

rijkswaterstaat-deltadienst
milieu en inrichting
— bibliotheek en documentatie —
postbus 439 - 4330 AK Middelburg
tel.: 01180-11851

SLUFTERDAMPROJECT

Morfologische consequenties
van de realisering van het
Slufterdamproject

Werkgroep Civiele Techniek

Gemeente Rotterdam
Rijkswaterstaat
Openbaar Lichaam Rijnmond

september 1982

Deelrapport Morfologie

Inhoud	Blz.
1. Inleiding	1
2. Morfologische ontwikkeling na 1950	2
2.1 Inleiding	2
2.1.1 Invloed golven op sedimenttransport	2
2.1.2 Invloed stroming op sedimenttransport	3
2.2 Beschouwing van de ontwikkeling in het slufteerplangebied	3
2.2.1 Uitgevoerde werken tussen 1950 en 1980	4
2.3 Bodemontwikkeling 1950 - 1980	4
2.3.1 Periode 1950 - 1965	6
2.3.2 Periode 1965 - 1973	7
2.3.3 Periode na 1973	7
2.4 Conclusies t.a.v. toekomstige ontwikkeling	10
3. Methoden ter bepaling van zandtransporten	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Golfklimaat in het gebied van het slufteerdamproject	13
3.3 Bepaling van de getijstromingen in het gebied van het slufteerdamproject	13
3.4 Methode voor berekenen van de transportcapaciteit door golven	14
3.5 Methode voor berekenen van de transportcapaciteit door golven en getijstroming	14
3.6 Bepalen van de zandtransporten	14
4. Het te verwachten onderhoud van de loswaldammen	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Zandtransporten langs de loswaldammen	16
4.2.1 Variant A	17
4.2.2 Variant B	19
4.2.3 Variant C	21
4.3 Maatregelen ter beperking van de zandtransporten	23
4.3.1 Paalrijen	23
4.3.2 Strandhoofden	24
4.4 Het te verwachten onderhoud aan het zeewaarts talud van de omkading	24
4.4.1 Bepaling van het onderhoud	24
4.4.2 Onderhoudsmethoden (verschillende wijzen van uitvoering van onderhoud)	25
4.4.3 Onderhoud en onderhoudskosten van de varianten	26
4.5 Conclusies t.a.v. het onderhoud	27

5.	Mogelijke effecten voor de randgebieden in geval van aanleg van één der varianten	29
5.1	Inleiding	29
5.2	De verandering in de randvoorwaarden	29
5.2.1	Verandering in stroombeeld	29
5.2.2	Verandering in golfbeeld	30
5.3	Verandering in morfologische ontwikkeling	33
5.3.1	Het sluftergebied	33
5.3.2	De kust van Voorne	35
5.3.3	De kust van Goeree	35
5.3.4	De geulen in het mondingsgebied van het Haringvliet	35
5.3.5	De Hinderplaat, het afgescheiden zuidelijke deel	36
5.3.6	De Hinderplaat, het aan het slibdepot aansluitende deel	37
5.3.7	De kust ten noorden van de Zuiderdam	37
6.	Verwacht onderhoud in geval van aanleg van een tweede fase	39
6.1	Inleiding	39
6.2	De randvoorwaarden	39
6.2.1	De situering	39
6.2.2	Het golfveld	39
6.2.3	Het stroombeeld	40
6.2.4	Het situatieprofiel	40
6.3	Het te verwachten onderhoud van de dammen	41

Deelrapport Morfologie

1. Inleiding =====

In dit deelrapport zullen de morfologische aspecten van de aanleg van de slufterdam uitgebreid aan de orde komen. Daartoe wordt allereerst een korte beschrijving gegeven van de processen die van invloed zijn op de sedimentbeweging. Deze sedimentbeweging, resulterend in erosie c.q. aanzanding, vormt de basis voor de verandering van de bodemconfiguratie ofwel bodemmorfologie.

Om een goed beeld te verkrijgen van de gevolgen van de aanleg van de slufterdam is naast een theoretisch inzicht in de relevante processen, een studie van de wordingsgeschiedenis van de huidige bodemmorfologie onontbeerlijk. Hierdoor kan een inzicht ontstaan in de mate waarin bepaalde processen in het gebied van invloed zijn en er kunnen wellicht conclusies getrokken worden ten aanzien van de belijning c.q. vormgeving van kunstmatige ingrepen zoals de aanleg van de slufterdam.

Daarom worden de veranderingen in de bodemmorfologie beschreven in de mond van het Haringvliet tussen 1950 en 1980. Op basis hiervan wordt een verwachting van de toekomstige ontwikkeling uitgesproken en worden randvoorwaarden geformuleerd voor een morfologisch in feite optimaal ontwerp van de slufterdam.

In het volgende deel worden berekeningen gepresenteerd van de getijbeweging met en zonder slufterdam (3 varianten) en van het optredende zandtransport langs de kustlijn van de slufterdam varianten.

Uit deze berekeningen worden ramingen afgeleid van de te verwachten kosten van het onderhoud van de kustlijn, de stabiliteit hiervan en de mogelijke maatregelen om de stabiliteit te vergroten.

Vervolgens worden de gevolgen van de eventuele aanleg van de slufterdam beschreven voor de belendende kustvakken, geulen e.d.

In het laatste deel wordt voor de tweede fase van het Slufterdamproject een verwachting uitgesproken van het te verrichten onderhoud aan de omkading.

Een overzicht van het gebied met de gehanteerde benamingen voor de deelgebieden wordt gepresenteerd in figuur 1. De belijning van de varianten van de Slufterloswal is aangegeven in respectievelijk figuur 2, 3 en 4. Hierin zijn ook de dwarsprofielen van de omkading weergegeven.

Morfologische ontwikkeling na 1950

2.1 Inleiding =====

De onderwaterdelta voor de Zuid-Hollandse en Zeeuwse kust is ontstaan door het samenspel van getij en golven toen de zeearmen nog in open verbinding stonden met de zee.

De getijstroom, en de hierdoor ontstane eb- en vloedgeulen, werden in sterke mate beïnvloed door de zeer grote komberging van het achterliggende estuarium.

Afsluiting van de zeegaten had een drastische wijziging van het stroombeeld over de onderwaterdelta tot gevolg en daardoor een aanpassing van de bodemmorfologie.

Om deze bodemaanpassing te kunnen verklaren is het van belang om de oorzaken te kennen van de sedimentbeweging die de bodemaanpassing veroorzaakt.

In principe zijn dit de golven, de getijstroom en de combinatie van beide.

2.1.1 Invloed golven op sedimenttransport =====

De invloed van de golven op de sedimentbeweging beperkt zich grotendeels tot de brandingszone.

Brekende golven op een zandplaat of strand veroorzaken een sterke turbulentie waardoor zand van de bodem wordt opgewoeld. Scheef invallende golven veroorzaken bovendien een langsstroom (brandingsstroom) waardoor het opgewoelde zand wordt verplaatst. Langs een strand is de brandingsstroom vaak overheersend boven de getijstroom, de stroomrichting is gelijk dan wel tegengesteld. Op een zandplaat is dat niet het geval, hier blijft de getijstroom van grote invloed mede doordat getijstroom en brandingsstroom sterk van richting kunnen verschillen. De richting van het zandtransport is daardoor niet éénduidig te bepalen.

Daarnaast veroorzaken de golven, bij stranden en zandplaten, ook een sedimenttransport loodrecht op de dieptelijnen.

Dit dwarstransport kan zowel zeewaarts als landwaarts gericht zijn.

De theoretische kennis van het langstransport door golven is zodanig dat op grond daarvan redelijk betrouwbare mathematische modellen konden worden ontwikkeld.

Het dwarstransport is nagenoeg alleen als fenomeen bekend; een feit is dat zich onder stormomstandigheden een ander evenwichtsdwarsprofiel zal instellen dan onder gemiddelde omstandigheden. Uit metingen en laboratoriumonderzoek zijn deze evenwichtsdwarsprofielen redelijk bekend. Het evenwicht van het dwarsprofiel van zandplaten is veel complexer en sterk afhankelijk van lokale omstandigheden.

2.1.2 Invloed van stroming op het sedimenttransport
=====

Met als basis de uitgebreide kennis van sedimenttransport in rivieren is de sedimentbeweging onder invloed van getijstromen, ook modelmatig, redelijk bekend. Indien lokaal de stroomsnelheid toeneemt zal de mate waarin sediment kan worden meegevoerd, de zandtransportcapaciteit, toenemen met als gevolg erosie. Bij afname van de stroomsnelheid zal sedimentatie op kunnen treden. De voordelta is ontstaan doordat de zandrijke ebstroom uit het estuarium buiten de monding wordt vertraagd tengevolge van de verruiming van het doorstroomprofiel waardoor hier een ondiepte ontstaat. Door de in- en uitstroming wordt in deze ondiepte een geul of geulenstelsel opengehouden. In het algemeen zijn over de banken de vloedstromen belangrijker dan de ebstromen, die meer geconcentreerd zijn in de geulen. Het door de vloed in de geulen gebrachte sediment kan bij eb weer worden opgenomen en zeewaarts worden getransporteerd.

Het sedimenttransport door de getijstroom kan aan de zeewaartse rand van de zandplaten waar de golfinvloed groot is, in sterke mate worden beïnvloed. Door het opwoelen van het zand in de brandingszone is een zwakke getijstroom reeds voldoende om grote zandhoeveelheden te verplaatsen. In algemene zin kan gesteld worden dat aan de zeewaartse rand van de onderwaterdelta het transport door golven maatgevend is terwijl aan de meer beschutte zijde de getijstroom de belangrijkste oorzaak van het sedimenttransport is.

2.2 Beschouwing van de ontwikkelingen in het Slufterplangebied
=====

De bodemmorfologie in het kustgebied tussen Hoek van Holland en Goeree is in de periode tussen 1950 en 1980 ingrijpend gewijzigd. Menselijk ingrijpen is in zeer sterke mate de oorzaak van deze veranderingen. Na iedere kunstmatige ingreep en verstoring van het evenwicht, reageert de natuur met een aanpassing aan de nieuwe situatie. Dit aanpassingsproces zal aanvankelijk snel verlopen maar allengs worden de jaarlijkse veranderingen geringer. Een volledig stabiele situatie, zonder morfologische veranderingen, waarbij alle hiervoor beschreven processen geheel met elkaar in evenwicht zijn, zal zich in een kustgebied met zandplaten en geulen niet instellen. Er zal altijd een dynamiek in de bodemconfiguratie aanwezig zijn als gevolg van het stochastisch karakter van golven en stromingen.

Aan de hand van de kaarten van dit gebied zullen de ingrepen en de gevolgen ervan behandeld worden.
Op deze wijze kan een inzicht ontstaan in de processen die van invloed zijn op de morfologie. Te zamen met zandtransportberekeningen (zie paragraaf 3.6) kan dan de reactie van de natuur na aanleg van het Siufterdamproject wellicht worden voorspeld.
Dit beeld van de processen kan mede worden geschetst aan de hand van gegevens verzameld door de afdeling Hellevoetsluis van de directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

2.2.1 Uitgevoerde werken tussen 1950 en 1980 =====

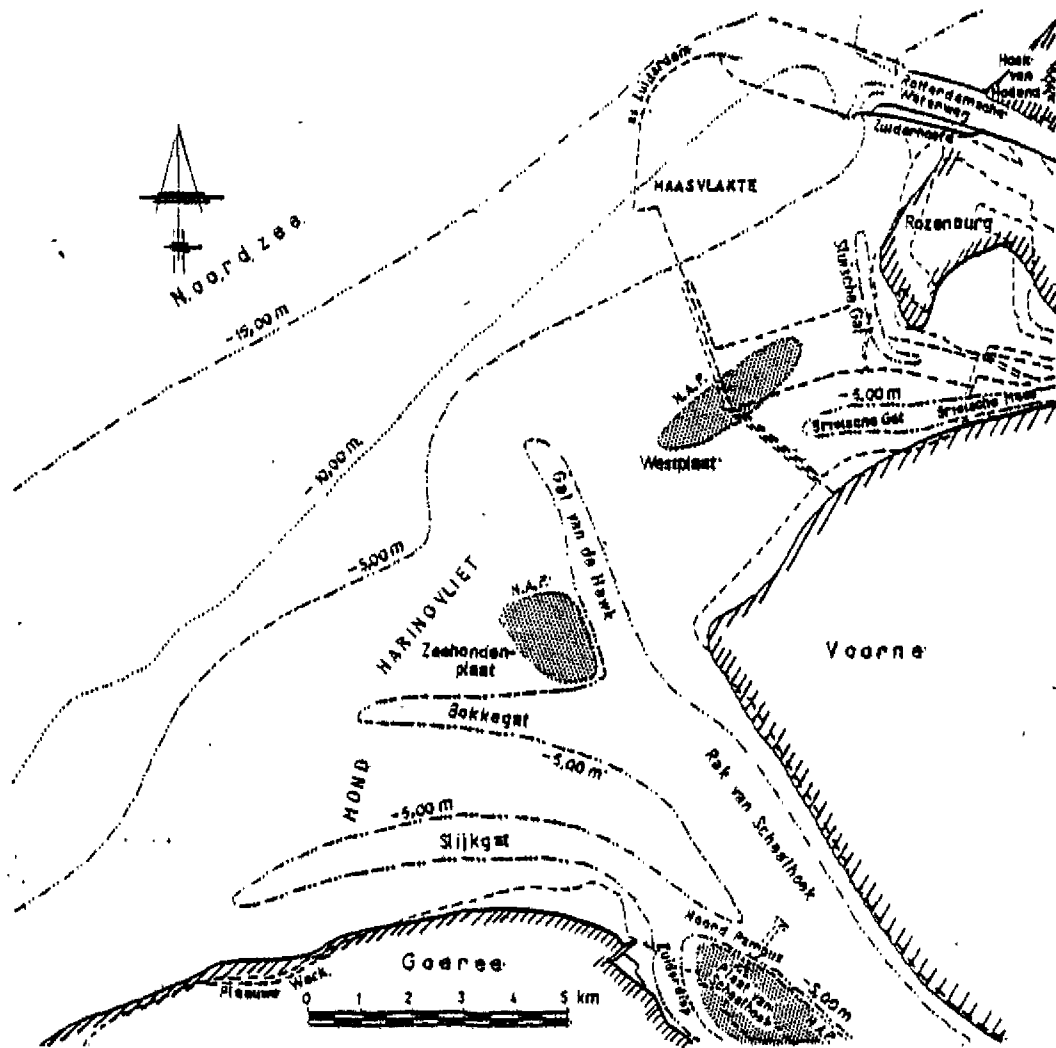
De volgende werken zijn in de periode tussen 1950 en 1980 uitgevoerd.

- | | |
|-----------|---|
| 1950 | Afdamming Brielse Maas |
| 1964-1966 | Aanleg Europoort waardoor het natuurlijke duingebied "De Beer" verloren gaat. |
| 1964-1973 | Aanleg Maasvlakte, waarbij voor het hier beschouwde de volgende onderdelen van belang zijn: |
| 1964 | afsluiting resterende deel van het Sluische Gat |
| 1966 | afdamming Brielse Gat, c.q. Vorming Oostvoornse Meer |
| 1967-1969 | uitbouw westelijke zanddam van de Maasvlakte |
| 1970-1971 | aanleg Zuiderdam (Blokkendam) |
| 1973-1976 | aanleg omgelegde zanddam en zanddepot aan de zuidwestelijke begrenzing van de Maasvlakte. |
| 1955-1971 | Afsluiting Haringvliet. |

2.3 Bodemontwikkeling 1950-1980 =====

Voor het beschrijven van de bodemontwikkeling is het, gezien het bovenstaande, zinvol om drie perioden te onderscheiden te weten 1950-1965, 1965-1973 en na 1973.
Op de eerste twee perioden zal slechts kort worden ingegaan, meer informatie is te vinden in lit. 1, 2, 3 en 4.

Van de laatste periode zal een gedetailleerde beschrijving gegeven worden en er zal getracht worden om de beschreven bodemveranderingen te verklaren.
De gebruikte geografische aanduidingen zijn in onderstaande figuur in beeld gebracht.



Geografische aanduidingen

2.3.1 Periode 1950 - 1965
=====

Na de afdamming van de Brielse Maas verzanden de geulen in deze riviermond en groeien enkele platen aaneen tot de Westplaat. Door het grotendeels verzanden van het Sluische Gat, raakt de Westplaat, rond 1962, al grotendeels verbonden met de Beer. Ook in zuidelijke richting groeit de Westplaat en daar vormt zich een kenmerkende strandhaak. De ligging van de plaat wijzigt zich niet (figuren 5 en 7).

Als in '64 de werken aan de Maasvlakte van start gaan met de definitieve afsluiting van het Sluische Gat, is in vergelijking met 1951, het bij laagwater droogvallende gebied tussen Voorne en de havendam bijna verdubbeld, waardoor ook de laagwaterlijn aan de noordelijke kust van Voorne steeds verder zeewaarts komt te liggen.

De verlanding in het Brielse Gat bedraagt ongeveer 1 miljoen m³ per jaar.

Het Gat van de Hawk, de geul voor de Westplaat, verandert nauwelijks qua ligging en diepte. Hoewel zich aan het begin van de zestiger jaren in deze geul afzonderlijke eb- en vloedscharen gaan ontwikkelen, is aan het eind van de beschouwde periode deze ontwikkeling teniet gedaan en bestaat het Gat van de Hawk alweer uit één geul.

Het hoogste deel van de Zeehondenplaat ligt in '52 op minder dan 1 km zuidwestelijk van de punt van Voorne.

In '65 is deze uitloper van de plaat in zijn geheel ongeveer 1,5 km in noordwestelijke richting opgeschoven.

Verder verandert de Zeehondenplaat, en met name de westelijke begrenzing, nauwelijks. Het grootste deel van deze plaat ligt op een niveau van N.A.P. -2 m of lager.

De veranderingen in het gebied zijn grotendeels een direct of indirect gevolg van de afdamming van de Brielse Maas.

In deze periode kan het mondingsgebied van de Brielse Maas getypeerd worden als een aangroeiende kust.

2.3.2 Periode 1965 - 1973
=====

In deze jaren zijn de kunstmatige ingrepen, aanleg van de Maasvlakte en afsluiting van het Haringvliet, het meest rigoreus. De aanleg van de werken duurt lang en het aantal ingrepen in relatief korte tijd is dermate groot dat de gevolgen van ieder afzonderlijk niet te onderscheiden zijn (figuren 5, 6 en 7).

De Westplaat wordt nagenoeg geheel opgeslokt door de Maasvlakte, slechts de zuidelijke punt blijft bestaan.

Door de drastische wijziging in het stroombeeld in dit gebied gaat de ontwikkeling van deze plaat *anders verlopen* dan in de voorgaande periode.

De karakteristieke vorm met een strandhaak, gaat langzamerhand verloren en de plaat vormt uiteindelijk een geheel met de flauwe vooroevers van de Brielse Gatdam en de noordkust van Voorne. Dit gehele gebied verzandt, het grootste deel van het hier afgezette materiaal is afkomstig van de opspuiting van de Maasvlakte (lit. 5).

De Zeehondenplaat verandert enorm, zowel de vorm, de inhoud als de oriëntatie, en ondergaat bovendien een naamswijziging: Hinderplaat.

Aan de hand van de positieveranderingen van de 2 m en 3,5 m dieptelijnen (fig. 7) is dit proces te volgen.

Het bij laagwater droogvallende deel van de Hinderplaat is nog steeds aan de oostzijde gelegen.

Het Gat van de Hawk bestaat nog slechts uit één geul die aan het eind van de periode smaller en dieper is geworden. De richting van de geul verandert nauwelijks.

Als gevolg van de afsluiting van het Haringvliet beginnen de andere geulen in dit gebied, het Slijkgat en het Rak van Scheelhoek, te verondiepen.

2.3.3 Periode na 1973
=====

In 1973 zijn de werken aan de kust afgerond met uitzondering van het zanddepot op de zuidelijke punt van de Maasvlakte dat pas in 1976 gereed komt.

De natuur krijgt dan de gelegenheid om ongestoord een nieuw evenwicht na te streven (figuren 6 en 8). Op den duur worden de jaarlijkse veranderingen klein en kan er min of meer van een dynamisch evenwicht gesproken worden.

Aan de hand van metingen en berekeningen zullen de veranderingen per gebied worden beschreven en verklaard en wordt getracht de verdere ontwikkeling kwalitatief te voorspellen.

De berekeningen die hieraan ten grondslag liggen, te weten een twee-dimensionale getijberekening en een berekening van het zandtransport door golven, staan in detail vermeld in lit. 6 en 7.

De Hinderplaat

=====

Zoals voorspeld in lit. 4 heeft deze plaat zich opgebouwd door een combinatie van golven en stroming. Zand van 3 à 4 m diepte is omhooggewerkt en door het gewijzigd stroombeeld als gevolg van de Haringvlietafsluiting kon de plaat zich tot boven LW opbouwen, waardoor de dieptelijnen wat meer zeewaarts zijn komen te liggen (zie fig. 8) en het dwarsprofiel meer overeenkomst vertoont met de in aangrenzende kustvakken voorkomende kustprofielen.

De uiterlijke vorm van de Hinderplaat is in deze jaren flink veranderd, wat zich zeer duidelijk manifesteert bij LW wanneer een deel van de plaat droogvalt. Het droogvallende deel heeft zich zeewaarts verplaatst. Het meest opvallend is echter, dat de kustlijn één geheel is gaan vormen met de Maasvlaktekust, slechts onderbroken door het Gat van de Hawk. Het ontstane kustalignement lijkt gezien de geringe veranderingen in de laatste jaren in evenwicht.

Zoals uit figuur 9 blijkt is sinds 1973 het oppervlak boven N.A.P. -3 m weliswaar enigszins (7%) afgenomen, maar de inhoud hiervan is met 2.10^6 m^3 (17%) toegenomen. Het opwerken van de plaat blijkt ook uit deze figuur; zo is het oppervlak boven N.A.P. -2 m met 13% toegenomen en de inhoud hiervan met 2.10^6 m^3 (57%). Nog duidelijker is dit te zien bij het deel boven N.A.P. -1 m waarvan het oppervlak verdrievoudigd is tot ca. 225 ha. Uit deze gegevens blijkt dat de verandering van de Hinderplaat niet zo zeer het gevolg is van aanvoer van materiaal van elders maar grotendeels voortkomt uit de genoemde opwerking, zelfs de geringe inhoudstoename boven N.A.P. -3 m (2.10^6 m^3) komt waarschijnlijk via opwerking van zand van de diepere voor-oever.

Uit figuur 9 blijkt ook dat sinds '78 de groei van de Hinderplaat stagneert. Een uitzondering hierop vormt echter de zuidelijke punt die zich gestaag met $\pm 70 \text{ m}$ (N.A.P. -2 m lijn) per jaar uitbouwt. Dit komt overeen met berekeningen (figuur 11) die een resulterend zandtransport langs de Hinderplaat in zuidelijke richting te zien geven. Aan de zuidpunt waar de brandingsinvloed door de grotere diepte afneemt, sedimenteert dit materiaal, waarbij een deel door de stroming door het Bokkegat over enige afstand in oostelijke en westelijke richting verspreid wordt. Het Bokkegat wordt er jaarlijks $\pm 50 \text{ m}$ smaller door, het gat verondiept ter plaatse echter nauwelijks.

Aan de landzijde is de Hinderplaat nauwelijks veranderd, hetgeen ook verwacht werd gezien de geringe optredende stroomsnelheden en de afgeschermd ligging t.o.v. golfaanval.

De Hinderplaat is volledig uit zand opgebouwd en het slibgehalte is ook aan de minder aangevallen zijde zeer laag (2%).

De vooroever van de Maasvlakte
=====

Reeds aan het begin van de '70-er jaren werd geconstateerd dat het aan de blokkendam aansluitende kustvak aan sterke erosie onderhevig was. Geadviseerd werd paalrijen te plaatsen en regelmatig suppleties toe te passen. Aanvankelijk werden hier 7 palenschermen geplaatst maar omdat de tevens geadviseerde suppleties niet werden uitgevoerd, verdwenen vele van de palen. In afwachting van verdere ontwikkeling werd in 1980 een basalt bekleding aangebracht over de eerste 500 m vanaf de blokkendam, en vervolgens daarop aansluitend over 300 m basaltbreuksteen. Meer ten zuiden is langs dit kustvak een sterke aanzanding opgetreden en er heeft zich een bankengebied gevormd, dat aansluit op het kustalignement van de Hinderplaat. Hierdoor is de as van het Gat van de Hawk ongeveer 30° in westelijke richting (tegen de klok in) gedraaid.

De Westplaat
=====

Het ondiepe gedeelte tussen Maasvlakte en West-Voorne is vooral tijdens de aanleg van de Maasvlakte sterk verondiept (lit. 5). De laatste jaren (vanaf '76) lijkt er een evenwicht te zijn en vindt er geen verdere verondieping plaats. Het slibgehalte is er hoger dan op zee en op de Hinderplaat. Verwacht wordt dat bij ongewijzigde situatie dit gebied nauwelijks verder zal verondiepen, hoewel er wel veranderingen kunnen optreden zoals de vorming van jonge duinen die sinds 1976 aan de Voorne zijde gaande is: er komen reeds duinen voor met duintoppen op een niveau van N.A.P. +3 m. Deze duinvorming is het gevolg van eolisch zandtransport en de aanwezigheid van pioniervegetatie. Het zand hiervoor is waarschijnlijk afkomstig van de eroderende punt van Voorne. Deze punt zal zonder verdere maatregelen een blijvende zorg vormen. De achteruitgang is in het verleden al eens malen opgevangen door het suppleren van zand.

De Geulen
=====

Zoals reeds voorspeld ten tijde van de afsluiting van het Haringvliet (lit. 2 en 4) zijn de geulen in de mond van het Haringvliet sterk verslibd sinds de afsluiting. Zo is het Rak van Scheelhoek tussen '70 en '80 plaatselijk meer dan 4 m verondiept. De verondieping bedraagt er jaarlijks 800.000 m³. Dit proces is nog niet tot stilstand gekomen. De verslibbing van deze geul die in '76 tot even voorbij de Groene punt gevorderd was, blijkt in '80 al 1,5 km verder in noordelijke richting opgedrongen te zijn waardoor de diepere delen tussen Hinderplaat en Voorne momenteel ook sterk verslibd zijn.

Blijkbaar zijn de stroomsnelheden in de geulen momenteel dermate laag dat het slib kan sedimenteren.

Uitzonderingen hierop vormen de zeewaartse geulen als het Bokkegat en het Gat van de Hawk waarin de slibgehalten zeer laag (2%) zijn.

De verondieping van de andere geulen zal doorgaan tot een evenwichtsniveau is bereikt. Wanneer dat het geval zal zijn is moeilijk aan te geven.

De as van het Gat van de Hawk is zoals vermeld aan de noordzijde ongeveer 30° in westelijke richting (tegen de klok in) gedraaid. Daar ter plaatse wordt de aanzanding niet alleen door transport door golven maar mede door de getijstroom bepaald.

De langstransportcapaciteit door golven is ter plaatse van het Gat aanzienlijk geringer dan die van de aanliggende gebieden als gevolg van de toenemende bodemdiepte.

Door deze discontinuïteit zet zich zand af in de mond. Het afgezette zand kan door de getijstroom weer worden meegenomen. Bij opkomend tij is de stroming door het Gat zeewaarts gericht. Het zand wordt weer opgenomen en aan de noordoostzijde, waar de stroomsterkte afneemt, sedimenteert het weer. Bij afgaand tij kan ook materiaal worden opgenomen en door de geul binnenwaarts worden verplaatst maar blijkbaar is de zandtransportcapaciteit in deze getijfase geringer (lagere stroomsnelheid) anders zou het strand bij de Maasvlakte-punt niet uitbouwen.

Het Gat van de Hawk verandert niet alleen qua richting, het wordt ook smaller, waarbij de laatste jaren een stabilisatie optreedt ten aanzien van de ligging van het centrum van de geul. De einden van de geul verondiepen nog steeds.

Het Gat van de Hawk verondiept ter hoogte van de Hinderplaat niet: het lijkt dan ook niet waarschijnlijk dat deze geul hetzelfde lot zal ondergaan, namelijk verzanding, als het Sluise Gat in het begin van de zestiger jaren als gevolg van de afsluiting van de Brielse Maas.

Het Bokkegat is in de laatste jaren door de uitbouw van de Hinderplaat enigszins verschoven in zuidwestelijke richting. Het doorstromingsprofiel van deze geul is in grootte verminderd (zie figuur 10).

2.4 Conclusie t.a.v. toekomstige ontwikkeling =====

Bij het achterwege blijven van grootschalig ingrijpen door de mens kan de volgende ontwikkeling verwacht worden.

- De Hinderplaat zal in ligging, omvang en inhoud nauwelijks meer toenemen en een opwerking tot boven N.A.P. is zeker niet te verwachten.

Alleen aan de zuidzijde zal nog enige uitbouw plaatsvinden. Het Bokkegat wordt door deze uitbouw bedreigd. Het lijkt echter alsof zich de laatste jaren een evenwicht aan het instellen is waarbij het aangevoerde zand, dat zich langs de Hinderplaat verplaatst, voornamelijk in westelijke richting wordt afgevoerd. De zuidpunt van de Hinderplaat bouwt zich naar verwachting in westelijke richting uit.

