

nota GWA0-87.004

Waarheden

omtrent Kustgedrag

auteur(s): Ir. W.T. Bakker en E. Smit
datum: 5 augustus 1986; gecorr. 11 februari 1987
samenvatting: Waarheden omtrent Kustgedrag

Deze nota geeft de tekst van een lezing, gegeven door de eerste auteur bij de start van "Taakgroep 100" van het project "Kustgenese" op 27 januari 1986.

Oudere en nieuwere "waarheden" omtrent het kustgedrag, geponeerd door diverse deskundigen worden geëvalueerd, zoals de "Waarheid van Edelman": "holle kusten zanden aan en bolle eroderen". Geconstateerd wordt, dat het bijzonder moeilijk zal zijn het ongelijk van deze waarheid voor de schone Hollandse kust aan te tonen.

Deze "waarheid" is gesimuleerd in een mathematisch model, besproken in appendix A. De tekst van dit appendix is van de tweede auteur, vervaardigd aan de hand van aantekeningen en berekeningen van de eerste.

Geconstateerd wordt verder, dat vermoedelijk de snelste manier om een redelijke voorspelling van het kustgedrag in het kader van Taakgroep 100 te maken de bestudering van het Jarkusbestand is met behulp van Kalman - filtering.

WAARHEDEN OMTRENT KUSTGEDRAG

Lezing omtrent Kustgenese
Gegeven 27 januari 1986
Door ir. W.T.Bakker

Het is mij een genoegen, met U, en samen met de Heer de Vroeg, van gedachten te mogen wisselen omtrent het morfologisch gedrag van de Hollandse kust. Ik ben mij bewust, dat U zich omtrent hetgeen wij gaan vertellen afvraagt:

**BELOOFT U
DE WAARHEID
TE VERTELLEN,
DE VOLLEDIGE WAARHEID
EN NIETS DAN
WAARHEID**

Mijn reactie hierop is:

**NIETS IS GEHEEL WAAR
MAAR
SOMMIGE WAARHEDEN
ZIJN MEER WAAR
DAN ANDERE
(ALDOUS MULTATULD)**

Fig.1 toont de Waarheid van Edelman [1].

Zijn conceptie is de volgende.

De kustlijn tussen Hoek van Holland en den Helder is parabolisch en zandt dus aan. Immers, als een parabolische kust aan golven wordt blootgesteld, ontstaat een gradiënt in het langstransport, hetgeen aanzanding tot gevolg heeft. Storingen worden gevonden bij Marsdiep en Waterweg. De erosie t.g.v. het Marsdiep (volgens Edelman) wordt onderbroken door de Hondsbossche zeekering, welke de achteruitgang van de kustlijn ter plaatse verhindert. Hierdoor heeft de Hondsbossche in de loop van de tijd een geëxponeerde ligging gekregen.

Ik heb getracht de conceptie van Edelman voor wat betreft het kustgedeelte tussen Rijkstrandpaal km 10 en km 115 te vertalen in een mathematisch model (fig. 2 t/m 5 en Appendix A).

Dit als een allereerste vingeroefening v.w.b. een simulatie van het kustgedrag in de werkgroepen 1000 en/of 5000.

In dit model wordt uitgegaan van een oorspronkelijk parabolische kustvorm, waarbij aan de uiteinden resp. ca. 225.000 m³/jaar (Zuidzijde) en ca. 700.000 m³/jaar (Noordzijde) onttrokken wordt (fig 2). Voor het begintijdstip wordt 1440 B.P. gevonden (Appendix A).

Fig 2 toont de kustvervorming, startend met een parabolische kust. In fig 3 is de berekende kromme van het tijdstip "heden" uitgezet in een kaart van de kust van Holland; voor de curiositeit is in fig 4 tevens de kromme voor (ongeveer) het jaar 3000 n.Chr. uitgezet. Fig.5 toont de berekende erosie, vergeleken met de grote lijn van Edelman. Het mathematisch model heeft als basisgedachte, dat de aanwas van de kust evenredig is met de kromming van de kust; de evenredigheidsconstante wordt " s/h " genoemd. Hierin is h de hoogte van het zandpakket, waarover het zand bij aanwas sedimenteert; in het huidige geval denke men aan een grootte-orde: de diepte van de brandingszone plus de hoogte van de duinen.

De grootte " s " geeft aan, hoe het langstransport verandert, als de kustring verandert; in gedachten zou " s " als "snel" mogen worden vertaald; hoe groter s , hoe sneller de kust op een kromming reageert.

Tabel 1 geeft de grootte van s/h aan, zoals uit het bovenstaande model volgt, vergeleken met waarden, die uit het kustgedrag zijn afgeleid.

De grote waarde van s/h bij de Vliehors lijkt een gevolg van de geringe waarde van de zandbergende laag; de geringe waarde bij Cadzand een gevolg van het relatief milde golfklimaat.

De indruk bestaat, dat de kust van Scheveningen wat snel (door stroominvloed?) op de aanleg van de havendammen in 1900 heeft gereageerd en dat de huidige berekeningsmethode van de kustconstante uit het golfklimaat aan de veilige kant zit (de veranderingen blijken langzamer dan berekend).

De orde van grootte, in appendix A gevonden voor s/h m.b.t. de Hollandse kust komt uit tabel 1 niet onlogisch over.

Hiermee wordt echter niet gestipuleerd, dat de conceptie van Edelman en Appendix A en het in fig.2 t/m 5 aangegeven mathematisch model de enige mogelijke verklaring van het kustgedrag zouden geven; zo kan bij voorbeeld een wijziging van het golfklimaat tussen Hoek van Holland en den Helder ook een aanzienlijke invloed hebben. Wel ontstaat een zekere indruk van ruimte- en tijdschalen.

Tabel 1. Vergelijking van gevonden waarden van s/h .

Plaats	1	Zandbergende	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
--------	---	--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Een andere mogelijkheid is: de Eerste Waarheid van Wiersma:

**NIET UIT DE
LENGTE,
MAAR UIT DE
BREEDTE**

Ongetwijfeld speelt het dwarstransport in het kustgedrag een

zeer belangrijke rol. Zo is het aangroeien van duinen voornamelijk een zaak van wind(=dwars-)transport. Over een hoogte van ca. 15 m van een actieve kustzone van ca. 25 m is het dwarstransport dus ongetwijfeld dominant.

V.w.b. het strand ontstaan aangroei en erosie door interactie van langs- endwarstransport.

Verschillende oorzaken van dwarstransport spelen een rol: verticale circulatie door secundaire waterbeweging in getijstromen (bij voorbeeld in bochten), idem door zout-zoet-uitwisseling of door transversale diffusie; horizontale circulatie t.g.v. neerwerking (strandhoofden!) etc.

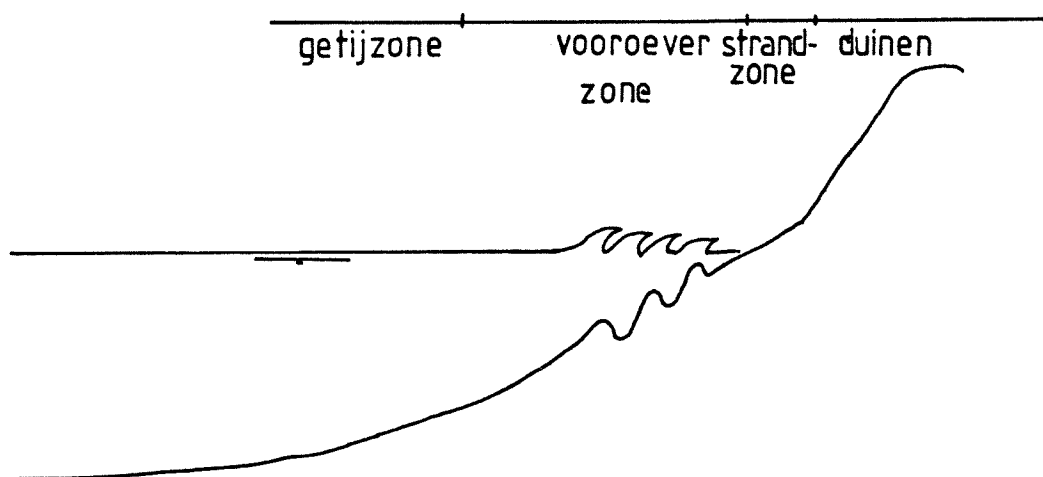
Een quantitative schatting van de relatieve orde van grootte van ieder van deze verschijnselen is nog steeds niet ter beschikking; echter, bezien wij de topografie van fig.6, het Schulpengat bij den Helder, dan zal duidelijk zijn dat het strand hier vrijwel rechtstreeks d.m.v. dwarstransport de invloed van het geulgebeuren ondervindt en dat ook vrij steile geulwanden door secundaire getijstromen en transversale uitwisseling hier stabiel zullen kunnen zijn (zie van Bendegom [6]).

Het volgende geldt daarom alleen voor een normale, "schone" kust; het geldt maar zeer ten dele daar waar havenhoofden aanwezig zijn.

Voor een goed begrip volgen eerst nog enige hierbij gehanteerde definities.

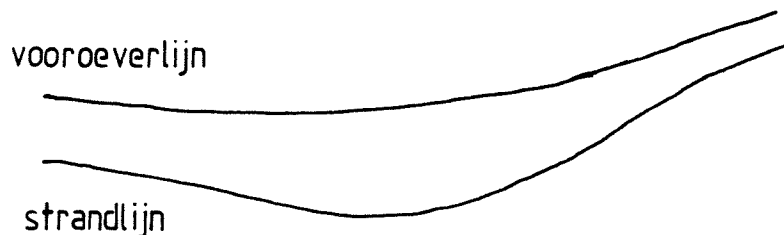
De kust wordt hierbij afhankelijk van het dominerend transportmechanisme verdeeld gedacht in duinen (wind, boven NAP+2m a 3m), brandingszone (golven, tussen NAP -7m a -5 m en de duinen) en de getijzone (getijgedreven stroom, dieper gelegen dan de brandingszone). De brandingszone wordt weer onderverdeeld in strandzone en vooroeverzone (fig 7).

Met name v.w.b. de brandingszone valt in dwarsrichting op de kust een zeker evenwicht te verwachten. Als het profiel flauwer is dan het evenwichtsprofiel kruit t.g.v. de asymmetrie van de orbitaalbeweging zand naar de kust toe. Als het profiel steiler dan het evenwichtsprofiel is, wint de zwaartekracht; dit geeft beweging van de kust af. Teneinde de eerste Waarheid van Wiersma uit te diepen, zouden wij ons als eerste vraag moeten stellen: wat is hieromtrent uit het Jarkus-bestand te halen?



figuur 7

Schematiseer strand en vooroever nu tot een terrasvormig tweelijn-systeem (fig 8). Heel globaal ontstaat dan het beeld van fig. 9 voor de Hollandse kust, met geringe afstand tussen strandlijn en vooroeverlijn waar - op lange termijn gezien - erosie optreedt (bij Hoek van Holland en den Helder) en grotere afstand tussen beide lijnen in het tussengelegen aanzandende deel. Even de verliezen aan beide randen buiten beschouwing latend, ontstaat het beeld van een relatief snel in langsrichting transporterende transportband langs de vooroever, waar door dwarstransport bij den Helder en Hoek van Holland zand wordt opgegooid en bij Rijnland zand aan wordt onttrokken.



figuur 9

Dit kan nader worden geïllustreerd m.b.v. fig. 10, waarin profielen bij het Schulpengat, de Hondsbossche, Zandvoort en Delfland getoond worden.

Het Schulpengat-profiel is een typisch getijgeul profiel. Bij het beschouwen van het profiel van de Hondsbossche moet worden bedacht, dat, zoals eerder vermeld, de Hondsbossche vergeleken bij de overige kust ca. 200 m in zee steekt. Wordt het profiel van de Hondsbossche in fig 10 200 m zeewaarts geschoven, dan komt het diepere gedeelte - tussen NAP - 5m en - 7m - op een soortgelijke plaats als bij Delfland en Rijnland te liggen. De steilheid van het profiel blijft dan nog wel opvallen, evenals de 7m diepe trog. Het verwondert, dat de korte strandhoofdjes voor de Hondsbossche in alle eeuwen het strand nog zo goed hebben weten vast te houden, alle theorieën van evenwichtsprofielen ten spijt. Hier speelt waarschijnlijk geulvorming door getijstroom en laterale diffusie toch een grote rol.

De profielen van Delfland en Rijnland vallen v.w.b. het gedeelte boven NAP - 3 m redelijk samen; het zeewaartse gedeelte (de vooroever) van Rijnland ligt ca 2m hoger dan bij Delfland. Anders gesteld: men zou de vooroever van Delfland 200 m zeewaarts moeten verschuiven, om een op het Rijnlandse gelijkende profiel te verkrijgen.

In de hiervoor ontwikkelde filosofie zou deze onderlinge afwijking van de Delflandse en Rijnlandse profielen verantwoordelijk moeten zijn voor het verschil in dwarstransport naar de duinen van ca. 10 a 15 m³/(m.jaar) tussen Delfland en Rijnland. Per m afwijking in afstand tussen strand en vooroever wordt dan dus ca. 1/20 m³/(m.jaar) verschil in dwarstransport gevonden. Dit is van dezelfde orde van grootte als Janssen [5] vond, t.a.v. de snelheid, waarmee het zand zeewaarts tussen de strandhoofden van Scheveningen uitvloeide, nadat de vooroever erodeerde t.g.v. de aanleg van de havenhoofden (hij vond 1/10 m/jaar (=m³/(m.m.jaar))). Het is echter veel minder dan de snelheid, waarmee op het strand aangebrachte zandsuppleties zeewaarts uitvloeien (Sylt: ca 3 m/jaar [2]).

