



waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

dwarsstroomhinder bij de uitmonding van de
Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak

verslag onderzoek

R 1889

juli 1983

**dwarsstroomhinder bij de uitmonding van de
Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak**

verslag onderzoek

R 1889

juli 1983

INHOUD

	blz.
1. <u>Inleiding en samenvatting</u>	1
1.1 Opdracht.....	1
1.2 Probleemstelling.....	1
1.3 Samenvatting van het onderzoek.....	2
1.4 Konklusies en aanbevelingen.....	2
2. <u>Randvoorwaarden</u>	4
2.1 Stroomkondities.....	4
2.2 Schepen.....	4
3. <u>Opzet en uitvoering van het onderzoek</u>	5
3.1 Stroombeeldonderzoek.....	5
3.2 Berekenen scheepsmanoeuvres.....	6
3.2.1 Wiskundig model.....	6
3.2.2 Relatie met prototype.....	9
3.3 Criteria voor het vaststellen van verkeersbegeleiding.....	12
3.4 Bepalen wacht- en reistijden.....	14
4. <u>Resultaten</u>	19
4.1 Stroombeeld.....	19
4.2 Scheepsmanoeuvres.....	19
4.3 Verkeersbegeleiding.....	22
4.4 Wacht- en reistijden.....	24
4.5 Nauwkeurigheid.....	25

LITERATUUR

TABELLEN

- 1 Scheepsafmetingen
- 2 Verkeersregeling Markiezaat bij de hier toegepaste normen
- 3 Toegepaste verkeersregeling Markiezaat
- 4 Scheepsaanbod
- 5 Snelheidsverdeling
- 6 Windsnelheidsverdeling
- 7 Invloed baankeuze op vaarbaanbreedte
- 8 Invloed stroombeeld informatie op vaarbaanbreedte
- 9 Invloed windrichting op vaarbaanbreedte
- 10 Invloed windsnelheid op vaarbaanbreedte
- 11 Invloed sloopssnelheid op vaarbaanbreedte
- 12 Invloed stroombeeld op vaarbaanbreedte
- 13 Berekende baanbreedtes voor de maatgevende situaties
- 14 Berekende relatie baanbreedte-stroomsnelheid
- 15 Maximale stroomsnelheden waarbij verkeerssituaties nog mogelijk zijn
- 16 Verkeersregeling

FIGUREN

- 1 Blokdiagram wiskundig model
- 2 Coördinaten systemen
- 3 Resultaten proeven Markiezaat
- 4 Reistijdverlenging t.g.v. stroom
- 5 Stroombeelden
- 6 Manoeuvre geladen duwstel invarend max. vloed
- 7 Manoeuvre geladen duwstel uitvarend max. eb
- 8 Manoeuvre RHK-schip invarend max. vloed
- 9 Manoeuvre RHK-schip uitvarend max. eb
- 10 Invloed stroomsnelheid op vaarbaanbreedte
- 11 Vaarbanen
- 12 Stroomsnelheden gedurende de getijcyclus

FOTO'S

- 1 Oppervlakte stroombeeld tijdens maximale vloed
- 2 Oppervlakte stroombeeld tijdens maximale eb

SYMBOLEN

a	coëfficiënt stuurautomaat	(-)
a_i	coëfficiënt baanbreedte	(m)
B	scheepsbreedte	(m)
BB	vaarbaanbreedte	(m)
B_{vw}	vaarwegbreedte	(m)
b	coëfficiënt stuurautomaat	(s)
b_c	coëfficiënt baanbreedte	(-)
c	coëfficiënt stuurautomaat	(-)
c_l	coëfficiënt baanbreedte	(-)
c_i	coëfficiënt baanbreedte	(m)
d	coëfficiënt stuurautomaat	(s)
d_i	coëfficiënt baanbreedte	(s)
e	coëfficiënt stuurautomaat	(°/m)
f	coëfficiënt stuurautomaat	(°s/m)
f	frequentie van voorkomen	(-)
I_{zz}	massatraagheidsmoment schip	(kgm ²)
L	scheepslengte	(m)
m	massa schip	(kg)
N	moment	(Nm)
N_r (etc.)	manoeuvreercoëfficiënt	(kgm ²)
n	aantal (ontmoetingen)	(-)
n	toerental schroef	(s ⁻¹)
n_h	schaalfaktor hoogtematen	(-)
n_L	schaalfaktor lengtematen	(-)
n_s	totale scheepsaanbod in beide richtingen per etmaal	(-)
RT	reistijd	(hr)
r	giersnelheid	(°/s)
S	afgelegde weg	(km)
S_o	vaarwegstrek	(km)
T_G	getijperiode	(hr)
t	tijd	(hr)
t_u	uitsluitingsperiode	(hr)
t_v	vaartijd voor een bepaalde strek	(hr)
U	scheepssnelheid	(m/s), (km/hr)
U_{str}	getijstroomsnelheid	(km/hr)
U_{max}	maximale getijstroom	(km/hr)

SYMBOLLEN (vervolg)

u	voorwaartse snelheid	(m/s)
V_c	dwarsstroomsnelheid	(m/s)
v	verzetsnelheid	(m/s)
X	langskracht	(N)
X_u (etc.)	manoeuvreercoëfficiënt	(kg)
x_G	positie zwaartepunt schip	(m)
x_{roer}	positie lateraalpunt roer	(m)
Y	dwarskracht	(N)
Y_v (etc.)	manoeuvreercoëfficiënt	(kg)
Δs	vooruitkijkafstand	(m)
Δv_c	extra dwarsstroomsnelheid	(m/s)
Δy	dwarsafstand uit de baan	(m)
$\Delta \psi$	koersfout t.o.v. de baan	(°)
δ	roerhoek	(°)

suffices:

DS	duwstel
OV	overig verkeer
i, j, 1, 2	schepen of scheepsklassen of snelheidsklassen
w	wind
k	windsnelheidsklasse

DWARSSTROOMHINDER BIJ DE UITMONDING VAN DE SCHELDE-RIJNVERBINDING IN HET VOLKERAK

1. Inleiding en samenvatting

1.1 Opdracht

Bij brief WT 995 d.d. 21 april 1983 werd aan het Waterloopkundig Laboratorium een onderzoek opgedragen naar dwarsstroomhinder bij de uitmonding van de Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak.

Dit onderzoek werd in het voorjaar 1983 uitgevoerd onder leiding van ir. J.W.Koeman, die tevens het voorliggende verslag opstelde.

1.2 Probleemstelling

Wanneer de afsluiting van de Philipsdam wordt uitgesteld, zullen, ten gevolge van het getij, aanzienlijke stroomsnelheden optreden op de gehele Schelde-Rijnverbinding. Deze snelheden zullen in het algemeen langs de vaarwegas gericht zijn, en als zodanig de veiligheid van het scheepvaartverkeer nauwelijks beïnvloeden. Uit modelonderzoek blijkt echter dat bij de uitmonding van de Schelde-Rijnverbinding in het Volkerak gedurende bepaalde getijfasen aanzienlijke stroomsnelheden loodrecht op de vaarwegas zullen optreden.

Deze dwarsstroom kan de veiligheid van het scheepvaartverkeer wel beïnvloeden. Het onderzoek dient in eerste instantie na te gaan in hoeverre de veiligheid van de vaart wordt beïnvloedt. Vervolgens zullen zodanige verkeers-begeleidende maatregelen worden vastgesteld, dat de veiligheid van het scheepvaartverkeer gewaarborgd blijft.

Tenslotte zal de wachttijd worden afgeschat die ten gevolge van de voorgestelde verkeersregeling en de reistijdverlenging ten gevolge van de op de gehele Schelde-Rijnverbinding optredende stroomsnelheden zal ontstaan. Op deze wijze kan een indruk worden verkregen van de economische consequenties die het temporiseren van de afsluiting van de Philipsdam heeft voor de scheepvaart.

1.3 Samenvatting van het onderzoek

Het onderzoek was opgebouwd uit de volgende stappen:

- Bepalen van de stroombeelden gedurende de gehele getijcyclus. De gegevens zijn ontleend aan het getijmodel Oosterschelde (M 1000).
- Bepalen van de invloed van de stroombeelden op het gedrag van een aantal typen binnenschepen met behulp van het computerprogramma SHIPMA. Omdat in het programma SHIPMA de schepen door een stuurautomaat worden gestuurd, is het noodzakelijk de resultaten, met behulp van de resultaten van prototype- of simulatorproeven te corrigeren voor het verschil in gedrag tussen een menselijke bestuurder en een stuurautomaat.
Hiertoe is gebruik gemaakt van de prototypeproeven die bij het sluitgat van de Markiezaatsdam door de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat zijn uitgeoverd.
- Vervolgens is vastgesteld door welke verkeerssituaties in bepaalde fasen van het getij een vooraf als veilig gedefinieerd gedrag wordt overschreden. Deze situaties zijn gedurende die getijfasen uitgesloten en hiermee ligt de verkeersregeling vast.
- Als laatste is een schatting gemaakt van de wacht- en reistijdenverliezen die ten gevolge van de verkeersregeling en de op de Schelde-Rijnverbinding optredende stroomsnelheden zullen worden geleden.

De volgende scheepstypen zijn in het onderzoek beschouwd:

- geladen en lege duwstellen;
- klasse V - schepen;
- klasse IV - schepen.

Zowel Noord- als Zuidgaande vaart is beschouwd. Voor het lege duwstel is, naast de invloed van stroom, de invloed van wind uit twee verschillende richtingen (globaal gesproken in de stroom- en in de vaarrichting) beschouwd.

Door middel van een beperkte gevoeligheidsanalyse, is de invloed van wijzigingen in de besturing en in de vaarbaan nagegaan. Bovendien is de gevoeligheid van het scheepsgedrag voor wijzigingen in het stroombeeld onderzocht, om een indruk te krijgen van de invloed die schaaleffekten in het gemeten stroombeeld op de uitkomsten zouden kunnen hebben.

1.4 Konklusies en aanbevelingen

Op grond van het onderzoek kon worden gekonkludeerd dat:

- het aanbrengen van een onderscheid tussen klasse IV en klasse V schepen niet zinvol is;

- ontmoetingen tussen schepen tot en met klasse V gedurende alle getijfasen mogelijk zijn;
 - ontmoetingen tussen geladen uitvarende duwstellen en de overige vaart bij gemiddeld getij gedurende 2,5 uur per getijcyclus uitgesloten zijn. Bij springtij zijn deze ontmoetingen gedurende 3,0 uur per getijcyclus uitgesloten; bij doottij gedurende 1,5 uur;
 - ontmoetingen tussen geladen invarende duwstellen en de overige vaart bij gemiddeld getij gedurende 3,5 uur per getijcyclus zijn uitgesloten. Bij doottij bedraagt deze periode 3,0 uur, bij springtij 5 uur;
 - afhankelijk van de windsnelheid, het ontmoeten van leeg invarende duwstellen en de overige vaart gedurende 3,5 tot 12,5 uur per getijcyclus wordt uitgesloten; het ontmoeten van leeg uitvarende duwstellen en de overige vaart gedurende 2,5 tot 12,5 uur;
 - bij windsnelheden boven de 15 m/s het invaren van lege duwstellen, zonder overige verkeer, gedurende 3 uur per getijcyclus onmogelijk is;
 - het onderling ontmoeten van duwstellen geheel is uitgesloten.
- Bovendien is voorgesteld oploopmanoeuvres te vermijden.

Bij het opstellen van deze regeling is niet direkt rekening gehouden met de vaart op de Zuid-Vlije. Deze vaart heeft wel invloed gehad op de keuze van het traject waarover de uitgesloten verkeerssituaties gelden.

Ten gevolge van de voorgestelde verkeersregeling zal de scheepvaart wachttijden ondervinden. Op grond van de in de praktijk opgedane ervaringen zal de verkeersregeling nader worden uitgewerkt. Afhankelijk van deze uitwerking zullen de totale wachttijden, naar verwachting, tussen de 200 en 1000 uur per jaar bedragen bij het huidige verkeersaanbod.

Bovendien zal, wanneer op de Schelde-Rijnverbinding de getijstroomsnelheden zullen toenemen, het verkeer reistijdverliezen ondervinden. De totale extra reistijd per jaar voor alle schepen gezamenlijk is geschat op ca. 5500 uur.

Op grond van de resultaten is aanbevolen een simulatorstudie uit te voeren om de verkeersregeling verder aan te scherpen. Bovendien is het uitvoeren van een verkeerssimulatie nuttig geacht om te komen tot een betere schatting van de wachttijdverliezen.

2. Randvoorwaarden

2.1 Stroomkondities

Om voldoende gegevens te verkrijgen voor de opzet van een verkeersbegeleiding is het noodzakelijk het vaargedrag van de relevante schepen te voorspellen op meerdere tijdstippen gedurende de getijcyclus.

Bovendien moeten de verschillen tussen het vaargedrag bij dood-, spring- en gemiddeld tij bekend zijn.

In de beschouwde situatie bedraagt de doorstroomopening van de stormvloedkering 16.500 m². Het Slaak, het Marolle Gat en het Tholense Gat zijn afgesloten. De omkading van het Markiezaat is voltooid. Aan het sluizencomplex van de Philipsdam is een grote damaanzet aanwezig.

2.2 Schepen

Gezien de beschikbaarheid van de wiskundige manoeuvreermodellen zijn de berekeningen uitgevoerd met de volgende scheepstypen (zie tabel 1):

- geladen vierbaksduwstel, met een vermogen van 1500 kW;
 - leeg vierbaksduwstel, met hetzelfde vermogen;
 - geladen Rijn-Herne-kanaalschip (klasse IV schip) met een vermogen van 500 kW.
- De berekeningen zijn geëxtrapoleerd naar klasse V schepen.

Kleinere dan klasse IV-schepen zijn dus in het onderzoek niet beschouwd. Deels op grond van de bij de Markiezaatsdam toegepaste verkeersregeling (zie tabel 3), deels op grond van het feit dat kleinere schepen met een geringer vermogen niet beduidend beter manoeuvreren dan klasse IV-schepen wordt voorgesteld in de verkeersregeling geen onderscheid aan te brengen tussen klasse IV en kleinere schepen.

Het aanbrengen van onderscheid tussen vierbaks duwstellen enerzijds en twee-baks duwstellen en koppelverbanden anderzijds wordt op dezelfde gronden niet zinvol geacht.

3. Opzet en uitvoering van het onderzoek

3.1 Stroombeeldonderzoek

Gezien de wens het vaargedrag, en dus het stroombeeld op meerdere tijdstippen tijdens de getijcyclus te kennen, ligt het voor de hand de stroombeeldgegevens te ontleenen aan het getijmodel Oosterschelde. Hiertoe is gebruik gemaakt van de in [1] gerapporteerde metingen.

Tijdens de onderzochte situatie (T 307) was de doorstroomopening van de stormvloedkering 15.000 m^2 . Het Slaak, het Marolle Gat en het Tholense Gat waren afgesloten. De omkading van het Markiezaat was aanwezig, evenals een grote dam-aanzet aan het sluizencomplex van de Philipsdam. Het ingestelde getij was het gemiddelde getij van 11 september 1968 met, bij open Oosterschelde, te Burghsluis een getijdaling van 2,76 m en een rijzing van 2,86 m.

De stroombeelden zijn ontleend aan oppervlakte stroombeeld foto's, welke ieder half uur, gedurende de gehele getijcyclus waren gemaakt (zie foto 1 en 2). Een globale afschatting leidde tot de selectie van de stroombeelden om 18.00 uur (maximale vloed) en 11.30 uur (maximale eb) als meest extreme situaties.

Om van de oppervlakesnelheden te komen tot de over de diepgang gemiddelde snelheden, zijn deze vermenigvuldigd met een faktor 0,96. Over de vertikaal is een logarithmische snelheidsverdeling aangenomen.

Uit de metingen in het getijmodel blijkt dat, wanneer de doorstroomopening vergroot wordt van 15.000 m^2 naar de voor het huidige onderzoek van belang zijnde 16.500 m^2 , het debiet en de stroomsnelheden met ongeveer 3% toenemen. De over de diepgang gemiddelde stroomsnelheden zijn dan ook met een faktor 1,03 vermenigvuldigd.

Om van de aldus bepaalde over de diepgang gemiddelde stroomsnelheden bij gemiddeld getij te komen tot de stroomsnelheden bij dood- en springtij, moeten deze met een faktor 0,84 respectievelijk 1,12 worden vermenigvuldigd.

Omdat de samentrekking van het getijmodel (schaalfaktor voor de horizontale lengtematen $n_L = 400$, schaaftaktor voor de vertikale lengtematen $n_h = 100$) mogelijkwerwijs invloed gehad heeft op het stroombeeld rond de kop van de

noordelijke dam tijdens vloed, is de gevoeligheid van het scheepsgedrag voor wijzigingen in het stroombeeld nagegaan (zie hoofdstuk 4.2).

3.2 Berekenen scheepsmanoeuvres

3.2.1 Wiskundig model

Met het model worden de baan van een schip, de koershoeken en de roerhoeken berekend. Het is een numeriek model, dat werkt op basis van tijdstappen. De besturing wordt gerealiseerd door een baanhoudende stuurautomaat, die op de gewenste baan en op dwarsstroom anticipeert. Het schroeftoerental wordt vooraf opgegeven als functie van de afgelegde weg.

De invloed van de stroom op het scheepsgedrag wordt volgens het relatieve bewegingsconcept in rekening gebracht.

