

Opdrachtgever:

Rijkswaterstaat, Directie Gelderland

Uitwijkhaven Lobith

Beoordeling alternatieven op sedimentatie

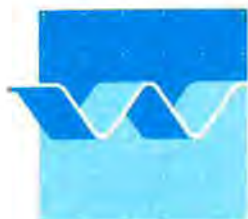
Bureaustudie

December 1994

Uitwijkhaven Lobith

Beoordeling alternatieven op sedimentatie

D.G. Meijer en N. Struiksma



waterloopkundig laboratorium | WL

Inhoud

Lijst van symbolen

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Probleemverkenning	1
2	Gegevens	2
2.1	Huidige situatie en ontwerpalternatieven	2
2.2	Afvoeren en waterstanden	2
2.3	Bodem-, sediment- en slibgegevens	3
3	Te onderzoeken verschijnselen	5
3.1	Inleiding	5
3.2	Aanzanding	5
3.3	Aanslibbing	5
3.3.1	Turbulente uitwisseling	5
3.3.2	Waterstandsvariaties	7
3.3.3	Nautische aspecten	8
3.3.4	Hoogwatersituatie	8
4	Beoordeling ontwerpalternatieven	9
4.1	Uitgangspunten	9
4.2	Aanzanding	9
4.3	Aanslibbing	10
4.3.1	Turbulente uitwisseling	10
4.3.2	Waterstandsvariaties	10
4.3.3	Nautische aspecten	11
4.3.4	Hoogwatersituatie	11
4.4	Samenvatting	12
5	Conclusies en aanbevelingen	13

Literatuur

Tabellen

Figuren

Lijst van symbolen

A	= doorsnede van de haveningang	(m ²)
A_h	= bergend oppervlak van rivierhaven	(m ²)
c	= slibconcentratie in rivierwater	(kg/m ³)
d	= korreldiameter (met onderschrijdingspercentage)	(m)
d_m	= gemiddelde korreldiameter	(m)
f	= uitwisselingscoëfficiënt	(-)
h	= waterstand	(m)
Δh	= verschil maandelijks hoogste en laagste waterstand	(m)
i	= verhang	(-)
L	= lengte van de haven	(m)
p	= porositeit van bezonken slib	(-)
S	= aanslibbing	(m ³ /j)
SE	= slibvangstefficiëntie	(-)
SI	= sedimentatie-index	(s ² /m)
t	= tijd	(s)
T	= verblijfstijd in reservoir / rivierhaven	(s)
T	= beschouwde periode (waterstandsvariaties)	(s)
u	= stroomsnelheid	(m/s)
ΔQ	= uitwisselingdebiet (turbulente uitwisseling)	(m ³ /s)
ΔQ_{wv}	= uitwisselingdebiet (waterstandsvariaties)	(m ³ /s)
V	= volume van rivierhaven	(m ³)
Δx	= afstand van haveningang tot referentiepunt Lobith	(m)
z_b	= hoogteligging bodem	(m)
ρ_s	= materiaaldichtheid van slib	(kg/m ³)

Lijst van tabellen

- I Zwevende stof in Boven-Rijn bij Lobith (RWS/RIZA, 1992)
- II Berekening van jaarlijkse aanslibbing in de huidige situatie
- III Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief A)
- IV Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief B1)
- V Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief B2)
- VI Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief C)
- VII Relatie tussen afvoeren, waterstanden, verhangen en stroomsnelheden bij Lobith
- VIII Maandelijks hoogste en laagste waterstanden in periode 1971-1980
- IX Aanslibbing ten gevolge van waterstandsvariaties

Lijst van figuren

- 1 Locatie uitwijkhaven Lobith
- 2 Huidige situatie
- 3 Ontwerpalternatief A (uitbreiding huidige uitwijkhaven)
- 4 Ontwerpalternatief B1 (nieuwe haven; variant damwanden)
- 5 Ontwerpalternatief B2 (nieuwe haven; variant verlegging Spijkse Dijk)
- 6 Ontwerpalternatief C (voorlopig ontwerp; aanleg haven in verkleinde vorm)
- 7 Frequentieverdeling van afvoeren Boven-Rijn
- 8 Q,h-kromme Lobith (km 862.220)
- 9 Bodemligging Boven-Rijn (km 858-804)
- 10 Slibconcentratie van rivierwater als functie van de afvoer
- 11 Boorputten en doorsneden in uitwijkhaven Lobith
- 12 Uitwisseling tussen rivier en haven (principeschets)
- 13 Oppervlakte van havenopening als functie van de waterstand (huidige situatie, alternatief A)
- 14 Oppervlakte van havenopening als functie van de waterstand (alternatieven B1 en C)
- 15 Oppervlakte van havenopening als functie van de waterstand (alternatief B2)
- 16 Stroombeeld bij monding uitwijkhaven Lobith

1 Inleiding

1.1 Kader

De Directie Gelderland van Rijkswaterstaat nam het initiatief tot een onderzoek naar uitbreiding van de capaciteit van de uitwijkhaven in de Rijn bij Lobith. Hiertoe dient een Milieu-EffectRapport (MER) te worden opgesteld. Ten behoeve van dit MER heeft het Waterloopkundig Laboratorium drie ontwerpalternatieven onderzocht en beoordeeld op te verwachten aanzanding en aanslibbing. Dit rapport is hiervan het resultaat.

De projectleider MER-uitwijkhaven Lobith ir. P.M. Stuurman verleende op 6 juli 1994 schriftelijk opdracht aan het Waterloopkundig Laboratorium tot het uitvoeren van deze studie overeenkomstig het door WL ingediende onderzoeksvoorstel (RS6171/Q1931/NS/eb d.d. 6 juli 1994). In verband met tussentijds gewijzigde ontwerpen werd op 10 november 1994 een aanvullende opdracht verleend tot het verwerken aan de wijzigingen en heranalyse van de alternatieven, conform de aanvullende offerte (RS10058/Q1931/DM/eb d.d. 10 november 1994). Het onderzoek werd onder leiding van ir. N. Struiksma uitgevoerd door ir. D.G. Meijer, die tevens dit rapport samenstelde. Vanuit Rijkswaterstaat, Directie Gelderland werd het project begeleid door ir. H. Havinga.

1.2 Probleemverkenning

De scheepvaartroute tussen Rotterdam en Duitsland, waar de Boven-Rijn deel van uitmaakt, is een zeer druk bevaren route. De Boven-Rijn wordt bij Lobith jaarlijks door circa 160.000 schepen, exclusief de recreatievaart, bevaren. Van deze schepen vervoert ongeveer 20% gevaarlijke lading. In 1993 werd het vaar- en rusttijdenbesluit voor de binnenvaart van kracht, waarin strenge eisen worden gesteld aan de vaar- en rusttijden van de dienstdoende bemanning. Hierdoor is de behoefte toegenomen aan ligplaatsen waar rust kan worden genoten. Ook wordt het in de toekomst in verband met de veiligheid verboden op de rivier voor anker te gaan.

Prognoses tonen aan dat een uitbreiding van de capaciteit tot circa 90 ligplaatsen (huidige capaciteit bedraagt 30 ligplaatsen) noodzakelijk is. Een afdoende oplossing kan worden verkregen door een forse uitbreiding van de bestaande haven of door de aanleg van een geheel nieuwe haven in de nabijheid.

Voor de verschillende door Rijkswaterstaat opgestelde ontwerpalternatieven (Rijkswaterstaat, 1993) wordt een schatting gemaakt van de aanzanding en aanslibbing. Met name aanslibbing is een belangrijk criterium bij de keuze tussen de verschillende alternatieven vanwege de hoge verwerkingskosten van gebaggerd (vervuild) rivierslib.

2 Gegevens

2.1 Huidige situatie en ontwerpalternatieven

Een overzichtskaartje van de projectlocatie is opgenomen als Figuur 1. De huidige uitwijkhaven Lobith heeft een capaciteit van 30 ligplaatsen. In Figuur 2 is deze situatie weergegeven. Uitgangspunt is een uitbreiding tot circa 90 ligplaatsen. De haven dient daarbij toegankelijk te zijn voor motorschepen tot en met CEMT-klasse V, evenals nu het geval is. De haven zal niet toegankelijk worden voor duwbakken of recreatievaart. Deze uitgangspunten leiden tot een benodigd wateroppervlak van de haven van ongeveer 30 ha, als volgt ingericht:

- 10 steigers met 2x3 ligplaatsen
- 2 steigers met totaal 6 ligplaatsen voor 1-kegelschepen
- 1 calamiteitensteiger
- 1 dienstensteiger
- 1 RWS-steiger
- 2 steigers voor commercieel gebruik

In Figuur 3 is een mogelijke uitbreiding weergegeven (alternatief A) in noordwestelijke richting. De oppervlakte wordt hiermee verdrievoudigd. De bestaande dijk moet hiertoe worden weggebaggerd, en een nieuwe dijk van circa 1 km lengte moet worden aangelegd door de recreatieplas de Bijland.

Alternatief B gaat uit van de aanleg van een geheel nieuwe haven tussen de km-raaien 859 en 860. Hiertoe dient de uiterwaarde ontgraven te worden. De huidige haven zou hiermee komen te vervallen. Er is hierbij sprake van twee varianten. Bij variant B1 (Figuur 4) wordt gebruik gemaakt van damwanden en bij variant B2 (Figuur 5) wordt de Spijkse Dijk verlegd. Bij alternatief C wordt de huidige haven gehandhaafd, echter in combinatie met een nieuwe haven op dezelfde locatie als alternatief B, echter in verkleinde vorm. De Spijkse Dijk hoeft hierbij niet te worden verlegd. De inrichting van de haven staat nog niet vast. Figuur 6 geeft een voorlopig ontwerp weer.

2.2 Afvoeren en waterstanden

De frequentieverdeling van de Rijnafvoer bij Lobith is weergegeven in Figuur 7 (Rijkswaterstaat, 1989). De bijbehorende waterstanden volgen uit de door Rijkswaterstaat toegeleverde Q,h-kromme (Figuur 8). Uitgegaan wordt van de ongestuwde toestand.

Onderstaande tabel geeft enkele karakteristieke debieten, waterstanden en stroomsnelheden weer voor de locatie Lobith (km 862,220). Het gemiddelde debiet bedraagt 2200 m³/s (1901-1975). De stroomsnelheid bedraagt hierbij gemiddeld 1,10 m/s (Brilhuis, 1988).

Overschrijdings- waarde	Afvoer Lobith (m ³ /s)	Gemidd. stroom- snelheid (m/s)
Q _{90%}	1100	0,80
Q _{50%}	1950	1,05
Q _{10%}	3200	1,29
Q _{1%}	6400	1,67
Q _{0,3%}	7800	1,84
Q _{MHW}	16500	2,87

Tabel 2.1 Karakteristieke afvoeren en stroomsnelheden in Lobith (Brilhuis, 1988)

2.3 Bodem-, sediment- en slibgegevens

De bodemligging van de Boven-Rijn voor het traject km 857-863 is weergegeven in Figuur 9. Deze bodemkaart volgt uit een peiling van juli 1991. Duidelijk te zien is dat de diepere gedeelten zich in de buitenbochten bevinden. Brilhuis (1988) geeft voor het traject Lobith-Pannerdensch Kop de volgende korreldiameters:

$$\begin{aligned}
 d_{10} &= 0,55 \text{ mm} \\
 d_{35} &= 2,10 \text{ mm} \\
 d_{50} &= 3,60 \text{ mm} \\
 d_{65} &= 7,80 \text{ mm} \\
 d_{90} &= 14,50 \text{ mm} \\
 d_m &= 5,10 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hieruit blijkt dat zich hier relatief grof en sterk gegradeerd materiaal bevindt. De grovere fracties bevinden zich hierbij in het algemeen in de buitenbochten en de fijnere fracties in de binnenbochten.

Het sedimenttransport (zand en grind) in de Boven-Rijn wordt geschat op 375.000 m³ per jaar (Kamphuis, 1990). Het debiet waarbij het gemiddelde sedimenttransport optreedt bedraagt ongeveer 3000 m³/s.

Het zwevend transport wordt geschat op 3,2 miljoen ton per jaar op grond van 831 steekmonsters genomen in de periode 1972-1991 (Rijkswaterstaat, 1992; zie Tabel 1). Dit komt neer op gemiddelde concentratie van 40,5 mg/l. Uit een in deze studie uitgevoerde analyse van tweewekelijkse slibmetingen in de periode januari 1992 t/m juni 1994 (Figuur 10) blijkt dat de relatie tussen de slibconcentratie en de rivierafvoer niet eenduidig is. Een verklaring hiervoor is dat de slibconcentratie veeleer afhangt van het slibaanbod dan van de transportcapaciteit van de rivier.

Uit een bodemonderzoek in de uitwijkhaven, uitgevoerd in maart 1994 door Aqua Terra Water en Bodem BV, blijkt dat zich in de haven een laag slib van 0,5 tot 1,0 m dikte heeft afgezet (Figuur 11). Uit de proefmonsters blijkt dat het slib verontreinigd is (klasse II-IV). Nabij de opening is het slib sterk zandhoudend. Het feit dat de haven aan een binnenbocht ligt speelt een belangrijke rol voor de aanzanding in de havenmond.

In de haven is voor het laatst in 1985 gebaggerd. Rijkswaterstaat heeft in 1994 de hoeveelheid te baggeren zand en slib op 35.000 m³ geschat. Aangenomen wordt dat deze hoeveelheid is bezonken in deze negen jaar tijd. Dit betekent dat uitgegaan wordt van een aanslibbing en aanzanding van ongeveer 4000 m³ per jaar (ruim 10 m³ per dag). Een specificatie naar slib en zand is niet beschikbaar. Wel staat vast dat de hoeveelheid neergeslagen slib een orde van grootte meer bedraagt dan de hoeveelheid zand.

3 Te onderzoeken verschijnselen

3.1 Inleiding

Door aanzanding en aanslibbing in een rivierhaven is er een periodieke noodzaak tot baggeren teneinde de haven toegankelijk te houden. Aanzanding treedt hierbij voornamelijk in de havenmond op, terwijl aanslibbing vrijwel gelijkmatig over de gehele haven plaatsvindt. Aangezien verwerking van vervuild rivierslib (klasse II-IV) een kostbare zaak is, is het van groot belang reeds in de voorontwerpfase te streven naar een minimale hoeveelheid aanslibbing.

3.2 Aanzanding

De beoordeling van de ontwerpalternatieven op aanzanding is in deze studie grotendeels van kwalitatieve aard. Gekeken wordt naar de openingsgrootte van de haven en eventuele spiraalstromingseffecten door bochtstroming, en naar de korrelgrootte van het lokale bodemmateriaal.

3.3 Aanslibbing

3.3.1 Turbulente uitwisseling

De aanslibbing in de uitwijkhaven volgens de verschillende ontwerpalternatieven wordt geschat volgens de methode die Boogaard (1994) heeft toegepast. De methode gaat uit van een uitwisselingsdebiet tussen de haven en de rivier veroorzaakt door turbulentie in het zogebied (Figuur 12), waardoor slibrijk water de haven kan binnentreden en slibarm water de haven verlaat. De hoeveelheid slib die vervolgens neerslaat wordt bepaald door de slibvangstefficiëntie van de haven.