In verband met het bovenstaande hebben de Heer de Vroeg en ik ons de volgende taak gesteld:

- wat is uit het Jarkus-bestand te halen v.w.b. het belang van het dwarstransport tussen strand- en vooroeverzone?
- het geven van een statistische voorspelmethode van het gedrag van de Nederlandse kust v.w.b. een 20-jarige trend

Deze analyse van het Jarkus-bestand heeft dus de volgende doelen:

DOELEN.	1	T.B.V.
- Nauwkeurige extrapolatie over 20 jaar	1 1 1	Kustbeheer
- De grote lijn i.v.m.:	1	
- Strategie v.w.b. zandsuppleties	1	Kustgenese
- Effecten zeespiegelrijzing	1 1	
- Meer fysische kennis afleiden uit gegevens	1 1	T.O.W. - modelconcepties

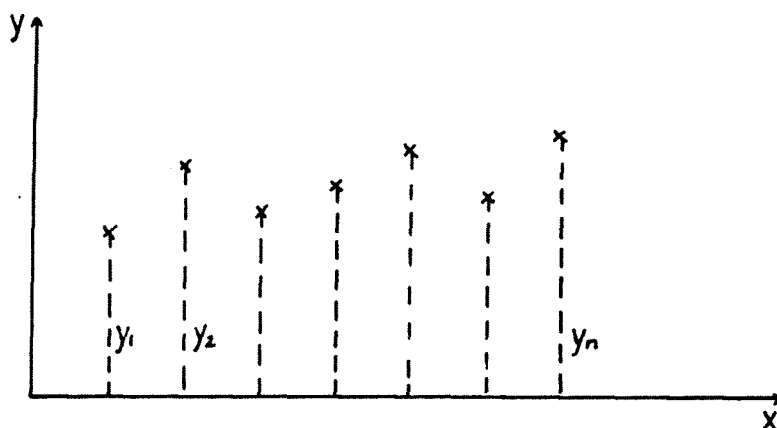
Een subtiële techniek welke het mogelijk maakt modelkennis in een databestand te assimileren is Kalman-filtering.

De basisgedachte hiervan kan als volgt worden weergegeven.

Neem een rechthoekig coördinatenstelsel aan met de x-as evenwijdig aan de gemiddelde kustrichting.

Definieer een "kustlijn" als een lijn, welke op een afstand uit de x-as ligt, gelijk aan de gemiddelde afstand welke de dieptelijnen (met gelijk diepte-interval) in de brandingszone tot de x-as hebben.

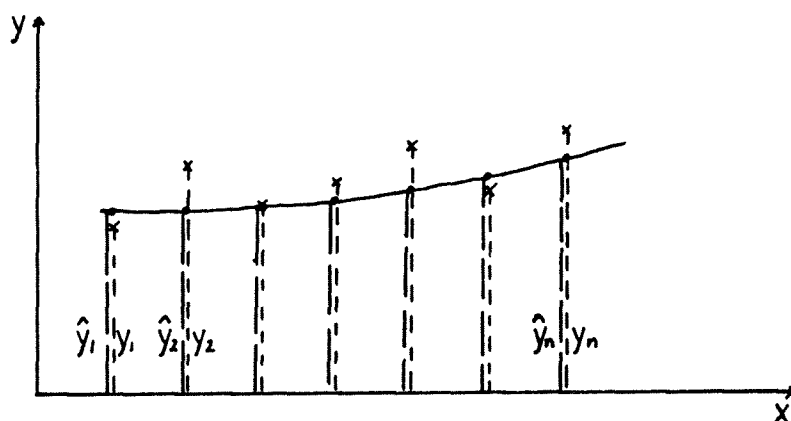
Aangezien slechts in een discreet aantal raaien wordt gepeild, heeft men na een meting slechts in een discreet aantal punten de beschikking over de y-coördinaat van de kustlijn (fig 11).



figuur 11

Noem deze waarden $y_1, \dots, y_n$ (fig 11).

T.g.v. meetfouten en andere "ruis" zullen de gemeten punten van de kustlijn niet op een vloeiende lijn liggen. Men kan echter aan de hand van de metingen wel een schatting maken van het verwachte werkelijke verloop van de kustlijn. Noem dit verloop $\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n$ (fig 12).

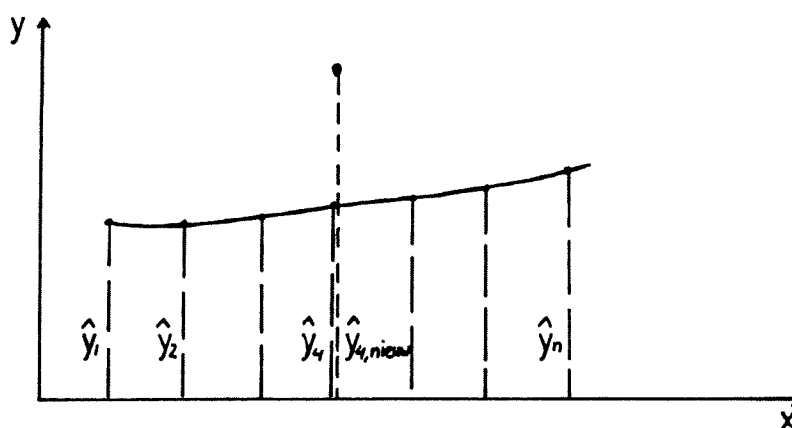


figuur 12

Stel, men heeft op basis van een of andere conceptie een rekensysteem, om de kustlijn op een volgend tijdstip af te leiden van de schatting van de kustlijn op een vorig tijdstip.

Stel bij voorbeeld, dat de voorspelling van de kustlijn op dit volgende tijdstip t.p.v. punt y_4 gevonden kan worden uit een combinatie van de coördinaten van de huidige geschatte kustlijn:

$$\hat{y}_{4\text{nieuw}} = [5\hat{y}_1 + 3\hat{y}_2 + \dots + 7\hat{y}_{10\text{oud}}]$$



figuur 13

2	0	5	6	7	9
1	4	7	9	8	4
4	6	9	4	4	4
0	1	2	5	7	2
0	3	0	0	0	3
2	4	6	7	8	9
0	2	4	6	1	3
1	4	8	6	0	0

matrix

figuur 14

Heeft men dus de schatting van de huidige kustlijn gevangen in de getallenreeks $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_{10}$, dan bepaalt de coëfficiëntenreeks $5, 3, \dots, 7$ hoe het nieuwe punt $\hat{y}_4$ wordt berekend.

Op een analoge wijze, doch met in principe andere coëfficiënten volgt het nieuwe punt $\hat{y}_3$ uit de bekende getallenreeks $\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n$. Om alle punten op het nieuwe tijdstip uit de schatting op het huidige tijdstip te vinden heeft men dus een heel rooster, een "matrix" van coëfficiënten nodig (fig 14).

In een kernachtige notatie kan de voorgaande handelswijze als volgt worden weergegeven:

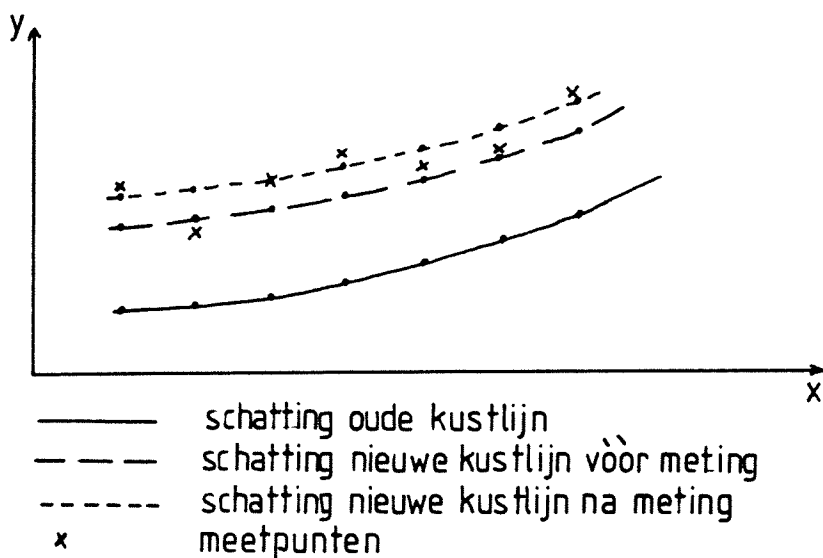
$$\begin{matrix} \vec{\hat{y}} \\ \text{nieuw} \end{matrix} = F \cdot \begin{matrix} \vec{\hat{y}} \\ \text{oud} \end{matrix}$$

Hierbij geeft het pijltje boven y_{nieuw} en y_{oud} aan, dat het hier de gehele getallenreeks $\hat{y}_1, \dots, \hat{y}_n$ betreft; het kapje geeft aan, dat de y -waarden geschat zijn.

De grootte F symboliseert een matrix van het soort zoals weergegeven in fig 14, die de oude kustlijn $\vec{\hat{y}}_{\text{oud}}$ via een mathematisch goed omschreven, op een vermenigvuldiging lijkende procedure in de nieuwe kustlijn transformeert. De punt tussen F en $\vec{\hat{y}}_{\text{oud}}$ symboliseert deze procedure.

De grootte F wordt "transformatiematrix" genoemd.

Stel, dat men op de hiervoor omschreven manier uit de kustlijn van een zeker jaar t een verwachte kustlijn voor het jaar $t+1$ heeft verkregen. Het uur der waarheid komt dan in het jaar $t+1$, op het moment, dat de kustlijn van dat jaar $t+1$ is gemeten (fig 15).



figuur 15

Deze nieuw gemeten kustlijn kan een reden zijn, de voorspelling van $\hat{y}_{\text{nieuw}}$ te herzien. Bij de Kalman-filter-techniek gebeurt dit op een wijze, die volgens de hierboven genoemde verkorte notatie als volgt kan worden weergegeven.

$$\hat{y}_{\text{nieuw}}^{+} = \hat{y}_{\text{nieuw}}^{-} + K \cdot (\bar{y}_{\text{nieuw}} - \hat{y}_{\text{nieuw}}^{-})$$

De indice "-" of "+" geeft aan, of de betreffende schatting van voor, dan wel na de nieuwe meting dateert.

Wordt de bovenstaande uitdrukking als een "normale" algebraïsche uitdrukking opgevat, dan ziet men, dat " $K=0$ " inhoudt, dat de schatting van de kustlijn na de meting gelijk is aan de schatting van de kustlijn voor de meting ("wat geschreven is, staat geschreven"). Anderzijds, is K gelijk aan 1, dan is de nieuwe schatting van de kustlijn gelijk aan de meetresultaten: meetfouten en andere ruis worden dan niet in de beschouwing betrokken.

In feite is K niet slechts een getal, maar een matrix, analoog aan F . Deze matrix wordt het "kalman filter" genoemd en bestaat uit getallen tussen 0 en 1, zoals uit het voorgaande begrijpelijk is. De techniek van de Kalman-filtering bestaat nu uit de berekening van de matrices F en K , waarvoor wiskundige formuleringen voorhanden zijn. Na iedere tijdstap kunnen deze matrices (op grond van de nieuwe informatie) worden gecorrigeerd. Volgens de originele vorm van de Kalman-techniek kan de transformatiematrix F worden gevonden m.b.v. statistische technieken (uit de auto- en kruiscorrelaties van de tijdreeksen, die de verschillende y -waarden vormen).

Echter, men kan ook starten met een fysische conceptie v.w.b. de vorm van F. Ditzelfde soort procedé kan natuurlijk ook worden toegepast met punten op 2 lijnen i.p.v. één, m.a.w. met een strandlijn en een vooroeverlijn.

Uit de vorm van de transformatiematrix, die men aldus vindt, is dan af te leiden in hoeverre het gedrag van een strandpunt nu meer beïnvloed wordt door de aanliggende strandpunten, dan wel door de punten van de vooroever.

Uiteraard is het van belang, met een zo nauwkeurig mogelijk pakket gegevens te starten. De conceptie, dat een te flauw profiel aanzanding aan de kust geeft en een te steil profiel erosie wordt vertroebeld door het optreden van brandingsruggen. De gedachte bestaat, uit het 15- jarige gegevensbestand deze "ruis" eerst uit te filteren. Daarom was het van belang, deze brandingsruggen eerst nader te bestuderen. Dit is de eerste opgave aan de Heer de Vroeg geweest, die zich verder in het kader van zijn afstuderen met Kalmanfilters zal bezighouden.

Hierna volgde de lezing van de Heer De Vroeg, waaromtrent een aparte samenvatting is verschenen.[7].

V.w.b. de follow-up van het werk van de Vroeg omtrent brandingsruggen zou ik graag Uw medewerking willen inroepen. Nu de programmatuur er eenmaal is, lijkt het vrij simpel, op deze wijze een algemene eerste beschrijving te krijgen van de ruwe vorm en het gedrag van deze brandingsruggen. Ik zou graag willen, dat dit dadelijk in de discussie ter sprake zou komen. Voor onze studie zouden wij de gegevens graag lopend willen middelen over de periode van deze brandingsruggen. Deze periode moet dan wel bekend zijn.

Alvorens ons expose' te beeindigen, zou ik nog even een tweede waarheid van Wiersma aan de orde willen stellen:

HET SYSTEEM LEKT

Wij hebben het nl. nog niet gehad over de interactie tussen de getijzone en de vooroeverzone. Hoe belangrijk is deze? Welke rol speelt bijv. de zeespiegelrijzing in het hele kustsysteem?

Ik heb daartoe geprobeerd een aantal kustprocessen te kwantificeren

Fig.16 toont het langstransport door golven bij Scheveningen, zoals berekend in [8].

