

HET EFFECT VAN SCHEPEN OP HET HYDRODYNAMISCHE MILIEU
VAN HET SLIK BIJ OOST SAEFTINGHE

Stageverslag.
B.A. Kornman.
RUU, 1991.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD	1
1. INLEIDING	2
1.1. Doelstellingen	2
1.2. Het Verdrongen land van Saeftinghe	2
1.3. Werkwijze	3
2. HYDRODYNAMISCHE PROCESSEN OP HET SLIK	5
3. GEVOLGEN VAN DE VERDIEPING VAN DE VAARGEUL	7
4. SCHEEPS GEINDUCEERDE WATERBEWEGINGEN	8
4.1. Inleiding	8
4.2. Waterbewegingen	8
4.3. Factoren die de grootte van de golfsystemen bepalen	10
5. SCHORRAND EN VOOROEVER EROSIE 1955-1990	11
5.1. Vooroever erosie	11
5.2. Schorrand erosie	12
5.3. Veldinventarisatie onderzoeksgebied	12
6. GEMETEN EN WAARGENOMEN WATERBEWEGINGEN OP HET SLIK	14
6.1. Inleiding	14
6.2. Waarnemingen	14
6.3. Scheeps geïnduceerde waterbewegingen	15
6.4. Stroomsnelheidsmetingen	16
6.4.1. Meetlocatie 1	16
6.4.2. Meetlocatie 2	18
7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	19
7.1. Conclusies	19
7.2. Aanbevelingen	20
8. LITERATUURLIJST	21

LIJST VAN BIJLAGEN

Bijlage 1: Ligging meetlocaties en waterpasprofielen.

Bijlage 2: Vaklodingsprofielen.

Bijlage 3: Kaarten oostelijk en noordoostelijk deel Verdrongen land van Saeftinghe.

Bijlage 4: Waterpasprofielen.

Bijlage 5: Scheeps geïnduceerde waterbewegingen.

Bijlage 6: Gemeten stroomsnelheden.

VOORWOORD

De volgende personen wil ik bedanken voor hun inzet tijdens deze stage.
Alle mensen van de Meetdienst Zeeland, Meetkundigedienst en de bemanning van de Wijtvliet en Schenge die geholpen hebben bij de opzet van de metingen en meetopstellingen.

Jan van 't Westende die veel extra uren heeft gemaakt voor de technische ondersteuning van de metingen.

Renske Postma en Cees Storm, stagebegeleiders Rijkswaterstaat.

Frans de Vos, Jaap Consemulder, Wilfried ten Brinke en Claire Jeuken voor hun bereidwilligheid een dag assistentie te verlenen bij het meten.

Onno van Kleef voor het schrijven van enkele verwerkingsprogramma's en hulp in het veld.

Dhr.J.Neve, beheerder van het Verdrongen land van Saeftinghe (stichting Het Zeeuws landschap), en Dhr. C. Steiner (schaapherder).

1. INLEIDING

1.1. Doelstellingen

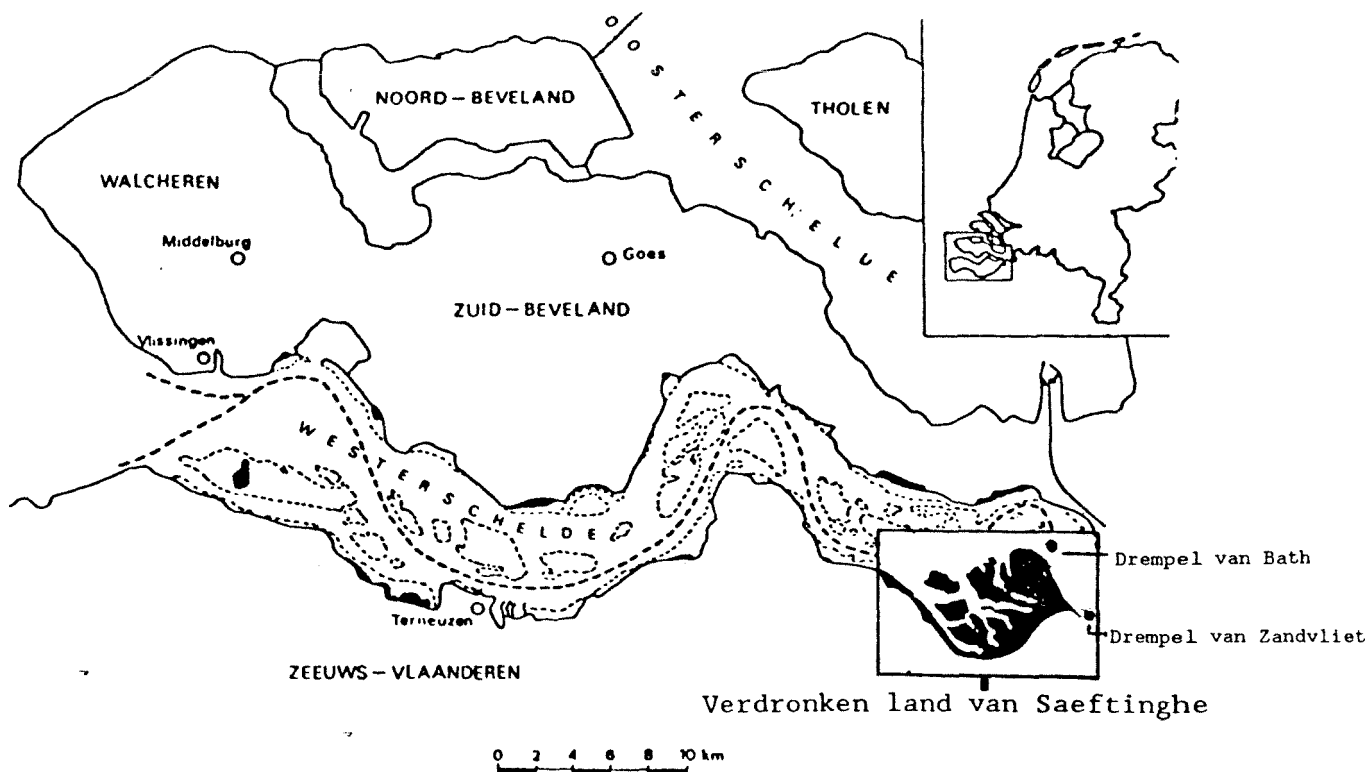
In 1993 zal vermoedelijk een verdieping van de Westerschelde worden uitgevoerd (programma 48'/43'). De haven van Antwerpen wordt dan bereikbaar voor grotere schepen. Voordat deze verdieping wordt uitgevoerd zal er een verdediging worden aangelegd bij de vooroever van de vaargeul ten oosten van het Verdrongen land van Saeftinghe. Hiermee wordt verdere insnijding van deze buitenbocht voorkomen.

Ter bescherming van het schor zou er eventueel gelijktijdig een schorrand-verdediging aangelegd kunnen worden. Voor het maken van een voorlopig bestek is o.a. informatie nodig over de stroomsnelheden boven het slik en over de effecten van door schepen geïnduceerde waterbewegingen daarop. Het eerste doel van dit stage onderzoek was het verkrijgen van deze informatie d.m.v. metingen.

Een mogelijke oorzaak van de schorerosie zouden de door schepen opgewekte korte golven kunnen zijn. Onderzoek naar de effecten van deze golven op het hydrodynamische milieu voor de schorrand was het tweede doel van deze stage.

1.2. Het Verdrongen land van Saeftinghe

Het Verdrongen land van Saeftinghe is een brakwaterschor, gelegen in het meest oostelijke deel van de Westerschelde (fig. 1).



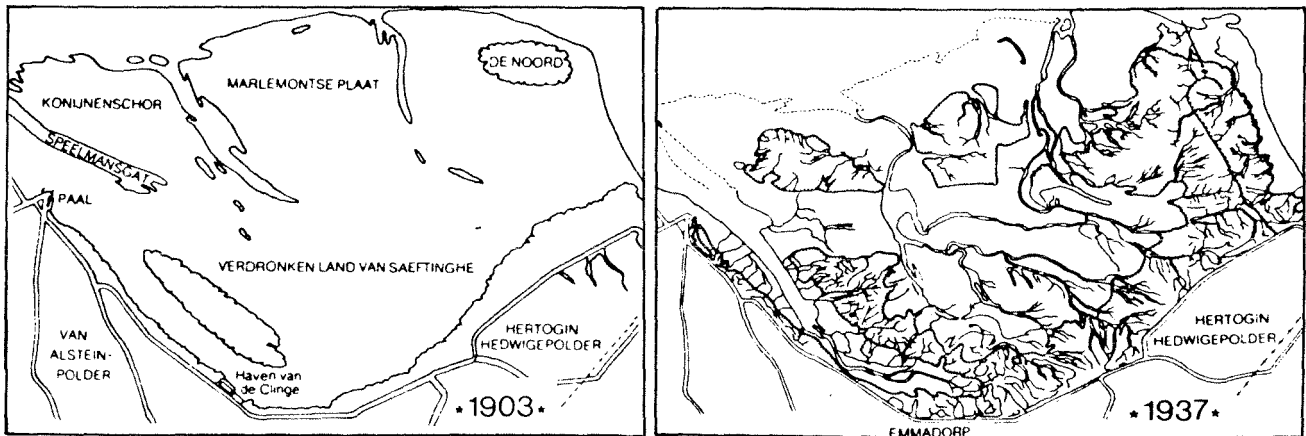
Figuur 1. Ligging Verdrongen land van Saeftinghe.

De Westerschelde maakt deel uit van het delta-gebied in zuidwest Nederland en is een zogenaamd estuarium. Een estuarium is een riviermonding waarin de waterbeweging door het binnendringende getij wordt beïnvloed en zoet water zich vermengt met zout water.

Tot in de eerste helft van de 13^e eeuw na Chr. was de Westerschelde een onbeduidende geul tussen veenmoerassen en schorren. De Schelde stroomde via de huidige Oosterschelde naar zee. Als gevolg van zeespiegelstijging en de stormvloed van 1570 en 1574 is de huidige Westerschelde ontstaan (Genuchten, 1982).

Omstreeks 1200 na Chr. is men met de inpoldering van het Land van Saeftinghe begonnen. Door de militaire inundaties van 1584/85 is het definitief weer verloren gegaan (Sponselee en Buise, 1979).

Het Verdrongen land van Saeftinghe is het grootste aaneengesloten schorren en slikken gebied in West Europa en is o.a. een belangrijk broed en overwinterings gebied voor vogels. Dit schorgebied is grotendeels pas na de aanplant van Engels Slijkgras, in de jaren 20, ontstaan; Voor deze tijd lagen er alleen schorren langs de dijk en bij de Noord (zie fig. 2.).



Figuur 2. Schorgebied in het Verdrongen land van Saeftinghe in 1903 en 1937 (Sponselee en Buise, 1979).

Schorren zijn begroeide buitendijkse gebieden. Ze liggen boven Gemiddeld Hoog Water (G.H.W.) en worden alleen bij springtij en stormvloed overstroomd. Slikken liggen tussen Gemiddeld Laag Water (G.L.W.) en G.H.W., het intergetijd gebied. Ze worden bij vloed overstroomd en vallen bij eb droog (Meulen en Schoor, 1988).

1.3. Werkwijze

Voor de metingen zijn twee locaties gekozen. Op beide locaties is nabij de slik-geul rand een zes meter lange paal geplaatst. Aan deze paal waren twee electro-magnetische stroomsnelheidmeters (N.S.W.) bevestigd (op 20 en 50 cm. boven de bodem) en een drukdoos om de waterstanden en golven te meten. Er was eveneens een capacatieve draad geplaatst om de golven te meten. Deze is beter geschikt om onregelmatige korte golven te meten dan een drukdoos. De cap-

draad heeft echter niet gefunctioneerd. Juiste installatie was niet mogelijk in de korte tijd dat de metingen zijn opgezet.

Bij meetlocatie 1, in het noordoostelijke deel van het Verdronken land van Saeftinghe, was de paal op -1.35 m NAP geplaatst op 30 m voor de slik-geul rand. Bij meetlocatie 2 was de paal op -0.7 m NAP geplaatst, 20 m voor de slik-geul rand.

Boven op deze palen was een doos geplaatst waarin de voeding, meetkast en datalogger voor de meetinstrumenten zat. Na elke meting moest de datalogger worden uitgelezen.

Op 35 m voor de schorrand was een electro-magnetische stroomsnelheidmeter (colnbrook) neergezet (op 20 cm boven de bodem). Op het schor was een tent geplaatst voor de voeding, de meetkast en de datalogger van de colnbrook.

De ligging van de meetlocaties en een schets van de meetopstellingen is gegeven in bijlage 1.

