect Rapportage
<i>milieu-effect rapportage</i>	Rapport waarin de belangrijke milieugevolgen van mogelijke oplossingen zijn geïnventariseerd.
<i>natuurvriendelijke oever</i>	Waterkant die toegankelijk is voor flora en fauna.
<i>nautiek</i>	Scheepvaartkunde.
<i>natte doorsnede</i>	Het oppervlak van de watervoerende doorsnede.
<i>onderhoudstoestand</i>	Gesteldheid van een constructie.
<i>onderloopsheid</i>	Het stromen van water onder de fundering van een constructie, wat uitspoelen van de grond tot gevolg heeft.
<i>onderloopsheidscherm</i>	Scherm in de bodem ter voorkoming van onderloopsheid.
<i>oploopverbod</i>	Inhaalverbod voor schepen.
<i>oppersing</i>	Het omhoogkomen van de grond als gevolg van een zware belasting elders.
<i>overstorting</i>	Het lozen van rioolwater op het oppervlaktewater in geval van zware regenval.
<i>PE</i>	Polyethyleen. Een elastische kunststof.
<i>prefab</i>	Geprefabriceerd. De constructie wordt elders gemaakt en getransporteerd naar de plaats van bestemming.
<i>primaire waterkering</i>	Waterkering die beveiliging biedt tegen overstromen doordat deze ofwel behoort tot het stelsel dat een dijkkringgebied omsluit, ofwel vóór een dijkkringgebied is gelegen.



<i>programma van eisen</i>	Een lijst van eisen waaraan het projectresultaat moet voldoen.
<i>putcorrosie</i>	Vorm van diepe roestvorming.
<i>rekenwaarde</i>	Berekende waarde, vermenigvuldigd met een veiligheidsfactor.
<i>representatieve waarde</i>	Berekende waarde.
<i>schachtwrijving</i>	De wrijvingsweerstand die de paal ondervindt van de omringende grond.
<i>schutsluis</i>	een sluis die scheepvaart door laat.
<i>sifon</i>	Duiker, welke onder een kanaal door ligt.
<i>sluiscomplex</i>	Een constructie waarin meerdere sluizen zijn bijeengebracht.
<i>sondering</i>	Peiling van de samenstelling en draagkracht van de bodem
<i>steenbestorting</i>	Bodembescherming met stenen.
<i>stempel</i>	Een tijdelijke ondersteuningsconstructie.
<i>talud</i>	Helling
<i>voorspanning</i>	wapening die na het uitharden van het beton wordt aangebracht en op spanning gebracht
<i>waterlijn</i>	Lijn tot waar het water komt.
<i>zetting</i>	Samendrukking van de ondergrond
<i>zinker</i>	Een rioolpers-, water- of gasleiding die een waterweg kruist en in de bodem neergelaten is.
<i>zinkstuk</i>	Gevlochten mat die met behulp van ballast wordt afgezonken.
<i>zouttong</i>	Een laag zout water op de bodem van een waterweg met zoet water.



## BIJLAGE B. LITERATUURLIJST

### Direct gebruikte documenten:

1. Commissie Vaarweg Beheerders, *Richtlijnen voor de afmetingen en vormgeving van vaarwegen van de CEMT-klassen I t/m IV*, Dordrecht, april 1987.
2. Corridorstudie Amsterdam-Utrecht, *CAU-nota*, Utrecht, november 1993.
3. Dienst Waterbeheer en Riolering, sector Waterbeheer Amsterdam, *Waterverversing en hoogwaterbemaling van de Amsterdamse Stadsboezem*, Amsterdam, 1998
4. Eternit Buizen B.V., *Leveringsprogramma Hobas-buizen*, 's Hertogenbosch, augustus 1998.
5. Fugro Ingenieursbureau BV, Adviesafdeling Geotechniek - Geohydrologie, *Verruiming Passage Zeeburg te Amsterdam*, Rapport, Leidschendam, januari 1998.
6. Gemeente Amsterdam, Dienst Openbare Werken, Riolering en Waterbeheersing, *De waterverversing van de Amsterdamse grachten*, Amsterdam, maart 1985.
7. Gemeente Amsterdam, *Korte geschiedenis van Amsterdam*, Amsterdam, augustus 1999, (<http://www.amsterdam.nl/>...).
8. Gils, M. van en H. Welman, *Verbreiding Passage Zeeburg, Sifon van het gemaal Zeeburg*, Rapportage van het hoofdonderzoek van het afstudeerproject in opdracht van de Hogeschool 's-Hertogenbosch, Nieuwegein, juni 1996.
9. Grondmechanica Delft, Afdeling funderingstechniek en ondergrondse werken, *Geotechnisch advies ten behoeve van de verruiming van het Amsterdam-Rijnkanaal tussen km 0,8 en km 1,6*, Delft, april 1990.
10. Grontmij V&I, afdeling Waterbouw & Kunstwerken, *Syphon 25G-314 (SV01)*, inspectierapportage, De Bilt, juni 1999.
11. Hogeschool van Utrecht, *Scheepvaartkanalen*, diktaat Civiele Techniek, Utrecht, z.j.
12. Hogeschool van Utrecht, faculteit Natuur en Techniek, sector Bouwnijverheid, *Handleiding tunnels*, diktaat 242, Utrecht, z.j.
13. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Bouwdienst, Utrecht *Verruiming Passage Zeeburg, Vergroting overspanning Zeeburgse brug, een globale variantenstudie*, februari 1998.
14. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Bouwdienst, *Verruiming Passage Zeeburg, studie naar sloop van schut- en keersluis en sloop en vervanging sifon*, concept, Utrecht, april 1998
15. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Deltadienst Afdeling waterbouwkundige werken oost, *Rapportage en evaluatie ontwerp en uitvoering van trekduiker onder westelijke oprit Bathsebrug*, Onderdeel van bestek DED 2010, Bergen op Zoom, 1984.
16. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Deltadienst Afdeling waterbouwkundige werken oost, *Nota Beschadigingsmogelijkheden van zinkers en duikers door scheepssankers*, 1979.



17. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/ RIZA, *Zoutindringing vanuit het Noordzeekanaal naar het Amsterdam-Rijnkanaal, Effecten van verruimingsmaatregelen ter verhoging van de bevaarbaarheid van het ARK*, Lelystad, november 1990.
18. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Utrecht, *Integrale Visie Amsterdam-Rijnkanaal en Lekkanaal*, nota, Nieuwegein, december 1997.
19. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Utrecht, *Verruiming Passage Zeeburg, Aspect waterkeringen en oeverconstructies*, rapport, Nieuwegein, januari 1998.
20. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Utrecht, *Amsterdam-Rijnkanaal, Verruiming Passage Zeeburg*, Projectnota, Nieuwegein, september 1998.
21. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie Utrecht, *Vervanging van de sifon van gemaal Zeeburg*, Conceptnotitie Milieu-effecten, Nieuwegein, augustus 1999.
22. NEA, *Scheepvaartprognoses Zeeburg en Lekkanaal*, eindrapport, Rijswijk, maart 1998
23. Nortier, I.W. en P. de Koning, *Toegepaste Vloeistofmechanica, hydraulica voor waterbouwkundigen*, zevende druk, tweede oplage, Culemborg, 1993.
24. Projectbureau IJburg, *Ontwerp voor IJburg*, Nota van Uitgangspunten, Amsterdam, mei 1996.
25. Roark, R.J. en W.C. Young, *Formulas for Stress and Strain*, 5<sup>e</sup> druk, Kogakusha, 1975.
26. Stichting voor onderzoek, voorschriften en kwaliteitseisen op het gebied van beton (CUR-VB), *Buizen in de grond, berekening van ongewapende en gewapende betonnen buizen*, Rapport 122, december 1985.

#### Achtergronddocumenten:

- Bos, J., *IJvlakte, haalbaarheidsstudie naar kustuitbreiding bij IJmuiden*, rapportage van de literatuurstudie bij het afstudeerproject in opdracht van de Technische Universiteit Delft, Utrecht, september 1999.
- Minister van Justitie, *Deltawet*, 's-Gravenhage, juni 1958, ([http://wettenbank.sdu.nl/...](http://wettenbank.sdu.nl/)).
- Minister van Justitie, *Wet op de waterkering*, 's-Gravenhage, januari 1996, ([http://wettenbank.sdu.nl/...](http://wettenbank.sdu.nl/)).
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Visserij, *Natuurbeleidsplan*, regeringsbeslissing, 's-Gravenhage, 1989.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Meerjarenprogramma infrastructuur en transport 1999-2003*, 's-Gravenhage, 1998.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, *Vierde Nota Waterhuishouding*, regeringsbeslissing, 's-Gravenhage, december 1998.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal voor het vervoer, Directie Goederenvervoer, *Transport in Balans*, 's-Gravenhage, september 1996.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, *Vierde Nota Ruimtelijke Ordening Extra*, planologische kernbeslissing, 's-Gravenhage, 1990.



- Renting, J. en M. Rijsman, *Geef het kanaal de ruimte, een ontwerp voor de verruiming van de Passage Zeeburg*, afstudeerrapport in opdracht van de Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein en Rijkswaterstaat directie Utrecht, Nieuwegein, mei 1997.

