

ROOD 10

ministerie van verkeer en waterstaat

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren



Nota DGW-86.002

Grootschalige zandgolfbeweging
langs de Zuidelijke Deltakust.

Projectcode

auteur(s) : J.W. Maranus

datum : april 1986

bijlagen : 12

samenvatting: Deze nota gaat in op de vermeende grootschalige zandgolfbeweging langs de Zeeuwse Noordzeekust.

Hiervoor is als eerste de Noordwestkust van Walcheren onderzocht. Na verwerking van kustmetingen (sedert 1882) kon de zandgolfbeweging worden geanalyseerd. Tevens kan een bepaalde systematiek in het zandgolfgedrag, in lengterichting van de kust, worden aangetoond. Verder laat een verkennend onderzoek de zandgolfpatronen in de voordelta zien.

INHOUDSOPGAVE

1. Inleiding
 2. Verkennend onderzoek naar het kustgedrag
 - 2.1 Algemeen
 - 2.2 Beschikbare gegevens
 - 2.3 Relatie tussen het verloop van laagwater in de tijd en de plaats van voorkomen langs de kust
 - 2.4 Voorlopige resultaten verkennend onderzoek
 3. Vervolg onderzoek zandgolfbeweging
 - 3.1 Algemeen
 - 3.2 Verwerking tot kustgrafiek
 - 3.3 Representatief gedeelte van het kustprofiel
 - 3.4 Uitmiddeling van de fluctuaties per raai
 - 3.5 Isolijnen van horizontale kustverplaatsing
 - 3.6 Voorlopige resultaten isolijnen kustverplaatsing
 4. Bespreking van de resultaten isolijnen kustverplaatsing
 - 4.1 Ontwikkeling oostelijk van Domburg
 - 4.2 Ontwikkeling voor de kom Domburg
 - 4.3 Ontwikkeling westelijk van Domburg
 - 4.4 Beschouwing Z.W. kust aansluitend op isolijnen N.W. kust
 - 4.5 Zandgolven in de voordelta
 - 4.6 Zandgolfanalyse m.b.t. toetsen kustverdedigingssysteem (paalschermen)
 5. Voorlopige conclusies
 6. Opmerkingen betreffende de toepasbaarheid van de zandgolftheorie en aanbevelingen voor verder onderzoek
 - 6.1 Toepassing zandgolftheorie
 - 6.2 Aanbevelingen
 7. Samenvatting
- Lijst van geraadpleegde literatuur
Bijlagelijst

1. Inleiding

Reeds langer is bekend dat het kustgedrag in het Zuidelijk Deltagebied geen lineair verlopend proces is. Een schatting van de kustontwikkeling bij maatregelen aan de kust, waarbij met toekomstige ontwikkeling rekening dient worden gehouden, is mede daardoor niet eenvoudig. Gelukkig is van de Nederlandse kust in het algemeen een lange reeks van kustmetingen beschikbaar. Hierin is op diverse plaatsen langs de kust een fluctuerende beweging te onderkennen.

Op grond hiervan werd in Ringma (1950) reeds gewag gemaakt van zandgolven langs de Noordwestkust van Walcheren.

In de thans voorliggende nota wordt een studie, in het kader van het project zandkust, naar het verschijnsel zandgolf beschreven en de wijze van verwerken van de kustmetingen verklaard. Gebleken is dat de zandgolfbeweging kan worden benaderd als zijnde een kustontwikkelingsproces in de vorm van een harmonische kromme. Deze kromme kan een amplitude hebben tot ongeveer 300 meter en heeft een globale periodiciteit van 130 jaar.

Het onderzoeksgebied is beperkt tot de Zeeuwse kust, waarbij de Noordwestkust van Walcheren nader is uitgewerkt. De resultaten van de studie vonden reeds toepassing bij het ontwerpen van deltaverzwaringen.

2. Verkennd onderzoek naar het kustgedrag

2.1. Algemeen

Bijlage 1 geeft de situatie weer van de Zeeuwse duinkust. Op diverse plaatsen langs de Zeeuwse kust is uit zogenaamde oever- en strandgrafieken, zie Wilderom (1968), gebleken welk een dynamisch karakter deze altijd heeft gehad. Over het algemeen wordt er meer aandacht besteed aan een achteruitgaande kust, maar uitbouw van de kust is ook zeer wel mogelijk.

Aan de hand van de jaarlijkse kustmetingen is het mogelijk het kustgedrag gedetailleerder te volgen. Op de bijlagen 2 t/m 4 zijn de verplaatsingen van de laagwaterlijn op diverse plaatsen in Zeeland per kustvak weergegeven. Hieruit blijkt dat op sommige plaatsen het verloop van de laagwaterlijngrafiek een min of meer golvend karakter heeft.

Van deze kustvakken is voor de onderhavige studie de Noordwestkust van Walcheren gekozen. Dit vanwege:

- a. De hoge prioriteit die dit kustvak heeft bij de delta verzwaringsen. (Hiervoor dient de kustligging in het jaar 2000 te worden voorspeld).
- b. De grote reeks kustmetingen, die voor dit kustvak voorhanden is.

Voor het beschouwde gebied is getracht verband te leggen tussen enerzijds de lange termijn oscilatie en anderzijds de plaats van voorkomen langs de kust.

2.2. Beschikbare gegevens

In onderstaand overzichtje wordt globaal weergegeven over welke kustmetingen voor de Noordzeekust van Walcheren kan worden beschikt.

Periode	Soort gegevens	frequentie van opnemen
1730-1882	Oude peilkaarten	Incidenteel
1882-1968	Oeverlodingen Doorlodingen H.W, L.W en D.V metingen	Jaarlijks 1 maal per 5 jaar Jaarlijks
1968-1984	Oeverlodingen Strand- en duinmetingen	Jaarlijks Jaarlijks

Verklaring voor gebruikte afkortingen en begrippen.

H.W. = hoogwaterlijn

L.W. = laagwaterlijn

D.V. = duinvoet

Oeverloding = peiling van de oever met interval van 10 meter tot ongeveer 800 meter zeewaarts.

Doorloding = peiling van de oever en een gedeelte van de voor-
delta, met interval van 10 meter, tot ongeveer
1500 meter zeewaarts

Strand-duinmeting = hoogtemeting van het strand en duin door middel
van luchtfotogrametrie met een interval van 5 me-
ter.

2.3. Relatie tussen het verloop van laagwater in de tijd en de plaats van voorkomen langs de kust

Uit strandmetingen voor de Noordwestkust van Walcheren, is het verloop in de tijd van het punt van laagwater, ten opzichte van een meetlijn evenwijdig aan de kust (hoofdraai), afgeleid. Dit verloop is voor tien lokaties langs de kust, die op een onderlinge afstand van 1 kilometer zijn gelegen, in een tijd- plaats diagram weergegeven. Dit diagram is voor wat betreft de periode 1730-1968, overgenomen uit Wilderom (1968) en vervolgens voor de periode tot 1983 aangevuld met gegevens ten opzichte van een nieuw raaienstelsel.

Om een duidelijk beeld van de onderlinge samenhang van de laagwaterlijngrafieken te verkrijgen, is door elke grafiek een lineaire regressielijn bepaald (zie bijlage 5.1). In het zo ontstane grafiek zijn duidelijk zandrijke en zandarme perioden te onderkennen. Omdat de regressie per laagwaterlijngrafiek verschilt, kan een onderling vergelijk niet goed worden gemaakt. Door middel van het weergeven van de afwijking ten opzichte van het lineaire verband, wordt de regressie geëlimineerd en wordt onderling vergelijk van de laagwaterlijngrafieken mogelijk (bijlage 5.2).

De tijdstippen waarop een zandrijke periode wordt afgewisseld met een zandarme periode en omgekeerd, vertonen in lengterichting van de kust ook een min of meer lineair verband. Dit is aangegeven op bijlage 5.2. Uit het hiervoor aangegeven verband mag worden afgeleid dat de zandgolfbeweging een relatie heeft tussen enerzijds het tijdstip en anderzijds de plaats van voorkomen langs de kust.

2.4. Voorlopige resultaten verkennend onderzoek

Uit het verkennend onderzoek, door middel van verwerking raaigegevens met onderlinge afstand van 1 km, komt het totale beeld van de zandgolf nog niet goed naar voren. Niettemin blijkt duidelijk de verplaatsing langs de kust van zandarme en zandrijke gebieden, m.a.w. de zandgolf verplaatst zich langs de kust.

Omdat naar verwachting verwerking van alle meetgegevens zou leiden tot een beter inzicht in de systematiek van het zandgolf verschijnsel, is een diepgaander onderzoek uitgevoerd.

3. Vervolg onderzoek zandgolfbeweging

3.1. Algemeen

Het voorgaande verkennend onderzoek was, vanwege de afstandsinterval van 1 kilometer, een grove benadering om het zandgolfverloop, in lengterichting van de kust aan te tonen.

In het vervolg onderzoek is de Noordwestkust van Walcheren veel gedetailleerder beschouwd, dit wil zeggen dat de afstandsinterval van 1 kilometer is teruggebracht tot een interval van 200 meter. Deze verfijning had als doel een methode te vinden, waarmee het kustgedrag per raai, kan worden vertaald, naar een totaal beeld in lengterichting van de kust.

Voor de presentatie is gedacht aan een praktische grafische voorstelling, waarmee het kustgedrag van de afgelopen honderd jaar voor een geheel kustvak in beeld kan worden gebracht. Als basis voor dit onderzoek zijn de kustmetingen, reeds vermeld in hoofdstuk 2.2, gebruikt.

3.2. Verwerking tot kustgrafiek

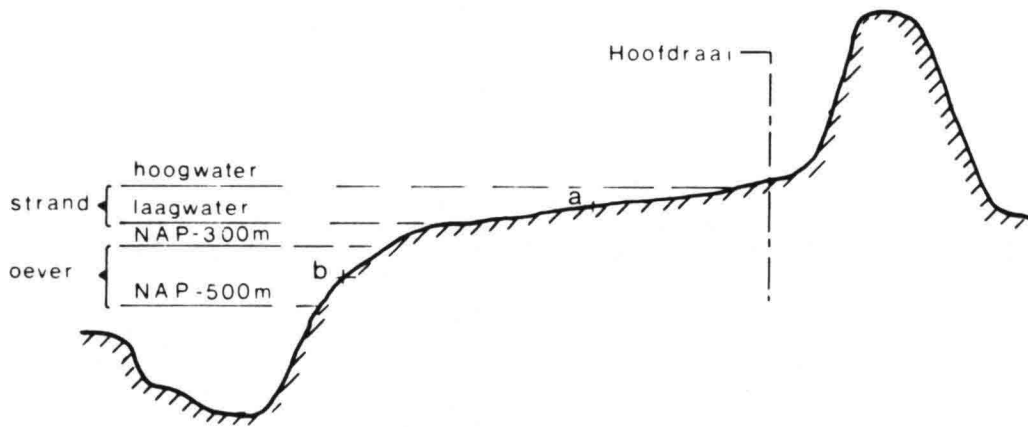
Sedert lange tijd is het gebruikelijk om punten van gelijke diepte, verkregen uit de jaarlijkse oeverpeilingen en de jaarlijkse meting van laagwater, hoogwater en duinvoet per meetraai uit te zetten als een tijdreeks, de zogenaamde oever- en strandgrafiek (of indien gecombineerd kustgrafiek).

Daar er voor de Noordwestkust van Walcheren al oevergrafieken bestonden voor de periode 1882 t/m 1967, is deze meetreeks verder aangevuld. Als gevolg van het invoeren in 1967 van een nieuw, uniform raaiensysteem voor de gehele Nederlandse kust, was zonder meer aanvullen van de oevergrafieken, met gegevens van na 1967 niet mogelijk. Om nu tot een aansluiting op gegevens van voor 1967 te komen, zijn de jongste gegevens middels interpolatie en omrekening geschikt gemaakt voor aanvulling op de oude gegevens.

Op deze wijze is een kustgrafiek van 1882 tot 1984 ontstaan. Bijlage 6 is een voorbeeld van zo'n kustgrafiek. Deze kustgrafieken hebben als basis gediend voor verdere interpretatie van het kustgedrag.

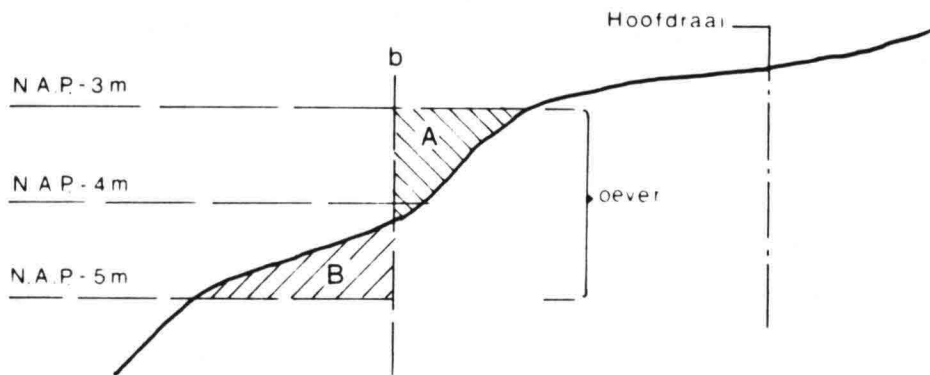
3.3. Representatief gedeelte van het kustprofiel

Om het kustgedrag per meetraai te definiëren, is het verloop in de tijd, voor zowel een strook van de oever als voor een strook van het strand vastgesteld. Voor het strand is uitgegaan van het gemiddelde tussen de afstand van hoog- en laagwater t.o.v. de hoofdraai, zie figuur 3 punt a. De als oever aangemerkte strook bestrijkt het gebied tussen N.A.P. -3 m en N.A.P. -5 m, zie figuur 3 punt b.



Figuur 3

Het maatgevend punt b is bepaald door de gemiddelde ligging van de dieptelijnen N.A.P. -3 m, N.A.P. -4 m en N.A.P. -5 m in het kustgrafiek af te schatten. Dit is gedaan om de fluctuaties in het kustprofiel enigszins uit te middelen. Figuur 4 geeft schematisch weer, wat in principe benaderd is. (Opp. A = opp. B).