De invloed van beperkte diepte wordt impliciet in rekening gebracht, doordat de hydrodynamische coëfficiënten bij de juiste waterdiepte bepaald zijn. In figuur 1 is een blokdiagram gegeven dat de volgorde van berekeningen in een tijdstap illustreert.

In een scheepsvast assenstelsel (zie figuur 2) kunnen de bewegingsvergelijkingen als volgt geformuleerd worden:

$$m (\dot{u} - vr - x_G \dot{r}^2) = X_{romp} + X_{prop.} + X_{roer} \quad (1)$$

$$m (\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) = Y_{romp} + Y_{roer} \quad (2)$$

$$I_{ZZ} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ru) = N_{romp} + N_{roer} \quad (3)$$

waarin: m	= massa schip	(kg)
x_G	= x-coördinaat van zwaartepunt schip	(m)
I_{ZZ}	= massa traagheidsmoment	(kgm ²)
u	= voorwaartse snelheid	(m/s)
v	= driftsnelheid	(m/s)
r	= giersnelheid	(rad/s)
X	= langskracht	(N)
Y	= dwarskracht	(N)
N	= moment	(Nm)

De krachten in het linkerlid zijn de Newtonse krachten. De snelheden die in het linkerlid voorkomen zijn de snelheden ten opzichte van de bodem. De krachten in het rechterlid zijn hydrodynamische krachten. Deze krachten zijn volgens het relatieve bewegingsconcept afhankelijk van de relatieve snelheden van het water ten opzichte van het schip. Een motivatie van de vorm van de rechterleden wordt in [2] gegeven. Hier wordt volstaan met de formulering:

$$X_{\text{romp}} = X_{\dot{u}} \dot{u} + X_{uu} u^2 + X_{vr} vr \quad (4)$$

$$Y_{\text{romp}} = Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_{\dot{r}} \dot{r} + Y_{uv} uv + Y_{vv} v|v| + Y_{ur} ur + Y_{rr} r|r| \quad (5)$$

$$N_{\text{romp}} = N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_{uv} uv + N_{vv} v|v| + N_{ur} ur + N_{rr} r|r| \quad (6)$$

$$X_{\text{roer}} = X_{\delta\delta uu} \delta^2 u^2 + X_{\delta\delta un} \delta^2 un + X_{\delta\delta nn} \delta^2 n^2 \quad (7)$$

$$Y_{\text{roer}} = Y_{\delta uu} \delta u^2 + Y_{\delta un} \delta un + Y_{\delta nn} \delta n^2 \quad (8)$$

$$N_{\text{roer}} = Y_{\text{roer}} * x_{\text{roer}} \quad (9)$$

$$X_{\text{prop.}} = X_{nn} n^2 + X_{nu} nu \quad (10)$$

waarin: $X_{\dot{u}}$ = coëfficiënt = $\frac{\text{kracht}}{\dot{u}}$ (enzovoort)
 δ = roerhoek (rad)
 n = schroeftoerental (m/s)
 x_{roer} = positie lateraalpunt roer (m)

De toegepaste stuurautomaat "kijkt" een afstand Δs vooruit en bepaalt de raaklijn aan de gewenste baan in dat punt. De afstand van het zwaartepunt van het schip tot deze raaklijn zij Δy en het verschil van de richting van de resulterende snelheid van het schip en de richting van de raaklijn zij $\Delta\psi$ (zie figuur 2). Het verschil in dwarsstroom in het bovengenoemde punt en op de huidige positie zij Δv_c . Dan luidt de formulering van de stuurautomaat:

$$a\delta + b\dot{\delta} = c\Delta\psi + d\dot{r} + e\Delta y + f\Delta v_c, \quad (11)$$

waarin a, b, c, d, e en f coëfficiënten zijn van de stuurautomaat.

Deze coëfficiënten worden bepaald, uitgaande van de veronderstelling dat de "bestuurder" van een schip beschikt over globale kennis van de scheepskarakteristieken.

Op basis van (11) wordt de gewenste roerhoek bepaald. Overigens worden de roerhoek en de roerlegsnelheid begrensd door respectievelijk $\delta_{\max}$ en $\dot{\delta}_{\max}$.

Met behulp van dit model wordt nu voor iedere onderzochte situatie de baanbreedte, het verschil tussen de maximale en de minimale uitwijking van enig punt van het schip tot de gewenste baan, bepaald.

Het bovenomschreven manoeuvreermodel is beschikbaar voor een leeg en een geladen vierbaksduwstel en voor een geladen RHK-schip. Op grond van de resultaten van het TOW-onderzoek "Schepen in dwarsstroom" [3] wordt het toelaatbaar geacht de resultaten van het RHK- (klasse IV) schip op de volgende wijze te extrapoleren naar klasse V schepen:

Voor een gegeven vorm van het stroombeeld voldoet, binnen zekere grenzen, de baanbreedte aan de volgende relatie:

$$\frac{BB_{\text{ber}}}{L} = c_1 \cdot \frac{V_c}{U} + \frac{B}{L} \quad (12)$$

met: BB_{ber}	= berekende baanbreedte	(m)
L	= scheepslengte	(m)
c_1	= coëfficiënt	(-)
V_c	= stroomsnelheid in een referentiepunt	(m/s)
U	= scheepssnelheid	(m/s)
B	= scheepsbreedte	(m)

De coëfficiënt c_1 is berekend uit de resultaten van het klasse IV schip.

Met behulp van (12) is dus voor een gegeven stroombeeld een schatting te maken van de door een klasse V schip in beslag genomen vaarbaanbreedte.

3.2.2 Relatie met prototype

Tussen de met het wiskundig model berekende en de in het prototype optredende baanbreedtes zullen verschillen optreden door:

- verschil tussen het in het getijmodel gemeten en het actuele stroombeeld;
- schematisaties die bij het opzetten van het manoeuvreermodel zijn toegepast (relatieve bewegingsconcept);
- variatie in manoeuvreergedrag en vermogen binnen een scheepsklasse;
- verschil in stuurbedrag tussen stuurautomaat en een, willekeurige, schipper.

Gezien de spreiding die nu eenmaal inherent is aan menselijk gedrag, mag worden verwacht dat de laatstgenoemde invloed de belangrijkste is.

Om een vertaling te maken van de rekenresultaten naar het prototype, is gebruik gemaakt van de prototypemetingen die door de Hoofdafdeling Scheepvaart van de Dienst Verkeerskunde van de Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd nabij het sluitgat van de omkading van het Markiezaat. Tijdens deze metingen werden o.a. de volgende grootheden vastgelegd:

- baanbreedte
- stroomsnelheid.

Voor de schepen van klasse IV en groter zijn deze grootheden in figuur 3 tegen elkaar uitgezet.

Bovendien zijn in deze figuur de resultaten uitgezet van de manoeuvreerberekeningen die voor deze situatie zijn uitgevoerd [4]. De resultaten voor klasse V schepen zijn door extrapolatie uit die voor klasse IV schepen afgeleid (zie hoofdstuk 3.2.1).

Bij het beschouwen van de figuur valt allereerst de grote spreiding op ten gevolge van waarschijnlijk enerzijds de verschillen in besturing en anderzijds de verschillen in overige randvoorwaarden (overig verkeer, wind etc.). Ten tweede valt op dat de kleinere schepen bij lage stroomsnelheden vrijwel evenveel baanbreedte in beslag nemen als de grotere. Een verklaring hiervoor kan gevonden worden in het ook in [3] vermelde verschijnsel dat, wanneer de vaarweg relatief breed is (ten opzichte van de scheepsafmetingen), men met een geringer attentie-niveau stuurt waardoor de in beslag genomen vaarbaanbreedte relatief groot wordt.

Als laatste valt het verschil tussen model- en prototypere resultaten op. De stuurautomaat stuurt duidelijk beter dan de prototype schipper. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat de stuurautomaat beschikt over veel betere informatie met betrekking tot het te verwachten stroombeeld dan de schipper.

Met behulp van lineaire regressie-analyse zijn voor de relatie tussen stroomsnelheid en prototype baanbreedte de volgende uitdrukkingen verkregen:

scheepsklasse	verband prototype baanbreedte-stroomsnelheid
IV	$BB_{prot} = 33,9 + 22,4 \cdot V_c$ (13)
V	$BB_{prot} = 31,1 + 28,3 \cdot V_c$ (14)
VII	$BB_{prot} = 40,0 + 83,0 \cdot V_c$ (15)

Uit de resultaten van de manoeuvreberekeningen zijn de volgende relaties af te leiden

scheepsklasse	verband berekende baanbreedte-stroomsnelheid
IV	$BB_{ber} = 9,5 + 17 \cdot V_c$ (16)
V	$BB_{ber} = 11,5 + 22 \cdot V_c$ (17)
VII	$BB_{ber} = 22,8 + 55 \cdot V_c$ (18)

Kombinatie van (13) - (15) met (16) - (18) leert dat de berekende baanbreedtes als volgt in prototype baanbreedtes te vertalen zijn:

scheepsklasse	verband prototype/ berekende baanbreedte
IV	$BB_{prot} = 1,32 BB_{ber} + 21,4$ (19)
V	$BB_{prot} = 1,29 BB_{ber} + 16,3$ (20)
VII	$BB_{prot} = 1,51 BB_{ber} + 5,6$ (21)

In eerste instantie is uitsluitend uitgegaan van de door de DVK geselecteerde prototype resultaten.

Wanneer alle (en dus niet uitsluitend de geselecteerde) beschikbare prototype meetresultaten in de beschouwing worden betrokken, luidt de uitkomst van de lineaire regressie analyse:

scheepsklasse	verband prototype baanbreedte-stroomsnelheid
VII	$BB_{prot} = 40 + 83 \cdot V_c$ (22)
V	$BB_{prot} = 37 + 25,6 \cdot V_c$ (23)
IV	$BB_{prot} = 47 + 21,9 \cdot V_c$ (24)

De lineaire regressie analyse geeft een verband tussen de stroomsnelheid en de gemiddelde vaarbaanbreedte. Voor ontwerpdoeleinden wordt echter vaak niet volstaan met een gemiddelde maar werkt men liever met een grootte die slechts een kleine (zeg 10%) kans van overschrijden heeft. Met behulp van de resultaten van de regressie analyse is ook het verband tussen de "90%-baanbreedte" en de stroomsnelheid aan te geven:

scheepsklasse	verband "90%-baanbreedte"-stroomsnelheid
VII	$BB_{prot90} = 40 + 83 \cdot V_c$ (25)
V	$BB_{prot90} = 69 + 25,6 \cdot V_c$ (26)
IV	$BB_{prot90} = 76 + 21,9 \cdot V_c$ (27)

Kombinatie van (16) - (18) met respectievelijk (22) - (24) en (25) - (27) leidt tot:

scheepsklasse	verband prototype baanbreedte-berekende baanbreedte
VII	$BB_{prot} = 1,51 BB_{ber} + 5,6$ (28)
	$BB_{prot90} = 1,51 BB_{ber} + 5,6$ (29)
V	$BB_{prot} = 1,22 BB_{ber} + 24$ (30)
	$BB_{prot90} = 1,22 BB_{ber} + 66$ (31)
IV	$BB_{prot} = 1,31 BB_{ber} + 35$ (32)
	$BB_{prot90} = 1,31 BB_{ber} + 62$ (33)

Voor klasse VII schepen is, in verband met het geringe aantal beschikbare meetpunten geen onderscheid in gemiddelde of 90% baanbreedte aan te brengen.

Op de marges die door het hanteren van de diverse "vertalingen" naar het prototype worden geïntroduceerd en de uiteindelijk voor het onderzoek toegepaste formulering wordt in hoofdstuk 3.3 ingegaan.

3.3 Kriteria voor het vaststellen van verkeersbegeleiding

Om te kunnen beoordelen of een verkeerssituatie acceptabel is, moet de in beslag genomen vaarbaanbreedte worden omgerekend tot de benodigde vaarwegbreedte. Hierbij worden, uit veiligheidsoverwegingen, de volgende "clearances" gehanteerd:

- kleinste afstand tussen schip en oever: één maal de scheepsbreedte;
- kleinste afstand tussen twee elkaar ontmoetende schepen: één maal de breedte van het grootste schip.

De benodigde vaarwegbreedte wordt dus:

$$\text{- voor éénstrooksverkeer } BB_{\text{prot}} + 2B \quad (34)$$

$$\text{- voor tweestrooksverkeer } BB_{\text{prot}_1} + BB_{\text{prot}_2} + 2B_1 + B_2; \quad (35)$$

waarbij: BB_{prot} = vaarbaanbreedte (m)

B = scheepsbreedte (m)

De suffices 1 en 2 verwijzen naar de 2 schepen die bij de ontmoeting zijn betrokken. Schip 1 is in dit geval het grootste schip.

Een indruk van de veiligheden die op deze wijze zijn geïntroduceerd, kan worden verkregen door de benodigde vaarwegbreedte te vergelijken met de in [5] gegeven normen. Voor klasse IV-schepen wordt daar gesteld dat een vaarweg waarin de schepen elkaar zonder vaart te minderen kunnen ontmoeten zeker 4,4 maal de scheepsbreedte breed zou moeten zijn. Indien we uit de in hoofdstuk 3.2.2 gepresenteerde formule (14) afleiden dat de vaarbaanbreedte BB_{prot} voor een klasse IV schip 32 is in een situatie zonder stroom dan volgt uit (35) een benodigde vaarwegbreedte van 92,5 m of 9,7 maal de scheepsbreedte. Vergeleken met de norm wordt dus een veiligheid van een faktor groter dan 2 gehanteerd. Wanneer bij de vertaling naar het prototype gebruik wordt gemaakt van alle beschikbare meetgegevens (formules (22) - (24)) of de "90% baanbreedte" (formules (25) - (27)) blijkt voor de stroomloze situatie een vaarwegbreedte van 12,9 respektievelijk 19 maal de scheepsbreedte of 123 m respektievelijk 180 m benodigd te zijn.

Hoewel wordt onderkend dat de norm is opgesteld voor vaarwegen zonder langsstroom en als zodanig de breedte voor vaarwegen met langsstroom onderschat, ontstaat toch de indruk dat bij het hanteren van de bovenvermelde clearances een voldoende veiligheid is ingebouwd. Zeker wanneer we ons realiseren dat op de Waal (met een normaalbreedte van 200 m) zeker 4-strooksverkeer van klasse IV schepen mogelijk is.

Op grond van een vergelijking van de aldus bepaalde benodigde vaarwegbreedte met de beschikbare vaarwegbreedte zal worden bepaald of een situatie acceptabel is.

Een indruk van de betrouwbaarheid van de gehanteerde methode bij het vaststellen van een verkeersregeling in dwarsstroomsituaties kan op de volgende wijze worden verkregen:

Uitgaande van de berekende baanbreedtes bij het stroomgat in de Markiezaatsdam is vastgesteld wat, op grond van de hier gehanteerde vertaling naar het prototype en de gehanteerde clearances, de verkeersregeling geweest zou zijn. Tabel 2 geeft een overzicht van het resultaat.

Vergelijking met de uiteindelijk gehanteerde verkeersregeling (zie tabel 3) leert dat:

- Het hanteren van de "90% baanbreedte" tot onrealistische uitkomsten leidt. Tweestrooksverkeer is nooit mogelijk. Deze konklusie bevestigt het vermoeden dat tijdens de prototypevaarten overige factoren (het verleggen van de gewenste baan in verband met overige scheepvaart b.v.) een grote invloed op de resultaten heeft gehad.
- Het gebruik maken van alle resultaten van de prototypeproeven leidt tot een hele lage schatting van de snelheden waarbij éénrichtingsverkeer wordt ingesteld.
- Het uitsluitend gebruik maken van de resultaten van de geselecteerde prototypeproeven tot nog steeds lage en dus veilige schattingen van de toegestane stroomsnelheden voor ontmoetingssituaties en tot juiste schattingen voor de toegestane stroomsnelheden voor éénstrooksverkeer voor duwstellen leidt.

Op grond hiervan is besloten voor de vertaling naar het prototype uitsluitend de resultaten van de tweede serie prototypeproeven te gebruiken en dus uit te gaan van de formules (19) - (21).

Overigens kan worden vastgesteld dat de prototypeproeven waarschijnlijk te veel door overige factoren beïnvloed zijn geweest om een optimale verkeersregeling mogelijk te maken. Het uitvoeren van een simulatoronderzoek zou de mogelijkheid kunnen bieden het uiteindelijk vast te stellen verkeersregelingssysteem bij te scherpen.

Uitgaande van het idee dat een verkeersregeling het eenvoudigst hanteerbaar is wanneer deze wordt gekombineerd met de stroomsnelheidsmetingen in een referen-

tiepunt, dient de regeling gepresenteerd te worden in de vorm van maximale stroomsnelheden waarbij bepaalde verkeerssituaties nog mogelijk zijn.

Wanneer we op grond van het voorgaande stellen dat voor een schip i de baanbreedte wordt beschreven door:

$$BB_{prot,i} = a_i + b_i BB_{ber,i} \quad (36)$$

en dat de berekende baanbreedte voldoet aan:

$$BB_{ber,i} = c_i + d_i \cdot V_c \quad (37)$$

dan is, na introductie van de eerder beschreven "clearances" de volgende relatie af te leiden voor de maximale stroomsnelheid $V_{c,i,j}$, waarbij een ontmoeting tussen de schepen i en j nog kan plaatsvinden:

$$V_{c,i,j} = \frac{B_{vw} - a_i - a_j - b_i c_i - b_j c_j - 2B_i - B_j}{b_i d_i + b_j d_j}$$

Hierbij is B_{vw} de beschikbare vaarwegbreedte. Bij het bepalen van deze breedte is voor situaties met invarende duwstellen uitgegaan van een bodembreedte van 140 m en taluds 1:4.