- Het Bokkegat vervult in het hydraulische systeem een duidelijke functie. Ondanks de opdringende Hinderplaat lijkt het Gat zich te kunnen handhaven.
- De verondieping van de Westplaat is tot stilstand gekomen en dit zal zo blijven.
Vorming van jonge duinen nabij Voorne zal echter doorgaan.
Een verdere verslibbing van dit gebied is vooralsnog niet te verwachten.
- Het meest spectaculaire proces dat in dit gebied gaande is, te weten de verslibbing van de geulen, zal onverminderd voortgaan. Wanneer de geulen tot een nieuw evenwichtsniveau zijn opgevuld, zal het aangevoerde materiaal dat nu nog sedimenteert, naar elders getransporteerd worden. Dit materiaal zal niet op de platen worden afgezet tenzij het evenwichtsniveau hoger is gelegen dan deze platen, maar dat lijkt zeer onwaarschijnlijk. Nabij en in het Gat van de Hawk zijn de stroomsnelheden zodanig dat er geen aanslibbing op zal treden.
De relevante factoren die een rol spelen t.a.v. het sedimentatieproces van slib worden in paragraaf 5.3 uiteen gezet.

3. Methoden ter bepaling van zandtransporten

3.1 Inleiding =====

Uit golfgegevens en getijstroombeelden kan middels een aantal zandtransportberekeningen het aanzandings- en uitschuringspatroon worden bepaald.

In paragraaf 3.2 en 3.3 komen respectievelijk de bepalingen van het golfklimaat en de getijstroomsnelheden aan de orde.

De loswaldammen kunnen worden opgesplitst in drie delen; voor elk is een methode van onderzoek voor zandtransporten bepaald. In dit deelrapport (hoofdstuk 2) is al een indruk gegeven van de oorzaken van sedimenttransport. Daaruit volgt dat voor het min of meer rechte kustalignement kan worden volstaan met een berekening (par. 3.4) waarbij alleen de invloed van golven in beschouwing is genomen. De getijstroom langs dit kustvak heeft op het netto-transport weinig tot geen resulterend effect. Voor de ronde punt van de loswal zijn voor het zandtransport zowel golven als getijstroming van belang. Er wordt daarom voor deze punt een transportberekening uitgevoerd waarbij beide invloeden worden verwerkt (par. 3.5). Voor de dam grenzend aan het binnengebied (het Sluftergebied) wordt geen onderhoud berekend. Dit deel van de dam zal bijna geen onderhoud vergen omdat er nauwelijks sprake is van golfaanval en stroming langs de dam.

De uitkomsten van de transportcapaciteitsberekeningen moeten op de grenzen tussen de drie delen aan elkaar gekoppeld worden. Deze koppeling is tot stand gebracht door middel van een middellingsprocedure (par. 3.6).

Aanvankelijk was besloten om uit de berekeningen voor de varianten A en B te trachten conclusies te trekken omtrent variant C. Later werd echter duidelijk dat de verschillen in de morfologische randvoorwaarden te groot zijn om dit op verantwoorde wijze te doen.

Daarom is alsnog een berekening van het zandtransport door golven uitgevoerd. Voor een getijberekening was geen tijd meer.

Voor variant C zijn de verwachtingen die hier worden aangedragen dan ook enigszins speculatief.

In het kader van de opdracht van de werkgroep is alleen de eerste fase van de varianten beschouwd (wel is speculatief een verwachting voor de toestand bij aanleg van de tweede fase gegeven, wat in hoofdstuk 6 ter sprake komt).

Om een vergelijking met de huidige situatie te kunnen maken is voor de zogenaamde nul-variant ook een berekening uitgevoerd voor het transport door golven.

3.2 Golfklimaat in het gebied van het Slufterdamproject
=====

Het gemiddeld jaarlijks golfklimaat is bepaald uit metingen van het lichtschip Goeree over de periode 1951 t/m 1960. Uit deze metingen zijn de overschrijdingsfrequenties van significante golfhoogten op 20 m diepte als functie van de waterstand voor de richtingssectoren N (345° - 15°), NW1 (315° - 345°), NW2 (285° - 315°), W (255° - 285°) en ZW1 (225° - 255°) bepaald (lit. 9). Door de overschrijdingsfrequenties van de golfhoogten behorende bij deze periode van tien jaren te delen door tien worden de frequenties voor een (bij benadering) "gemiddeld" jaar verkregen: het gemiddeld jaarlijks golfklimaat. Uitgaande van deze golfgegevens kunnen met behulp van een golfstralenpatroon (per windrichting) het golfklimaat op ondiep water en eveneens de hoek van golfinval worden bepaald. Voor het golfstralenpatroon is alleen rekening gehouden met refracteren van golven. Diffractie, wat vooral bij de aansluiting van de Zuiderdam van belang kan zijn, wordt verwaarloosd.

Refractiepatronen (waaruit dus de hoek van golfinval en de golfhoogten bepaald kunnen worden) zijn uitgerekend per richtingssector, voor een gemiddelde én een extreme waterstand (met een frequentie van voorkomen van eens in de twee jaar). De resultaten van de refractieberekening zijn vermeld in rapport "Refractiepatronen Slufterloswalproject" (lit. 8), waarin in ook de methode van berekening van de patronen is vermeld (het zgn. REFRA-programma).

3.3 Bepaling van de getijstromingen in het gebied van het Slufter-
=====
damproject
=====

De stroomsnelheden en waterstanden zijn bepaald met het programma Tides van de Technische Hogeschool te Delft. Uit randvoorwaarden (de waterstand welke is bepaald door metingen) worden op ieder punt van een rechthoekennet de waterstand en de snelheidsvector bepaald.

De methode, de berekeningen en de resultaten zijn vermeld in het rapport "Getijstromingen rond het Slufterdamproject" (lit. 6). De toegepaste maaswijdte bij deze twee-dimensionale getijberekening is 400 meter, de getij-amplitude bedraagt 1,40 m te Hoek van Holland.

De waarden voor de snelheden die worden berekend zijn de snelheidsgemiddelden over de verticaal. In het rapport worden steeds die gemiddelde waarden gehanteerd.

Het rapport "Afsluiting Gat van de Hawk" (lit. 10) geeft een indruk van de stroomsnelheden bij springtij voor een met variant A te vergelijken project.

3.4 Methode voor het berekenen van zandtransportcapaciteit door
=====
golven
=====

Uit de golfklimaatgegevens (zie 3.2) zijn per richtingssector de transportcapaciteiten in raaien loodrecht op de N.A.P.-lijn uitgerekend.

De capaciteit wordt berekend met het door bureau Svasek ontwikkelde programma TAPRA, waarbij uit de hoek van inval van de golven en de hoeveelheid gedissipeerde energie (evenredig met het kwadraat van de golfhoogte) tussen twee dieptelijnen de transportcapaciteit wordt berekend (zie lit. 11). Deze methode Svasek is getoetst voor de zandberging ten zuiden van de Zuiderdam.

Voor een uitgebreide beschrijving van de berekening kan het rapport "Morfologische aspecten van het Slufterdamproject" (lit. 7) worden geraadpleegd.

De berekening is uitgevoerd, per richting, voor die waterstand waarbij de gemiddelde golfenergie optreedt voor een gemiddeld jaarlijks golfklimaat. Het gemiddeld jaarlijks golfklimaat is geschematiseerd tot een aantal golfklassen met een bijbehorende frequentie van voorkomen, per dieptelijn bepaald, in procenten van de tijd.

Uitgegaan is van een korreldiameter (D50) van ca. 200 m.

3.5. Methode voor het berekenen van transportcapaciteit bij golven en
=====
getijstrooming
=====

In twee raaien (loodrecht op de N.A.P.-lijn) langs de zuidpunt worden de transportcapaciteiten berekend.

Met behulp van golfgegevens (zie 3.2) en getijberekeningen (zie 3.3) zijn voor verschillende omstandigheden (gemiddelde omstandigheden, met en zonder golven, en stormomstandigheden) de transportcapaciteiten berekend. Hierbij is ook rekening gehouden met de invloed van verhangen, veroorzaakt door golfopzetverschillen (lit. 7). Bij deze methode is het golfklimaat sterker geschematiseerd dan bij de hierboven (par. 3.4) beschreven methode: per dieptelijn is een representatieve golfhoogte bepaald.

De gebruikte transportformule is de zogenaamde formule van Bijker (lit. 12).

Voor variant C zijn deze berekeningen niet uitgevoerd.

3.6 Bepalen van de zandtransporten
=====

Uit de transportcapaciteiten kunnen de transporten worden bepaald en vervolgens de plaats en mate van erosie of aanzanding van de kust.

Eerst moet een koppeling gemaakt worden tussen de methode van transportcapaciteitsberekening zonder stroming en met stroming.

Dit wordt gedaan met een middelingsprocedure (lit. 7) voor het overgangsgebied tussen beide deelgebieden.

Uit de transportcapaciteitskromme kan het optredend transport worden berekend.

Voor een gemiddeld jaar wordt de transportkromme vastgesteld, waaruit de plaatsen en de hoeveelheden van erosie of aanzanding en de grootte daarvan bepaald kunnen worden.

Een kwantitatieve bepaling van het transport uit de transportcapaciteiten is echter complex.

Er zijn enkele factoren die het exact bepalen van het transport bemoeilijken.

- Zandtransporten kunnen van plaats tot plaats niet te sterk variëren, m.a.w. transporten moeten worden op- en afgebouwd.
- De situatie voor de verbindingsdam nabij de Zuiderdam is niet exact te bepalen in verband met de daar optredende diffractie. Het transport is daar dus eveneens niet exact te berekenen.
- De transportcapaciteiten zijn bepaald bij de huidige bodemconfiguratie. Door de aanleg van het Slufterdamproject verandert het dieptelijnenpatroon ten gevolge van transport van zand en daardoor verandert de transportcapaciteit langs de loswaldam. In feite zou dus per tijdstap steeds de nieuwe bodemligging voorspeld moeten worden en de daarbij behorende transportcapaciteiten berekend moeten worden.

Uit de transportkromme kan worden afgeleid waar, op welke plaatsen langs de loswaldam, erosie of aanzanding plaatsvindt en in welke mate.

Ervaringen hebben uitgewezen dat in de werkelijkheid erosie plaatsvindt over een grotere afstand dan uit berekeningen blijkt. Met die spreiding van erosie moet rekening worden gehouden; dit is gedaan door de transportkromme af te vlakken.

De gevolgde berekeningswijze is gebaseerd op een superpositie van de transportcapaciteiten van vijf windrichtingen. Bij een langdurig aanhouden van golfaanval uit één bepaalde richting of uit bepaalde opeenvolgende richtingen kan het voorkomen dat er aanzienlijk meer zand uit het kuststelsel van de Slufterdam verdwijnt naar dieper water (zeewaarts) of naar binnen (het mondingsgebied van de Haringvliet). Het laatste is in combinatie met hoge stroomsnelheden, bijvoorbeeld springtij, te verwachten).

De erosie van strand en vooroever zal in deze gevallen wat groter kunnen zijn.

Met deze mogelijke extra erosie moet rekening gehouden worden bij de bepaling van de bufferhoeveelheid zand.

Gezien de beperkte grootte van de stroomsnelheden en gezien de stroomrichtingen wordt niet verwacht dat veel zand uit het kuststelsel naar binnen of zeewaarts verdwijnt ten gevolge van het getij.

Alleen bij hoge waterstanden en springtij kan zand verdwijnen in de Haringvlietmond.

4. Het te verwachten onderhoud van de loswaldammen

4.1 Inleiding =====

De veiligheid tegen doorbraak van de omkading vereist een bepaald minimum profiel van deze omkading. Dit minimum profiel zal te allen tijde aanwezig moeten zijn.

Het onderhoud aan de dammen zal noodzakelijk zijn als gevolg van erosie ontstaan door verschillen in langstransport langs de kust. Dwarstransport, loodrecht op de dieptelijnen, zal ook een grote mate van onderhoud kunnen vragen. Dit zal zich uiten vooral in de eerste periode na aanleg waarbij het aangelegde profiel omgevormd wordt tot een kustprofiel dat past bij de lokale golf- en stroomcondities.

Bij aanleg van de dam zal daarom zoveel zand aanwezig moeten zijn dat het evenwichtskustprofiel zich kan instellen. Bij het ontwerp van het dwarsprofiel van de omkading is daarmee rekening gehouden. Onderhoud ten gevolge van dwarstransport nadat een evenwichtsprofiel is bereikt is van minder belang dan het onderhoud ten gevolge van langstransporten.

Aan onderhoud ten gevolge van windtransport wordt geen aandacht besteed, omdat winderosie relatief gering is en zo nodig kan worden voorkomen door het aanbrengen van beplantingen.

Ten einde erosie gedurende enige jaren weerstand te kunnen bieden zal een extra hoeveelheid zand moeten worden aangebracht.

In paragraaf 4.2 worden uit de langstransporten de plaats en mate van erosie en aanzanding afgeleid voor de varianten. Vervolgens komen de eventueel te nemen maatregelen ter sprake (par. 4.3) en daarna wordt het onderhoud bepaald (par. 4.4).

4.2 Zandtransporten langs de loswaldammen =====

Per variant worden de transporten langs de dam beschreven en de plaatsen van erosie en aanzanding en de grootte daarvan.

De zandtransporten zijn gebaseerd op de situatie waarbij onder de (zuidelijke) punt van het Slufterdamproject een nieuwe geul, het Hindergat, is geprojecteerd (zie figuren 11, 12 en 13).

Het aanleggen van deze geul in een zo vroeg mogelijk stadium van de uitvoering van het slibdepot is noodzakelijk. De geul, gesitueerd op voldoende afstand (± 100 m) van de omkading, zal geulvorming direct voor de teen van de omkading in de eerste periode na aanleg waarschijnlijk voorkomen. De aanleg van een Hindergat geeft de mogelijkheid de morfologische processen nabij de (zuidelijke) punt van de omkading nauwlettend te volgen en, indien noodzakelijk, de mogelijkheid accuraat in te grijpen.

Voor de getijberekeningen en de zandtransportberekeningen is uitgegaan van een doorstromingsprofiel van het Hindergat overeenkomstig met dat van het huidige Gat van de Hawk. De vorm is bepaald op grond van hydraulisch inzicht.

De vorm en het doorstromingsprofiel zijn vooraf moeilijk te bepalen. De toekomstige configuratie van het Hindergat wordt voornamelijk bepaald door de sterkte en de richting van de getijstroming door de geul in relatie met de zandtransporten (en daaruit voortvloeiende bodemveranderingen) door stroming en golven zeewaarts van de omkading en de Hinderplaat en de transporten op de Hinderplaat. Het getij plant zich sneller voort naarmate de diepte groter is.

Stroming door de geul wordt veroorzaakt door het optreden van faseverschillen (verschillen in waterstand) tussen de zeewaartse en de landwaartse zijde van de Hinderplaat. Faseverschillen veroorzaken een verhang in waterstand, waardoor stroming ontstaat. De oriëntatie van de faseverschillen bepaalt de richting van de stroming, de sterkte wordt bepaald door de grootte van de faseverschillen. De oorzaak van zandtransporten is al eerder uiteengezet.

Het is niet eenvoudig bovenstaande processen goed in te schatten. De toekomstige configuratie van het Hindergat is in feite onvoorspelbaar en mede daardoor zijn ook voorspellingen van de bodemveranderingen in de nabijheid van de geul niet exact te geven.

4.2.1 Variant A =====

De transportcapaciteiten, resulterend over een gemiddeld jaar, zijn in figuur 16 weergegeven per raai.
De raaien zijn getekend in figuur 12.

Vanaf de zuidpunt van de Zuiderdam (raai 0) tot raai 55 à 60 is er een geleidelijke toename van het zuidwaarts gerichte transport van ongeveer nul tot $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$. De afwijking in transportcapaciteit bij raai 30 wordt veroorzaakt door een contractie van de golfstralen voor de richting West op dieper water. Daardoor is de noordgaande transportcapaciteit voor deze golfrichting bij raai 30 groter dan in de aanliggende kustgedeeltes. Op het resulterend transport heeft deze afwijking niet veel invloed. Mogelijk is een lokale landwaartse verlegging van de kustlijn te verwachten.

Over een afstand van 5 à 6000 meter is dus een erosie te verwachten van ca. $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$, wat neerkomt op gemiddeld 50 m^3 per strekkende meter.

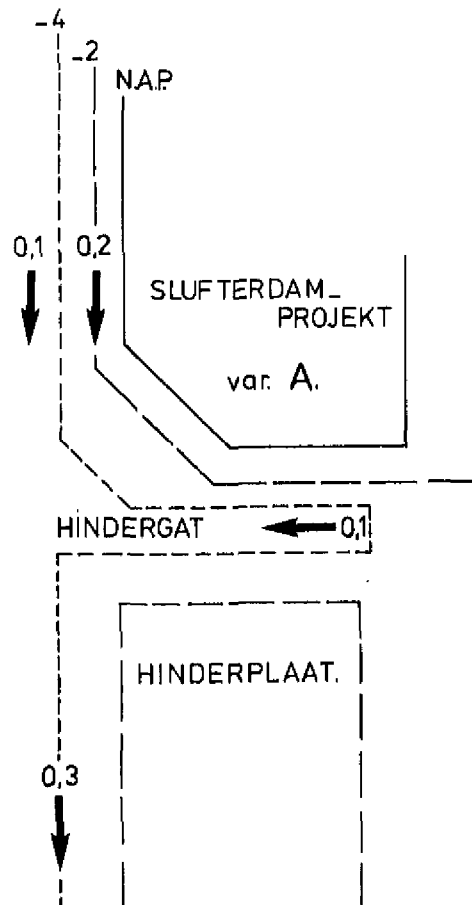
Tussen de raaien 45 en 55 zal de erosie wat groter zijn, maximaal 100 m^3 per strekkende meter (per jaar).

Langs de zuidpunt van de dam (vanaf raai 60) neemt de transportcapaciteit weer af als gevolg van de richtingsverandering van de kust, van de vermindering van de golfhoogte en van de toename van de invloed van de getijstroomsnelheden. In raai 75 is de capaciteit nihil.

Een deel van het transport in raai 60 (met name het deel zee-
waarts van N.A.P. -4 m) zal de vooroever volgen naar het zuiden
langs de Hinderplaat.

Dit doorgaande transport kan geschat worden op ca.
 $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Onderstaande figuur geeft, in geschematiseerde situatie, de
resulterende transportcapaciteiten (in miljoenen kubieke meters
per jaar) ten gevolge van golven en stroming weer in de nabij-
heid van het Hindergat.



Geschematiseerd zandtransport variant A

In het gebied ten zuiden van het slibdepot is de situatie complex.

Bij instroming wordt zand afgezet direct achter het Hindergat (omdat de stroomsnelheden na de geul snel afnemen) en bij uitstroming wordt dit weer opgenomen.

Er is door de geul een over een gemiddeld jaar resulterend gezien een westwaarts gericht transport van ca. $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ jaar.

Resultierend treedt naar verwachting een erosie van ca.

$0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar op. Dit zand komt deels uit de aanloop van de geul, deels van de dam tussen raaien 70 en 75 (op dieper gedeelte). Het zand sedimenteert voornamelijk op grote diepte, en deels versterkt het de aanzanding bij raai 65.

Tussen raai 60 en 75 treedt dan waarschijnlijk een aanzanding op van $0,1$ à $0,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar (gemiddeld per strekkende meter 100 m^3 per jaar) waarschijnlijk in de vorm van een bank.

Dit beeld vertoont een sterke gelijkenis met de ontwikkeling aan de zeezijde van het Gat van de Hawk (zie paragraaf 2.2).

Langs het resterende deel van de Hinderplaat moet het zuidwaartse transport weer worden opgebouwd tot een waarde van ca. $0,3$ à $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar. Over een afstand van 1500 à 2000 meter betekent dit dat er een erosie is te verwachten van $0,2$ à $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar, vooral van het ondiepe deel van de plaat.

In de huidige situatie is echter de laatste jaren een grote aangroei van de plaat te zien geweest. Dit in tegenstelling tot berekeningen voor de huidige situatie (nul-variant genaamd).

Dit kan veroorzaakt worden door twee effecten. Enerzijds zal zand aangevoerd worden bij stroming (door Gat van de Hawk en over Hinderplaat) en anderzijds zal de plaat gevoed worden door een dwarstransport ten gevolge van golven.

Verwacht wordt dat dezelfde verschijnselen bij het resterende deel van de Hinderplaat een rol zullen spelen. Deze verschijnselen kunnen niet geheel in de berekeningen worden verdisconteerd.

In figuur 12 wordt een beeld gegeven van de erosie en aanzanding langs de dam.

De ontwikkeling van de geul en de bodemveranderingen zijn echter, zoals reeds is vermeld (zie 4.2), in de omgeving van de geul moeilijk te voorspellen.

4.2.2 Variant B =====

De transportcapaciteiten, resulterend over een gemiddeld jaar, zijn in figuur 17 weergegeven. De raaien zijn getekend in figuur 13.

Als gevolg van een richtingsverandering van de kustlijn is er vanaf de zuidpunt van de Zuiderdam (raai 0) tot raai 30 een toenemend noordgaand transport van ongeveer nul tot $0,2$ à $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ /jaar.

Er is een aanzanding te verwachten van gemiddeld ca. 75 m^3 per strekkende meter (per jaar.)

Na raai 30 neemt als gevolg van een verandering van de kustlijn het noordgaand transport af en bij raai 55 is het transport ca. $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ in zuidgaande richting, waarvan ongeveer $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ doorgaat langs de vooroever naar het zuiden langs de Hinderplaat.

Over 2500 meter is dus een erosie van totaal $0,5 \text{ à } 0,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ te verwachten, dus gemiddeld een erosie van 200 m^3 per strekkende meter per jaar.

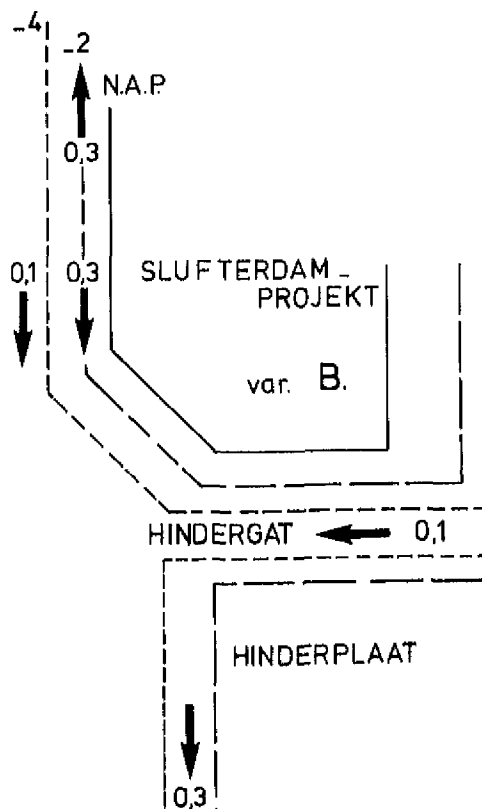
Ook hier heeft de piek in de transportcapaciteit bij raai 30 (oorzaak beschreven bij variant A) niet veel invloed op het transport.

Bij de zuidpunt zijn dezelfde verschijnselen als bij variant A van belang. De oorzaken worden daarom niet meer genoemd.

In de geul is een zeewaarts gericht transport van ca. $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$, identiek aan situatie bij variant A.

Tussen raai 55 en raai 70 à 75 zal een verondieping van de kust optreden. Er is een aangroei van ca. $0,3 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ (dus gemiddeld per jaar 150 m^3 per strekkende meter), waarschijnlijk zal zich een bankengebied vormen.

De transporten (in miljoenen kubieke meters per jaar) ten gevolge van golven en stroming zijn in onderstaande figuur nog eens uitgezet.



Geschematiseerd zandtransport variant B

Evenals bij variant A zal er weinig zand bij ingaand tij in het mondingsgebied van het Haringvliet terecht komen. Het blijft direct achter de geul liggen en wordt bij uitgaand tij weer opgenomen en zeewaarts getransporteerd.

De uit de berekening te verwachten erosie van het resterende deel van de Hinderplaat zal ook in geval van variant B waarschijnlijk niet optreden om dezelfde redenen als bij variant A (en de huidige Hinderplaat).

Ook hier is de situatie rond de geul echter moeilijk voorspelbaar.

4.2.3 Variant C =====

Er zijn bij de bepaling van de zandtransporten voor variant C geen zandtransportberekeningen uitgevoerd waarbij ook de invloed van het getij is verdisconteerd. De reden hiervoor is al in par. 3.1 uiteengezet (er is geen getijberekening uitgevoerd voor variant C).

Daar waar het getij resulterend een niet te verwaarlozen effect heeft op de zandtransporten moeten de uitkomsten van de uitgevoerde zandtransportberekeningen (alleen de invloed van golven) voorzichtig worden geïnterpreteerd.

Aangenomen wordt dat voor de zandtransportcapaciteitskromme langs de zuidelijke punt van variant C een soortgelijk verloop kan worden verwacht als voor de varianten A en B. Deze aanname lijkt gerechtvaardigd gezien de overeenkomsten tussen varianten A, B en C, voor wat betreft het verloop van de omkading en het verloop van de transportcapaciteitskromme van de varianten.

Het verloop van de transportcapaciteit (resulterend over een gemiddeld jaar) is gegeven in figuur 18. De raaien zijn getekend in figuur 14.

Gezien de richting van de kust (grote hoek van golfinval) zal er tussen raai 0 en raai 30 een sterk noordgaand zandtransport optreden. Dit noordgaand transport is maximaal bij raai 30 en bedraagt ca. $0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

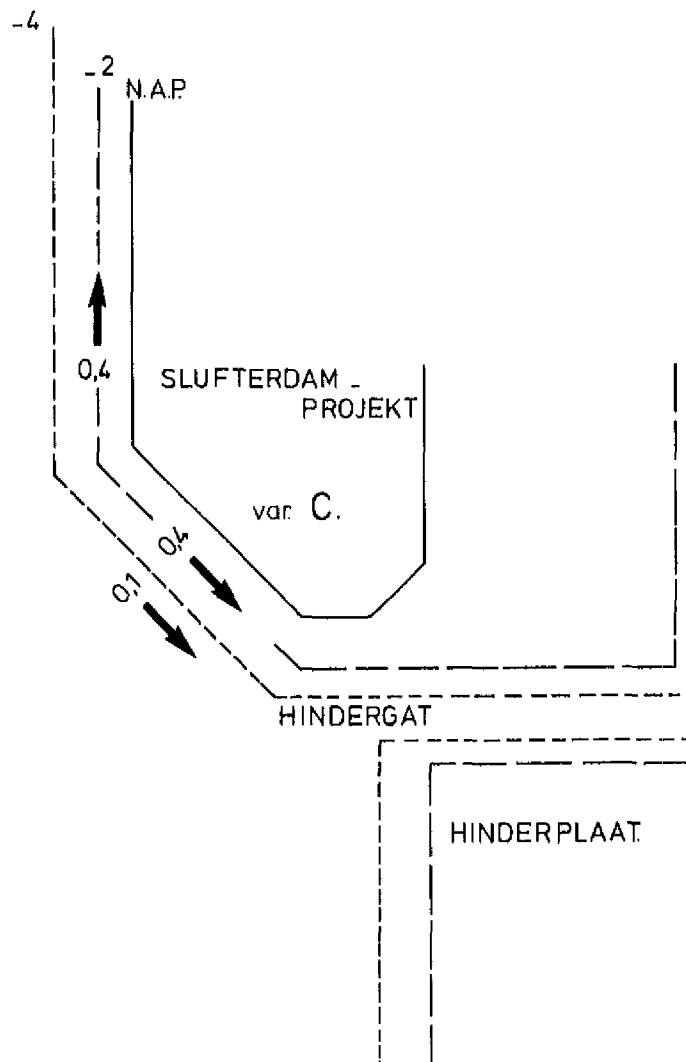
Er is daarom tussen raai 0 en raai 30 een aanzanding te verwachten van ca. $0,3 \text{ à } 0,4 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Na raai 35 verandert de richting van de kust en bij raai 60 is daarom een sterk zuidgaand transport te verwachten; in de orde van $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$.

Een erosie van $0,7 \text{ à } 0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$ over een afstand van 2500 meter zal optreden, gemiddeld $200 \text{ à } 400 \text{ m}^3$ per strekkende meter per jaar.

Voorbij raai 65 zal aanzanding optreden.

Onderstaande figuur geeft de transporten (in miljoenen kubieke meters per jaar) geschematiseerd weer.



Geschematiseerd zandtransport variant C

Het ligt voor de hand dat de transportrichting in de geul ook in dit geval zeewaarts gericht zal zijn. Dit transport zal vermoedelijk wat groter kunnen zijn dan in geval van variant B in verband met de grotere golfhoogte.
Het gaat te ver om voor dit complexe deel in details te treden.

4.3 Maatregelen ter beperking van de zandtransporten =====

Gezien de grote toename van de transportcapaciteit in bepaalde gebieden zijn maatregelen ter beperking van zandtransporten wellicht noodzakelijk of economisch meer optimaal.