Figuur 4

3.4. Uitmiddeling van de fluctuaties per raai

Aangezien de jaarlijkse kustgegevens nogal aan fluctuaties binnen het profiel onderhevig zijn, is het niet goed mogelijk om vanuit deze meetgegevens direct een bepaald gedrag af te leiden. Om bovengenoemde reden zijn deze meetgegevens eerst uitgemiddeld.

Daar de basisgegevens niet in een digitaal bestand zijn opgenomen, maar wel in grafiekvorm beschikbaar zijn, is gekozen voor een grafische middeling. Als een van de mogelijke oorzaken van het fluctueren, kan de binnen een jaar wisselende strandhelling worden aangemerkt.

Verder komen in dit kustvak bodemribbels voor zie zich manifesteren als een golfje van een jaar of tien bovenop de ontwikkeling. Bovengenoemde bodemribbels strekken zich uit vanaf de vooroever tot op het natte strand, terwijl de kam van de ribbel een min of meer noord-zuid richting heeft. De afmetingen van de ribbels variëren sterk. Op de vooroever zijn de ribbels hoger en smaller dan aan de kust, om op het droge strand niet meer als ribbels te worden herkend. Op bijlage 7 zijn ter illustratie van het kustvak km. 16.4 tot 18.7 drie lengtedoorsneden van de kust gegeven. De doorsneden betreffen de jaren 1968 en 1975 en zijn genomen op respectievelijk 300, 400 en 500 meter zeewaarts van de hoofdraai en geven de bodemribbels weer.

De t.o.v. de zandgolf kleine ribbels, verplaatsen zich van west naar oost. Daar de loopsnelheid niet gelijk is aan de snelheid van de zandgolf vindt plaatselijk en tijdelijk een extra uitbouw van de kust plaats. Deze ontwikkeling is zo goed mogelijk uit de lange termijn ontwikkeling uitgefilterd.

3.5. Isolijnen van horizontale kustverplaatsing

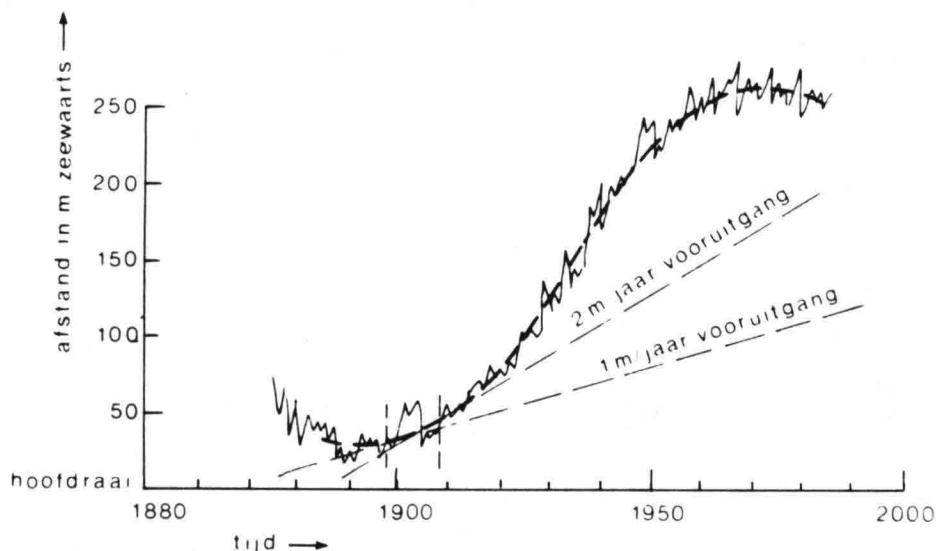
Uit bijlage 5.1 blijkt reeds de samenhang tussen de kustbeweging in de diverse raaien. Gezocht is derhalve naar een methode om het kustgedrag van alle raaien in een totaal beeld te brengen.

Uit bijlage 5.1 zou ook kunnen worden afgeleid dat behalve van langperiodieke fluctuaties tevens van een doorgaande regressie sprake zou zijn. Om nu enkel het zandgolfverschijnsel in beeld te brengen, zou deze regressie in de kustgrafieken moeten worden geëlimineerd. Echter,

de waarde van de op bijlage 5.1 gegeven lijnen is wat twijfelachtig, gezien de geringe betrouwbaarheid van de gegevens uit de 18e en 19e eeuw. Voorts zal bij prognose de totale kustbeweging in rekening moeten worden gebracht. Derhalve is niet tot eliminatie van de doorgaande regressie overgegaan.

Als maat voor de horizontale kustbeweging is de verplaatsingssnelheid van de kustlijnen aangehouden. Deze snelheid wordt bepaald door de raaklijn aan de kromme, die het kustgedrag weergeeft. Het raakpunt geeft vervolgens het jaar aan, waarvoor een bepaalde horizontale kustverplaatsingssnelheid geldig is. Figuur 5 geeft het principe weer.

Mathematisch gezien wordt dus de afgeleide bepaald van de gefilterde tijdfunctie van het kustgedrag (= plaats van punt b als functie van de tijd, zie figuur 4). Door deze differentiatie verdwijnt tevens het lokale verschil van het nulpunt van de meting en de basis van de amplitude van de zandgolf.



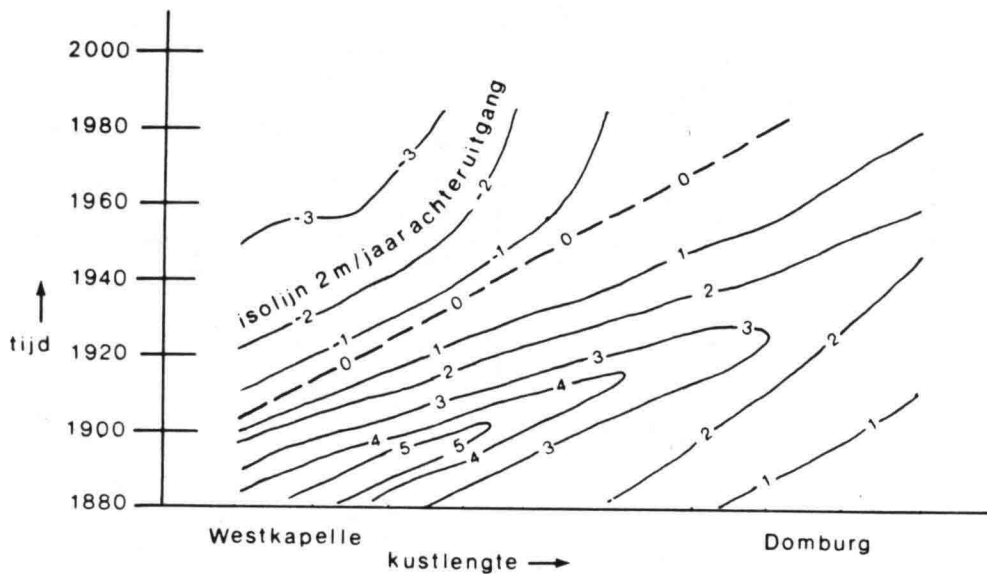
Figuur 5

Op deze wijze ontstaat per raai een reeks van jaren waarvoor een mate van horizontale kustverplaatsing geldt. Deze kustverplaatsingssnelheden kunnen verder in een plaats-tijd diagram worden verwerkt. In dit diagram staat in x-richting de kustlengte en in y-richting de tijd uitgezet. Vervolgens zijn in het tijd-plaats diagram, ter plaatse van elke betreffende raai, de horizontale kustverplaatsingssnelheden uitgezet in het jaar waarin deze voorkwamen.

Na het onderling verbinden van de gelijke kustverplaatsingssnelheden over alle raaien langs de kust, ontstaan lijnen met gelijke kustverplaatsingssnelheid.

Met deze isolijnen wordt het kustgedrag tussen 1882 en 1984 voor het gehele kustvak in beeld gebracht.

Onderstaande figuur 6 geeft het principe weer.



Figuur 6

3.6. Voorlopige resultaten isolijnen kustverplaatsing

De voorlopige resultaten isolijnen horizontale kustverplaatsing zijn op bijlage 8 en 9 in een tijd-plaats diagram weergegeven.

4. Bespreking van de resultaten isolijnen kustverplaatsing

4.1. Ontwikkeling oostelijk van Domburg

De horizontale uitbouw van de kust (zandgolfamplitude) is in het oostelijk deel van de Noordwestkust, ter plaatse van km 9, in de periode 1900-1980 ca. 300 meter. Ook ten westen van Domburg (km 18) is de zandgolfamplitude in de periode 1890-1950 ca. 250 meter. Daarentegen werd de zandgolfamplitude in het tussen gelegen kustvak steeds kleiner, totdat er bij km 13.5 bijna geen amplitude meer is te herkennen. Uit zowel het isolijnen plaatje van de oever als van het strand, blijkt ter plaatse van km 13.5 dat de zandgolf tijdens een zandrijke periode geen uitbouw van de kust meer heeft veroorzaakt, omdat de tendens tot aanzanding werd overschaduwd door de doorgaande kustregressie. Wel is de invloed van de zandgolf op de oever positiever dan op het strand.

Als mogelijke oorzaak kan vermeld worden, dat de grootste diepten van het geultje de Urk zich ter plaatse van km 13.5 bevinden.

Tevens komt de geul hier het dichtst aan het strand, zodat de oever hier steiler staat dan in het overige kustvak. Wellicht kan in deze steile oever een verklaring worden gevonden voor het positiever resultaat van de zandgolf op de vooroever dan op het strand. Deze veronderstelling wordt versterkt doordat uit voorlopige kuberingen in de voor-delta is gebleken dat de geulbodem van de Urk sterker is aangezand dan het omliggende gebied.

Voorts valt op dat, ter hoogte van de oostelijke uitloop van de Urk, zich een grote zandbank heeft gevormd. De ontwikkeling van deze zandbank loopt parallel met de kustontwikkeling ter plaatse van km 13.5. Hierdoor ontstaat de indruk dat het zand, wat niet ter plaatse van km 13.5 voor kustuitbouw heeft gezorgd, door de Urk in oostelijke richting is afgevoerd en zich aan de uitloop heeft afgezet.

4.2. Ontwikkeling voor de kom Domburg

Voor de kom Domburg blijkt, dat er na 1937 op het strand een ontwikkeling heeft plaats gehad, die afwijkend was van het gedrag op de vooroever.

Dit afwijkend gedrag manifesteerde zich in de periode 1937-1965 door een plotselinge achteruitgang van de laagwaterlijn, terwijl de oever en het droge strand in die periode een vooruitgang lieten zien.

In de daarop volgende periode trad juist het omgekeerde effect op, namelijk dat de laagwaterlijn een vooruitgang te zien gaf, terwijl er op de oever en het droge strand juist achteruitgang optrad.

Voor dit afwijkende gedrag is nog geen verklaring gevonden.

4.3. Ontwikkeling westelijk van Domburg

Bij beschouwingen van de kustgrafieken in het kustvak km 14.8 - km 17.3, vertoont de laagwaterlijn na 1972 een uitbouw in zeewaartse richting. Dit terwijl de oever en het bovenstrand achteruitgang te zien geven.

Profielen van het strand toonden aan dat er op het gehele natte strand aanzanding optrad. Dit is in tegenspraak met de ontwikkeling van de oever waar tegelijkertijd nog een forse erosie viel waar te nemen.

Dit afwijkend gedrag van de laagwaterlijn, trad op na het vernieuwen en uitbreiden van het kustverdedigingssysteem (paalschermen) in 1972 en mag hier hoogstwaarschijnlijk aan worden toegeschreven. In hoofdstuk 4.6 zal hier nader op worden ingegaan.

Dit houdt echter wel in dat in de grafiek van het strand zowel de natuurlijke ontwikkeling als de invloed hierop van kustverdedigingswerken wordt weergegeven. Bij eventueel gebruik van de grafiek isolijnen van het strand dient bij kustvoorspelling dan ook rekening met dit effect te worden gehouden.

4.4. Beschouwing Zuidwestkust in relatie tot het zandgolfverschijnsel aan de Noordwestkust

Bij voorlopige grove beschouwingen van de Zuidwestkust van Walcheren, zijn op de oever en het strand nog geen duidelijke zandgolfbewegingen geconstateerd. Wel kan worden vermeld dat de ontwikkeling van de laagwaterlijnen, onmiddellijk ten zuiden van Westkapelle, niet altijd lineair is verlopen. Bijlage 3.1 geeft van deze laagwaterlijnen een overzicht. De morfologische omstandigheden voor dit kustvak zijn dan ook geheel verschillend aan die van de Noordwestkust van Walcheren.

Uitgaande van de hypothese dat er een zandgolfbeweging over de gehele voordelta zou voorkomen, zou het volgende verondersteld kunnen worden. Het zand dat met een eventuele zandgolfbeweging over de Vlake van de Raan getransporteerd zou worden, komt terecht in de scheepvaartgeul het Oostgat. Het Oostgat is een geul met bodemdiepte tussen N.A.P. -15 meter en N.A.P. -40 meter en wordt aan de landzijde begrensd door een zeer steile oever (gem. ca. 1:3,5). Het zand dat via het bankengebied in de geul terecht komt zal op die grote diepte niet meer doorgolven beïnvloed worden. Voorts lijkt zandtransport de steile oever op zeer onwaarschijnlijk.

Het zand op het zeewaartse talud en op de bodem zou daarom afgevoerd kunnen worden door het eb- en vloed transport in het Oostgat. Dit is een vergelijkbare situatie met de functie van de Urk aan de Noordwestkust. Hierdoor zou aan de zuidkant de aanwas van de Sardijngeul en Nolleplaat en aan de noordkant de sterke aanwas van de Platen van Kaloo kunnen worden verklaard. Voor situatie zie bijlage 1.

Opvallend is tevens de sterke noordwaartse uitbreiding van het Bankje van Zoutelande, wat de westelijke begrenzing van het Oostgat vormt. De aanzanding, mogelijk vanuit het westen, zou wellicht de oorzaak kunnen zijn, dat de noordelijke inloop van het Oostgat in oostelijke richting is omgebogen. Tegelijkertijd is de erosie aan de tegenover liggende oever, even zuidelijk van Westkapelle, in sterke mate toegenomen.