Uit het onderzoek van de Vroeg komt als voorlopige schatting een orde van $45 \text{ m}^2/\text{jaar}$ naar voren voor de variatie van het dwarstransport tussen strand en vooroever. Dit is een lijndikte in figuur 16.

Fig.17 illustreert de vermoedelijke verhoudingen in het dwarstransport.

Als de huidige zeespiegelrijzing op $20 \text{ cm}/\text{eeuw}$ wordt geschat, dan is per jaar een landgerichte aanvoer van zand nodig van $2 \text{ m}^2/\text{jaar}$ om een kustzone over een strook met breedte van 1 km niet van diepte te doen veranderen.

Een aanzanding van het duin van $1/2 \text{ m}/\text{jaar}$ komt overeen met een dwarstransport van $10 \text{ m}^2/\text{jaar}$.

Met een flinke storm zal ca. $50 \text{ m}^2/\text{jaar}$ van het duin naar de vooroever verdwijnen. Bij een in evenwicht verkerende kust is dit in een aantal jaren weer terug.

M.i. zullen bij een langdurige stormachtige periode, bijv. 30 jaar, het strand en de duinen zich tijdelijk wat landwaarts en de vooroever zich tijdelijk wat zeewaarts verplaatsen; bij een rustige periode herstelt zich dit weer. Ik verwacht niet, dat het zand zich tot in de getijzone verplaatst.

Zoals vermeld geeft vergelijken van de profielen van Delfland en Rijnland dat de vooroever ca 2 m hoger moet liggen, om een kustwaarts transport van $10 \text{ m}^2/\text{jaar}$ te geven i.p.v. evenwicht.

Daar de interactie tussen strand en vooroever ongetwijfeld veel sterker zal zijn dan tussen vooroever en getijzone, is het mijn angstige vermoeden, dat een signaal uit de getijzone wel bijzonder luid en duidelijk zal moeten zijn, wil je er bij de kustlijn nog iets van kunnen onderscheiden.

Daarom is mijn eerste reactie op de tweede Waarheid van Wiersma:

Ik geloof met hem, dat het systeem niet zanddicht is. Ik ben eveneens overtuigd, dat buiten de brandingszone nog grote veranderingen in de getijzone optreden.

Alleen: ik geloof, dat de interactie tussen getijzone en brandingszone dusdanig klein is, dat je, om het gedrag van de strandzone over een 100-jarige periode te begrijpen, je het gedrag van de getijzone in eerste instantie niet hoeft te begrijpen. Uiteraard sluit ik bij deze beschouwing de omgeving van de havendammen uit.

Mijn expose' staat aan het begin van een discussie. Het lijkt mij niet juist, deze discussie met vaste conclusies in te gaan. Ik ben graag bereid mijn mening door een betere te vervangen. Anderzijds heeft U wel recht om te weten, met welke vooroordelen ik de discussie inga. Vandaar een inventarisatie van mijn vooroordelen.

Vooroordelen:

1. Het zal bijzonder moeilijk zijn het ongelijk van de waarheid van Edelman aan te tonen.
Het lijkt, alsof ononderbroken stukken Nederlandse kust luid en duidelijk op krommingen reageren.
2. Zand wordt in de brandingszone langs de kust getransporteerd en voedt van daaruit het strand, d.m.v. dwarstransport. Dit proces bepaalt tevens de helling van de kust.
3. Buitendelta's , estuaria's en de omgeving van havendammen hebben heel andere mechanismen.
4. Bij de overige gebieden langs de schone kust zal het erg moeilijk zijn uit 100 jaar waarnemingen invloeden uit de getijzone op de kust aan te tonen.
5. De snelste manier om een redelijke voorspelling van het kustgedrag in het kader van de Werkgroep 100 te maken is het bestuderen van het Jarkus-bestand m.b.v. Kalman-filtering.
6. Teneinde de nauwkeurigheid van die voorspelling op te voeren is het zinvol eerst de periode van de beweging van de brandingsruggen op de diverse kustgedeelten te onderzoeken.

Erkentelijkheid

De schrijvers zijn de Heer H. de Vroeg erkentelijk, die bij de voorbereiding van de lezing en bij de vervaardiging van een eerste concept van deze nota waardevolle assistentie heeft verleend.

LITERATUUR.

- [1] Edelman, ir.T.,
Erosie en Aanwas van het kustvak Den Helder - Hoek van
Holland
Rijkswaterstaat, Afdeling Kustonderzoek, Studierapport
WKK 61-1. (1961)
- [2] Rijkswaterstaat en Delft Hydraulics Laboratory,
Manual on Artificial Beach Nourishment
Volume B, Annex V, Hindcast Computations of some
Projects.
- [3] Bakker, ir.W.T.,
A mathematical Theory about Sand Waves and its
Application on the Dutch Wadden Isle of Vlieland
Shore and Beach, 1968
- [4] Casteleyn, J.A.,
Numerieke Berekening van de Verandering van Kustvormen
onder de Invloed van Golfaanval
Deel III, Toetsing van de programmatuur op de
kustontwikkeling van het eiland Texel
Technische Hogeschool, Afd. Civiele Techniek, Vakgroep
Kustwaterbouwkunde, Technisch Rapport 75-3 (1975)
- [5] Janssen, J.
Onderzoek naar de Kustontwikkeling en het Zandtransport
te Scheveningen.
Technische Hogeschool, Afd. Civiele Techniek, Vakgroep
Kustwaterbouwkunde, Afstudeerrapport (1975)
- [6] Bendegom, ir. L. van,
Beschouwingen over de Grondslagen van de
Kustverdediging.
Rijkswaterstaat, Directie Benedenrivieren - Noordelijke
Afdeling Studiedienst (1949)
- [7] Vroeg, H.de,
Schematisering Brandingsruggen met behulp van jaarlijkse
Kustmetingen
Technische Hogeschool, Afd. Civiele Techniek, Vakgroep
Kustwaterbouwkunde, Afstudeerrapport (1986)
- [8] Bakker, ir. W.T.,
Berekening van het Langstransport door Golven met de
methode van Evenwijdige Dieptelijnen
Rijkswaterstaat, Afdeling Kustonderzoek, Studierapport
WKK 69-7. (1969)
- [9] Schoorl, H.,
Zeshonderd jaar Water en Land.,
Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands
Aardrijkskundig Genootschap, no 2, 1973

A₁₁

APPENDIX A

MATHEMATISCH KUSTLIJNMODEL VOOR DE HOLLANDSE KUST

In de voorliggende notitie wordt de conceptie van Edelman [1] vertaald in een mathematisch model.

Deze conceptie kan als volgt worden verwoord:

- a. De kust is hol en zandt aan;
- b. Ten gevolge van het Marsdiep ontstaat een "erosiekuil" aan de Noordzijde van de kust;
- c. Ten gevolge van de Waterweg ontstaat een "erosiekuil" aan de Zuidzijde van de kust

Het mathematische model is gebaseerd op het een-lijn-model, waarin de ligging van de kust wordt voorgesteld door een enkele lijn.

Om tot de kustvergelijking, die het gedrag van de kustlijn beschrijft, te komen, worden twee vergelijkingen opgesteld:

$$\frac{\partial S_x}{\partial x} + h \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

de continuïteitsvergelijking,

waarin: S_x = het langstransport, afhankelijk van de afwijking van de kustlijn van de x-as;

x = de gemiddelde kustring;

h = de hoogte waarover het kustprofiel wordt gedacht op te schuiven bij erosie of aanwas van de kust; hierbij wordt dus verondersteld dat de vorm van het profiel, het evenwichtsprofiel, behouden blijft;

y = de coördinaat die loodrecht op de x-as staat, wijzend in de richting van de zee;

t = de tijd.

$$S_x = S_0 - s \frac{\partial y}{\partial x} \quad (2)$$

Dit is de gelineariseerde bewegingsvergelijking, gebaseerd op de CERC-formule)

waarin: S_0 = het langstransport wanneer de kustring evenwijdig is aan de x-as;

s = de verandering van het langstransport per radiaal kustlijnverdraaiing.

Pelnaad - Conventies

Basisgedachte bij de linearisatie van de bewegingvergelijking is dat $\partial y / \partial x$ een benadering is voor α , waarin α de hoek is die de kustlijn met de x-as maakt.

Voor kleine hoeken α gaat dit op.

Invullen van (2) in (1) levert de kustvergelijking:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{s}{h} \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (3)$$

In deze beschouwing is er wel van uit gegaan dat h, S en s constant zijn, zowel in x-richting als in de tijd. De kustvergelijking (3) staat bekend als de kustvergelijking van Pelnard-Consideré. Het is een diffusievergelijking, een vergelijking van het parabolische type; voor de numerieke behandeling hiervan zijn twee randvoorwaarden en een beginvoorwaarde benodigd. Het volgende differentieemodel wordt voorgesteld:

$$\frac{y(x, t + \Delta t) - y(x, t)}{\Delta t} = \frac{s}{h} \frac{y(x + \Delta x, t) - 2y(x, t) + y(x - \Delta x, t)}{(\Delta x)^2} \quad (4)$$

Dit is een expliciet numeriek schema.

Voor een betere hanteerbaarheid kan deze differentievergelijking in een wat meer algemene vorm worden geschreven:

$$y(x, t + \Delta t) = C \cdot y(x + \Delta x, t) + (1 - 2C) \cdot y(x, t) + C \cdot y(x - \Delta x, t) \quad (5a)$$

$$\text{waarin: } C = \frac{s}{h} \cdot \frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} \quad (5b)$$

Wanneer nu als tijdstap in het numerieke model wordt gekozen:

$$\Delta t = (\Delta x)^2 / (2 s/h) \quad \Rightarrow \quad C = 1/2 \quad (5c)$$

(naar een idee van E. Schmidt), dan reduceert de bovenstaande differentievergelijking tot:

$$y(x, t + \Delta t) = (y(x + \Delta x, t) + y(x - \Delta x, t)) / 2 \quad (6)$$

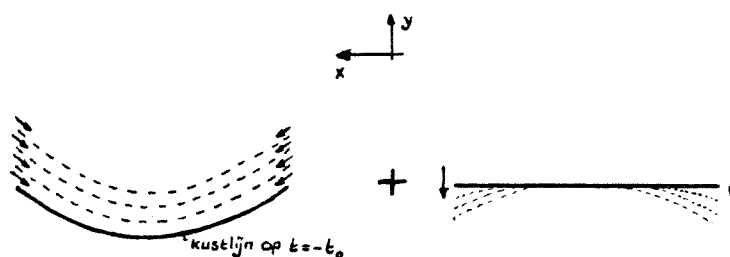
De gekozen tijdstap brengt het numerieke model precies op de rand van stabiliteit, omdat de diffusieparameter $\theta = 1$.

In grote lijn heeft de huidige kustlijn een parabolisch verloop tussen de kilometers 30 en 90, zoals die zijn uitgezet op de referentielijn. (De referentielijnkilometers komen niet exact overeen met het kilometerraaienstelsel langs de kust; wanneer niet iets anders wordt vermeld, wordt verder gerekend met de referentielijnkilometers.) De pijl van deze parabool is ong. 4,1 (km).

Uitgaande van de conceptie van Edelman en van het bestaan van een paraboolvormige kustlijn op een bepaald begintijdstip $t = -t_0$ bestaan er twee in principe verschillende mogelijkheden om de kustontwikkeling vanaf dit tijdstip aan te geven:

mogelijkheid 1: de kustlijn kan bepaald worden uit een superpositie van een aanzandende parabool over de gehele afstand op een rechte waarvan t.p.v. de beide randen vanaf $t = -t_0$ een constante hoeveelheid zand wordt onttrokken (de zogenaamde "negatieve delta's", zie blz. A7)

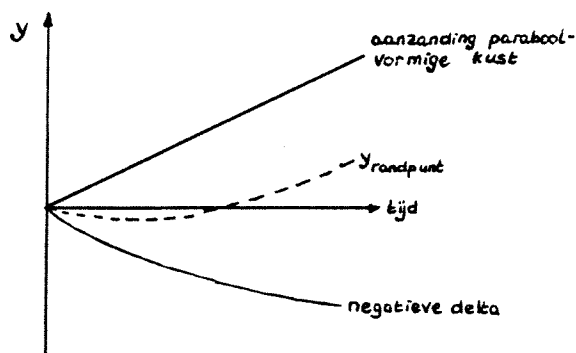
E.e.a. is schematisch voorgesteld in fig. A1



FIGUUR A1

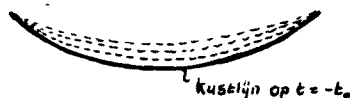
Een consequentie van dit model is dat de kustrichtingen t.p.v. beide randen constant in de tijd blijven (omdat constant dezelfde hoeveelheid sedimenttransport t.p.v. de randen plaatsvindt).

Het gedrag van een randpunt is gestreept weergegeven in fig. A2



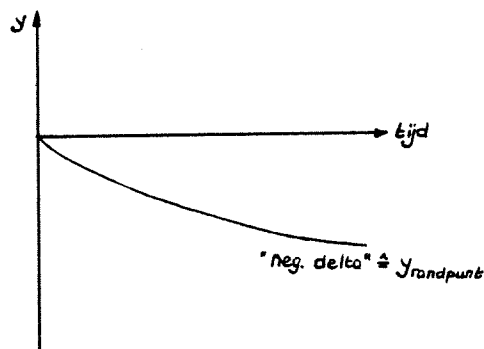
FIGUUR A2

mogelijkheid 2: de kustlijn kan bepaald worden uit een superpositie van een zich opvullende parabool vanaf $t = -t_0$, waarvan de randpunten plaatsvast zijn op een rechte waarvan weer t.p.v. de beide randen vanaf $t = t_0$ een constante hoeveelheid zand wordt onttrokken. Alleen het paraboolmodel verschilt dus van die van mogelijkheid 1 (fig A3):



FIGUUR A3

Een consequentie van dit model is, dat de hellingen $\partial y / \partial x$ t.p.v. beide randen niet constant in de tijd blijven (omdat de hoeveelheid sedimenttransport niet constant in de tijd is). Het gedrag van een randpunt is in fig. A4 weergegeven:



FIGUUR A4

Naar aanleiding van het gedrag van de randpunten kiezen we "mogelijkheid 2" als beste weergave van het kustgedrag volgens Edelman.