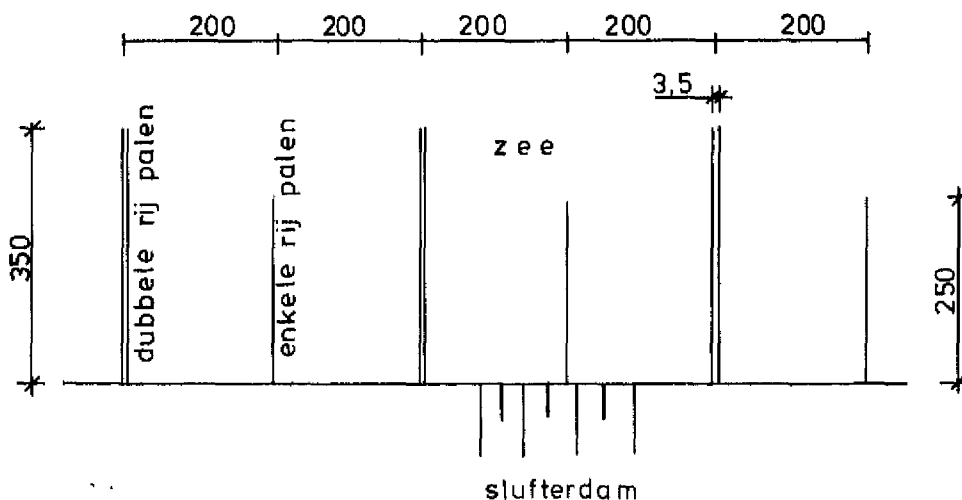
Vermindering van deze toename in transportcapaciteit, geeft een reductie van het onderhoud. Veelal wordt deze vermindering verwezenlijkt door de transportcapaciteiten in bepaalde gebieden te reduceren. Practisch gezien komen het aanbrengen van strandhoofden en het plaatsen van paalrijen het meest in aanmerking. In het kort worden deze maatregelen toegelicht.

4.3.1 Paalrijen =====

Een palenrij vormt een extra weerstand voor de langsstroming, waardoor de langsstroomsnelheden afnemen. Bovendien treedt als gevolg hiervan eveneens een vermindering van de zandconcentratie op. Het transport neemt dus af. Het rapport "Invloed van open paalschermen op stromingen nabij de kust" [lit. 13] beschrijft de werking van diverse paalrijenconstructies.

Het onderzoek, ten grondslag liggend aan de plaatsing van de paalrijen ten zuiden van de Zuiderdam [lit. 9], geeft een indruk van de toepassingsmogelijkheden en van de aanlegkosten. In dit stadium van het onderzoek zal slechts een globaal ontwerp gehanteerd worden. Om een kostenvergelijking te kunnen maken tussen diverse (in par. 5.4 beschreven) onderhoudsmethoden is het volgende ontwerp aangehouden. Uitgegaan wordt van een palenscherm dat bestaat uit een dubbele rij palen (met als onderlinge afstand tussen de rijen 3,5 meter; de afstand tussen de paalassen is twee keer de paaldiameter), die loodrecht op de kust uitgebouwd worden. De onderlinge afstand tussen een palenscherm met een dubbele rij palen bedraagt 400 m en de lengte van een scherm ongeveer 350 m.

Tussen deze paalschermen wordt een minder lange, enkele rij palen geplaatst (onderlinge afstand tussen de paalassen eveneens twee keer de paaldiameter). In onderstaande figuur is een kustgedeelte met paalschermen volgens bovenstaand ontwerp getekend.



Kust met paalschermen

Bij een juiste uitvoering kan de reductie in langstransport op maximaal 50% worden geschat; zie [lit. 13].
De lengte van het kustvak waarover paalrijen worden geplaatst is afhankelijk van de mate van de gewenste reductie in langstransport gerelateerd aan de aanlegkosten.

4.3.2 Strandhoofden =====

Bij loodrecht op de kust uitgebouwde (stenen) strandhoofden wordt het doorgaande langstransport van zand gereduceerd. Ook hier wordt slechts een globaal ontwerp gehanteerd om de onderhoudskosten te kunnen vergelijken (zie par. 4.4).
Om de 300 m wordt een stenen strandhoofd toegepast met een lengte van ca. 250 m. Dit komt ongeveer overeen met de uitvoering van de Delflandse hoofden.
De reductie in langstransport is ook hier in sterke mate afhankelijk van de uitvoering. Als schatting is aangehouden dat een reductie tot 30% van het oorspronkelijk transport wordt verkregen.
Ten aanzien van de lengte van het kustvak waarover hoofden moeten worden toegepast is ook hier een optimalisatie van de gewenste reductie en de aanlegkosten noodzakelijk.

4.4 Het te verwachten onderhoud aan het zeewaarts talud van de =====

omkading
=====

Een korte beschrijving van de gehanteerde methode om het onderhoud te bepalen (par. 4.4.1) wordt gevolgd door een nadere uitwerking van de drie volgende onderhoudsmethoden:

- onderhoud door suppleren;
- onderhoud door suppleren bij toepassing van paalrijen;
- onderhoud door suppleren bij toepassing van strandhoofden.

Aan het eind van deze beschouwing worden voor de varianten de onderhoudskosten bepaald.

4.4.1 Bepaling van het onderhoud =====

Uit het berekende langstransport (eigenlijk uit de langstransportverschillen) kan voor de eerste jaren worden afgeleid waarlangs de kust erosie optreedt en in welke mate. Het geërodeerde zand moet, om de veiligheid tegen doorbraak te garanderen, met andere woorden om het minimum profiel te garanderen, regelmatig worden aangevuld: suppleren.

Er zijn enige aspecten die het berekende onderhoud in gunstige zin kunnen doen verminderen:

- . De verbindingsdam ten noorden van het depot, tussen de Maasvlakte en de Slufterloswal, mag in zekere mate erosie vertonen, vanwege het feit dat er (nog) geen gebieden van vitaal belang achter die dam liggen.

- . Na verloop van tijd wijzigt de bodemconfiguratie van de voor-
oever van de loswal en de verbindingsdam zich, en past zich
aan aan de nagestreefde evenwichtskustlijn. Deze evenwichts-
kustlijn is bereikt wanneer in een gemiddeld jaar langs het
gehele kustvak de kustlijn niet resulterend zeewaarts of land-
waarts verplaatst.

Voor de kust van het Slufterloswalproject zal zich niet licht
een evenwichtskustlijn instellen. Dit mede omdat de kustlijn van
het kustvak grenzend aan het slibdepot niet landwaarts mag ver-
schuiven (niet achteruit mag gaan). Wel zal er een zekere aan-
passing van de bodemligging plaatsvinden. De transportgradiënt
neemt dan af en daarmee het onderhoud. Er is daarom rekening ge-
houden met een reductie in de erosie tot maximaal 20%.

4.4.2 Onderhoudsmethoden (verschillende wijzen van uitvoering van ===== onderhoud) =====

Onderhoud door suppleren =====

Om de veiligheid tegen doorbraak te waarborgen is een minimum-
profiel berekend. Dit minimumprofiel moet te allen tijde aan-
wezig zijn. In het geval van een eroderende dam moet daarom
regelmatig een voldoende hoeveelheid zand preventief in het
dwarsprofiel worden aangebracht. Om veiligheidsredenen en om
uitvoeringstechnische redenen moeten de hoeveelheid te suppleren
zand en dientengevolge de periode tussen de opeenvolgende sup-
pleties zo groot mogelijk zijn. De kustlijn voor de dam mag
echter niet in ongunstige zin door de suppletie worden beïnvloed
(de werkelijke erosie zal dan aanzienlijk groter zijn dan de
berekende).

Afhankelijk van de variantkeuze wordt een praktische periode
gesteld op twee à vijf jaar. De hoeveelheid zand kan om de doel-
matigheid te verhogen het beste zo hoog mogelijk in het profiel
worden aangebracht.

Bij aanleg van de dam kan vooraf een extra hoeveelheid zand in
het profiel worden aangebracht om de erosie de eerste jaren te
kunnen opvangen.

Er is veel positieve ervaring opgedaan met de uitvoering van
suppleties (Texel en Goeree zijn voorbeelden van toepassing).
Een voordeel is dat geen lange-termijninvesteringen behoeven te
worden gepleegd.

Bovendien is het toepassen van suppleties een flexibele verdedi-
ging en aanpasbaar aan nieuwe situaties.

Onderhoud door suppleren bij toepassing van paalrijen =====

Bij toepassen van paalrijen en suppleren gelden dezelfde opmer-
kingen als hiervoor (voor alleen suppleren) zijn gesteld. De
tijd tussen opeenvolgende suppleties en de hoeveelheid zal nauw-
keurig moeten worden bepaald aan de hand van de benodigde funde-
ringsdiepte en de te verwachten functieervulling van de palen.

Er moet rekening worden gehouden met een extra achteruitgang van de kust (inscharing) aan de benedenstroomse zijde van het kustvak verdedigd door de paalrijen. Jaarlijks zal (voor de winterstormen) onderhoud aan de paalrijen moeten worden gepleegd om de mosselaangroei te verwijderen.

Bij kustvakken waar het zandtransport nagenoeg volledig wordt veroorzaakt door golfaanval zijn paalrijen tot op heden in Nederland zeer weinig toegepast.

Een nadeel van paalrijen is dat ze, ondanks de hoge aanlegkosten, slechts een tijdelijk karakter hebben wanneer een tweede fase van het Slufterloswalproject wordt gerealiseerd. De palen komen dan binnen de omkading te liggen.

Opmerkingen:

Vooraf bij storm zal tijdelijk grote erosie kunnen optreden waardoor de stabiliteit van de palen in gevaar kan komen. Indien suppleren niet effectief blijkt om ontgrondingen tussen de palen op te vangen zullen de palenrijen moeten worden beschermd tegen te sterke ontgrondingen en uitwrikken middels het aanbrengen van een bodembekleding (bijvoorbeeld steenbestortingen).

De aanlegkosten nemen dan toe met ca. 0,5 tot 2,0 miljoen gulden per palenscherm, afhankelijk van de lengte van het scherm en van de mate waarin de bodem beschermd moet worden (met andere woorden de soort bekleding).

Onderhoud door suppleren bij toepassing van strandhoofden =====

Bij toepassing van strandhoofden aangevuld met onderhoudssuppleties zijn dezelfde regels voor suppleren van toepassing. Het onderhoud aan de strandhoofden kan als verwaarloosbaar klein ten opzichte van de aanleg- en suppletiekosten worden beschouwd. Evenals bij toepassing van paalrijen zullen bij aanleg van een tweede fase de hoge investeringskosten slechts tijdelijk rendement opleveren.

4.4.3 Onderhoud en onderhoudskosten van de varianten =====

Het onderhoud en de kosten daarvan zijn per variant opgetekend in de tabellen 1 en 2 (achter in dit rapport).

Voor de kostenberekening is uitgegaan van de volgende gegevens:

- . de prijs van een kubieke meter zand wordt bij aanleg van de omkading geschat op f 2,50, bij suppleren op f 5,--;
- . de kosten van een lange, dubbele palenrij worden geschat op 0,5 miljoen gulden, van een korte enkele rij op 0,25 miljoen gulden;
- . de kosten van een strandhoofd worden geraamd op 2,5 miljoen gulden;
- . voor de kapitaliseringsfactor wordt de waarde 10 aangehouden;
- . in de kostenberekening is rekening gehouden met de volgende marges:
 - aanlegkosten : + 10%
 - suppletiekosten : + 20%.

Andere uitgangspunten zijn al beschreven in de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk.

4.5 Conclusies t.a.v. het onderhoud
=====

In het onderstaande wordt per variant een onderhoudsadvies gegeven. Hierbij zij nogmaals aangetekend dat in deze fase van het ontwerp, waarin het met name om de onderlinge vergelijking c.q. een haalbaarheidsonderzoek gaat, de hier gegeven beschouwingen niet als definitieve conclusies gezien moeten worden. Echter voor een onderlinge vergelijking zijn de opgevoerde kostenramingen zinvol. Zodra een keuze voor een der varianten is gemaakt zal een meer gedetailleerd morfologisch onderzoek noodzakelijk zijn.

Variant A

Hoewel de kosten van de oplossingen met onderhoud door alleen suppleren en onderhoud door toepassen van paalrijen en suppleren nauwelijks van elkaar verschillen, verdient de eerste duidelijke de voorkeur. Allereerst is er bij alleen suppleren geen voorinvestering nodig in de vorm van de aanleg van een constructie. Hierdoor is men flexibeler in het aanpassen van het onderhoud aan de eventueel veranderende omstandigheden. Bovendien ontwerpen constructies als palenrijen e.d. het strand in sterke mate en dienen derhalve zoveel mogelijk vermeden te worden. In dit geval kan zonder dat de kustlijn te sterk wordt beïnvloed een hoeveelheid zand voor zeker vier à vijf jaar worden aangebracht. Er is dan ook voldoende materiaal aanwezig om een periode met extreem jaarlijkse omstandigheden, d.i. een periode waarbij langdurig (meerdere weken) golfaanvallen uit overheersend één richting optreedt, te doorstaan: immers, gezien de relatief geringe jaarlijkse transporten, zal ook onder dit soort extreem jaarlijkse omstandigheden het zandtransport niet onaanvaardbaar groot zijn.

Variant B

In principe kan ook in dit geval met enkel alleen suppleren worden volstaan. Gezien de grote verliezen (400.000 m³ jaar) over een klein kustvlak (2500 m) zal de frequentie van suppleren om praktische redenen onaanvaardbaar hoog zijn (tweejaarlijks). Bovendien is dan de beveiliging tegen de bij variant A genoemde extreem jaarlijkse omstandigheden te gering. Een reductie van het zandtransport is daarom zeker wenselijk. Daar uit de kostenraming blijkt dat de aanleg van paalrijen bovendien de goedkoopste oplossing vormt, wordt voorlopig hiervoor gekozen. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of de paalrijen beschermd dienen te worden tegen ontgronding, door het aanbrengen van een steenbestorting. Vooralsnog wordt hiervan niet uitgegaan. Er kan nu worden volstaan met een suppletie om de drie à vijf jaar.

Variant C

Hierbij geldt nog sterker dan bij variant B dat suppleren alleen niet aanvaardbaar is.

Ook hier verdient de aanleg van paalrijen, mede gezien de kosten, de voorkeur. Toch zijn de resterende verliezen dermate groot dat de reeds bij variant B genoemde mogelijke noodzaak van aanvullende voorzieningen, (bijvoorbeeld steenbestortingen) hier wel zeer waarschijnlijk is. Met name onder de genoemde extreem jaarlijkse omstandigheden zal de stabiliteit van de palen gevaar kunnen lopen. De gekapitaliseerde onderhoudskosten zouden erdoor in orde van die van strandhoofden komen te liggen.

Omdat in dit stadium geen zekerheid over de noodzaak van dit soort extra voorzieningen gegeven kan worden, wordt vooralsnog met een gekapitaliseerde onderhoudspost van 27,5 miljoen gulden gerekend.

Tijdens het morfologische onderzoek zijn enige twijfels gerezen over het ontwerp van variant C. Met name de zuidwestelijke punt is erg kwetsbaar. Bij waterstandsverhoging en zuidwester storm zal de golfaanval op dit punt, als gevolg van refractie, sterk geconcentreerd zijn, zodat gereede twijfels ontstaan over de veiligheid van dit punt. De waarborg met betrekking tot de bescherming van het minimumprofiel is niet zonder meer te geven. Immers gedurende de winterperiode kan om praktische redenen niet gesuppleerd worden. Een flauwere kromming zou hier een oplossing kunnen bieden. Doordat dit echter ten koste van de bergingsinhoud zou gaan of zou betekenen dat de demarcatielijn wordt overschreden, is gezocht naar een andere oplossing.

Door de aanleg van een zanddam in het verlengde van de westelijke kustlijn tot op de Hinderplaat zou de veiligheid van de zuidwestelijke punt van het depot ook kunnen worden gewaarborgd, evenwel tegen zeer hoge onderhoudskosten.

5. Mogelijke effecten voor de randgebieden

5.1 Inleiding =====

Van groot belang is in hoeverre de aanleg van één der varianten de omgeving van de loswal beïnvloedt. Door de aanleg van een loswal zullen de processen, bepalend voor de morfologische ontwikkeling van deze gebieden, zich wijzigen. Deze processen worden vooral beïnvloed door wijzigingen in golfpatronen en stromingspatronen (par. 5.2). De veranderingen, effecten, op de omgeving komen in 5.3 per deelgebied ter sprake.

5.2 De verandering in de randvoorwaarden =====

Morfologische veranderingen zijn vooral een gevolg van verandering in golfklimaat, stroombeeld, veranderde ligging van de bodem en oevers, dientengevolge verandering in het getransporteerde materiaal. Ook het zoutgehalte van het water kan invloed hebben.

Veranderingen in golfklimaat en stroombeeld zijn het meest van belang. Daarom worden die veranderingen apart weergegeven.

5.2.1 Verandering in stroombeeld =====

De getijbeweging wordt slechts plaatselijk in het mondingsgebied van het Haringvliet verstoord. De invloed van de aanleg van een der varianten is op het stroombeeld ten noorden van de Maasgeul en ten zuiden van de kop van Goeree niet meer merkbaar.

In het mondingsgebied verandert het stroombeeld belangrijk (voor variant C zijn geen getijberekeningen uitgevoerd, maar aan de hand van de uitkomsten van de berekeningen van varianten A en B is wel het een en ander af te leiden).

Huidige situatie

- . In de huidige situatie is er bij opkomend tij van zee een sterke rondgaande stroming door achtereenvolgens het Slijkgat en Bokkegat via Rak van Scheelhoek en door het Gat van de Hawk weer naar buiten.
- . Bij kentering op zee is er door alle geulen uitstroming.
- . Bij afgaand tij is er instroming door het Gat van de Hawk en over de Hinderplaat en er is een minder sterke rondstroming door het Gat van de Hawk naar het Slijkgat.

Aanleg variant A of B

- . Ingeval van aanleg van variant A of B (er is weinig verschil tussen het stromingsbeeld van die beide varianten) is bij opkomend tij ook een sterke instroming door het Slijkgat en door het Bokkegat.
Maar de rondgaande stroming zoals geschetst in de huidige situatie is nog niet aanwezig, aangezien eerst het slufteergebied gevuld moet worden.
Pas na ongeveer een uur is er een rondstroming door het nieuwe Hindergat, maar de stroomsnelheden zijn kleiner dan in huidige situatie. Bovendien is het gebied waarover rondstroming plaatsvindt kleiner.
- . Bij kentering is weer door alle geulen uitstroming.
- . Bij afgaand tij is er nu instroming via het Hindergat en over het restant Hinderplaat, echter van rondstroming zal nauwelijks sprake zijn.

Voor variant C zal een zelfde soort stromingsbeeld gelden als voor varianten A en B. Wel kan de rondstroming vermoedelijk wat sterker zijn en over een groter gebied plaatsvinden.

Aanleg van het Slufterdamproject heeft ook op het stromingsbeeld bij spuien in het mondingsgebied van het Haringvliet lokale invloed. De functie van het Gat van de Hawk wordt overgenomen door het Hindergat. Op de overige geulen en platen heeft het spuien echter weinig effect.

Opmerking

- . Er wordt steeds over stroming door de geulen gesproken. Bij laag water is de stroming inderdaad vooral geconcentreerd in de geulen. Bij hoog water is dit minder het geval.
- . Een en ander zal sterk afhangen van het toekomstig karakter van het nieuwe Hindergat.
- . De figuren 19 t/m 23 geven de stroomrozen voor het Slijkgat, het Bokkegat, de Hinderplaat, de kust van Voorne nabij de Groene Punt en het Gat van de Hawk c.q. Hindergat.

5.2.2 Verandering in golfbeeld =====

Ook voor het golfpatroon geldt uiteraard, dat er slechts plaatselijk rond het slibdepot verschil te zien zal zijn tussen de huidige situatie en de situatie met een Slufterloswal.

Het golfveld is sterk afhankelijk van de windrichting en van de optredende waterstand (in verband met de waterdiepte).

Er is onderling weinig verschil tussen de refractiepatronen voor de verschillende varianten. Daarom worden deze patronen voor de huidige situatie en de toekomstige situatie met elkaar vergeleken zonder onderscheid te maken tussen de varianten.

De vergelijking tussen beide situaties wordt gedaan voor een gemiddelde waterstand (ongeveer N.A.P.) en een hoge waterstand (hoger dan N.A.P. + 1,00 à 2,00 m).

De golfstralenpatronen zijn in geval van de huidige situatie en na aanleg van het Slufterdamproject (ongeacht de variant) ten zuiden van een lijn noord-west - zuid-oost gericht, direct onder het Bokkegat gelegen, redelijk overeenkomstig. Het ten zuiden van deze lijn liggend gebied wordt dan ook niet nader beschouwd.

Gemiddelde waterstand

. De huidige situatie

Bij gemiddelde waterstand wordt het golfveld, en dat geldt voor alle richtingssectoren, sterk beïnvloed door de Hinderplaat *).

Deze plaat, die bij laag water grotendeels droogvalt en bij hoog water op een diepte van één meter beneden de waterspiegel ligt, is een natuurlijke barrière voor een groot deel van de golven die het achterliggend gebied willen binnendringen. Wanneer het getij op de gemiddelde waterstand wordt gesuperponeerd kan worden gesteld dat er bij laag water geen golven over de Hinderplaat heenkomen; bij hoog water alleen golven met een hoogte kleiner dan ca. 1,5 m. Alleen golven uit de richtingen NW2 en W dringen in het achterliggend gebied door; golven uit de overige richtingen worden, als gevolg van de sterke refractie, afgebogen en de stralen verspreiden zich in alle richtingen.

Zijdelings langs de plaat kunnen nog golven van betekenis doordringen in het achter de plaat gelegen gebied.

Door het Gat van de Hawk binnendringende golven uit N en NW2 refracteren rond de plaat en planten zich voort in zuidelijke richting. Locaal achter de plaat kunnen deze golven wat hoger zijn door contractie; meer in zuidelijke richting is de golfhoogte als gevolg van divergentie echter sterk gereduceerd.

Golven uit de richtingen NW2 tot ZW1 buigen minder sterk af in zuidelijke richting en bereiken de kust van Voorne (noordelijke deel boven de Groene Punt). De hoogte van deze golven is als gevolg van divergentie echter gering.

Zuidelijk langs de plaat en door het Bokkegat binnenvallende golven buigen meer of minder, afhankelijk van de voortplantingsrichting, in noordelijke richting af, om de plaat heen. De hoogte van deze golven is gering. Golven uit de richting N en NW1 breken op de oostelijke vooroever van de plaat of dringen door in noordelijke richting. Golven uit de richtingen NW2 en W worden minder sterk afgebogen en planten zich voort naar kust van Voorne nabij de Groene Punt.

Golven uit de richting ZW1 echter kunnen door het Bokkegat ongehinderd binnendringen (er treedt zelfs enige contractie op) in het achterliggend gebied en de kust van Voorne (voornamelijk onder de Groene Punt) aanvallen.

*) Voor de definitie van deze sectoren zie paragraaf 3.2.

. Aanleg van één der varianten

Bij een gemiddelde waterstand is er nu nog nauwelijks golf-doordringing uit de richtingen N tot W in het achterliggende gebied (de Slufter).

Alleen via het Hindergat en het restant van de Hinderplaat kunnen golven (uit NW2 en W) het sluftegebied nog binnendringen. Maar de golfstralen zijn echter sterk gedivergeerd (dus verspreiding van golfenergie). Alleen golven uit richting ZW1 kunnen in het sluftegebied doordringen via het Bokkegat. De golven tussen het depot en Voorne zijn dus voornamelijk lokaal opgewekt.

Hoge waterstanden

. De huidige situatie

Bij hoge waterstanden (hoger dan N.A.P. + 1,0 à 2,0 m) loopt een groot gedeelte van de golven ongehinderd over de Hinderplaat heen. Bij een waterstand van N.A.P. + 1,20 m (overschrijdingsfrequentie van 100 keer per jaar) is ten tijde van vloed de waterdiepte boven de plaat minimaal ca. 3 m, zodat alleen golven met een hoogte van 1,5 m of hoger op de plaat breken (bij een waterstand van N.A.P. + 2,4 m, optredend met een frequentie van één keer per jaar, is de maximale golfhoogte van de niet-brekende golven ca. 2,0 m.)

Golven uit de richtingen N en NW1 zullen het gebied tussen de Hinderplaat en Voorne (en eveneens de kust van Voorne ten noorden van de Groene Punt) nauwelijks bereiken als gevolg van de ondiepte voor de zuid-westelijke punt van de Maasvlakte. Ook de kust van Voorne onder de Groene Punt ligt in de zogenaamde schaduwzone.

Uit de richtingen NW2 en W kunnen wel golven het achter de Hinderplaat liggend gebied binnendringen en wordt de kust van Voorne aangevallen. Vooral bij golven uit de richting NW2 is er bij de Groene Punt sprake van enige contractie. Bij golven uit de richting NW1 dringen golven eveneens het gehele gebied tussen de plaat en Voorne binnen; zelfs in het Brielse Gat kunnen nog aanzienlijk hoge golven worden verwacht.

. Aanleg één der varianten

Bij hoge waterstanden zullen bij aanleg van een slibdepot bij golven uit de richting N tot W nu nauwelijks golfenergie in het sluftegebied en op het noordelijk deel van de kust van Voorne doordringen.

Uit de richting W is wel enige doordringing van golfenergie te verwachten; golven uit de richting ZW1 lopen ongehinderd het mondingsgebied binnen.

Opmerking

Uit de refractiepatronen blijkt dat er niet veel verschil in golfklimaat is tussen de verschillende varianten. Wel zijn t.a.v. de ter plaatse opgewekte golven enige verschillen aan te geven.

In het algemeen kan gesteld worden dat de hoogte van de golven o.a. afhankelijk is van de lengte waarover de wind energie kan afgeven aan het wateroppervlak. De strijklengte voor lokaal opgewekte golven is in geval van de huidige situatie het grootst.

Gezien het obstakel dat de omkading vormt de strijklengte bij aanleg van het Slufterdamproject af en deze strijklengte is kleiner naarmate de omkading meer landwaarts is gelegen. De golfenergie in het beschouwde gebied, door wind ter plekke opgewekt, is dus het grootst in de huidige situatie en neemt af bij aanleg van het Slufterdamproject, in toenemende mate van variant C naar variant A.

5.3 Veranderingen in morfologische ontwikkelingen =====

Ten gevolge van wijzigingen in stroom- en golfcondities zal de aanleg van een slufterloswal belangrijke gevolgen hebben voor de morfologie in de omringende gebieden. Het gehele gebied wordt ten behoeve van nadere beschouwingen in deelgebieden opgesplitst. Achtereenvolgens wordt voor ieder deelgebied de invloed van de aanleg van een slibdepot en voor zover mogelijk de mate van invloed voor elk der varianten behandeld.

5.3.1 Het Sluftergebied =====

Het gebied achter de loswal zal zich gedragen als een kombergingsgebied. Hierin zal een oost-west gerichte stroming aanwezig zijn en een golfklimaat van voornamelijk lokale origine.

Beschouwen we alleen stroming dan zal bij het opvullen van dit kombergingsgebied fijn materiaal (slib) worden aangevoerd dat zich kan afzetten mits de stroomsnelheden voldoende klein worden en de verblijftijden voldoende groot zijn. Bij het leeglopen van de kom kan bij voldoende hoge snelheden materiaal wederom worden afgevoerd.

Voor het wederom in suspensie brengen van het materiaal zijn echter grotere stroomsnelheden nodig dan voor het transport. In de figuren 24, 25 en 26 zijn de maximale eb- en vloedstroomsnelheden voor gemiddelde stroomcondities weergegeven (voor de huidige situatie en voor de varianten A en B). Er zijn geen grote verschillen in maximale snelheid tussen opkomend en afgaand tij waarneembaar. Daarbij moet echter worden aangetekend dat bij afgaand tij de grote stroomsnelheden zich concentreren in de geulen, wat in de toegepaste getijberekening in mindere mate tot uitdrukking komt.

Een tweede factor (naast stroming) die het transport van slib beïnvloedt is de golfbeweging. Hogere golven geven grotere orbitaalsnelheden aan de bodem, meer turbulentie en derhalve grotere opwoeling van het slib, dus betere transportmogelijkheden. In het algemeen zijn de snelheden aan de bodem opgewekt door de orbitaalbeweging van de golven enige malen groter dan de maximale stroomsnelheden tijdens gemiddelde stroomcondities.

Vanwege de geringe diepte in het gebied en de invloed van de golfbeweging op het transportmechanisme kan worden aangenomen dat, bij voldoende rondstroming (werking van het Hindergat), verslibbing van het gebied na aanleg van het Slufterloswal-project niet aannemelijk is.

Wel kan tijdelijk, tijdens een rustige periode (geringe golf-energie) en wat langere verblijftijden, enige verslibbing plaatsvinden. Deze verslibbing kan door een golfveld weer te niet worden gedaan, wat een tijdelijk grotere vertroebeling van het water kan geven.

Ook kan plaatselijk, daar waar lokaal de stroomsnelheden en de orbitaalsnelheden gering zijn, in meer of mindere mate verslibbing optreden.

De hydraulische condities leiden, zoals in bovenstaande blijkt, tot de aanname dat een verslibbing van het Sluftergebied niet aannemelijk is. Bovendien zal de aanvoer van slib naar dit gebied gering zijn. Het aanwezige slib in de mond van het Haringvliet, dat eventueel in het Sluftergebied zou kunnen doordringen, bezinkt reeds daarvoor in de geulen, zoals het Rak van Scheelhoek.

Het vergelijkbare gebied in de huidige situatie, de Westplaat en het Brielsche Gat (zie par. 2.2.3), geeft de laatste jaren ook weinig verslibbing te zien.

Pas wanneer de bodem in dit mondingsgebied na een verslibbing een bepaald niveau bereikt heeft dat past bij de hydraulische situatie is een toename mogelijk van slibaanvoer in het sluftergebied.

Verschil in mate van verslibbing tussen de varianten is eigenlijk moeilijk in detail te geven. Tussen variant A en B zal weinig verschil te verwachten zijn (bij variant A zijn de stroomsnelheden iets groter, maar de golfhoogte wat kleiner). Variant C zal minder verslibben in verband met de grotere golfhoogte en de te verwachten hogere stroomsnelheden (vanwege de rondstroming).

Natuurlijk is ook het oppervlak waarover verslibbing kan optreden bij C het grootst en bij A het kleinst.