Uit Wilderom (1968) is sedert 1903 een ontwikkeling van het Bankje van Zoutelande af te leiden. Deze gegevens zijn nog wat aangevuld en weergegeven op bijlage 10. Deze ontwikkeling laat ook min of meer een lang periodieke golfbeweging zien. De fase van deze golfbeweging lijkt een goede aansluiting te vinden op de zandgolfcyclus aan de Noordwestkust. Als reden dat de zandgolf dan toch het Oostgat kan oversteken zou gelegen kunnen zijn in het feit dat de bodemdiepten, van de noordelijke inloop van het Oostgat, afnemen terwijl de golfhoogte en periode daar aanzienlijk groter worden. Hierdoor zou er weer brandingsstroomtransport mogelijk zijn, terwijl voorbij Westkapelle geen weerstand van een steile oever meer hoeft te worden overwonnen.

4.5. Zandgolven in de voordelta

Omdat uit oevergrafieken reeds was vastgesteld dat de zandgolf zich over de gehele vooroever uitstreckte, rees de vraag of dit wellicht het uiteinde zou kunnen zijn, van een zandgolf die zich uitstrekt over een groter gebied in de voordelta.

Door van Veen (1952) is een diepte verschillenkaart van de Scheldemond over de periode 1863-1931 gepubliceerd. De hierbij toegepaste tijdsinterval van 68 jaar komt overeen met een halve zandgolfperiode aan de Noordwestkust van Walcheren. Bij deze periode is de zandgolfamplitude maximaal en zullen de grootste diepteverschillen optreden.

Op bijlage 12 zijn systematische stroken van verdieping en aanzanding aangegeven. Tevens kan op deze bijlage 12 de reeds eerder geanalyseerde zandgolf aan de Noordwestkust van Walcheren worden herkend.

Profielen, uit de nota van Veen (1952) geven de verplaatsing in de tijd van de zandgolven op het Bankje van Zoutelande te zien. De globale verplaatsingsrichting van de zandgolven is op de laagwaterlijngrafieken van zowel Zeeuwsch-Vlaanderen, Schouwen, als de Noordwestkust van Walcheren van zuidwest naar noordoost.

Uit deze voorlopige beschouwingen kan al geconcludeerd worden dat zandgolven over de gehele voordelta systematisch voorkomen. Het verdient dan ook een aanbeveling om tevens verschillenkaarten te maken van latere perioden (1900-1968) en (1917-1985), met een zelfde tijdsinterval van ca. 65 jaar. Met deze serie verschillenkaarten kan de verplaatsing van de zandgolven over de gehele voordelta in beeld worden gebracht, dit met betrekking tot advisering van toekomstige kustliggingen.

Wellicht kunnen overige kustvakken in Nederland op soortgelijke wijze op het eventueel bestaan van zandgolven worden onderzocht.

4.6. Zandgolfanalyse m.b.t. toetsen kustverdedigingssystemen (paalschermen)

Op bijlage 11 zijn voor de periode 1962 t/m 1983 de resultaten weergegeven van duinafslagberekeningen voor superstorm omstandigheden. De wijze waarop deze berekeningen zijn uitgevoerd wordt beschreven in de leidraad duinafslag T.A.W. (1984).

De afslagpunten geven een indruk over het verloop in de tijd, van de inhoud van het strand en duin.

Uit dit verloop blijkt een significant verschil tussen de ontwikkeling in de eerste- en tweede helft van de beschouwde periode. De trendbreuk valt samen met de jaren 1972/1973, waarin de versleten kustverdediging werd vervangen door een paalschermsysteem.

Indien de ontwikkeling van de vooroever door de berekende afslagpunten uit de periode 1962 t/m 1972 wordt geprojecteerd, ontstaat er na 1972 een duidelijk verschil in ontwikkeling. Dit is op bijlage 11 aangegeven met afstand x.

Als mogelijke oorzaken kunnen worden genoemd, de steilere helling van het bovenstrand, na de vernieuwing van het systeem en de zeewaartse uitbouw van het strand op laagwater. Dit laatste is wellicht een gevolg van de meer zeewaartse uitbreiding van het paalschermsysteem. Mogelijk is de ontwikkeling van de vooroever iets ongunstiger ten gevolge van het zogenaamde kopeffect.

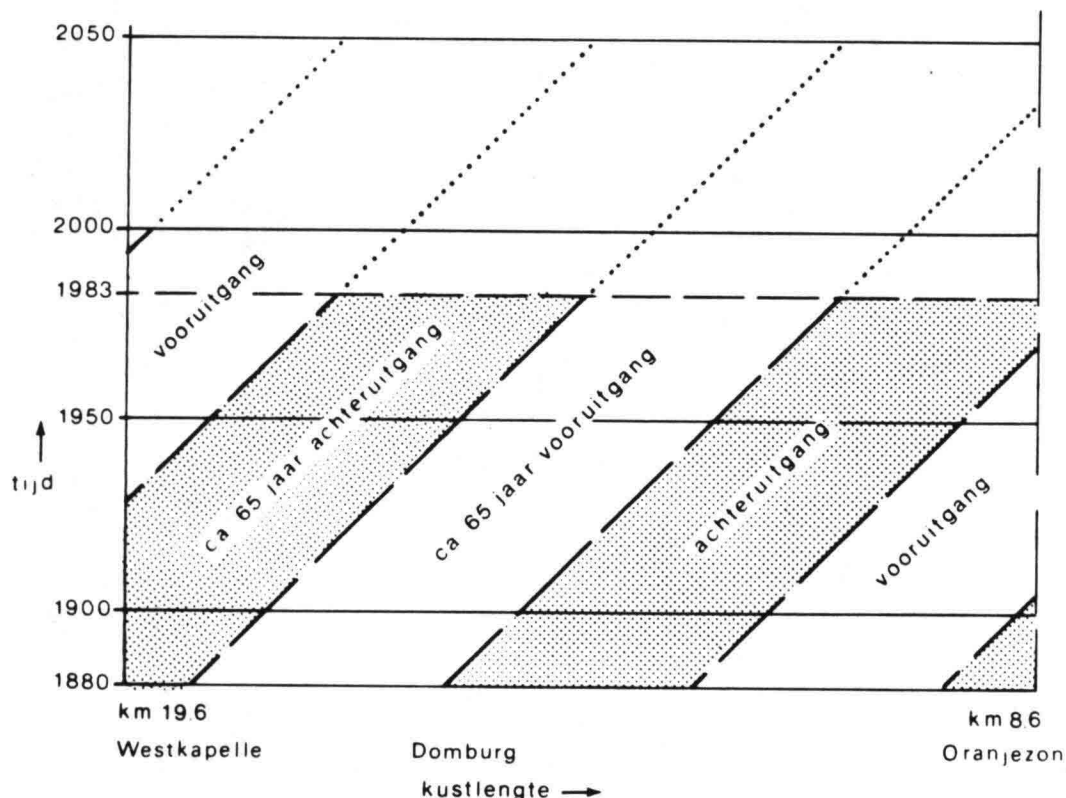
De verwachting is dat het bovenstrand de ontwikkeling van de vooroever pas weer zal volgen, zodra het strand een evenwichtshelling heeft bereikt die behoort bij het strand met de nieuwe paalschermen.

Het gevolg van de tijdelijke verbetering zou voor het onderhavige geval kunnen worden vertaald naar een kleinere neergaande amplitude van de zandgolf. Dit heeft dan blijvende positieve gevolgen voor het duingebied.

5. Voorlopige conclusies

Het onderzoek heeft voor de Noordwestkust van Walcheren aangetoond dat de vermeende grootschalige zandgolfbeweging aanwezig is.

Uit het waarnemingsmateriaal komt het in figuur 7 schematisch weergegeven beeld naar voren.



Figuur 7

De zandgolf die zich, in de afgelopen honderd jaar, van Westkapelle tot voetbij Domburg langs de kust verplaatste, deed dit met een snelheid van 44,5 meter per jaar.

Verder is de amplitude van de horizontale kustverplaatsing niet overal gelijk. Zo is de amplitude bij km 18.0 ca. 250 meter en neemt dan geleidelijk af tot er bij km 13.2 bijna geen amplitude meer is te herkennen. Vervolgens neemt de amplitude dan weer evenredig toe en is ter hoogte van km 10.0 weer aangegroeid tot ca. 300 meter.

Lokale effecten, zoals aanleg van strandhoofden en inscharing van de oever door een opdringende getij geul, hebben naar alle waarschijnlijkheid, tot wat incidentele verstoring van het grootschalige zandgolfbeeld geleid.

Het verkennend onderzoek toont reeds aan dat de zandgolven langs de kust een onderdeel zijn van een grootschalig zandgolfpatroon in de Zeeuwse voordelta.

6. Opmerkingen betreffende de toepasbaarheid van de zandgolftheorie en aanbevelingen voor verder onderzoek

6.1. Toepassing zandgolftheorie

De zandgolftheorie is gebaseerd op een systematische golfbeweging van de kust en kan als zodanig worden toegepast bij het voorspellen van kustontwikkeling. Dit ten behoeve van:

- het regionale kustbeleid. Hierbij valt te denken aan het meer inzicht verkrijgen van het toekomstige kustgedrag over een groter kusttraject, zodat eventuele maatregelen op elkaar zijn af te stemmen;
- de veiligheidstermijn bij deltaverzwaringen, waarbij thans een kustontwikkeling tot het jaar 2000 in rekening moet worden gebracht;
- de planning van verdedigingswerken waarbij ook de aanliggende kustvakken kunnen worden meegewogen;
- mogelijke aanlandingsplaatsen voor pijpleidingen en telecommunicatie kabels. Waarbij tevens valt te denken aan de zanddekking in de toekomst.

De zandgolftheorie kan ook worden gebruikt bij het toetsen van een in het verleden aangebracht verdedigingssysteem zoals paalhoofden en paalschermen. Hierbij gaat het om een vergelijk tussen enerzijds een ongestoord verloop van strand en oever en anderzijds het verloop van het verdedigde strand met onverdedigde oever.

Het voorlopige beeld, wat uit de zandgolfanalyse is verkregen, heeft er reeds toegeleid om voor de Deltaversterking Oranjezon (ter plaatse van km 9.5 - km 10.5) af te wijken van de gebruikelijke lineaire kustregressie methode. Dit had als resultaat dat er geen 300.000 m³ zoet zand nodig was, maar dat kon worden volstaan met 150.000 m³ zoet zand. Ook voor de thans in ontwerpfase verkerende kustvakken Golf-Links en Kom Domburg wordt gebruik gemaakt van de zandgolfanalyse.

6.2. Aanbevelingen

Aan de hand van de zandgolfanalyse kan aan het volgende worden gedacht.

- De toegepaste verwerkingswijze van kustmetingen tot isolijnen kustverplaatsing uit te breiden voor andere kustvakken. Dit kan direct bij kustvoorspelling van het betreffende kustvak worden gebruikt en kan leiden tot meer inzicht in het totale kustgebeuren.
- Onderzoek naar een mogelijke relatie van zandgolven langs de kust met de morfologische veranderingen in de voordelta. Dit in verband met het gedrag van scheepvaartgeulen.
- Onderzoek of ten gevolge van zandgolven, zandwinning binnen de tot dusver toegepaste 20 kilometergrens mogelijk is.
Hierbij valt te denken aan kustsuppletie.

7. Samenvatting

Inleiding

Omdat het gedrag van de kust geen lineair verlopend proces is, geeft het voorspellen van de toekomstige kustontwikkeling bij maatregelen aan de kust nog al eens problemen. Daar er over een lange reeks van kustmeetgegevens kan worden beschikt is het mogelijk een oscilerende beweging te onderkennen. In Ringma (1950) wordt dit verschijnsel zandgolf genoemd.

In de voorliggende nota wordt het verschijnsel zandgolf nader beschreven. Het begrip zandgolfbeweging kan worden gedefinieerd als zijnde een kustontwikkelingsproces in de vorm van een harmonische kromme.

In de nota wordt eerts een globaal onderzoek beschreven naar enig verband in het gedrag van de kust in de lengterichting. Dit wordt gevolgd door een meer gedetailleerde beschrijving van het onderzoek naar de zandgolfbeweging langs de kust.

Verkennend onderzoek van het kustgedrag

Middels kustgrafieken is de kustontwikkeling in beeld gebracht, zie bijlage 2 t/m 4. Hieruit is af te leiden dat het gedrag van de kustlijn geen lineair verlopend proces is.

In verband met de hoge prioriteit van het op deltasterkte brengen van de Noordwestkust van Walcheren en het feit dat hiervan een grote reeks kustmetingen voor handen is, is als eerste project voor dit kustvak gekozen. In een serie tijd-plaats-diagrammen met het verloop van de punten van laagwater, met een onderlinge afstand van 1 km langs de kust, is door middel van regressieberekening en eliminatie van de lokale regressie, het onderlinge verband langs de kust zichtbaar gemaakt (bijlage 5.1 en 5.2). Dit verband heeft aanleiding gegeven tot een meer gedetailleerd vervolg onderzoek.

Vervolgonderzoek zandgolfbeweging

In dit gedetailleerd onderzoek zijn alle meetraaien, met een onderlinge afstand van ca. 200 meter, betrokken.

De reeds bestaande kustgrafieken van de meetperiode 1881 t/m 1967 zijn aangevuld tot en met 1983. In verband met het veranderen van het meetraaiensstelsel in 1967, moesten de na 1967 gemeten kustliggingen worden herleid naar het oude raaiensstelsel.

Voor het onderzoek zijn twee stroken kust representatief gesteld, namelijk het strand (laagwater tot hoogwater) en de oever (N.A.P. -3 m /N.A.P. - 5 m). Voor deze kuststroken zijn uit de kustgrafieken, door lopend te middelen, twee maatgevende kustverlooplijnen per meetraai bepaald. In dit kustverloop is steeds het jaar vastgesteld waarin een vooraf vastgestelde snelheid van kustverplaatsing geldig was. Zo ontstond per meetraai een reeks jaren met bijbehorende maat van horizontale kustverplaatsing. De verplaatsingssnelheden zijn weergegeven in een schema, met als horizontale as de kust kilometrering en als verticale as de tijd. Door het trekken van isolijnen is per kuststrook een driedimensionaal beeld verkregen van het kustgedrag in de meetperiode 1882-1984 (bijlage 8 en 9).

Bespreking van de resultaten isolijnen kustverplaatsing

De amplitude van de horizontale kustverplaatsing is bij km 10.0 ongeveer 300 meter groot. Deze amplitude vermindert evenredig naarmate men meer westelijk gaat, tot dat er bij km 13.2 maar een amplitude van enkele tientallen meters overblijft.