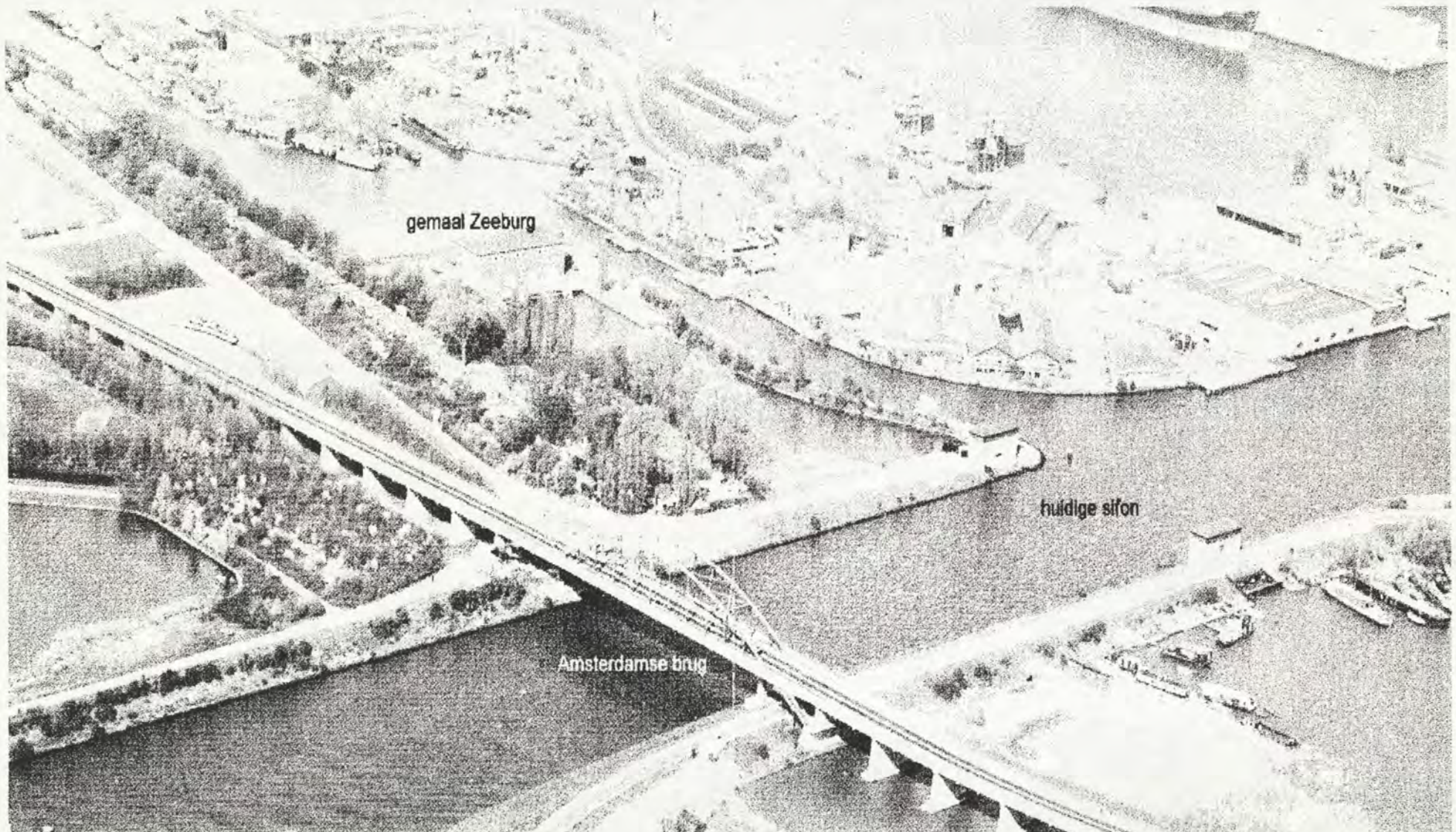


## BIJLAGE C. OVERZICHT DEELONDERWERPEN

Deelstudie	Vakdocent	Percentage	Beoordeling	Paraaf
Voorstudie	Koelman	15 %	8,5	
Variantenstudie	Rinkema	35 %	9	
Uitwerking Varianten	Koelman	25 %	9	
Raming van Kosten	De Lijser	10 %	8	
Eindverslag	Koelman	10 %		



## BIJLAGE D. OVERZICHTSFOTO PASSAGE ZEEBURG





Colofon

Opdrachtgever:

Hogeschool van Utrecht

Faculteit Natuur & Techniek

Studierichting Civiele Techniek

Afstudeerder:

Janneke van Dusseldorp

Menadostraat 18

3532 SM Utrecht

tel. 030-294 91 25

In samenwerking met:

Bouwdienst Rijkswaterstaat

Utrecht, juni 2000.