De uitwisseling tussen de rivier en de haven wordt geschat met behulp van de formule van Eysink en Vermaas (1983):

$$\Delta Q = fAu \quad (3.1)$$

met:

- ΔQ = diffusief uitwisselingsdebiet (m^3/s)
- f = uitwisselingscoëfficiënt, variërend tussen 0,01 en 0,03
- A = doorsnede voorhavenmond (m^2)
- u = stroomsnelheid op de rivier (m/s)

De coëfficiënt f wordt bepaald door de mate van diffusie, aangedreven door turbulentie en is afhankelijk van de mondingsgeometrie. Indien de slibconcentratie in de rivier bekend is, kan met behulp van (3.1) het slibaanbod in de haven worden bepaald.

De slibvangstefficiëntie wordt bepaald door de verblijftijd van het uitgewisselde water, en door de stroomsnelheden van het nerenstelsel in de haven. Een methode om deze vangstefficiëntie nauwkeurig te berekenen is niet voorhanden. Er wordt gebruik gemaakt van de methode van Churchill (1948), die is ontwikkeld voor de berekening van aanslibbing in stuwmeren. Deze methode relateert de slibvangstefficiëntie (SE) aan de reservoir eigenschappen die worden samengenomen in een parameter, de zogenaamde sedimentatie-index (SI):

$$SI = \frac{T}{u_r} \quad (3.2)$$

met: SI = sedimentatie-index (s^2/s)
 T = gemiddelde verblijftijd in het reservoir (s)
 u_r = gemiddelde stroomsnelheid in het reservoir (m/s)

Voor rivierhavens leidde Boogaard (1994) de volgende variant op deze formule af:

$$SI = \frac{4V^2}{(\Delta Q)^2 L} \quad (3.3)$$

met: V = volume van de haven (m^3)
 L = lengte van de haven (m)

Uit de resultaten van de sedimentatiemetingen in de vele reservoirs in de Verenigde Staten heeft Churchill (1948) een empirische relatie opgesteld tussen de slibvangstefficiëntie en de sedimentatie-index. Deze relatie kan worden benaderd met:

$$\begin{aligned} SE &= 0 && \text{voor} && \log SI \leq 4,5 \\ SE &= \sin \left[\frac{\pi}{10} (\log SI - 4,5) \right] && \text{voor} && 4,5 < \log SI < 9,5 \\ SE &= 1 && \text{voor} && \log SI \geq 9,5 \end{aligned} \quad (3.4)$$

De sedimentatie in de uitwijkhaven bedraagt dan (Boogaard, 1994):

$$S = \frac{SE \cdot c \cdot \Delta Q}{\rho_s (1-p)} \quad (3.5)$$

met: S = sedimentatie in de haven (m^3/s)
 c = slibconcentratie in de rivier (kg/m^3)
 ρ_s = dichtheid van het slib (kg/m^3)
 p = porositeit van gesedimenteerd slib (-)

De noemer in (3.5) geeft de dichtheid weer van het slib in gesedimenteerde toestand. Met behulp van (3.1), (3.3), (3.4) en (3.5) zal de aanslibbing worden geschat in de uitwijkhaven bij Lobith volgens de verschillende ontwerpalternatieven.

Voor de schattingen van de aanslibbing wordt een variabele afvoer ingevoerd in de vorm van 27 waarden met bijbehorende afvoerfrequenties, uitgedrukt in aantal dagen onderschrijding per jaar (Van der Knaap, 1994). Hieruit kan voor elke afvoer een representatieve duur worden bepaald (zie Tabel II). De bijbehorende waterstanden, verhangen en stroomsnelheden worden bepaald door interpolatie van bestaande tabelwaarden (Brilhuis, 1988; RWS, 1994; zie Tabel VII). De waterstand voor de havenopening wordt bepaald uit de waterstand en het verhang in het referentiepunt (Lobith, km 862.220) en de afstand van de havenopening tot dit punt. De doorsnede van de havenopening is afhankelijk van deze waterstand, en het ontwerp van de haven (Figuren 13 t/m 15). Voor elke afvoer wordt de aanslibbingssnelheid berekend en vermenigvuldigd met de duur van de afvoer. Door de verkregen waarden op te tellen wordt de aanslibbing bepaald die representatief is voor een jaar.

Aangezien de slibconcentratie geen functie van de afvoer is wordt de gemiddelde waarde aangehouden (40,5 mg/l). Verder wordt aangenomen dat het neergeslagen slib een gemiddelde porositeit heeft van 0,6 (Boogaard, 1994).

3.3.2 Waterstandsvariatiës

Waterstandsvariatiës vormen ook een factor die voor uitwisseling tussen de rivier en de haven zorgt. Bij een stijgende rivierwaterstand stroomt slibhoudend rivierwater de haven in. Bij een dalende rivierwaterstand zal het water de haven verlaten. Het grootste deel van het slib zal dan bezonken zijn.

Voor de periode 1971-1980 zijn de maandelijkse hoogste en laagste waterstanden geïnventariseerd (Rijkswaterstaat, 1989; zie Tabel VI), en wordt de uitwisseling tussen de rivier en de haven geschat door een kombergingsbeschouwing:

$$\Delta Q_{wv} = \frac{A_h \sum_{t=0}^T \Delta h}{T} \quad (3.6)$$

waarbij:

ΔQ_{wv} = gemiddeld uitwisselingsdebiet ten gevolge van waterstandvariatiës (m³/s)

A_h = bergend oppervlak van de haven (m²)

$\sum_{t=0}^T \Delta h$ = verschil tussen hoogste en laagste maandelijkse waterstand, gesommeerd over periode T (m)

T = beschouwde periode ($T = 10$ jaar)

De aanslibbing door waterstandsvariatiës kan nu bepaald worden door ΔQ_{wv} te substitueren in (3.5). Voor de slibvangstefficiëntie wordt een conservatieve waarde aangehouden ($SE = 1$).

3.3.3 Nautische aspecten

Spiegeldaling door langsvarende schepen zorgt voor waterstandsvariaties van enkele tientallen centimeters gedurende enkele tientallen seconden. Aangezien de Boven-Rijn een druk bevaren scheepvaartroute is, draagt dit mechanisme aanzienlijk bij tot de uitwisseling en mogelijk tot aanslibbing in de uitwijkhaven.

Een andere bijdrage aan de uitwisseling wordt geleverd door in- en uitvarende schepen. Een invarend schip zorgt voor een uitstroming van water gelijk aan de waterverplaatsing van het schip. Omgekeerd zal water de haven instromen bij een uitvarend schip.

Een derde aspect dat genoemd kan worden zijn de schroefstralen van in de haven manoeuvrende schepen. Deze stralen kunnen opwoeling van bezonken slib veroorzaken. Aangezien dit verschijnsel altijd lokaal zal zijn en het effect op de totale aanslibbing klein wordt verondersteld, wordt dit aspect verwaarloosd.

3.3.4 Hoogwatersituatie

Bij hoge afvoeren kan de waterstand boven NAP + 11,50 m uitkomen, waardoor de havendam volgens alternatieven B1, B2 en C overstroomd raakt (zie Figuren 4, 5 en 6). Dit resulteert in een excessieve toename van de oppervlakte waarover uitwisseling kan plaatsvinden. Door de hogere uitwisseling is de verblijfstijd echter korter en neemt de slibvangstefficiëntie af. Deze effecten worden beschreven doordat met een variabele afvoer wordt gerekend.

4 Beoordeling ontwerpalternatieven

4.1 Uitgangspunten

De ontwerpalternatieven A, B1, B2 en C worden beoordeeld op grond van te verwachten aanzanding en aanslibbing in de haven.

Aan de morfologie van de rivier wordt geen aandacht besteed, aangezien ervan uitgegaan wordt dat de aanleg van de haven de riviermorfologie niet beïnvloedt. Evenzo wordt aangenomen dat de aanzanding en aanslibbing in de Bijland niet verandert ten gevolge van de uitbreiding van de huidige uitwijkhaven (alternatief A).

4.2 Aanzanding

Aanzanding in een rivierhaven wordt veroorzaakt doordat door de uitwisseling tussen de rivier en de haven sedimenthoudend rivierwater de haven kan binnendringen (Figuur 12). Doordat het sediment relatief snel bezinkt, in tegenstelling tot slib, treedt de aanzanding voornamelijk op in de havenmond.

Als de haven aan een rivierbocht ligt, kan de aanzanding gunstig of ongunstig beïnvloed worden. Doordat zich een spiraalstroming instelt (Figuur 12) heeft het sediment de neiging de binnenbocht op te zoeken. Als zich hier de haven bevindt, zal een deel van dit sedimentaanbod in de havenmond neerslaan. Een gunstiger ligging van de haven is aan de diepere buitenbocht, omdat het bodemtransport dan van de haven af gericht is.

De huidige uitwijkhaven ligt in een binnenbocht. Reeds in Hoofdstuk 2 is gemeld dat in de buurt van de havenmond het slib sterk zandhoudend is. De aanzanding in de haven volgens alternatief A zal ongeveer gelijk zijn aan die in de huidige situatie, immers deze hoeveelheid wordt voornamelijk door de vorm van de havenmond bepaald.

De ligging volgens de alternatieven B1 en B2 is gunstiger (buitenbocht). De aanzanding zal kleiner zijn dan in de huidige situatie.

Hetzelfde geldt in principe voor alternatief C. Echter, omdat de huidige haven behouden blijft, zal de totale aanzanding altijd meer bedragen dan in de huidige situatie, hoe klein de aanzanding in de nieuwe haven ook zal zijn. Alternatief C is hierdoor het ongunstigst.

4.3 Aanslibbing

4.3.1 Turbulente uitwisseling

Voor de verschillende ontwerpalternatieven alsmede de huidige situatie zijn indicatieve berekeningen gemaakt volgens de in Hoofdstuk 3 voorgestelde methode. In onderstaande tabel zijn de uitkomsten samengevat:

ontwerp- alternatief	aanslibbing (m ³ /j)
huidige situatie	4077
alternatief A	4215
alternatief B1	23676
alternatief B2	23174
alternatief C	24002

Tabel 4.1 Berekende aanslibbing (door turbulente uitwisseling)

Voor de huidige situatie (Tabel II) wordt de laagste aanslibbing berekend waarbij het effect van waterstandsvariëaties niet inbegrepen is. Het feit dat de haven aan een kribvak ligt veroorzaakt een dubbel nerenstelsel, waardoor de uitwisseling relatief laag is (Figuur 16). Uitgegaan wordt van een snelheid in het kribvak die een derde bedraagt van de gemiddelde stroomsnelheid op de rivier.

De uitbreiding van de huidige uitwijkhaven (alternatief A, Tabel III) heeft een zeer geringe verhoging van de aanslibbing tot gevolg, veroorzaakt door een lichte toename van de slibvangstefficiëntie. Ook hierbij is uitgegaan van een dubbel nerenstelsel.

Bij de alternatieven B1, B2 en C (Tabellen IV, V en VI) is de havenmond iets groter dan bij alternatief A (Figuren 13, 14 en 15). Ook is de stroomsnelheid groter omdat er nu geen sprake is van een dubbel nerenstelsel. Gerekend wordt met de gemiddelde stroomsnelheid op de rivier. Beide factoren zorgen voor een grotere uitwisseling, en hierdoor een aanzienlijk grotere aanslibbing. Bij alternatief C is de aanslibbing in de verkleinde haven iets minder (19925 m³/j), echter doordat de huidige haven behouden blijft is de totale aanslibbing hoger dan bij de alternatieven B1 en B2.

4.3.2 Waterstandsvariëaties

De aanslibbing, veroorzaakt door waterstandsvariëaties is geschat volgens de methode voorgesteld in Sectie 3.3.2. In Tabel VIII zijn de maandelijkse hoogste en laagste waterstanden bij Lobith weergegeven. Tabel IX toont de berekende aanslibbing voor de verschillende alternatieven. In onderstaande tabel zijn de resultaten weergegeven:

ontwerp-alternatief	aanslibbing (m ³ /j)
huidige situatie	91
alternatief A	293
alternatief B1	237
alternatief B2	237
alternatief C	311

Tabel 4.2 Berekende aanslibbing (door waterstandsvariaties)

De resultaten laten zien dat de waterstandsvariaties voor alle alternatieven aanzienlijk minder aanslibbing veroorzaken dan de turbulente uitwisseling. Niettemin liggen de onderlinge verhoudingen tussen de alternatieven anders, omdat nu niet de havenopening maar het bergend oppervlak van de haven maatgevend is. De hoeveelheden zijn echter een orde van grootte kleiner dan bij turbulente uitwisseling.

4.3.3 Nautische aspecten

Waterstandsvariaties, veroorzaakt door spiegeldaling bij langsvarende schepen, hebben een kortere tijdschaal en de hierdoor optredende in- en uitstroming kan niet als komberging beschouwd worden. Maatgevend voor de uitwisseling is de doorstroomopening, evenals bij turbulente uitwisseling.

Aangezien voor zowel turbulente uitwisseling als uitwisseling door spiegeldaling het uitwisselingsdebiet vrijwel evenredig is aan de grootte van de haveningang, mag het effect van spiegeldaling verdisconteerd worden beschouwd in de waarde van de coëfficiënt f , die gevalideerd is voor de huidige situatie (met langsvarende schepen).

Uitwisseling, veroorzaakt door in- en uitvarende schepen, is slechts afhankelijk van de frequentie van het havenbezoek en zal voor alle alternatieven gelijk zijn.

4.3.4 Hoogwatersituatie

Bij de alternatieven B1, B2 en C raakt de havendam overstroomd bij waterstanden hoger dan NAP + 11,50 m. Bij een dergelijke overstroming, die optreedt gedurende ongeveer 10% van de tijd, neemt de begrenzende 'natte oppervlakte' tussen de rivier en de haven snel toe waardoor de uitwisseling en de aanslibbing ook toenemen (zie Tabellen IV, V en VI). Hoewel de slibvangstefficiëntie door de kortere verblijfstijd iets afneemt, treedt 25% van de totale aanslibbing op in deze 10% van de tijd.

In de huidige situatie en bij alternatief A speelt dit verschijnsel een minder belangrijke rol, omdat de havendam op een hoogte van NAP + 13,50 m ligt, en bovendien korter is.

4.4 Samenvatting

In onderstaande tabel zijn de resultaten samengevat van de beoordeling van de ontwerpalternatieven. Het criterium aanzanding is kwalitatief benaderd. Met nadruk wordt vermeld dat de geschatte hoeveelheden aanslibbing gebaseerd zijn op zeer indicatieve berekeningen. De waarden zijn afgerond op veelvouden van $100 \text{ m}^3/\text{j}$. De berekende aanslibbing in de huidige situatie komt hierbij redelijk overeen met de schattingen van Rijkswaterstaat (ongeveer $4000 \text{ m}^3/\text{j}$).

ontwerp-alternatief	aanzanding	totale aanslibbing (m^3/j)
huidige situatie	-	4200
alternatief A	-	4500
alternatief B1	+	23900
alternatief B2	+	23400
alternatief C	-	24300

Tabel 4.3 Overzicht beoordeling ontwerpalternatieven

Op de genoemde criteria scoren de diverse alternatieven verschillend zodat niet een eenduidig beeld ontstaat welk alternatief de voorkeur verdient. Wel is duidelijk dat alternatief C in het algemeen slecht scoort doordat er sprake is van twee havens. Hierdoor is de totale havenopening het grootst en treden bovendien de aanslibbingsproblemen op twee locaties op.