Vanaf km 13.2 neemt de amplitude in westelijke richting weer toe tot 250 meter bij km 18.0. Als mogelijke oorzaak van de geringe amplitude bij km 13.2 kan worden genoemd de steile vooroever, bestaande uit een stroomresistente ondergrond en de daarvoor relatief grote diepte van het plaatselijke geultje de Urk.

Voor de Kom Domburg vertoonde de laagwaterlijn in de periode 1937 tot heden een afwijkend gedrag. Dit komt in het beeld van het strandgedrag tot uiting. Een verklaring hiervoor is (nog) niet gevonden.

Voorts is tussen km 14.0 en km 17.5 na 1972 een discrepantie tussen de ontwikkeling van het strand en die van de oever ontstaan. Hier moet de oorzaak worden gezocht in het aanbrengen en vernieuwen van het kustverdedigingsstelsel (paalschermen). Bijlage 11 laat het verschil zien tussen de ongestoorde vooroeverontwikkeling en het verloop van de afslagpunten ten gevolge van een superstorm, berekend volgens de leidraad duinafslag T.A.W. (1984). Verondersteld mag worden dat na het instellen van een nieuwe evenwichtshelling, het strand weer de ontwikkeling van de vooroever zal gaan volgen.

Verder is reeds verkennend naar de voordelta gekeken, waarbij de zandgolfperiode van de Walcherse Noordwestkust (top-dal is ca. 65 jaar) als uitgangspunt heeft gediend. Dit omdat bij deze tijdsinterval de verschillen in diepte het grootst zouden zijn.

Op een door van Veen (1952) geproduceerde diepte verschillenkaart van de Scheldemond over de periode 1863-1931 (68 jaar) komen systematische stroken van aanzanding en verdieping voor (zie bijlage 12). Deze stroken corresponderen voor het overlappende deel van de Noordwestkust Walcheren en de Zeeuws-Vlaamse kust, met de daar aanwezige zandgolven, die uit de laagwaterlijngrafieken en de isolijnen kustverplaatsing konden worden aangetoond.

Voorlopige conclusie

Het onderzoek heeft een bepaalde systematiek in de grootschalige zandgolfbeweging, langs de Noordwestkust van Walcheren, aangetoond.

Globaal kan deze zandgolf worden gekarakteriseerd door een periodiciteit van ca. 130 jaar en een loopsnelheid langs de kust van 44,5 meter per jaar in noordoostelijke richting.

Verder laat een verkennend onderzoekje zien, dat de zandgolf aan de Noordwestkust van Walcheren een onderdeel is van een grootschalig zandgolfpatroon in de Zeeuwse voordelta.

Mogelijke toepassingen zandgolftheorie

1. Voorspellen toekomstige kustontwikkeling t.b.v.
 - regionaal kustbeleid
 - veiligheidstermijn bij deltaverzwaringswerken
 - planning kustverdedigingswerken
 - aanlandingsplaatsen voor pijpleiding en kabels
2. Toetsen van het effect van in het verleden toegepaste kustverdedigingssystemen zoals paalhoofden, paalschermen en stenenhoofden.

Aanbevelingen

- Toegepaste verwerkingswijze kustmetingen ook uitvoeren voor andere kustvakken.
- Onderzoek naar een mogelijke relatie van de zandgolf langs de kust met de morfologische veranderingen in de voordelta.
- Onderzoek of t.g.v. zandgolven zandwinning binnen de tot dusver toegepaste 20 km grens mogelijk is.

Lijst van geraadpleegde literatuur

Veen, J. van (1943).

Verdieping Scheldemonnd, bewerking R. Morra.

Directie Benedenrivieren.

Ringma, S.H. (1950).

Afneming Noorderstrand Walcheren nabij Oostkapelle en de verdediging daartegen.

Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Studiedienst Vlissingen.

Nota 50.10.

Wilderom, M.H. en Malde, J. van (1968).

De ontwikkeling van de Noordzeekust van Walcheren tussen 1882 en 1968.

Rijkswaterstaat, Directie Waterhuishouding en Waterbeweging, District Kust en Zee, Studiedienst Vlissingen.

Nota 68.3.

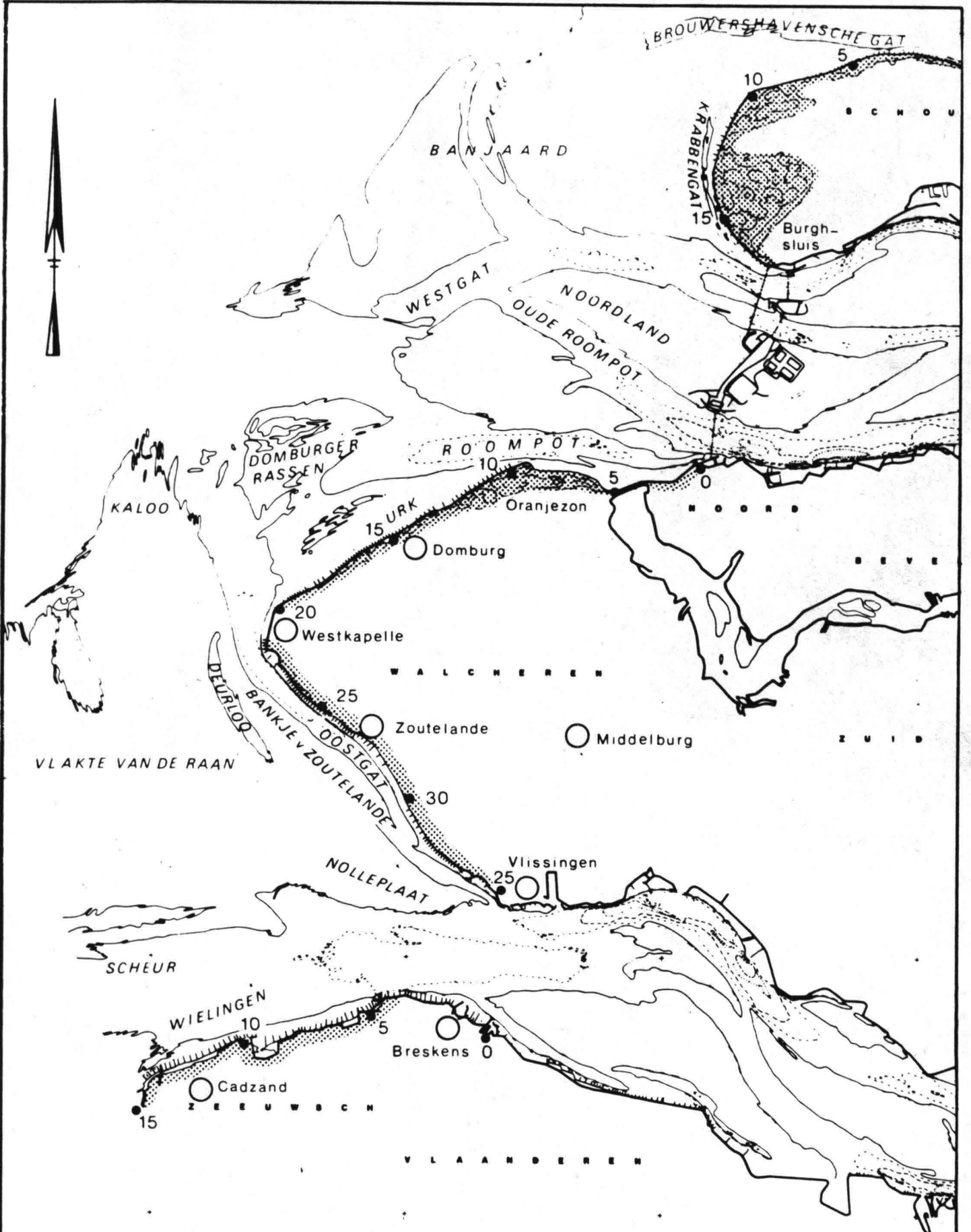
T.A.W. (1984) (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen).

Leidraad voor de beoordeling van de veiligheid van duinen als waterkering.

Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Bijlagenlijst

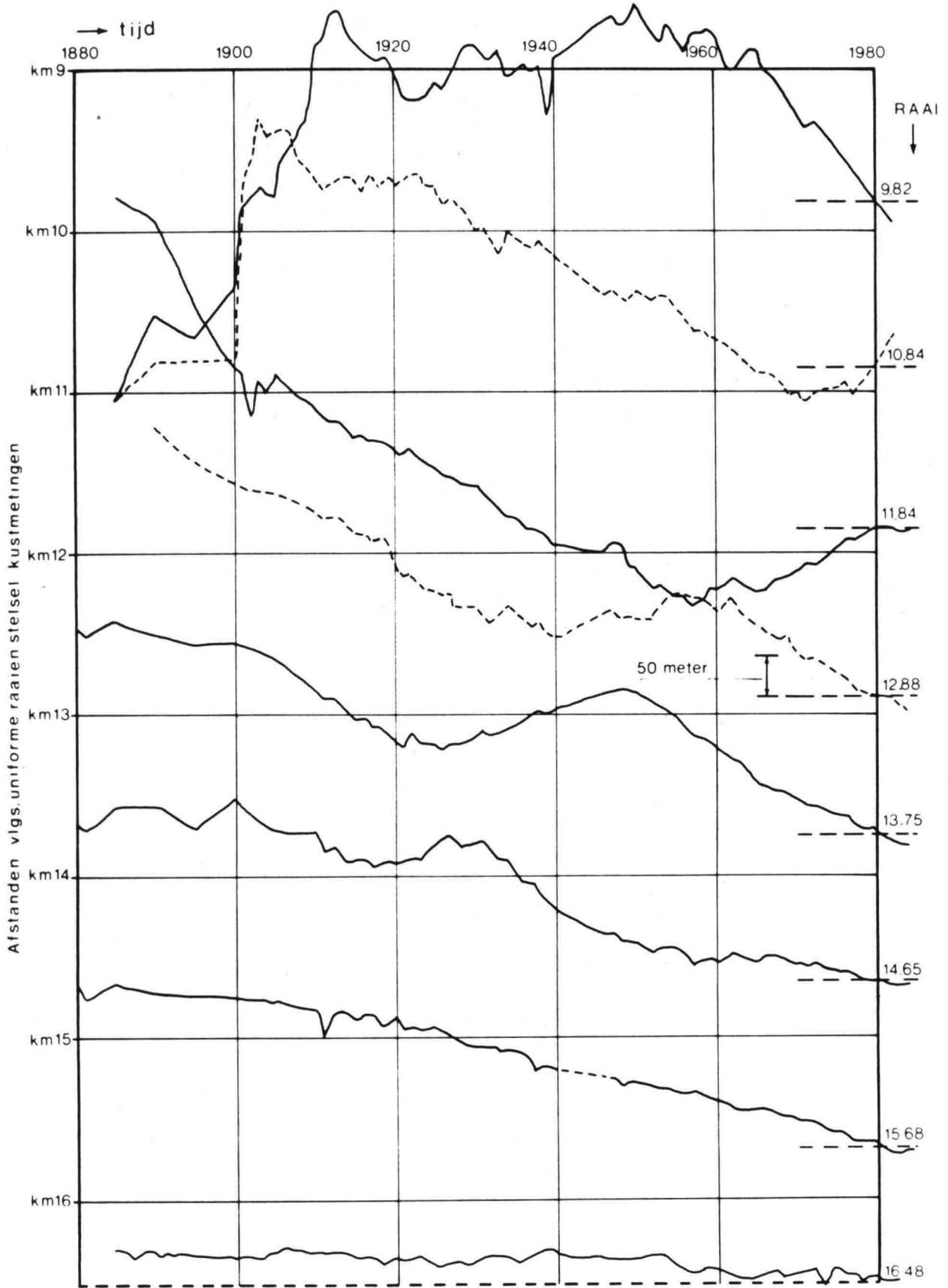
1. Overzicht Zeeuwse duinkust met voorliggend geul- en bankenpatroon.
2. Het verloop in de tijd van het strand op laagwater voor de Kop van Schouwen.
3. Het verloop in de tijd van het strand op laagwater voor de Noordwestkust Walcheren.
- 3.a Het verloop in de tijd van het strand op laagwater voor de Zuidwestkust van Walcheren.
4. Het verloop in de tijd van het strand op laagwater voor de Noordwestkust van Zeeuwsch-Vlaanderen.
- 5.1 Regressielijn door het verloop van laagwater voor de Noordwestkust Walcheren.
- 5.2 Eliminatie van de lokale regressie door het verloop van laagwater voor de Noordwestkust van Walcheren.
6. Kustgrafiek voor raai km 16.120 (sp. 25) N.W. kust Walcheren.
7. Lengteprofiel van de N.W. kust Walcheren op resp. 300, 400 en 500 meter uit de hoofdraai, gemeten in 1968 en 1975.
8. Tijd-plaatsdiagram met isolijnen horizontale kustverplaatsing van het strand t.p.v. N.W. kust Walcheren.
9. Tijd-plaatsdiagram met isolijnen horizontale kustverplaatsing van de oever t.p.v. de N.W. kust Walcheren.
10. Ontwikkeling van het Bankje van Zoutelande, ter plaats van het dorp Westkapelle, gedurende de periode 1903-1983.
11. Verschil tussen onverstoorde oeverontwikkeling en de sedert 1972 kunstmatig beïnvloede strandontwikkeling.
12. Situatie voordelta met diepteverschillende 1863-1931.