Op een zeker begintijdstip, $-t_0$ t.o.v. heden, wordt een parabolische Hollandse kustlijn verondersteld; deze kustlijn zandt volgens vergelijking (3) aan, waarbij aan beide randen de genoemde verstoringen aanwezig zijn.

Kies de x-as door de op de kustlijn gelegen punten ter plaatse van km. 30 en km. 90. uit curve-fitting blijkt dan, dat deze kustlijn (tussen km. 30 en km. 90) op het huidige tijdstip de volgende vorm heeft:

$$y = C_1 \cdot (x-60)^2 + C_2 \quad (7a)$$

$$\text{waarin: } C_2 = -4,1 \text{ km} \quad (7b)$$

$$\text{en: } C_1 = 4,1 / (90 - 30)^2 = 4,56 \cdot 10^{-3} \text{ km}^{-1} \quad (7c)$$

Volgens Edelman zandt het parabolische kustgedeelte met een snelheid van 0,65 (m/jaar) aan. Vergelijking (3) zegt dat de aanzanding (of erosie) evenredig is met de kromming van de kust.

De aanzanding volgens het bovenstaande model is dus:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{s}{h} \cdot 2Cl \rightarrow \frac{s}{h} = \frac{1}{2Cl} \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{1}{2 \cdot 4,56 \cdot 10^{-2} \text{ (km}^2\text{)}} \cdot 0,65 \text{ (m/jaar)} = 71,3 \cdot 10^3 \left(\frac{\text{m}^2}{\text{jaar}} \right)$$

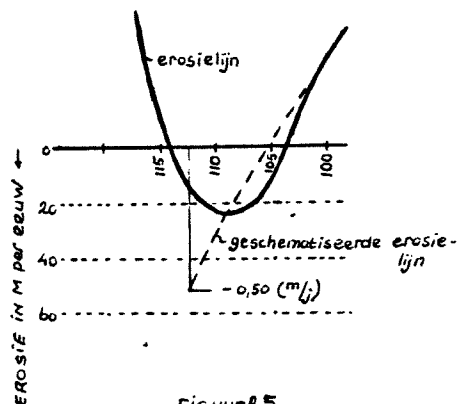
M.b.v. tabel 1 uit deze nota kan deze "kustconstante" s/h vergeleken worden met waarden, gevonden langs andere kustgedeelten. De conclusie kan worden getrokken dat de orde van grootte blijkt overeen te komen met die, gevonden in andere studies.

Hoe moeten we de beide randvoorwaarden in het numerieke schema nu inpassen?

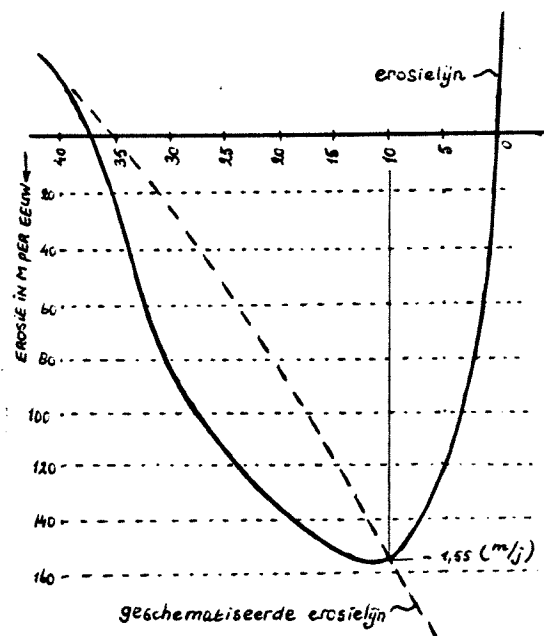
Bij km 10 en km 110 vindt ongeveer de grootste erosie plaats volgens de geschematiseerde erosielijn, zoals die is ingetekend in de erosiegrafiek die uit de notitie van Edelman is gehaald (Zie fig. A5 en fig. A6). Ter plaatse van de genoemde punten is tegenwoordig de kustligging en de snelheid van de kusterosie bekend.

	km 10	km 110
kusterosie $\partial y / \partial t =$	-1,55	-0,50
(m/jaar)		

Wat betreft de kusterosie t.p.v. km 110 het volgende: referentiekilometer 110 komt ongeveer overeen met kilometeraai 113; de geschematiseerde erosielijn heeft daar ongeveer een waarde gelijk aan -0,50 (m/jaar). Zie fig. A5).



Figuur A5



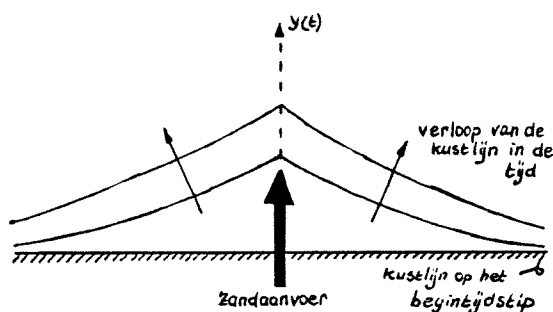
Figuur A6

Referentiekm 10 komt ongeveer overeen met kilometerraai 10. In fig. A6 is aangegeven dat de erosiesnelheid daar ong. 1,55 (m/jaar) is.

Zoals gesteld, wordt het transport aan een rand opgebouwd gedacht uit 2 componenten:

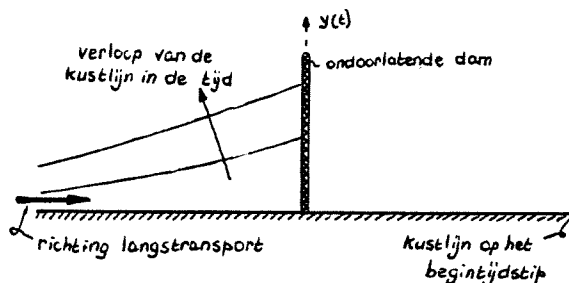
1. een variabel transport, zodanig dat het uiteinde van de parabool (fig. A5) op zijn plaats blijft;
2. een (vanaf een zeker begintijdstip) in de tijd constant transport, welke de randstoring bij of Marsdiep of Waterweg veroorzaakt.

Bij een oorspronkelijk rechte kustlijn veroorzaakt een stationaire zandtoevoer in een punt (afgezien van het langs deze kustlijn aanwezige transport) een deltavorm (fig. A7).



FIGUUR A7

Een bijzonder geval hiervan, een "halve delta", treedt op bij een ondoorlatende dam, waar al het langstransport wordt belemmerd (fig. A8).



FIGUUR A8

De kustuitbreiding t.p.v. de ondoorlatende dam is, volgens de standaard-oplossing van het probleem met de ondoorlatende dam, te schrijven als:

$$y(t) = tg \phi \cdot \sqrt{\frac{4 (s/h) t}{\pi}} \quad (8)$$

, met $tg \phi = \partial y / \partial x$ t.p.v. de dam.

Dus ϕ is de hoekverdraaiing t.p.v. de rand t.o.v. de x-as; het transport t.p.v. de rand is dan volgens vgl (2):

$$[S]_{x \text{ rand}} = S_0 - s.tg \phi$$

De grootte van S_0 is niet relevant voor de oplossing van de kustlijnvergelijking; de hoeveelheid materiaal die per tijdseenheid aan de kust wordt toegevoegd over het gebied van de "halve delta" bedraagt $s.tg \phi$; dit volgt uit continuïteitsoverwegingen.

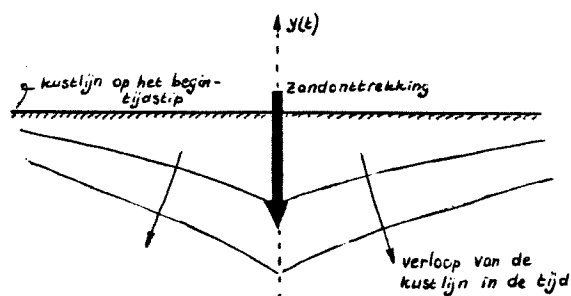
Vergelijking (8) iets anders geschreven levert:

$$y(t) = 2 tg \phi \cdot \sqrt{\frac{s/h}{4}} \cdot \sqrt{t}$$

Hieruit kan dus o.a. worden afgeleid dat de kustuitbreiding evenredig is met $\sqrt{t}$. Na differentieren naar de tijd van vgl. (8) volgt:

$$\frac{\partial y}{\partial t}(t) = tg \phi \cdot \frac{\sqrt{s/h}}{\sqrt{4}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (9)$$

Onttrekken van materiaal aan de kust resulteert in een negatieve waarde van ϕ ; er ontstaat dan een "negatieve delta" (fig. A8); en idem als hierboven vermeld is een negatieve halve delta na te bootsen.

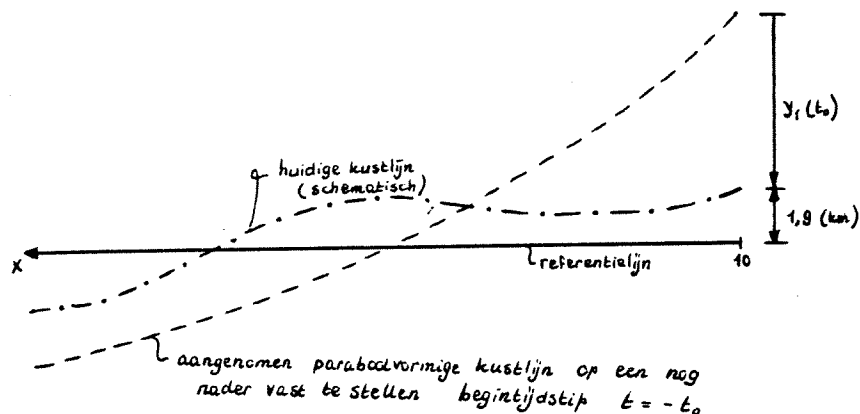


FIGUUR A9

In de huidige conceptie wordt dus aan de linkerzijde en de rechterzijde resp. links en rechts onttrokken, hetgeen de "negatieve halve delta's" oplevert. Anderzijds wordt via de randen ook zand toegevoegd om er voor te zorgen dat de parabool volgens fig. A5 dichtzandt.

A3

Het bovenstaande model wordt nu aangepast aan de rechterrاند (km 10), m.a.w. het huidige kustgedrag voor wat betreft ligging en erosiesnelheid wordt nu nagebootst. Fig. A 10 geeft een illustratie van de denktrant.



FIGUUR A10

Het huidige stuk parabool tussen km 30 en km 90 kan worden voorgesteld door:

$$y(x) = 4,56 \cdot 10^{-3} \cdot (x-60)^2 - 4,1 \text{ (km)}$$

Beginparabool:

$$y(x, -t_0) = 4,56 \cdot 10^{-3} \cdot (x-60)^2 - 4,1 - 0,65 \cdot 10^{-3} \cdot t_0 \text{ (km)}, \quad (10)$$

waarin t_0 het aanvangstijdstip is t.o.v. heden (in jaren). Hieruit volgt:

$$y(10, -t_0) = 7,3 - 0,65 \cdot 10^{-3} \cdot t_0 \text{ (km)}$$

De huidige y-coördinaat van de kustlijn t.p.v. km 10 bedraagt (zie fig. A10):

$$y(10, 0) = 1,9 \text{ (km)}$$

De verschuiving van het randpunt t.p.v. km 10 bedraagt dus sinds het aangenomen begintijdstip:

$$y(10, -t_0) - y(10, 0) = 5,4 - 0,65 \cdot 10^{-3} \cdot t_0 \text{ (km)} \quad (11)$$

Dit is ten gevolge van de werking van de "negatieve delta" uit (8) en (11) volgt:

$$2 \cdot t_0 \phi \cdot \frac{\sqrt{s/h}}{\sqrt{s}} \cdot \sqrt{t_0} = 5400 - 0,65 \cdot t_0 \text{ (m)} \quad (12)$$

De kusterosie op het huidige moment bedraagt, volgens verg. (9) en fig. A2: A6

$$\frac{\partial y}{\partial t}(t_0) \cdot t_0 \phi \cdot \frac{\sqrt{s/h}}{\sqrt{s}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t_0}} = 1,55 \text{ (m/jaar)} \quad (13)$$

Kies $h = 25$ (m) (zie tabel 1 in de nota), dan wordt uit (7) voor s gevonden:

$$s = 1.782.500 \text{ (m}^3\text{/jaar)}$$

In het vervolg wordt $S_0 = 0$ gesteld, m.a.w. er wordt aangenomen dat de golven geen resulterend transport geven als de kust evenwijdig aan de x-as loopt.

Bij de gevonden oplossingen kan altijd een constant transport van willekeurig te kiezen grootte worden opgeteld, zonder dat dit de kustlijnvervorming beïnvloedt.

Uit berekening van langstransport door golven (8) volgt, dat dit transport in ieder geval niet zeer groot zal zijn (onder de huidige omstandigheden).