Voor situaties met uitvarende duwstellen is uitgegaan van een bodembreedte van 180 m en taluds 1:4. De breedte in het kielvlak van de diepstekende schepen (3,65 m onder de waterspiegel) is hierbij als maatgevend aangenomen.

3.4 Bepalen wacht- en reistijden

Bij het vaststellen van de wacht- en reistijdverliezen is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- huidig scheepsaanbod volgens [6], hetgeen neerkomt op 143,25 schepen per dag voor beide richtingen samen (zie tabel 4);
- de verdeling van de vaarsnelheden is ontleend aan de prototypemetingen die door de Dienst Verkeerskunde zijn uitgevoerd bij de Markiezaatsdam en is weergegeven in tabel 5;
- de verdeling van windsnelheden is ontleend aan de klimaatatlas voor Nederland voor het meetstation Vlissingen en is weergegeven in tabel 6.

Aangenomen is verder dat:

- 50% van de duwstellen geladen is;
- het scheepsaanbod gelijkmatig over beide vaarrichtingen is verdeeld;
- de stroomsnelheden in langsrichting op de Schelde-Rijn-verbinding gedurende de getijcyclus voldoen aan de volgende relatie:

$$U_{str} = U_{max} \cdot \sin \frac{2\pi t}{T_G} \quad (39)$$

waarin: U_{str} = momentane stroomsnelheid

U_{max} = maximale stroomsnelheid

t = tijd

T_G = getijperiode;

- de maximale langsstroomsnelheid over de gehele lengte van de vaarweg 1,25 m/s bedraagt.

Hoewel wordt onderkend dat met name de vaarsnelheidsverdeling op gegevens is gebaseerd die ten behoeve van een ander doel gemeten zijn en dat de aannames een geschematiseerd beeld van de werkelijkheid geven, mag worden verondersteld dat op deze wijze een ordegrrootte van de te verwachten wacht- en reistijd-verliezen kan worden afgeschat.

Bij het bepalen van de wachttijdverliezen zijn twee benaderingen uitgewerkt. In de eerste benadering is uitgegaan van het idee dat voor een individueel schip de kans op een uitgesloten ontmoeting klein is. De tweede benadering gaat uit van de veronderstelling dat deze kans groot is.

Om de wachttijdverliezen te kunnen berekenen, wordt in eerste instantie het aantal ontmoetingen bepaald dat plaatsvindt op het gedeelte van de vaarweg waarover de verkeersbegeleiding geldt. Bij een gemiddelde scheepssnelheid van $\bar{U}$ km/hr is de verblijfstijd t_v uur op een vaarwegstrek S_o :

$$t_v = \frac{S_o}{\bar{U}} \quad (40)$$

Het aantal ontmoetingen dat één schip in die periode heeft is:

$$n_o = \frac{t_v}{24} \cdot \frac{(n_s - 1)}{2} = \frac{1}{48} \cdot \frac{(n_s - 1) S_o}{\bar{U}} \quad (41)$$

met:

n_o = aantal ontmoetingen per schip op de vaarwegstrek S_o

n_s = totale scheepsaanbod in beide richtingen per etmaal.

Het totale aantal ontmoetingen op de strek S_o is dus per etmaal gemiddeld:

$$n_{ot} = \frac{1}{96} \cdot \frac{(n_s - 1) n_s S_o}{\bar{U}} \quad (42)$$

Wanneer nu scheepsklasse 1 een frequentie van voorkomen f_1 heeft en scheepsklasse 2 een frequentie f_2 , dan komt een ontmoeting van een klasse 1 en een klasse 2 schip op de beschouwde trek per etmaal gemiddeld

$$n_{01,2t} = \frac{1}{96} f_1 f_2 \cdot \frac{(n_s - 1) n_s \cdot S_o}{\bar{U}} \quad (43)$$

voor.

Wordt deze ontmoeting gedurende t_u uur per getijcyclus uitgesloten, dan is het aantal malen dat er per etmaal moet worden gewacht:

$$n_{w1,2} = \frac{t_u}{T_G} \cdot \frac{1}{96} f_1 f_2 \frac{(n_s - 1) n_s \cdot S_o}{\bar{U}} \quad (44)$$

Gemiddeld zal de wachtperiode circa $\frac{S_o}{\bar{U}}$ duren, zodat de gemiddelde wachttijd per etmaal tengevolge van het uitsluiten van de ontmoeting tussen schip 1 en schip 2 over de strek S_o gedurende t_u uur per getijcyclus gelijk is aan:

$$WT = \frac{1}{96} \cdot \frac{t_u}{T_G} \cdot f_1 \cdot f_2 \left(\frac{S_o}{\bar{U}} \right)^2 \cdot (n_s - 1) \cdot n_s \quad (45)$$

geldt bovendien nog dat het ontmoetingsverbod is opgelegd bij windsnelheden boven een bepaalde waarde, dan wordt de wachttijd per etmaal:

$$WT = \frac{1}{96} \cdot \frac{t_u}{T_G} \cdot f_w \cdot f_1 \cdot f_2 \left(\frac{S_o}{\bar{U}} \right)^2 \cdot (n_s - 1) \cdot n_s \quad (46)$$

met f_w = frequentie van voorkomen van toegestane windsnelheid

Totaal wordt nu het wachttijdverlies per jaar:

$$WT = \frac{365}{96} \sum_{k=1}^p \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{wK} \cdot f_i \cdot f_j \cdot \frac{t_{uij}}{T_G} \left(\frac{S_o}{\bar{U}} \right)^2 \cdot (n_s - 1) \cdot n_s \quad (47)$$

met f_{wK} = frequentie van voorkomen van windsnelheidsklasse K

f_i = frequentie van voorkomen van scheepsklasse i

f_j = frequentie van voorkomen van scheepsklasse j

$t_{ui,j}$ = tijd per getijcyclus gedurende welke ontmoeten van schip i en schip j is uitgesloten.

Hierbij zijn de uitgesloten éénstrooksvaarten voor lege duwstellen inbegrepen door voor die gevallen met een frequentie van voorkomen gelijk aan 1 te rekenen voor het tegemoetkomend verkeer.

Terwille van de eenvoud is de windrichting buiten beschouwing gelaten.

Bovenstaande afleiding geldt voor die situaties waarin voor een individueel schip de kans op een uitgesloten ontmoeting vrij klein is.

Bij het gegeven verkeersaanbod is de kans dat een willekeurig schip een duwstel ontmoet op de beschouwde strek:

$$\text{Pr}[\text{DS}] = \frac{1}{48} \cdot f_{\text{DS}} \cdot \frac{(n_s - 1) S_o}{\bar{U}} \quad (48)$$

met f_{DS} = frequentie van voorkomen van een duwstel

nemen we, vooruitlopend op hoofdstuk 4.3, aan dat $S_o = 3,5$ km en, op grond van tabel 5, dat $\bar{U} = 13,5$ km/h dan is deze kans 4,3%.

De verwachting van het aantal schepen, dat een duwstel ontmoet is echter

$$\bar{n}_{\text{OV}} = \frac{1}{48} \cdot f_{\text{OV}} \cdot \frac{(n_s - 1) S_o}{\bar{U}} \quad (49)$$

met f_{OV} = frequentie van voorkomen van overige scheepvaart = 1;

zodat deze verwachting gelijk wordt aan 0,77 en zelfs 1,01 schip bij toename van het verkeersaanbod. Met andere woorden, een duwstel zal bijna altijd een ander schip op de beschouwde trek ontmoeten. Dit houdt in dat in het merendeel van de gevallen een duwstel tot het eind van de uitgesloten getijcyclus zal moeten wachten. Onderkend wordt dat deze benadering geen rekening houdt met het feit dat de overige vaart, komende uit de Kreekrak- of Volkeraksluizen, niet uniform verdeeld maar in groepjes aankomt. Tussen deze groepjes zou voldoende tijd aanwezig kunnen zijn voor het duwstel om op te varen. De gekozen benadering geeft dus een pessimistisch beeld van de wachttijd.

Wanneer we aannemen dat de duwstellen uniform verdeeld aankomen, zal de gemiddelde wachttijd voor een gedurende t_u -uur per getijcyclus uitgesloten verkeerssituatie daardoor gemiddeld $\frac{1}{2}t_u$ uur bedragen. De totale wachttijd wordt dan:

$$\text{WT} = 365 \sum_{k=1}^p \frac{1}{8} t_{u_{\text{DS}}} f_{W_K} f_{\text{DS}} \cdot (n_s - 1) \frac{t_{u_{\text{DS}}}}{T_G} \quad (50)$$

Vergelijking (47) is gebruikt om de wachttijd te bepalen wanneer wordt aangenomen dat de overige vaart op de passage van het duwstel wacht, vergelijking (50), wanneer duwstellen op de passage van de overige vaart wachten.

Uitgaande van de stroomsnelheid in langsrichting volgens (39) kan voor de afstand S die tussen de tijdstippen t_1 en t_2 wordt afgelegd worden geschreven:

$$S = U (t_2 - t_1) + U_{\max} \frac{T_G}{2\pi} \left(\cos \frac{2\pi t_1}{T_G} - \cos \frac{2\pi t_2}{T_G} \right) \quad (51)$$

met: U = scheepssnelheid

$U_{\max}$ = maximale getijstroomsnelheid

T_G = getijperiode.

Voor een aantal klassen van scheepssnelheid is nu bepaald hoe lang over de Schelde-Rijnverbinding wordt gevaren indien er op verschillende tijdstippen gedurende de getijcyclus wordt gestart. Met behulp van deze gegevens was het mogelijk te berekenen wat de gemiddelde reistijd over de gehele getijcyclus zal zijn. Deze reistijd werd vergeleken met de reistijd op een stroomloze Schelde-Rijnverbinding en het verschil werd het reistijdverlies RT genoemd (zie figuur 4).

De gemiddelde extra reistijd $\overline{RT}$ werd nu als volgt bepaald:

$$\overline{RT} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot RT_i \quad (52)$$

met f_i = frequentie van voorkomen van snelheidsklasse i (tabel 1b)

RT_i = extra reistijd voor snelheidsklasse i

zodat voor de totale extra reistijd geldt:

$$RT_{\text{tot}} = 365 \cdot n_s \cdot \sum_{i=1}^n f_i RT_i \quad (53)$$

4. Resultaten

4.1 Stroombeeld

In figuur 5 zijn de stroombeelden voor maximale eb en vloed bij gemiddeld getij en gemiddeld over de scheepsdiepgang gepresenteerd. Tijdens maximale eb zijn de snelheden, die in de as van de vaargeul loodrecht op deze as gericht zijn, klein. Tijdens maximale vloed treden, in de vaargeulas, snelheidscomponenten loodrecht op de as tot 0,7 m/s, op.

Bovendien is in deze figuur het stroombeeld gegeven dat, met het oog op het nagaan van de gevoeligheid van het scheepsgedrag voor wijzigingen in het stroombeeld, op grond van beschouwingen over schaaleffekten is geschat. De samentrekking van het getijmodel Oosterschelde kan hebben geleid tot een verschuiving van het loslaatpunt bij de kop van de westelijke dam tijdens vloed. Bij het gewijzigde stroombeeld is de neer nabij de kop dan ook weggelaten.

4.2 Scheepsmanoeuvres

In de figuren 6 tot en met 9 wordt een aantal berekende manoeuvres gepresenteerd. Duidelijk is te zien dat het duwstel veel meer hinder van de dwarsstroom ondervindt dan het klasse IV schip en dat de maximale eb situatie bedeutend minder hinder voor de scheepvaart oplevert dan de maximale vloed situatie.

In eerste instantie is nagegaan wat een reductie in stroomsnelheid (bij overigens gelijkblijvend stroombeeld) voor invloed op het scheepsgedrag heeft. Hiertoe zijn in een aantal situaties de manoeuvres berekend met een getijfactor 0,7 d.w.z. alle stroomsnelheden zijn met een faktor 0,7 vermenigvuldigd. Figuur 10 toont de resultaten. Voor het duwstel lijkt de baanbreedte lineair afhankelijk te zijn van de stroomsnelheid, het RHK-schip is minder afhankelijk. Beschouwing van de banen doet vermoeden dat de baanbreedte van het RHK-schip niet zozeer door de verstoring zelf, als wel door de wijze waarop na de verstoring wordt teruggestuurd, wordt bepaald.

Op grond van bovenstaande is gekonkludeerd dat het gerechtvaardigd is de baanbreedtes bij spring- en doodtij te bepalen door vermenigvuldiging van de bij gemiddeld tij gevonden baanbreedtes met 1,12 respektievelijk 0,84.

Vervolgens is nagegaan of de ligging van de gewenste vaarbaan invloed op de baanbreedte heeft. Voor de invaarmanoeuvre zijn twee banen onderscheiden:

- een rechte vaarbaan en
- een geknikte vaarbaan (zie figuur 11).

Voor de uitvaarmanoeuvre is uitsluitend een rechte vaarbaan beschouwd.

Tabel 7 geeft de resultaten weer. De geknikte baan leidt in het algemeen tijdens maximale vloed tot een vergroting van de vaarbaanbreedte met ca. 10%, tijdens maximale eb neemt de breedte iets af of blijft constant.

Op grond hiervan is besloten de baanbreedte met geknikte vaarbaan tijdens maximale vloed maatgevend te stellen en met rechte vaarbaan tijdens maximale eb.

Gezien de grote verschillen tussen berekende en prototype vaarbaanbreedte welke voor een deel aan de verschillen in besturing tussen model en prototype te wijten zijn, is onderzocht of wijzigingen in de besturing invloed op de resultaten hebben. Voor het gedrag van een bestuurder van een schip in een dwarsstroomsituatie is informatie over het verloop van de stroomsnelheden van groot belang. In principe beschikt de stuurautomaat die in het wiskundig model wordt toegepast over zeer gedetailleerde stroominformatie. De schipper in het prototype niet.

In tabel 8 worden de resultaten gepresenteerd van een tweetal berekeningen, waarbij de stuurautomaat niet voorzien was van informatie over het stroombeeld en de invloed van stroom dus uitsluitend kon afleiden uit de reacties van het schip.

De invloed van de stroom op de baanbreedte ($BB_{ber} - B$) neemt daardoor voor het geladen duwstel toe met een faktor 1,4 en voor het klasse IV schip met een faktor 1,3.

Hoewel bij deze wijze van besturen de prototypesresultaten veel dichterbij benaderd worden is, om zoveel mogelijk aan te blijven sluiten bij de opzet van het Markiezaatonderzoek (op grond waarvan de vertaalslag naar het prototype nu eenmaal is vastgesteld) toch besloten de stuurautomaat tijdens het verdere onderzoek van gedetailleerde stroominformatie te voorzien. Op de uiteindelijke bepaalde verkeersregeling heeft deze keuze niet of nauwelijks invloed.

De invloed van de windrichting is beschouwd door een aantal vaarten met een leeg duwstel bij verschillende windrichtingen en een windsnelheid van 15 m/s uit te voeren. Tabel 9 geeft een overzicht van de onderzochte situaties en de resultaten. In het algemeen kan worden gekonkludeerd dat, vooral wanneer de wind globaal gesproken in dezelfde richting als de dwarsstroom waait, er sprake is van een aanmerkelijke windinvloed. Om na te gaan bij welke windsnelheid de lege duwstellen een baanbreedte nodig hebben die overeenkomt met die van geladen duwstellen, is voor die windrichtingen die tot de grootste baanbreedtes aanleiding gaven een aantal berekeningen met lagere windsnelheden uitgevoerd. Tabel 10 geeft een overzicht van de resultaten.

Op grond van deze tabel kan worden gekonkludeerd dat:

- tijdens vloed bij windsnelheden lager dan ca. 10 m/s lege duwstellen een baanbreedte in beslag nemen gelijk aan of kleiner dan die van geladen duwstellen. Voor lege duwstellen zullen dus in de verkeersregeling bijzondere bepalingen moeten worden geformuleerd.
- Tijdens eb zijn de baanbreedtes van lege duwstellen zelfs bij een windsnelheid van 5 m/s al vergelijkbaar met die van geladen duwstellen. Het ligt dan ook voor de hand om voor lege duwstellen tijdens eb onder alle windcondities bijzondere maatregelen te formuleren.

Bovendien is nagegaan wat de invloed van een reductie in snelheid van het RHK-schip voor invloed op de baanbreedte heeft. Indien bijvoorbeeld bij de mond van de Schelde-Rijnverbinding een oploopverbod wordt ingesteld is de situatie dat een RHK-schip achter b.v. een Spits, met een snelheid van ca. 10 km/h vaart en met die snelheid de dwarsstroom passeert niet denkbeeldig.

In tabel 11 worden de baanbreedtes vergeleken bij een snelheid van 3,0 m/s en 4,6 m/s (beide snelheden op stil water). Uit deze gegevens valt te konkluderen dat, in dit geval, formule (12) de invloed van de scheepssnelheid inderdaad redelijk beschrijft. Er is dus sprake van een toename van de baanbreedte. Enerzijds omdat, door het geven van toerenstoten de baanbreedte weer vermindert kan worden, anderzijds omdat voor het RHK-schip met zeer ruime marges wordt gewerkt is toch besloten de baanbreedte van, met het gekozen vermogen van 500 kW varende RHK-schepen maatgevend te stellen.