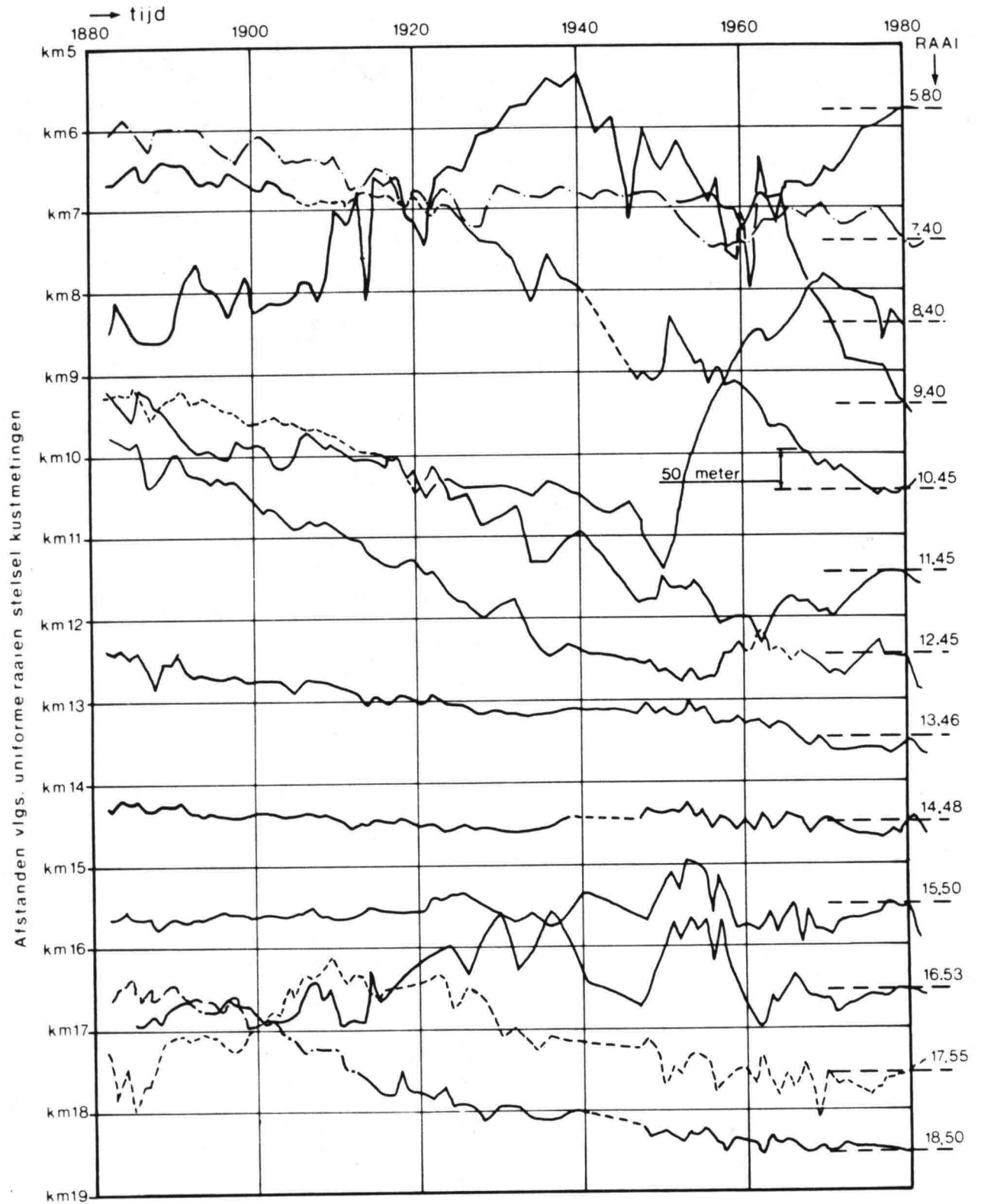
Toelichting:

zanderige kust

● 5 kilometering uniforme raaienstelsel kustmetingen

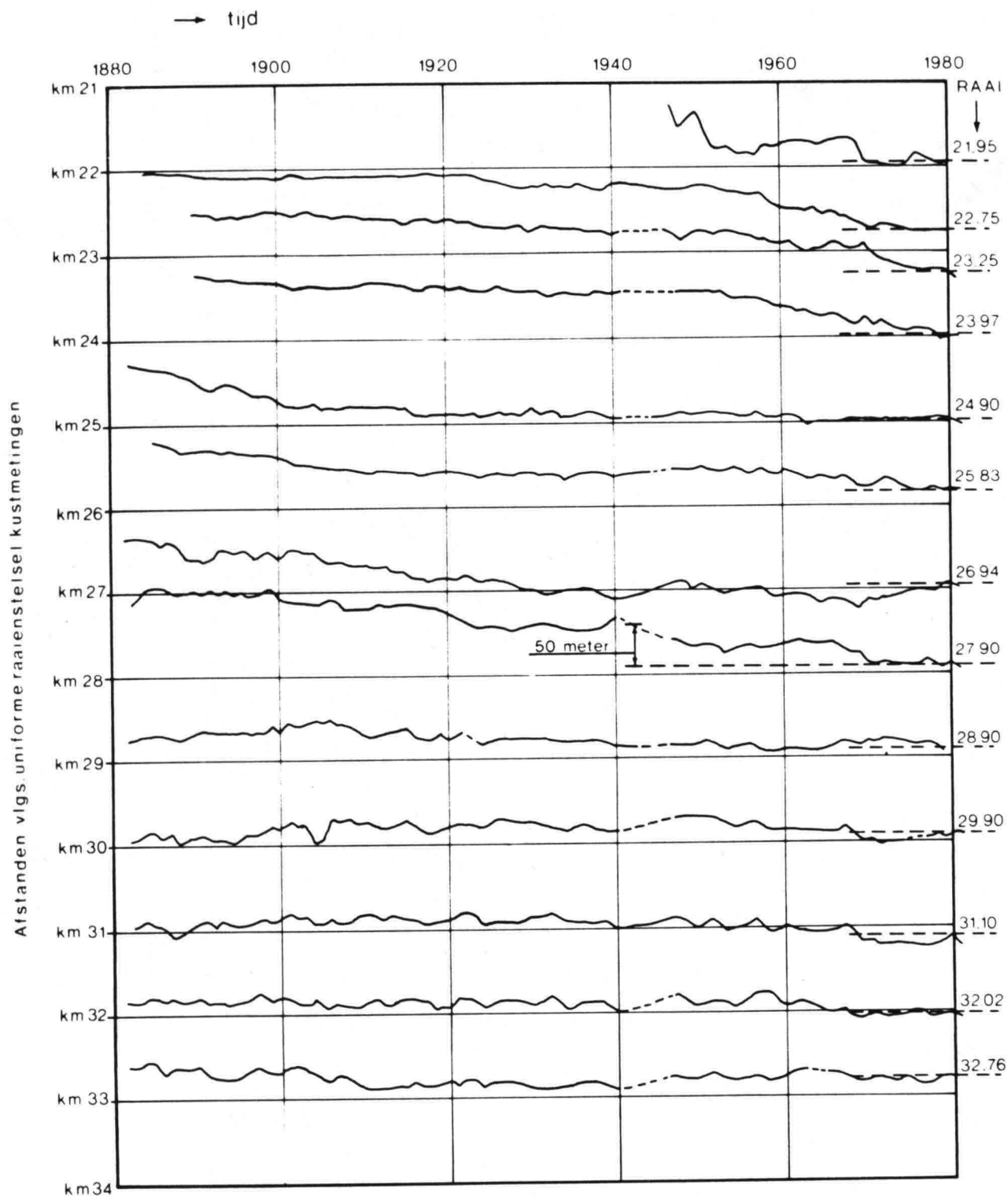


Verloop in de tijd van de kustligging op gemiddeld laagwater
Kop van Schouwen

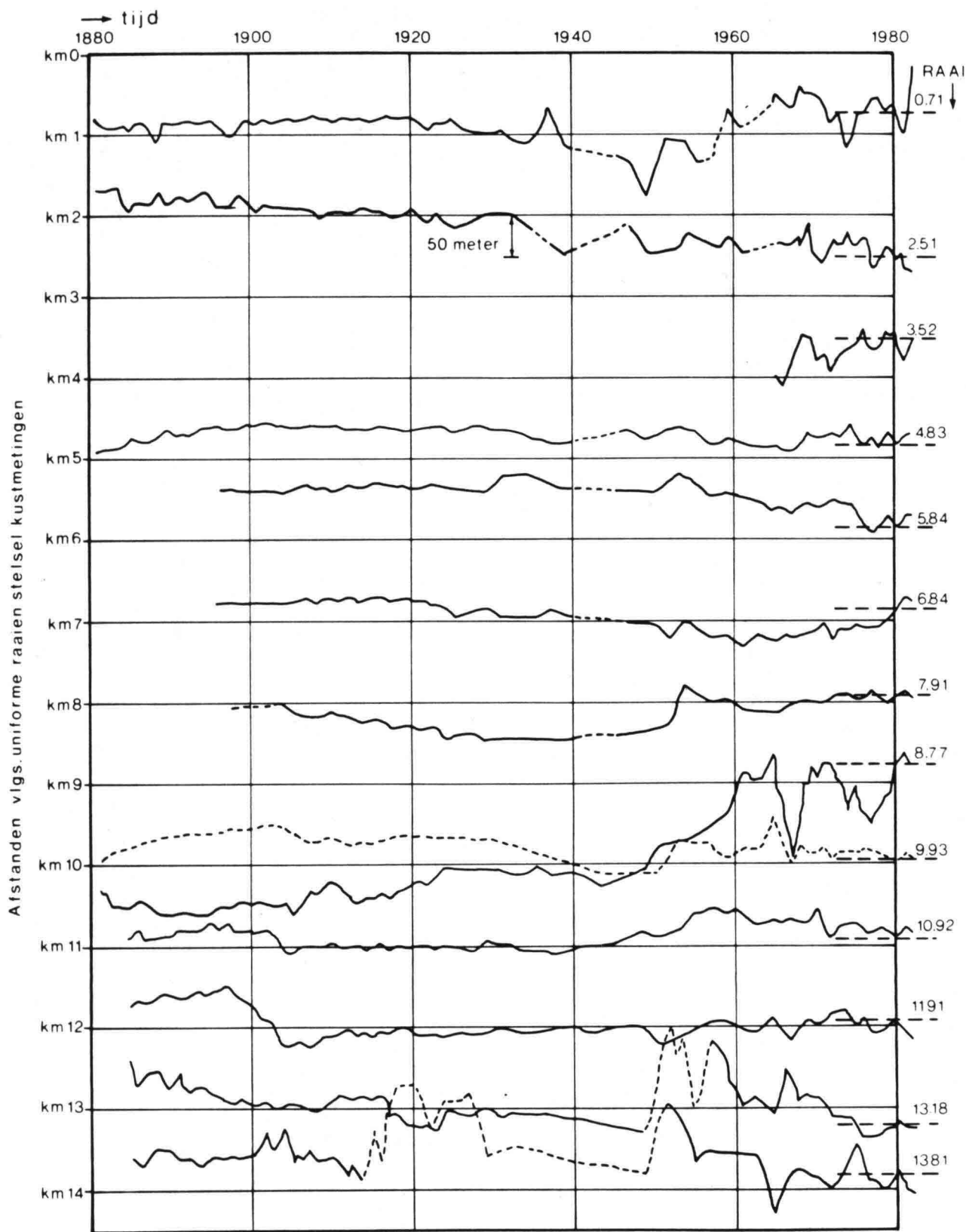


Verloop in de tijd van de kustligging op gemiddeld laagwater

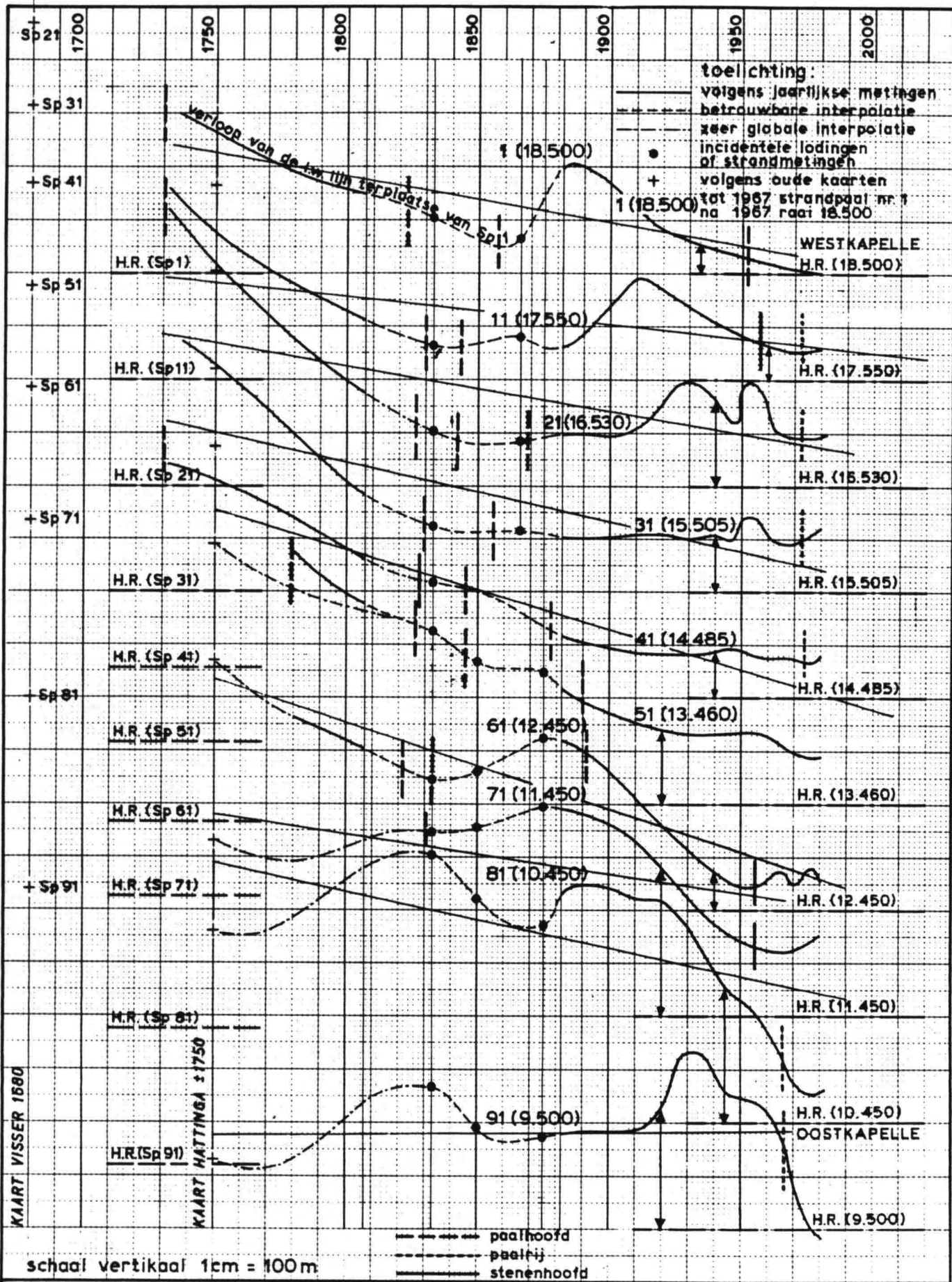
Noordwestkust Walcheren



Verloop in de tijd van de kustligging op gemiddeld laagwater
Zuidwestkust Walcheren



Verloop in de tijd van de kustligging op gemiddeld laagwater
Zeeuwsch - Vlaanderen



schaal vertikaal 1cm = 100m

- - - - - paalhoofd
 - - - - - paaltij
 - - - - - stenhoofd

rijkswaterstaat

directie waterhuishouding en waterbeweging
 district kust en zee - adviesdienst vliссingen

walcheren - noordwatering noorderstrand
 verloop l.w. lijn van 1730 t/m 1981

get MK.

gec E.