Bij iedere meetlocatie was gepland dat er bij springtij (hoogste stroomsnelheden) drie dagen werd gemeten. Meetlocatie 1 was als eerst aan de beurt. Door een technische storing zijn de metingen bij de paal tot 1 dag en nacht beperkt gebleven. De colnbrook heeft alle drie de dagen gewerkt. Om een volledige dataset te krijgen is er op meetlocatie 1 een tweede springtij door gemeten. Toen echter, heeft de colnbrook niet gefunctioneerd.

Bij meetlocatie 2 is er, door de problemen bij locatie 1, alleen 2 dagen bij de paal gemeten. Door een storing zijn bij drie van de vier metingen geen waterstanden bepaald. In tabel 1 is een overzicht gegeven wanneer welke meetapparatuur heeft gewerkt.

De golven zijn gemeten met een inwinfrequentie van 2 Hz, de stroom-snelheden met een frequentie van 1 Hz. Bij locatie 1 is er continue gemeten. Bij locatie 2 is er om de vier minuten een minuut gemeten.

Tabel 1. Overzicht functioneren van de apparatuur tijdens de metingen.

Locatie	1										2					
Week no.	41					43					45					
	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n	d	n		
N.S.W.	*	*					*	*		*	*		*	*	*	*
Colnbrook	*		*		*											
Drukdoos	*	*					*	*		*	*					*
Cap-draad																

d=dagmeting, n=nachtmeting, *=gefunctioneerd

Door de meetkundige dienst zijn 7 profielen gewaterpast. De ligging van deze profielen is gegeven in bijlage 1.

2. HYDRODYNAMISCHE PROCESSEN OP HET SLIK EN BIJ DE SCHORRAND

Bij de hydrodynamische processen op het slik kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- 1) Stromingen.
- 2) Golven.

Bij stromingen kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- 1) Getij stromingen. Voor de algemene stroming op het slik zullen deze het belangrijkste zijn. Bij metingen voor twee schorranden in de Oosterschelde werden door Schoot en Eerdt (1985) lage stroomsnelheden gevonden. De gemiddelde stroomsnelheid was daar 0.1 à 0.2 (m/s).
- 2) Wind gedreven stromingen. Als de wind loodrecht op de schorrand staat kunnen boven- en onderstromen bij de schorrand ontstaan. Als de wind evenwijdig aan de schorrand staat ontstaat er een stroming die dezelfde richting heeft als de wind.
Versterking van stromingen als de windrichting gelijk is aan de stromings richting.
- 3) Golf-gedreven stromingen (longshore current).
- 4) Scheepsgeïnduceerde stromingen.

Stromingen kunnen materiaal transporteren dat in suspensie is gebracht door de golfwerking. Als een stroming sterk genoeg is dan is deze in staat om zelf materiaal los te maken en vervolgens weg te voeren.

Bij golven kan onderscheid gemaakt worden tussen:

- 1) Windgolven. Voor het oostelijk deel van het Verdrongen land van Saeftinghe is onderstaande tabel gemaakt met de maximale golfhoogtes die daar kunnen voorkomen bij bepaalde windsnelheden. Hierbij is gebruik gemaakt van de methode zoals gegeven door Groen en Dorrestein (1976). Er is van uitgegaan dat windduur geen beperkende factor is voor de ontwikkeling van de golven. De duur moet dan minimaal 60 minuten zijn. De windgegevens zijn afkomstig van het meetstation Marollegat.

Tabel 2. Maximale golfhoogte van windgolven bij oost Saeftinghe.

Windsnelheid (m/s)		5		10		15	
Windrichting	Fetch (km)	f	H (m)	f	H (m)	f	H (m)
N (345-15)	3	2.7	0.22	0.33	0.47	0.007	0.74
NNO (15-45)	3	3.6	0.22	0.29	0.47	0.0023	0.74
ONO (45-75)	2.5	4.2	0.19	0.4	0.43	0.0016	0.68
O (75-105)	2	3.0	0.18	0.13	0.40	----	----

f=overschrijdingsfrequentie (% van de tijd).

H=Significante golfhoogte voor "diep water".

- 2) Scheepsgolven.

Door de orbitaalbeweging en het breken van deze golven kan er sediment in suspensie worden gebracht.

Als deze golven tegen het schorklif lopen of breken worden er drukkrachten op

het klif uitgeoefend. Hierdoor kunnen scheuren in het klif ontstaan waardoor een verzwakking van het klif optreedt. Het is ook mogelijk dat er mechanische beschadiging van de vegetatie bij de schorrand optreedt. Dit kan tot een verzwakking van het klif leiden.

Voor een uitgebreide beschrijving van golfkrachten en stromingen bij de schorrand wordt verwezen naar Jonkers (1991).

In dit onderzoek is gekeken of de scheepsgolven een longshore current langs de schorrand opwekken, of er materiaal uit het schorklif in suspensie wordt gebracht door deze golven, naar de grootte van de scheepsgeïnduceerde stromingen boven het slik en naar de getij stromingen boven het slik en voor de schorrand.

Windgolven en wind gedreven stromingen zijn niet onderzocht. Hiervoor was de meetperiode te kort.

3. GEVOLGEN VAN DE VERDIEPING VAN DE VAARGEUL

Bij een verdieping worden de drempels in de vaargeul verdiept. Bij oost Saeftinghe zijn dit de drempels van Bath en Zandvliet. Deze drempels, ondiepten in de vaargeul, komen daar voor waar twee tegengestelde bochten in elkaar overgaan.

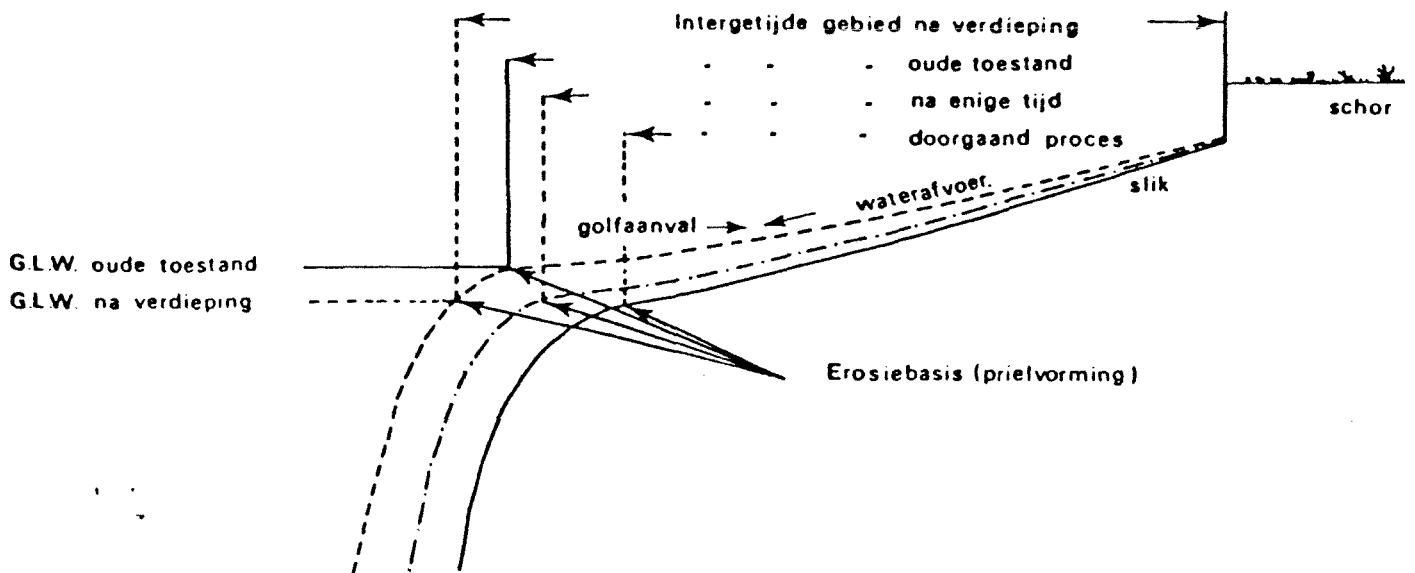
De verdieping leidt tot een netto zandtransport van de aangrenzende geul gedeelten naar de verdiepte drempel. Dit resulteert in een toename van het onderhouds baggerwerk tot dat er een nieuw evenwicht is ontstaan tussen drempelligging, geulligging en getij debieten. Deze evenwichtssituatie ontstaat na ongeveer 5 jaar (Anonymus, 1989).

In het oostelijk deel van de Westerschelde werden tussen 1970 en 1975 de drempels met 3 à 4 meter verdiept.

Een verdieping heeft een aantal gevolgen voor de hydrodynamiek van het getij (Anonymus, 1982):

- 1) Toename getijamplitude. Hierbij zal waarschijnlijk het G.L.W.-niveau lager komen te liggen. Het G.H.W.-niveau zal ongeveer hetzelfde blijven.
- 2) Toename getijvolume door toegenomen komberging.
- 3) Toename van de snelheid van de getijstromen.
- 4) Verandering in debietverdeling tussen eb- en vloedgeulen.

Deze veranderingen kunnen leiden tot een versterkte inscharing van de buitenbochten. Dit blijkt het grootst te zijn tussen het G.L.W.-niveau en -5 m N.A.P. In het oostelijk en noordoostelijk deel van het Verdrongen land van Saeftinghe zou dit tot een versmalling en versteiling van het slik leiden (zie fig. 3).



Figuur 3. Geschematiseerde weergave van een intergetijde gebied waar inscharing plaats vindt (Anonymus, 1982).

Dit resulteert in veranderingen van het hydrodynamisch milieu van het slik. De dissipatie van de golfenergie en de remming van de stroomsnelheid op een smaller en steiler slik zal kleiner worden. Meer energie bereikt dus de schorrand. Dit kan tot een grotere erosie leiden.

4. SCHEEPS GEINDUCEERDE WATERBEWEGINGEN

4.1. Inleiding

De waterbewegingen opgewekt door schepen zijn zeer complex. Ten eerste kunnen er verschillende waterbewegingen worden opgewekt. Ten tweede is de grootte van deze waterbewegingen weer afhankelijk van een aantal factoren.

In dit hoofdstuk zal een beeld worden gegeven van dit geheel. De literatuur hierover heeft meestal betrekking op waterbewegingen in een kanaal en op het aangrenzend talud. De situatie bij het oostelijk deel van het Verdrongen land van Saeftinghe is hier enigszins mee te vergelijken: Een eb-geul die dient als vaargeul (kanaal) en het aangrenzend slik is een soort talud; De dimensies zijn echter anders. De waterbewegingen zullen in een "kleinere ruimte" als een kanaal veel groter en sterker zijn.

4.2. Waterbewegingen

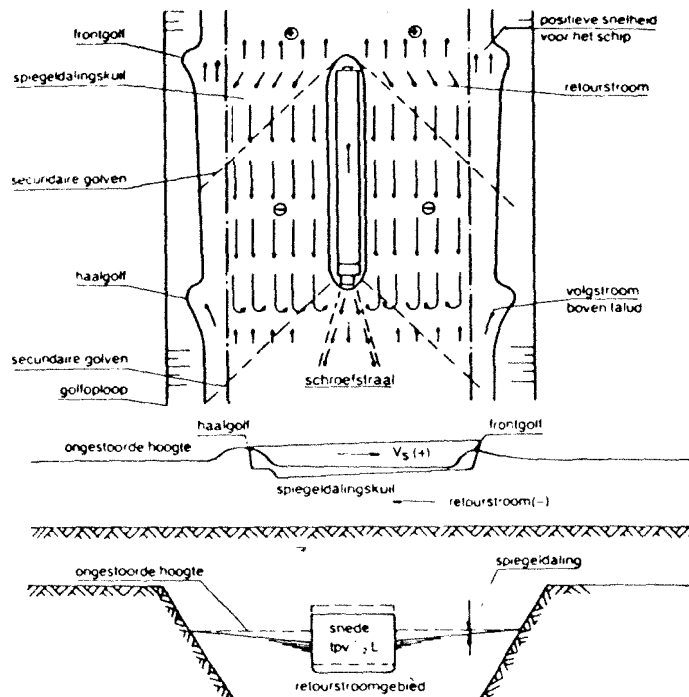
De waterbewegingen veroorzaakt door een varend schip kunnen het beste in vier groepen worden ingedeeld:

- 1) Het primaire golfsysteem.
- 2) Het secundaire golfsysteem.
- 3) Translatie golven.
- 4) De schroefstraal.

Het primaire en secundaire golfsysteem zijn hiervan het belangrijkste.

Het primaire golfsysteem.