Ten aanzien van grover materiaal als zand kan opgemerkt worden dat de zandaanvoer van de Groene Punt van Voorne naar het Sluftergebied, zoals nu in de huidige situatie het geval is, bij aanleg van een Slufterloswal zal afnemen.

Ook door het Hindergat zal vermoedelijk weinig zand het sluffer-gebied binnenkomen. Eén en ander is afhankelijk van de kunstmatig aangelegde geul (het Hindergat). Wel is bij aanleg van het Slufterdamproject aanvoer van een, van de uitvoeringswijze afhankelijke, hoeveelheid zand te verwachten.

5.3.2 De kust van Voorne
=====

Het noordelijke gedeelte van de kust, van de Groene Punt tot aan de Oostvoornse dam, zal minder worden aangevallen door stroom en golven (vooral bij hogere waterstand is er een reductie t.o.v. de huidige situatie in golfenergie).

In bijlage 19 zijn de stroomrozen voor de Groene Punt voor gemiddeld tij uitgezet, waaruit vooral bij opkomend tij (stroming naar noorden gericht) een benoerlijke vermindering van de stroomsnelheden blijkt.

De huidige achteruitgang van de kust nabij de Groene Punt zal dan ook verminderen bij aanleg van een slibdepot. Voor variant A is deze vermindering het grootst, en bij variant C het kleinst.

Voor het kustgedeelte ten zuidoosten van de Groene Punt zijn de veranderingen in het huidige golf- en stroomklimaat niet meetbaar. Belangrijke wijzigingen in de huidige ontwikkeling zijn niet te verwachten.

5.3.3 De kust van Goeree
=====

Zowel stroombeeld als golfbeeld veranderen niet of nauwelijks t.g.v. de aanleg van een Slufterloswal. De huidige ontwikkeling (zie paragraaf 2.3.3) zal niet worden beïnvloed. Er zijn dan ook geen wijzigingen te verwachten in het gedrag van dit kustvak.

5.3.4 De geulen in het mondingsgebied van het Haringvliet
=====

De ontwikkeling van de meeste geulen zal niet ingrijpend worden veranderd bij aanleg van een slibdepot.

De functie van het Gat van de Hawk, een kortsluitgeul, in het hydraulisch systeem van het gebied wordt grotendeels overgenomen door het nieuwe Hindergat, waarbij is uitgegaan van een even groot doorstromingsprofiel.

De ontwikkeling van het Hindergat is echter moeilijk voorspelbaar gezien het complexe karakter van de processen. Een draaiing van de as in westelijke richting, zoals ook het Gat van de Hawk te zien heeft gegeven is wellicht mogelijk. Dit alles is sterk afhankelijk van de keuze van de variant.

Voor alle varianten geldt dat ten gevolge van de afname van de rondstromingen het Rak van Scheelhoek in nog grotere mate dan in de huidige situatie zal verslibben.

Verskil in de mate van verslibbing is moeilijk aan te geven, maar voor variant C is wellicht een wat minder sterke verslibbing te verwachten.

De ontwikkeling van het Bokkegat is in huidige situatie nog onduidelijk (zie 2.4). Het is dan ook moeilijk voorspelbaar wat de invloed van de aanleg van een slibdepot daarop zal zijn. De stroomsnelheden ter plaatse blijken volgens de berekening niet ingrijpend te wijzigen (bij variant A zijn de snelheden bij uitstroming ca. 10% kleiner dan in de huidige situatie). Zie figuur 22.

Veel hangt af van de ontwikkeling van de Hinderplaat in zuidelijke richting.

Vermoedelijk zal het Slijkgat niet ingrijpend veranderen. De invloed van het golfklimaat op de bodemligging wijzigt niet en blijven de stroomsnelheden ter plaatse, zoals figuur 21 laat zien, nagenoeg onveranderd.

De stroomsnelheden ten tijde van spuien door de Haringvliet-sluizen veranderen vermoedelijk niet door aanleg van een Slufterloswal.

5.3.5 De Hinderplaat, het afgescheiden zuidelijke deel =====

Het resterende deel Hinderplaat, dat door het nieuw te baggeren Hindergat wordt afgescheiden van het depot, wordt in ontwikkeling sterk beïnvloed door de geulen Hindergat en Bokkegat. De morfologische processen zijn daarom moeilijk voorspelbaar. Ondermeer speelt hierbij het dwarstransport loodrecht op de kust een grote, maar moeilijk in te schatten, rol (zie paragraaf 2.3.3).

De resultaten van zandtransportberekeningen (zie hoofdstuk 3 en 4) doen vermoeden dat er aan de noordelijke zijde (zeezijde) van de plaat erosie zal optreden als gevolg van de opbouw van het zandtransport langs de plaat. Er is echter vermoedelijk aanvoer van zand via het Hindergat en bovendien aanvoer vanuit zee ten gevolge van dwarstransport.

Het langstransport (naar het zuiden gericht) langs de plaat neemt sterk af t.p.v. het Bokkegat omdat daar de branding ontbreekt. Er zal zich zand willen afzetten ten zuiden van de plaat. De getijstroom door het Bokkegat zal dit zand deels of geheel verder transporteren (afhankelijk van het getij naar binnen of naar zee). De sterkte van de stroom en de golfbeweging is dus bepalend voor dit proces.

De Hinderplaat bouwt zich momenteel in zuidelijke richting nog enigszins uit ten koste van het Bokkegat. Van dit proces is het moeilijk te voorspellen in hoeverre dit doorgaat en in hoeverre de aanleg van een slibdepot hier op van invloed zal zijn.

Al met al is de toekomstige vorm van de plaat moeilijk te voorspellen. In ieder geval is het niet mogelijk in detail de consequenties aan te geven van het morfologisch gedrag van de plaat t.g.v. de aanleg van één der varianten.

Het oppervlak van de plaat zal naar alle waarschijnlijkheid niet afnemen.

Ook bij aanleg van één der varianten is geen verdere opbouw in de hoogte van de plaat te verwachten. In figuur 20 zijn de stroomsnelheden (d.m.v. stroomrozen) weergegeven voor de huidige situatie en voor de varianten A en B. De stroomsnelheden liggen in dezelfde orde van grootte als in de huidige situatie, wat voor variant C waarschijnlijk ook zal gelden. Ook het golfveld verandert nauwelijks ten gevolge van de aanleg van een Slufterdamproject (alleen bij wind uit het noorden ligt de plaat bij variant C in de lijzijde).

De meer naar zeezijde verschoven varianten B en C wijken af van de belijning van de huidige kust. Wellicht is daarom, vooral bij C, een verschuiving van de Hinderplaat in zeewaartse richting te verwachten.

5.3.6 De Hinderplaat, het aan het slibdepot aansluitend deel
=====

In geval van aanleg van variant A en variant B zijn de maximale getijstroomsnelheden over het restant Hinderplaat weergegeven in de figuren 25 en 26.

Bij instroming van het sluftergebied zijn, bij gemiddeld tij, nog snelheden te verwachten van maximaal 10 à 15 cm/sec bij variant A en in geval van variant B nog geringer. Bij uitstroming zijn de getijstroomsnelheden wat groter, maar de stroming vindt voornamelijk in geulen plaats.

De golfhoogte op de plaat is voor de varianten A en B klein vanwege de geringe diepte en de ligging van de plaat in de schaduwzone van de dam voor de meeste golfrichtingen.

Ten gevolge van de lagere stroomsnelheden kan een verfijning van het bodemmateriaal optreden, vooral ter plaatse van de lagere delen van de plaat. De aanvoer van fijn materiaal is echter gering. Voor variant C zal dit in grote lijnen ook gelden, hoewel de stroomsnelheden op de plaat wellicht iets groter kunnen zijn.

Aan de zuidkant van de plaat, bij het Hindergat, is tussen N.A.P. en N.A.P. -2 m enige aanzanding te verwachten (t.g.v. golfopzetverschillen is er een naar binnen afnemende stroming). Beneden N.A.P. -2 m is enige erosie te verwachten t.g.v. getijstroming. Daarom verdient het aanbeveling om bij alle varianten de geul op enige afstand (+ 100 m) van de teen van de zanddam aan te leggen zodat deze zich kan ontwikkelen zonder dat de veiligheid mogelijk direct wordt aangetast. Bij aanleg van variant C is het niet ondenkbeeldig dat er een kortsluitgeul ontstaat over het aanliggende deel van de Hinderplaat. De plaats van de aan te leggen geul behoeft daarom wellicht enige aanpassing.

5.3.7 De kust ten noorden van de Zuiderdam
=====

Uit getijberekeningen blijkt niet dat het stroombeeld ten noorden van de Zuiderdam zich zal wijzigen. Het golfbeeld wordt eveneens niet gewijzigd door aanleg van een loswal, aangezien er op korte termijn geen bodemveranderingen van de vooroever zijn te verwachten.

Naarmate de slufteerloswal meer in zeewaartse richting wordt verschoven zal op de lange duur meer zand langs de Zuiderdam noordwaarts verdwijnen in de Maasgeul (eerst worden de diepere gedeeltes bij de Zuiderdam opgevuld), wat een toename van het onderhoud tot gevolg zal hebben.

Bij variant A is er nauwelijks verschil in noordgaand transport in vergelijking met de huidige situatie.

Variant B zal op den duur in geringe mate wat zandverlies in noordelijke richting veroorzaken en variant C in sterkere mate.

Ten noorden van de Maasgeul is in ieder geval geen verandering in morfologie t.o.v. de huidige situatie te verwachten.

6. Verwacht onderhoud in geval van de aanleg van een tweede fase

6.1 Inleiding
=====

De idee is om, indien noodzakelijk, aansluitend aan de eerste fase een tweede fase te realiseren met een zelfde bergingsinhoud. Bij de ontwerpuitgangspunten voor de eerste fase is hiermee rekening gehouden. De figuren 27, 28 en 29 geven een beeld van de eerste en tweede fase van respectievelijk variant A, B en C. Besloten is bij de uitwerking van de respectievelijke ontwerpen de tweede fase slechts schetsmatig aan te geven. Er zijn geen diepgaande studies verricht of berekeningen uitgevoerd.

Het te verwachten onderhoud bij aanleg van een tweede fase is daarom slechts speculatief aan te geven. Eerst worden de veranderingen in de randvoorwaarden beschreven zoals de situering, het golfveld en het stromingsbeeld.

6.2 De randvoorwaarden voor de morfologische verandering
=====

6.2.1 De situering
=====

De belijning van variant A volgt ook in de tweede fase de bestaande dieptelijnen nabij de Hinderplaat.

Voor variant B geldt dit in grote lijnen ook; de dam ligt iets verder zeewaarts dan variant A, waardoor de zuidelijke punt sterker aan golfaanval wordt geëxposeerd, maar heeft toch ongeveer dezelfde richting.

Variant C heeft na aanleg van een tweede fase een afwijkende vorm en sluit niet aan bij de richting van het alignement van de Hinderplaat. Deze variant ligt veel verder zeewaarts en de richting is afwijkend van de richting van het huidige dieptelijnenpatroon, bovendien is de punt op nog dieper water geprojecteerd en is de boogstraal hiervan zeer klein.

6.2.2 Het golfveld
=====

De golfhoogte voor de kust van de slufferloswal neemt toe naarmate deze op dieper water ligt. In de eerste jaren na aanleg zal bij grotere diepte met een sterke golfaanval rekening gehouden moeten worden totdat een natuurlijk zeewaarts talud gevormd is. De golfaanval neemt dus toe in hevigheid van variant A naar variant C.

In geval van aanleg van een tweede fase van de Slufterloswal komt een groter deel van het mondingsgebied van het Haringvliet in de schaduwzijde van de loswaldam te liggen.

Bij gemiddelde waterstand is er weinig verschil in golfklimaat in het mondingsgebied tussen de varianten en de huidige situatie, omdat op de Hinderplaat een groot deel van de golfenergie dissipeert. Maar bij hoge waterstand zal, vooral bij richtingen NNW tot ZW, t.o.v. de huidige situatie de golfenergie sterk gereduceerd worden in het slufteergebied en Haringvlietmonding. Varianten A en B geven ongeveer dezelfde reductie; variant C minder als gevolg van meer noordelijke ligging.

6.2.3 Het stroombeeld =====

Bij varianten A en B is aanleg van een geul onder de zuidelijke punt van de loswal niet noodzakelijk vanwege het Bokkegat. Bij variant C kan bij aanleg van het nieuwe Hindergat gebruik worden gemaakt van het reeds bestaande Hindergat.

Onderzoek naar de aanleg van een dam over de Hinderplaat, gerapporteerd in "De ontwikkeling in het mondingsgebied van de Haringvliet na de Afsluiting" [lit. 14] geeft een indicatie van de gevolgen van de aanleg van een tweede fase van variant A of B.

De rondgaande stroming wordt nu beperkt tot het gebied tussen Slijkgat en Bokkegat. De invloed van het vullen en ledigen van de kom zal zich in sterkere mate dan bij aanleg van de eerste fase doen gelden. Het stroombeeld zal sterker veranderen en de invloed van de aanleg van een tweede fase zal over een groter gebied merkbaar zijn. In het Slijkgat zullen bij eb de stroomsnelheden mogelijk iets toenemen. Bij vloed zullen de snelheden in het Bokkegat t.g.v. het wegvallen van de rondstroming daar kleiner worden. Een nadere berekening van de stroomsnelheden is echter onontbeerlijk om een goed beeld te kunnen geven.

6.2.4 Het suatieprofiel =====

Bij spuien door de Haringvlietsluizen is er, naast de stroming t.g.v. het getij, uitwatering door het suatieprofiel (het doorstromingsprofiel dat wordt benut bij spuien). Om geen te grote vervallen over de geul en dus stuwings voor de sluizen te veroorzaken moet het suatieprofiel vrij blijven van de kust van Goeree tot een lijn die door het Bokkegat en het Rak van Scheelhoek loopt. Eén en ander wordt toegelicht in het bovengenoemde rapport [lit. 14].

Bij aanleg van een tweede fase wordt hieraan voldaan. Er is dus geen ingrijpende verandering van de stroming bij spuien te verwachten, zeker omdat de stroming tijdens spuien geconcentreerd is in de geulen.

Wel zullen de stroomsnelheden in het Bokkegat en het Slijkgat veel groter zijn bij afsluiting van de derde geul, het Hindergat. Dat is het geval bij varianten A en B. In geval van variant C kan de Hindergat indien nodig en indien haalbaar open blijven.

6.3 Het te verwachten onderhoud van de dammen
=====

Variant A

De kustlijn van de eerste fase wordt in dezelfde richting voortgezet. Het rechte kustalignement zal dan ook weinig problemen opleveren. Het te verwachten onderhoud daarvan zal relatief gering zijn (suppletie). De punt volgt de natuurlijke vorm van de punt van de Hinderplaat, maar de dam is wel sterk onderhevig aan golfaanval.

Bij spuien kunnen als gevolg van de afsluiting van het Hindergat de stroomsnelheden relatief hoog worden. Om die reden is waarschijnlijk een verdediging van de dam bij de zuidpunt noodzakelijk.

Variant B

De knik in de belijning van de 1e fase bij raai 40 wordt nu verlegd naar het begin van de ombuiging naar de punt van de tweede fase. Het resulterend transport is zuidwaarts gericht vanaf die nieuwe knik (in figuur 28 aangegeven met de letter k). Hierdoor zal erosie optreden met als gevolg een achteruitgang van de kust. Waarschijnlijk moet over een gedeelte van de kust een verdediging gerealiseerd worden (bijvoorbeeld strandhoofden).

Het Bokkegat ligt nog op ca. 500 m van de punt van de dam vandaan.

Bij toenemende verplaatsing van de geul kan het voorland worden beschouwd als een zandreserve.

Afhankelijk van de snelheid van erosie van het Bokkegat (vooral bij spuien zijn grote stroomsnelheden te verwachten) zal een verdediging van de punt van de dam noodzakelijk zijn. Ook de golfaanval zal eveneens relatief sterk zijn.

Variant C

Langs de omkading, vanaf de Zuiderdam in zuidelijke richting gaande, zal eerst een toenemend noordgaand optreden.

Daar waar de belijning van de omkading sterk van richting verandert (in figuur 29 aangegeven met de letter k) slaat de transportrichting om in zuidelijke richting; dit ondanks de wat sterkere getijstrooming in noordelijke richting (vloed). Er is dus een sterke erosie te verwachten zodat een sterke verdediging van de kust noodzakelijk zal zijn.

Ook de zuidpunt zal zo goed als zeker verdedigd moeten worden omdat de getijstroomsnelheden groot zullen zijn en de golfaanval sterk in verband met de grote diepte van de vooroever. Spuien geeft t.a.v. variant C minder problemen, vanwege de nog aanwezige geul in het Hindergat.

Gezien de ligging van deze variant (een scherpe ronding van de zuidpunt, de ligging van de omkading sterk afwijkend van de bestaande vooroever op diep water) en de zeer ongunstige golf- en stromingscondities wordt de haalbaarheid van een tweede fase in deze vorm zeer sterk betwijfeld.

Alleen een uitvoering met een harde constructie, met navenant hoge kosten, of het kiezen van een andere belijning van de omkading (waarbij de doorgetrokken demarcatielijn moet worden overschreden) maakt de aanleg van een tweede fase mogelijk.

Literatuur

- Lit. 1. "De morfologische veranderingen in de mond van de Brielse Maas sedert de afsluiting daarvan".
- Driemaandelijks bericht van de Deltawerken nr. 20, mei 1962.
- Lit. 2. "De invloed van de waterbouwkundige werken op de kust van Z.W.-Nederland".
- Driemaandelijks bericht van de Deltawerken, nr. 43 februari 1968.
- Lit. 3. "Bouw nieuwe havenmond te Hoek van Holland; hydrometrisch onderzoek en resultaten".
Ir. J.J. Pilon.
- De Ingenieur 1969 nr. 30 en 32.
- Lit. 4. "De ontwikkeling in het mondingsgebied van het Haringvliet na de afsluiting".
Rijkswaterstaat, Deltadienst.
- Nota W-70.108 juli 1971.
- Lit. 5. Bewerkingen lodingen en waterpassingen van de Maasvlakte, Europoort.
Rijkswaterstaat, Deltadienst, 1969.
- Nota W 69.115.
- Lit. 6. Getijstromingen rond het Slufterdamproject.
Afstudeerverslag S.J. Poel.
- Technische Hogeschool Delft, afdeling Civiele Techniek, vakgroep Vloeistofmechanica, 1982.
- Lit. .7 Morfologische aspecten van het Slufterdamproject.
Afstudeerverslag S.J. Poel.
- Technische Hogeschool Delft, afdeling Civiele Techniek, vakgroep Kustwaterbouwkunde, 1982.
- Lit. 8. Refractiepatronen Slufterloswalproject.
- Gemeentewerken Rotterdam, 1982.
- Lit. 9. Gemiddeld jaarlijks onderhoud van de zandbergings (zuidwestelijke uitbreiding van de Maasvlakte) en maatregelen ter beperking van de kosten.
Rapport nr. 208.
- Bureau Svasek, 1975.
- Lit. 10. Afsluiting Gat van de Hawk.
Verslag modelonderzoek M 1242.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1974.
- Lit. 11. Programmabeschrijving refractie- en energieberekening te bepaling van het zandtransport in de brekerzone.
Rapport nr. 191, RAM 5.
- Bureau Svasek

- Lit. 12. Coastal Engineering Volume II.
Harbor and Beach Problems.
- Technische Hogeschool Delft, afdeling Civiele Techniek, vak-
groep Kustwaterbouwkunde, 1978.
- Lit. 13. Invloed van open paalschermen op stromingen nabij de kust.
Modelonderzoek M 1148.
- Waterloopkundig Laboratorium, 1973.
- Lit. 14. De ontwikkeling in het mondingsgebied van het Haringvliet na de
afsluiting.
Nota W-70.108.
- Rijkswaterstaat, Deltadienst, 1971.

TABELLEN

variant A	met constructies verdedigd kustvak raai tot raai	aantal	te suppleren hoeveelheid zand in m3/jaar
suppleren	-	-	200.000
aanleg paalrijen en suppleren	40 tot 68	15	125.000
aanleg strandhoofden en suppleren	50 tot 65	6	175.000

variant B	met constructies verdedigd kustvak raai tot raai	aantal	te suppleren hoeveelheid zand in m3/jaar
suppleren	-	-	400.000
aanleg paalrijen en suppleren	44 tot 60	9	300.000
aanleg strandhoofden en suppleren	44 tot 62	7	300.000

variant C	met constructies verdedigd kustvak raai tot raai	aantal	te suppleren hoeveelheid zand in m3/jaar
suppleren	-	-	550.000
aanleg paalrijen en suppleren	30 tot 64	17	400.000
aanleg standhoofden en suppleren	33 tot 63	11	350.000

tabel 1 Onderhoud: uitvoeringsplan voor aanbrengen constructie en de hoeveelheid te suppleren zand (de toegepaste reducties zijn in rekening gebracht)

variant A	aanleg- kosten	onderhouds- kosten	suppletie- kosten	totale kosten
suppleren	-	-	8,0-12,0	8,0-12,0
aanleg paalrijen en suppleren	5,0-6,5	1,0	5,0-7,5	11,0-15,0
aanleg strandhoofden en suppleren	13,5-16,5	-	9,0-11,0	22,5-27,5

variant B	aanleg- kosten	onderhouds- kosten	suppletie- kosten	totale kosten
suppleren	-	-	16,0-24,0	16,0-24,0
aanleg paalrijen en suppleren	3,0-4,0	0,5	12,0-18,0	15,5-22,5
aanleg strandhoofden en suppleren	16,0-19,0	-	12,0-18,-	28,0-37,0

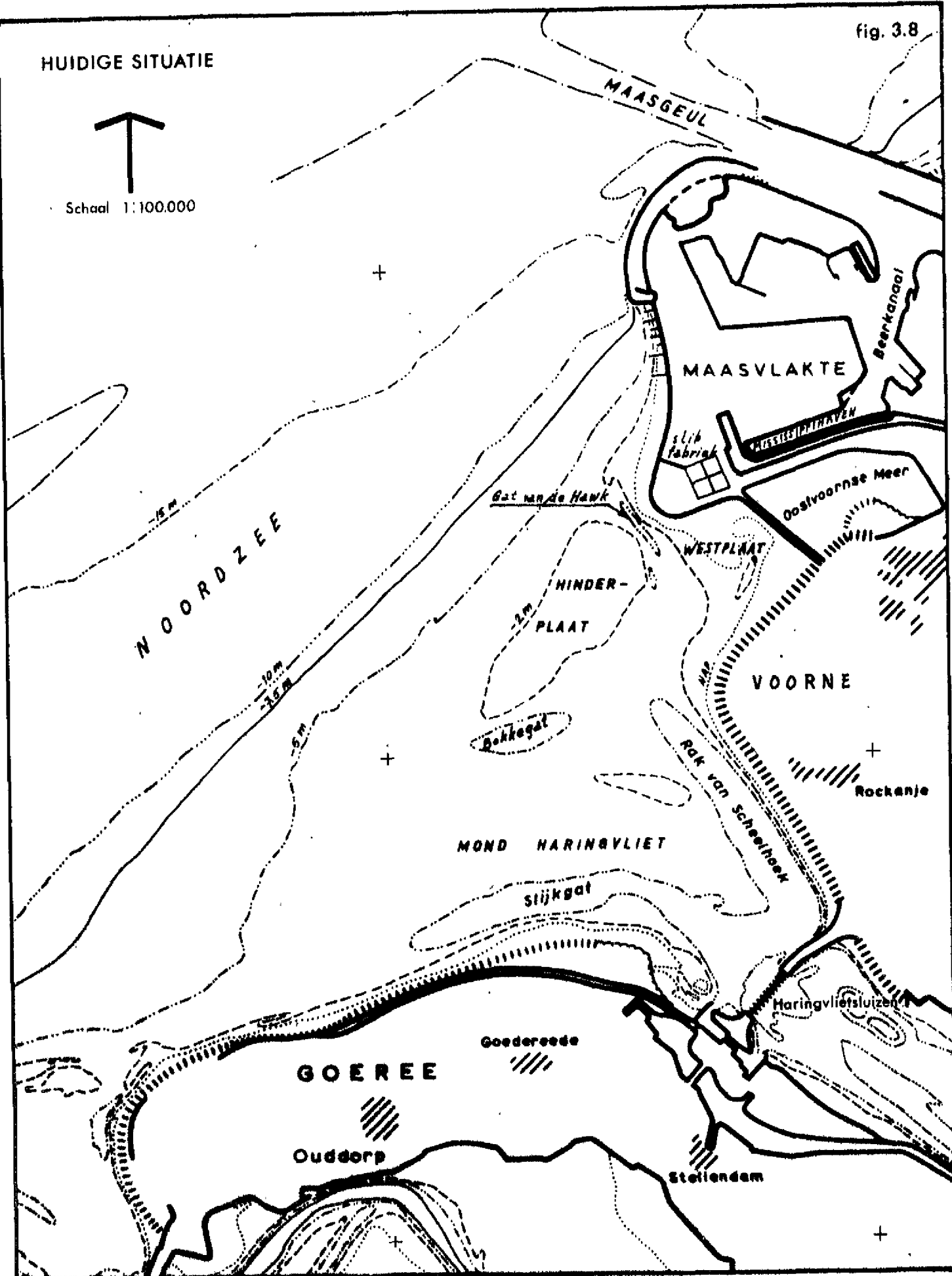
variant C	aanleg- kosten	onderhouds- kosten	suppletie- kosten	totale kosten
suppleren	-	-	22,0-33,0	22,0-33,0
aanleg paalrijen en suppleren	6,0-7,0	1,0	16,0-24,0	23,0-32,0
aanleg strandhoofden en suppleren	25,0-30,0	-	14,0-21,0	39,0-51,0

tabel 2: onderhoudskosten in miljoenen guldens.