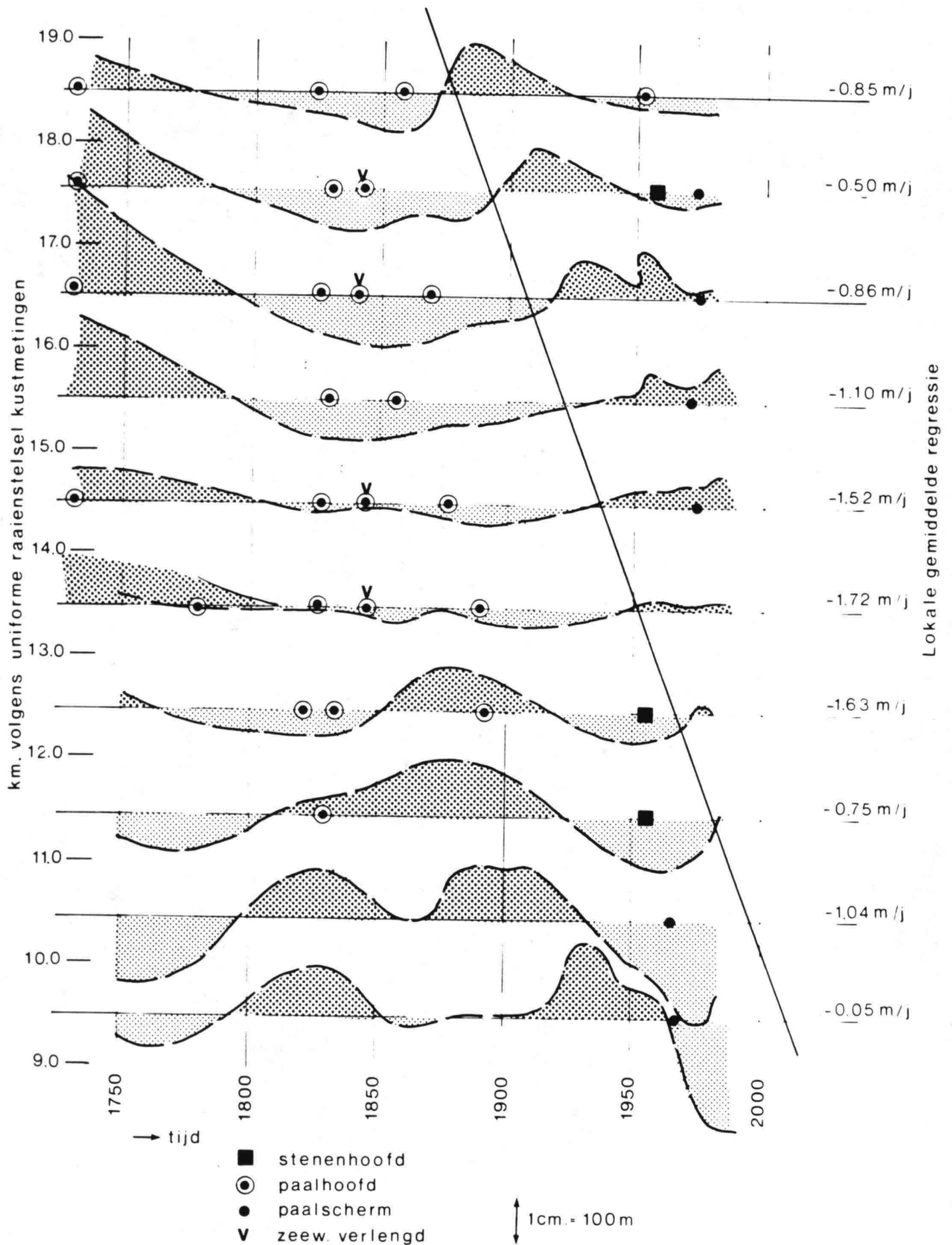
gez P.R.

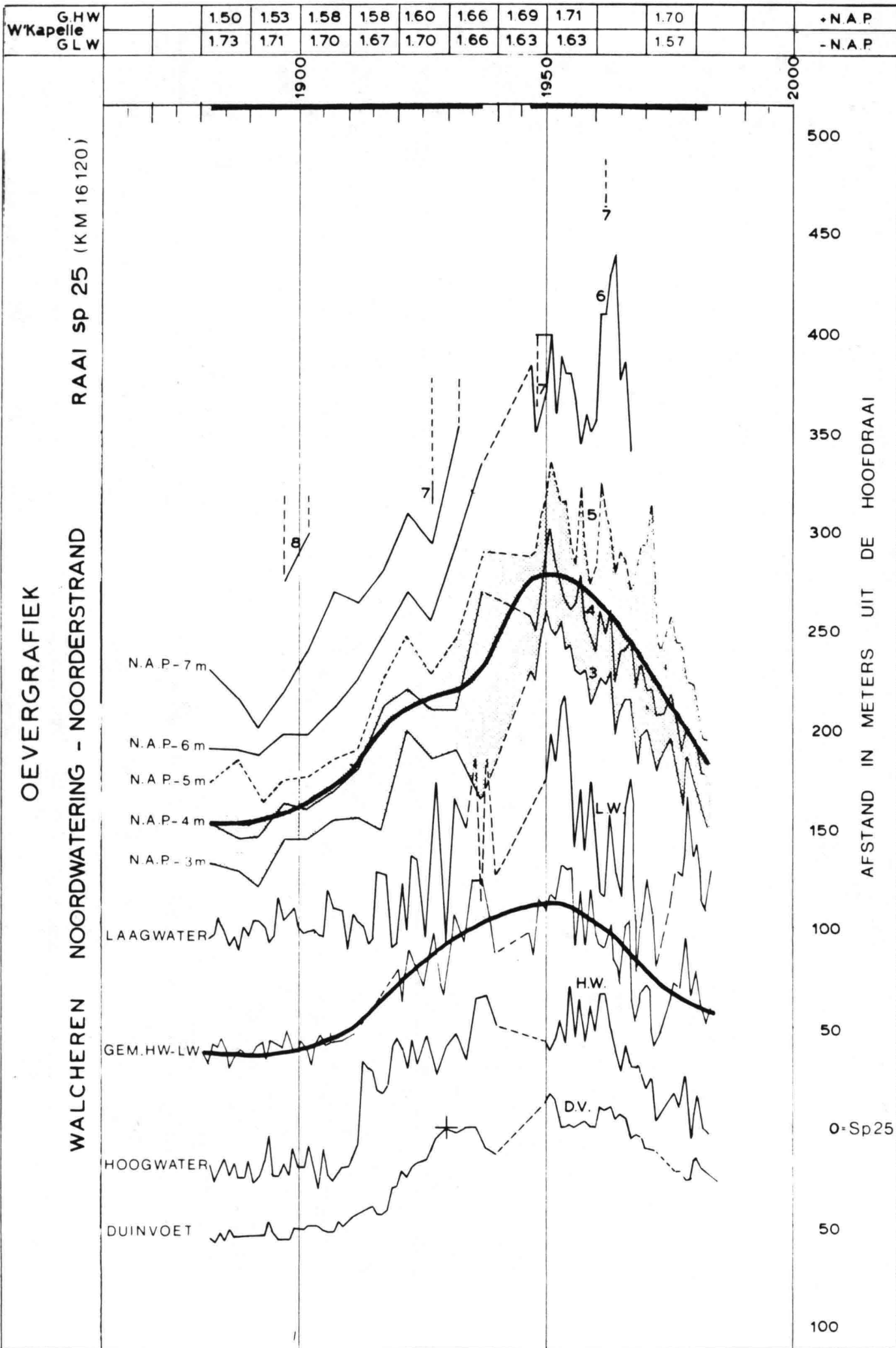
akk *[signature]*

schaal

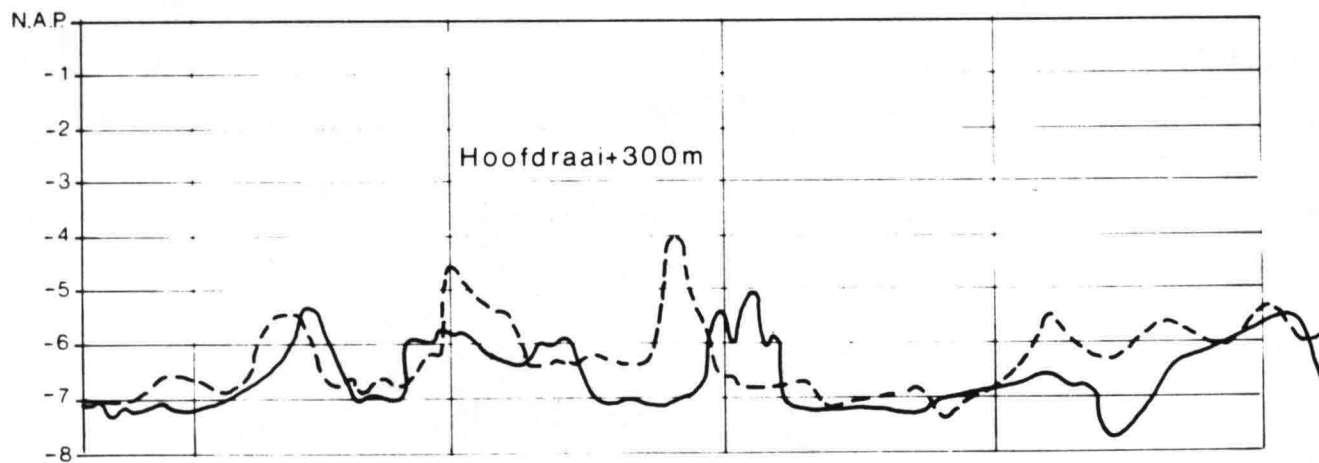
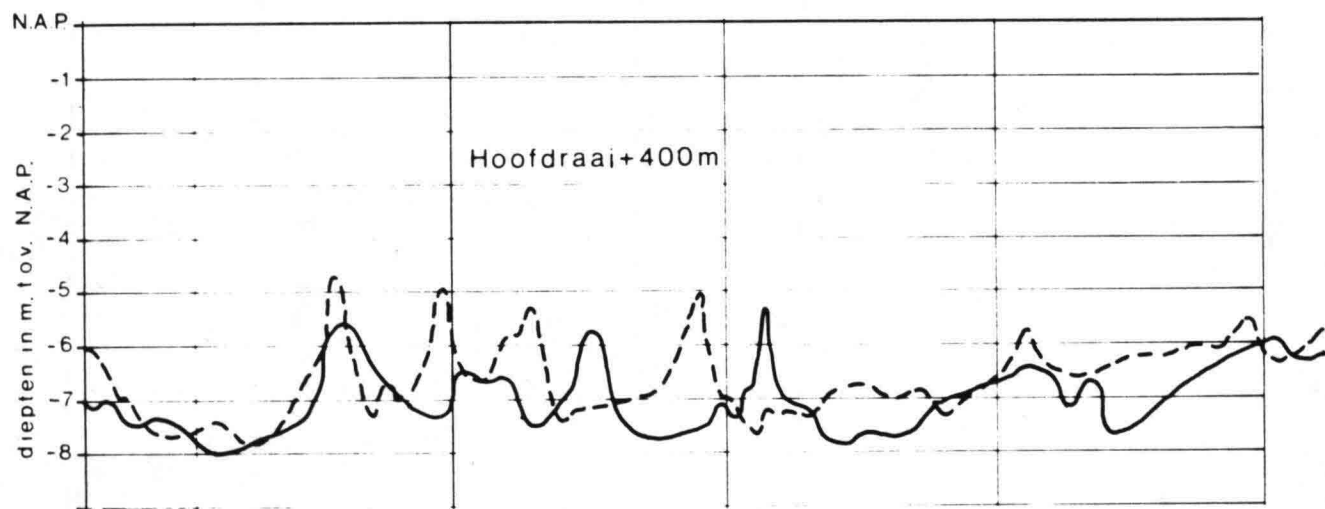
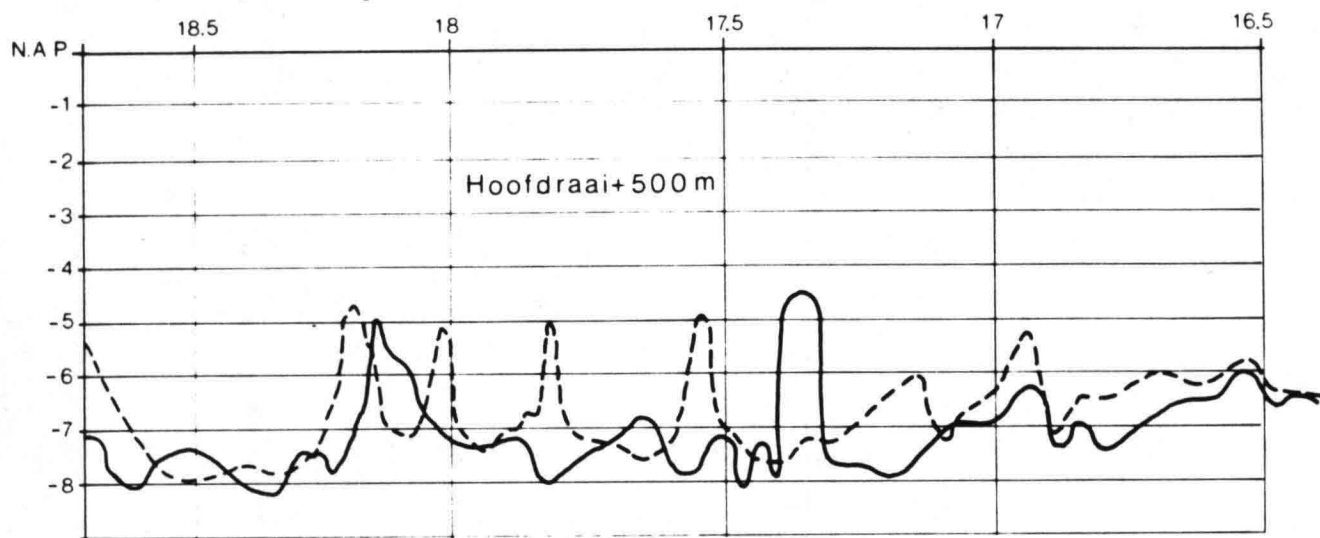
A 1 nr 82.885