Dit golfsysteem ontstaat door de grote waterverplaatsingen rond een varend schip (Herbich en Schiller, 1984). Hierbij moet water van de boeg naar achteren worden verplaatst. Deze waterverplaatsing resulteert in een verstoring van de waterspiegel waarbij een verhoging van de waterspiegel bij de boeg optreedt (de frontgolf), een verlaging van de waterspiegel aan weerszijden van het schip (de waterspiegeldaling) en een verhoging van de waterspiegel bij het hek van het schip (de haalgolf) (fig. 4).



Figuur 4. Waterbewegingen rond een varend schip (Anonymus, 1983).

De waterspiegeldaling is het gevolg van de retourstroom. Dit is een stroming aan weerszijden van het schip in een richting tegengesteld aan de vaar-richting.

De frontgolf ontstaat door opstuwing en kan bij de oever een verhoging van de waterstand geven en een stroming veroorzaken.

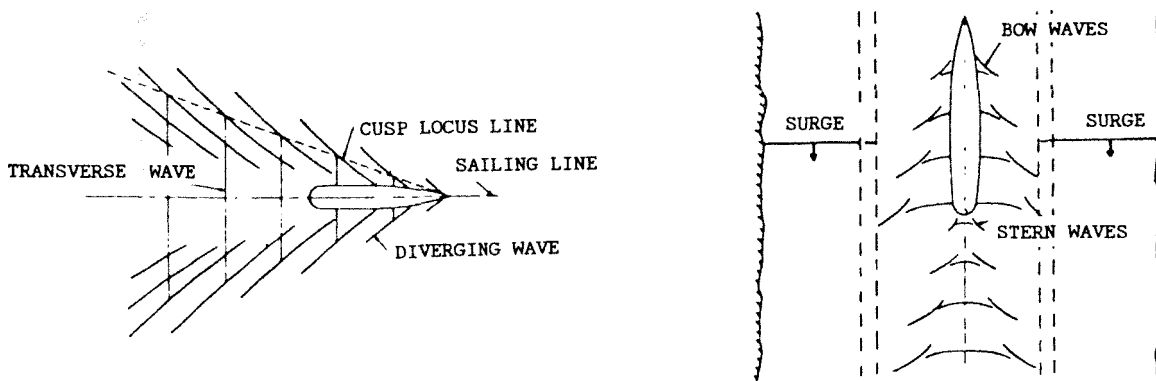
Als de daling van de waterspiegel bij de oever niet meteen kan worden aangevuld dan wordt deze hersteld door de haalgolf. Achter de haalgolf komt de taludvolgstroom die grote stroomsnelheden kan hebben, tot maximaal de vaarsnelheid (Anonymus, 1983). Het effect van de haalgolf kan versterkt worden door het secundaire golfsysteem.

De optredende verstoringen van de waterspiegel en stroomsnelheden bij de oever, in dit onderzoek dus het slik, zullen groter zijn naarmate een schip dichters langs de oever vaart.

Het secundaire golfsysteem.

Het secundaire golfsysteem wordt veroorzaakt door discontinuïteiten in de waterspiegel langs de romp van het schip. Deze veroorzaken een drukgradient waardoor een golfpatroon ontstaat van divergerende en transversale golven (Anonymus, 1986; Sorensen, 1966). Dit golfpatroon ontstaat bij de boeg en kan ook bij het hek van het schip ontstaan (zie fig 5).

In het secundaire golfsysteem worden interferentie golven en transversale golven onderscheiden. De interferentie golven ontstaan door interferentie van divergerende en transversale golven (Anonymus, 1986). Deze interferentie vindt plaats op de "cusp locus line" (fig. 5). Deze lijnen, aan weerszijden van het schip, vormen dan de zogenaamde Kelvin golfkegel.



Figuur 5. Het patroon van golven opgewekt door een varend schip (Herbich en Schiller, 1984; Sorensen en Weggel, 1984)

Bij toenemende afstand van de boeg neemt, door diffractie, de lengte van de golfkam toe en de golfhoogte af. De hoogte van de interferentie golven neemt minder snel af dan de hoogte van de transversale golven waardoor de interferentie golven dus prominenter worden (Sorensen en Weggel, 1984).

De transversale golven treden op binnen het gebied van de Kelvin golfkegel aan weerszijden van het schip. Deze golven bereiken de oever nadat de interferentie golven, opgewekt nabij het hek van het schip, de oever bereikt hebben (Anonymus, 1986). Voor de stabiliteit van een oeeververdediging zullen de golfhoogten van de interferentie golven maatgevend zijn omdat deze groter zijn dan de golfhoogten van de transversale golven.

De secundaire golven zijn te vergelijken met windgolven.

Translatie golven.

Translatie golven ontstaan wanneer een schip plotseling vertraagd of versneld of over een discontinuïteit in het dwarsprofiel van de vaarweg vaart. Voor de

waterbewegingen op het slik zijn deze niet van belang. De hoogte van deze golven is gering in vergelijking met het primaire en secundaire golfsysteem.

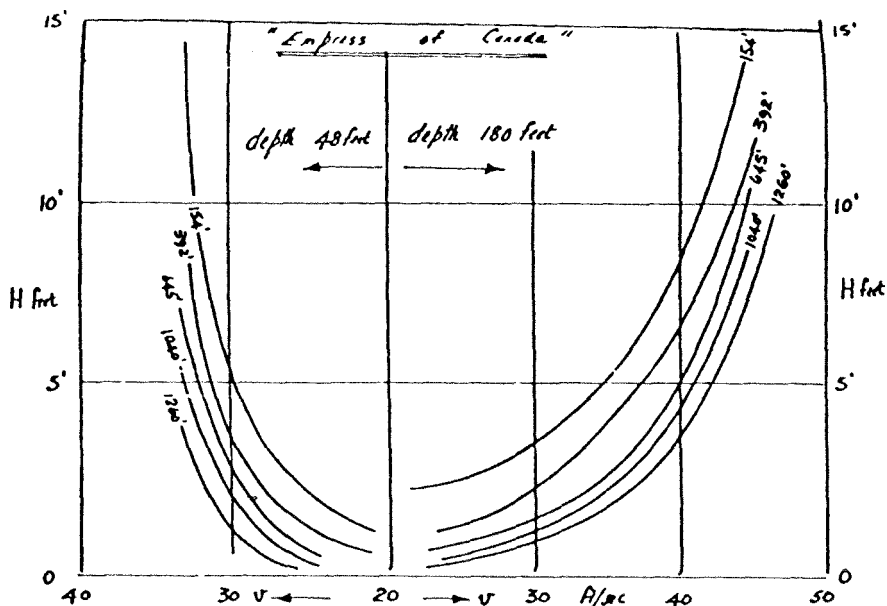
De schroefstraal.

Achter een roterende scheepsschroef treden zeer hoge watersnelheden op waarbij het water zich zeer turbulent gedraagt. Deze waterbeweging heeft echter geen direct effect op b.v. de stroomsnelheden op het slik; De schroefstraal strekt zich alleen uit tot een klein gebied achter het schip (fig. 3). Indirect kan deze pompende werking van de schroef wel de stroomsnelheden op het slik beïnvloeden: de waterspiegeldaling rond een schip wordt hierdoor versterkt (Brebner, Helwig en Carruthers, 1966). Deze kan wel een effect hebben op de stroomsnelheden (zie primaire golfsysteem).

4.3. Factoren die de grootte van de golfsystemen bepalen

De volgende drie factoren bepalen de grootte van het primaire en secundaire golfsysteem:

- 1) Afmeting en vorm van de vaarweg. Bij een beperkte diepte en breedte van de vaarweg zullen de effecten langs de vooroever groter zijn (Anonymus, 1983; Herbich en Schiller, 1984.) De golfhoogte en waterspiegeldaling nemen toe met afnemende waterdiepte (Brebner, Helwig en Carruthers, 1966). In figuur 6 wordt dit effect op de golfhoogte weergegeven.
- 2) De afmeting, vorm en beladingstoestand van het schip. De waterspiegeldaling en de hoogte van de golven neemt toe bij een grotere diepgang van het schip (Brebner, Helwig en Carruthers, 1966; Sorensen en Weggel, 1984)
- 3) De factor die de sterkste invloed heeft op het primaire en secundaire golfsysteem is de vaarsnelheid van het schip. (Brebner, Helwig and Carruthers, 1966; Das en Johnson, 1970). De golfhoogte en waterspiegel-daling nemen progressief toe met de snelheid. In figuur 6 is goed te zien dat de golfhoogte sterk progressief toeneemt met de snelheid.



5. SCHORRAND EN VOOROEVER EROSIE 1955-1990

5.1. Vooroever erosie

In eerste instantie is met behulp van de vaklodingen van '55, '71, '79 en '90 (schaal 1:10000) de grootte van de inscharing in het onderzoeksgebied bekeken. Hieruit bleek dat na 1979 de inscharing sterk verminderd was. Om deze reden zijn de lodingen van '75 en '85 gebruikt om de uitbocht in de afgelopen 20 jaar nauwkeuriger te bekijken.

In de volgende tabellen is de inscharing op -2.5 m N.A.P. en -5 m N.A.P. gegeven in meters. Deze gegevens moeten meer gezien worden als een indicatief dan als een precies getal; De vaklodingen zijn hier niet nauwkeurig genoeg voor. In de laatste kolom staat het gemiddelde van alle raaien in meters per jaar. De nummers van de raaien zijn hetzelfde als die op de vaklodings kaarten. In bijlage 2 zijn de profielen van de lodingen gegeven.

Tabel 3. Inscharing op -2.5 m N.A.P. tussen 1955 en 1990.

	RAAIEN								Gem. (m/j)
	1.21	1.23	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33	1.35	
'55/'71	-25	-45	-36	-43	-12	-40	-50	-50	-2.4
'71/'75	-16	-7	-18	17	-35	-30	-35	-10	-4.1
'75/'79	0	0	0	-23	-5	-10	5	0	-1.0
'79/'85	0	0	0	0	-5	-5	0	0	-0.2
'85/'90	0	0	0	0	0	-5	0	0	-0.1

Tabel 4. Inscharing op -5.0 m N.A.P. tussen 1955 en 1990.

	RAAIEN								Gem. (m/j)
	1.21	1.23	1.25	1.27	1.29	1.31	1.33	1.35	
'55/'71	-16	-36	-23	-43	-25	-43	-55	-45	-2.2
'71/'75	-32	-10	-23	30	-36	-10	-13	-7	-3.0
'75/'79	0	0	0	-36	0	-5	6	-18	-1.6
'79/'85	0	0	0	0	-5	-5	0	-12	-0.5
'85/'90	0	0	0	0	0	13	0	0	0.3

Uit de tabellen blijkt heel duidelijk dat er sinds 1979 bijna geen sprake meer is van inscharing. De gevonden inscharingssnelheid tussen 1971 en 1979 (2.5 m/j) is veel kleiner dan die in Anonymus (1984). Volgens dit rapport bedroeg de inscharing tussen 1971 en 1981 6 m/j.

Bij raai 1.27 lijkt het er op dat de vooroever tussen '71 en '75 is aangegroeid. Mogelijkerwijs is de aangroei het gevolg van het storten van baggerspecie bij deze raai. Dit werd wel eens gedaan bij uitschurende bochten (Anonymus, 1989). Een andere mogelijke oorzaak is een fout in de loding van raai 1.27 in 1975.

Er is dus al sinds 1975 sprake van sterk verminderde uitbocht.

Tussen 1971 en 1975 heeft er een versterkte inscharing plaatsgevonden. Dit valt samen met de vaargeul verdieping tussen 1970 en 1975

5.2. Schorrand erosie

Met behulp van de basiskaarten uit '55, '71, '79 en '90 is de ontwikkeling van de schorrand in het oostelijk en noordoostelijk deel van het Verdrongen land van Saeftinghe onderzocht. Er zijn drie kaarten gemaakt die de veranderingen tussen '55 en '71, '71 en '79 en '79 en '90 aangeven. Bij deze kaarten is van het laatst gegeven jaar alleen dan de schorrand ingetekend als deze verschilt van het eerst gegeven jaar. Er is een kaart gemaakt die het verschil tussen 1955 en 1990 aangeeft. Op deze kaart zijn de beide schorranden wel getekend. Alle vier de kaarten zijn opgenomen in bijlage 3.

1955-1971

Tussen 1955 en 1971 is de schorrand zowel in het noordoostelijk als oostelijke deel, netto gezien, stabiel; Locaal vindt er aangroei en erosie plaats.

Een uitzondering hierop is de uitstekende lob (bij kreek A) die de grens vormt tussen het noordoostelijke en oostelijk deel. De erosiesnelheid was hier 4 à 4.5 m/j.