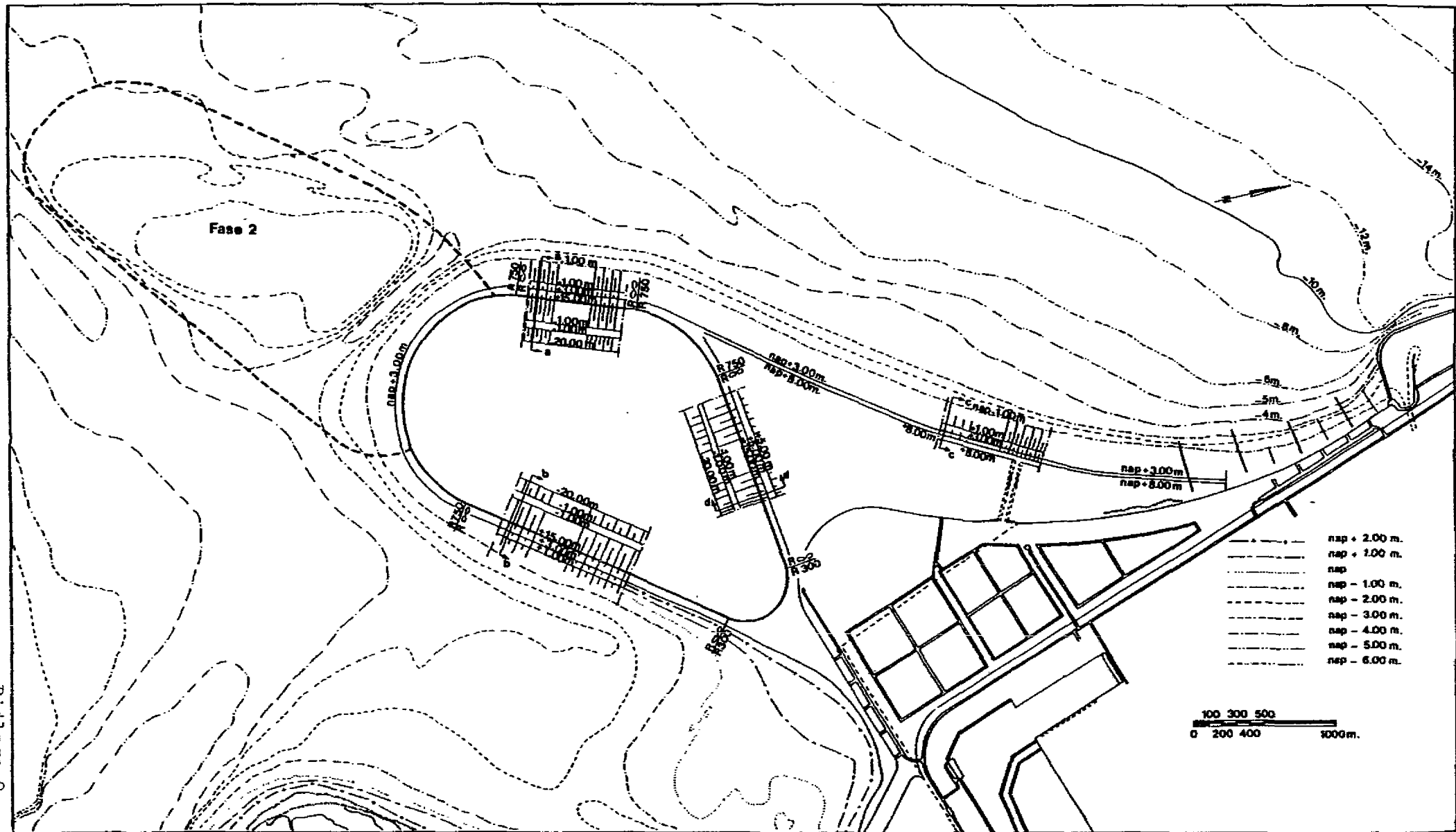
HUIDIGE SITUATIE



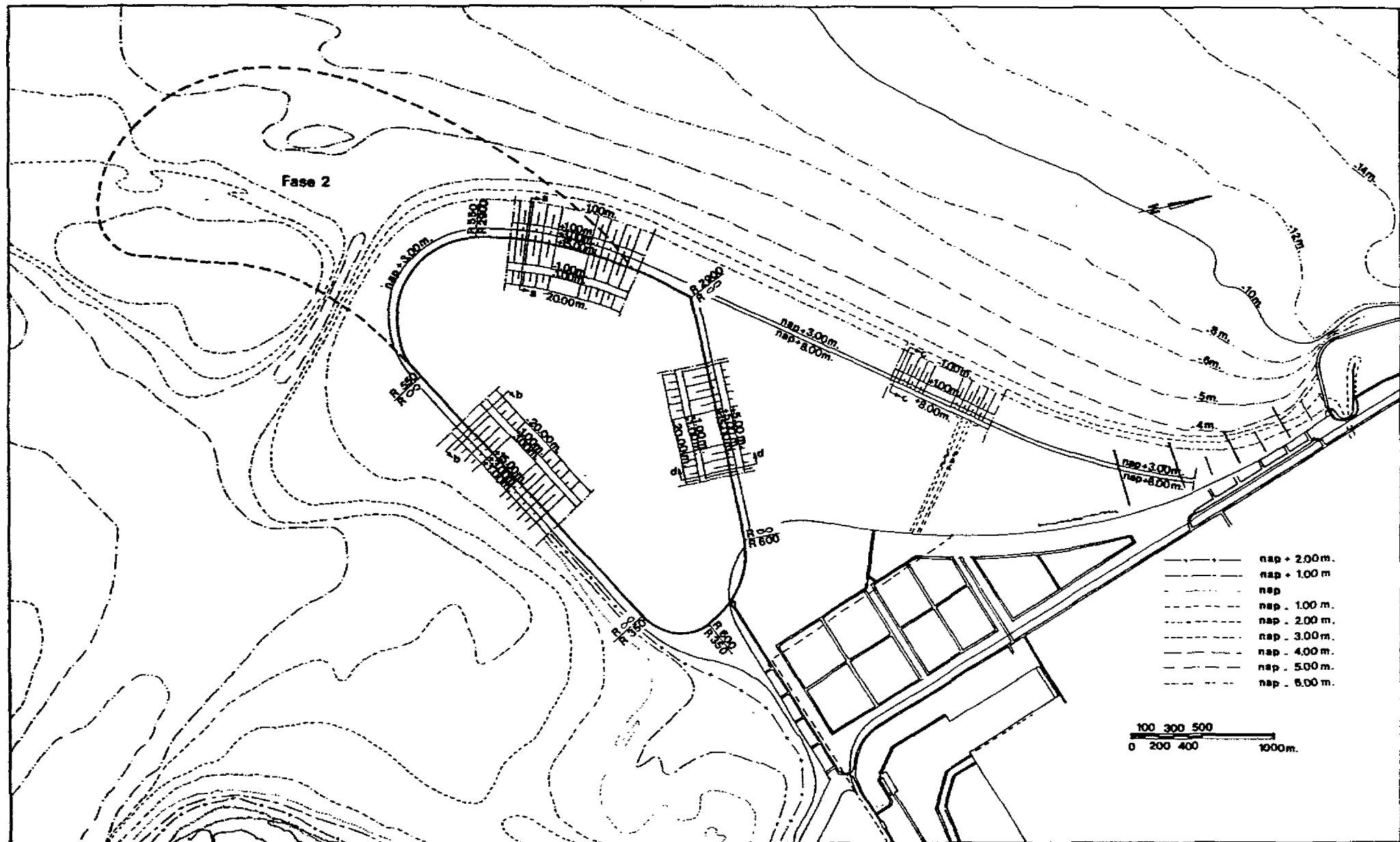
Schaal 1:100.000



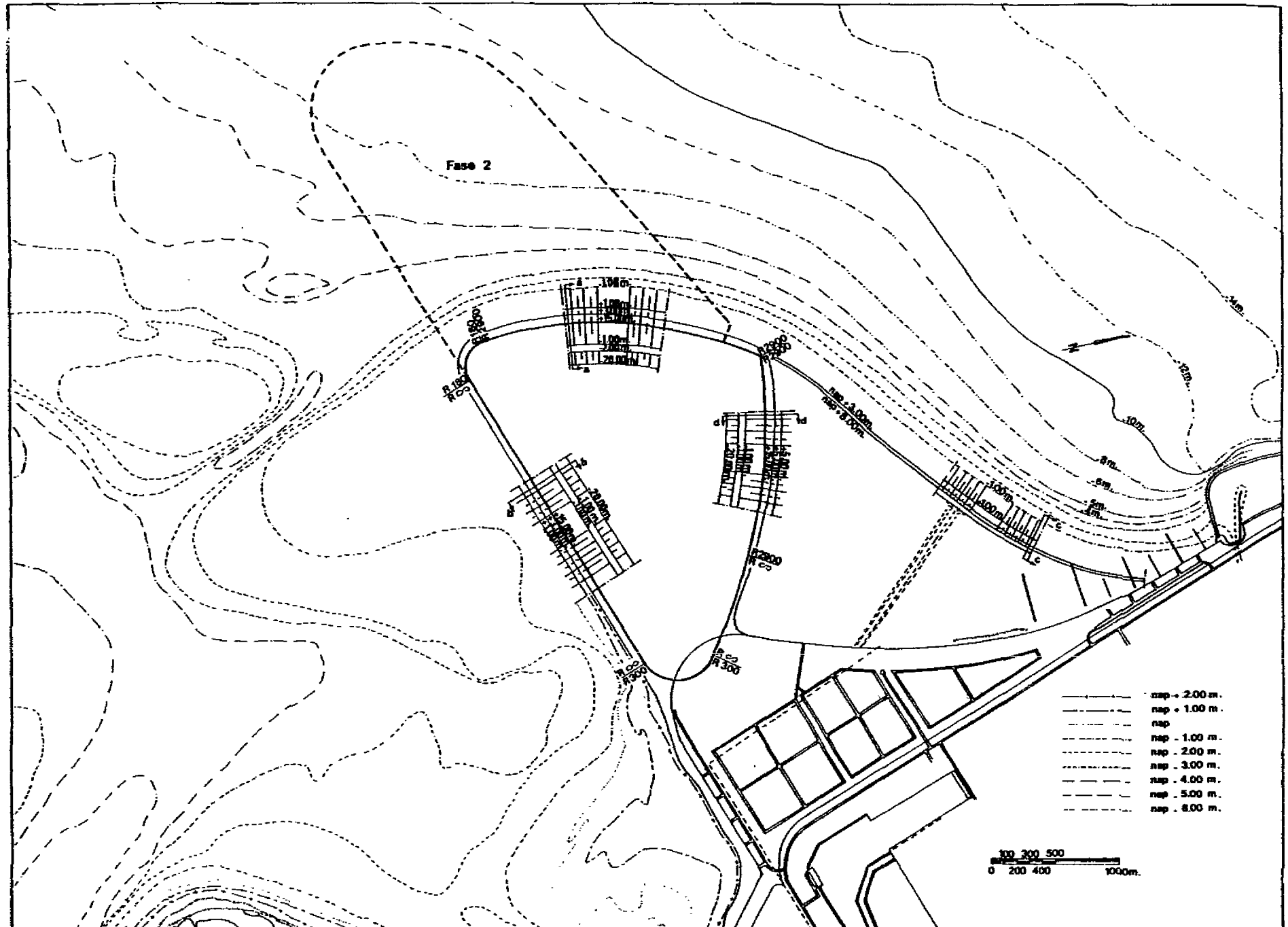
slufterdam project variant A

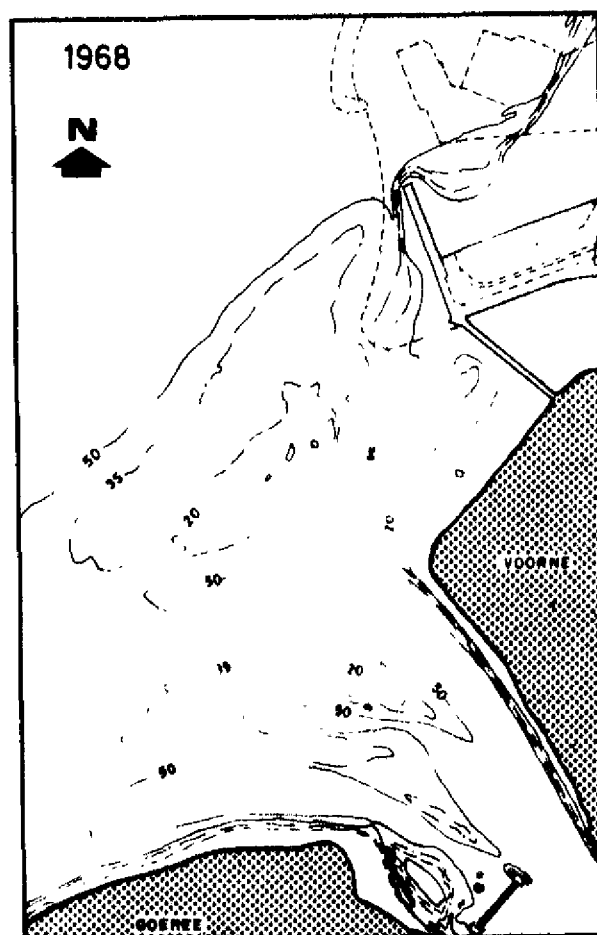
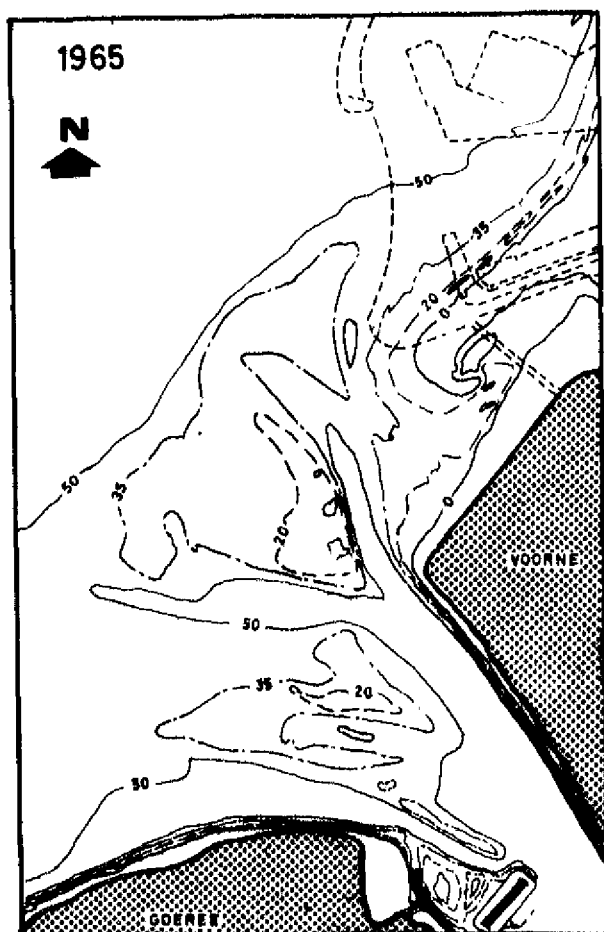
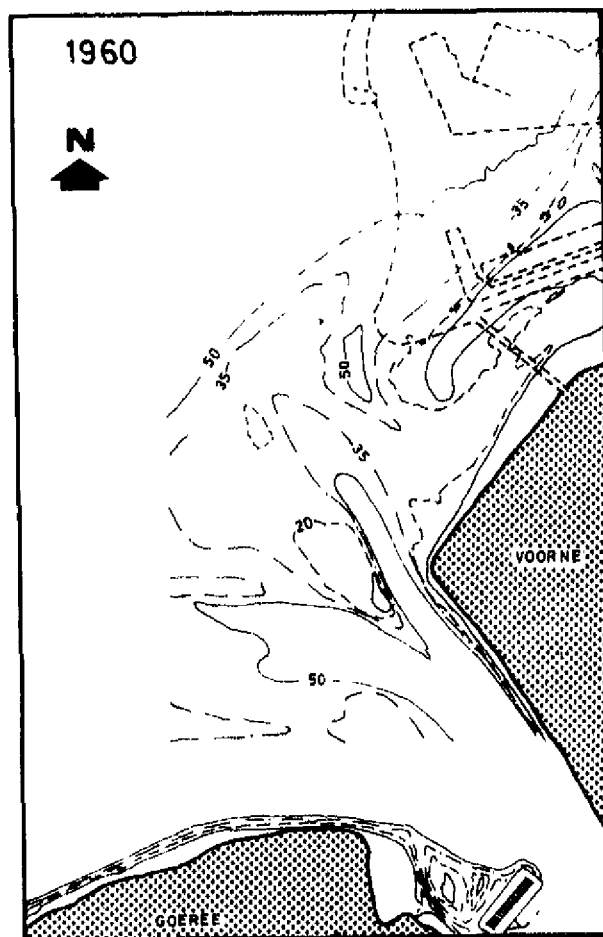
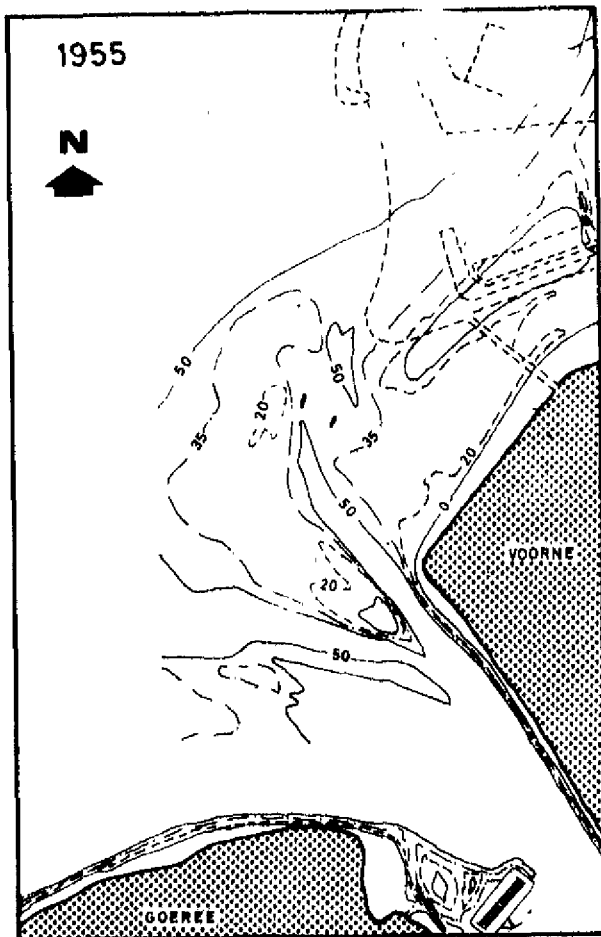


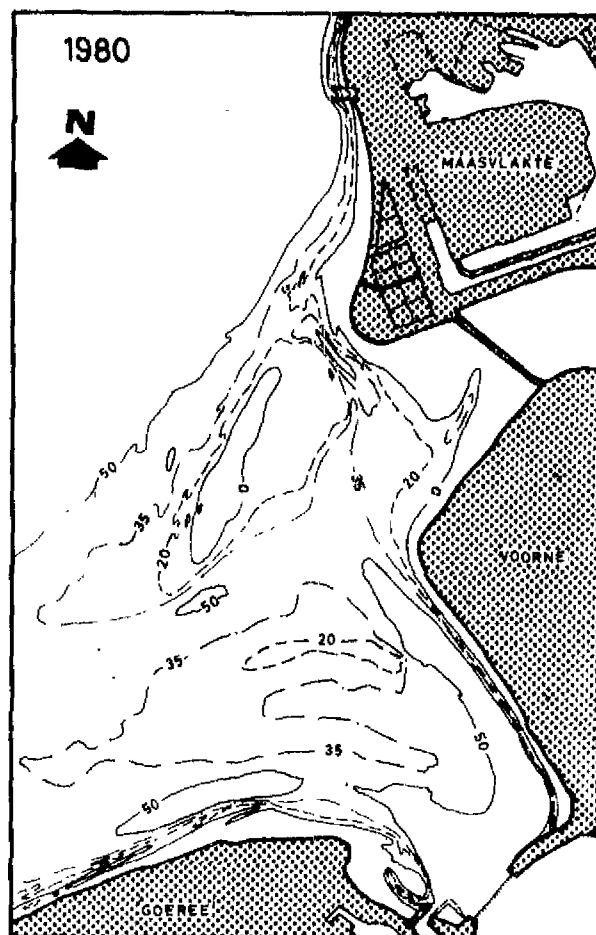
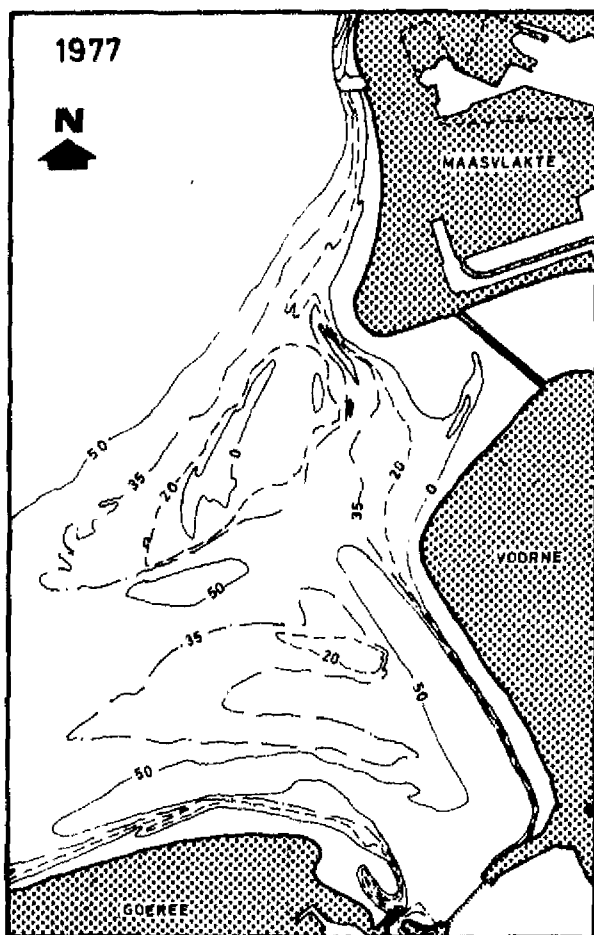
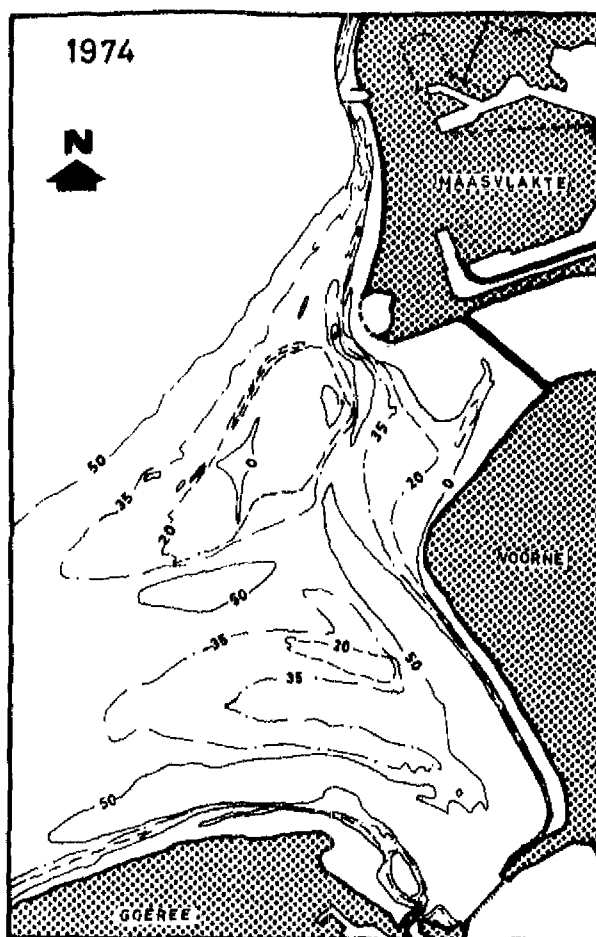
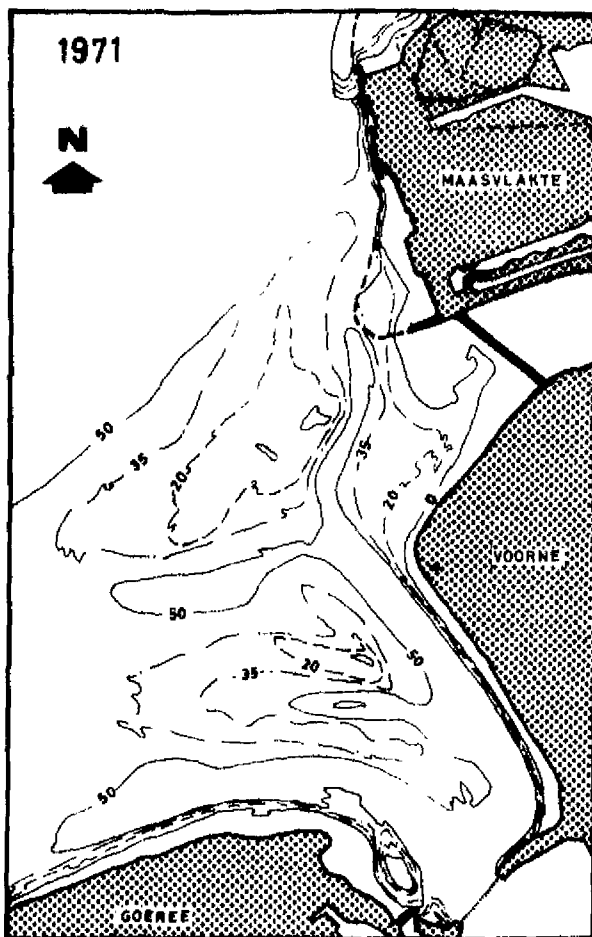
slufterdam project variant B



slufterdam project variant C



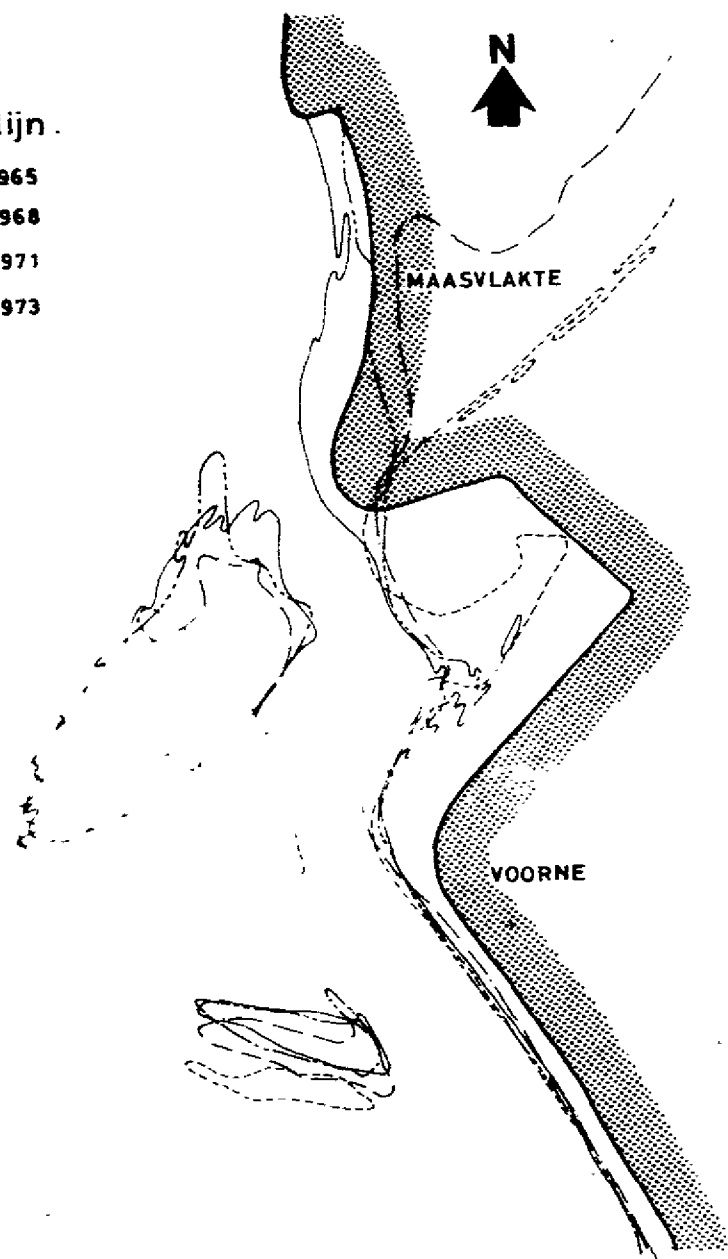




Veranderingen van dieptelijnen - 2 m. en - 3,5 m. vanaf 1965 t/m 1973

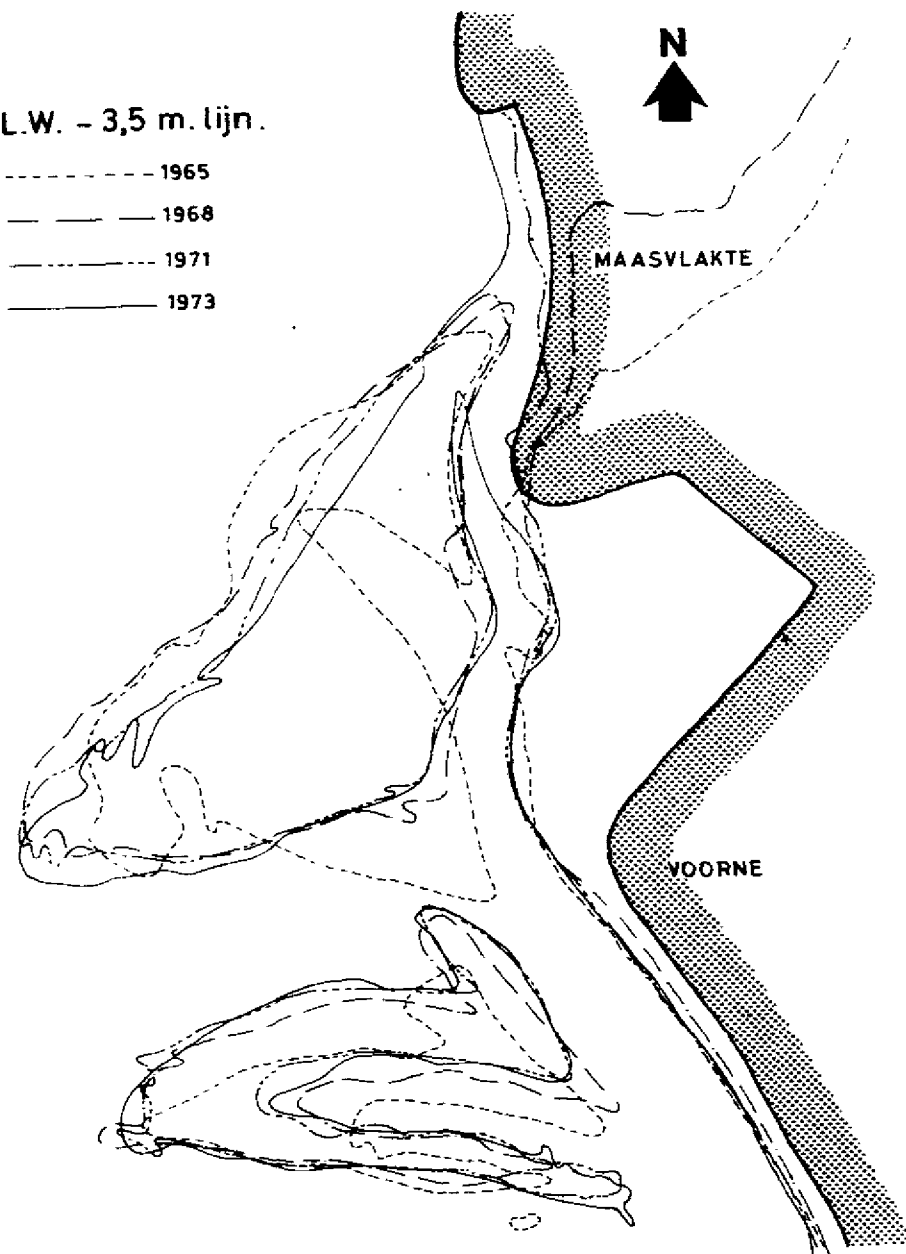
L.W. - 2 m. lijn.

----- 1965
 - - - - - 1968
 1971
 _____ 1973



L.W. - 3,5 m. lijn.