Verplaatsing van laagwaterlijnen voor de noordwestkust Walcheren na eliminatie van de lokale gemiddelde regressie





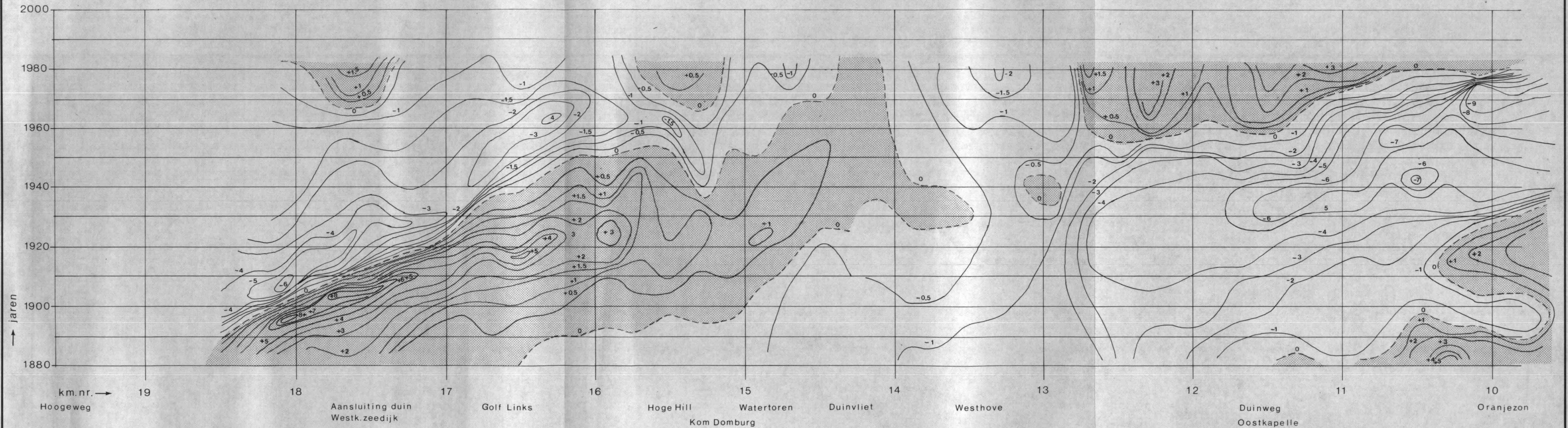
Afstanden volgens uniforme raaien stelsel kustmetingen



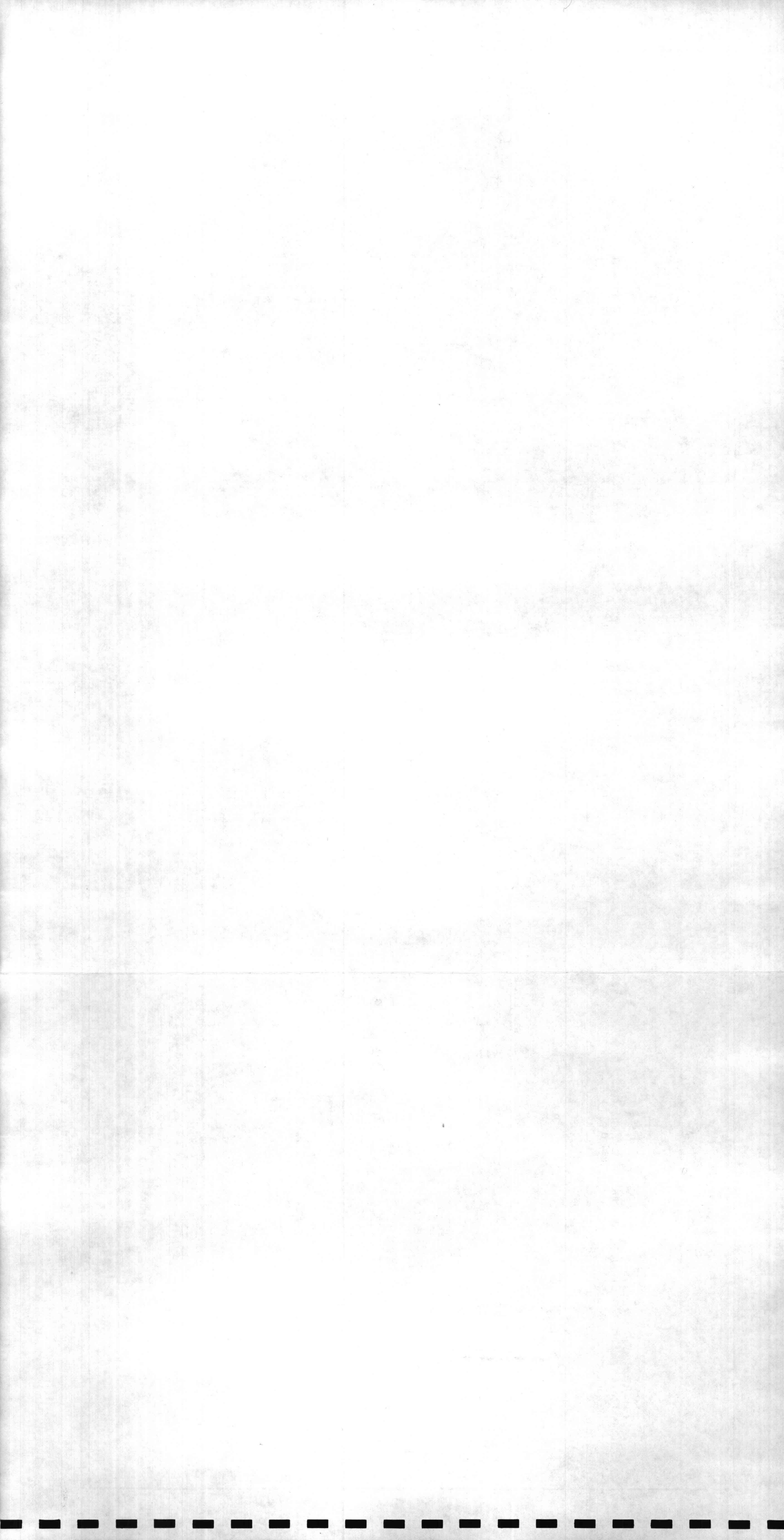
Bodemprofiel evenwijdig aan de kustlijn
op resp. 300, 400 en 500 m zeewaarts uit de hoofdraai

1968 - - - - -
1975 ————

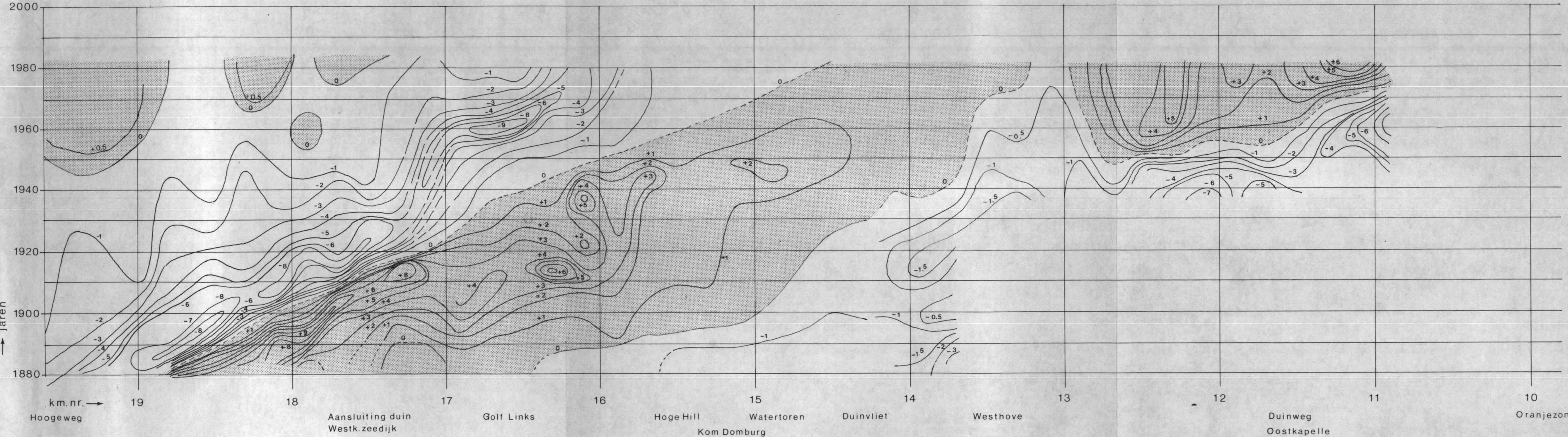
Walcheren Noordwestkust
 Isolijnen van horizontale kustverplaatsing
 (in m. per jaar voor de strook H.W. tot L.W.) **STRAND**



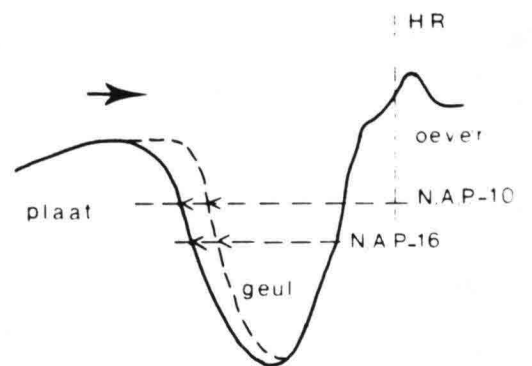
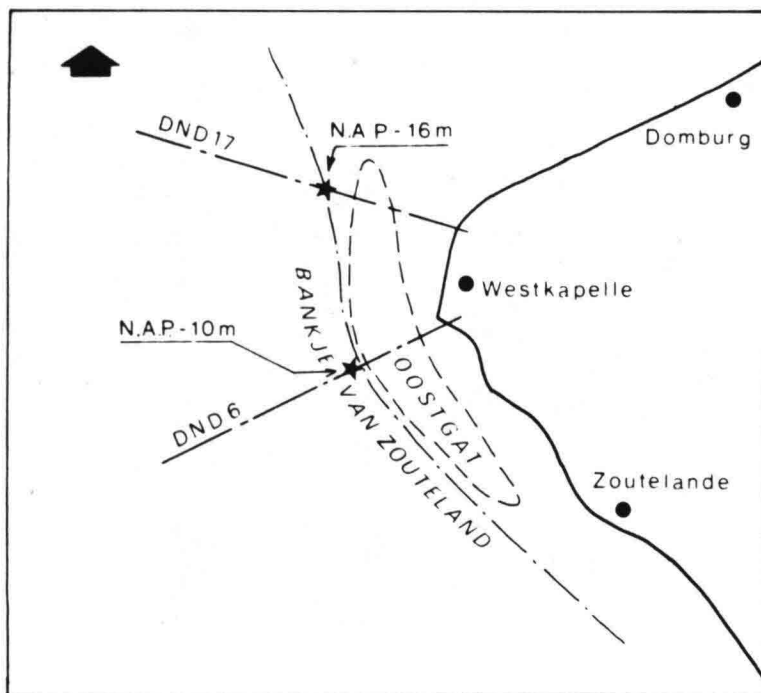
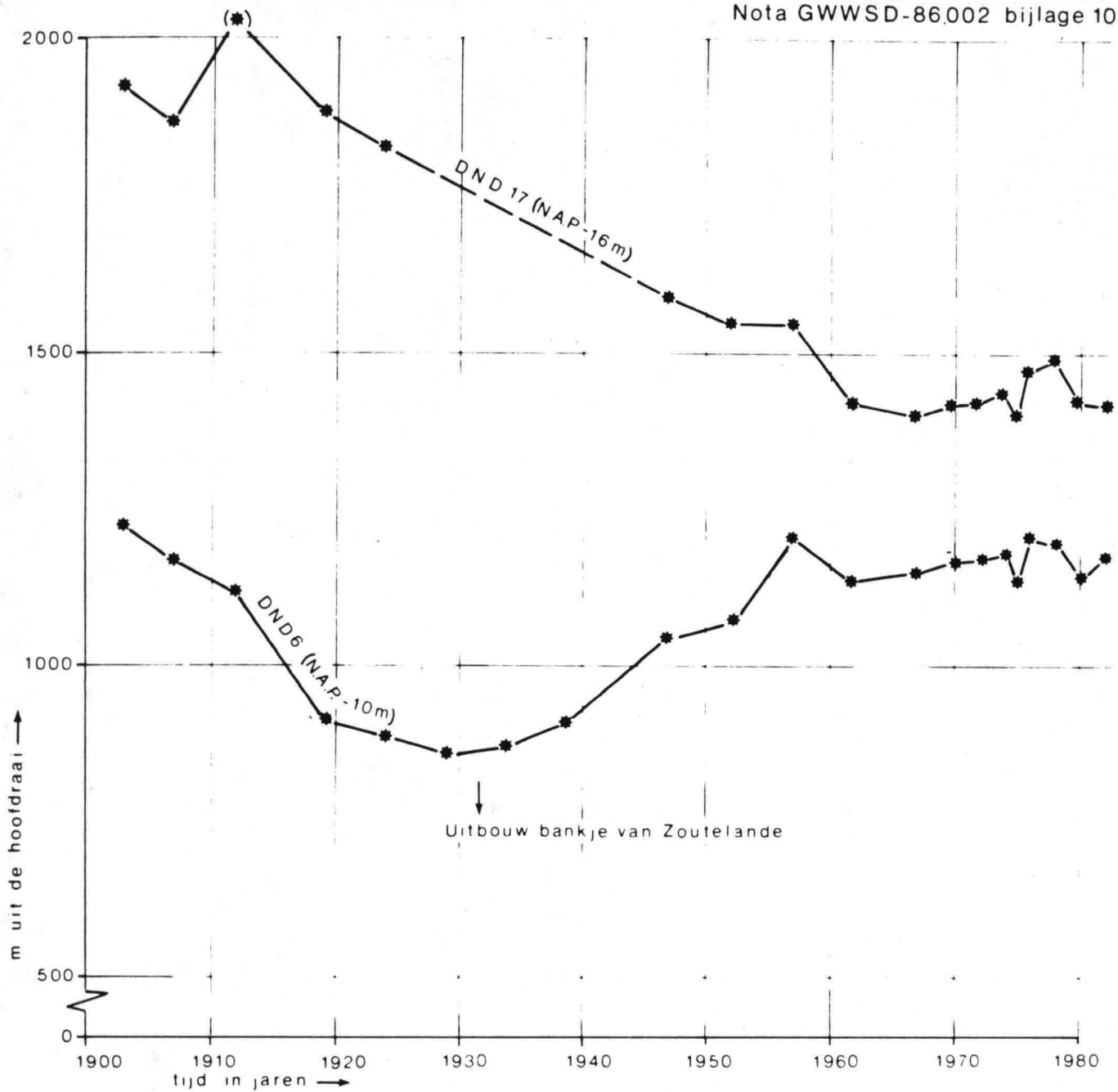
rijkswaterstaat
 dienst getijdewateren Watersystemen Delta
 370 86M012