In tabel 12 worden de resultaten van het stroombeeld met en zonder neer vergeleken. De verschillen zijn miniem, zodat verwacht mag worden dat schaafeffekten in het getijmodel Oosterschelde de resultaten nauwelijks zullen hebben beïnvloed.

In tabel 13 wordt tenslotte een overzicht gegeven van de maatgevende vaarten. Het duwstel neemt de grootste baanbreedte in beslag; de maximale vloedsituatie is beduidend hinderlijker dan de maximale ebsituatie.

De baanbreedtes voor het klasse V-schip zijn met behulp van formule (12) uit die van het RHK-schip geëxtrapoleerd.

Tabel 14 geeft de resultaten van de berekeningen in de vorm:

$$BB_{\text{ber}} = c_i + d_i V_c \quad (54)$$

ten behoeve van de bepaling van de maximaal toelaatbare stroomsnelheid waarbij een verkeerssituatie kan plaatsvinden.

4.3 Verkeersbegeleiding

Op grond van de rekenresultaten kan nu de stroomsnelheid worden bepaald waarbij de bepaalde verkeerssituaties nog mogelijk zijn. Tabel 15 geeft een overzicht van de aldus bepaalde waarden. De gehanteerde stroomsnelheden zijn de loodrecht op de as van de vaarweg staande componenten in punt A van figuur 11.

Figuur 12 geeft een overzicht van het verloop van deze snelheden gedurende een getijcyclus.

Uit de tabel en de figuur kan worden gekonkludeerd dat:

- het maken van een onderscheid tussen klasse IV en klasse V schepen met het oog op de verkeersregeling nauwelijks zinvol is;
- duwstellen elkaar onderling slechts gedurende minder dan 2 uur per gemiddelde getijcyclus kunnen ontmoeten;
- voor het overige vrijwel alleen ontmoetingen tussen invarende duwstellen en de overige vaart aan restricties onderhevig zijn;
- de windinvloed op lege duwstellen aanmerkelijk is.

Om de verkeersregeling eenvoudig hanteerbaar te maken zijn, mede op grond van de bovenstaande konklusies, de resultaten samengevoegd tot de in tabel 16 gepresenteerde regeling.

Vergelijking van tabel 16 en figuur 12 leert dat:

- bij gemiddeld getij de ontmoeting tussen geladen invarende duwstellen en de overige vaart gedurende 3,5 uur per getijcyclus uitgesloten is. Voor dood- en springtij bedraagt deze periode 3,0 respektievelijk 5,0 uur;
- bij gemiddeld getij de ontmoeting tussen geladen uitvarende duwstellen en de overige vaart gedurende 2,5 uur per getijcyclus uitgesloten is. Bij springtij is deze ontmoeting gedurende bijna 3,0 uur per getijcyclus uitgesloten, bij doodtij gedurende 1,5 uur;
- bij windsnelheden boven 5 m/s het ontmoeten van invarende lege duwstellen met de overige vaart gemiddeld 6,5 uur per getijcyclus uitgesloten is en van lege uitvarende duwstellen met de overige vaart gemiddeld 3 uur;
- bij windsnelheden boven 10 m/s het ontmoeten van invarende lege duwstellen met de overige vaart gedurende 8,5 uur per getijcyclus uitgesloten is en van lege uitvarende duwstellen met de overige vaart gemiddeld 4 uur;
- bij windsnelheden van boven 15 m/s het ontmoeten van lege duwstellen met de overige vaart, zowel in- als uitvarend, gedurende de gehele getijcyclus uitgesloten is. Het invaren van lege duwstellen, zelfs zonder overig verkeer, is dan gedurende gemiddeld 3 uur per getijcyclus onmogelijk.

Op grond van de geringe tijdsduur gedurende welke ontmoetingen van duwstellen onderling mogelijk zijn, wordt voorgesteld deze geheel uit te sluiten.

Op grond van het feit dat tijdens oploopsituaties de tussen de schepen optredende interactie krachten een grote rol kunnen spelen en daardoor het bovengeschetste beeld aanzienlijk kunnen versomberen worden voorgesteld geen oploopmanoeuvres toe te staan.

Een laatste vraag die ten behoeve van de verkeersregeling moet worden beantwoord is: "over welk gebied geldt het ontmoetingsverbod?"

Op grond van de berekende manoeuvres van het duwstel enerzijds en de noodzaak, om in verband met het verkeer van en naar het Slaak, de wachtende schepen onder de kust van Overflakkee te laten liggen anderzijds, wordt voorgesteld het gebied van 750 m ten westen van de kop van de noordelijke dam tot iets ten zuiden van de punt van de Anna Wilhelminapolder tot probleemgebied te bestempelen.

4.4 Wacht- en reistijden

Wanneer wordt aangenomen dat de overige vaart op de passage van een duwstel wacht, kan met behulp van (48) worden berekend dat de totale wachttijd per jaar gemiddeld ca. 200 uur per jaar bedraagt, dus per passerend schip ca. 0,006 hr.

Wordt echter aangenomen dat de duwstellen op de overige vaart wachten, dan volgt uit (51) dat de totale wachttijd per jaar ca. 1500 uur bedraagt, dus per passerend duwstel ca. 0,5 uur.

Neemt het totaal aantal schepen op de Schelde-Rijnverbinding toe van ca. 52.000 tot ca. 68.000 per jaar dan worden de wachttijden ca. 350 uur wanneer de overige scheepvaart op de passage van een duwstel wacht en ca. 2000 uur wanneer duwstellen op de passage van overige schepen wachten.

Gezien het feit dat de wachttijd sterk afhankelijk is van de keuze welk schip in een ontmoetingssituatie wacht, mag worden aangenomen dat in de praktijk een, mogelijk ook door overige factoren bepaald, optimum wordt gevonden waardoor de maximale wachttijd niet wordt bereikt.

Wanneer daarnaast nog bedacht wordt dat de schatting van de totale wachttijd voor duwstellen conservatief was kan de volgende in de praktijk te verwachten orde-grootte van wachttijden worden geschat:

- bij het huidige verkeersaanbod van 200-1000 uur en
- bij toename van het verkeersaanbod van 300-1500 uur.

Uitgaande van formule (53) is berekend dat de totale extra reistijd tengevolge van getijstroom op de Schelde-Rijnverbinding ca. 5500 uur per jaar bedraagt voor alle schepen gezamenlijk bij het huidige verkeersaanbod en ca. 7200 uur per jaar bij een toename van het verkeersaanbod tot 68.000 schepen per jaar.

4.5 Nauwkeurigheid

In hoofdstuk 3.3 is gesteld dat de prototypeproeven, waarop de vertaling van rekenresultaten naar prototypewaarden is gebaseerd, te veel zijn beïnvloed door overige factoren. Het hanteren van deze prototypeproeven heeft dan ook geleid tot grote veiligheidsmarges. Deze marges zouden gefundeerd kunnen worden verkleind middels simulatoronderzoek. Dit zou weer kunnen leiden tot een aanscherping van de verkeersregeling.

Het grote verschil tussen de wachttijd wanneer duwstellen voor de overige vaart wachten en de wachttijd wanneer de overige vaart voor duwstellen wacht, geeft aan dat mogelijkwerijs een verkeerssimulatie studie, waarin de effecten van dit type voorschriften veel beter tot hun recht komen, kan leiden tot een betere schatting van de wachttijdverliezen.

LITERATUUR

- 1 Kompartimentering Oosterschelde
 Onderzoek Philipsdam en Oesterdam
 Delft, WL, Rapport M 1437-27, juli 1980
- 2 Voorhaven Hansweert
 Scheepvaartonderzoek
 Delft, WL, Rapport M 1642-II, september 1981
- 3 Schepen in dwarsstroom
 Karakterisering dwarsstroomsituaties
 Delft, WL, verschijnt mei 1983
- 4 Dwarsstroomhinder bij de omkading van het Markiezaat van Bergen op Zoom
 Delft, WL, Rapport M 1661, maart 1981
- 5 Normen voor het dwarsprofiel van rechte vaarwegvakken
 Werkgroep Vaarwegvakken, Rapport W.V.V.-3, mei 1982
- 6 Te verwachten dwarsstroomhinder voor de scheepvaart tijdens de aanleg van
 de Markiezaatsdam
 Dordrecht, RWS-DVK-HAS, Nota S78.36.1, 1981

omschrijving gegevens	symbool	eenheid	duwboot Vulcaan I	RHK-schip Adriaan	2 x 2 Europa-II bakken
<u>scheepsafmetingen</u>					
- lengte over alles	L_{OA}	m	38,00	79,95	153,00
- lengte op waterlijn	L_{WL}	m	37,00	79,00	152,00
- breedte over alles	B	m	10,00	9,50	22,80
- diepgang (max.)	T	m	1,80	2,50	4,00
- grootspantoppervlak	A_m	m ²	18,0	23,8	91,2
- waterverplaatsing (max.)	∇	m ³	468	1600	13000
<u>schroeven</u>					
- N.S.P. schroefnummer	-	-	2926	3499	
- schroeftype	-	-	Ka-3	Ka-4	
- aantal bladen	z	-	3	4	
- diameter	D	m	1,95	1,75	
- spoed (op 0,7 R)	$P_{0,7}$	m	1,62	1,39	
- spoedverhouding	$P_{0,7/D}$	-	0,83	0,79	
- ontwikkeld gestrekt bladoppervlak	A_E	m ²	1,60	1,54	
- schroefcirkeloppervlak	A_O	m ²	3,00	2,40	
- ontwikkeld gestrekt bladoppervlak verhouding	A_E/A_O	-	0,54	0,64	
<u>straalbuis</u>					
- lengte	l	m	1,45	0,88	
- lengte-diameterverh.	l/D	-	0,75	0,50	
<u>aantal schroeven</u>	-	-	2	1	

Tabel 1 Hoofdafmetingen schepen

verkeerssituatie	toegestaan voor stroomsnelheid < m/s		
	I	II	III
<u>tweestrooks</u>			
klasse VII x klasse VII	0,01	0,01	0,01
x klasse V	0,19	0,00	0,00
x klasse IV	0,20	0,08	0,00
klasse V x klasse V	0,90	0,81	0,00
x klasse IV	1,00	0,71	0,00
klasse IV x klasse IV	1,15	0,63	0,00
<u>éénstrooks</u>			
klasse VII	0,79	0,79	0,79
klasse V	altijd	altijd	altijd
klasse IV	altijd	altijd	altijd

I = vertaling naar prototype uitsluitend gebruik makend van de resultaten van de tweede meetserie prototypeproeven

II = vertaling naar het prototype met behulp van alle resultaten

III = vertaling naar het prototype met behulp van "90% vaarbaanbreedte"

Tabel 2 Verkeersregeling Markiezaat bij de hier toegepaste normen

Betreft: Overzicht van de stroomsnelheidswaarden, welke globaal gehanteerd worden mbt. de verkeersregeling bij het sluitgat in de Markiezaatskade, alsmede overige factoren.

Stroomsnelheid	Soort verkeersregeling
-- t/m 0,30 m/s	Geen verkeersmaatregel -- Info. op verzoek
0,30 m/s + meer	Eenrichting voor geladen duw + koppelstellen onderling. -- Infoverstreking. -- Overige scheepvaart geen beperkingen.
0,40 m/s + meer	Eenrichtingverkeer voor ledige duwstellen onderling. -- Infoverstreking. -- Overige scheepvaart geen beperkingen.
0,60 m/s + meer	Eenrichtingverkeer voor ledige koppelverbanden onderling. -- Infoverstreking. -- Overige scheepvaart geen beperkingen.
0,70 m/s + meer	Duwstellen + Koppelverbanden (flesverband of naast elkaar) eenrichtingverkeer, ontmoeten geen andere schepen in het sluitgat
0,80 m/s t/m	Geladen duwstellen, geladen koppelverbanden wordt ontra-
1,00 m/s	den om door te komen cq. het sluitgat te passeren.
1,10 m/s + meer	Aanvang van aanzeggingen tot verbod met geladen duw + koppelstellen het sluitgat te passeren. Dit wordt incidenteel toegepast.
1,10 m/s t/m	Eenrichtingverkeer voor overige scheepvaart.
1,20 m/s + meer	Ieder schip wordt (indien mogelijk) opgeroepen voor infoverstreking, waarbij getracht wordt ontvangstbevestiging te verkrijgen.
	Totale stremming wordt alleen toegepast indien de omstandigheden die noodzakelijk maken, bv. door defecten in de werken aldaar, welke een gevaar voor de scheepvaart inhouden.

Tabel 3 Toegepaste verkeersregeling Markiezaat

scheepsklasse	frequentie van voorkomen
VII	0,0556
V	0,1087
IV en kleiner	0,7500

Tabel 4 Scheepsaanbod

snelheidsklasse (m/s)	frequentie van voorkomen (-)
2,0-2,5	0,02
2,5-3,0	0,07
3,0-3,5	0,21
3,5-4,0	0,19
4,0-4,5	0,38
4,5-5,0	0,12
5,0-5,5	0,01

Tabel 5 Snelheidsverdeling

windsnelheid (m/s)	Beaufort schaal (-)	frequentie van voorkomen (-)
< 5	0-3	0,460
5-10	4-5	0,425
10-15	6-7	0,100

Tabel 6 Windsnelheidsverdeling

getijfase (-)	scheepstype (-)	vaarrichting (-)	baan (-)	baanbreedte (m)
max vloed	duwstel	in	recht knik	63 71
	RHK	in	recht knik	22,5 24
max eb	duwstel	in	recht knik	44 42
	RHK	in	recht knik	16,5 17

Tabel 7 Invloed baankeuze op vaarbaanbreedte

getijfase	vaar- richting	scheepstype	baanbreedte (m)	stroominfo
max vloed	in	geladen duwstel	63	ja
			80	nee
		RHK	22,5	ja
			26	nee

Tabel 8 Invloed stroombeeld informatie op vaarbaanbreedte

Leeg duwstel

getijfase (-)	vaarrichting (-)	windrichting (-)	windsnelheid (m/s)	baanbreedte (m)
max vloed	in	-	0	51
		W	15	68
		NW	15	89
	uit	-	0	62
		NO	15	70
		NW	15	80
max eb	in	W	15	49
		ZZW	15	65
		W	15	32
		NO	15	46

Tabel 9 Invloed windrichting op vaarbaanbreedte

getijfase (-)	vaarrichting (-)	scheepstype (-)	windrich- ting (-)	windsnel- heid (m/s)	baanbreedte (m)
max vloed	in	geladen duwst. leeg duwstel	-	0	71
			-	0	51
			NW	5	59
			NW	10	70
			NW	15	89
	uit	geladen duwst. leeg duwstel	-	0	69
			-	0	62
			NW	5	66
			NW	10	71
			NW	15	80
max eb	in	geladen duwst. leeg duwstel	-	0	44
			ZZW	5	42
			ZZW	10	50
			ZZW	15	65
	uit	geladen duwst. leeg duwstel	-	0	32
			NO	5	30
			NO	10	40
			NO	15	46

Tabel 10 Invloed windsnelheid op vaarbaanbreedte

RHK-schip

getijfase (-)	vaarrichting (-)	relatieve scheepssnelheid (m/s)	baanbreedte (m)
max vloed	in	4,6	22,5
		3,0	33,0
	uit	4,6	18,5
		3,0	23,0

Tabel 11 Invloed scheepssnelheid op baanbreedte

Geladen duwstel

getijfase	vaarrichting	stroombeeld	baanbreedte
max vloed	in	uit model	63
		aangepast	61
	in met knik	uit model	71
		aangepast	68
	uit	uit model	69
		aangepast	69

Tabel 12 Invloed stroombeeld op baanbreedte

getijfase	scheepstype	vaarrichting	windsnelheid (m/s)	baan- breedte (m)
max vloed	geladen duwstel	in	0	71
		uit	0	69
	leeg duwstel	in	5	59
			10	70
			15	89
		uit	5	66
			10	71
			15	80
	klasse V	in	0	30
		uit	0	22
	klasse IV	in	0	24
		uit	0	18,5
max eb	geladen duwstel	in	0	44
		uit	0	32
	leeg duwstel	in	5	42
			10	50
			15	65
		uit	5	30
			10	40
			15	46
	klasse V	in	0	19
		uit	0	17
	klasse IV	in	0	16,5
		uit	0	14

Tabel 13 Berekende baanbreedtes voor maatgevende situaties

getijfase	scheepstype	vaarrichting	windsnelheid (m/s)	c (m) (*)	d (s) (*)
max vloed	geladen duwstel	in	0	22,8	48,2
		uit	0	22,8	46,2
	leeg duwstel	in	5	22,8	48,2
			10	32,0	38,0
			15	37,0	52,0
		uit	5	22,8	46,2
			10	32,0	39,0
			15	37,0	43,0
	klasse V	in	0	11,5	18,5
		uit	0	11,5	10,5
	klasse IV	in	0	9,5	14,5
		uit	0	9,5	9,0
max eb	geladen duwstel	in	0	22,8	35,3
		uit	0	22,8	15,3
	leeg duwstel	in	5	22,8	35,3
			10	32,0	30,0
			15	37,0	46,0
		uit	5	22,8	15,3
			10	32,0	13,0
			15	37,0	15,0
	klasse V	in	0	11,5	12,5
		uit	0	11,5	9,2
	klasse IV	in	0	9,5	11,7
		uit	0	9,5	7,5