In 1966/1967 is de gasdam in het meest zuidelijke punt van dit gebied aangelegd.

1971-1979

Het gehele noordoostelijke deel is in deze periode gaan eroderen met een snelheid van 1 à 1.5 m/j.

Het oostelijke deel is vrij stabiel. Een uitzondering hierop is de schorrand bij de monding van kreek B. De erosiesnelheid bedroeg hier 2.5 à 3 m/j. De monding werd trechtervormig.

1979-1990

In deze periode is dezelfde lijn in de schorrand ontwikkeling te zien als in de periode '71/'79. De erosiesnelheid in het noordoostelijk deel is echter verdubbeld (2.5 à 3 m/j).

De uitstekende lob is nu geheel verdwenen.

Bij de monding van kreek B is de erosiesnelheid gelijk gebleven. De lengte van de schorrand waar erosie plaats vindt is groter geworden. De grens tussen erosie/stabiel gebied is zowel in noordelijk als zuidelijke richting verplaatst waarmee in feite de erosie van de schorrand in het oostelijke deel lijkt te beginnen.

Toekomstige ontwikkeling

In de toekomst zullen de nu nog stabiele delen van de oostelijke schorrand gaan eroderen. De ontwikkeling van de schorrand zoals die tussen 1971 en 1990 bij kreek B plaatsvond zal hieraan debet zijn.

Nu de lob, die de monding van kreek A tussen 1971 en 1979 tegen de golfaanval beschermde, geheel verdwenen is zal de monding hier dezelfde ontwikkeling gaan vertonen. Tussen '79/'90 is hier een met kreek B vergelijkbare ontwikkeling van de noordelijke kreekmondings-schorrand te zien. Deze schorranderosie lijkt de teruggang van de lob te volgen.

Deze ontwikkeling lijkt ook bij de kreek bij de gasdam te beginnen.

5.3. Veldinventarisatie onderzoeksgebied

Als onderdeel van deze stage is een inventarisatie van schorrand en slik gemaakt. Aan de hand hiervan is getracht een verklaring te vinden voor het verschil in ontwikkeling van de schorrand tussen het oostelijke (stabiel) en

noordoostelijke (erosief) gebied. Een kaart van de morfologie en vegetatie van de schorrand is te vinden in Houtekamer (1991). De meetkundige dienst heeft gezorgd voor zeven profielen van slik en schorrand in absolute hoogte (t.o.v. NAP), Bijlage 4.

- De absolute hoogte van het schor ligt overal rond +2.6 m N.A.P. Dit is dus boven het G.H.W.-niveau (= +2.5 m NAP).
- Het slik is in het oostelijk deel 2 à 3 maal smaller dan in het noordoostelijke deel. De helling van het slik is dus 2 à 3 keer groter. Dit is in tegenspraak met het gegeven dat op een smal en steil slik de energie-dissipatie van de golven en getijstroken kleiner is en er dus meer energie die de schorrand bereikt en er dus ook een grotere erosieve werking mogelijk is. slik hoogte?
- De vorm van het slik tussen erosief en stabiel gebied is verschillend. Bij een stabiele schorrand is de vorm van het slik voor de schorrand convex. De vorm van het slik voor de schorrand is in erosieve gebieden concaaf. Mogelijkerwijs zorgt de convexe helling in stabiele gebieden voor een sterke energie dissipatie net voor de schorrand. Uit de waterpasprofielen blijkt de helling van het slik, net voor de schorrand, bij de convexe vorm kleiner te zijn dan die bij concave vorm.
- De eroderende schorranden hebben allemaal schorkliffen. De hoogte varieert tussen de 0.2 en 1.3 m. De hoogste kliffen komen voor bij de mondingen van de grote kreken, deze kliffen zijn ook sterk ingesneden (klifinsnijdingen). Op plaatsen waar sprake is van een stabiele schorrand komen alleen geleidelijke overgangen tussen schor en slik voor. Een geleidelijke overgang duidt echter niet altijd op een stabiele schorrand. In Noord Saeftinghe komen geleidelijke overgangen voor waar wel sprake is van erosie. De vorm van het slik voor de schorrand is hier concaaf.
- Het schor bestaat uit klei op zand. De dikte van deze kleilaag varieert tussen de 1 en 1.5 m. De maximale hoogte van een schorklif kan hier dus 1.5 m zijn.
- Op ongeveer 80 cm onder het huidige schorniveau is in het noordoostelijke deel een vegetatielaag in het schorklif te zien. Waarschijnlijk is dit het schorniveau van de Noord voor de aanplant van Engels Slijkgras (zie Hfdst. 1).
- De vegetatie van de schorrand in het oostelijk deel bestaat voornamelijk uit zeebies. In het noordoostelijke deel komt zowel zeebies als riet voor. Daar waar zeebies op het schor staat is de vegetatie aan de schorrand, boven op het klif (erosie) over een breedte van 1 à 2 m, dood. Bij eroderende gebieden in het oostelijk deel komen op het slik, voor de schorrand, grote stukken met dode zeebies wortels voor. Mogelijkerwijs treedt er mechanische beschadiging (b.v. door golfwerking) van de vegetatie op waarna deze afsterft. Deze stroken dode vegetatie en wortels komen ook voor bij de geleidelijke overgangen in Noord Saeftinghe.
- Langs de rand van de vooroever (slik-geul rand) dagzoomt vanaf ± 100 m ten Noorden van de gasdam tot ± 200 m voorbij meetlocatie 1 een zeer compacte en stevige veenlaag (Holland veen). De dikte van deze veenlaag varieert, volgens het geologisch profiel, tussen de 2 en 3 m (Anonymus, 1986b). Deze veenlaag is er waarschijnlijk de oorzaak van dat de inscharing van de bocht hier sinds 1975 sterk verminderd is. Mogelijkerwijs is deze veenlaag pas midden jaren zeventig aangesneden (door inscharing) of was de veenlaag daarvoor minder stevig, door de inscharing is een compacter en steviger deel van de veenlaag aangesneden, en dus makkelijker te eroderen

6. GEMETEN EN WAARGENOMEN WATERBEWEGINGEN OP HET SLIK

6.1. Inleiding

Naast de metingen zijn er ook visuele waarnemingen gedaan van de waterbewegingen op het slik en voor de schorrand. Deze waren van belang als aanvulling op en vergelijk met de gemeten waterbewegingen.

Waarnemingen zijn alleen gedaan bij meetlocatie 1. De gemeten waterbewegingen en de observaties zullen in dit hoofdstuk besproken worden.

6.2. Waarnemingen

Tijdens de waarnemingen was het altijd windstil, windgolven waren dus niet aanwezig.

De (korte) scheepsgolven opgewekt door een voorbijkomend schip hadden een heel karakteristiek voorkomen. Eerst kwamen er 1 of 2 golftreinen met relatief hoge golven en daarna een aantal golftreinen met beduidend lagere golven. Een golftrein met relatief hoge golven duurde gemiddeld 35 à 40 s; De kortste duur was 20 s en de langste duur 50 s. De tijd tussen de eerste en tweede golftrein bedroeg 10 à 15 s. De brekerhoogte van deze golven was gemiddeld 20 à 25 cm met als laagste waarde 10 cm en hoogste 40 cm. Er zat geen duidelijk verschil in de brekerhoogte tussen de eerste en tweede golftrein indien er twee golftreinen werden waargenomen. De golfperiode van deze golven bedroeg 3 à 4 s. Het type breker was plunging-spilling.

De brekerhoogte van de golven in de golftreinen met lagere golven bedroeg 5 à 10 cm, de periode was iets groter 4 à 5 s. De duur van deze serie golftreinen bedroeg gemiddeld 2 à 3 minuten.

In dit waargenomen proces is duidelijk het patroon van de zogenaamde interferentie golven en transversale golven te herkennen. Eerst komen de interferentie golven opgewekt bij de boeg en, als er een tweede "hoge" golftrein was, vervolgens de interferentie golven opgewekt bij het hek van het schip. De lagere golven zijn de transversale golven.

De grote olietankers en containerschepen veroorzaakten bijna geen golven. Deze schepen voeren heel langzaam en waren meestal al op sleeptouw genomen door de sleepboten voordat ze bij meetlocatie 1 waren.

De middelgrote vrachtschepen en containerschepen veroorzaakten meestal de grootste golven. Deze schepen varen relatief hard. Snelvarende sleep- en loodsboten wekten ook hoge golven op.

De waterbewegingen opgewekt door de binnenvaart schepen waren zeer klein.

Rond het tijdstip van hoogwater, als het water dus tegen de schorrand staat, vertoonde het aantal voorbij varende schepen een piek.

Een aantal keren werden er bewegingen in de positie van de waterlijn waargenomen als er een schip passeerde. Soms verschoof de waterlijn eerst richting de schorrand (1 à 2 m), de frontgolf, daarna verschoof de waterlijn richting de vaargeul. De afstand tussen de begin positie van de waterlijn en deze nieuwe positie van de waterlijn varieerde tussen de 10 en 20 m. Met een gemiddelde helling van $\tan \beta = 0.011$ graden betekent dit dus een daling van de waterspiegel van ongeveer 5 tot 15 cm. Op het moment dat de eerste golftrein bij de nieuwe waterlijn arriveerde begon de waterlijn richting de schorrand te schuiven. De waterlijn verplaatste zich vervolgens tot voorbij de begin positie (+5 à 10 m); De haalgolf werd dus versterkt door de secundaire golven. Daarna nam de waterlijn een nieuwe positie in, deze positie was nooit hetzelfde als de positie vlak voor het begin van de waterbewegingen.

Deze bewegingen van de waterlijn werden veroorzaakt door relatief snel varende schepen. Bij 90 à 95 % van de gepasseerde schepen werd geen waterspiegel-daling op het slik waargenomen.

Op ongeveer 20 m voor de schorrand bij meetlocatie 1 was altijd een stroomnaad aanwezig. De colnbrook stond 35 m voor het schor.

De stroomsnelheden voor het schor waren laag, men zag amper enige stroming langs de rand (drijvende voorwerpen verplaatsten zich bijna niet). Er werd geen toename in stroomsnelheid langs de schorrand waargenomen als er secundaire golven waren. Wel werd er materiaal uit het klif in suspensie gebracht als deze golven tegen het klif liepen. Het water voor de rand werd troebeler.

6.3. Scheeps geïnduceerde waterbewegingen

Om het effect van het primaire golfsysteem op de stroomsnelheid bij de meetpaal te onderzoeken zijn vijf scheepspassages gebruikt. Bij vier van deze scheepspassages werd een waterspiegeldaling op het slik waargenomen. Deze keus is gebaseerd op de aanname dat juist dan het hele primaire golfsysteem het sterkst zal zijn. Eén schip veroorzaakte alleen secundaire golven. Deze metingen zijn gedaan bij meetlocatie 1.

Van deze schepen zijn de waterstand fluctuaties, de stroomsnelheid (V) en de componenten van de snelheid (V_y en V_x) in grafieken gezet (Bijlage 5). De richting van V_y is evenwijdig aan de schorrand, V_x is loodrecht op de schorrand.

Alle schepen voeren met de ebstroom mee.

De gemeten effecten van deze schepen zullen besproken worden en vergeleken worden met de in de hoofdstuk 4 besproken waterbewegingen.

Schip 1.

Op ongeveer 65 s voor de grote waterspiegeldaling (zie bijlage 5) stopt de door het getij veroorzaakte daling van de waterspiegel. Op 50 cm boven de bodem begint op dat moment een toename in V_y op te treden. Deze bereikt een maximum vlak voor de grote waterspiegeldaling. Op 20 cm boven de bodem is dit veel minder duidelijk. Op het moment dat V_y een maximum bereikt, bereikt V_x een minimum. Net voor de sterke waterspiegeldaling treedt er een sprong op in waterstand (2 cm). Deze veranderingen in stroomsnelheid en waterstand worden veroorzaakt door de frontgolf en frontstroom.

De waterspiegeldaling bedraagt ± 10 cm. Bij deze daling neemt V_y af, dit tengevolge van de retourstroom rond het schip die hier dus tegengesteld is aan de ebstroom. V_x bereikt op het zelfde moment een piekwaarde, zoals de positieve x -richting was gedefinieerd betekent dat een grotere stroming van het slik af.

Nadat het laagste punt in de waterspiegeldaling is bereikt begint het herstel van de waterstand tot op het niveau van de bij het getij behorende waterstand. Dit is de haalgolf en de hoogte van deze golf is ± 6 cm. Hierna komen de secundaire scheepsgolven. Het waargenomen patroon van de secundaire golven is hierin herkenbaar: Eerst hoge golven (interferentie golven) en dan lage golven (transversale golven).