Alternatief A scoort ongunstig op aanzanding omdat de haven in een binnenbocht ligt, maar scoort gunstig op aanslibbing vanwege de kleine havenopening en de ligging aan een kribvak. De alternatieven B1 en B2 hebben het voordeel van de ligging aan een buitenbocht waardoor weinig aanzanding in de havenmond zal optreden. Hier staat echter het nadeel van een hoge aanslibbing tegenover.

Aangezien aanslibbing een zwaarder wegende factor is dan aanzanding, vanwege de hoge verwerkingskosten van vervuild rivierslib, verdient alternatief A de voorkeur.

5 Conclusies en aanbevelingen

Op grond van de in deze studie opgenomen beoordelingscriteria kan geconcludeerd worden dat alternatief A de voorkeur verdient. Het is in vergelijking tot de alternatieven B1 en B2 ongunstiger uit het oogpunt van aanzanding, echter gunstiger uit het oogpunt van aanslibbing. Alternatief C scoort op beide aspecten het ongunstigst.

Indien op grond van andere, in dit verslag niet behandelde overwegingen wordt gekozen voor een van de andere alternatieven, verdient het aanbeveling meer aandacht te besteden aan de detaillering van de haveningang. Hierbij kan worden gedacht aan aanvullende maatregelen die de uitwisselingsstroming tussen de rivier en de haven beperken.

Literatuur

- Boogaard, A., 1994; Voorhaven tweede sluis Lith, deel IA: Hydraulisch/morfologisch onderzoek, Q568, Waterloopkundig Laboratorium
- Brilhuis, R., 1988; Enkele hydraulische en morfologische parameters van de Nederlandse Rijntakken, Rijkswaterstaat/RIZA, nota 88.003, TOW nr. A.54
- Churchill, M.A., 1948; Discussion of "Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data" by L.C. Gottschalk, Proceedings of the Federal Interagency Sedimentation Conference, Denver, Colo, 1947, Published by United States Bureau of Reclamation, Denver, Colo, 1948. See also: Vanoni, V.A., 1975, Sedimentation Engineering, ASCE, New York
- Eysink, W.D. en Vermaas, H., 1983; Computational methods to estimate the sedimentation in dredged channels and harbour basins in estuarine environments, International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Colombo, Sri Lanka, March 20-26, publication no. 307
- Kamphuis, H., 1990; Sedimenttransportmetingen Rijntakken, Rijkswaterstaat/RIZA, nota 90.075
- Knaap, F.C.M. van der, 1994; Lange-termijneffecten van maatregelen, bureaustudie (concept) Q1530, Waterloopkundig Laboratorium
- Rijkswaterstaat, 1989; Tienjarig overzicht der waterhoogten, afvoeren en watertemperaturen 1971-1980, RWS Dienst Getijdewateren, Hoofdafdeling Informatie en Ontwikkeling, Afdeling Informatiesystemen, Den Haag
- Rijkswaterstaat, 1992; Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Rijn in Nederland, Rijkswaterstaat/RIZA, nota 92.047
- Rijkswaterstaat, 1993; Milieu-effectrapportage uitwijkhaven Lobith, startnotitie, Rijkswaterstaat, Directie Gelderland
- Rijkswaterstaat, 1994 - diverse gegevens.

Tabellen

Zwevende stof

steekmonsters in mg/l

Lobith						
Jaar	vracht kg/s	aantal	gemiddeld	minimum	maximum	mediaan
72	79	49	47.8	10	109	47
73	86	51	48.6	14	204	44
74	103	51	45.2	21	117	40
75	82	52	39.1	17	69	38
76	65	52	50.7	14	354	43
77	126	52	47.1	17	277	37
78	153	51	49.8	19	312	34
79	104	48	39.8	15	127	36
80	97	49	31.3	8	149	27
81	123	48	36.3	16	132	33
82	106	26	31.7	3	142	30
83	118	27	34.8	16	177	28
84	103	26	36.8	17	170	31
85	77	48	37.5	16	61	37
86	137	51	47.9	25	119	40
87	123	51	40.5	19	130	37
88	150	24	44.5	21	112	40
89	65	26	34.3	23	57	34
90	89	25	<34.2	<1	130	29
91	53	24	32.1	10	53	31
gem.	102		40,5			

Tabel I Zwevende stof in Boven-Rijn bij Lobith (RWS/RIZA, 1992)

Huidige situatie

f =	0.02	
c =	0.04	kg/m ³
p =	0.6	
Δx =	-1210	m
A _h =	105000	m ²
L =	325	m
z _b =	3	m + NAP
ρ _s =	2650	kg/m ³

onderschr.	duur	----- LOBITH (km 862.220) -----				----- HAVEN (km 863.430) -----							
		Q	h	i	u	h	A	ΔQ *)	V	log(SI)	SE	S	S*duur
(d)	(d)	(m ³ /s)	(m)+NAP	(10 ⁻⁴)	(m/s)	(m)+NAP	(m ²)	(m ³ /s)	(10 ³ m ³)			(m ³ /d)	(m ³)
1	3	700	7.33	0.39	0.68	7.28	253	1	449	9.27	0.997	4	11
5	4.50	825	7.53	0.42	0.72	7.48	269	1	471	9.21	0.996	4	19
10	7.50	901	7.66	0.44	0.74	7.60	279	1	483	9.18	0.995	4	34
20	10	1005	7.83	0.47	0.77	7.77	294	2	501	9.13	0.993	5	49
30	10	1090	7.97	0.49	0.80	7.91	305	2	515	9.09	0.992	5	52
40	10	1166	8.09	0.51	0.82	8.03	316	2	528	9.06	0.991	6	56
50	10	1235	8.21	0.52	0.84	8.14	325	2	540	9.03	0.989	6	59
60	10	1295	8.30	0.54	0.86	8.24	334	2	550	9.01	0.988	6	61
70	10	1350	8.39	0.55	0.87	8.33	342	2	559	8.99	0.987	6	64
80	10	1408	8.49	0.57	0.89	8.42	350	2	569	8.97	0.986	7	67
90	10	1464	8.58	0.58	0.91	8.51	358	2	579	8.94	0.985	7	69
100	46.25	1520	8.67	0.59	0.92	8.60	366	2	588	8.92	0.984	7	334
182.5	82.50	1970	9.41	0.70	1.05	9.33	433	3	664	8.77	0.974	10	796
265	46.25	2521	10.26	0.76	1.16	10.17	515	4	753	8.64	0.964	13	578
275	10	2621	10.42	0.77	1.18	10.32	530	4	769	8.62	0.962	13	131
285	10	2734	10.59	0.78	1.20	10.50	547	4	787	8.60	0.960	14	137
295	10	2859	10.78	0.79	1.22	10.69	567	5	807	8.57	0.958	14	144
305	10	3010	11.01	0.81	1.25	10.91	590	5	831	8.54	0.955	15	154
315	10	3199	11.24	0.83	1.29	11.14	614	5	855	8.51	0.952	16	164
325	10	3460	11.55	0.84	1.32	11.45	647	6	887	8.48	0.949	18	176
335	10	3830	12.00	0.87	1.36	11.89	695	6	934	8.43	0.944	19	195
345	10	4352	12.53	0.90	1.43	12.42	754	7	989	8.37	0.938	22	219
355	7.50	5265	13.34	0.95	1.54	13.23	847	9	1074	8.28	0.927	26	197
360	4.50	6151	14.00	1.01	1.64	13.87	1029	11	1142	8.10	0.905	33	150
364	2.45	7999	15.06	1.19	1.86	14.92	1446	18	1251	7.78	0.857	50	123
364.9	0.50	10051	15.98	1.41	2.11	15.81	1804	25	1345	7.54	0.816	68	34
364.9992	0.05	12944	17.11	1.72	2.46	16.90	2240	37	1460	7.29	0.768	92	5

*) gebaseerd op u/3

S = 4077 m³/j

Tabel II Berekening van jaarlijkse aanslibbing in de huidige situatie

Alternatief A

f =	0.02	
c =	0.04	kg/m ³
p =	0.6	
Δx =	-1210	m
A _h =	340000	m ²
L =	1000	m
z _b =	3	m + NAP
ρ _s =	2650	kg/m ³

onderschr.	duur	----- LOBITH (km 862.220) -----				----- HAVEN (km 863.430) -----							
		q	h	i	u	h	A	ΔQ *)	V	log(SI)	SE	S	S*duur
(d)	(d)	(m ³ /s)	(m)+NAP	(10 ⁻⁴)	(m/s)	(m)+NAP	(m ²)	(m ³ /s)	(10 ³ m ³)			(m ³ /d)	(m ³)
1	3	700	7.33	0.39	0.68	7.28	253	1	1455	9.81	1.000	4	11
5	4.50	825	7.53	0.42	0.72	7.48	269	1	1524	9.75	1.000	4	19
10	7.50	901	7.66	0.44	0.74	7.60	279	1	1565	9.71	1.000	5	34
20	10	1005	7.83	0.47	0.77	7.77	294	2	1622	9.66	1.000	5	49
30	10	1090	7.97	0.49	0.80	7.91	305	2	1669	9.63	1.000	5	53
40	10	1166	8.09	0.51	0.82	8.03	316	2	1710	9.59	1.000	6	56
50	10	1235	8.21	0.52	0.84	8.14	325	2	1748	9.57	1.000	6	59
60	10	1295	8.30	0.54	0.86	8.24	334	2	1781	9.54	1.000	6	62
70	10	1350	8.39	0.55	0.87	8.33	342	2	1811	9.52	1.000	6	65
80	10	1408	8.49	0.57	0.89	8.42	350	2	1843	9.50	1.000	7	68
90	10	1464	8.58	0.58	0.91	8.51	358	2	1874	9.48	1.000	7	71
100	46.25	1520	8.67	0.59	0.92	8.60	366	2	1904	9.46	1.000	7	340
182.5	82.50	1970	9.41	0.70	1.05	9.33	433	3	2151	9.30	0.998	10	816
265	46.25	2521	10.26	0.76	1.16	10.17	515	4	2438	9.18	0.995	13	597
275	10	2621	10.42	0.77	1.18	10.32	530	4	2490	9.16	0.994	13	135
285	10	2734	10.59	0.78	1.20	10.50	547	4	2549	9.13	0.993	14	142
295	10	2859	10.78	0.79	1.22	10.69	567	5	2613	9.11	0.992	15	150
305	10	3010	11.01	0.81	1.25	10.91	590	5	2691	9.08	0.991	16	159
315	10	3199	11.24	0.83	1.29	11.14	614	5	2767	9.04	0.990	17	170
325	10	3460	11.55	0.84	1.32	11.45	647	6	2873	9.01	0.988	18	184
335	10	3830	12.00	0.87	1.36	11.89	695	6	3023	8.96	0.986	20	203
345	10	4352	12.53	0.90	1.43	12.42	754	7	3203	8.90	0.982	23	230
355	7.50	5265	13.34	0.95	1.54	13.23	847	9	3477	8.81	0.976	28	207
360	4.50	6151	14.00	1.01	1.64	13.87	1029	11	3697	8.63	0.963	35	159
364	2.45	7999	15.06	1.19	1.86	14.92	1446	18	4051	8.31	0.931	55	134
364.9	0.50	10051	15.98	1.41	2.11	15.81	1804	25	4355	8.07	0.901	75	37
364.9992	0.05	12944	17.11	1.72	2.46	16.90	2240	37	4726	7.82	0.864	104	5

*) gebaseerd op u/3

S = 4215 m³/j

Tabel III Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief A)

Alternatief B1

f =	0.02	
c =	0.04	kg/m ³
p =	0.6	
$\Delta x =$	2690	m
A _h =	275000	m ²
L =	450	m
z _b =	3	m + $\frac{1}{2}$ AP
$\rho_s =$	2650	kg/m ³

onderschr.	duur	----- LOBITH (km 862.220) -----				----- HAVEN (km 869.530) -----							S*duur
		Q	h	i	u	h	A	ΔQ	V	log(SI)	SE	S	
(d)	(d)	(m ³ /s)	(m)+NAP	(10 ⁻⁴)	(m/s)	(m)+NAP	(m ²)	(m ³ /s)	(10 ³ m ³)			(m ³ /d)	(m ³)
1	3	700	7.33	0.39	0.68	7.43	591	8	1219	8.31	0.931	24	73
5	4.50	825	7.53	0.42	0.72	7.64	622	9	1277	8.26	0.925	27	121
10	7.50	901	7.66	0.44	0.74	7.77	641	9	1313	8.23	0.922	28	213
20	10	1005	7.83	0.46	0.77	7.95	668	10	1362	8.19	0.917	31	307
30	10	1090	7.97	0.48	0.79	8.10	690	11	1402	8.16	0.913	33	326
40	10	1166	8.09	0.50	0.82	8.23	709	12	1437	8.14	0.910	34	344
50	10	1235	8.21	0.52	0.84	8.35	727	12	1470	8.11	0.906	36	360
60	10	1295	8.30	0.54	0.86	8.45	743	13	1498	8.09	0.904	37	374
70	10	1350	8.39	0.55	0.87	8.54	757	13	1524	8.07	0.901	39	388
80	10	1408	8.49	0.56	0.89	8.64	772	14	1551	8.06	0.899	40	402
90	10	1464	8.58	0.58	0.91	8.74	787	14	1577	8.04	0.896	42	416
100	46.25	1520	8.67	0.59	0.92	8.83	802	15	1604	8.02	0.894	43	1993
182.5	82.50	1970	9.41	0.70	1.05	9.60	923	19	1815	7.89	0.875	55	4575
265	46.25	2521	10.26	0.76	1.16	10.47	1063	25	2053	7.79	0.859	69	3195
275	10	2621	10.42	0.77	1.18	10.62	1089	26	2096	7.77	0.856	72	717
285	10	2734	10.59	0.78	1.20	10.80	1119	27	2145	7.75	0.853	75	747
295	10	2859	10.78	0.79	1.22	11.00	1151	28	2199	7.73	0.850	78	781
305	10	3010	11.01	0.81	1.25	11.23	1191	30	2263	7.71	0.846	82	823
315	10	3199	11.24	0.83	1.29	11.46	1230	32	2327	7.68	0.841	87	870
325	10	3460	11.55	0.84	1.32	11.78	1353	36	2414	7.61	0.828	97	966
335	10	3830	12.00	0.87	1.36	12.23	1563	43	2538	7.50	0.809	112	1125
345	10	4352	12.53	0.90	1.43	12.77	1851	53	2687	7.36	0.783	135	1348
355	7.50	5265	13.34	0.95	1.54	13.60	2362	73	2914	7.16	0.741	175	1314
360	4.50	6151	14.00	1.01	1.64	14.27	2840	93	3098	6.99	0.705	214	964
364	2.45	7999	15.06	1.19	1.86	15.38	3767	140	3404	6.72	0.642	294	720
364.9	0.50	10051	15.98	1.41	2.11	16.36	4715	199	3674	6.48	0.583	379	189
364.9992	0.05	12944	17.11	1.72	2.46	17.57	6060	299	4007	6.20	0.510	497	25

$$S = \frac{23676}{m^3/j}$$

Tabel IV

Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief B1)