Walcheren Noordwestkust
Isolijnen van horizontale kustverplaatsing
(in m. per jaar voor de strook N.A.P. - 3 m. tot N.A.P. - 5 m.) **OEVER**

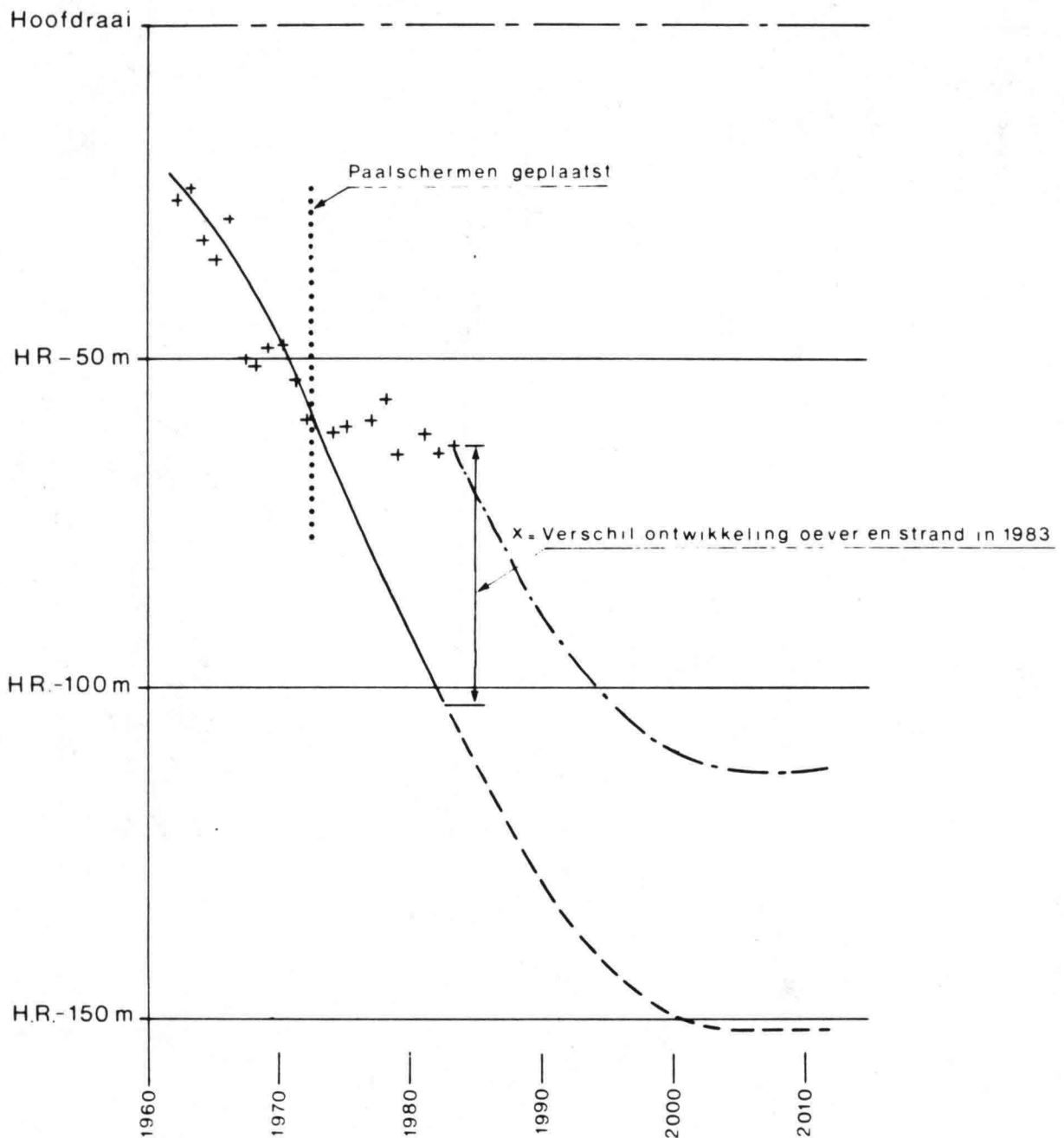


rijkswaterstaat
dienstgetijdewateren Watersystemen Delta
370 86M013



Verplaatsing in de tijd van het bankje van Zoutelande cq geulwand Oostgat omgeving Westkapelle

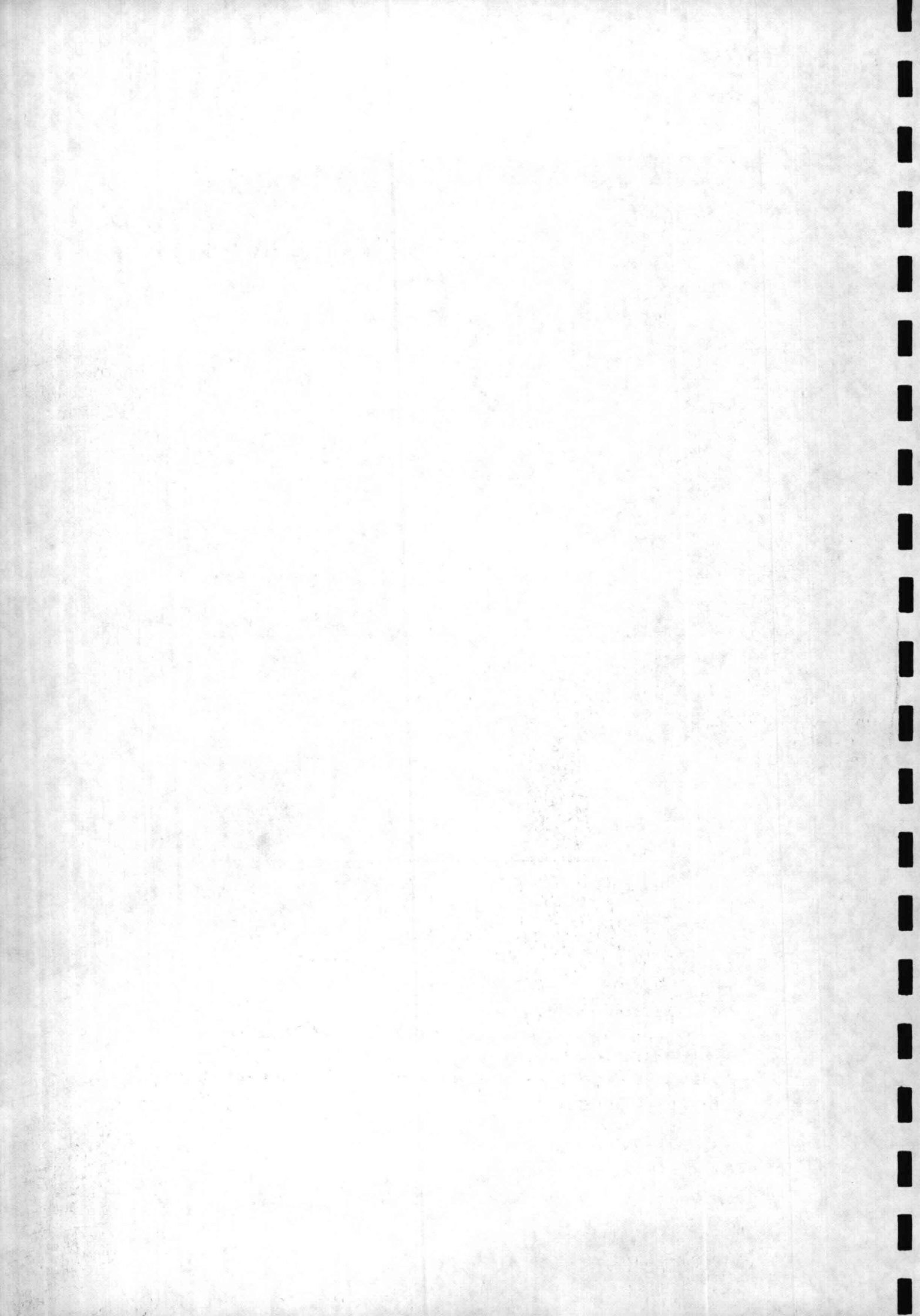
WALCHEREN
 KM.16.12



Toelichting:

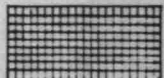

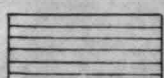
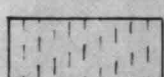

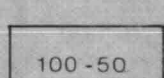
- + afslagpunten superstorm
- trend vooroever vlg. zandgolfanalyse door afslagpunten '62-'72
- - - voorspelde trend vooroever vlg. zandgolfanalyse
- . - . - voorspeld verloop v.d. afslagpunten bij superstorm, indien 1983 is evenwichtsprofiel

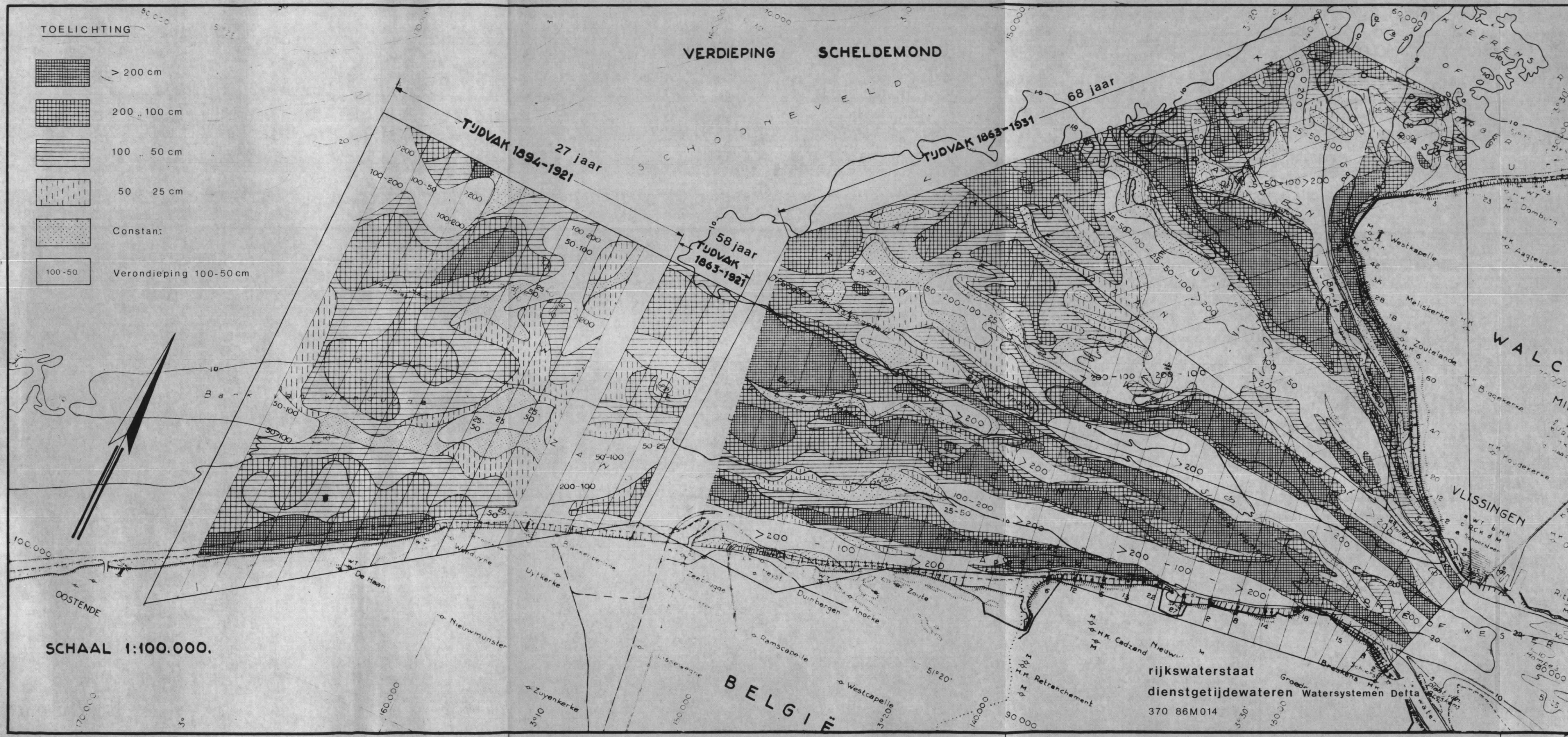
Verskil tussen onverstoorde oeverontwikkeling en de sedert 1972 kunstmatig beïnvloede strandontwikkeling



VERDIEPING SCHELDDEMOND

TOELICHTING

-  > 200 cm
-  200 .. 100 cm
-  100 .. 50 cm
-  50 .. 25 cm
-  Constant
-  100-50 Verondieping 100-50 cm



SCHAAL 1:100.000.

rijkswaterstaat
 dienstgetijdewateren Watersystemen Delta
 370 86M014