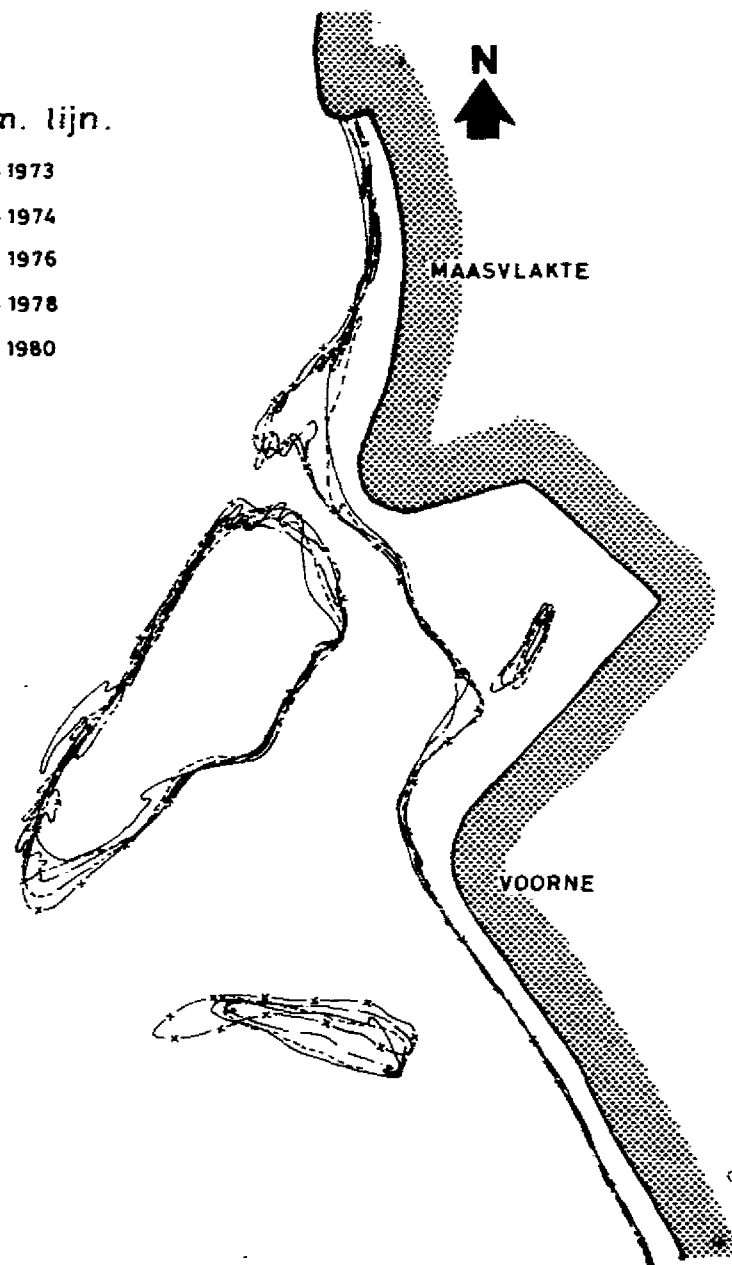
----- 1965
 - - - - - 1968
 1971
 _____ 1973



Veranderingen van dieptelijnen -2 m. en -3,5 m. vanaf 1973 t/m 1980

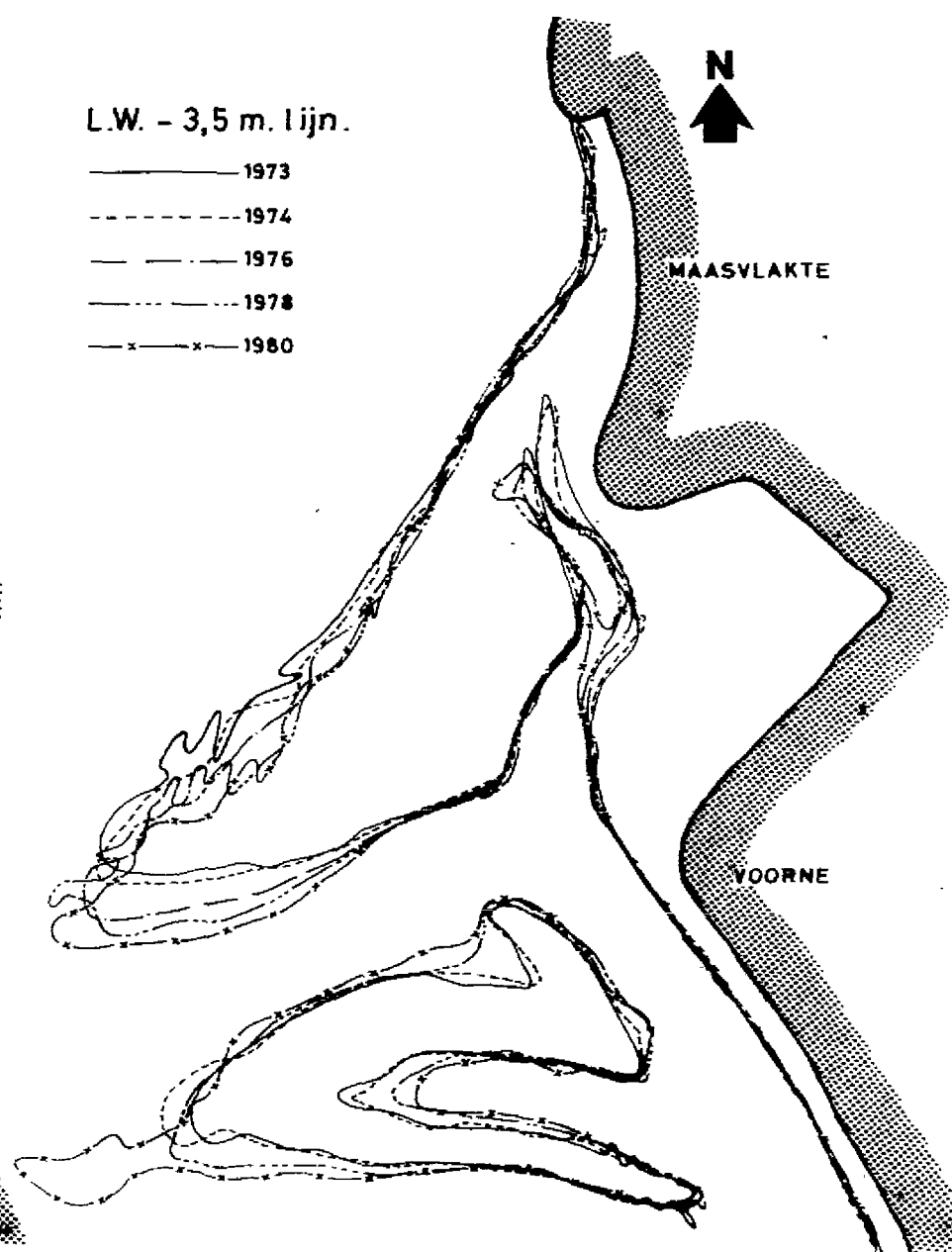
L.W. - 2 m. lijn.

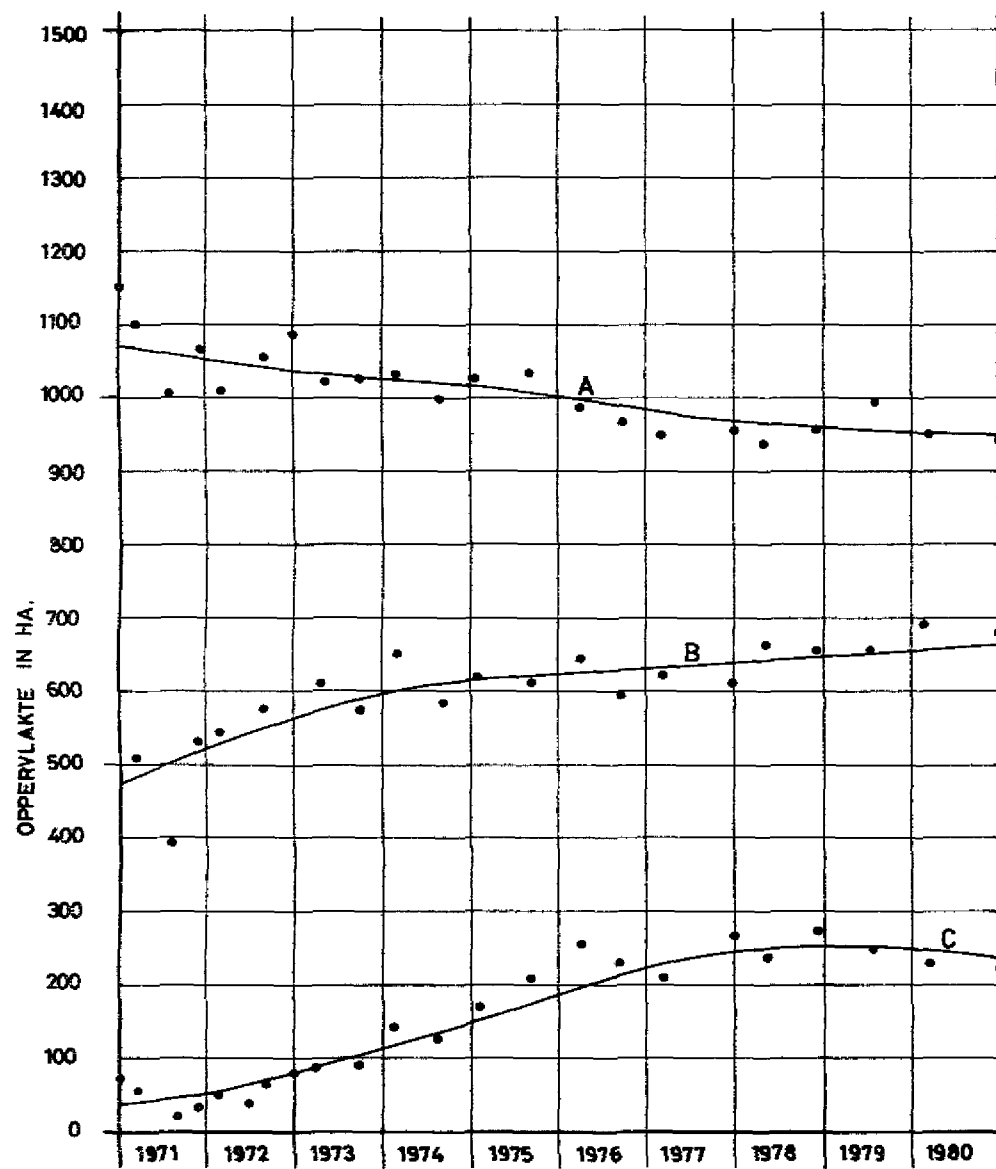
— 1973
- - - 1974
— 1976
- . - 1978
— x — x — 1980



L.W. - 3,5 m. lijn.

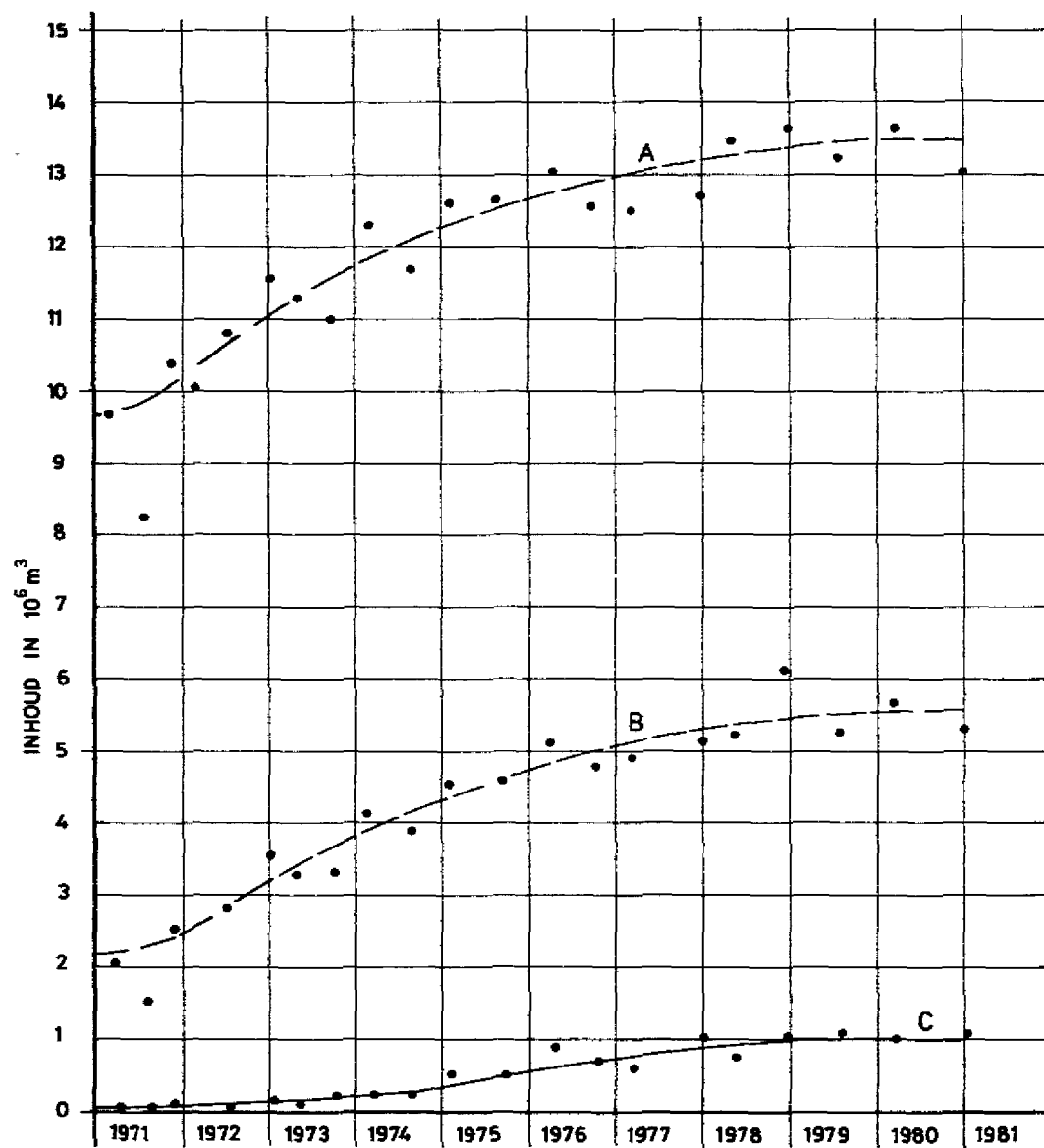
— 1973
- - - 1974
— 1976
- . - 1978
— x — x — 1980





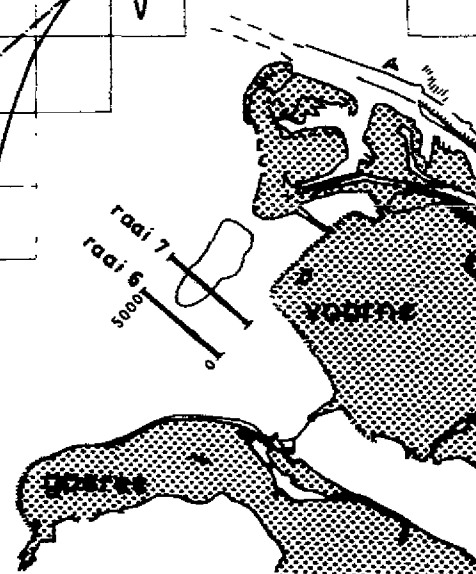
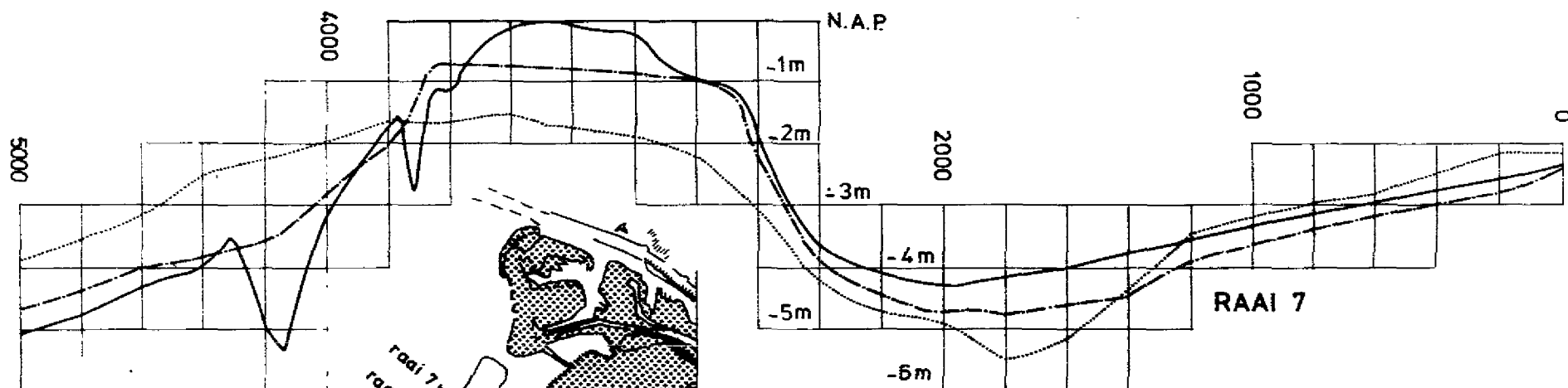
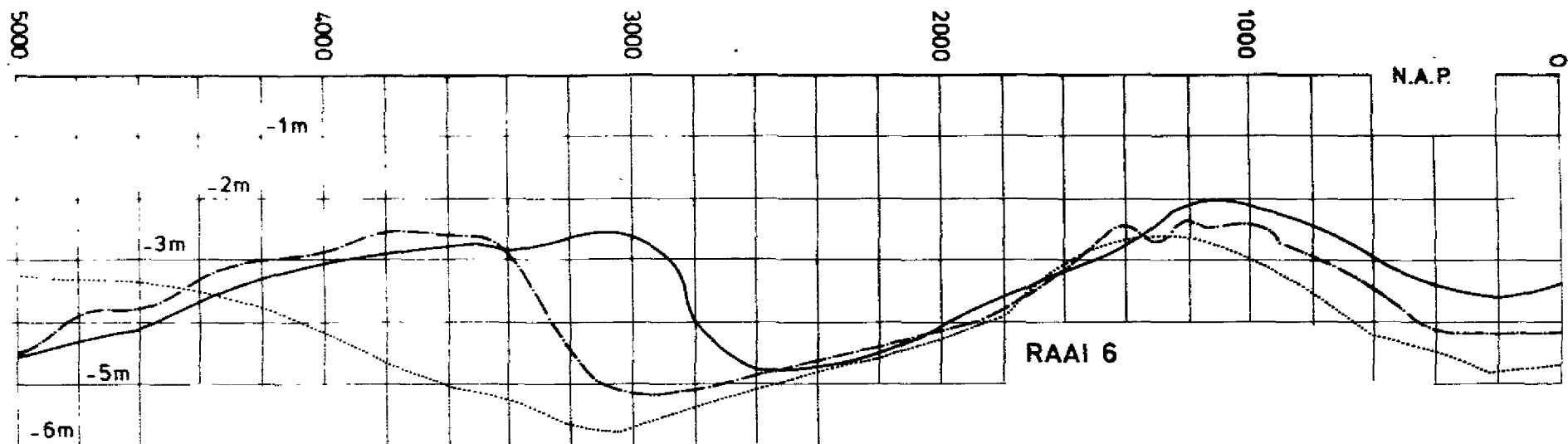
JAREN
Toelichting
OPPERVLAKTE IN HA.
boven
A : N.A.P. - 3m
B : N.A.P. - 2m
C : N.A.P. - 1m

ONTWIKKELING VAN DE HINDERPLAAT



JAREN
Toelichting
INHOUD IN M^3
boven
A : N.A.P. - 3m
B : N.A.P. - 2m
C : N.A.P. - 1m

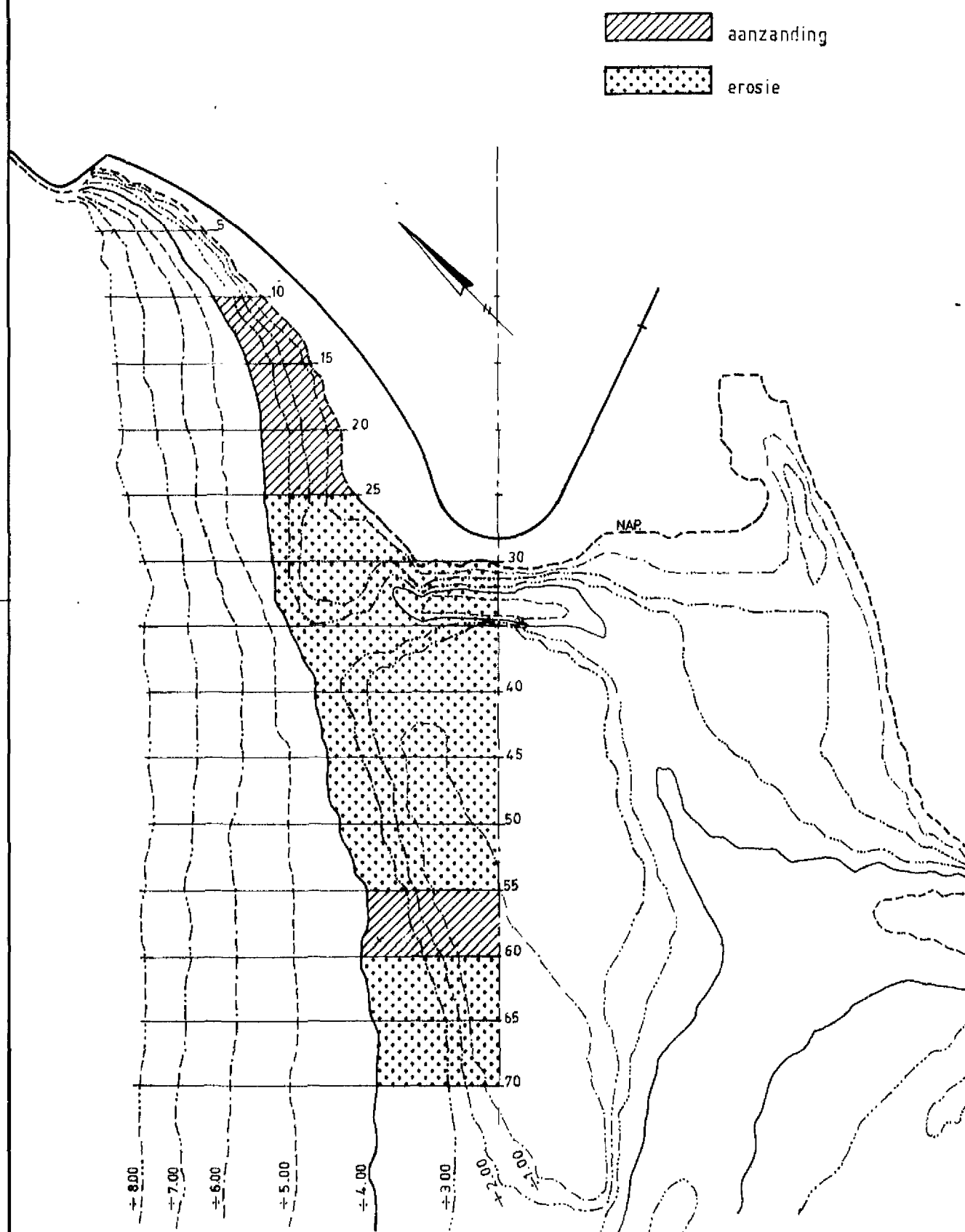
rijswaterstaat
directie noordzee

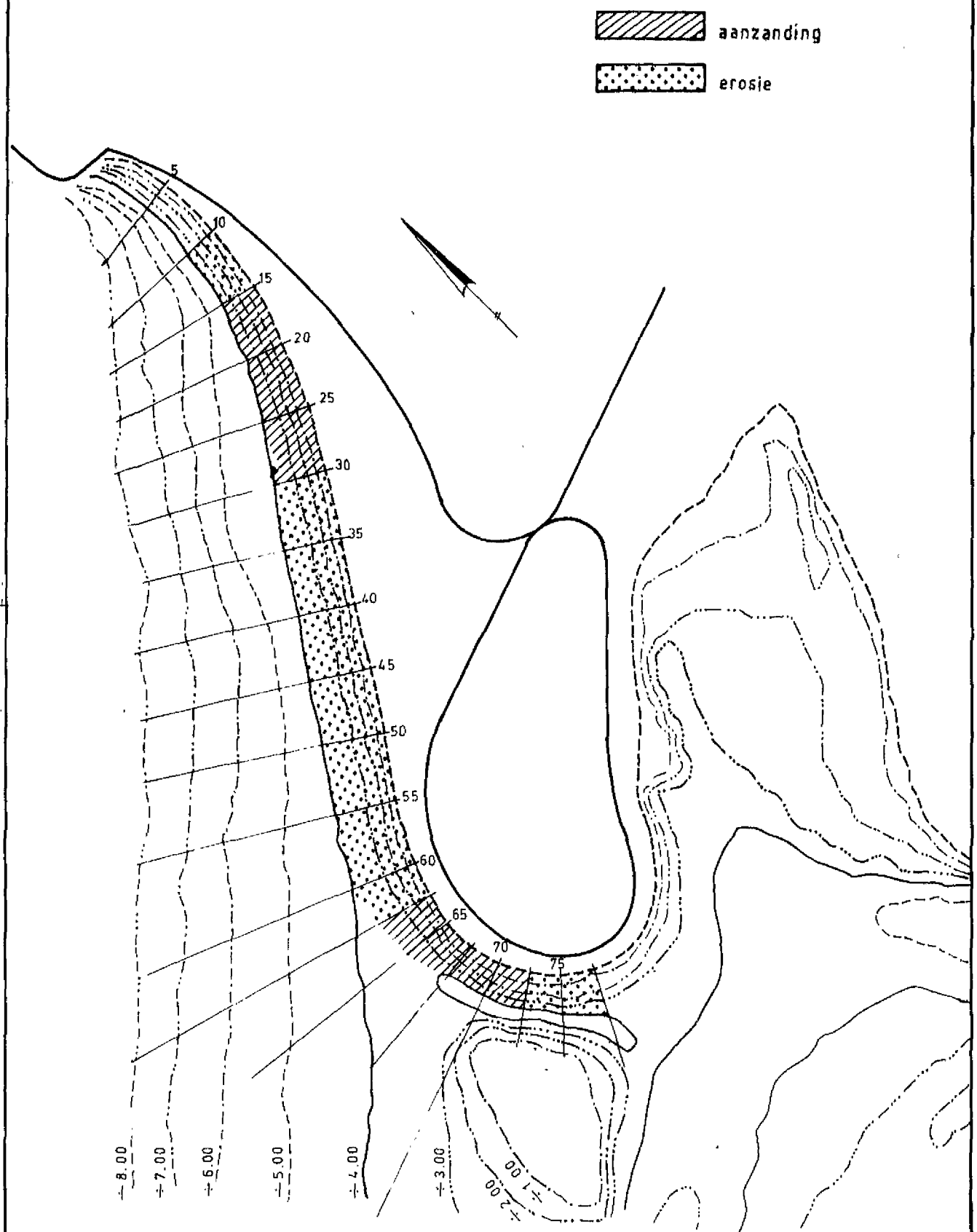


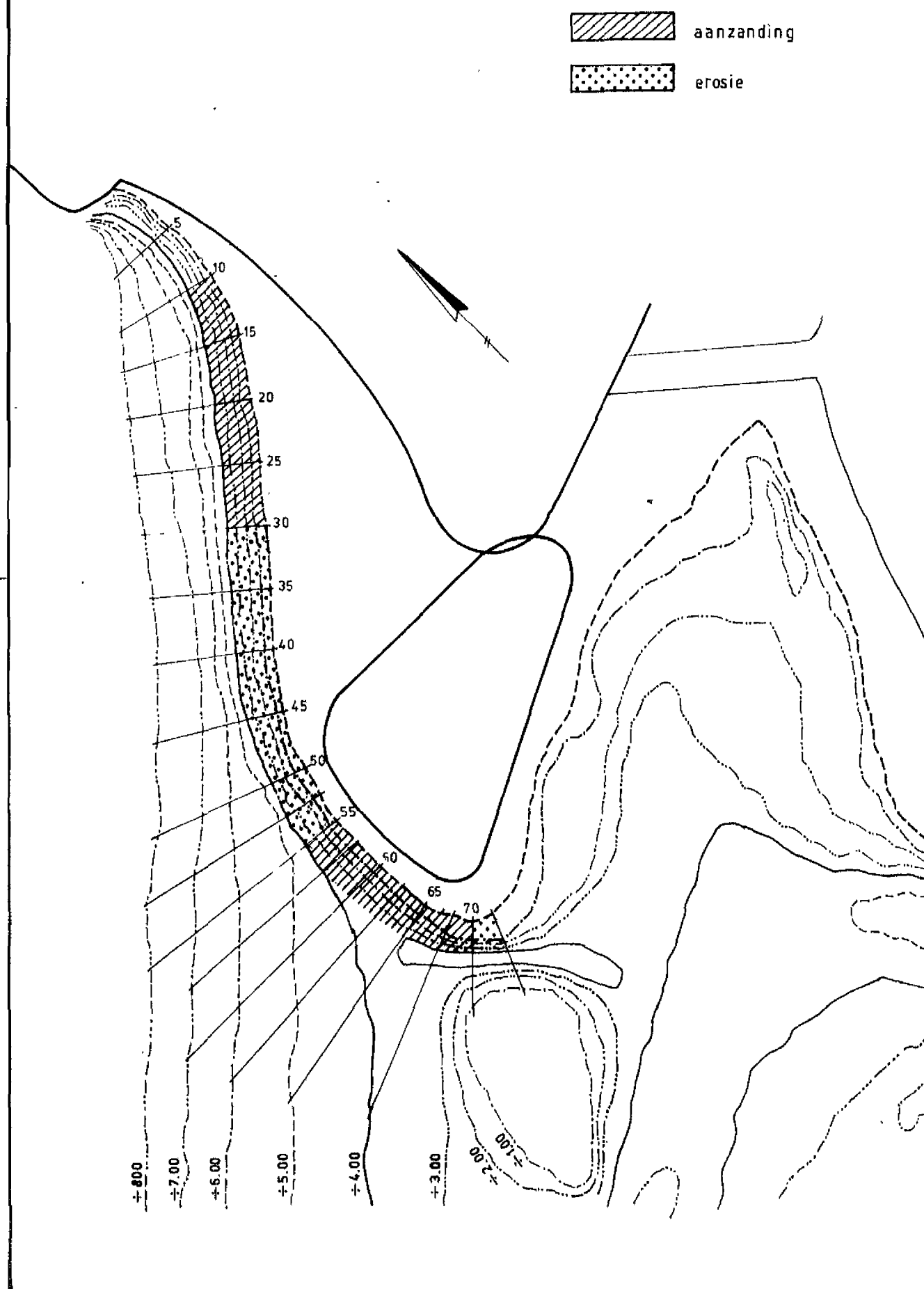
..... JUNI 1970
 ———— AUG - OKT 1976
 ———— JUNI 1980 - JAN 1981