Alternatief B2

f = 0.02
c = 0.04 kg/m³
p = 0.6
Δx = 2470 m
A_h = 275000 m²
L = 550 m
z_b = 3 m + NAP
ρ_s = 2650 kg/m³

onderschr.	duur	----- LOBITH (km 862.220) -----				----- HAVEN (km 869.750) -----							
		Q	h	i	u	h	A	ΔQ	V	log(SI)	SE	S	S*duur
(d)	(d)	(m ³ /s)	(m)+NAP	(10 ⁻⁴)	(m/s)	(m)+NAP	(m ²)	(m ³ /s)	(10 ³ m ³)			(m ³ /d)	(m ³)
1	3	700	7.33	0.39	0.68	7.42	589	8	1216	8.23	0.921	24	72
5	4.50	825	7.53	0.42	0.72	7.64	621	9	1275	8.18	0.915	26	119
10	7.50	901	7.66	0.44	0.74	7.76	640	9	1310	8.15	0.911	28	210
20	10	1005	7.83	0.46	0.77	7.94	666	10	1359	8.11	0.906	30	303
30	10	1090	7.97	0.48	0.79	8.09	688	11	1399	8.08	0.902	32	321
40	10	1166	8.09	0.50	0.82	8.22	708	12	1434	8.05	0.898	34	338
50	10	1235	8.21	0.52	0.84	8.33	725	12	1467	8.03	0.895	35	354
60	10	1295	8.30	0.54	0.86	8.44	741	13	1495	8.01	0.892	37	368
70	10	1350	8.39	0.55	0.87	8.53	755	13	1521	7.99	0.889	38	382
80	10	1408	8.49	0.56	0.89	8.63	770	14	1548	7.97	0.886	40	396
90	10	1464	8.58	0.58	0.91	8.72	785	14	1574	7.95	0.884	41	410
100	46.25	1520	8.67	0.59	0.92	8.82	800	15	1600	7.93	0.881	42	1960
182.5	82.50	1970	9.41	0.70	1.05	9.58	920	19	1811	7.80	0.861	54	4492
265	46.25	2521	10.26	0.76	1.16	10.45	1060	25	2049	7.70	0.845	68	3133
275	10	2621	10.42	0.77	1.18	10.61	1086	26	2092	7.69	0.842	70	703
285	10	2734	10.59	0.78	1.20	10.78	1116	27	2140	7.67	0.839	73	733
295	10	2859	10.78	0.79	1.22	10.98	1148	28	2194	7.65	0.835	77	766
305	10	3010	11.01	0.81	1.25	11.21	1188	30	2258	7.62	0.831	81	807
315	10	3199	11.24	0.83	1.29	11.44	1227	32	2322	7.59	0.826	85	852
325	10	3460	11.55	0.84	1.32	11.76	1345	36	2409	7.52	0.813	94	943
335	10	3830	12.00	0.87	1.36	12.21	1554	42	2533	7.41	0.793	110	1096
345	10	4352	12.53	0.90	1.43	12.75	1840	52	2682	7.28	0.766	131	1311
355	7.50	5265	13.34	0.95	1.54	13.58	2348	72	2909	7.07	0.723	170	1275
360	4.50	6151	14.00	1.01	1.64	14.24	2823	93	3092	6.91	0.687	207	933
364	2.45	7999	15.06	1.19	1.86	15.35	3743	140	3397	6.63	0.621	283	693
364.9	0.50	10051	15.98	1.41	2.11	16.33	4683	198	3665	6.40	0.561	362	181
364.9992	0.05	12944	17.11	1.72	2.46	17.53	6015	296	3996	6.12	0.488	471	24
												S =	23174 m ³ /j

Tabel V Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief B2)

Alternatief C

f =	0.02	
c =	0.04	kg/m ³
p =	0.6	
Δx =	2690	m ₂
A _h =	255000	m ²
L =	450	m
z _b =	3	m + NAP
ρ _s =	2650	kg/m ³

onderschr.	duur	----- LOBITH (km 862.220) -----				----- HAVEN (km 869.530) -----						SE	S	S*duur
		q	h	i	u	h	A	ΔQ	V	log(SI)				
(d)	(d)	(m ³ /s)	(m)+NAP	(10 ⁻⁴)	(m/s)	(m)+NAP	(m ²)	(m ³ /s)	(10 ³ m ³)				(m ³ /d)	(m ³)
1	3	700	7.33	0.39	0.68	7.43	591	7	1130	8.41	0.942	20	61	
5	4.5	825	7.53	0.42	0.72	7.64	622	7	1184	8.36	0.937	22	101	
10	7.5	901	7.66	0.44	0.74	7.77	641	8	1217	8.33	0.934	24	178	
20	10	1005	7.83	0.46	0.77	7.95	668	8	1263	8.30	0.929	26	257	
30	10	1090	7.97	0.48	0.79	8.10	690	9	1300	8.26	0.926	27	273	
40	10	1166	8.09	0.50	0.82	8.23	709	10	1333	8.24	0.922	29	287	
50	10	1235	8.21	0.52	0.84	8.35	727	10	1363	8.21	0.919	30	301	
60	10	1295	8.30	0.54	0.86	8.45	743	10	1389	8.19	0.917	31	313	
70	10	1350	8.39	0.55	0.87	8.54	757	11	1413	8.18	0.915	32	325	
80	10	1408	8.49	0.56	0.89	8.64	772	11	1438	8.16	0.912	34	337	
90	10	1464	8.58	0.58	0.91	8.74	787	12	1463	8.14	0.910	35	349	
100	46.25	1520	8.67	0.59	0.92	8.83	802	12	1487	8.12	0.908	36	1670	
182.5	82.50	1970	9.41	0.70	1.05	9.60	923	16	1683	7.99	0.890	47	3839	
265	46.25	2521	10.26	0.76	1.16	10.47	1063	20	1904	7.89	0.875	58	2684	
275	10	2621	10.42	0.77	1.18	10.62	1089	21	1944	7.87	0.872	60	603	
285	10	2734	10.59	0.78	1.20	10.80	1119	22	1989	7.86	0.869	63	628	
295	10	2859	10.78	0.79	1.22	11.00	1151	23	2039	7.83	0.866	66	657	
305	10	3010	11.01	0.81	1.25	11.23	1191	25	2099	7.81	0.862	69	692	
315	10	3199	11.24	0.83	1.29	11.46	1230	26	2158	7.78	0.858	73	732	
325	10	3460	11.55	0.84	1.32	11.78	1353	29	2239	7.71	0.846	81	814	
335	10	3830	12.00	0.87	1.36	12.23	1563	35	2353	7.60	0.827	95	949	
345	10	4352	12.53	0.90	1.43	12.77	1851	44	2492	7.46	0.802	114	1140	
355	7.50	5265	13.34	0.95	1.54	13.60	2362	60	2702	7.26	0.762	149	1115	
360	4.50	6151	14.00	1.01	1.64	14.27	2840	77	2873	7.09	0.728	182	821	
364	2.45	7999	15.06	1.19	1.86	15.38	3767	116	3157	6.82	0.666	252	616	
364.9	0.50	10051	15.98	1.41	2.11	16.36	4715	164	3406	6.58	0.608	326	163	
364.9992	0.05	12944	17.11	1.72	2.46	17.57	6060	246	3715	6.31	0.537	432	22	

S _{haven}	=	19925	m ³ /j
S _{HS}	=	4077	m ³ /j
S _{tot}	=	24002	m ³ /j

Tabel VI

Berekening van jaarlijkse aanslibbing (alternatief C)

Q,h-relatie (RWS)		Q,i,u-relatie (Brilhuis, 1988)		
Q (m ³ /s)	h (m)	Q (m ³ /s)	i (10 ⁻⁴)	u (m/s)
1110	8.00	1100	0.49	0.80
2000	9.46	1950	0.70	1.05
3000	11.00	3200	0.83	1.29
4000	12.20	6400	1.02	1.67
5000	13.14	7800	1.17	1.84
6000	13.90	16500	2.27	2.87
7000	14.53			
8000	15.06			
9000	15.53			
10000	15.96			
11000	16.35			

Tabel VII Relatie tussen afvoeren, waterstanden, verhangen en stroomsnelheden bij Lobith (hierop zijn de berekeningen in Tabellen II t/m VII gebaseerd)

WATERSTANDSVARIATIES PERIODE 1971-1980 IN LOBITH (waterstanden in cm t.o.v. NAP)

	max	jan min	Δh		max	feb min	Δh		max	mrt min	Δh		max	apr min	Δh
1971	1235	842	393	1971	1208	922	286	1971	978	867	111	1971	970	880	90
1972	853	790	63	1972	930	784	146	1972	825	766	59	1972	1026	854	172
1973	871	817	54	1973	1065	874	191	1973	1011	886	125	1973	1084	933	151
1974	1186	943	243	1974	1273	982	291	1974	1206	923	283	1974	1018	874	144
1975	1382	1071	311	1975	1318	968	350	1975	1129	936	193	1975	1246	1049	197
1976	1199	838	361	1976	1076	915	161	1976	950	857	93	1976	879	815	64
1977	1311	845	466	1977	1448	1067	381	1977	1273	966	307	1977	1138	980	158
1978	1208	939	269	1978	1282	928	354	1978	1420	1080	340	1978	1358	967	391
1979	1377	900	477	1979	1452	969	483	1979	1474	1023	451	1979	1273	1048	225
1980	1186	948	238	1980	1569	1026	543	1980	1014	925	89	1980	1224	984	240
	max	mei min	Δh		max	jun min	Δh		max	jul min	Δh		max	aug min	Δh
1971	962	870	92	1971	1138	896	242	1971	1097	889	208	1971	910	856	54
1972	999	877	122	1972	1031	928	103	1972	1037	923	114	1972	1008	908	100
1973	1121	974	147	1973	1100	920	180	1973	1072	937	135	1973	1063	859	204
1974	904	880	24	1974	972	905	67	1974	1040	971	69	1974	1004	900	104
1975	1054	969	85	1975	1124	954	170	1975	1149	1043	106	1975	1108	937	171
1976	878	826	52	1976	957	812	145	1976	910	763	147	1976	975	799	176
1977	1170	1010	160	1977	1024	973	51	1977	1018	939	79	1977	1065	949	116
1978	1436	967	469	1978	1289	1065	224	1978	1236	1020	216	1978	1196	952	244
1979	1164	1027	137	1979	1126	1037	89	1979	1026	903	123	1979	967	894	73
1980	1087	949	138	1980	1076	971	105	1980	1445	1106	339	1980	1205	975	230
	max	sep min	Δh		max	okt min	Δh		max	nov min	Δh		max	dec min	Δh
1971	918	804	114	1971	827	776	51	1971	912	760	152	1971	917	850	67
1972	901	822	79	1972	817	764	53	1972	1366	796	570	1972	1190	881	309
1973	880	831	49	1973	985	817	168	1973	1150	871	279	1973	1214	915	299
1974	911	864	47	1974	1270	914	356	1974	1276	1044	232	1974	1429	1248	181
1975	1070	960	110	1975	947	870	77	1975	1053	813	240	1975	1067	844	223
1976	893	780	113	1976	847	801	46	1976	832	800	32	1976	1091	853	238
1977	1019	864	155	1977	877	829	48	1977	1218	840	378	1977	1179	950	229
1978	947	899	48	1978	977	894	83	1978	906	808	98	1978	1050	790	260
1979	958	844	114	1979	907	840	67	1979	1211	881	330	1979	1394	951	443
1980	982	897	85	1980	1020	870	150	1980	1048	897	151	1980	1308	918	390

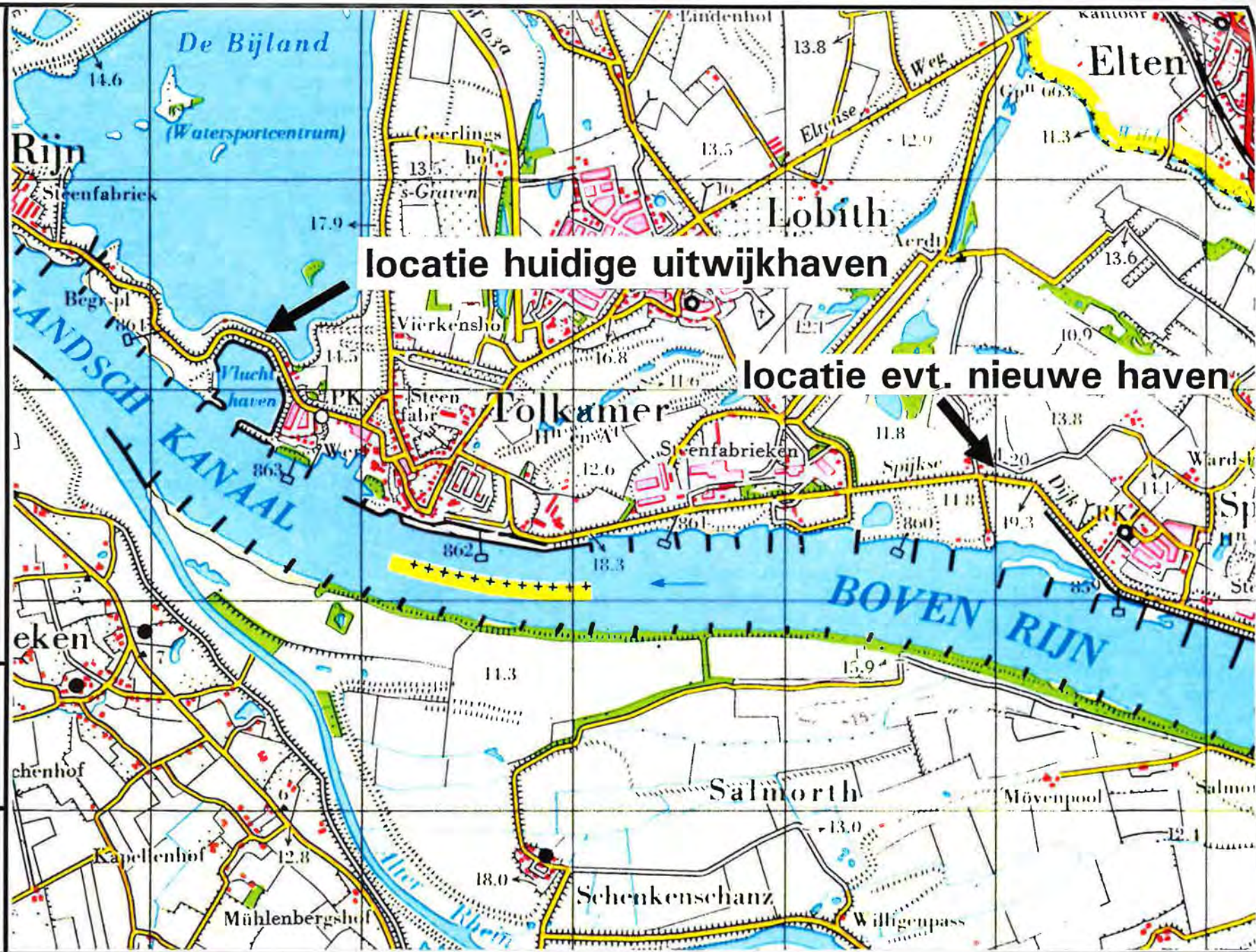
Tabel VIII Maandelijks hoogste en laagste waterstanden in periode 1971-1980 (Rijkswaterstaat, 1989)