Schip 2.

Dit schip kwam 8 minuten na schip 1, de tijdassen lopen dan ook door waar deze bij schip 1 gestopt zijn.

In de waterstandfluctuaties is het patroon van de interferentie en transversale golven duidelijk herkenbaar.

In de stroomsnelheidfluctuaties is geen retourstroom waar te nemen. De waterspiegeldaling bedraagt 6 cm en de haalgolf is 4 cm.

Schip 3.

In de stroomsnelheidsfluctuaties is de retourstroom op 50 en 20 cm herkenbaar (daling in de stroomsnelheid omdat de retourstroom tegengesteld is aan de ebstroom). De daling van de waterspiegel is 5 cm en de haalgolf is 3 cm. Gelijktijdig met de haalgolf gaat de stroomsnelheid omhoog. Dit is de taludvolgstroom (stijging in stroomsnelheid omdat de volgstroom dezelfde richting heeft als de ebstroom). Het secundaire golfsysteem heeft weer het kenmerkende patroon alleen is de hoogte van de interferentie golven opgewekt bij het hek van het schip lager dan de hoogte van de interferentie golven opgewekt bij de boeg.

Schip 4.

Bij dit schip werden alleen secundaire golven waargenomen in de stroomsnelheidsfluctuaties zijn geen veranderingen t.g.v. het primaire golfsysteem zichtbaar.

Schip 5.

Het patroon van waterstandfluctuaties lijkt veel op dat van het eerste schip. Op 80 s voor het begin van de daling van de waterspiegel stopt de waterstandverlaging veroorzaakt door het getij t.g.v. van de frontgolf. De waterspiegeldaling bedraagt 12 cm. De haalgolf is 7 cm. De retourstroom en de frontstroom zijn herkenbaar. De taludvolgstroom is niet herkenbaar.

In de metingen is het secundaire en primaire golfsysteem te herkennen. Het effect van het primaire golfsysteem op de stroomsnelheden is klein. De stroomsnelheden nemen maximaal met 10 cm/s toe of af, t.o.v. de gemiddelde stroomsnelheid op dat moment, door het primaire golfsysteem.

Een significante golfhoogte van het secundaire golfsysteem, in dit geval van de interferentie golven omdat deze het hoogst en dus het belangrijkste zijn, is moeilijk te geven. Ten eerste is er geen verwerkingsprogramma dat hiervoor gebruikt kan worden. Ten tweede is deze hoogte afhankelijk van een aantal factoren. Op grond van de waarnemingen dat de gemiddelde brekerhoogte van deze golven 20 à 25 cm was, dat de brekerhoogte 1 à 2 maal de golfhoogte in diepwater is (Komar, 1976) en de gemeten golfhoogtes bij de hierboven beschreven schepen wordt gesteld dat de gemiddelde significante golfhoogte van de interferentie golven 10 à 15 cm is.

Een maximale golfhoogte opgewekt door schepen is moeilijk te geven aangezien deze afhankelijk is van een groot aantal factoren.

6.4. Stroomsnelheidsmetingen

De gemeten stroomsnelheden en de waterstanden zijn gegeven in bijlage 6. De stroomsnelheden zijn minuut gemiddelden die om de vier minuten zijn berekend.

6.4.1. Meetlocatie 1

De meetgegevens verzameld bij de paal zijn in tabel 5a en 5b weergegeven. Hierin staan vermeld de maximale stroomsnelheden van de eb- en vloedstroom op 20 en 50 cm boven de bodem, het aantal minuten voor of na hoogwater dat deze werden gemeten en de waterstand t.o.v. NAP op dat moment. De waterstand bij stroomkentering en hoogwater. De stroomkentering viel altijd voor hoogwater.

Tabel 5a. Meetgegevens bij de meetpaal.

Datum	7-10-'91			8-10-'91			21-10-'91		
	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s
Stroomkentering	30	2.4		42	2.4		5	2.6	
V(20,vloed,max)	---	---	---	---	---	---	101	0.95	33.0
V(50,vloed,max)	---	---	---	---	---	---	68	1.75	44.5
V(20,eb,max)	109	1.3	51.0	145	0.95	53.0	116	1.1	43.0
V(50,eb,max)	109	1.3	73.5	145	0.95	71.0	116	1.1	61.0
Hoogwater		2.65			2.9			2.6	

Tabel 5b. Meetgegevens bij de meetpaal.

Datum	22-10-'91			22/23-10-'91			23-10-'91		
	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s	min. n/v. H.W.	W.S. m. NAP.	V cm/s
Stroomkentering	35	2.65		39	1.3		20	2.9	
V(20,vloed,max)	69	1.6	40.0	45	1.4	40.5	90	1.20	37.0
V(50,vloed,max)	84	1.2	54.0	---	---	---	---	---	---
V(20,eb,max)	131	1.2	49.5	115	1.6	53.0	114	1.5	52.0
V(50,eb,max)	131	1.2	67.5	---	---	---	---	---	---
Hoogwater		2.85			3.0			3.0	

Samenvattend voor meetlocatie 1, bij de meetpaal, viel de stroomkentering middeld 29 minuten voor hoogwater. De maximale snelheid van de vloedstroom viel gemiddeld 74 minuten voor hoogwater (45 minuten voor kentering). De maximale ebstroomsnelheid viel gemiddeld 122 minuten na hoogwater (151 minuten na kentering).

De vloedstroomsnelheden zijn lager dan de ebstroomsnelheden. De hoogst gemeten snelheden zijn: $V_{20, \text{vloed, max.}} = 40.5 \text{ cm/s}$ en $V_{50, \text{vloed, max.}} = 54 \text{ cm/s}$. $V_{20, \text{eb, max.}} = 53 \text{ cm/s}$ en $V_{50, \text{eb, max.}} = 73.5 \text{ cm/s}$.

Colnbrook 7-10-91.

De stroomkentering valt op het zelfde moment als bij de meetpaal. $V_{20, \text{vloed, max.}} = 40.5 \text{ (cm/s)}$ en valt 25 minuten voor de stroomkentering. Bij de meetpaal is op dat moment $V_{20} = 34 \text{ cm/s}$ en $V_{50} = 44 \text{ cm/s}$.

$V_{20, \text{eb, max.}} = 42.5 \text{ cm/s}$ en valt 32 minuten na kentering. Op dat moment is het hoogwater. $V_{20} = 22.5 \text{ cm/s}$ en $V_{50} = 30.5 \text{ cm/s}$ bij de meetpaal.

Colnbrook 8-10-91.

$V_{20, \text{vloed, max.}} = 41.5 \text{ cm/s}$ en valt op 25 minuten voor de stroomkentering.

$V_{20, \text{eb, max.}} = 48.5 \text{ cm/s}$ en valt 46 minuten na kentering.

Colnbrook 9-10-91.

$V_{20, \text{vloed, max.}} = 49.5 \text{ cm/s}$ en valt 25 minuten voor de kentering.

$V_{20, \text{eb, max.}} = 46.5 \text{ cm/s}$ en valt 40 minuten na de kentering.

De maximaal stroomsnelheden bij de colnbrook verschillen weinig van die bij de meetpaal.

6.4.2. Meetlocatie 2

Gemiddeld werd de maximale vloedstroom snelheid 85 minuten voor de stroomkentering gemeten en maximale ebstroom snelheid 105 minuten na stroomkentering. Op de dag dat er ook een waterstand bekend is viel de stroomkentering 30 minuten na hoogwater.

De maximale vloed en eb snelheden zijn bijna gelijk. $V_{20, \text{vloed, max.}} = 59 \text{ cm/s}$ en $V_{50, \text{vloed, max.}} = 61 \text{ cm/s}$. $V_{20, \text{eb, max.}} = 58 \text{ cm/s}$ en $V_{50, \text{eb, max.}} = 59 \text{ cm/s}$.

Heel opvallend bij deze metingen is dat er bijna geen verschil zit in de stroomsnelheden op 20 en 50 cm boven de bodem. Er is dus sprake van een uniforme stroomsnelheidsverdeling. Dit is kenmerkend voor zogenaamde turbulente stromingen.

7. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1. Conclusies

De verschillende waterbewegingen opgewekt door een varend schip zijn, zowel in het veld als in de meetgegevens, duidelijk te herkennen.

De effecten van het primaire golfsysteem op de stroomsnelheden zijn klein. De stroomsnelheid neemt maximaal met 10 cm/s toe of af tengevolge van de frontstroom, retourstroom en taludvolgstroom.

De gemiddelde brekerhoogte van de interferentie golven was 20 à 25 cm met een maximaal gemeten waarde van 40 cm. De gemiddelde significante golfhoogte van deze golven wordt geschat op 10 à 15 cm.

De middelgrote schepen wekten de hoogste golven op. Deze schepen varen relatief snel. De grote schepen (olietankers) wekten geen golven op. De snelheid van deze schepen was zeer laag. De grotere schepen die na de verdieping Antwerpen kunnen bereiken zullen bij oost Saeftinghe geen extra erosie, t.g.v scheepsgolven, veroorzaken. De vaarsnelheid van deze schepen zal ook dan zeer laag zijn.

Het positieve effect van de verdieping op de grootte van de scheepsgeïnduceerde waterbewegingen, bij toenemende diepte neemt de grootte af, zal nihil zijn. Er is hier sprake van een kleine verdieping t.o.v. de huidige diepte.

De hoogst gemeten vloedstroomsnelheid op 20 cm boven de bodem bij de paal bij meetlocatie 1 was 40.5 cm/s en op 50 cm boven de bodem 54 cm/s. Voor de ebstroomsnelheid was dit respectievelijk 53 cm/s en 73.5 cm/s

De hoogst gemeten vloedstroomsnelheid bij meetlocatie 2, op 20 cm en 50 cm boven de bodem, was respectievelijk 59 cm/s en 61 cm/s. Voor de ebstroomsnelheid was dit 58 cm/s en 59 cm/s.

De maximale stroomsnelheid op 35 m voor de schorrand, op 20 cm boven de bodem, was voor de vloedstroom 49.5 cm/s en voor de ebstroom 48.5 cm/s

De stroomsnelheid net voor de schorrand bij locatie 1 was heel laag (visuele observatie).

De secundaire scheepsgolven veroorzaakten geen toename in de stroomsnelheid (longshore current) voor de schorrand. Als deze golven tegen het klif aan liepen werd sediment uit het klif in suspensie gebracht (visuele observaties).

Sinds 1975 is er bijna geen inscharing meer van de buitenbocht in oost Saeftinghe. Een mogelijke verklaring hiervoor is de zeer stevige veenlaag die hier langs de gehele vooroever dagzoomt.

Het noordoostelijke deel van het schor is sinds 1971 aan het eroderen.

Het oostelijk deel kent sinds 1971 zowel stabiel als eroderende delen. Gezien de ontwikkeling van de oostelijke schorrand in de laatste 20 jaar zal de gehele schorrand hier gaan eroderen.

In eerste instantie kan er maar één eenduidig verschil worden aan gegeven tussen het erosieve en stabiele gebied: de vorm van het slik net voor de schorrand. In een stabiel gebied was deze convex en in een erosief gebied was deze concaaf. Mogelijk treedt er door de convexe vorm net voor de schorrand sterke energie dissipatie op zodat, de energie om het schor te eroderen, verminderd.

De algemene helling van het slik lijkt geen rol te spelen bij de energie dissipatie. In het noordoostelijk deel is de algemene helling van het slik 2

à 3 keer kleiner dan in het oostelijk deel. Toch is in het noordoostelijke deel de gehele schorrand aan het eroderen.

Het relatieve effect van wind- versus scheepsgolven op de schorrand erosie is niet bepaald. Er is niet voldoende informatie over windgolven bij oost Saeftinghe bekend. Echter gezien de ligging van het schor t.o.v. de heersende windrichting en het feit dat bij hoogwater een piek in de scheepvaart optreedt wordt verwacht dat scheepsgolven in oost Saeftinghe van belang zijn bij de schorerrosie.

7.2. Aanbevelingen

De opstelling van de meetpalen bij de slik-geulrand lijkt goed te hebben voldaan. Bij stroomsnelheidsmetingen voor het schor wordt aangeraden een tweede stroomsnelheidsmeter direct voor de schorrand te plaatsen. Een golfmeter bij het schor wordt eveneens aangeraden.

Voor een snelle verwerking en controle op het goed functioneren van de meetapparatuur moet verwerkingsprogrammatuur voor de data aanwezig zijn. Bij de hoofdafdeling Scheepvaart van de Dienst Verkeerskunde is het SVI-meetsysteem beschikbaar. Dit systeem bestaat uit meetapparatuur en software speciaal ontwikkeld voor metingen zoals in dit onderzoek zijn gedaan. Dit systeem staat sinds November 1991 ter beschikking van alle rijkswaterstaatsdiensten.