Omdat aan de rechterrands S_{rechts} wordt onttrokken volgens het idee van de negatieve delta, kan dan geschreven worden:

$$s \cdot \text{tg } \phi_{rechts} = S_{rechts} \rightarrow \text{tg } \phi_{rechts} = S_{rechts} / s$$

$$\text{Uit (13) volgt dan: } t_0 = 2,974 \cdot 10^{-9} \cdot S_{rechts}^2 \quad (14)$$

(S_{rechts} in $\text{m}^3\text{/jaar}$)

Invullen van (14) in (12) levert:

$$S_{rechts} = 695.900 \text{ (m}^3\text{/jaar)}$$

$$t_0 = 1440 \text{ (jaar)}$$

De beginparabool van ong. 1440 jaar geleden luidt dus: invullen in (10)

$$y = 4,56 \cdot 10^{-3} (x-60)^2 - 5,036 \text{ (km)} \quad (15)$$

Voor de linkerrand (km 110) wordt de huidige erosiesnelheid nagebootst:

$$\frac{\partial y}{\partial t}(t) = \text{tg } \phi_{links} \cdot \frac{\sqrt{(s/h)}}{\sqrt{t}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}} = 0,50 \text{ (m/jaar)}$$

Hieruit volgt:

$$S_{links} = 224.500 \text{ (m}^3\text{/jaar)}$$

Als oplossing vanaf het tijdstip nul (ong. 1440 jaar geleden) wordt dus een constant aangroeiende kustlijn verkregen, in grootte afnemend paraboolvormig, met aan beide randen een verstoring, die met het verstrijken van de tijd in een steeds groter gebied merbaar is. (Dit laatste geldt voor het numerieke model; fysisch is een verstoring direct overal (doch ver weg zeer weinig) merkbaar!)

De verstoring t.p.v. km 10 bestaat uit een constante zandonttrekking aan de kust ter grootte van 695.900 (m/jaar), t.p.v. km 110 uit een dito onttrekking ter grootte van 224.500 (m³/jaar).

Nu alle constanten bekend zijn, zou de berekening van de kustlijn $y(x,t)$ analytisch kunnen worden opgelost, daar ook een analytische oplossing voor de deltavormen de aanznende parabool bekend is.

Gekozen is echter, op praktische gronden, voor een numerieke aanpak, m.b.v. vergelijking (6).

In het numerieke schema is met een gridafstand Δx van 5(km) gewerkt.

Volgens de uitdrukking $\Delta t = (\Delta x)^2 / (2s/h)$ wordt Δt dan ong.

175 jaar.

In de bijgevoegde computeruitvoer (bijl.1) wordt, uitgaande van de beginparabool op het tijdstip 1440 B.P. (Before present), het verloop van de kustlijn in de tijd in getallen weergegeven.

Het begintijdstip, samen met de gehanteerde tijdstap Δt , is er de oorzaak van dat het programma niet precies de kustlijn van 100 jaar geleden en niet in stappen van 100 jaar berekent. De aanwas en erosie gedurende de laatste 100 jaar is gevonden m.b.v. lineaire interpolatie, hetgeen een geringe onnauwkeurigheid in zich bergt.

In fig. 2 is het berekende kustlijnverloop voor enkele tijdstippen aangegeven. In deze figuur is het gedrag van de kustlijn nabij de randen te zien t.g.v. "de opvullende parabool" (zie fig. 5); de kustring is niet constant in de tijd.

Wordt als voorbeeld de rand t.p.v. km 10 genomen: beginnend met de parabool op het tijdstip 1440 B.P. neemt de kustring toe in de tijd. (y-as positief zeewaarts, x-as positief in de richting van toenemende kilometrering langs de referentielijn). In het limietgeval, wanneer de parabool volgens fig. A5 geheel is volgelopen, neemt de kust hier de helling aan die behoort bij de oplossing van de negatieve delta:

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{S_{\text{rechts}}}{s} = \frac{695.900}{1.782.500} = 0,39$$

M.b.v. vergelijking (2) (met de aanname van $S_0 = 0$) is door meting van de hellingen t.p.v. de randpunten een globaal beeld te krijgen van het sedimenttransport dat t.p.v. deze randpunten in het verloop van de tijd optreedt. Dit tijdsverloop is voor beide randen ook in fig. 2 aangegeven. In figuur 3 is de berekende huidige kustlijn vergeleken met de werkelijk aanwezige huidige kustlijn.

In de computeruitvoer (bijlage 1) worden deze lijnen aangegeven met resp. de kolommen O. BER en O. GEM. Voorts worden daar nog de fout en de kwadratische fout gegeven, die volgen uit vergelijking van genoemde 2 kolommen. Vervolgens kunnen de gemiddelde fout en de standaardafwijking de kustligging worden berekend; deze laatste als de beginparabool 334 m (= de gemiddelde fout) zeewaarts wordt opgeschoven. De standaardafwijking is dan ca 800 m.

In figuur 4 is de berekende kustlijn voor het tijdstip + 1010 jaar na heden aangegeven en in figuur A11 is de berekende kustlijn van ca. 1220 n. Chr. vergeleken met de werkelijke kustlijn (voor zover bekend) van ca. 1300 n. Chr., zoals die globaal door Schoorl [9] is aangegeven.

Voor het noorden des lands is te zien dat het model tenminste een nadere afregeling behoeft.

In figuur 5 is de berekende erosie/aanwas over het tijdvak 1860 - 1960 vergeleken met de werkelijke erosie/aanwas over hetzelfde tijdvak volgens Edelman.

Discussie

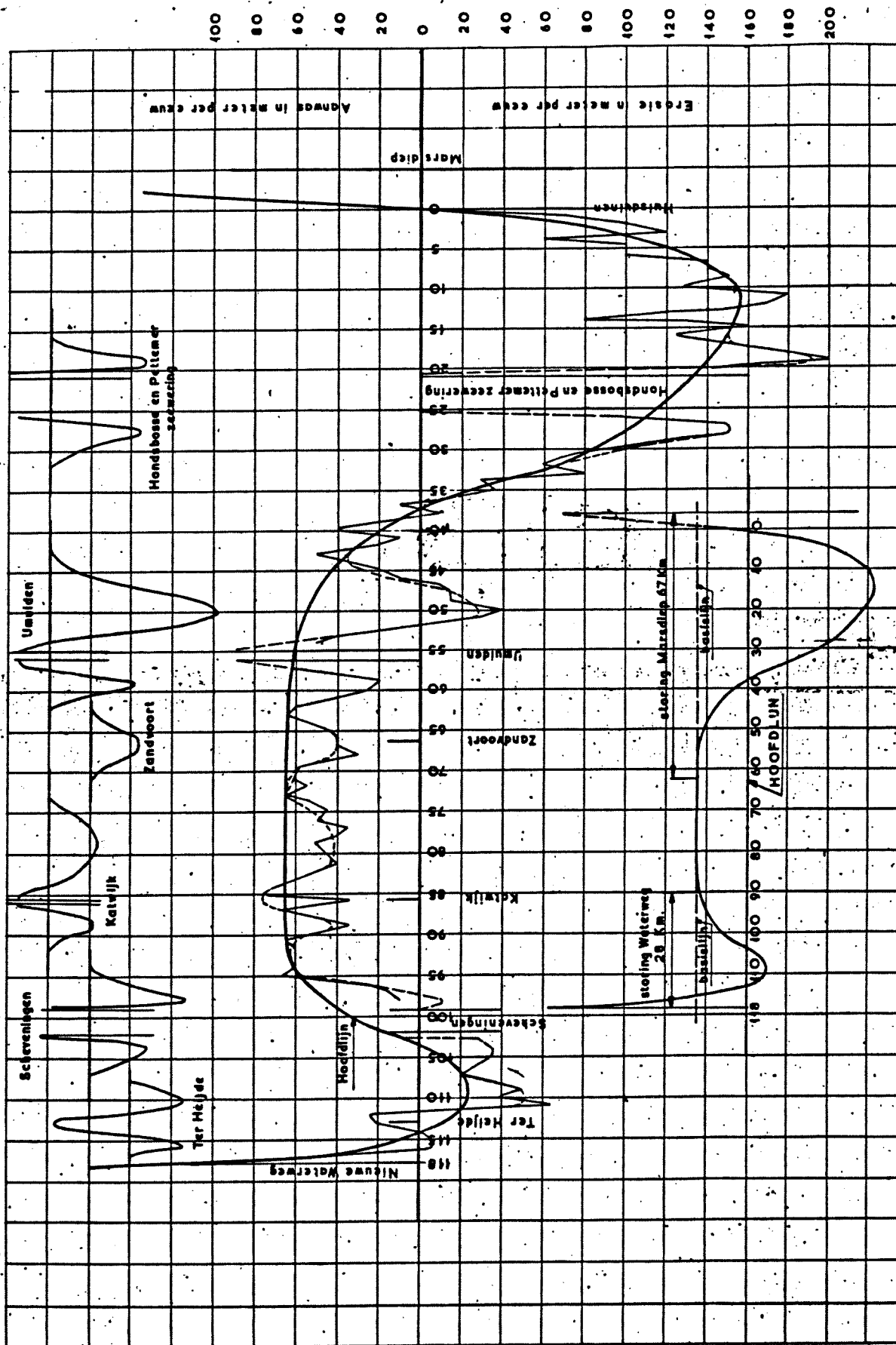
De berekening is niet meer dan een allereerste schets. Deze heeft voornamelijk de bedoeling de mogelijkheden en beperkingen van een dergelijk model aan andere disciplines duidelijk te maken.

Indien het kaartje van fig. A11 (op een dergelijke schaal en met een dergelijke nauwkeurigheid) zou kunnen worden aangevuld tot de Nieuwe Waterweg, zou een "tweede slag" mogelijk zijn.

Hierbij bestaat ook veel behoefte aan enige voorovergegevens (bijv. de ligging van de lijn van NAP -4m).

Verder is kennis gewenst welke lijn met "kustlijn wordt aangegeven (de duinvoet, HW-lijn of LW-lijn).

In de toekomst lijkt het mogelijk, de invloed van relatieve zeespiegelrijzing en dwarstransport (eerst globaal en naderhand verfijnder) in te voeren.



figuur 1

EROSIE en AANWAS van het KUSTVAK
DEN HELDER-HOEKV. HOLLAND

Stuudrapport
W.W.K. 64-1

RUKS WATERSTAAT
DIRECTIE W. en W.
AFD. KUSTONDERZOEK

Getek. Gezien. Acc.
10 10 10

A2 Nr. 61.045

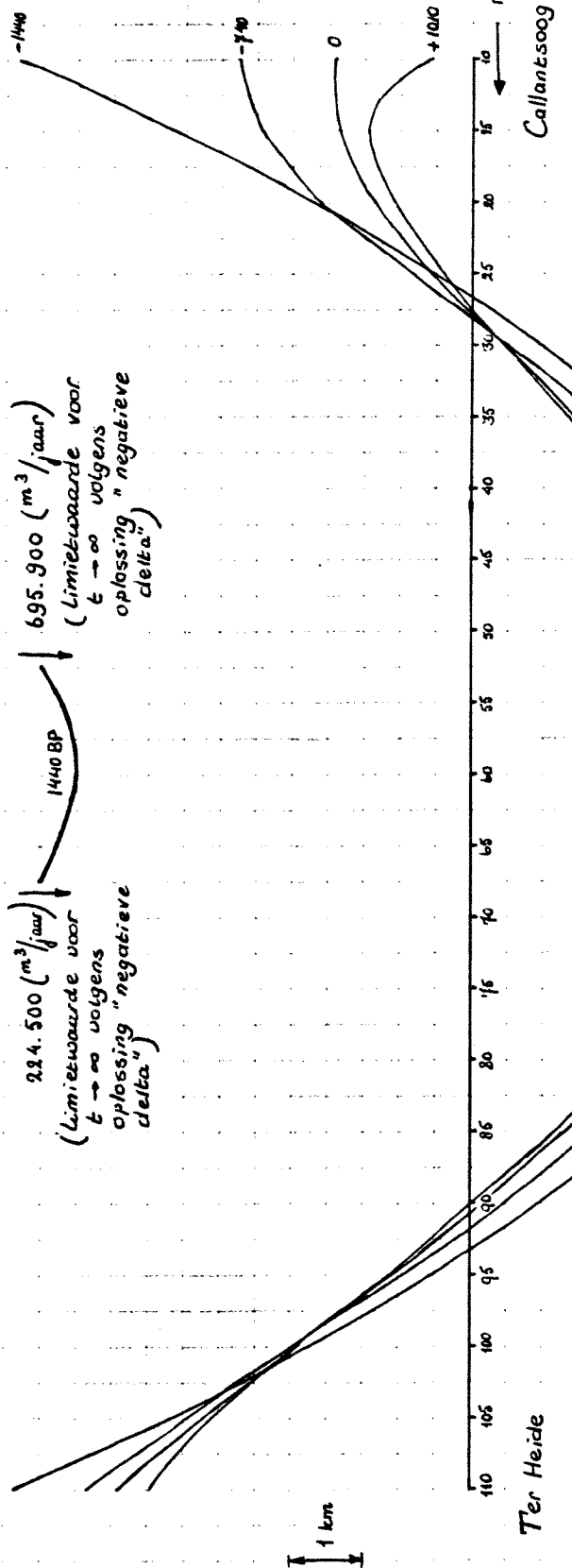
Callantsoog

Ter Heide

224.500 ($m^3/jaar$)
(Limietwaarde voor $t \rightarrow \infty$ volgens oplossing "negatieve delta")

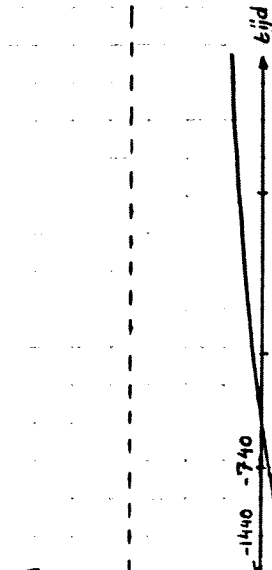
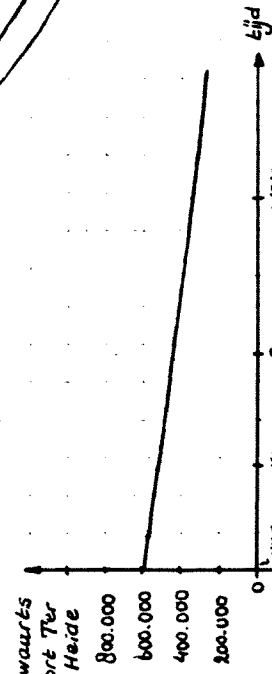
1440 BP