$\Sigma\Delta h$	=	228.68	m	(uit Tabel VIII)
c	=	0.04	kg/m ³	
ρ_s	=	2650	kg/m ³	
p	=	0.6		
SE	=	1	(bovengrens)	

	HS	alt. A	alt. B2	alt. B1	alt. C
A_h (m ²)	105000	340000	275000	275000	360000 *)
ΔQ_{wv} (m ³ /s)	0.076	0.247	0.199	0.199	0.261
S_{wv} (m ³ /j)	91	293	237	237	311
*) huidige haven (105000 m ²) nieuwe haven (255000 m ²)					

Tabel IX Aanslibbing ten gevolge van waterstandsvariaties

Figuren



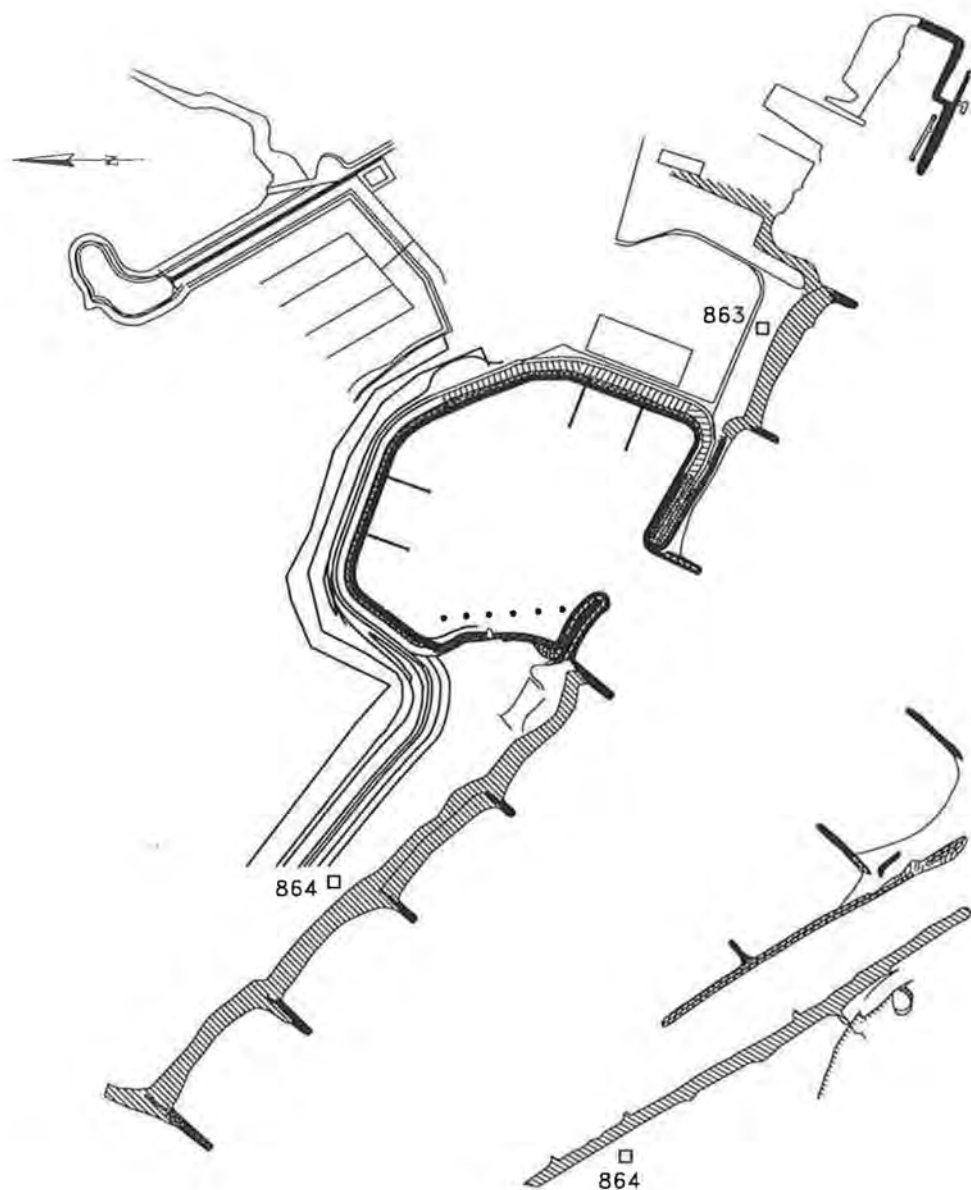
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

LOCATIE UITWIJKHAVEN LOBITH

Q 1931

SCHAAL 1:25000

FIG. 1



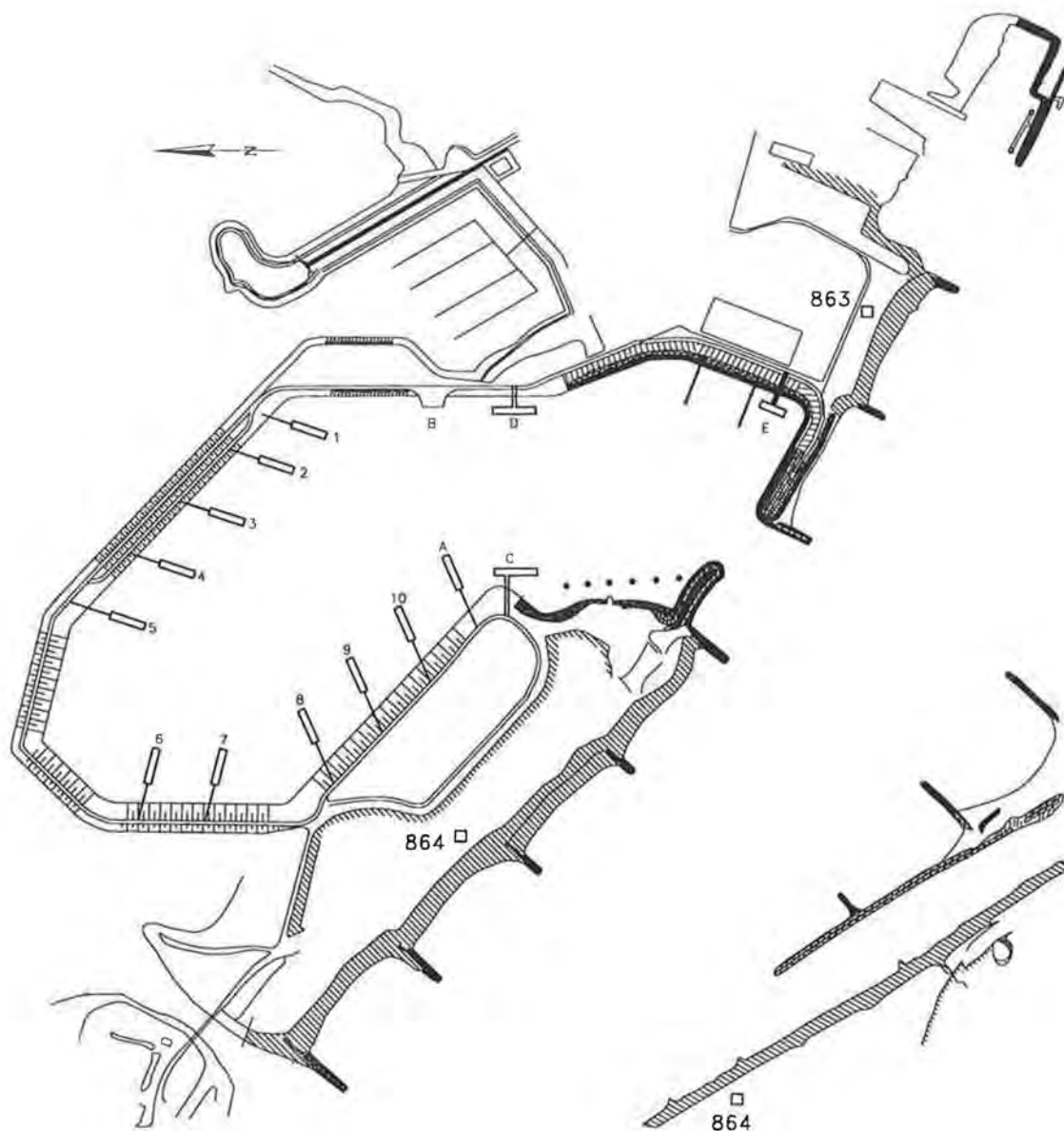
HUDIGE SITUATIE

SCHAAL 1 : 10000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 2



Toelichting:

- A: T.b.v. gevaarlijke stoffen
 B: Loswal
 C: T.b.v. calimiteiten
 D: Diensten-steiger
 E: T.b.v. Rijkswaterstaat
 1 t.m. 10: T.b.v. reguliere scheepvaart

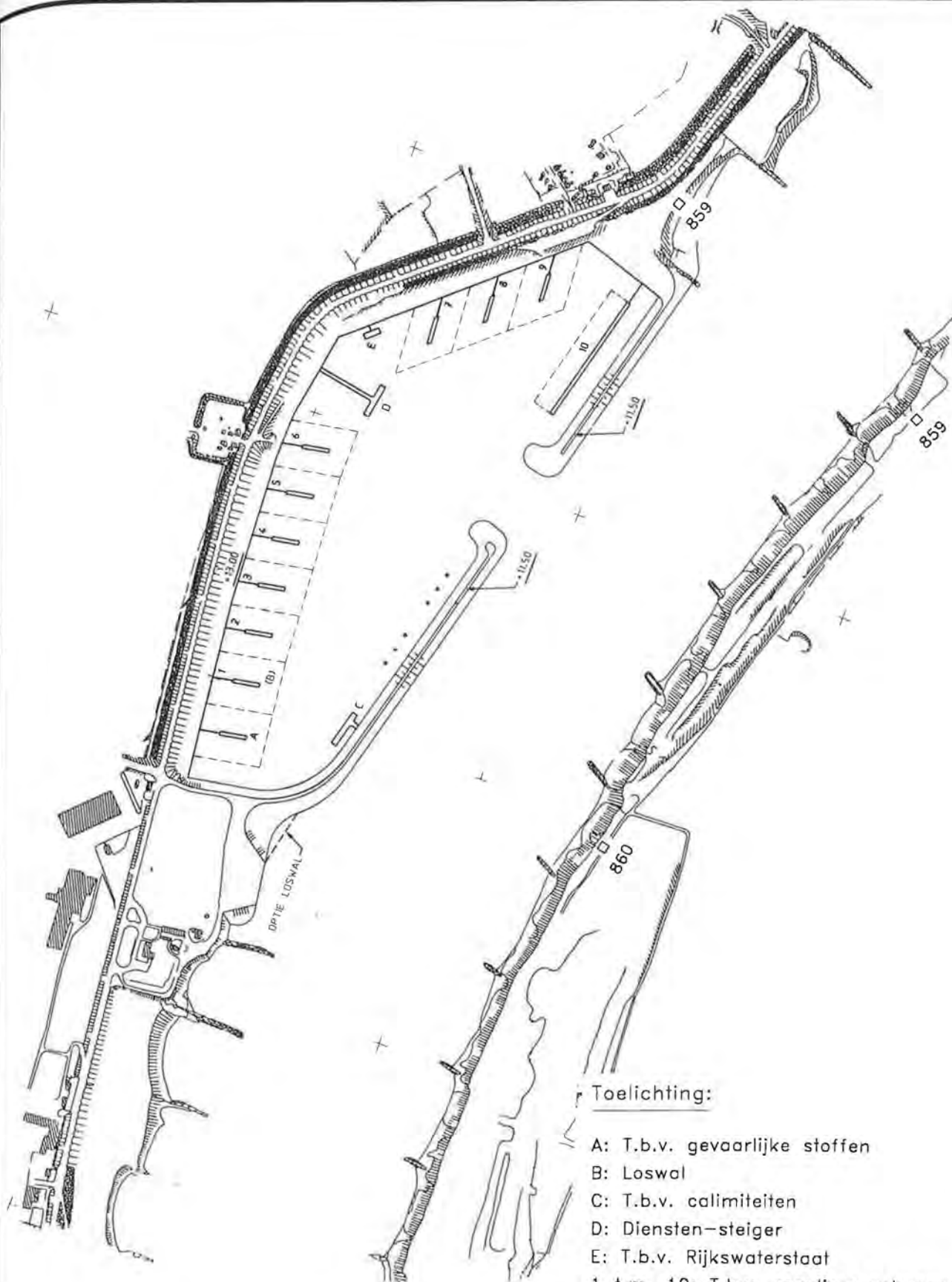
ONTWERPALTERNATIEF A
 (UITBREIDING HUIDIGE UITWIJKHAVEN)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:10000

Q 1931

FIG. 3



Toelichting:

- A: T.b.v. gevaarlijke stoffen
- B: Loswal
- C: T.b.v. calimiteiten
- D: Diensten-steiger
- E: T.b.v. Rijkswaterstaat
- 1 t.m. 10: T.b.v. reguliere scheepvaart