Tabel 14 Berekende relatie baanbreedte-stroomsnelheid

*) $BB_{ber} = c + d \cdot V_c$

getijfase	windsnelheid (m/s)	verkeerssituatie		maximale stroomsnelheid (m/s)
		invarend	uitvarend	
vloed	< 5	duwstel	duwstel	0,10
	< 5	duwstel	klasse V	0,48
	< 5	duwstel	klasse IV	0,48
	< 5	klasse V	duwstel	0,77
	< 5	klasse IV	duwstel	0,80
eb	< 5	duwstel	duwstel	0,18
	< 5	duwstel	klasse V	0,64
	< 5	duwstel	klasse IV	0,65
	< 5	klasse V	duwstel	1,83
	< 5	klasse IV	duwstel	1,84
vloed	< 10	leeg duwst.	duwstel	0
	< 10	duwstel	leeg duwst.	0
	< 10	leeg duwst.	klasse V	0,39
	< 10	leeg duwst.	klasse IV	0,38
	< 10	klasse V	leeg duwst.	0,70
	< 10	klasse IV	leeg duwst.	0,73
eb	< 10	leeg duwst.	duwstel	0
	< 10	duwstel	leeg duwst.	0
	< 10	leeg duwst.	klasse V	0,49
	< 10	leeg duwst.	klasse IV	0,49
	< 10	klasse V	leeg duwst.	1,62
	< 10	klasse IV	leeg duwst.	1,63
vloed	< 15	leeg duwst.	klasse V	0,22
	< 15	leeg duwst.	klasse IV	0,22
	< 15	klasse V	leeg duwst.	0,57
	< 15	klasse IV	leeg duwst.	0,59
	< 15	leeg duwst.	-	0,70
eb	< 15	leeg duwst.	klasse V	0,25
	< 15	leeg duwst.	klasse IV	0,25
	< 15	klasse V	leeg duwst.	1,30
	< 15	klasse IV	leeg duwst.	1,30

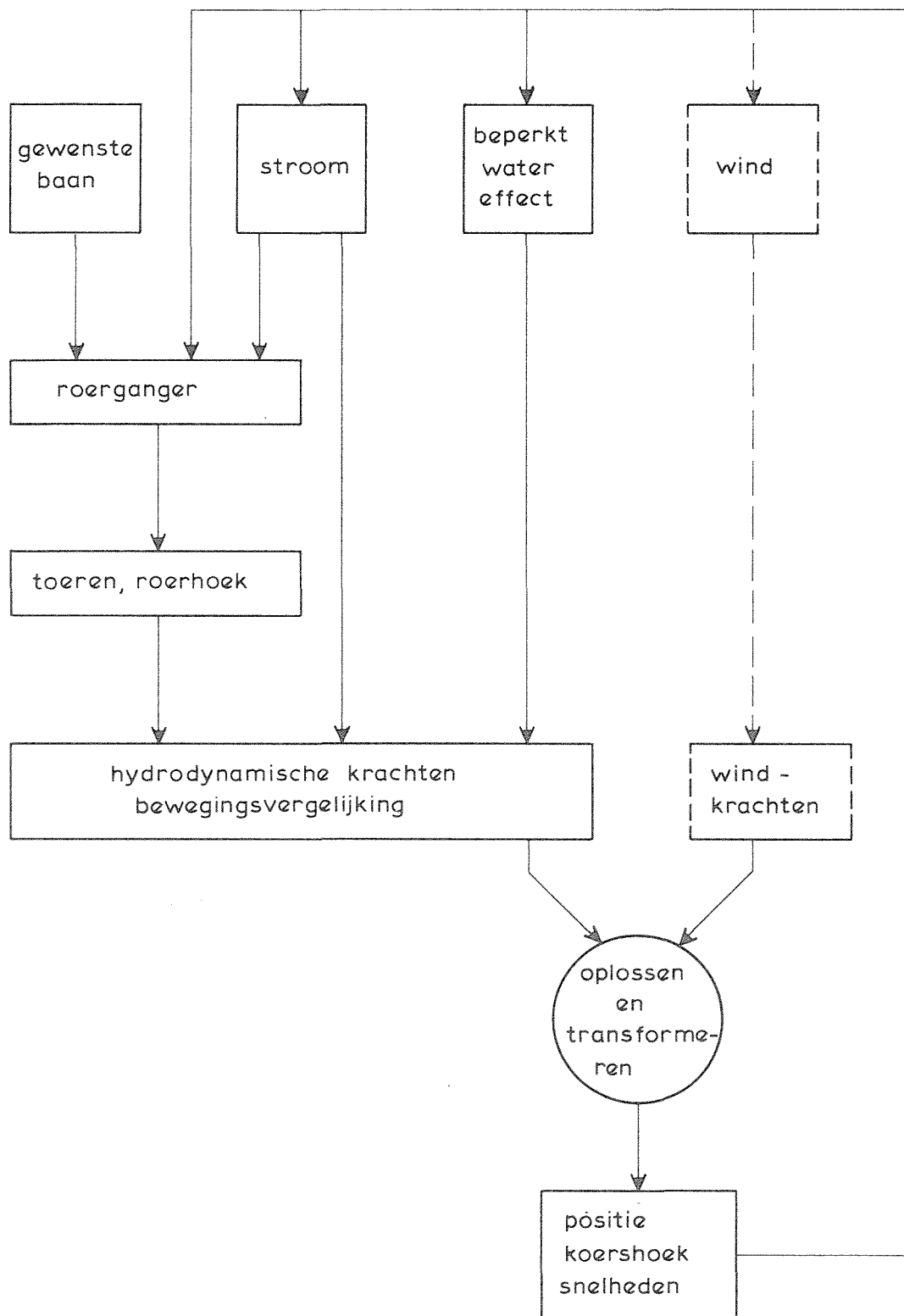
Tabel 15 Maximale stroomsnelheden waarbij verkeerssituaties nog mogelijk zijn

windsnelheid < (m/s)	stroomsnelheid > (m/s))	getijfase (-)	uitgesloten verkeerssituatie	
			invarend (-)	uitvarend (-)
altijd	altijd	altijd	oploopmanoeuvres	
altijd	altijd	altijd	duwstel	duwstel
5	0,5	vloed	duwstel **)	overige vaart
5	0,6	eb	duwstel	overige vaart
5	0,8	vloed	overige vaart	duwstel
10	0,3	vloed	leeg duwstel	overige vaart
10	0,4	eb	leeg duwstel	overige vaart
10	0,7	vloed	overige vaart	leeg duwstel
15	0,2	vloed	leeg duwstel	overige vaart
15	0,2	eb	leeg duwstel	overige vaart
15	0,5	vloed	overige vaart	leeg duwstel
15	0,7	vloed	leeg duwstel	-

*) Stroomsnelheidscomponent loodrecht op de vaarwegas in punt A van figuur 11

**) Voor geladen duwstellen gelden bij alle windsnelheden de hier genoemde maximale stroomsnelheden

Tabel 16 Verkeersregeling

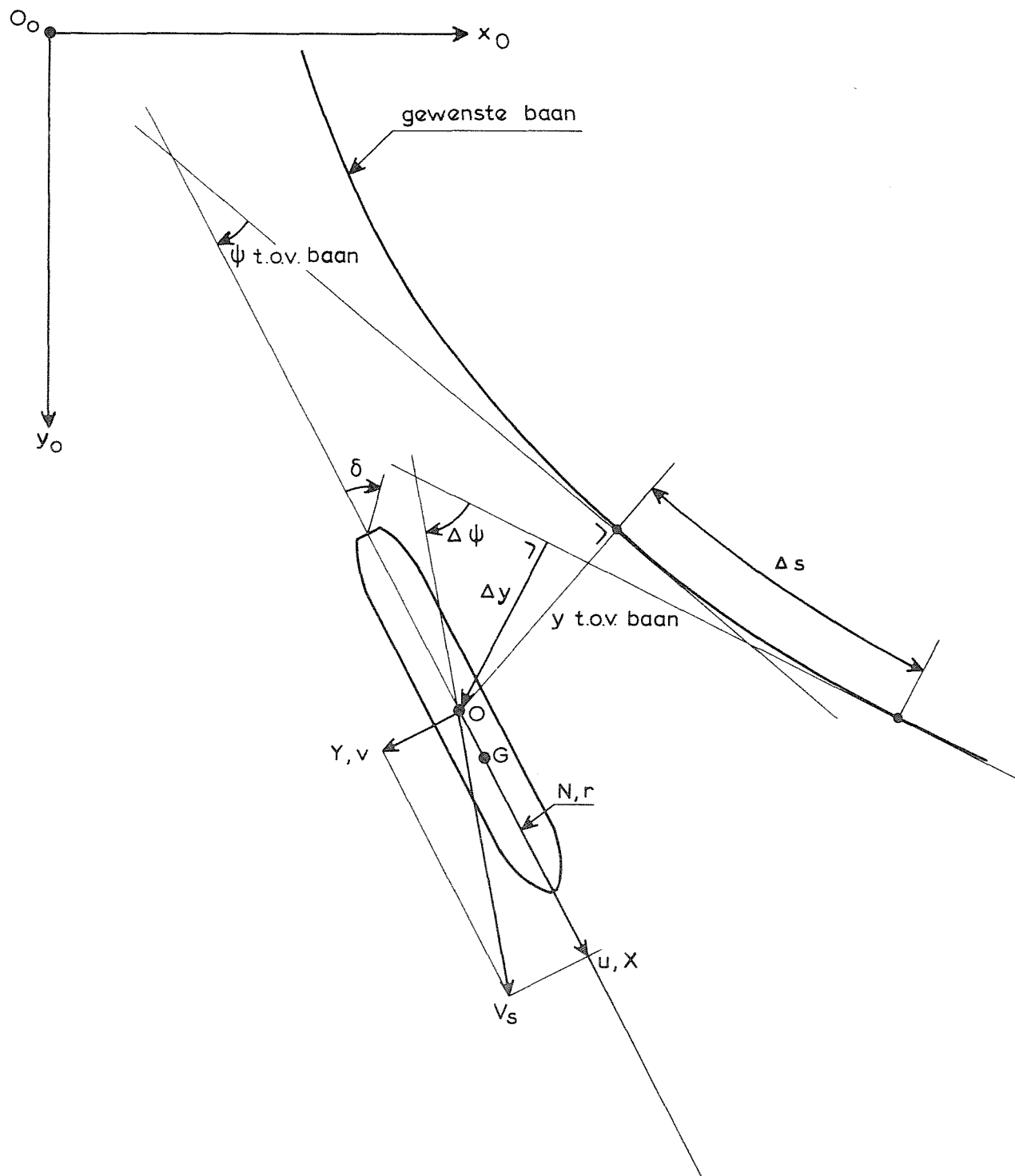


BLOKDIAGRAM WISKUNDIG MODEL

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG. 1

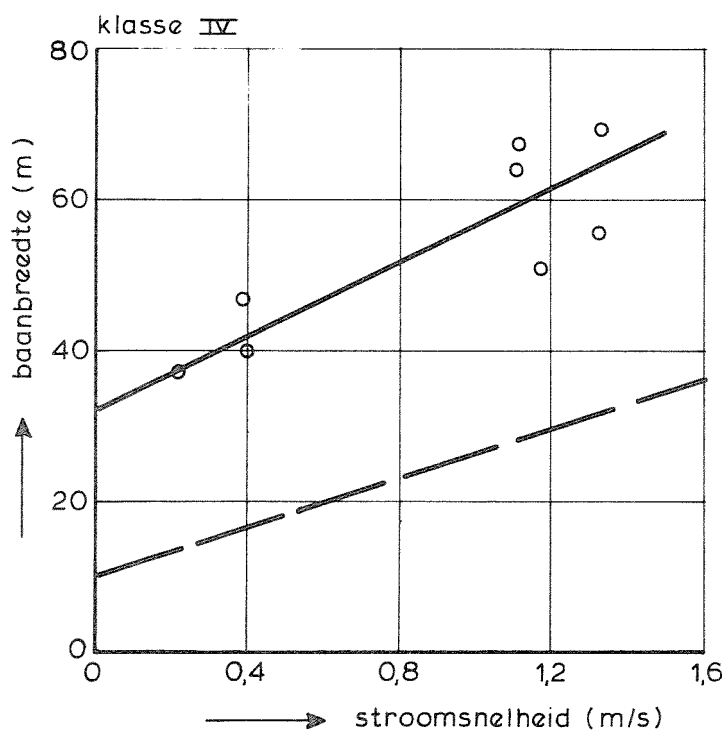
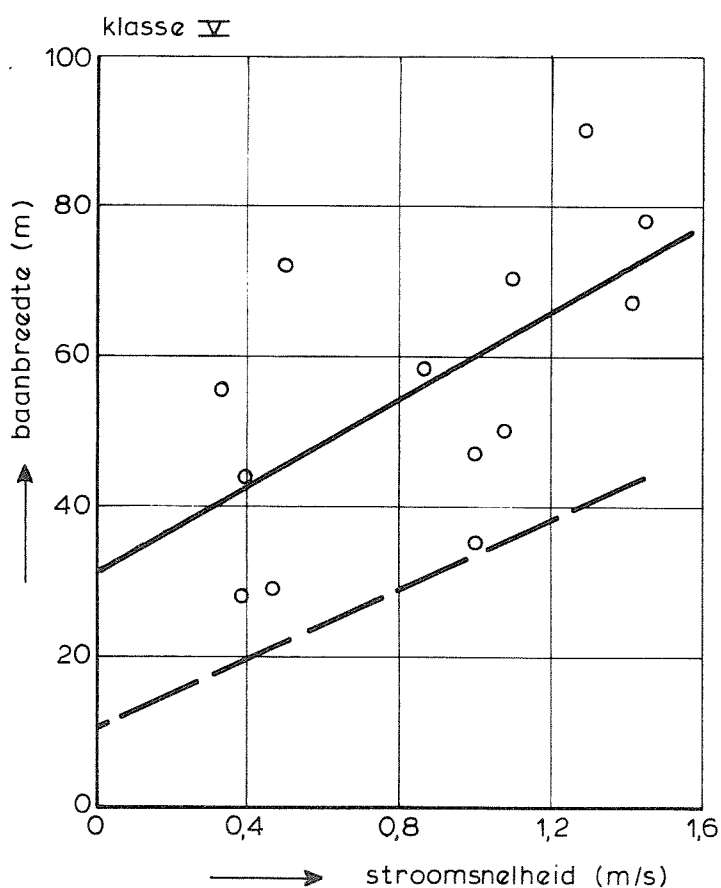
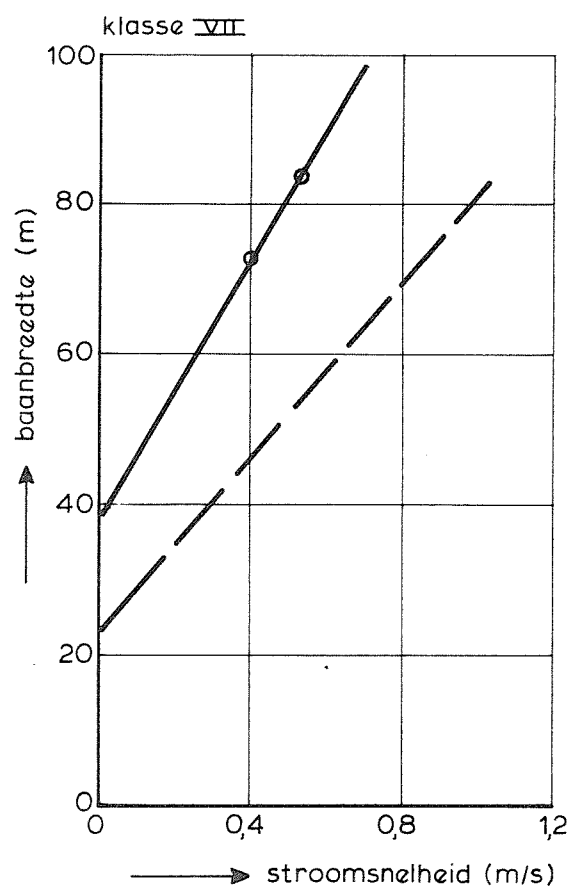