695.900 ($m^3/jaar$)
(Limietwaarde voor $t \rightarrow \infty$ volgens oplossing "negatieve delta")



Noordwaarts transport Ter Heide in (m^3/j)

Noordwaarts transport C' oog in (m^3/j)

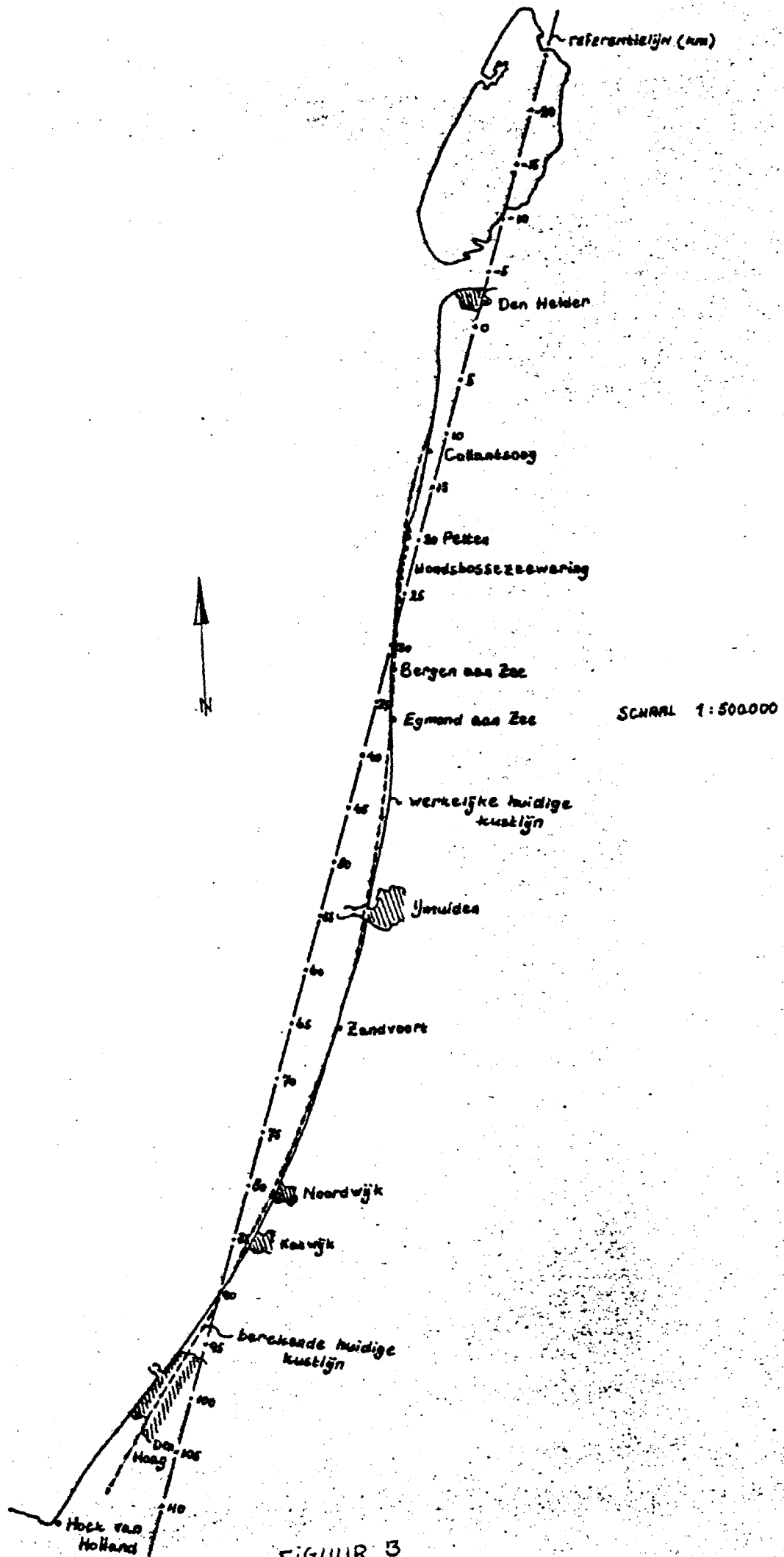


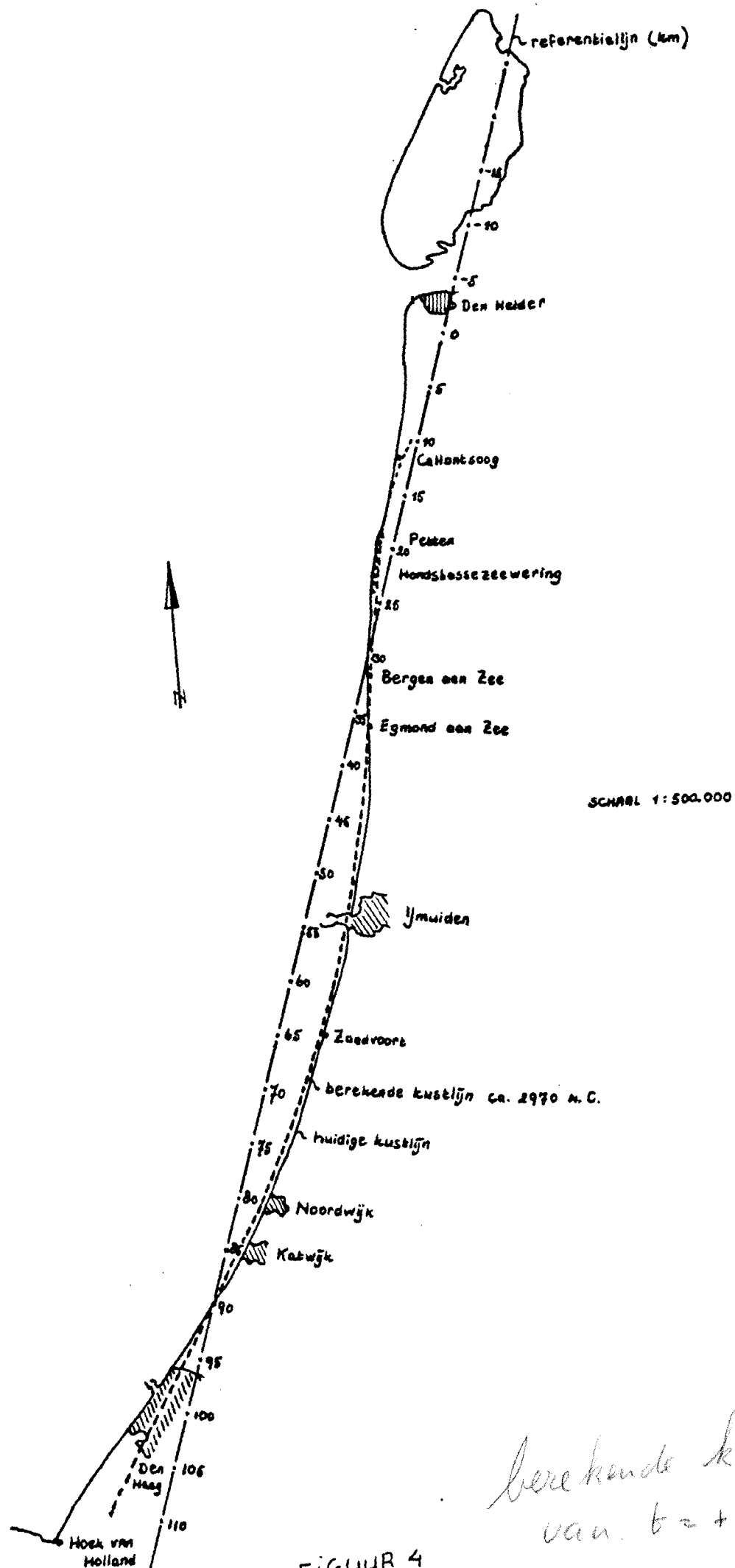
Zuidwaarts transport Ter Heide

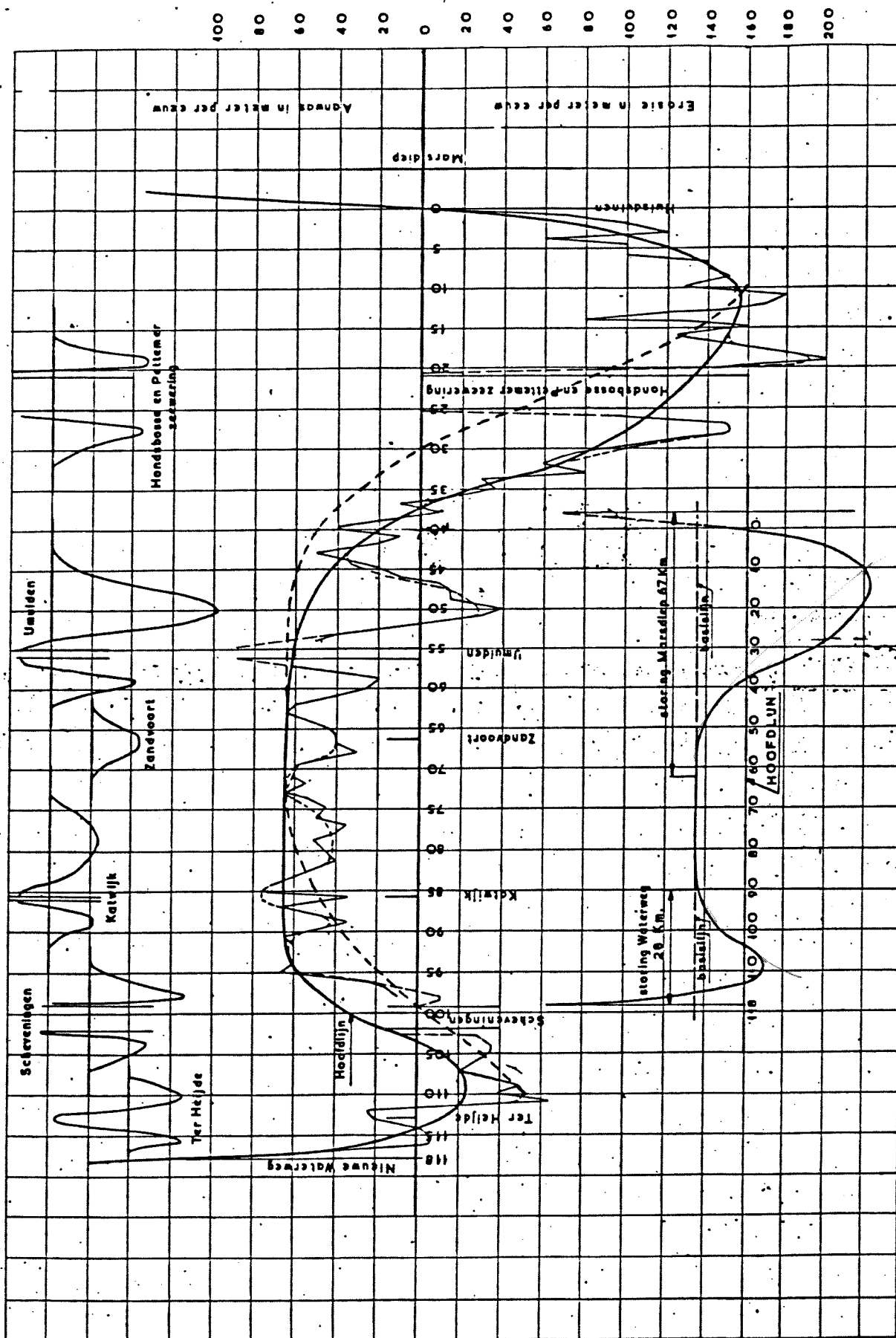
Zuidwaarts transport C' oog



FIGUUR 2







EROSIE / AANWAS

Bakker - - -

Edelman —

EROSIE en AANWAS van het KUSTVAK
DEN HELDER-HOEK v. HOLLAND