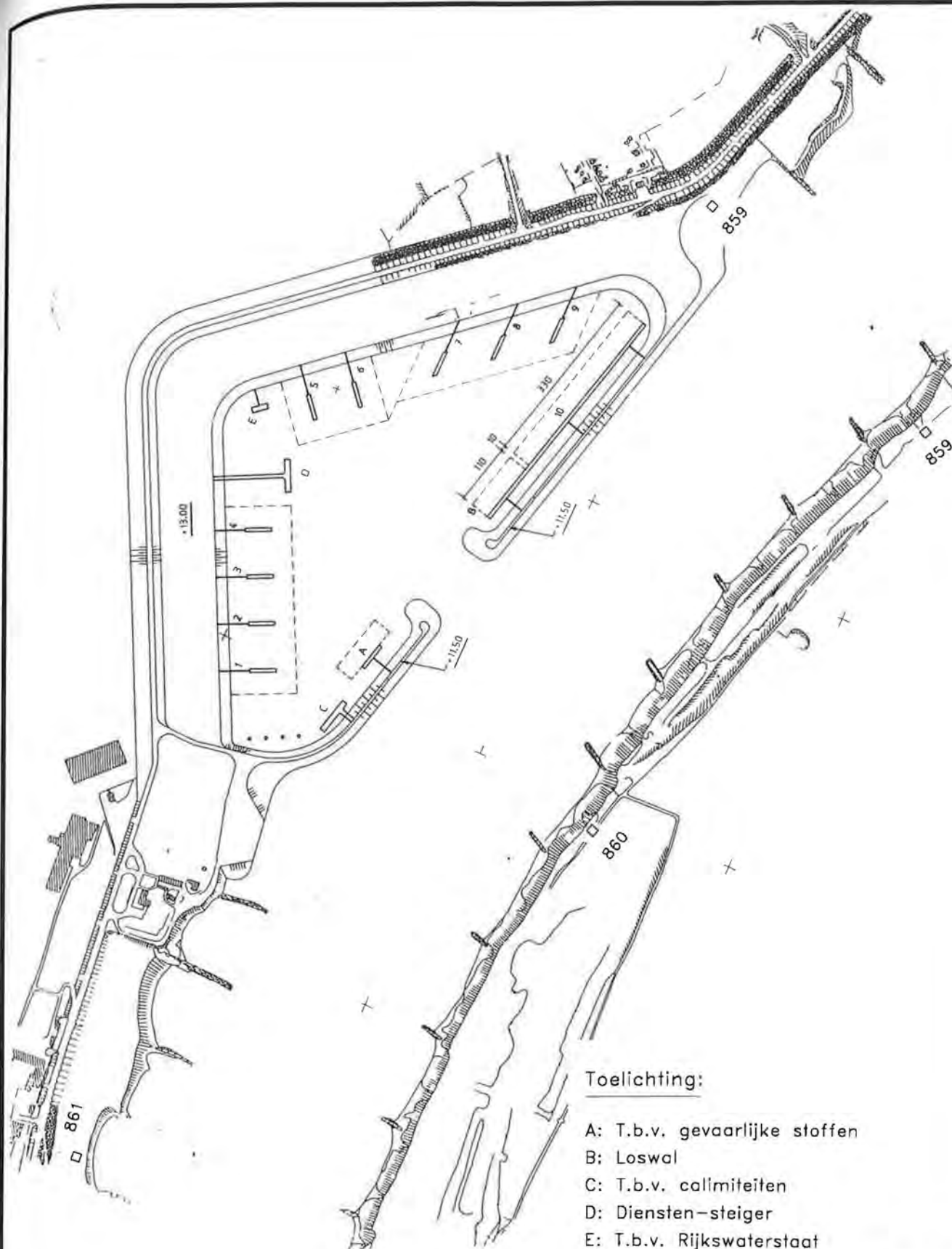
ONTWERPALTERNATIEF B1 – NIEUWE HAVEN
(VARIANT DAMWANDEN)

SCHAAL 1:10000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 4



Toelichting:

A: T.b.v. gevaarlijke stoffen

B: Loswal

C: T.b.v. callmiteiten

D: Diensten-steiger

E: T.b.v. Rijkswaterstaat

1 t.m. 10: T.b.v. reguliere scheepvaart

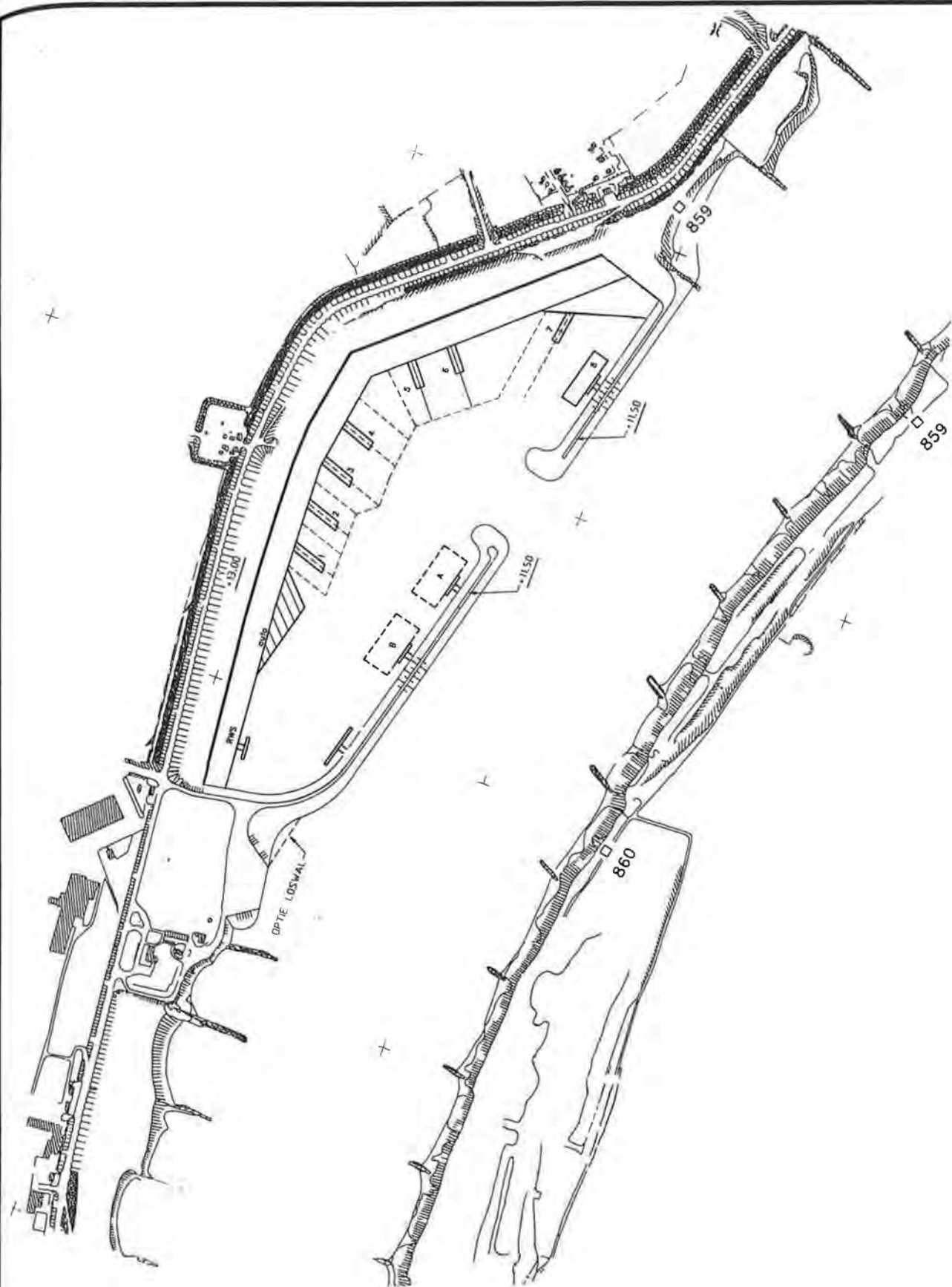
ONTWERPALTERNATIEF B2 – NIEUWE HAVEN
(VARIANT VERLEGGING SPIJKSE DIJK)

SCHAAL 1:10000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 5



De huidige haven (Fig. 2) blijft behouden en vormt een onderdeel van alternatief C.

ONTWERPALTERNATIEF C – VOORLOPIG ONTWERP
(AANLEG HAVEN IN VERKLEINDE VORM)

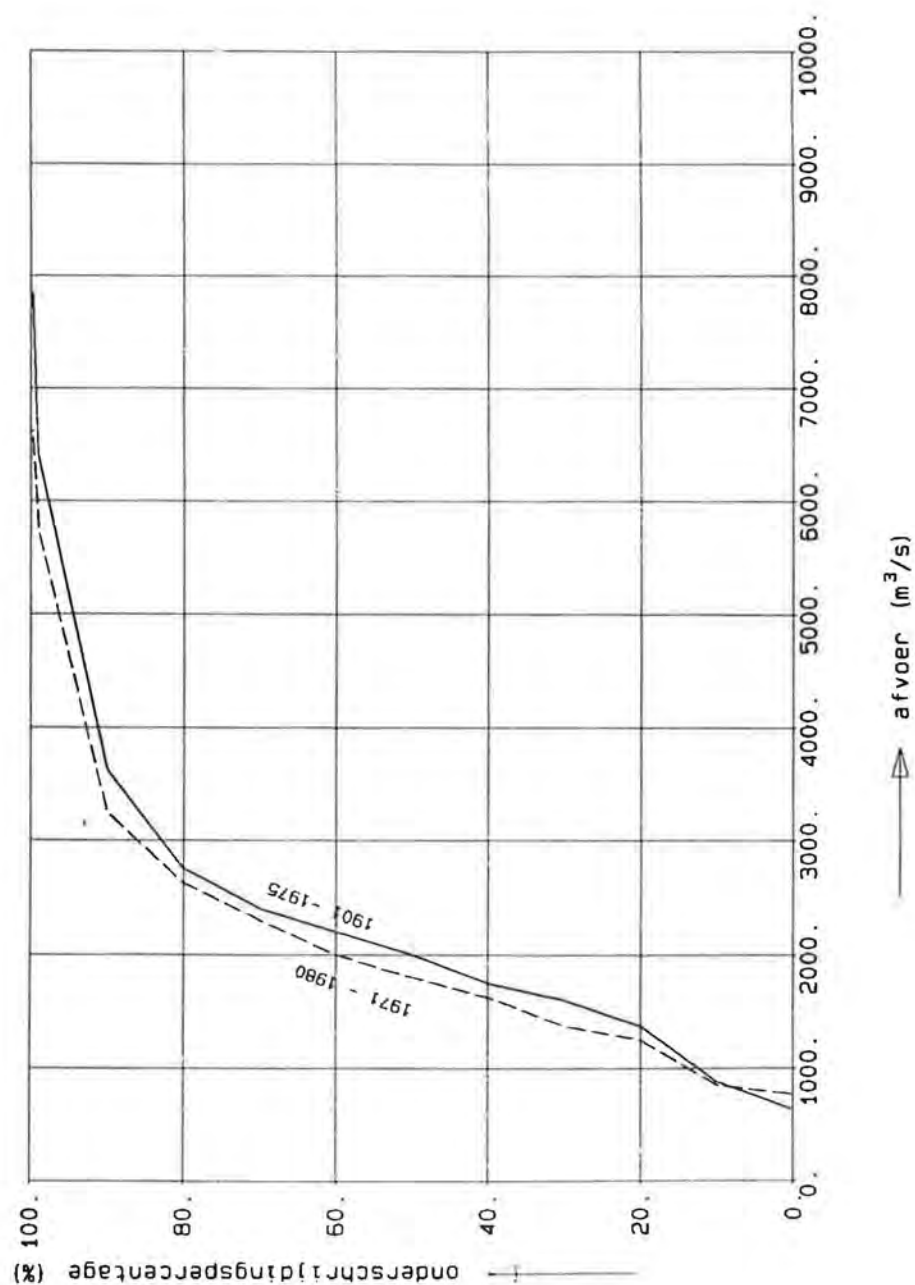
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

SCHAAL 1:10000

Q 1931

FIG. 6

RIJN (LOBITH)



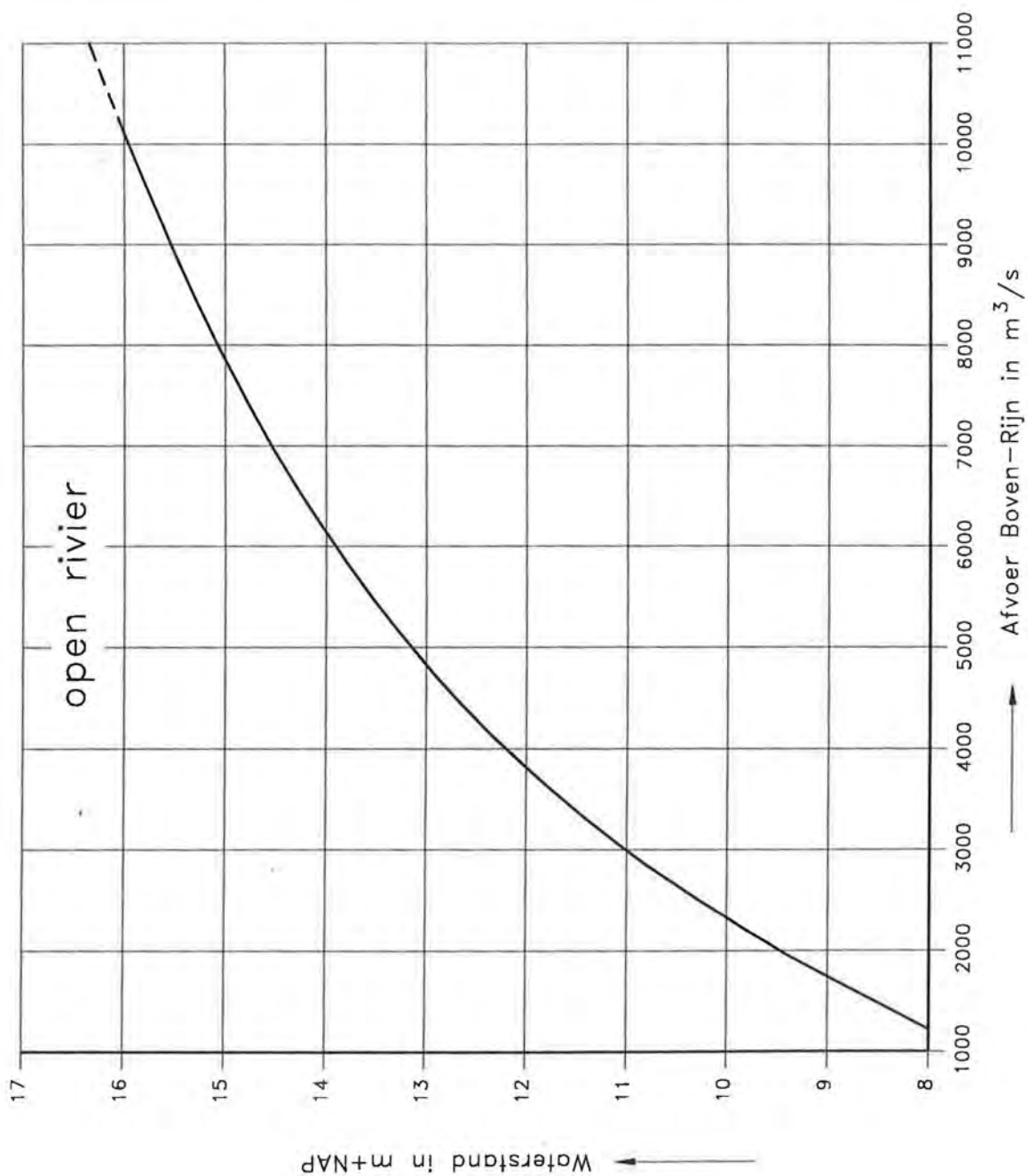
FREQUENTIEVERDELING VAN AFVOEREN BOVENRIJN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 7

LOBITH (ONGESTUWD)