Onderzoek naar het effect van het tegenstrooms varen van schepen op de stroomsnelheden boven het slik. In dit onderzoek is alleen naar schepen gekeken die met de stroom mee voeren.

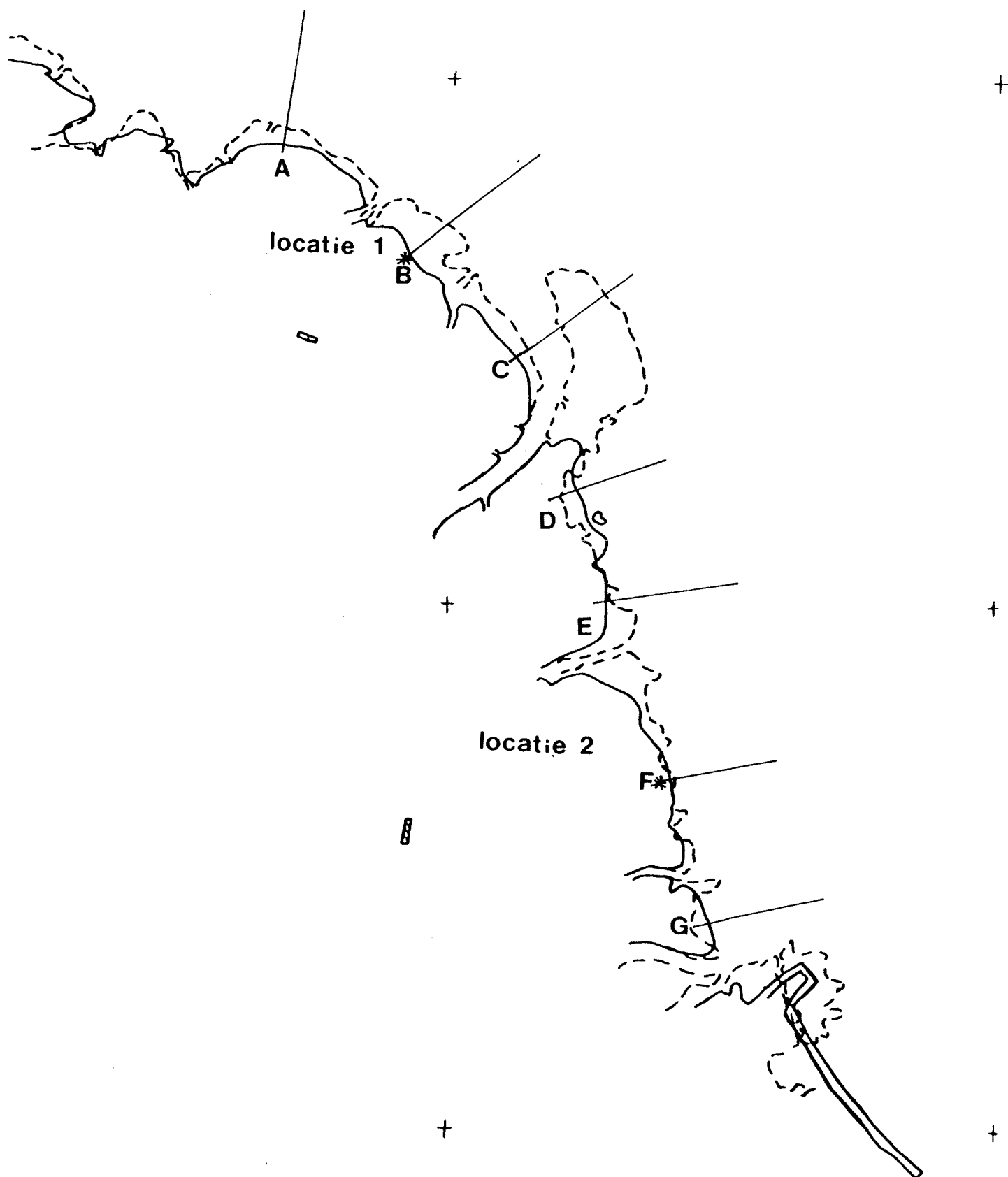
Onderzoek naar de windgolven die bij oost Saeftinghe voor kunnen komen zodat het effect van wind- versus scheepsgolven op de erosie beter bepaald kan worden.

8. LITERATUURLIJST

- ANONYMUS, 1982. Morfologische en landschappelijke gevolgen bij verdere verdieping van de z.g. drempels in de Westerschelde. RWS-nota DDMI-82.617.
- ANONYMUS, 1983. Handboek oeverbeschermingsconstructies. Nederlandse vereniging kust- en oeverwerken, Rotterdam.
- ANONYMUS, 1984. Verdieping Westerschelde, programma 48'/43'. Studierapport deel 1. Technische Scheldecommissie, subcommissie Westerschelde.
- ANONYMUS, 1986. Aantasting van dwarsprofielen in vaarwegen. Secundaire scheepsgolven en hun effect op de stabiliteit van talud bekledingen. Verslag modelonderzoek M1115 deel 6, Waterloopkundig laboratorium.
- ANONYMUS, 1986b. Oorzaak en te nemen maatregelen ten aanzien van de inscharende linkeroever in het vaarwater boven Bath ter hoogte van de zinkers. RWS-nota NXL-86.004.
- ANONYMUS, 1989. Beleidsplan Westerschelde. De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde. Deelrapport 4, morfologische structuur en dynamiek. RWS-DGW.
- BREBNER, A., P.C. HELWIG EN J. CARRUTHERS, 1966. Waves produced by ocean going vessels, a laboratory and field study. Proc. of the tenth conference on coastal engineering 1966. American society of coastal engineers, N.Y. .
- DAS, M.M. EN J.W. JOHNSON, 1970. Waves generated by large ships and small boats. Coastal engineering, 1970. American society of coastal engineers N.Y.
- GENUCHTEN, P.M.B. van, 1982. Effecten van het verdiepen van de vaargeul naar Antwerpen op de schor- en intergetijdegebieden in het oostelijk deel van de Westerschelde. Kaartanalyse, luchtfoto interpretatie en literatuurstudie. Intern rapport, Middelburg.
- GROEN, P. EN R. DORRESTEIN, 1976. Zeegolven. Opstellen op oceanografisch en maritiem meteorologisch gebied, no. 11. Staatsdrukkerij, s'-Gravenhage.
- HERBICH, J.B. EN R.E. SCHILLER, 1984. Surges and waves generated by ships in a constricted channel, Coastal engineering, 1984. American society of coastal engineers N.Y.
- HOUTEKAMER, N.L., 1991. Inventarisatie erosie problematiek van schorren in de Westerschelde. Rapport GEOPRO 1991.024, RUU.
- JONKERS, W., 1991. Inventarisatie en proces analyse van de schorrand erosie in de Oosterschelde. Rapport GEOPRO 1991.025, RUU.
- KOMAR, P.D., 1976. Beach processes and sedimentation. Prentice-Hall, London.
- MEULEN, A. v.d. en M.M. SCHOOR, 1988. Erosie en sedimentatie aan de schor-slik overgangen in de Westerschelde. Studierapport no. 15, Geografisch instituut, RUU.
- SCHOOT, P.M. EN M.M. EERDT, 1985. Toekomstige ontwikkeling van de schorgebieden in de Oosterschelde. Procesonderzoek schorsystemen. RWS-nota DDMI-85.23.
- SORENSEN, R.M., 1966. Ship waves. Technical report HEL-12-2, Berkely, California.
- SORENSEN, R.M. EN J.R. WEGGEL, 1984. Development of shipwave design information, Coastal engineering, 1984. American society of coastal engineers, N.Y.
- SPONSELEE, G.M.P. EN M.A. BUISE, 1979, Het Verdrongen land van Saeftinghe. Duerinck-Krachten, Kloosterzande.

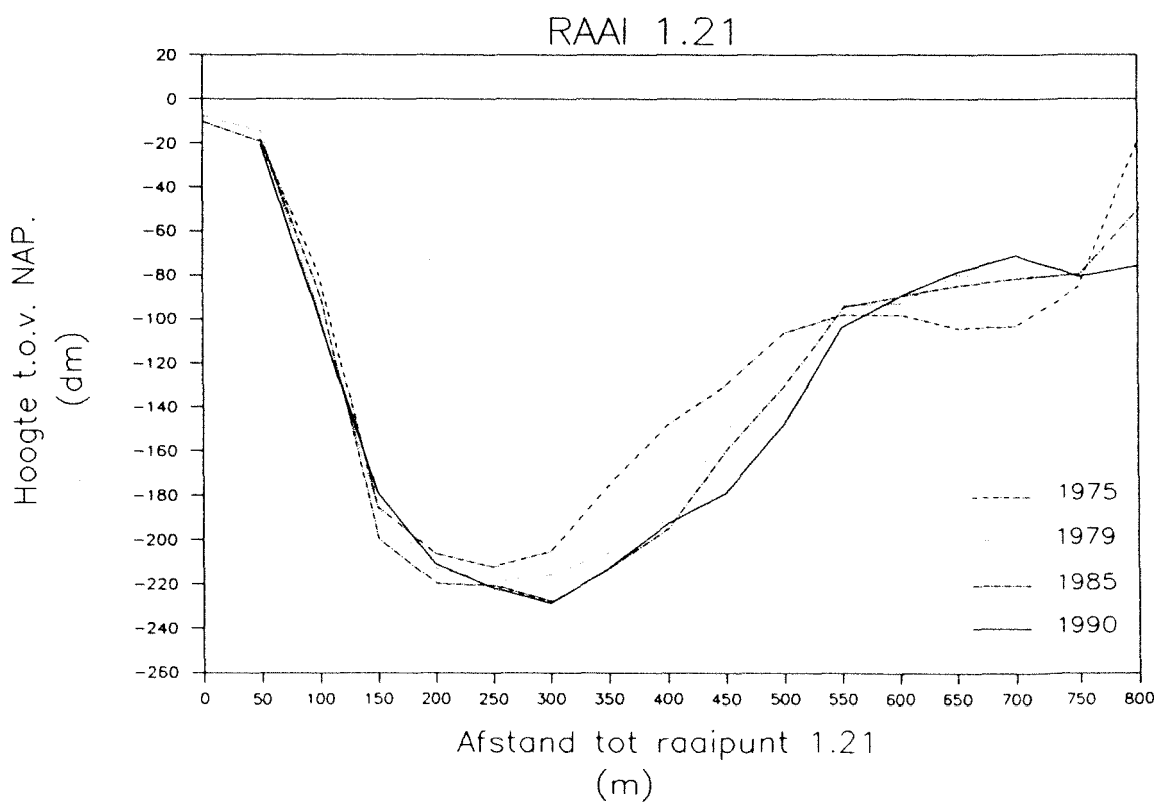
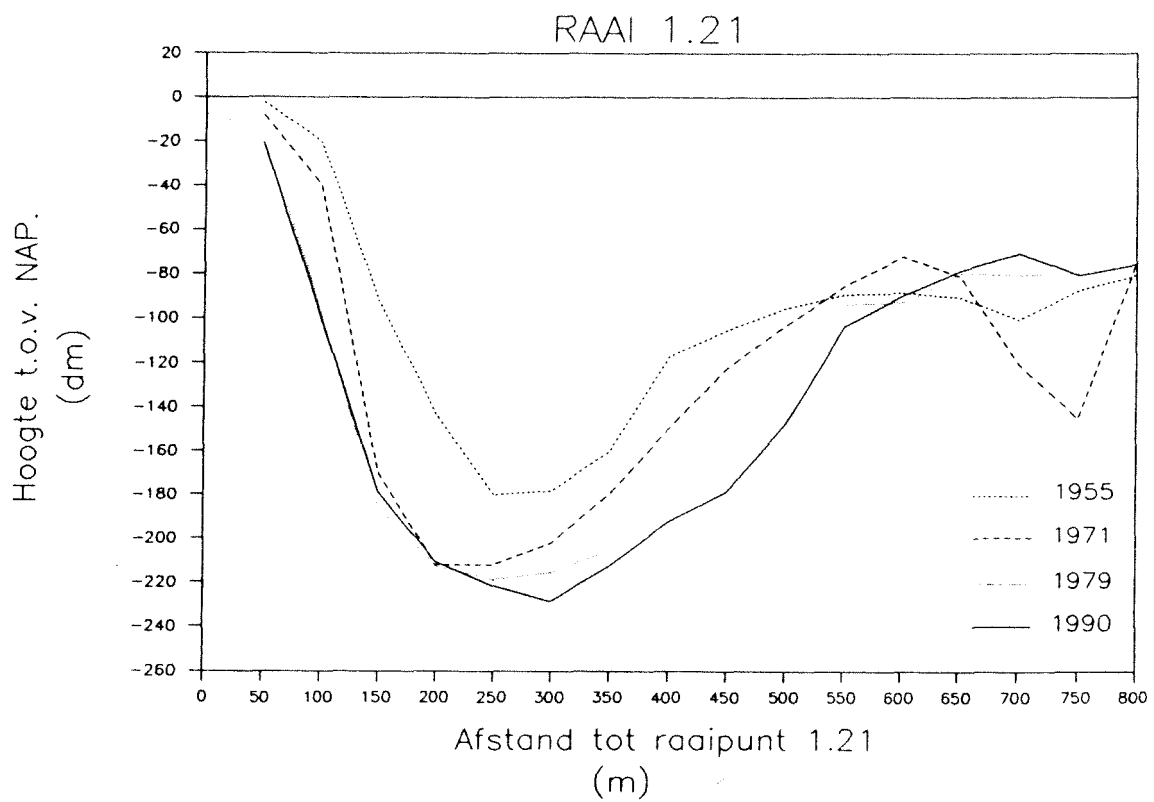
BIJLAGE 1