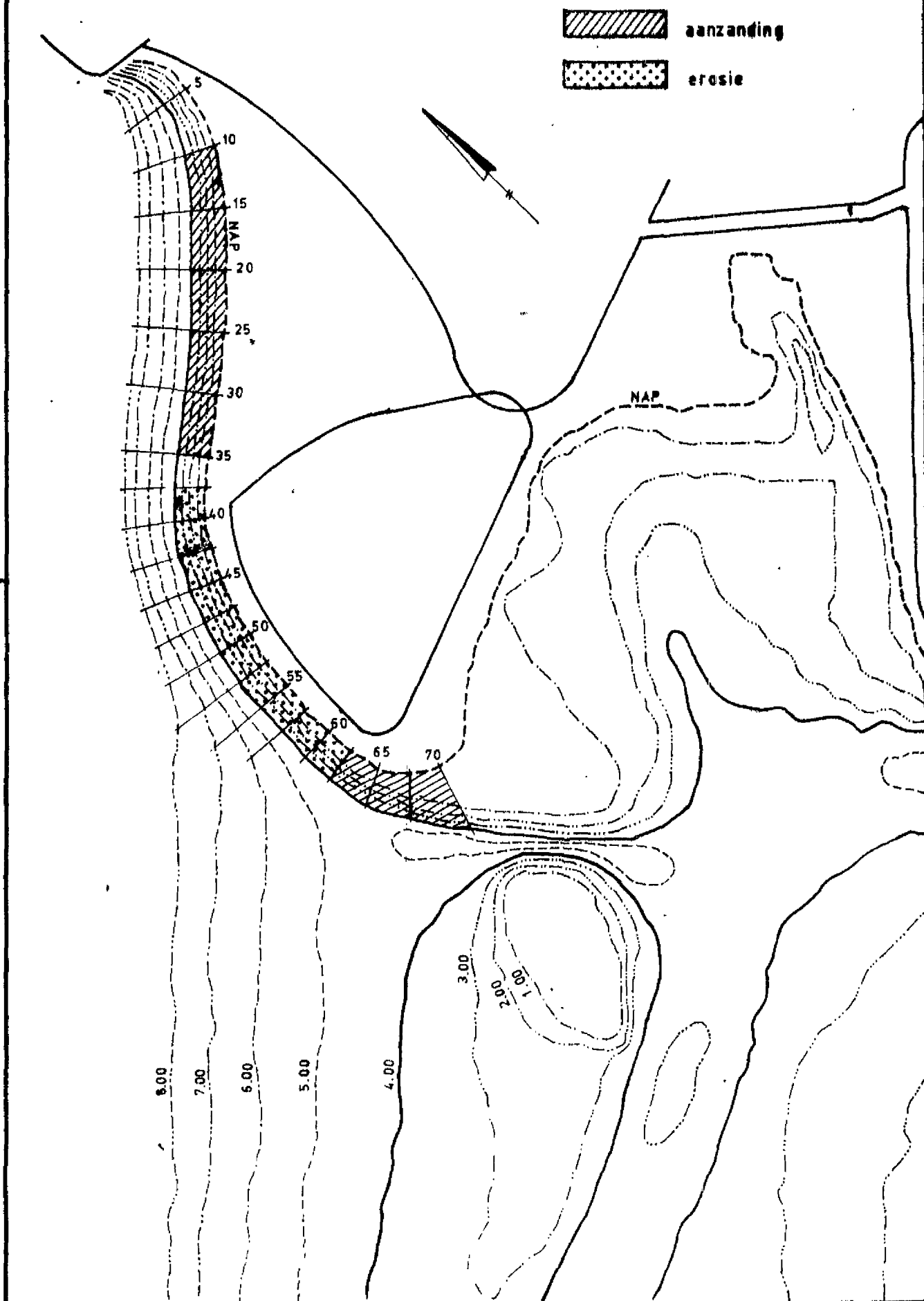
Dwarsprofielen Bokkegat

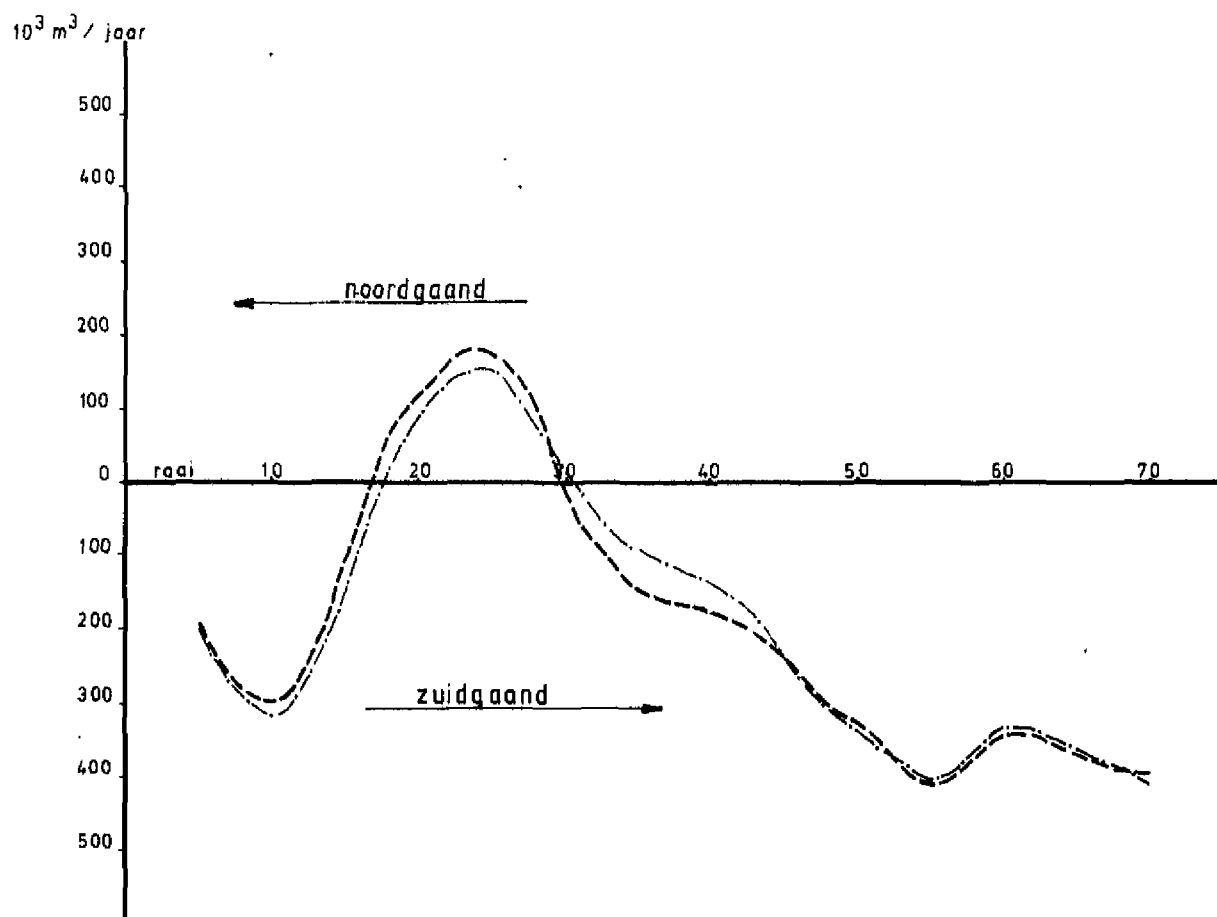
Fig. 1



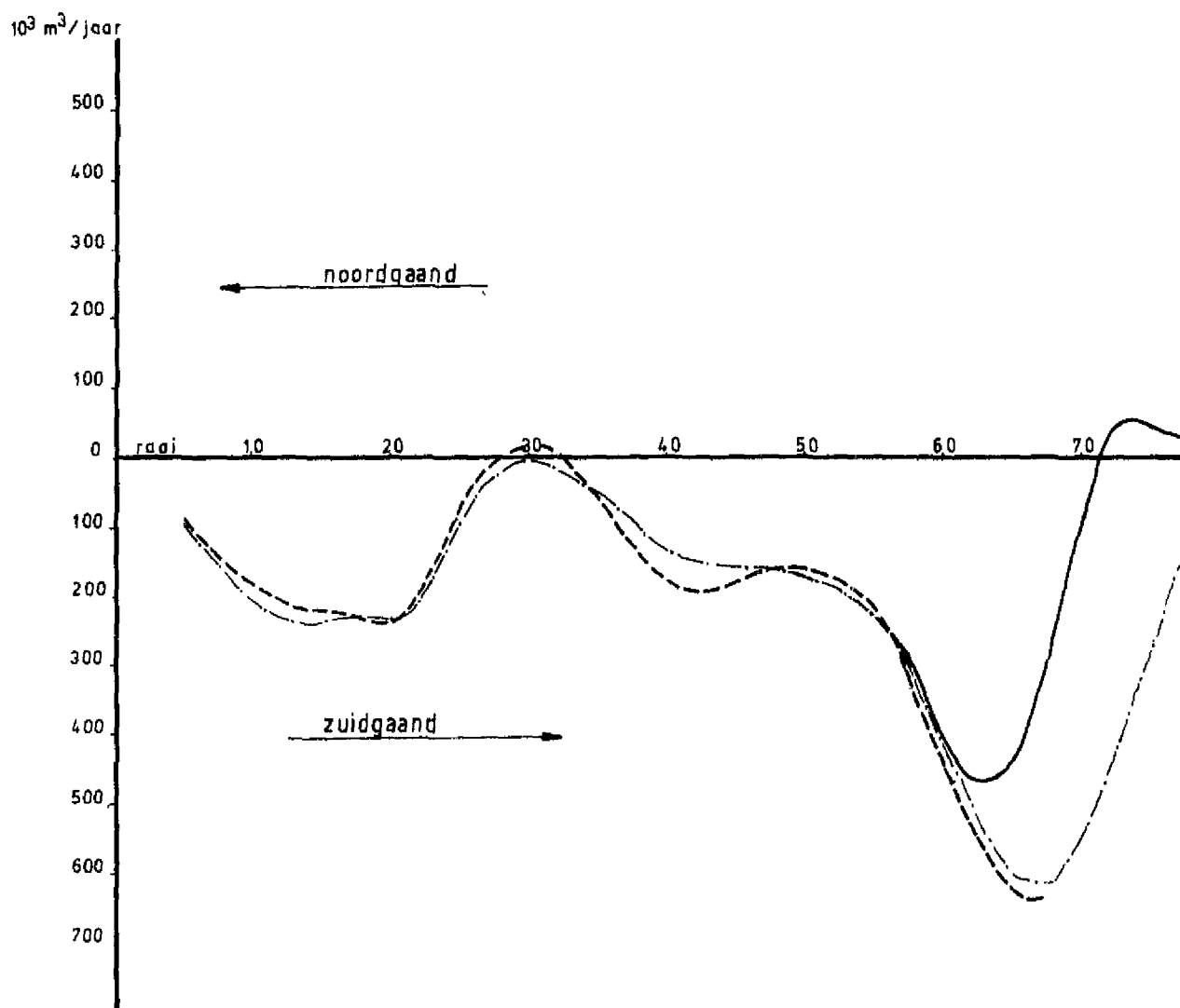




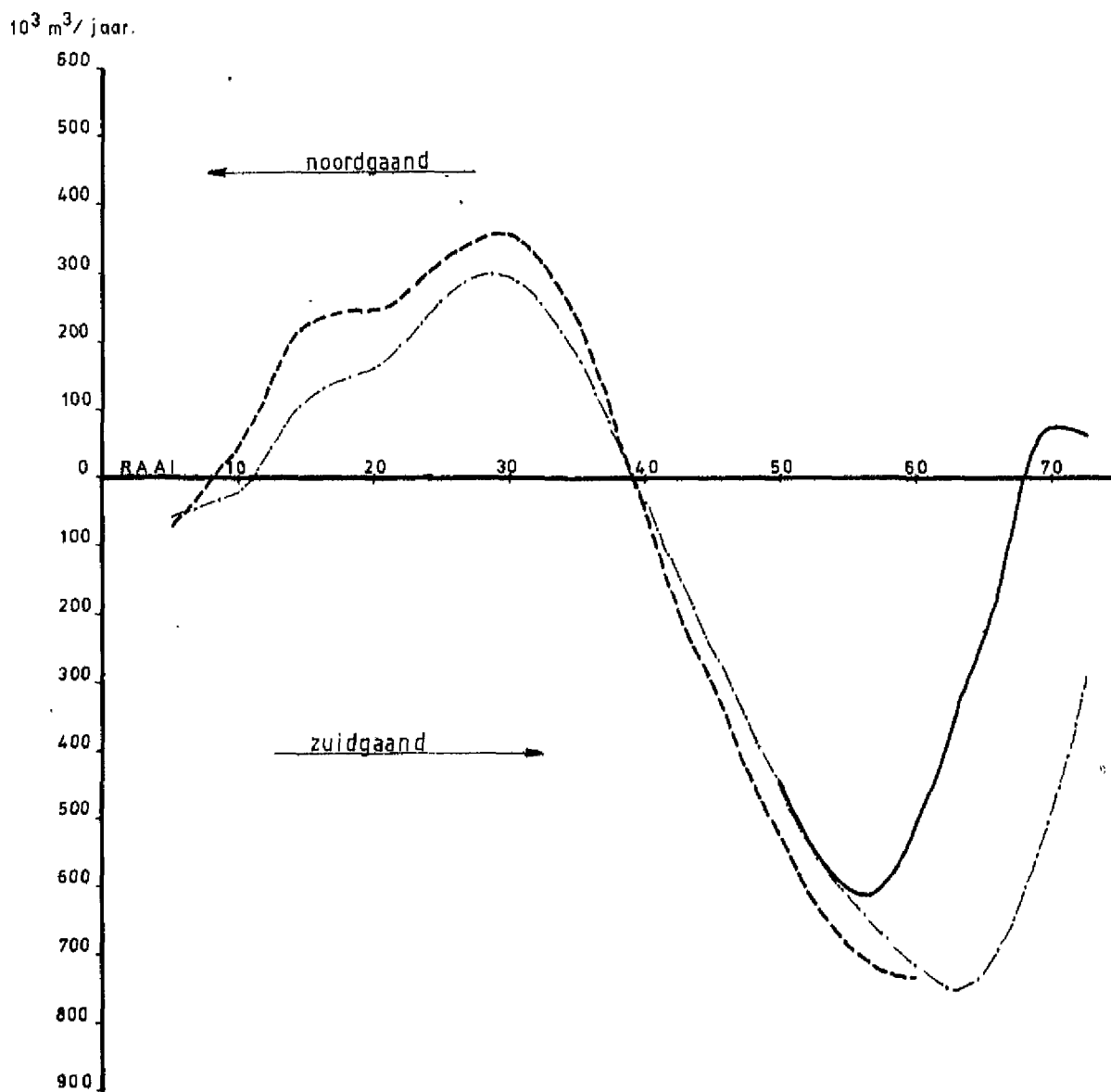




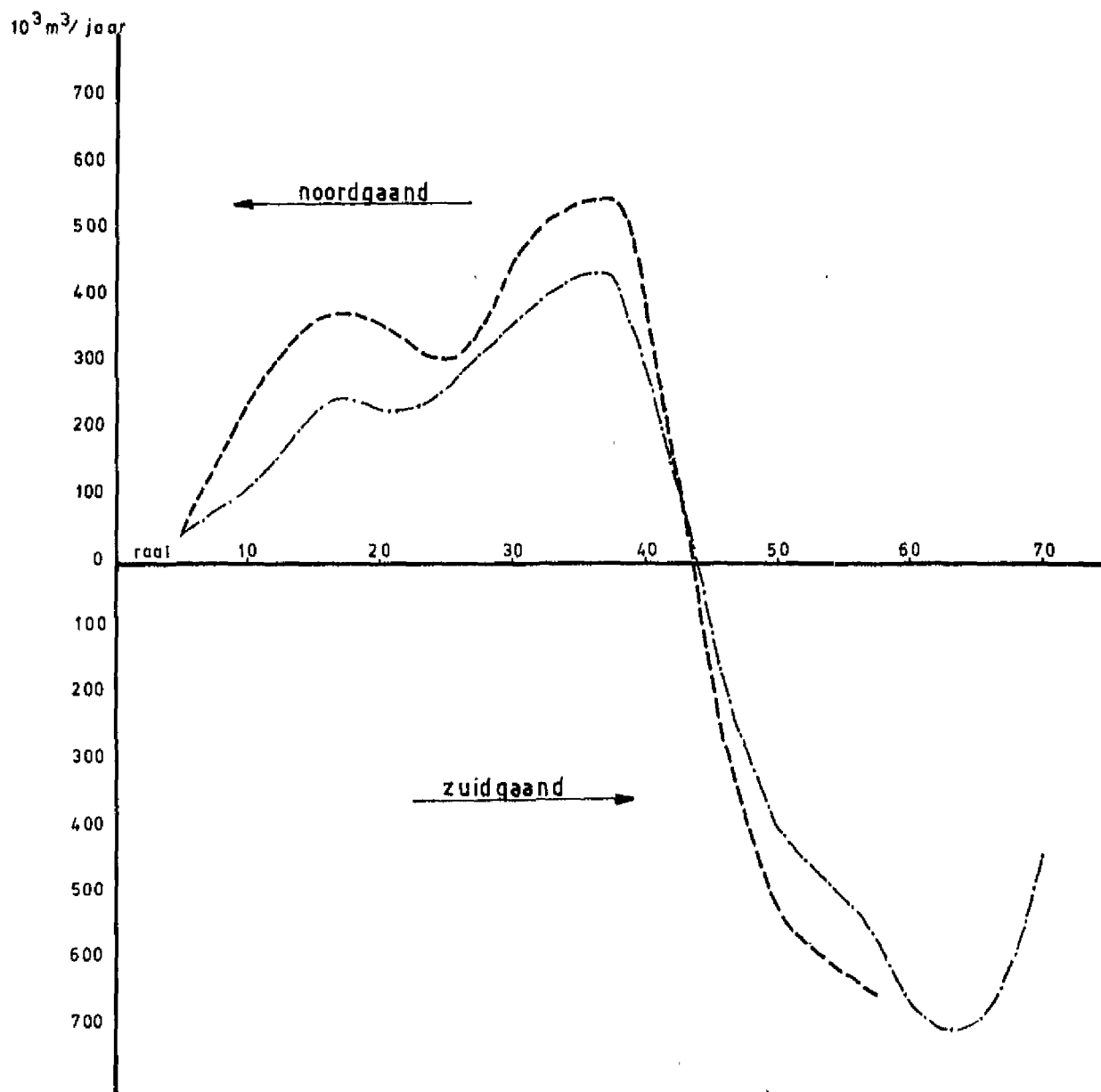
----- transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 8.00 m)
 ————— transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 4.00 m.)



- transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 8.00 m)
- . - . - . transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 4.00 m.)
- transportcapaciteit t.g.v. golven en getij. (NAP. - NAP. + 4.00 m)

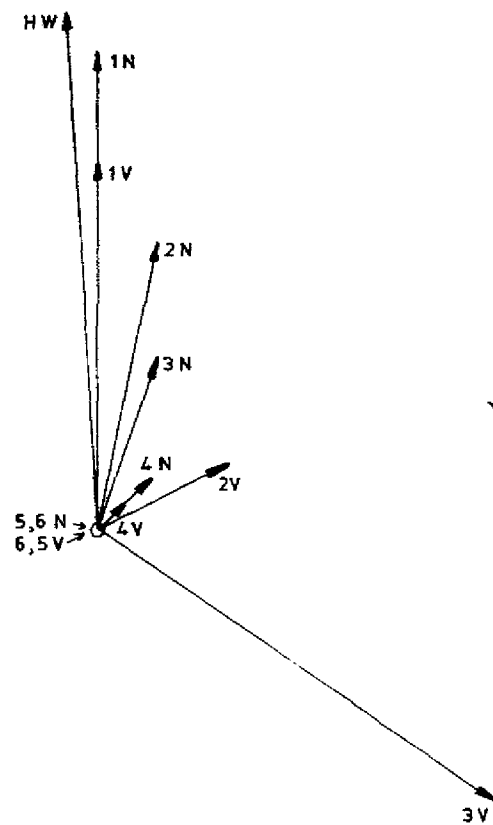


- transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 8.00 m.)
- . - . - . transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. - NAP. + 4.00 m.)
- transportcapaciteit t.g.v. golven en getij. (NAP. - NAP. + 4.00 m.)

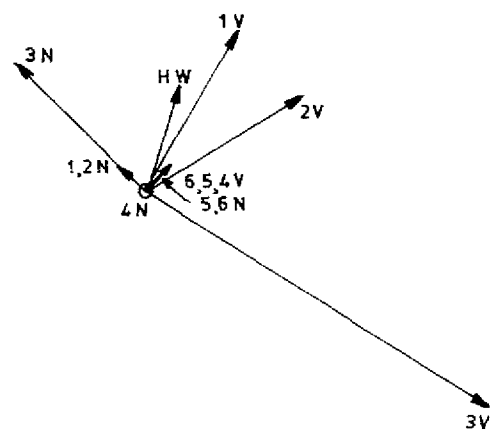


----- transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. — NAP. — 8.00 m.)
 - . - . - . transportcapaciteit t.g.v. golven. (NAP. — NAP. — 4.00 m.)

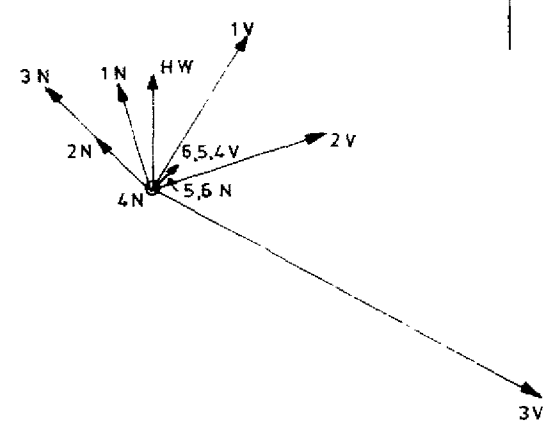
VAR. 0



VAR. A



VAR. B

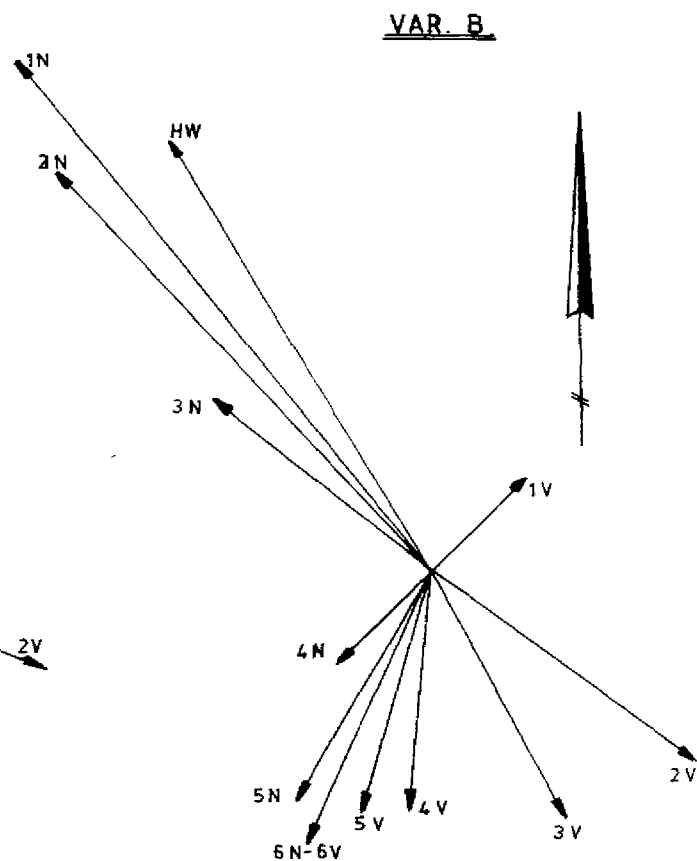
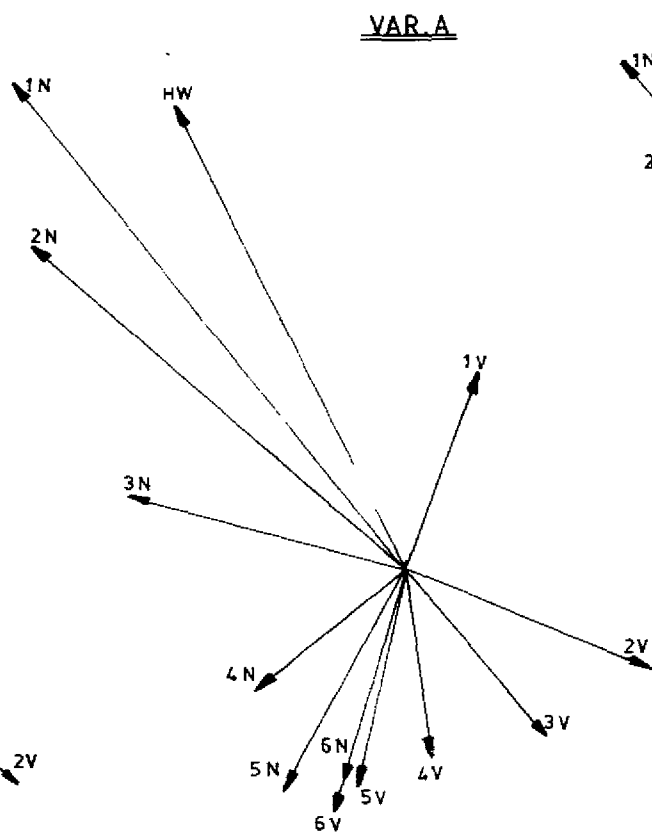
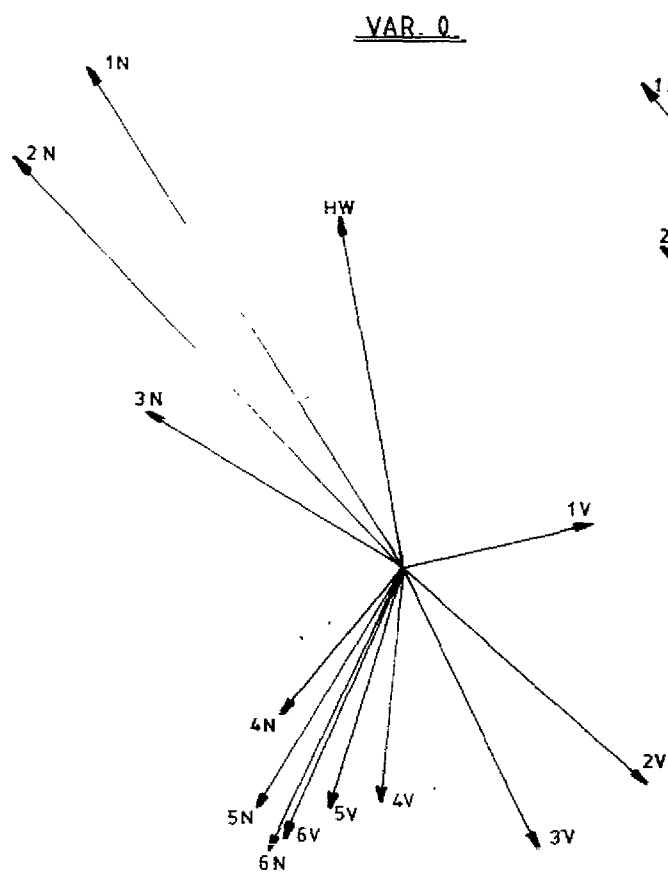


2 N = 2 uur na HW. (gem. getij)
3 V = 3 uur voor HW. — " —

STROOMROZEN GROENE PUNT van VOORNE (diepte NAP. - 1.00 m.)

schaal (cm/sec)





2 N = 2 uur na HW. (gem. getij)

3 V = 3 uur voor HW. — „ —

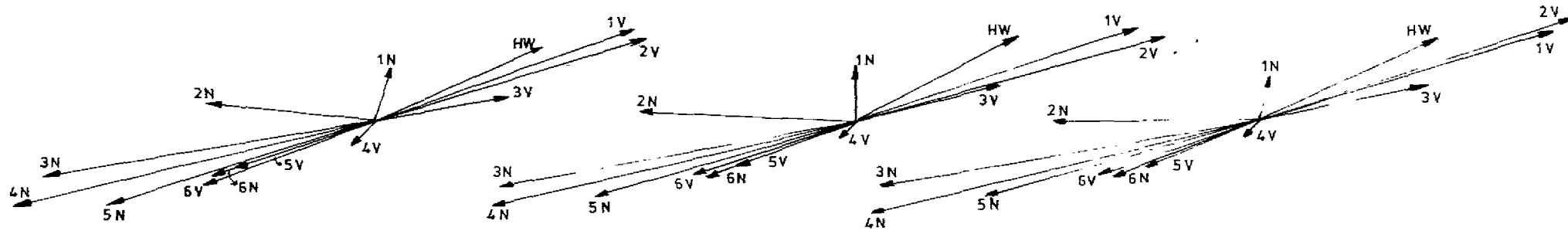
schaal (cm/sec)
0 5 10 15 20 25

STROOMROZEN HINDERPLAAT (diepte NAP. - 1.20 m.)