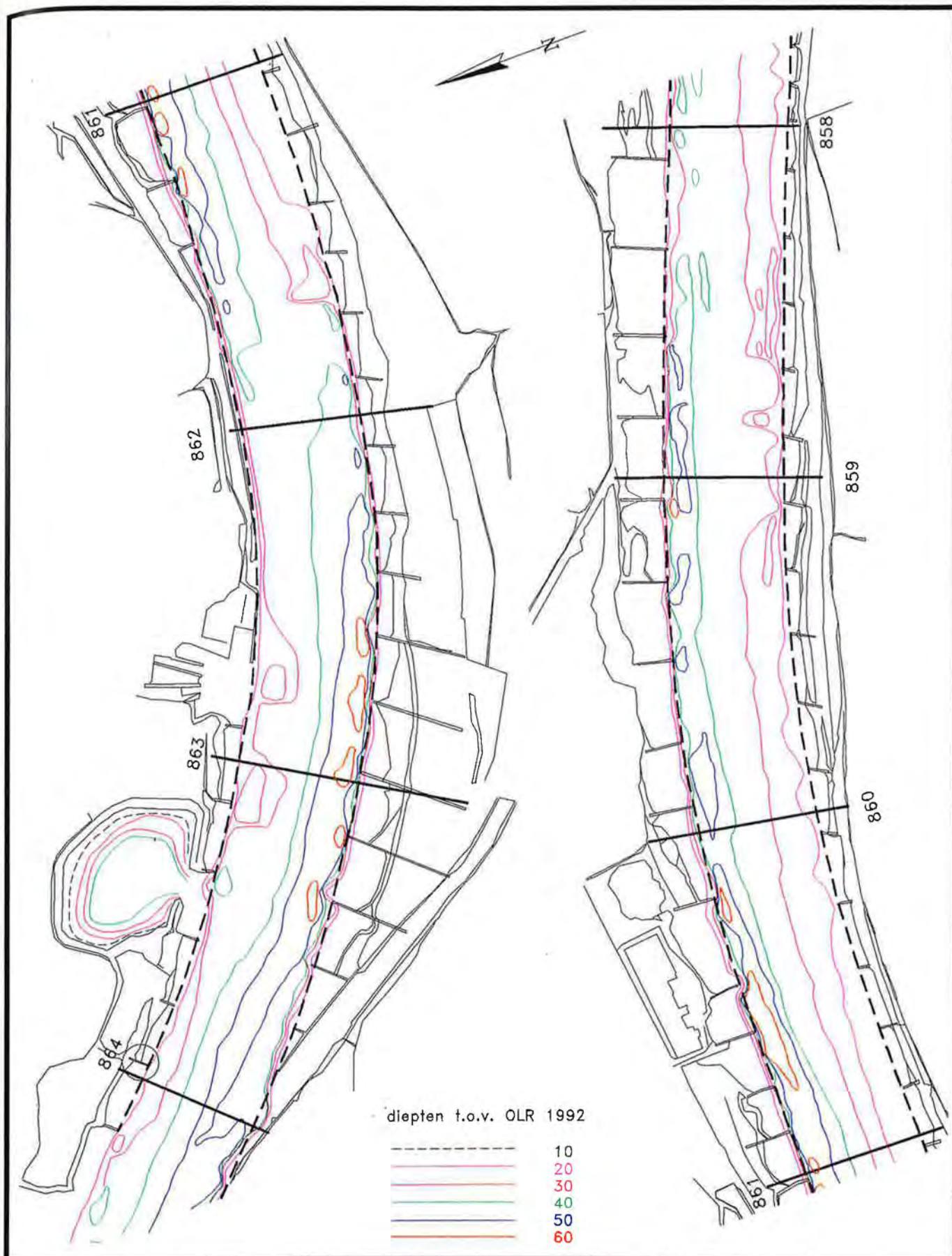


Q,H-KROMME LOBITH (KM 862.220)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 8



BODEMLIGGING BOVEN-RIJN (km 858 - 864)

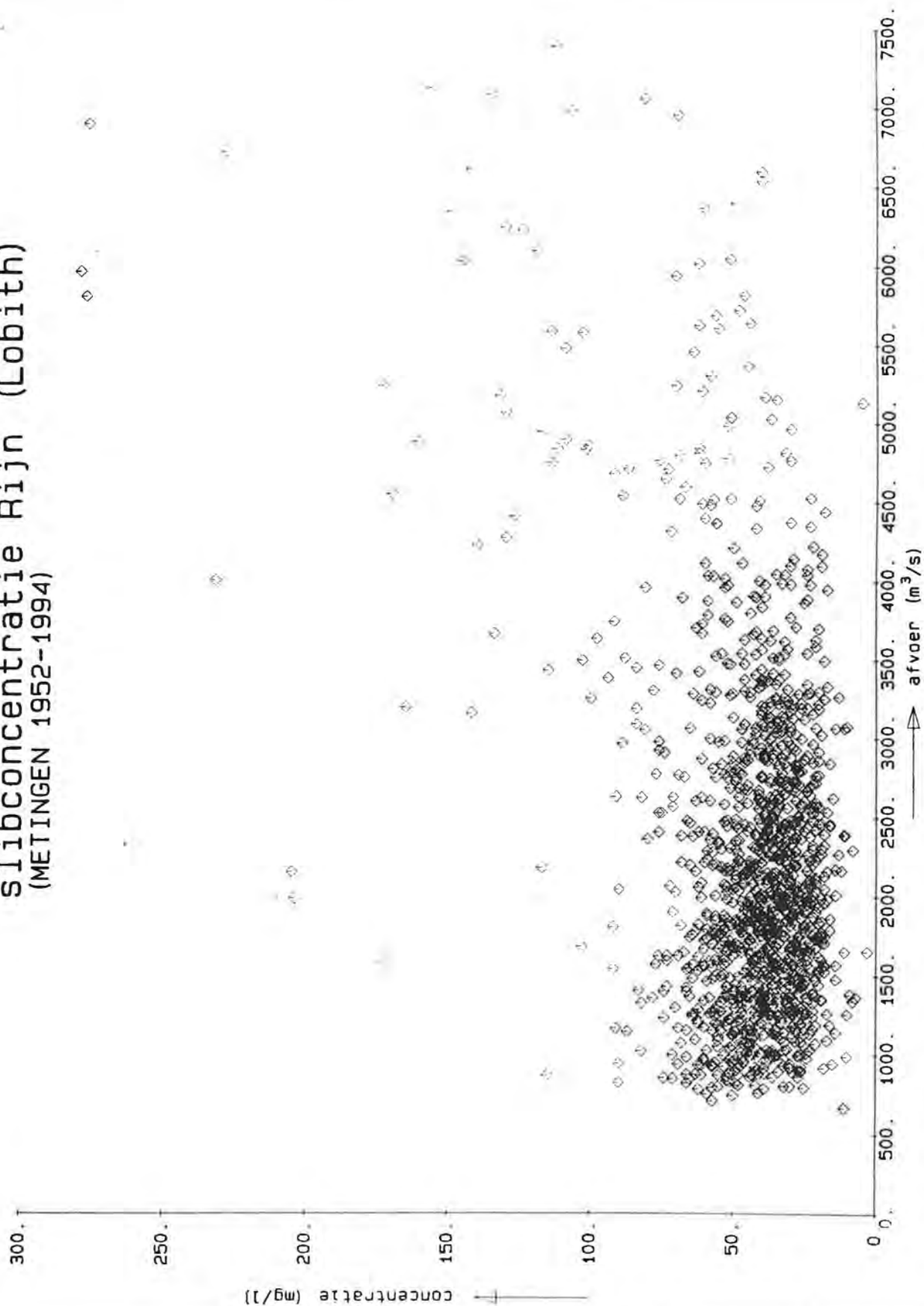
SCHAAL 1:15000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 9

slibconcentratie Rijn (Lobith) (METINGEN 1952-1994)

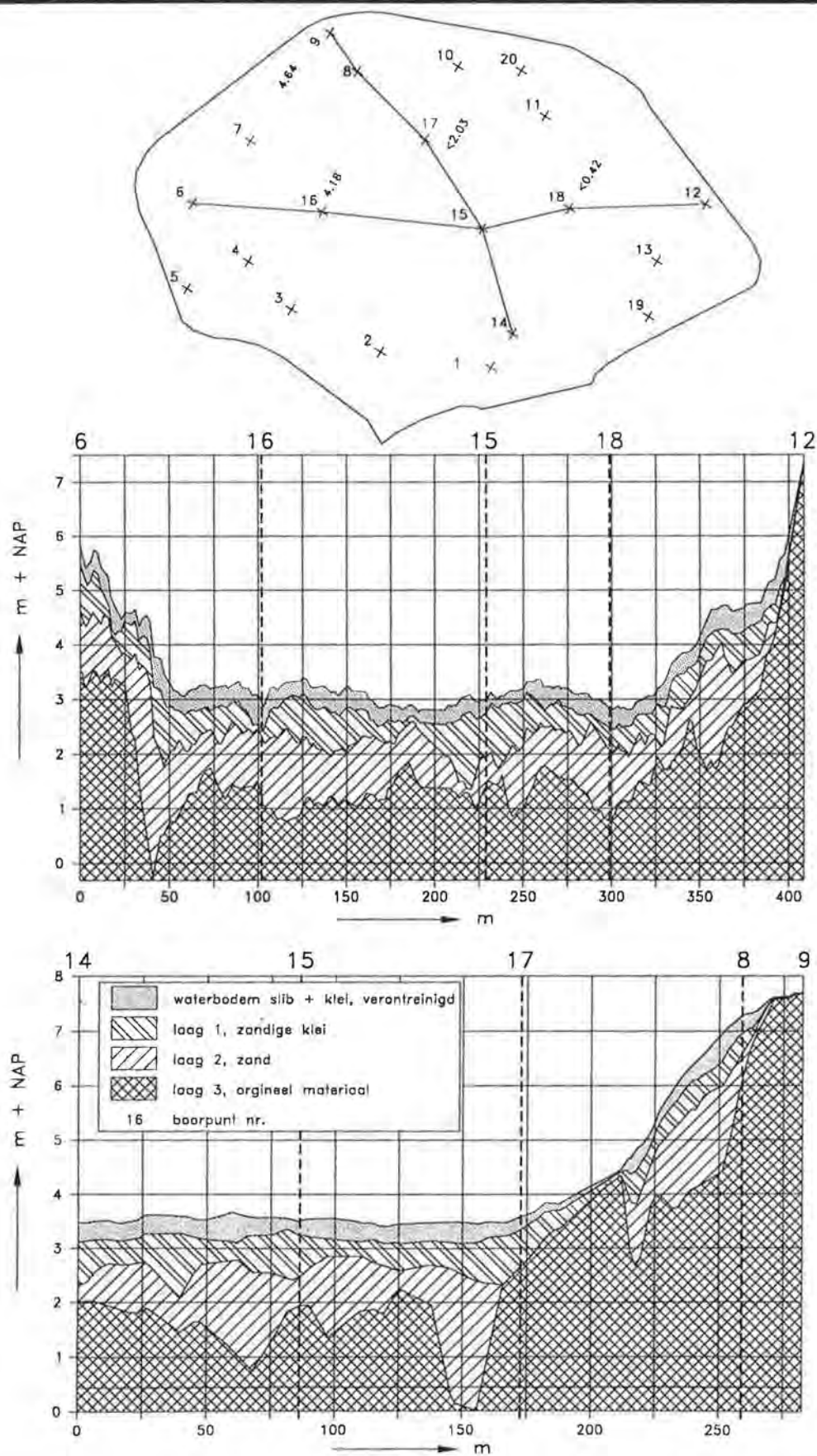


SLIBCONCENTRATIE VAN RIVIERWATER
ALS FUNCTIE VAN DE AFVOER

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 10



Bron: CSO
Adviesbureau voor
milieuonderzoek
1994

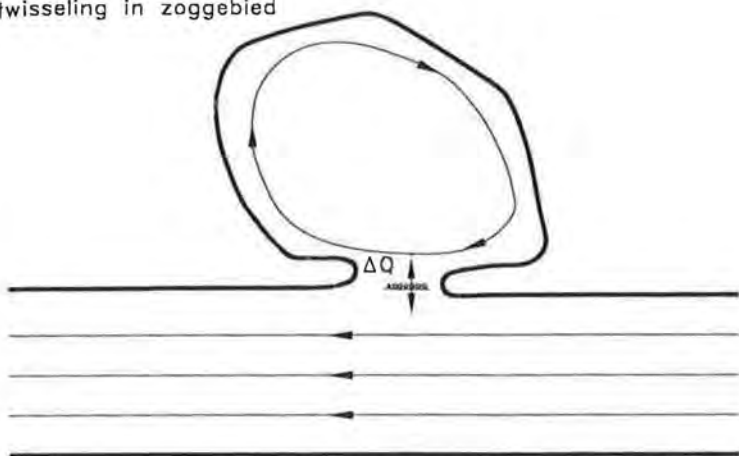
BOORPUTTEN EN DOORSNEDEN IN
UITWIJKHAVEN LOBITH

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

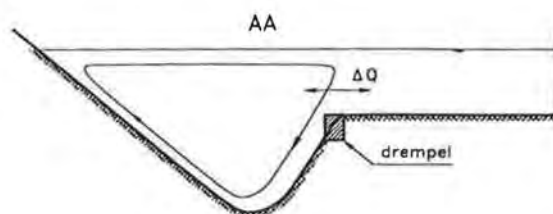
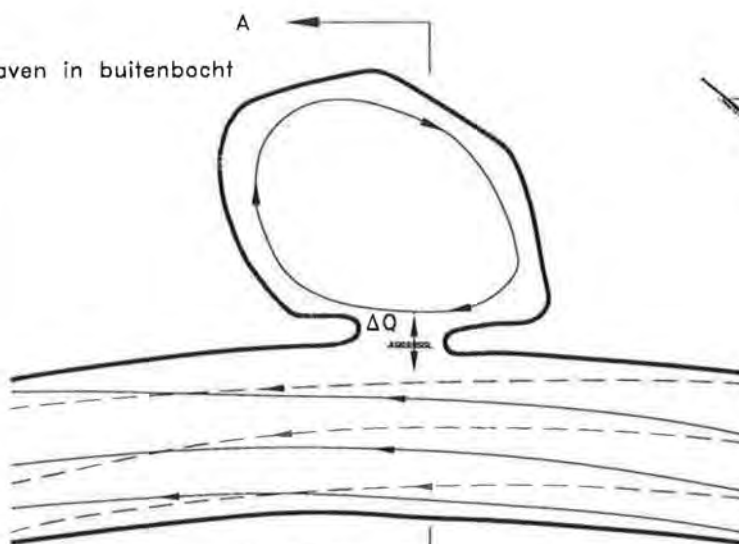
Q 1931