COÖRDINATEN SYSTEMEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG. 2



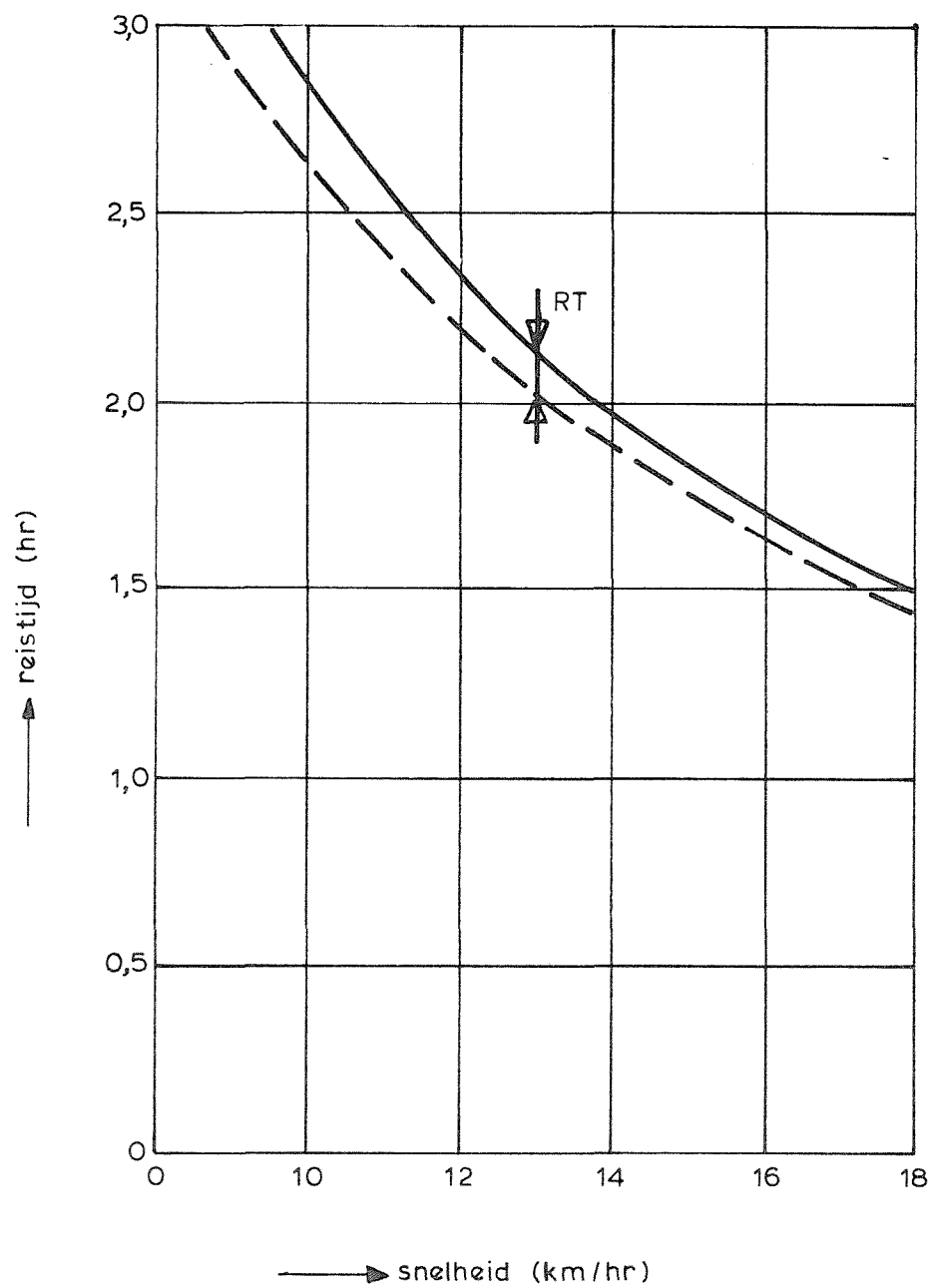
— prototype
 - - - model

RESULTATEN PROEVEN MARKIEZAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG. 3



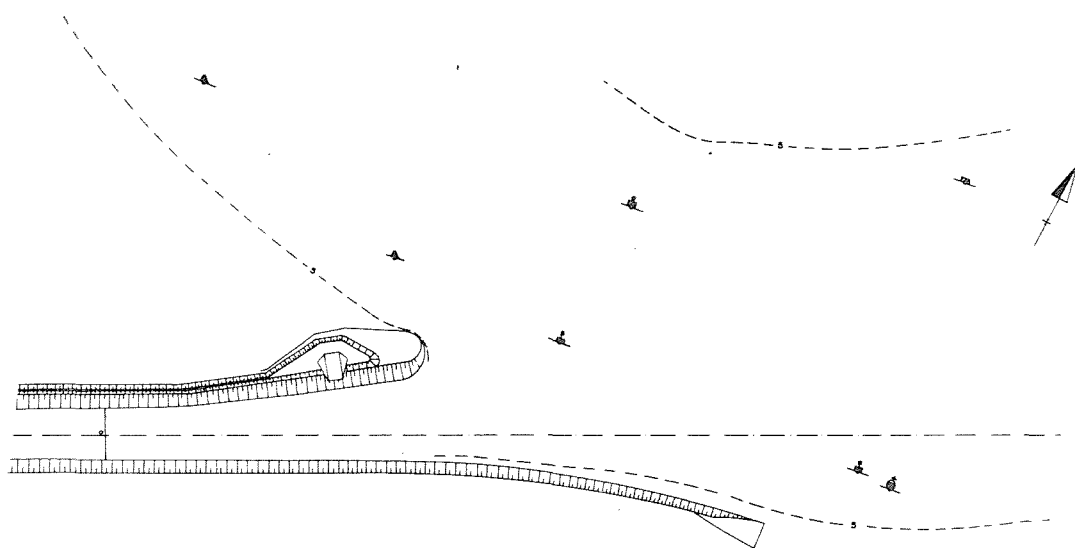
— reistijd met stroom
 - - - reistijd zonder stroom

REIST'JDVERLENGING T.G.V. STROOM

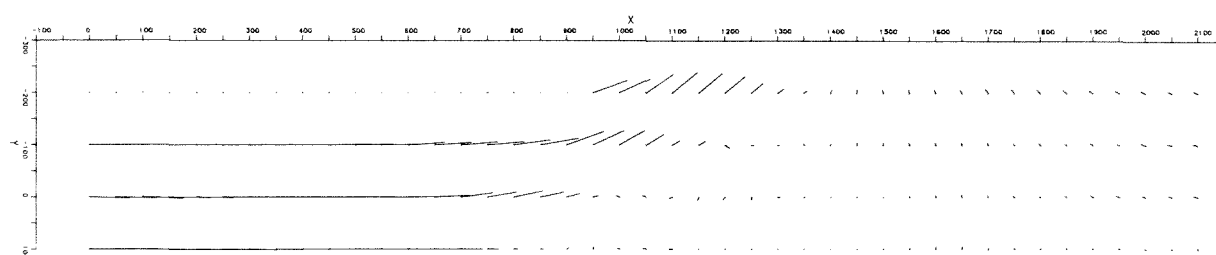
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