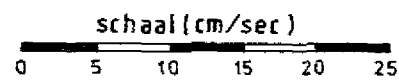
VAR. 0

VAR. A

VAR. B



2 N = 2 uur na HW. (gem. getij)
 3 V = 3 uur voor HW.

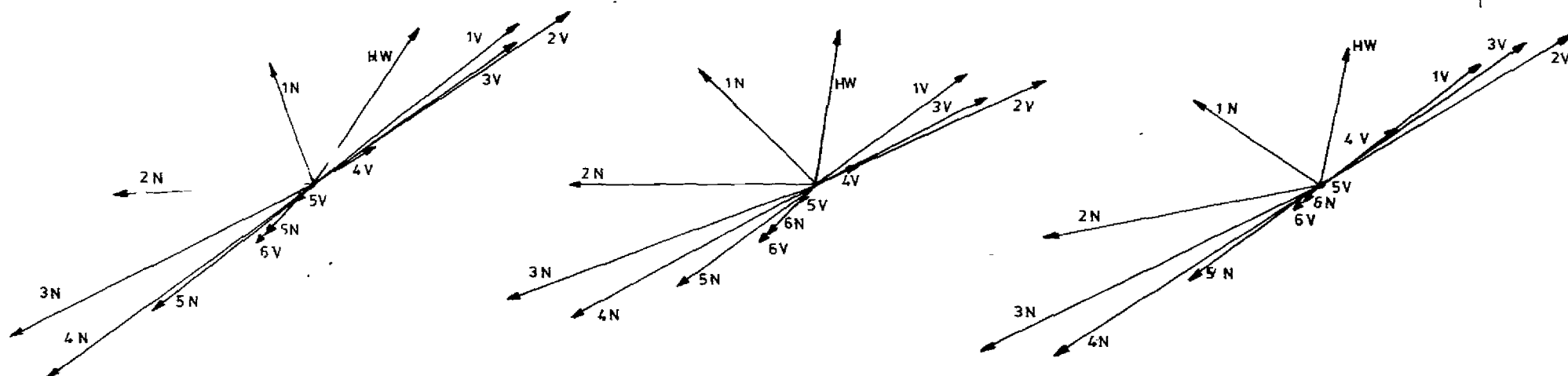


STROOMROZEN SLIJKGAT (diepte NAP. - 5.50 m.)

VAR. 0

VAR. A

VAR. B



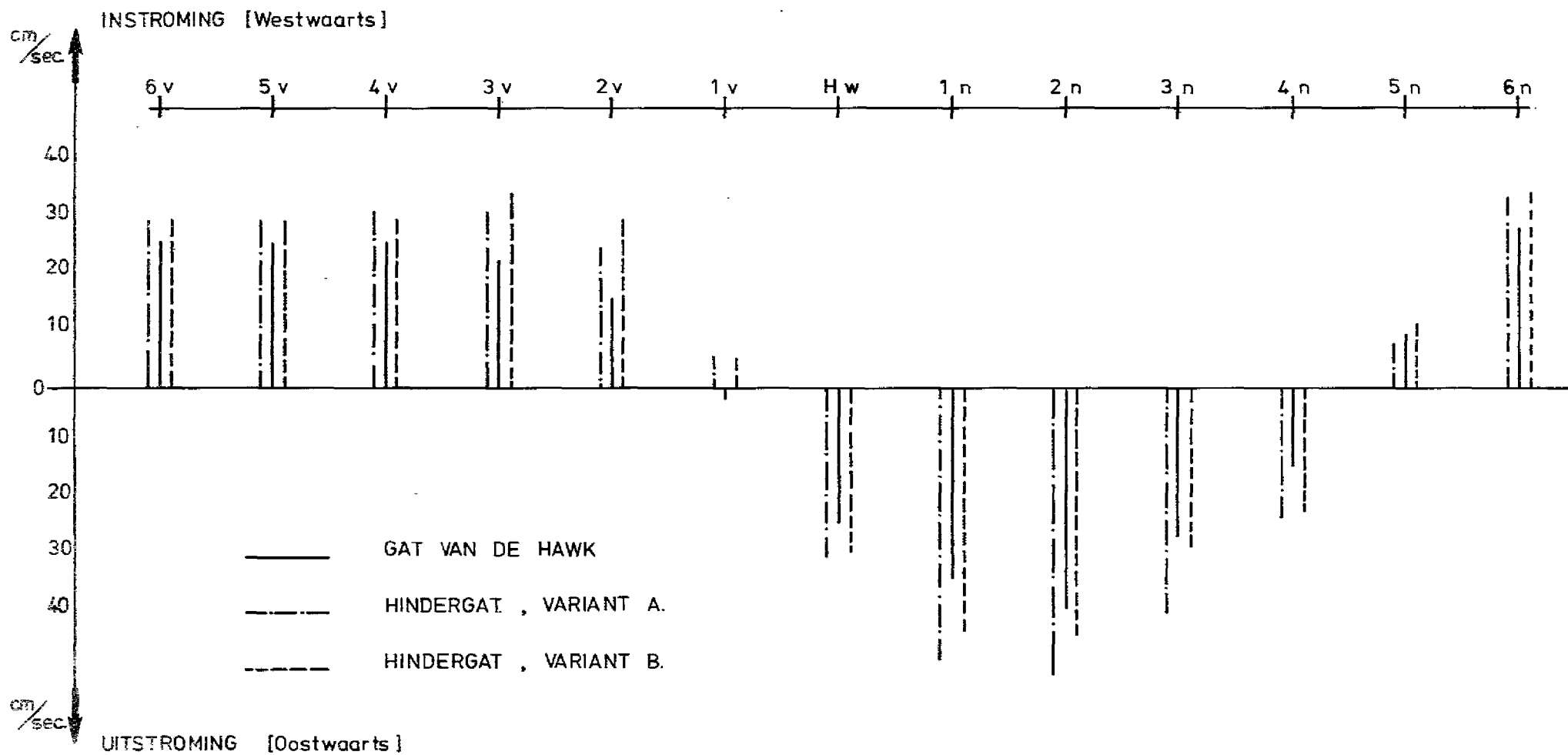
2N = 2 uur na HW. (gem. getij)

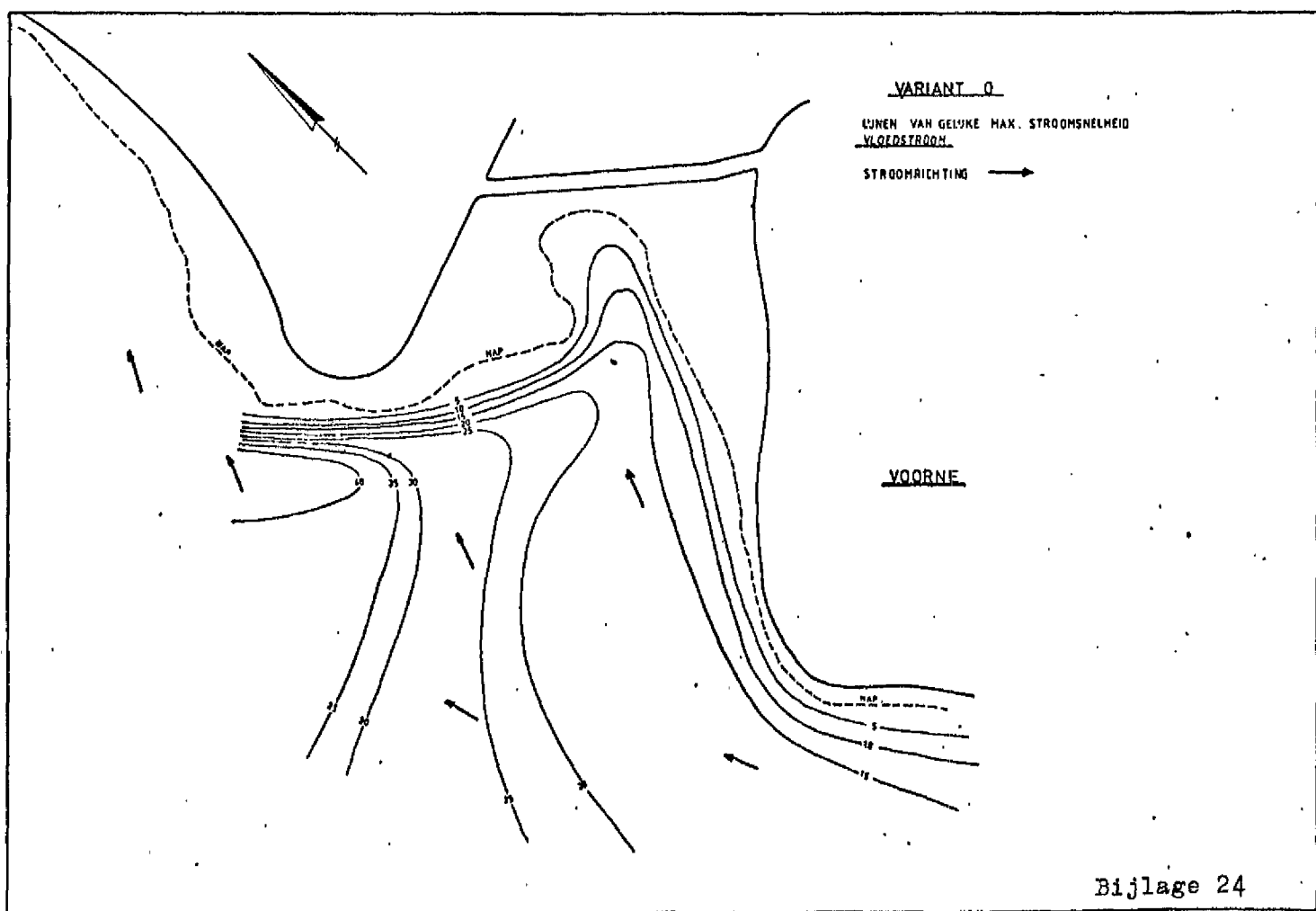
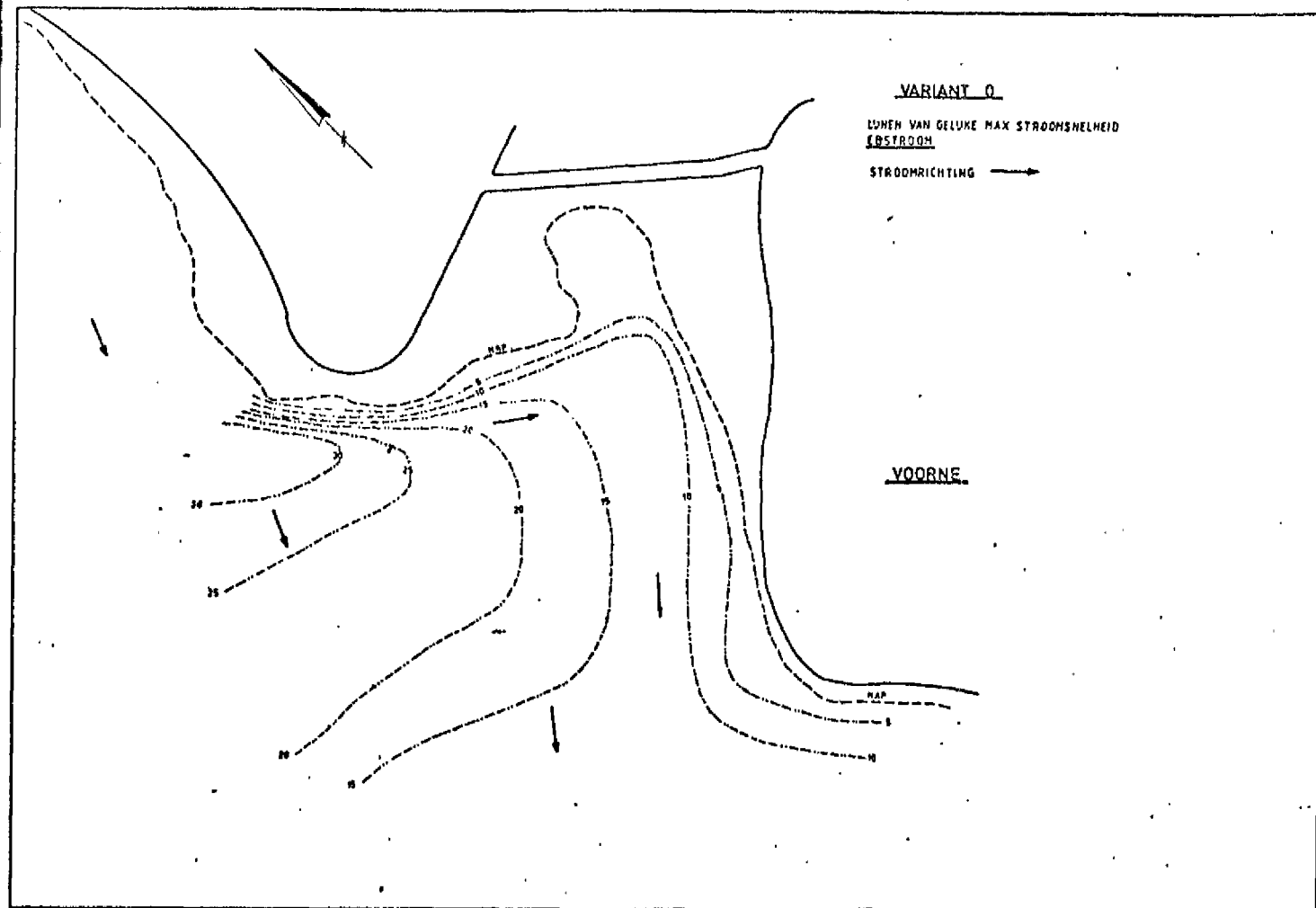
3V = 3 uur voor HW. — „ —

schaal (cm / sec)



STROOMROZEN BOKKEGAT (diepte NAP. - 5.00 m.)





VARIANT A

LUNEN VAN GELIJKE MAX. STROOMSNEELHEID

OPSTROOM

STROOMRICHTING →

VOORNE

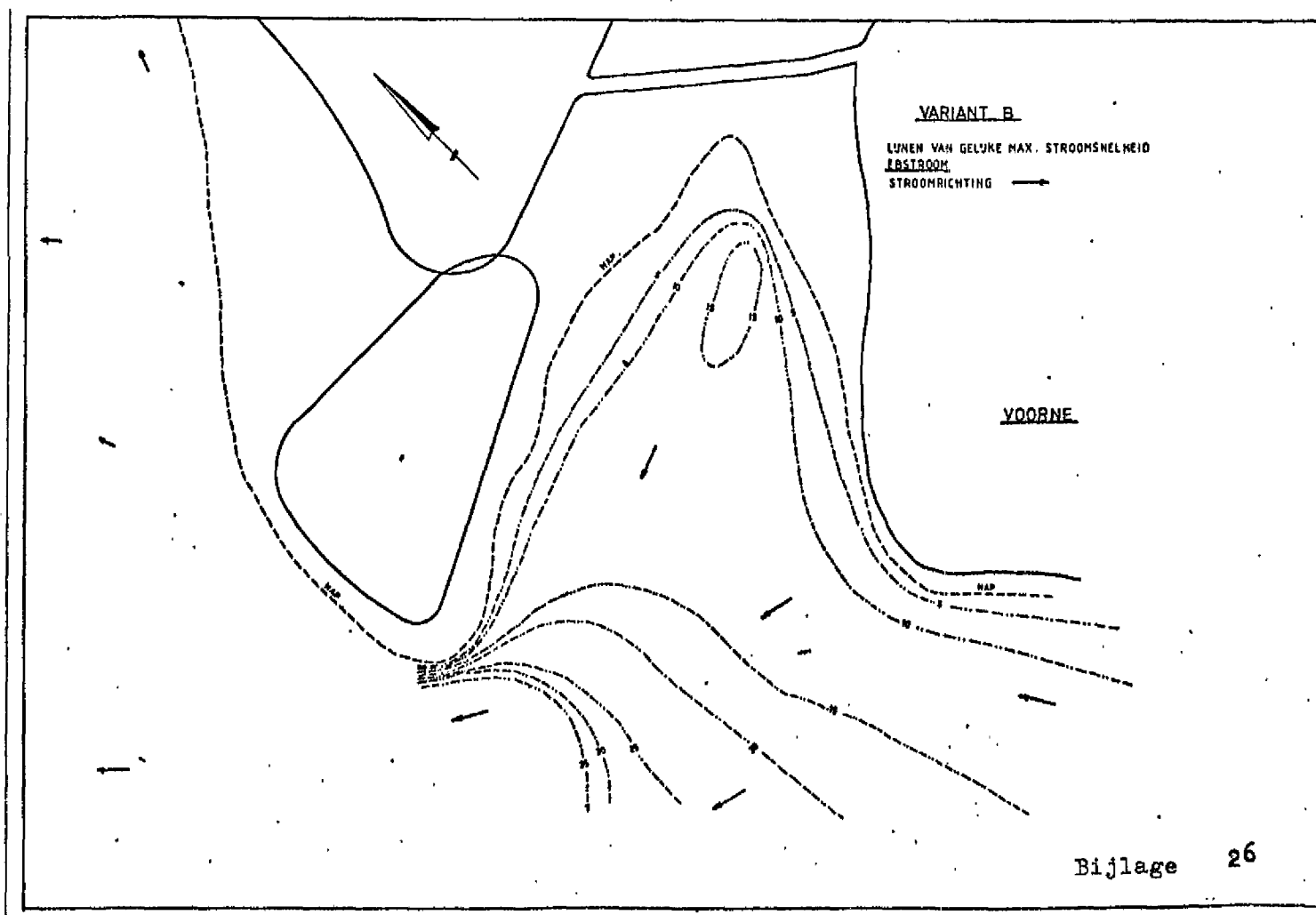
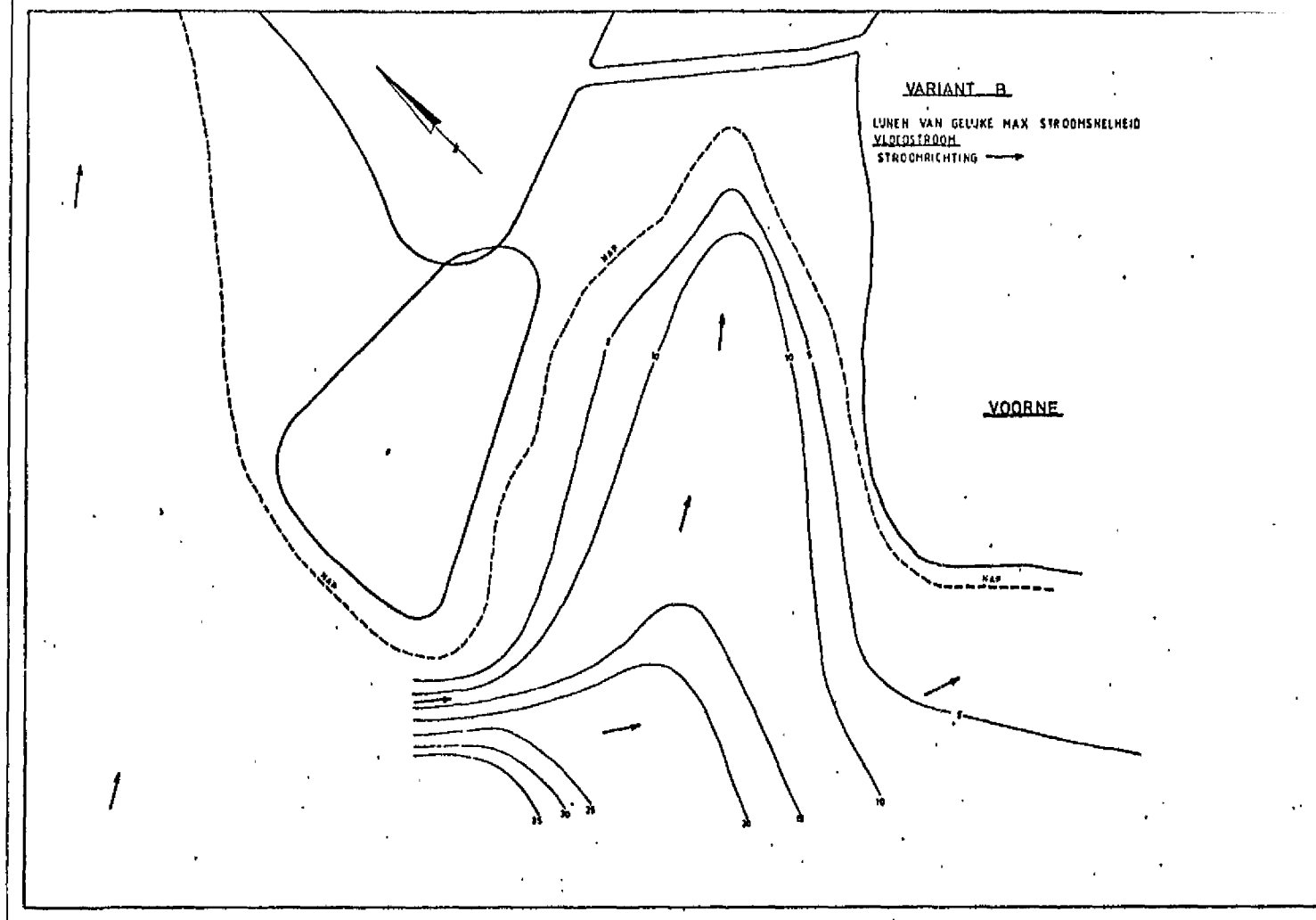
VARIANT A

LUNEN VAN GELIJKE MAX. STROOMSNEELHEID

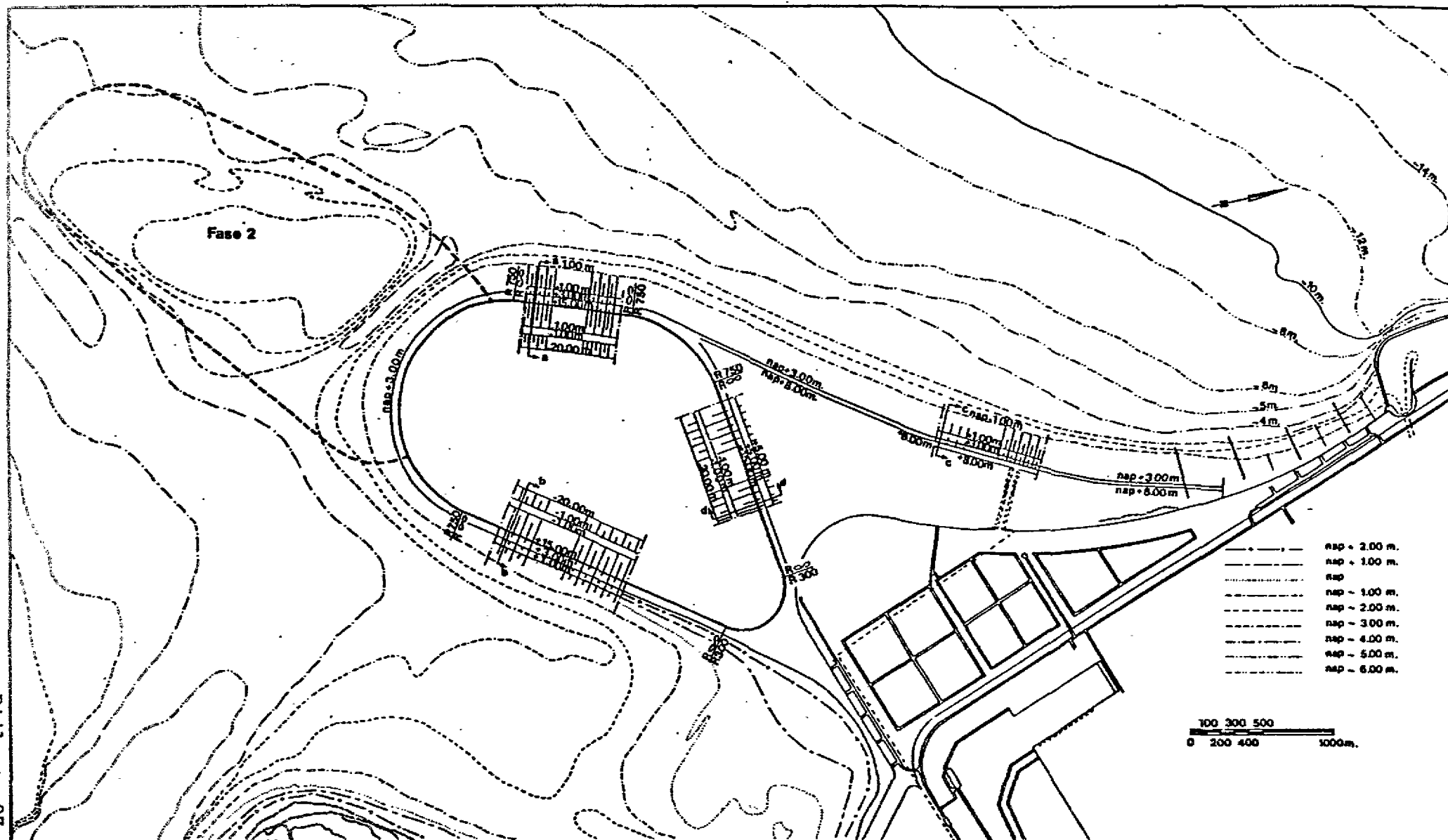
VLOEDSTROOM

STROOMRICHTING →

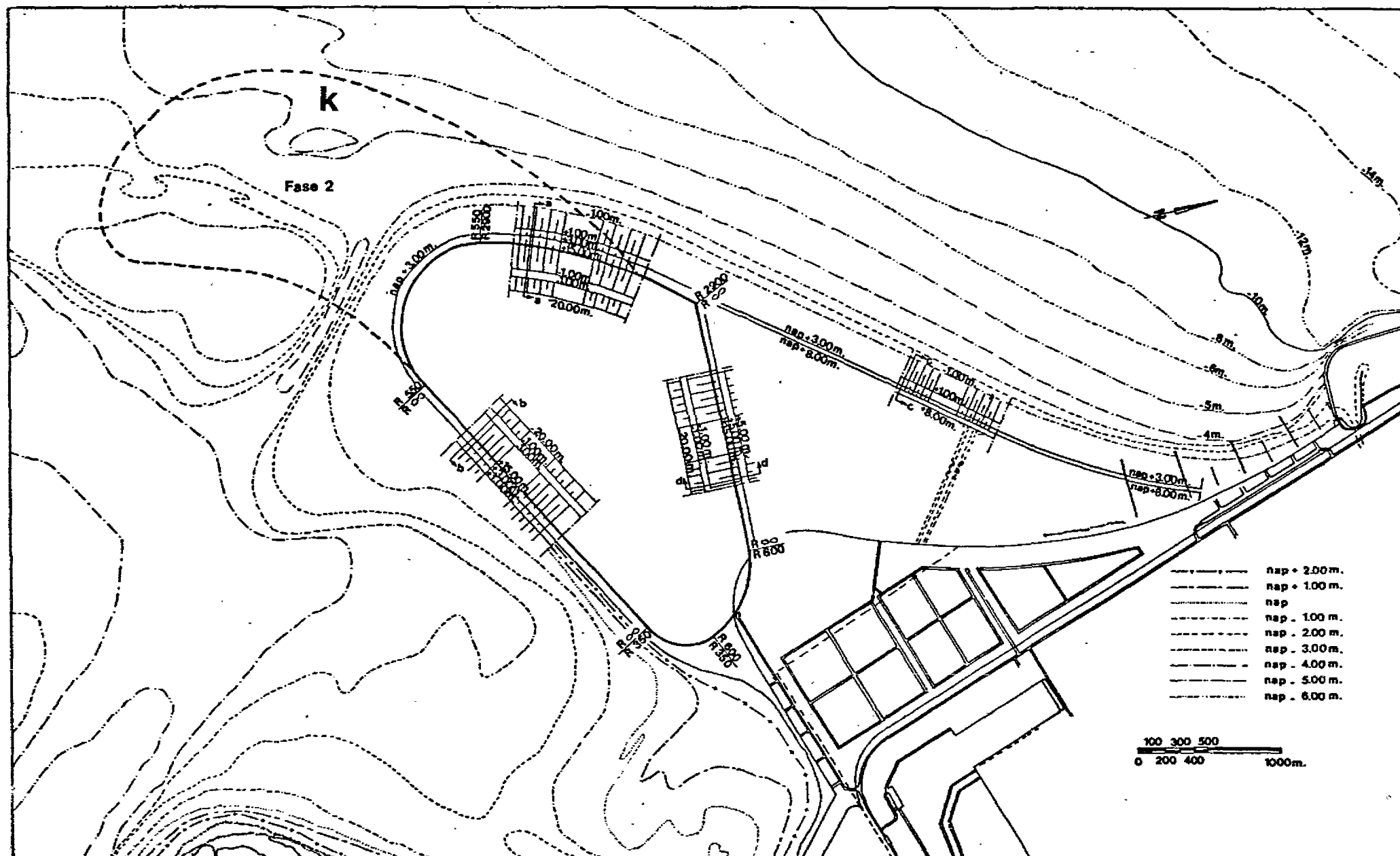
VOORNE



slufterdam project variant A



slufterdam project variant B



slufterdam project variant C