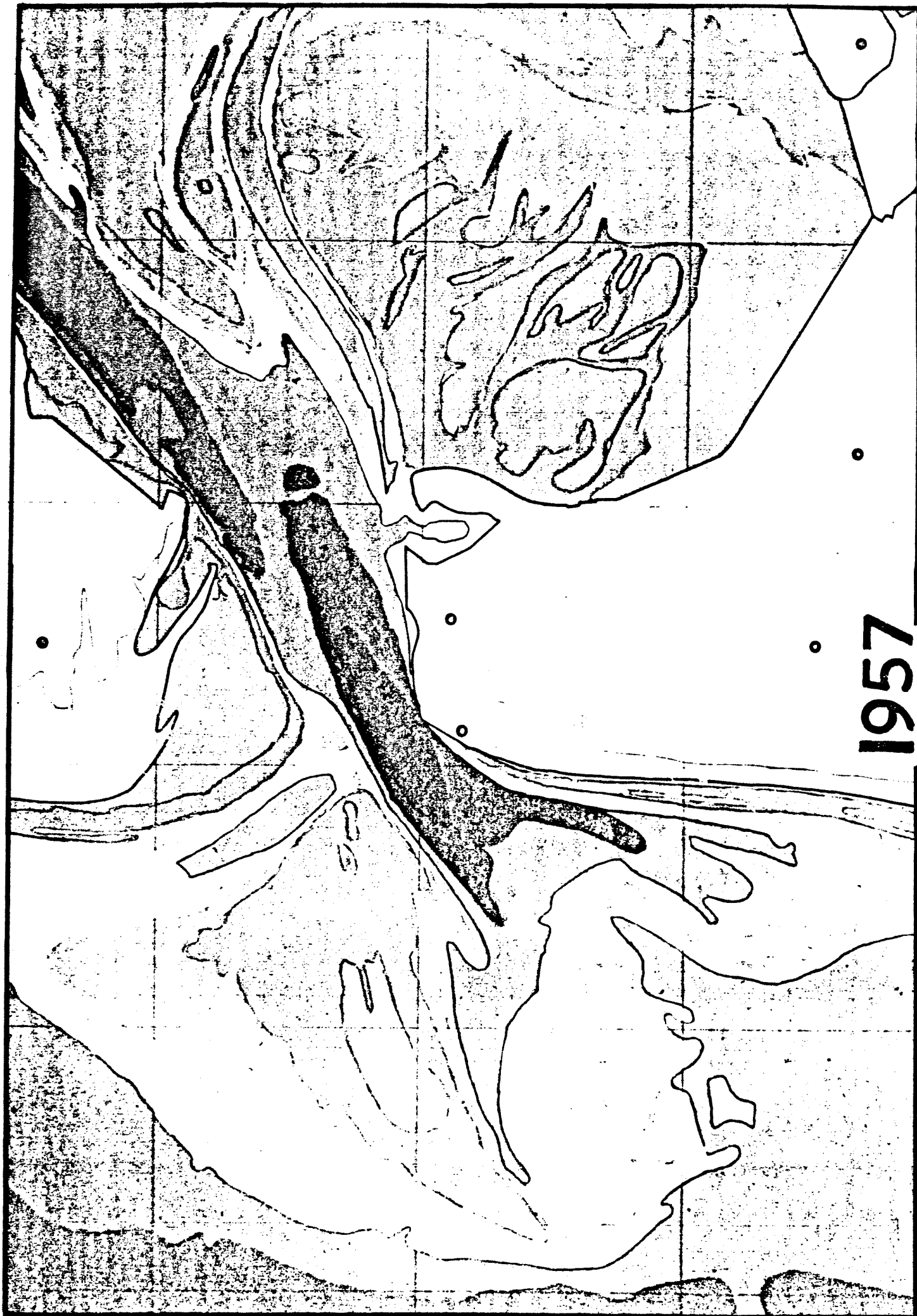
Stuudrapport
W.W.K. 61.045

RIJKS WATER STAAT
DIRECTIE W. en W.
AFD. KUSTONDERZOEK

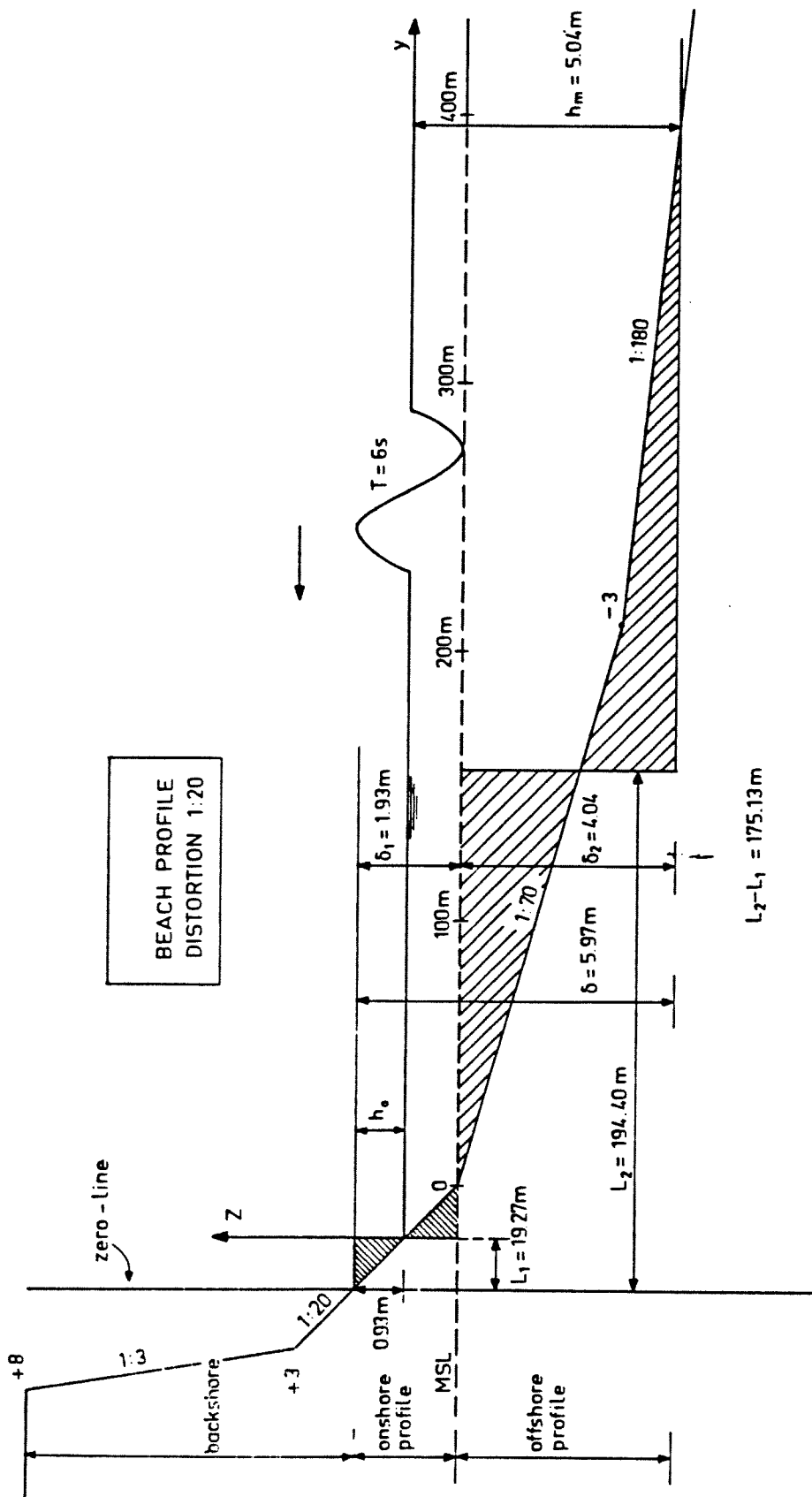
Getek. Gezet. Acc.
H. 10

A2 Nr. 61.045

figuur 5

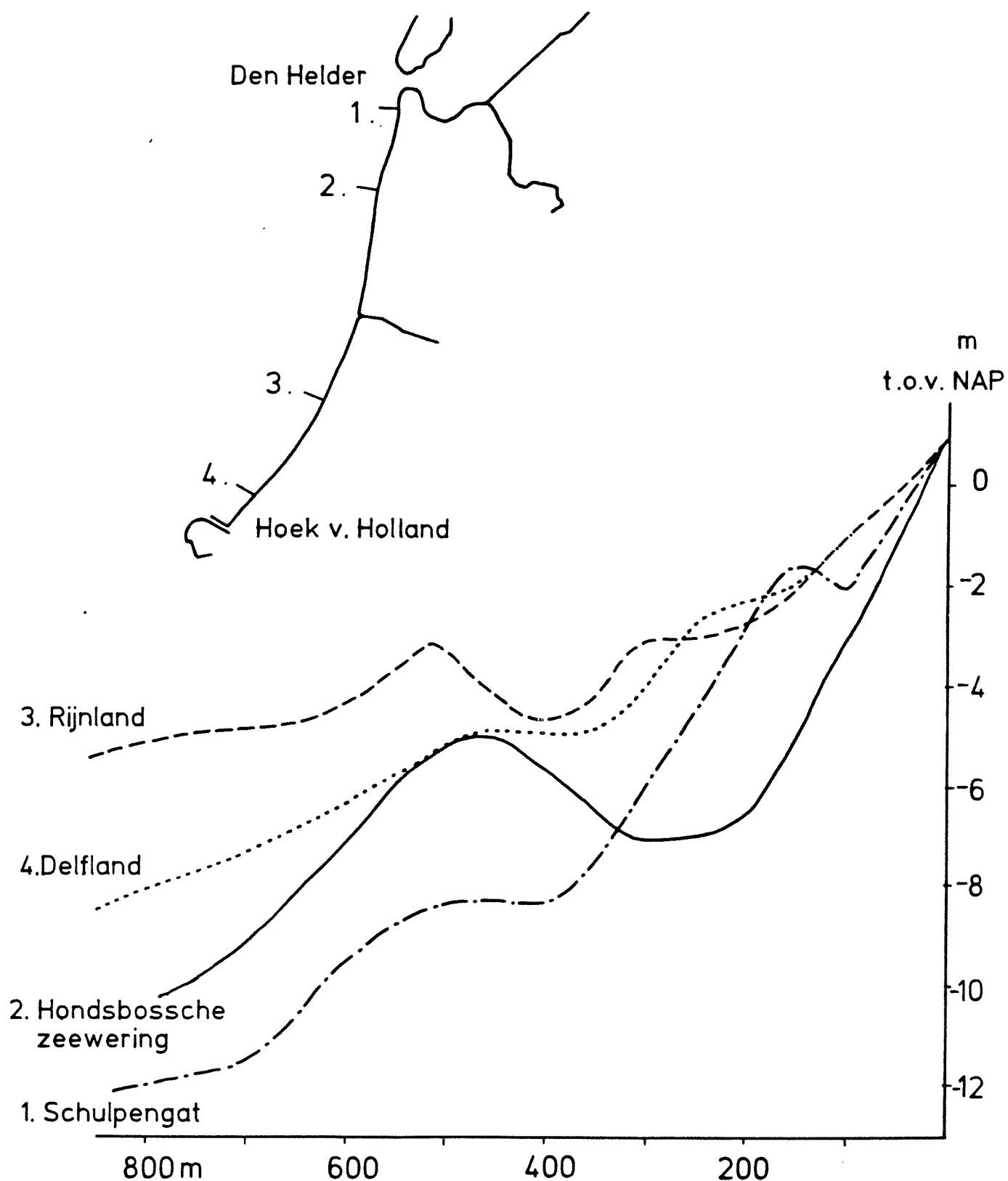


figuur 6



$$L_2 - L_1 = 175.13\text{m}$$

figuur 8



Kustprofielen langs de Hollandse kust

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren
visuele vormgeving

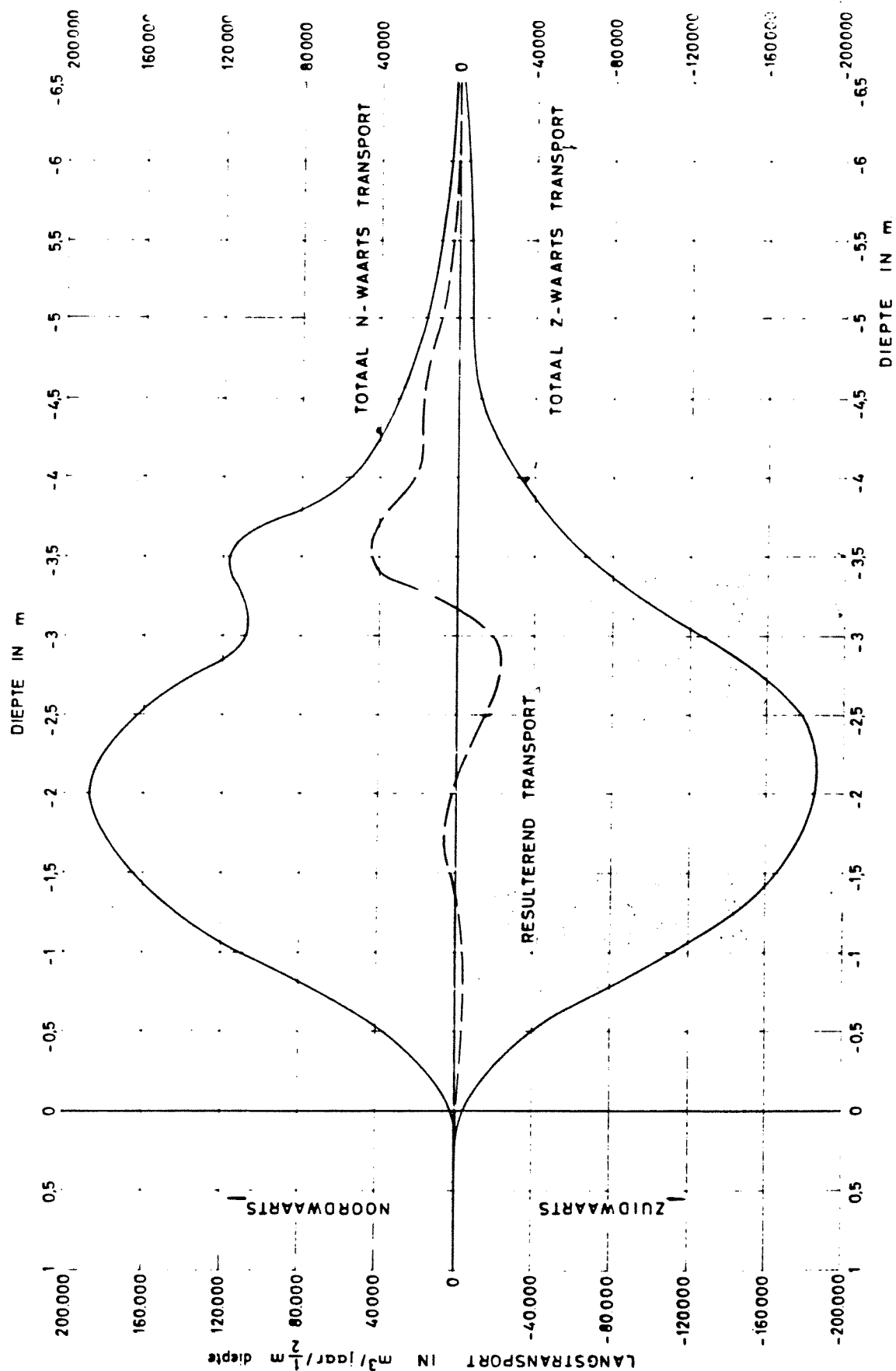
get: N.W./10	gez.	gec.	opdr.
schaal:			