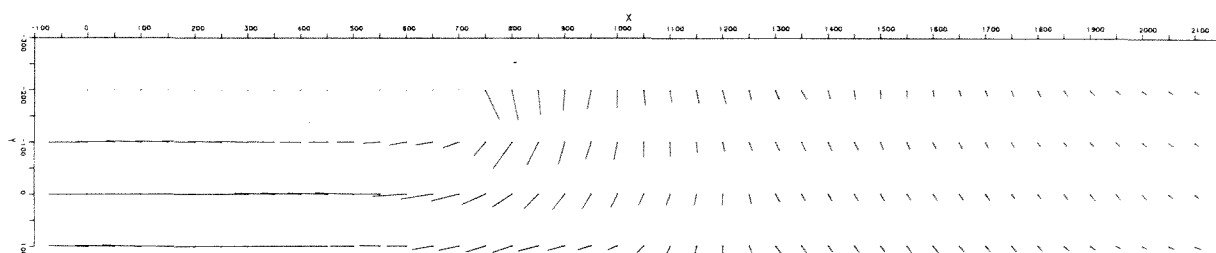
FIG. 4



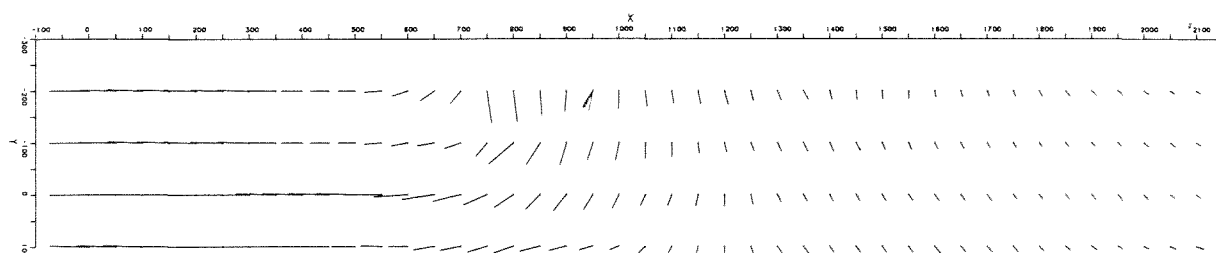
situatie



maximale eb

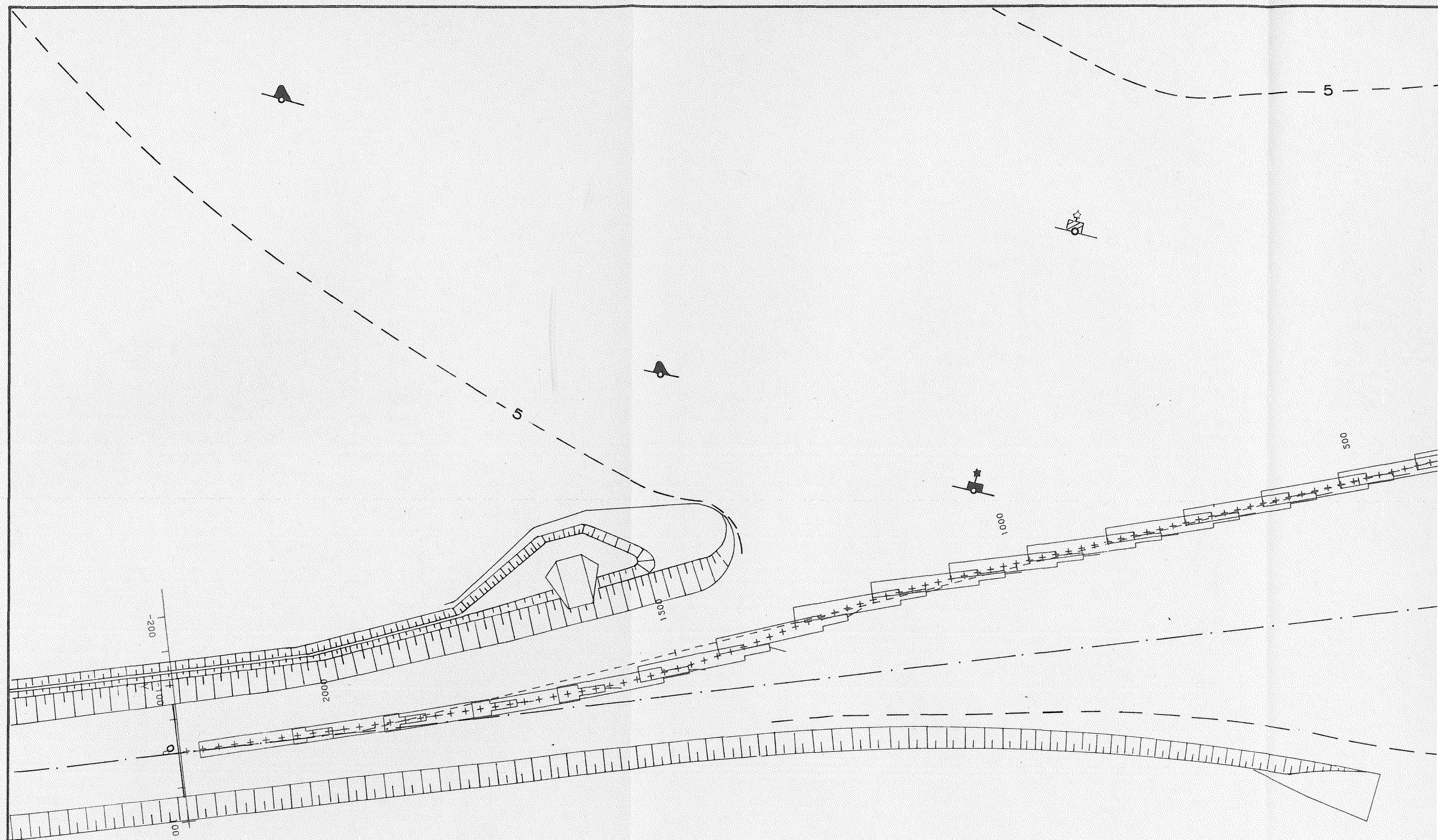


maximale vloed

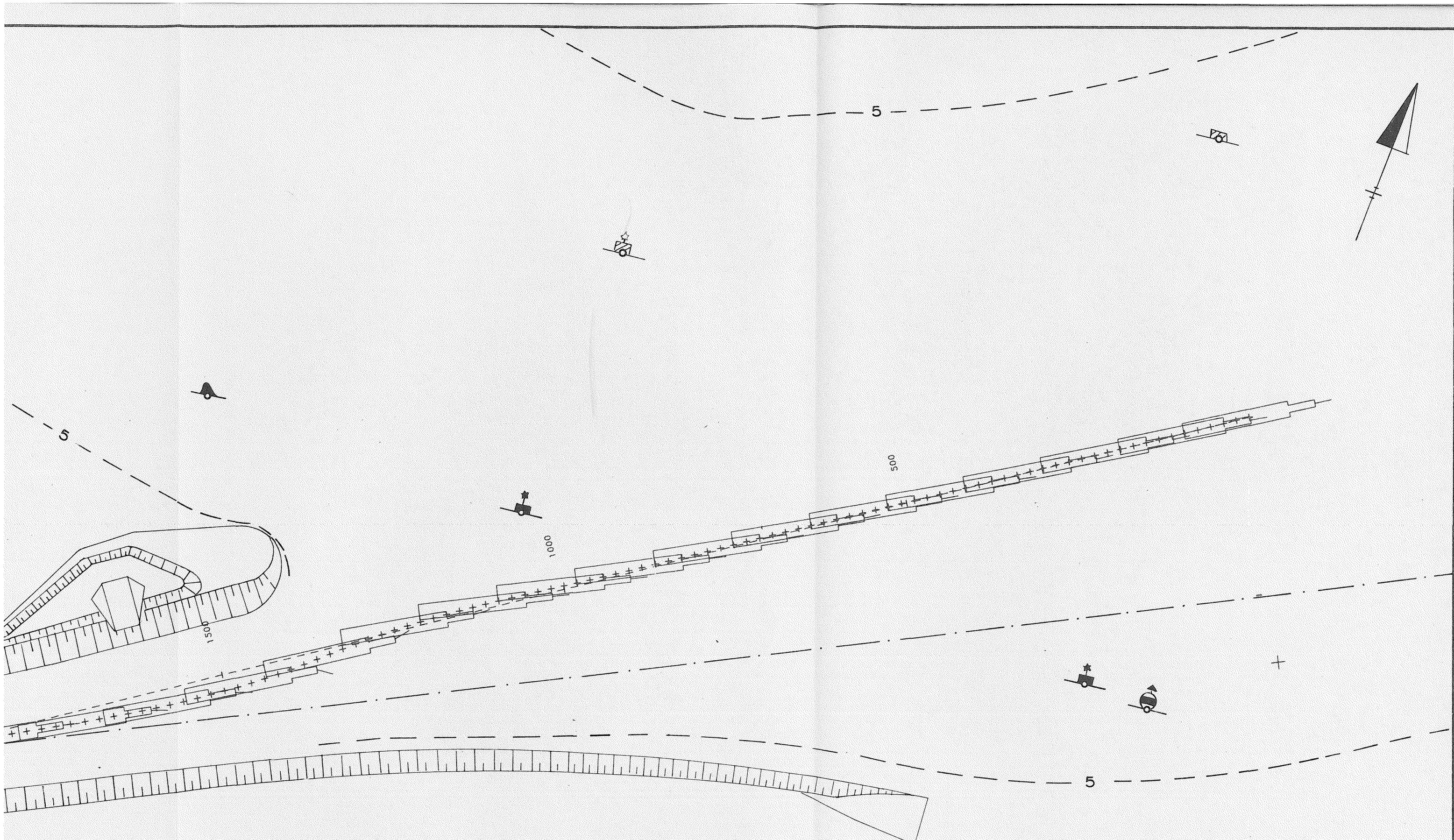


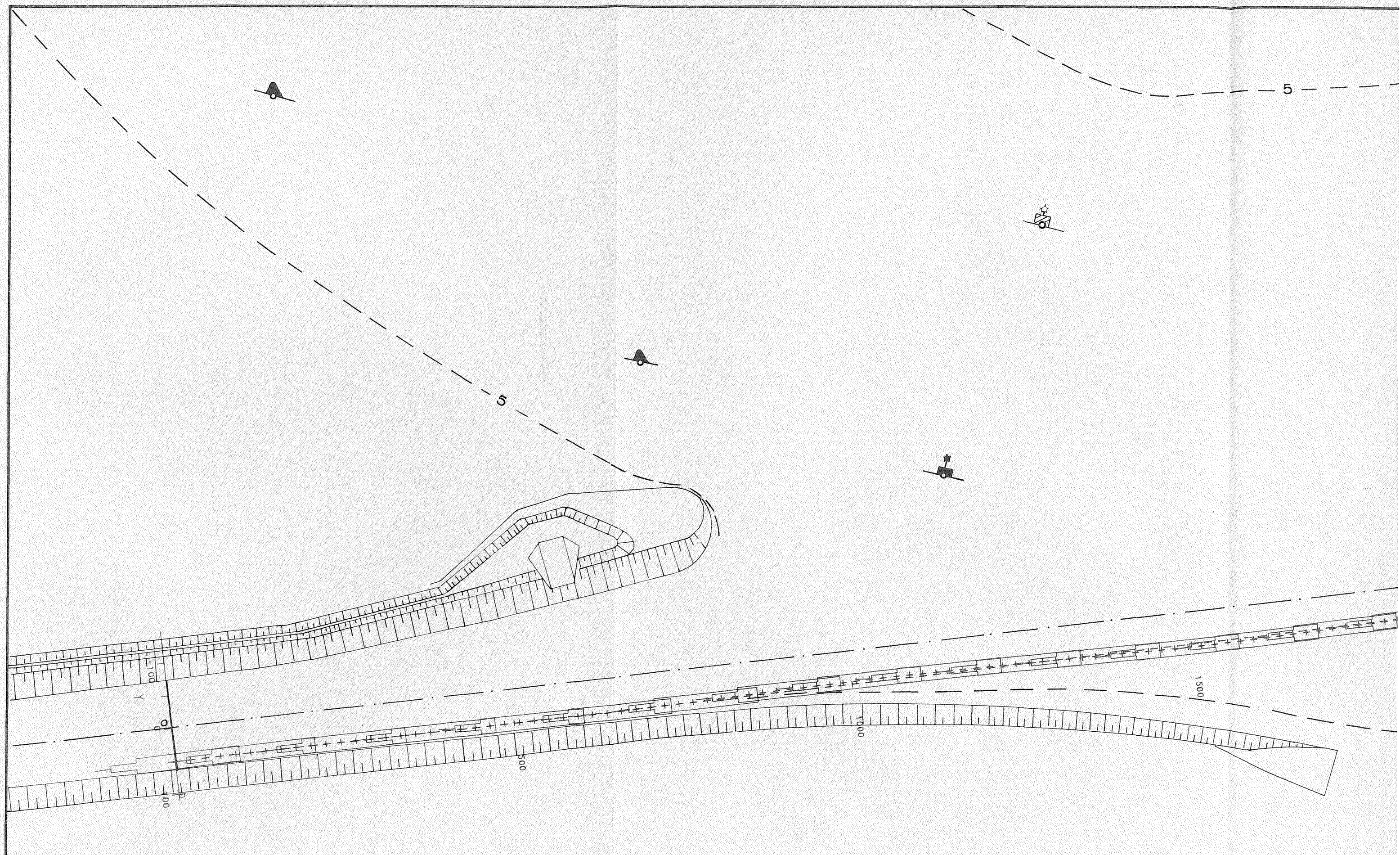
maximale vloed aangepast

STROOMBEELDEN

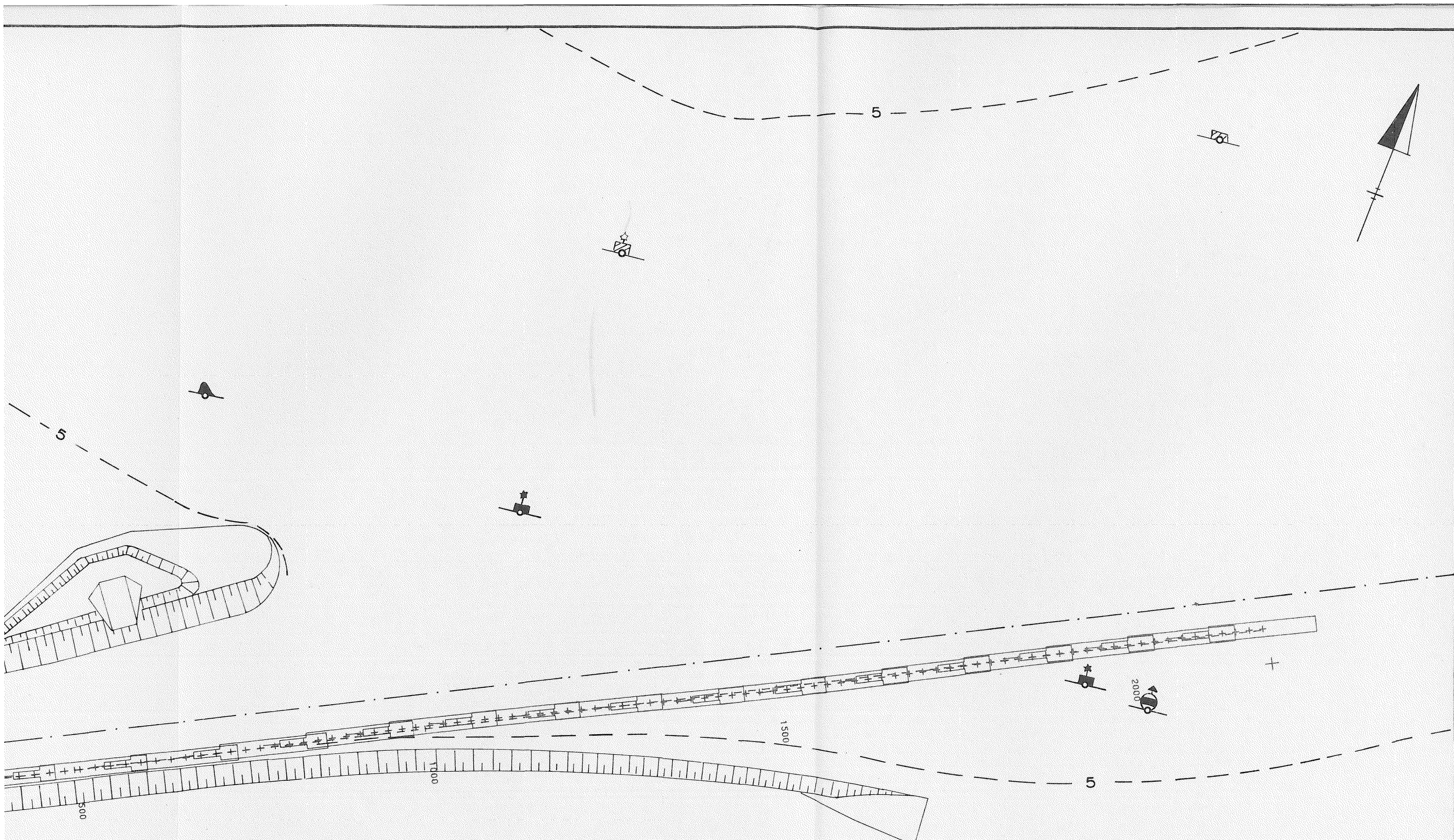


MANOEUVRE GELADEN DUWSTEL. INVAREND. MAXIMALE VLOED		
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1889	FIG. 6

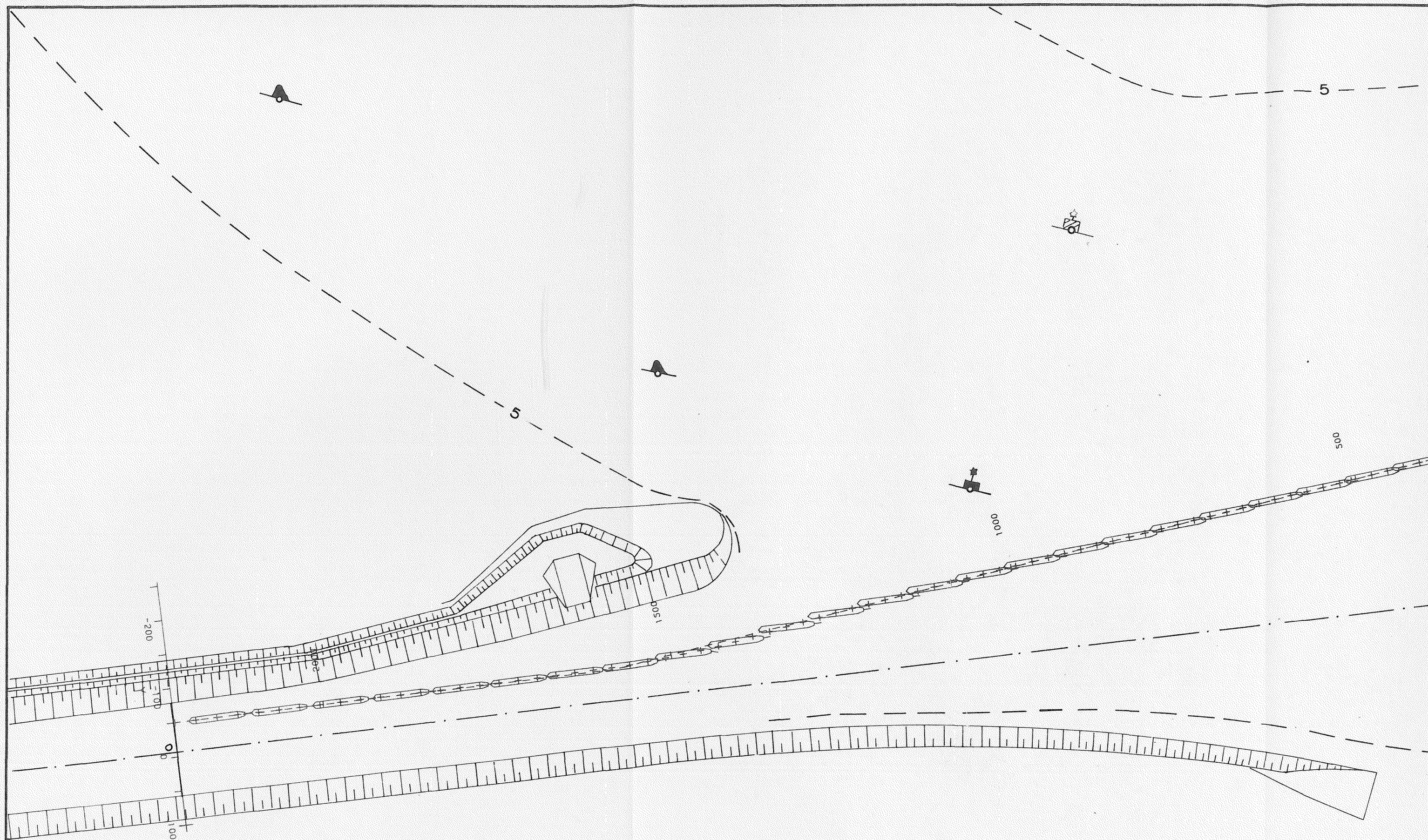




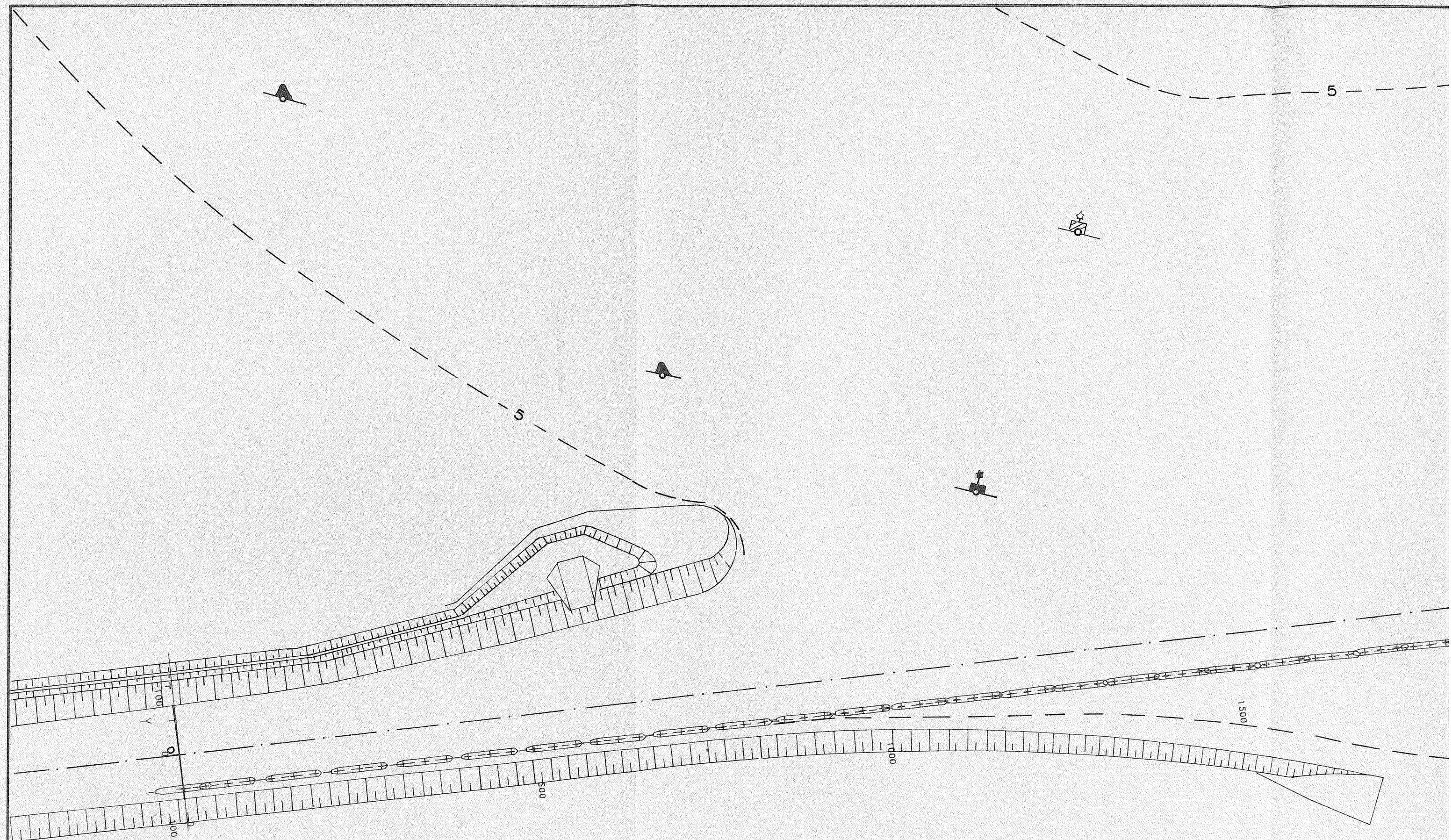
MANOEUVRE GELADEN DUWSTEL. UITVAREND. MAXIMALE EB		
	SCHAAL 1 : 5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1889	FIG. 7