FIG. 11

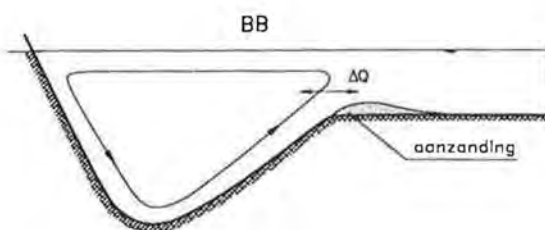
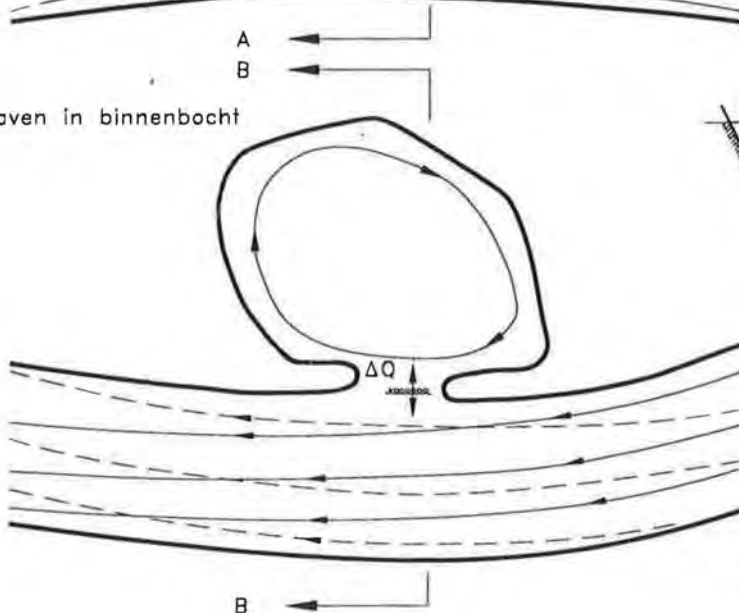
uitwisseling in zoggebied



haven in buitenbocht



haven in binnenbocht



--- stroomlijnen bodem
— stroomlijnen oppervlakte
(overdreven weergave)

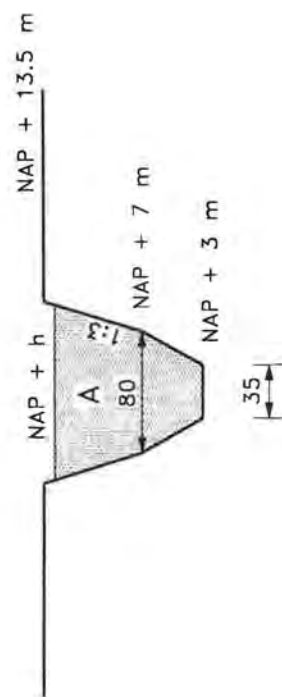
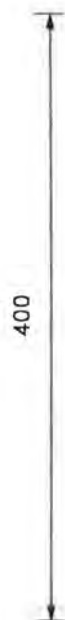
UITWISSELING TUSSEN RIVIER EN HAVEN
(PRINCIPESCHETS)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 12

peilpositie ws. (km 863.430)



$$\begin{aligned}
 A &= 35(h-3) + 5.625(h-3)^2 && \text{voor } 3 \leq h \leq 7 \\
 A &= 230 + 80(h-7) + 3.077(h-7)^2 && \text{voor } 7 \leq h \leq 13.5 \\
 A &= 880 + 400(h-13.5) && \text{voor } h > 13.5
 \end{aligned}$$

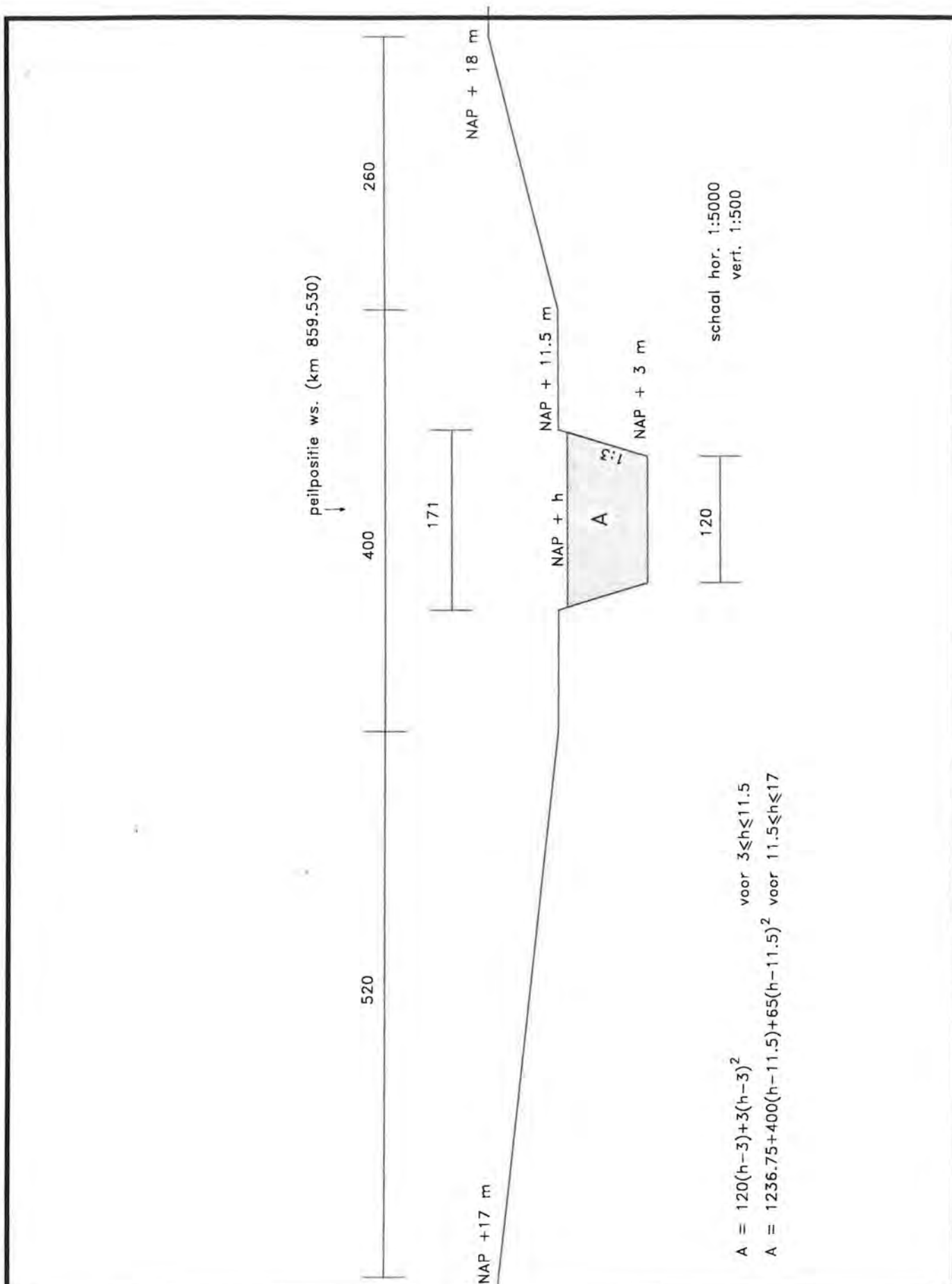
schaal hor. 1:5000
 vert. 1:500

OPPERVLAKTE VAN HAVENOPENING ALS FUNCTIE
VAN DE WATERSTAND (huidige situatie, alternatief A)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 13

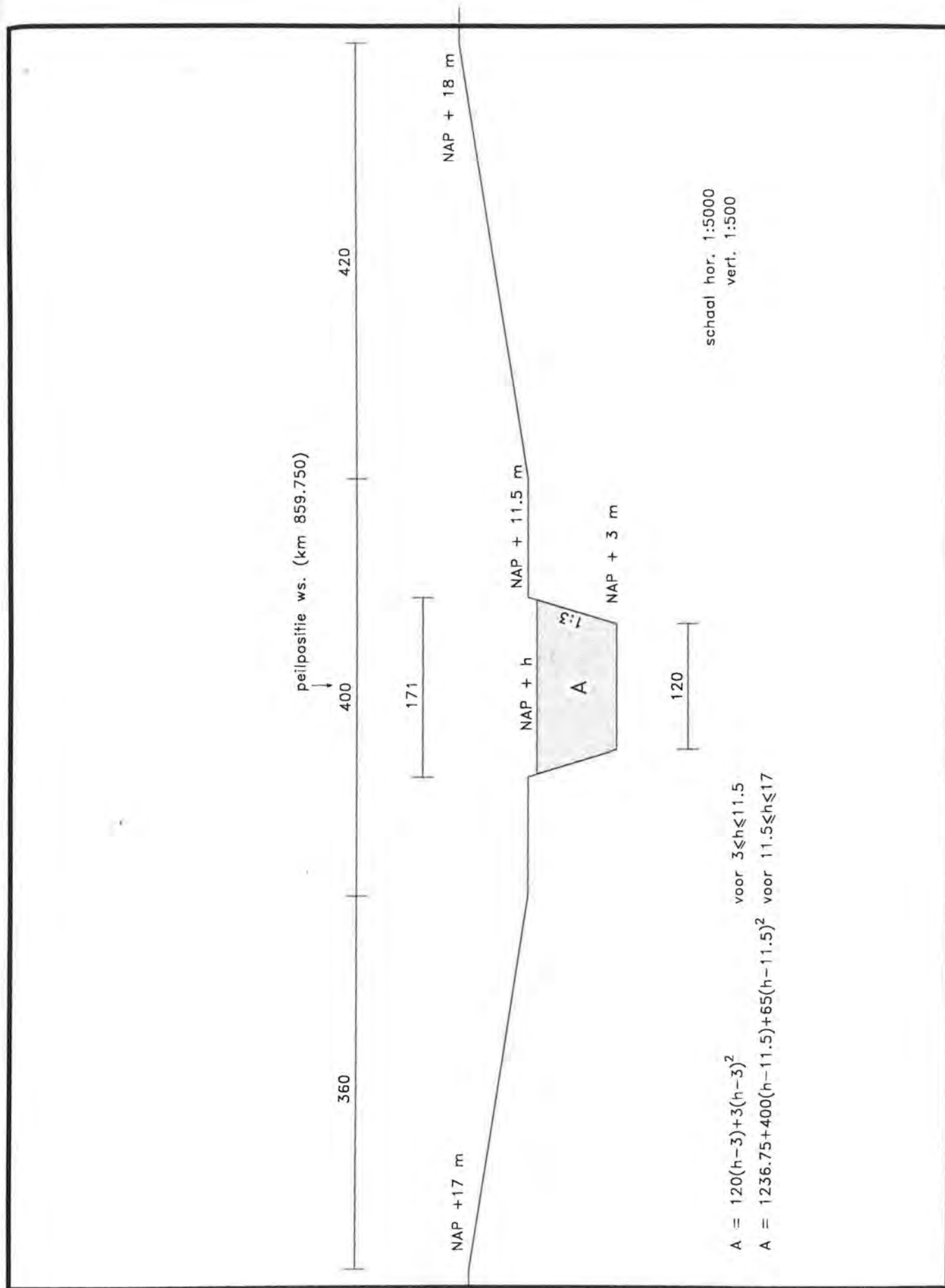


OPPERVLAKTE VAN HAVENOPENING ALS FUNCTIE
VAN DE WATERSTAND (alternatieven B1 en C)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 14

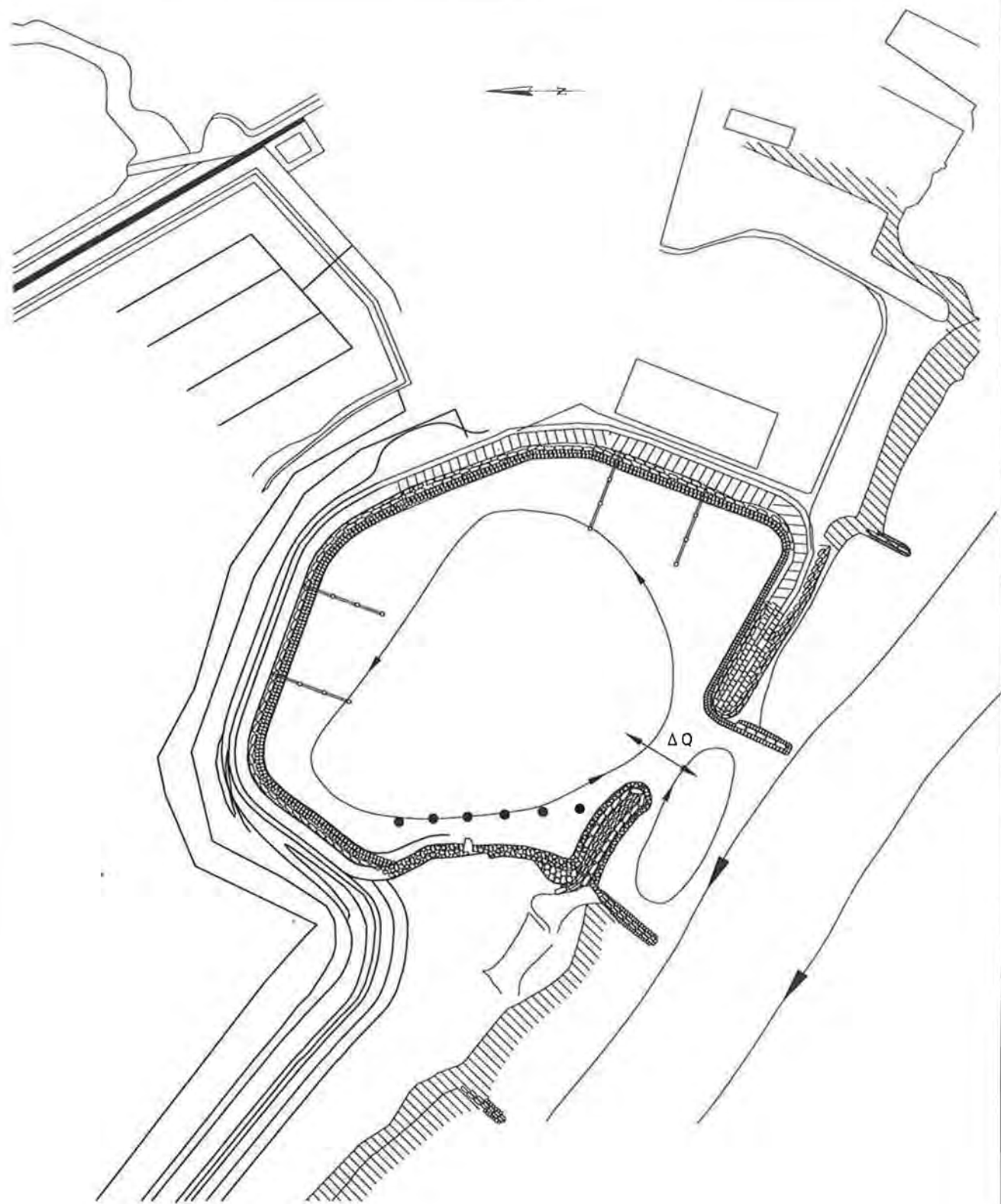


OPPERVLAKTE VAN HAVENOPENING ALS FUNCTIE
VAN DE WATERSTAND (alternatief B2)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 15



STROOMBEELD BIJ MONDING UITWIJKHAVEN LOBITH

SCHAAL 1 : 5000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Q 1931

FIG. 16



hoofdkantoor
 Rotterdamseweg 185
 postbus 177
 2600 MH Delft
 telefoon (015) 56 93 53
 telefax (015) 61 96 74
 telex 38176 hydel-nl

locatie 'De Voorst'
 Voorsterweg 28, Marknesse
 postbus 152
 8300 AD Emmeloord
 telefoon (05274) 29 22
 telefax (05274) 35 73
 telex 42290 hylvo-nl