AOM

A 4

figuur 10

86.452



LANGSTRANSPOORT TE SCHEVENINGEN
ALS FUNCTIE VAN DE DIEPTE

Studierapport
W.W.K. 69 - 7

RUKSWATERSTAAT
DIRECTIE W. en W.
AFD. KUSTONDERZOEK

Getek Gewijz. Gezien Acc

[Signature]

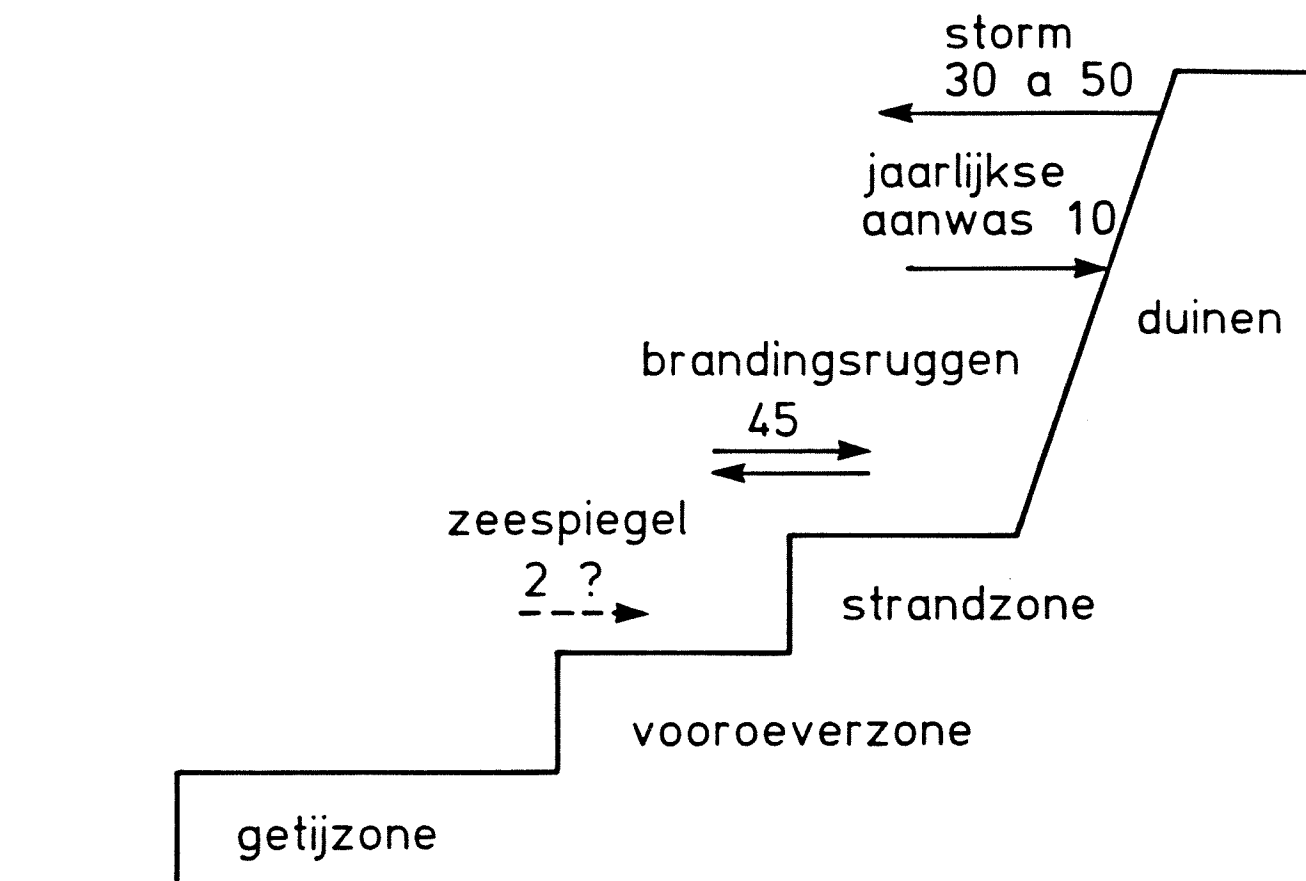
[Signature]

[Signature]

figuur 16

A1

Nr. 70.051



Geschatte hoeveelheden dwarstransport
(in $\text{m}^3/\text{m}^1/\text{jaar}$) langs de Hollandse kust

rijkswaterstaat

dienst getijdewateren
visuele vormgeving

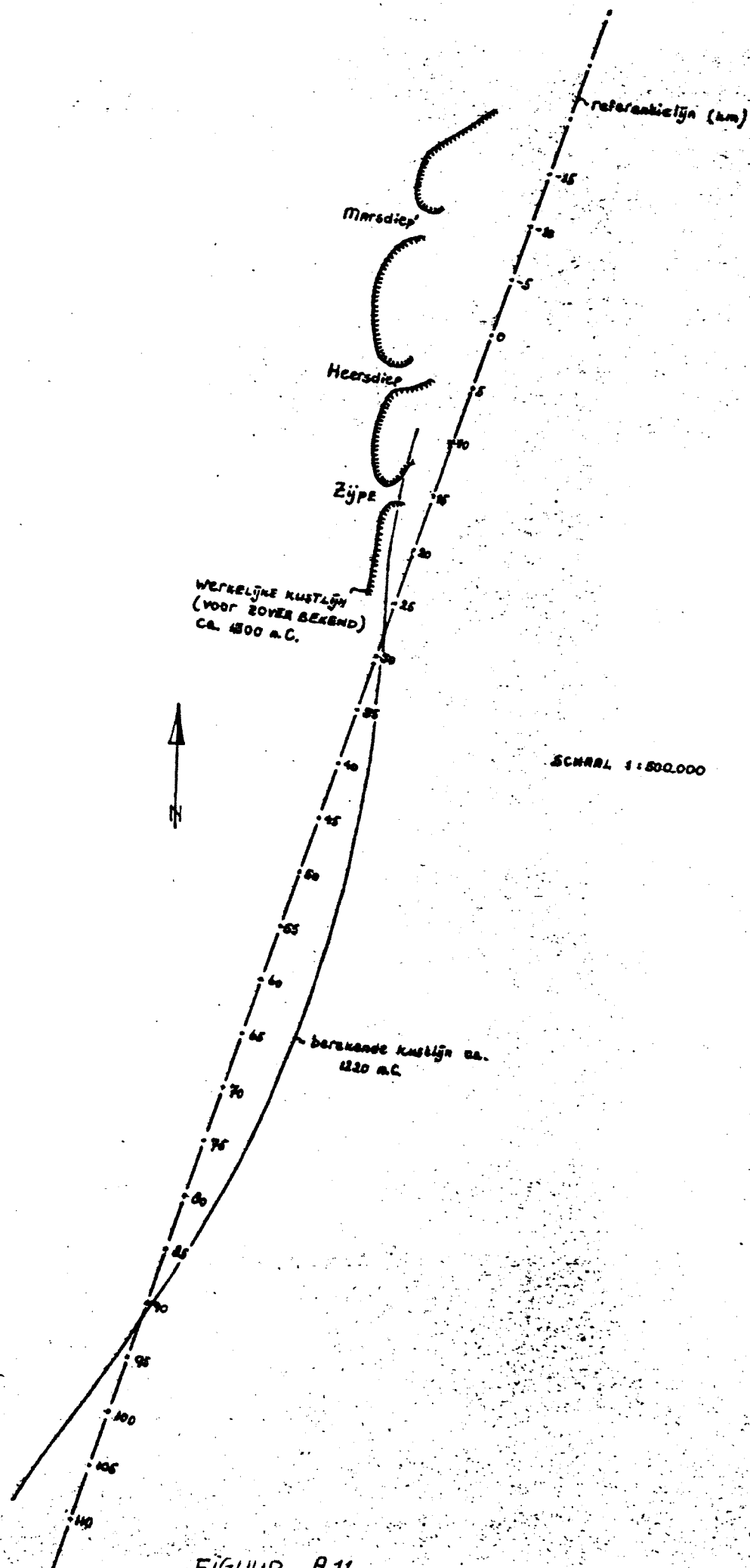
get: *MW/6/10* gez. gec: opdr.

schaal:

AOM A 4

figuur 17

86.453



FIGUUR A 11

KM\TIJD	-1440	-1265	-1090	-915	-740	-565	-390	-215	-40	+135	+1010
10	+6364	+4808	+4163	+3669	+3252	+2884	+2552	+2247	+1963	+1696	+542
15	+4198	+4312	+3591	+3326	+2927	+2680	+2373	+2150	+1891	+1688	+1459
20	+2260	+2374	+2488	+2184	+2109	+1862	+1748	+1535	+1412	+1222	+1098
25	+550	+664	+778	+892	+797	+816	+698	+674	+554	+509	+391
30	-932	-818	-704	-590	-476	-466	-400	-428	-395	-440	-429
35	-2186	-2072	-1958	-1844	-1730	-1616	-1554	-1464	-1434	-1366	-1356
40	-3212	-3098	-2984	-2870	-2756	-2642	-2528	-2440	-2338	-2273	-2185
45	-4010	-3896	-3782	-3668	-3554	-3440	-3326	-3212	-3111	-3003	-2917
50	-4580	-4466	-4352	-4238	-4124	-4010	-3896	-3782	-3668	-3561	-3449
55	-4922	-4808	-4694	-4580	-4466	-4352	-4238	-4124	-4010	-3896	-3785
60	-5036	-4922	-4808	-4694	-4580	-4466	-4352	-4238	-4124	-4010	-3896
65	-4922	-4808	-4694	-4580	-4466	-4352	-4238	-4124	-4010	-3896	-3783
70	-4580	-4466	-4352	-4238	-4124	-4010	-3896	-3782	-3668	-3556	-3444
75	-4010	-3896	-3782	-3668	-3554	-3440	-3326	-3212	-3103	-2991	-2888
80	-3212	-3098	-2984	-2870	-2756	-2642	-2528	-2424	-2315	-2219	-2117
85	-2186	-2072	-1958	-1844	-1730	-1616	-1521	-1417	-1336	-1242	-1170
90	-932	-818	-704	-590	-476	-401	-307	-248	-170	-121	-54
95	+550	+664	+778	+892	+929	+1003	+1025	+1078	+1094	+1134	+1147
100	+2260	+2374	+2488	+2448	+2482	+2450	+2462	+2435	+2438	+2415	+2412
105	+4198	+4312	+4118	+4071	+3971	+3921	+3846	+3798	+3736	+3691	+3636
110	+6364	+5862	+5654	+5495	+5360	+5241	+5134	+5036	+4944	+4858	+4486

DOOR LINEAIRE INTERPOLATIE, MET BEHULP VAN DE KOLOMMEN VOOR
-215B.P., -40B.P. EN +135B.P., VOLGEN DE HIERONDERSTAANDE TWEE KOLOMMEN:

KM\TIJD	-100	0
10	+2060	+1902
15	+1980	+1845
20	+1455	+1369
25	+595	+543
30	-406	-405
35	-1444	-1419
40	-2373	-2323

45	-3146	-3086
50	-3707	-3643
55	-4049	-3984
60	-4163	-4098
65	-4049	-3984
70	-3707	-3642
75	-3140	-3077
80	-2352	-2293
85	-1364	-1315
90	-197	-159
95	+1088	+1103
100	+2437	+2432
105	+3757	+3725
110	+4976	+4924

KM	AANWAS	O.BER	O.GEM	FOOT	FOOTKWADR
10	-1.58	+1902	+1920	-18	99374
15	-1.35	+1845	+1560	+285	382197
20	-0.86	+1369	+1640	-271	3904
25	-0.52	+543	+1080	-537	41234
30	+0.01	-405	+0	-405	5132
35	+0.26	-1419	-1200	-219	13201
40	+0.50	-2323	-2440	+117	202991
45	+0.59	-3086	-3200	+114	199998
50	+0.64	-3643	-3680	+37	136990
55	+0.65	-3984	-4160	+176	259706
60	+0.65	-4098	-4080	-18	99612
65	+0.65	-3984	-3960	-24	95860
70	+0.65	-3642	-3800	+158	241143
75	+0.63	-3077	-3240	+163	246240
80	+0.59	-2293	-2600	+307	410472
85	+0.49	-1315	-1600	+285	383213
90	+0.38	-159	+0	-159	30559
95	+0.15	+1103	+1680	-577	59369
100	-0.04	+2432	+3680	-1248	835300
105	-0.32	+3725	+5900	-2175	3389534
110	-0.51	+4924	+7920	-2996	7086272

Bijlage 1

GEMIDDELDE FOOT= -334
STANDAARDAFWIJKING FOOT= 843

noordwaarts
transport
(m^3/j)

700.000

600.000

500.000

400.000

300.000

200.000

100.000

0

100.000

200.000

300.000

400.000

zuidwaarts
transport
(m^3/j)

limietwaarde
transport
ter plaatse van km 10

transportverloop
ter plaatse van km 110

transportverloop
ter plaatse van km 10

tijd (jaren B.P.)

limietwaarde
transport
ter plaatse van km 110

1400

1300

1200

1100

1000

900

800

400

300

200

100