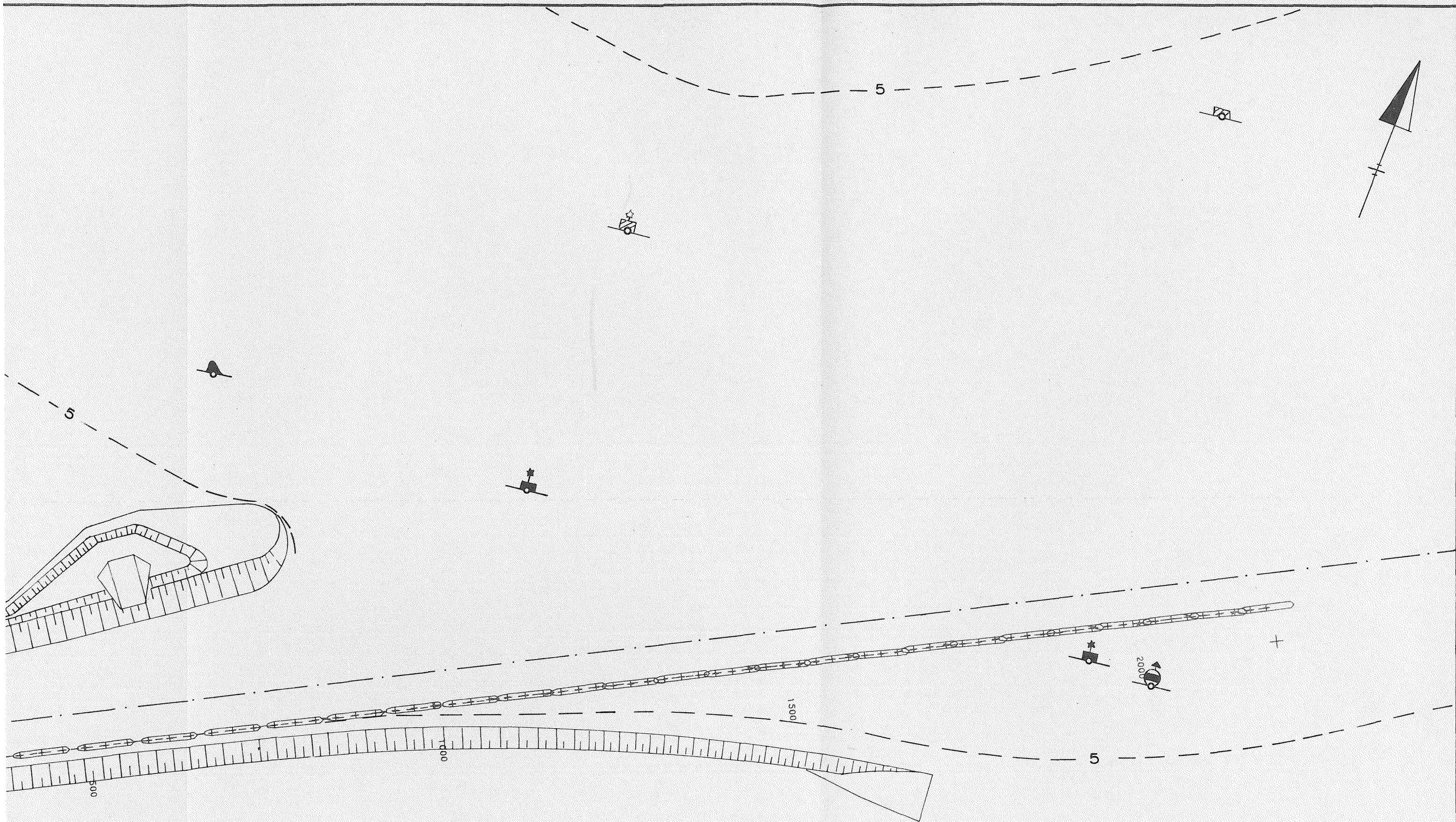
CHAAL 1 : 5000	
1889	FIG. 7



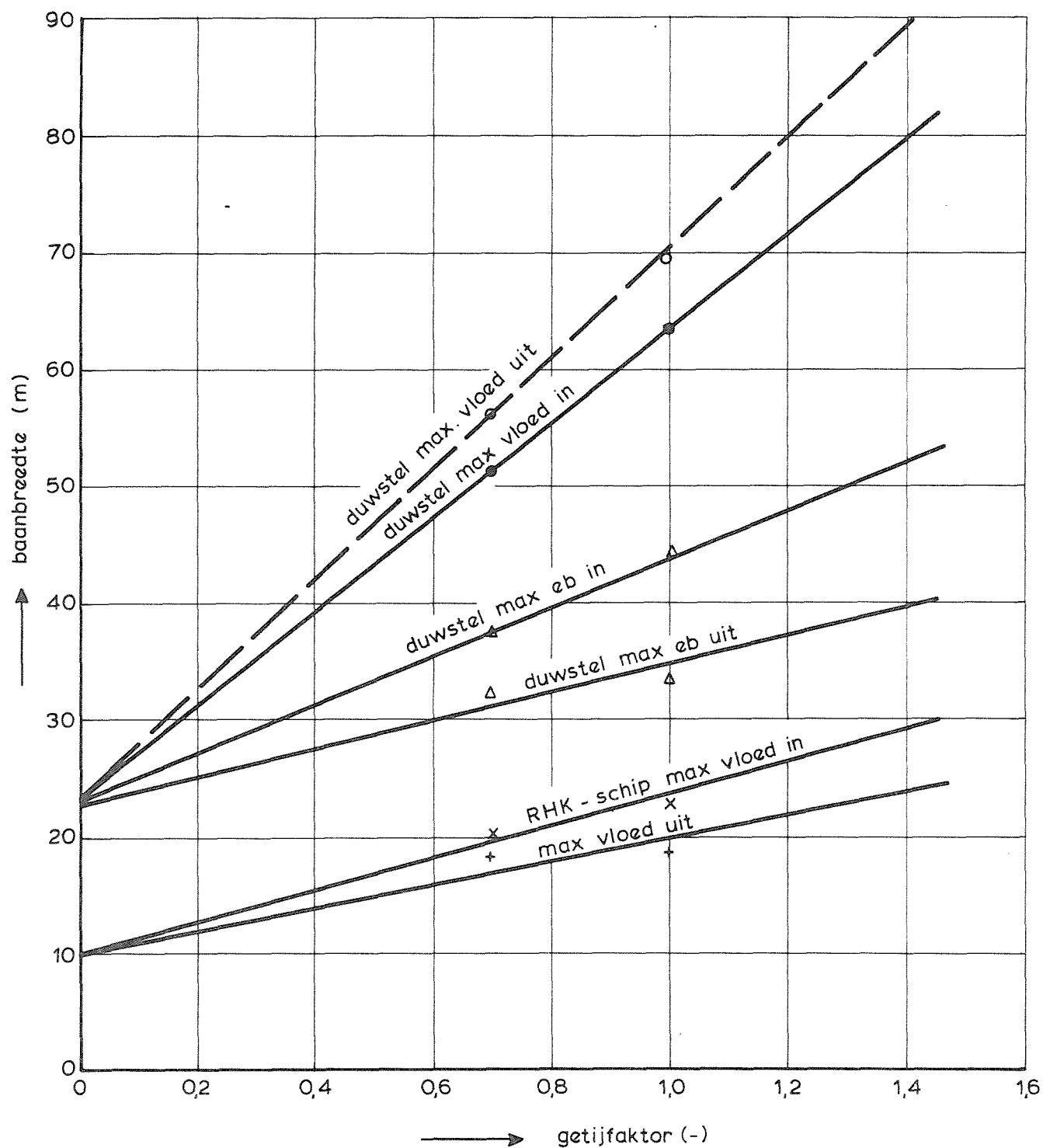
MANOEUVRE RHK - SCHIP.		
INVAREND. MAXIMALE VLOED	SCHAAL 1 : 5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1889	FIG. 8



MANOEUVRE RHK - SCHIP. UITVAREND. MAXIMALE EB		
	SCHAAL 1 : 5000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1889	FIG. 9



SCHAAL 1 : 5000	
R1889	FIG. 9

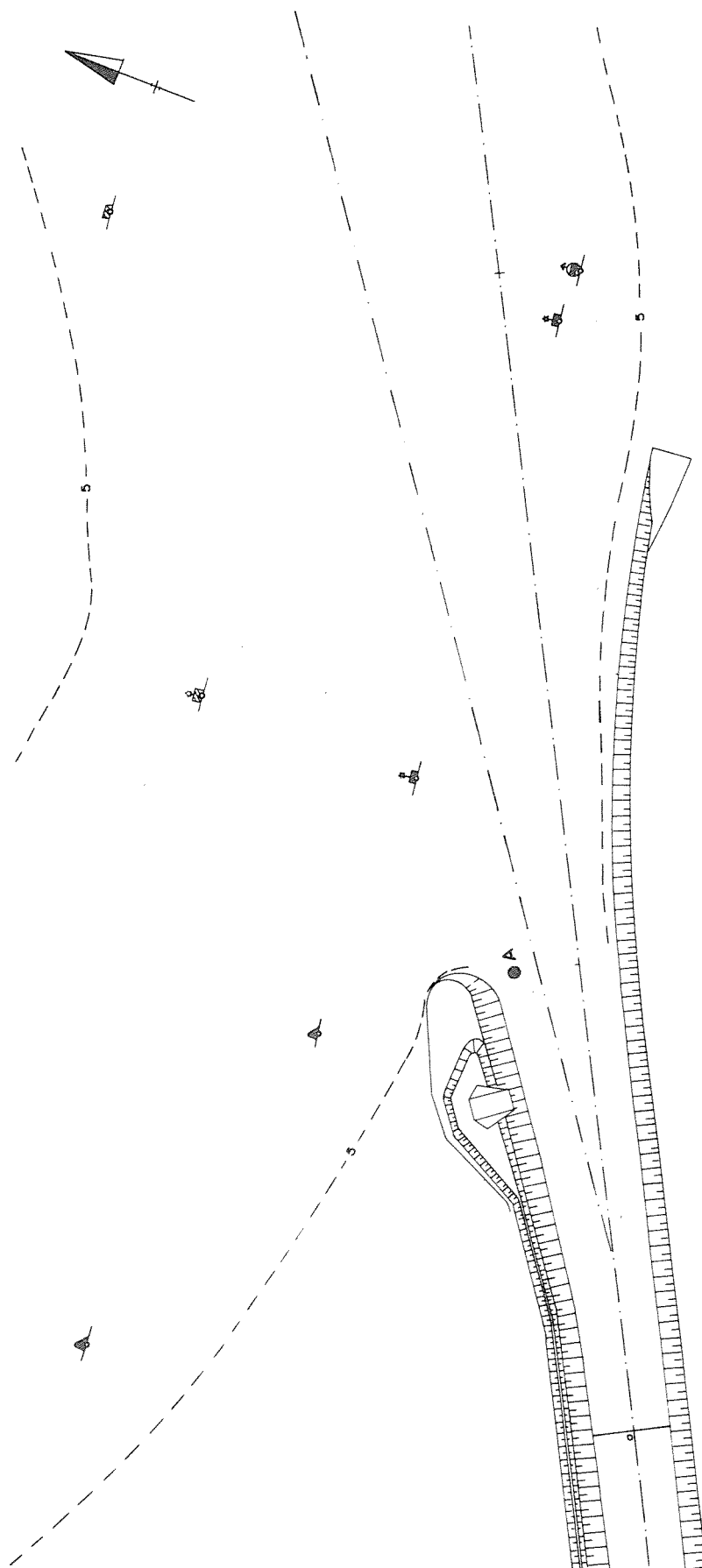


INVLOED STROOMSNELHEID OP VAARBAANBREEDTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG. 10

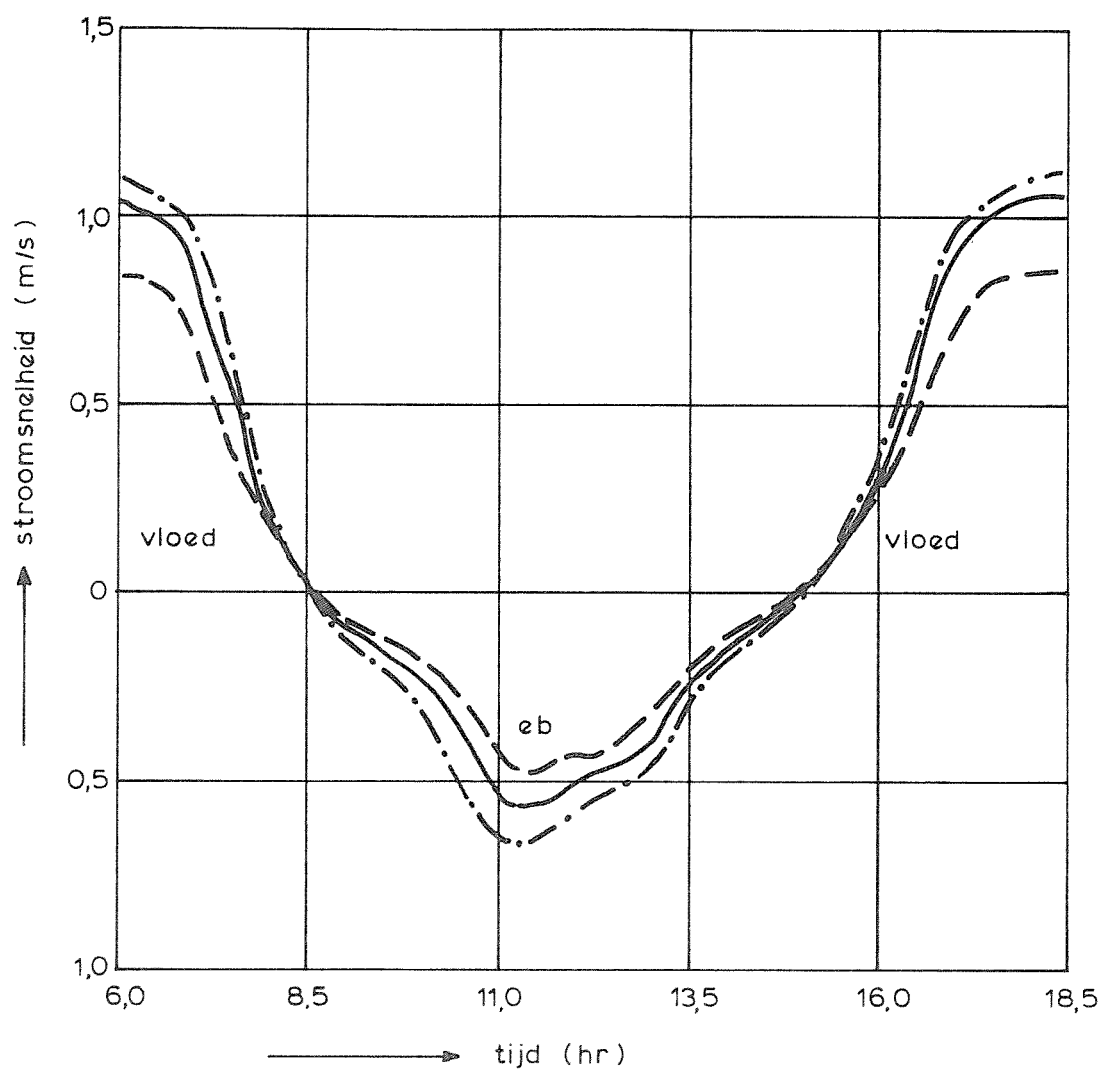


VAARBANEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG. 11



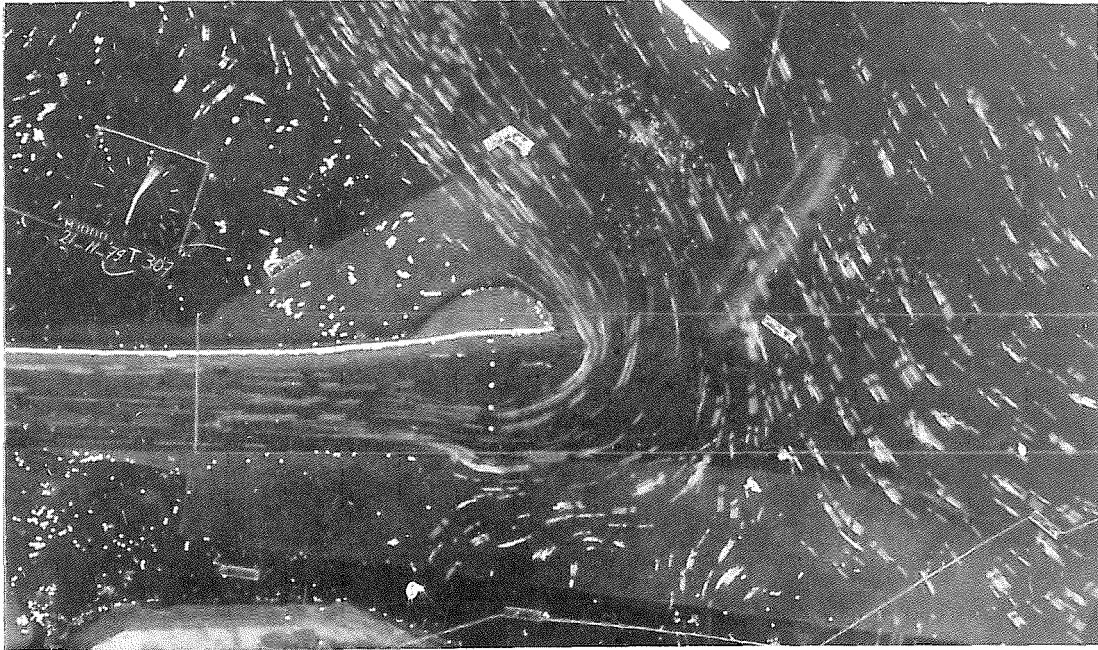
————— gemiddeld getij
 - . - . - . springtij
 - - - - - doodtij

STROOMSNELHEDEN GEDURENDE DE GETJCYCLUS

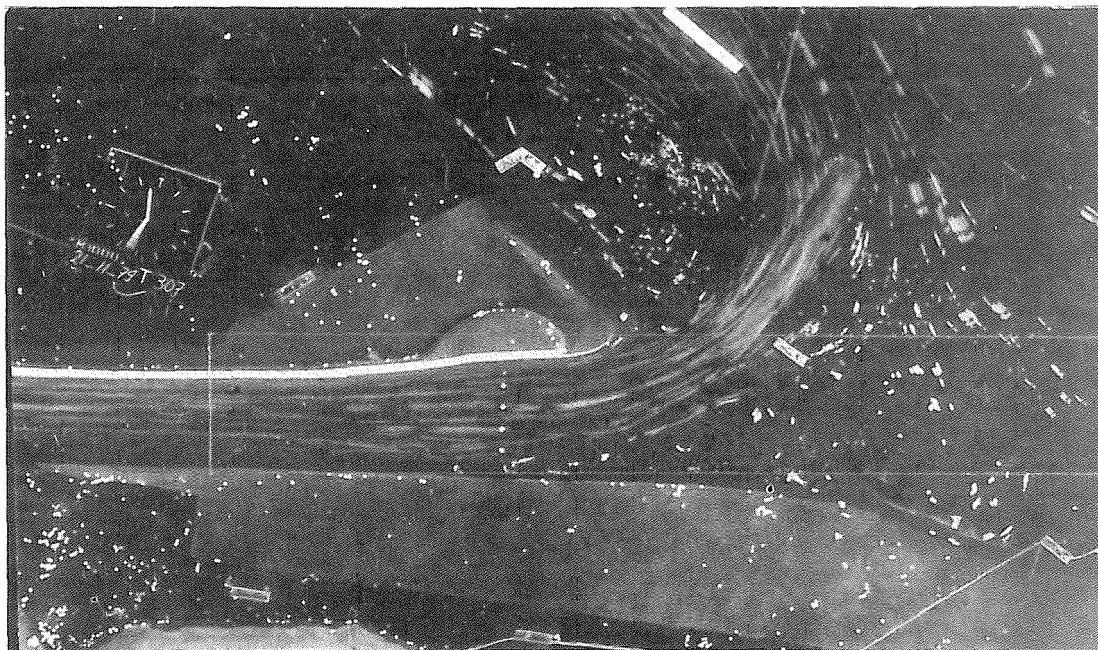
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1889

FIG.12



1. Oppervlakte stroombeeld tijdens maximale vloed



2. Oppervlakte stroombeeld tijdens maximale eb

p.o. box 177

2600 mh delft

the netherlands