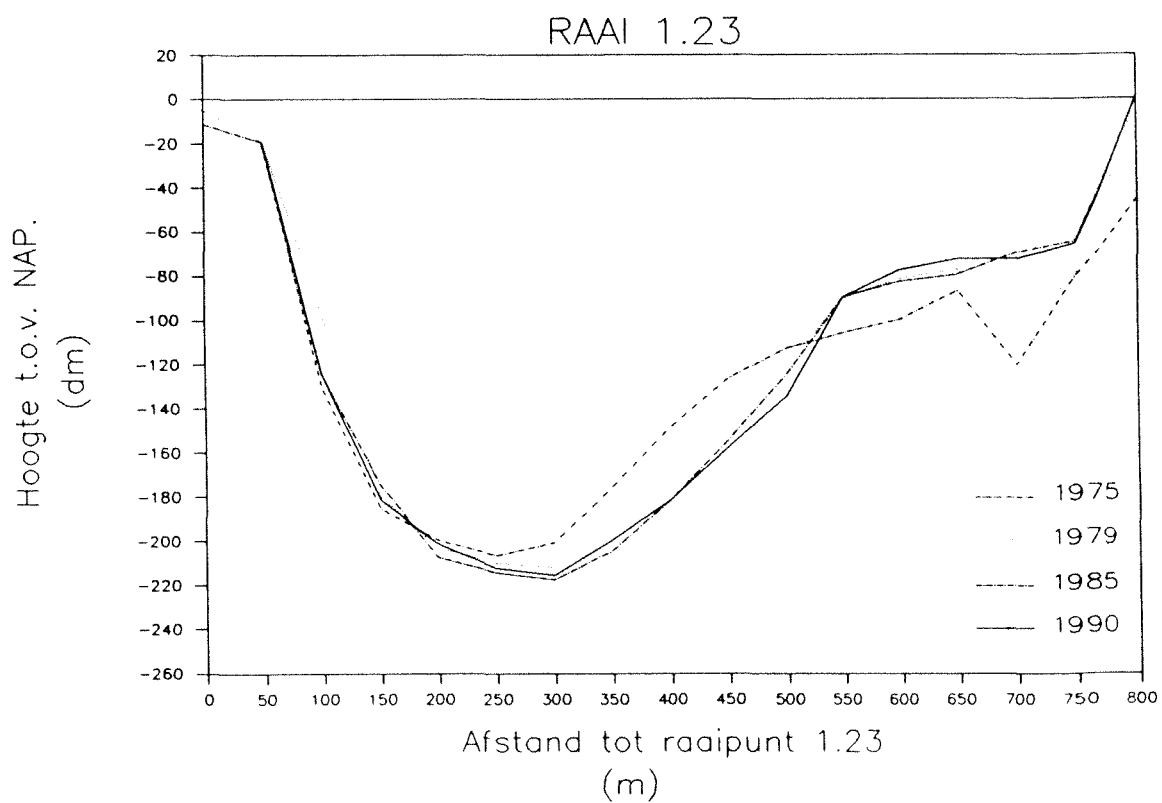
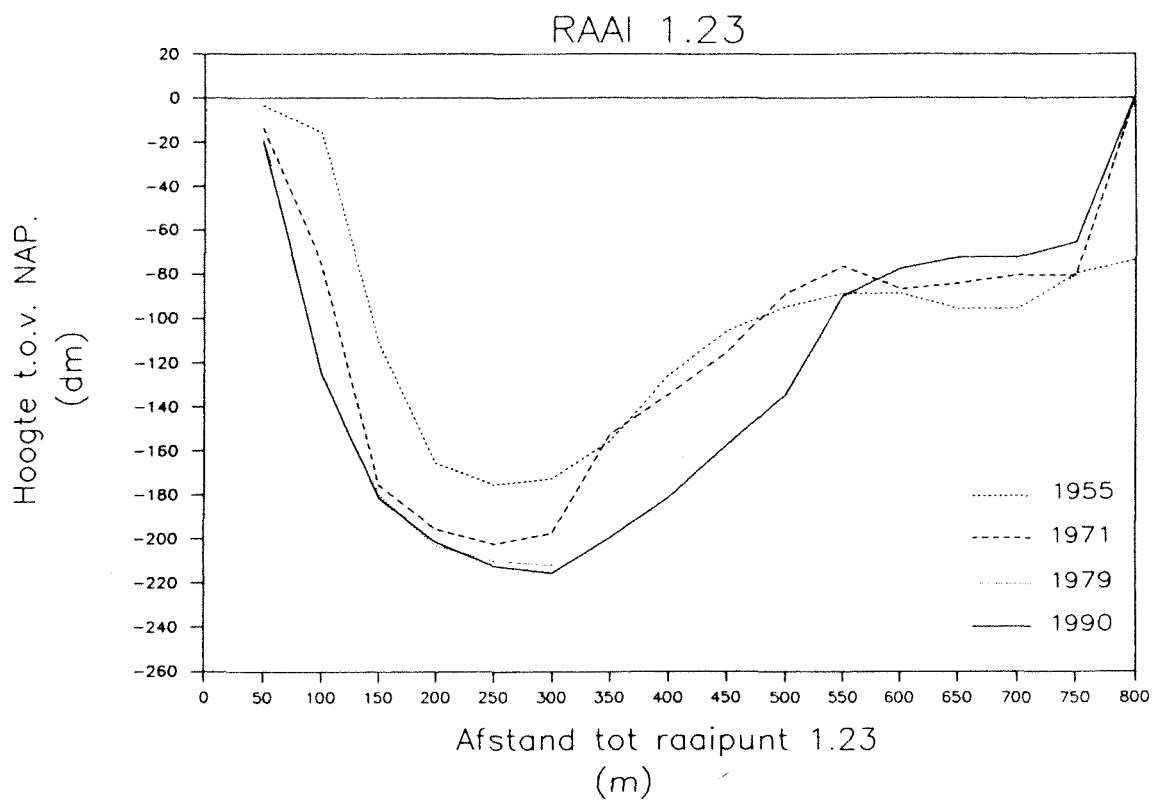
Ligging meetlocaties en waterpas profielen.

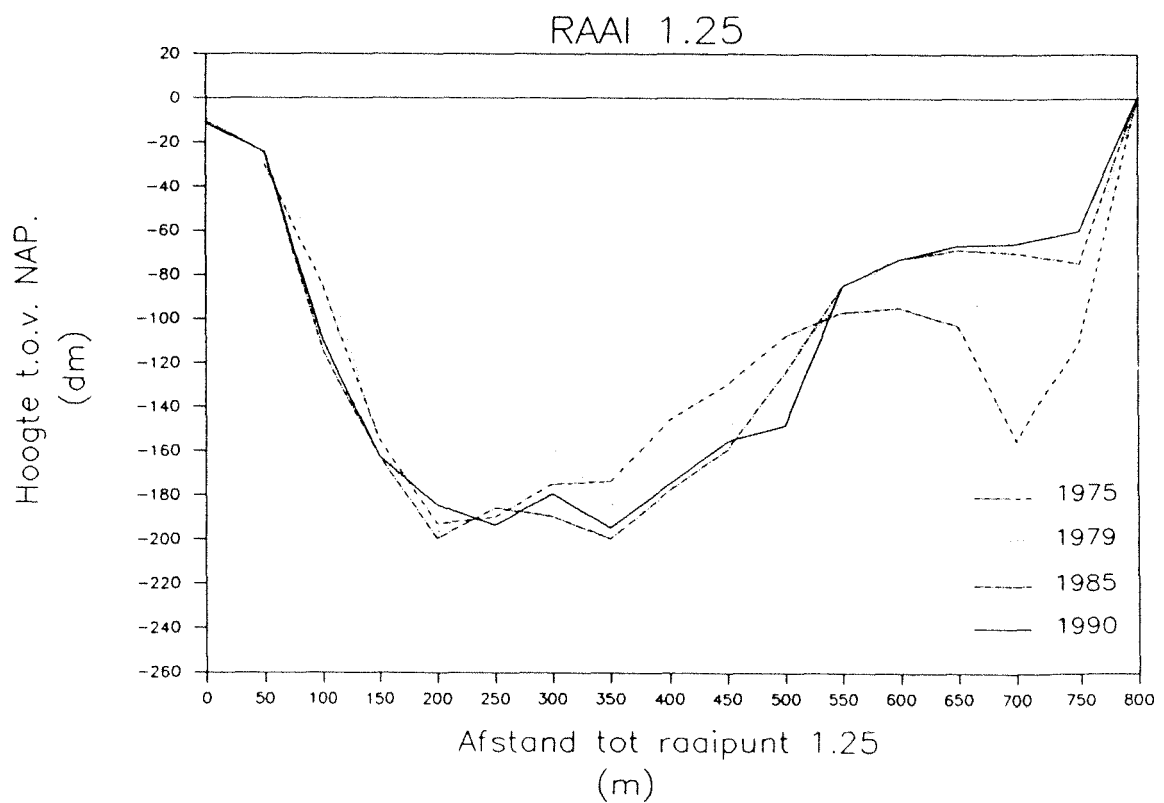
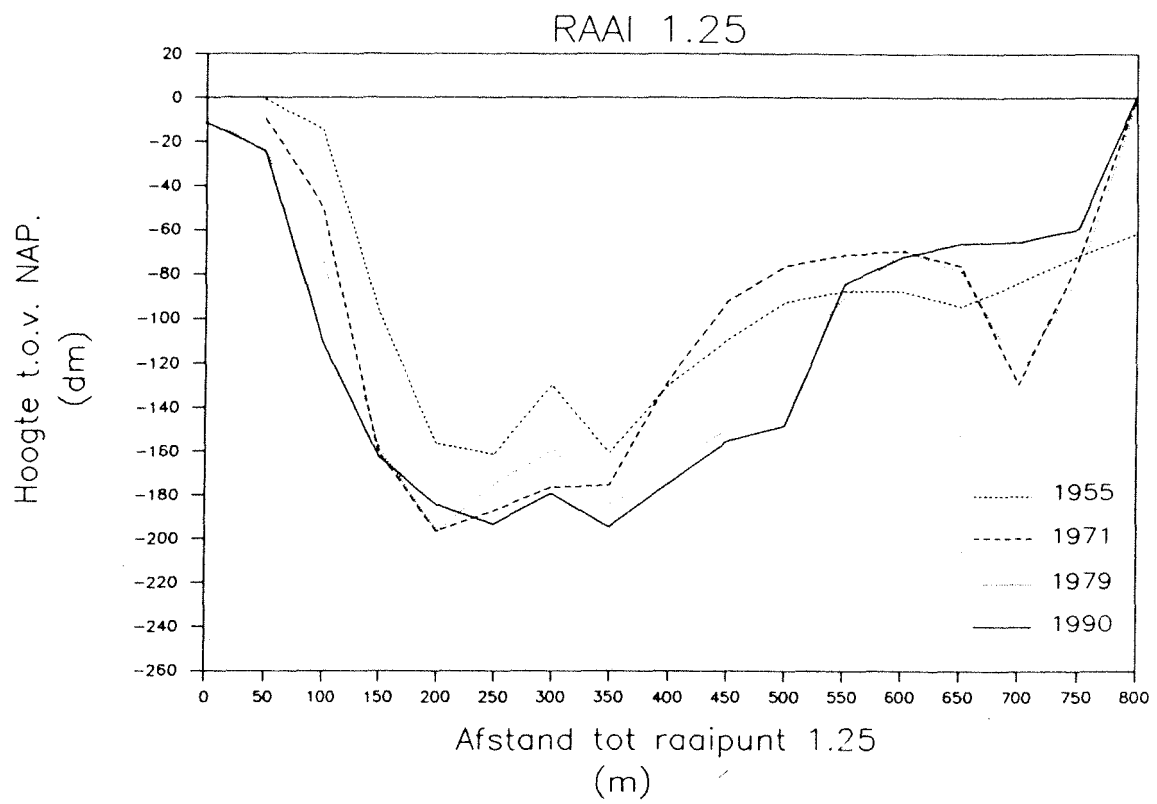


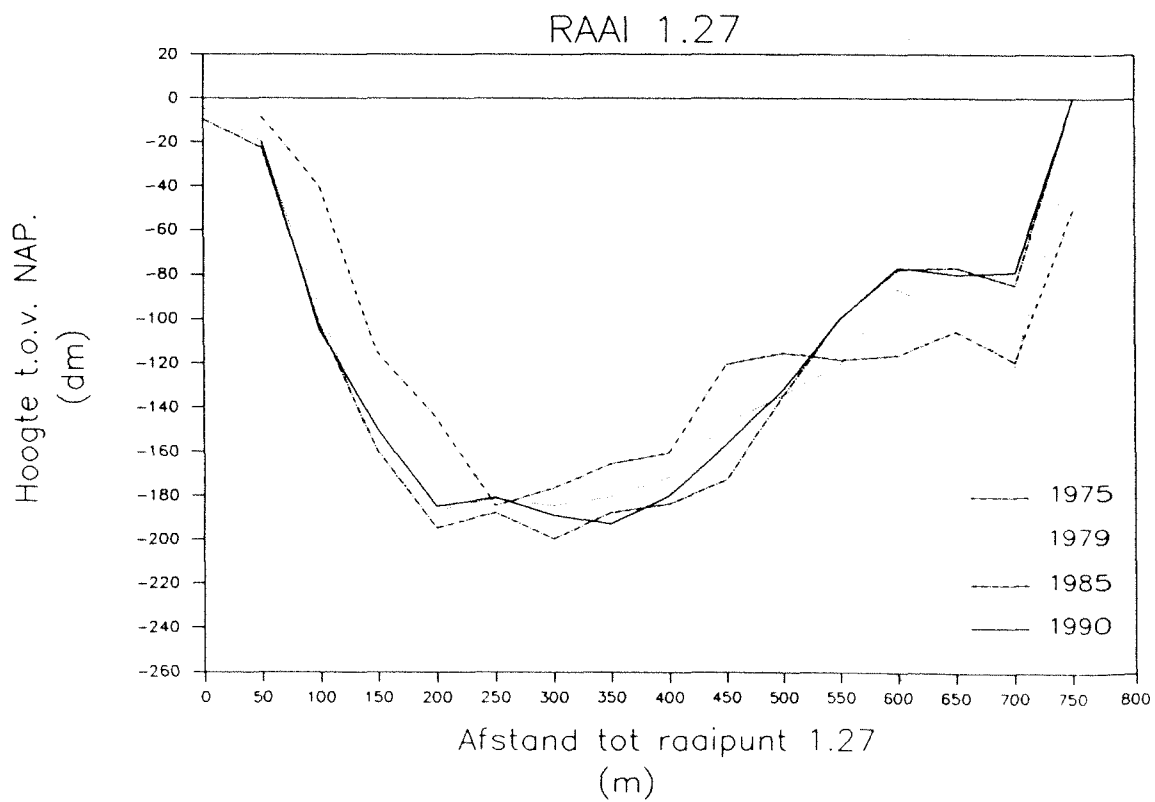
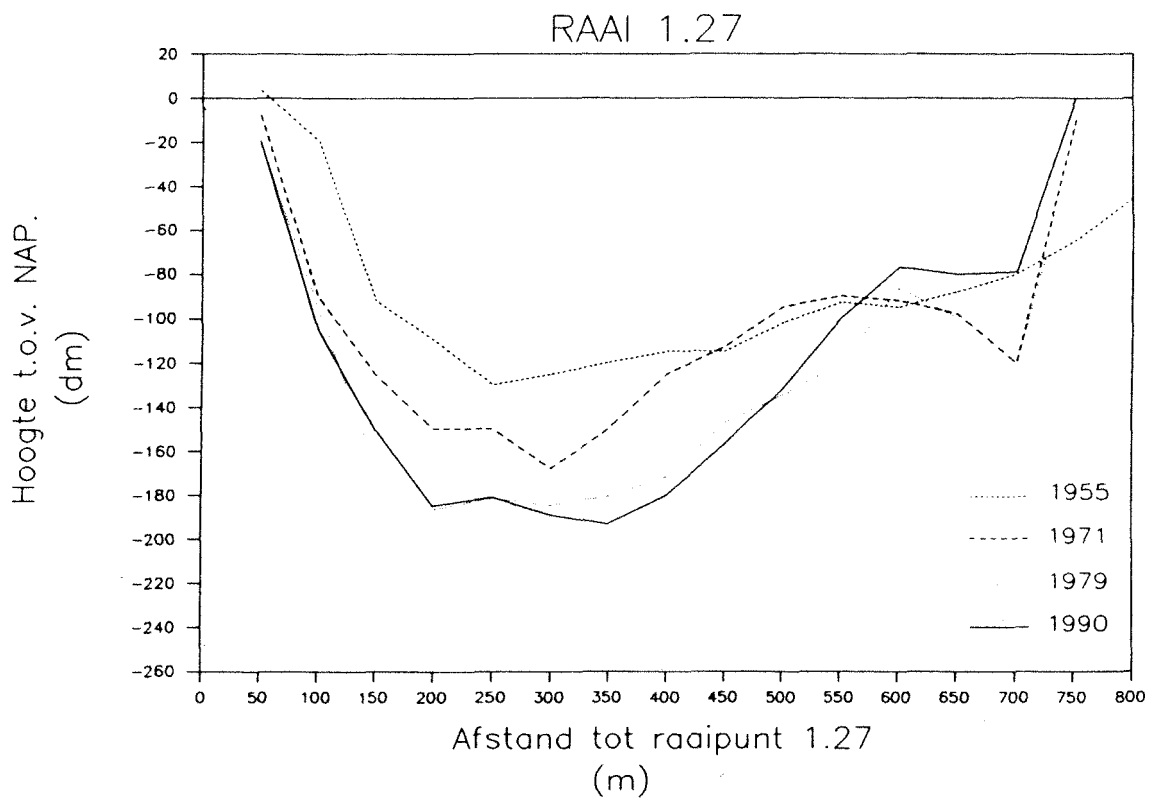
BIJLAGE 2

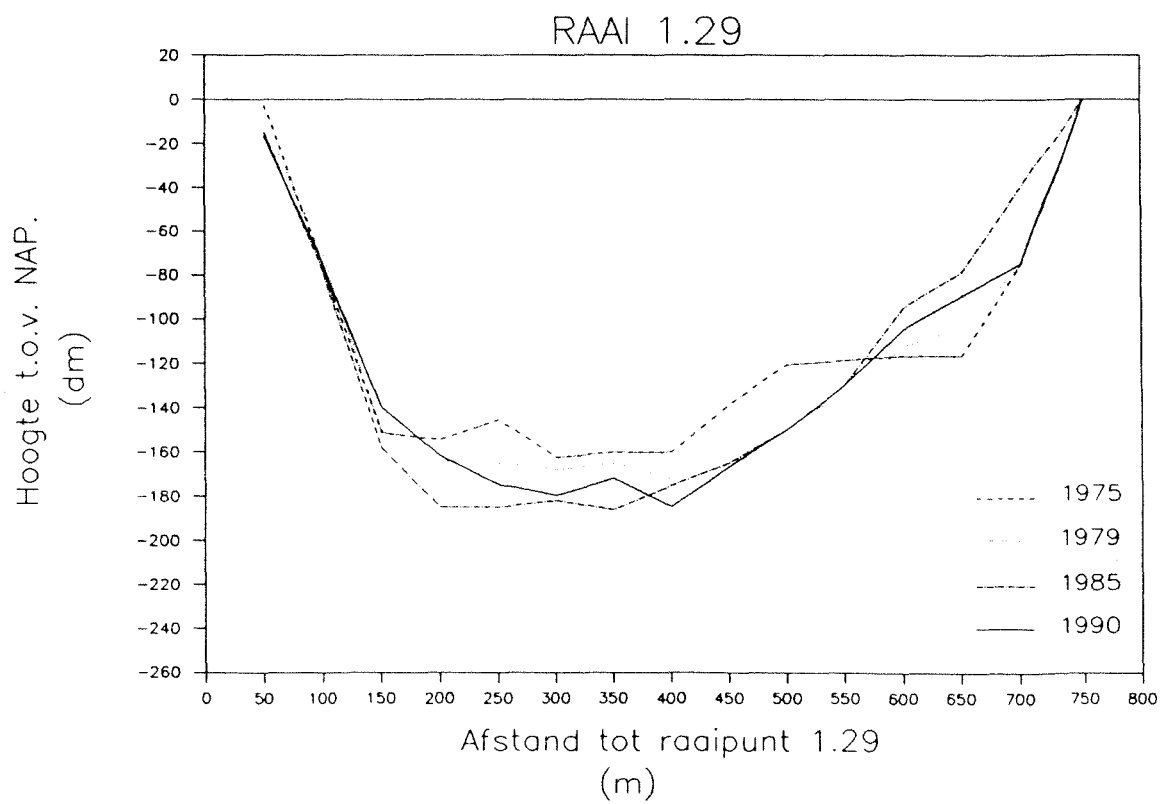
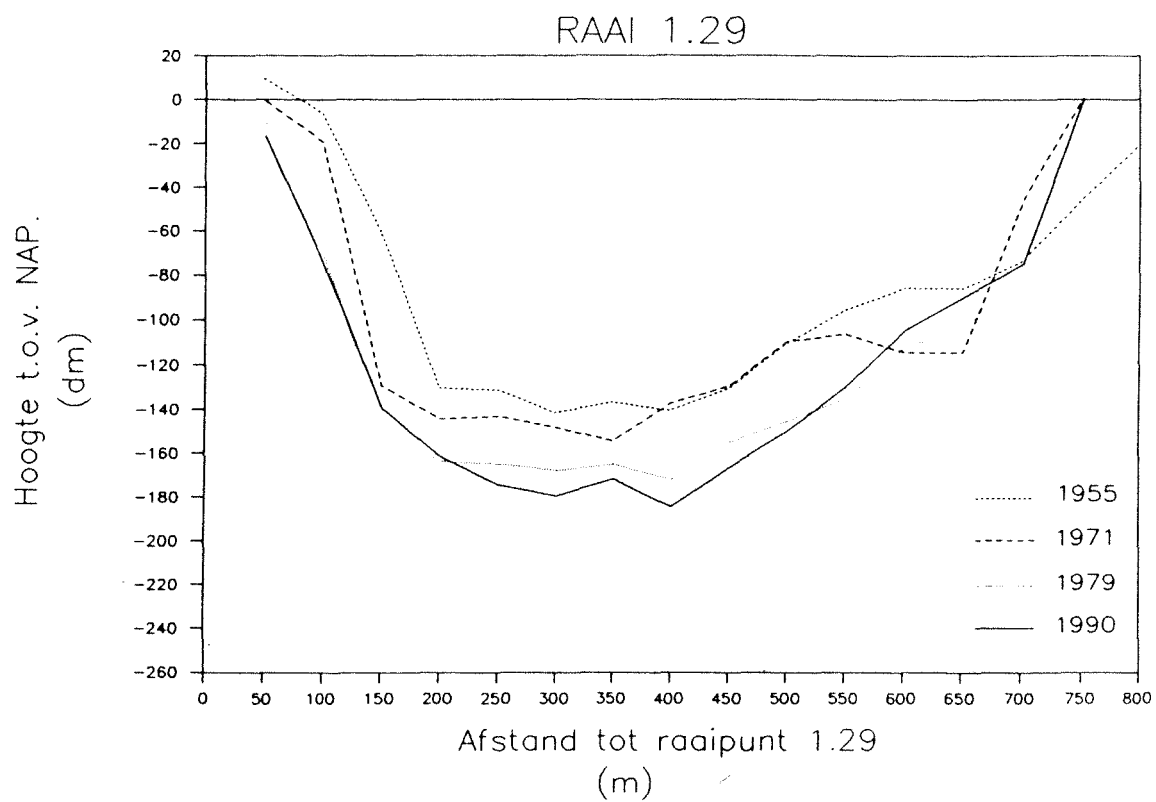
Vaklodings profielen.

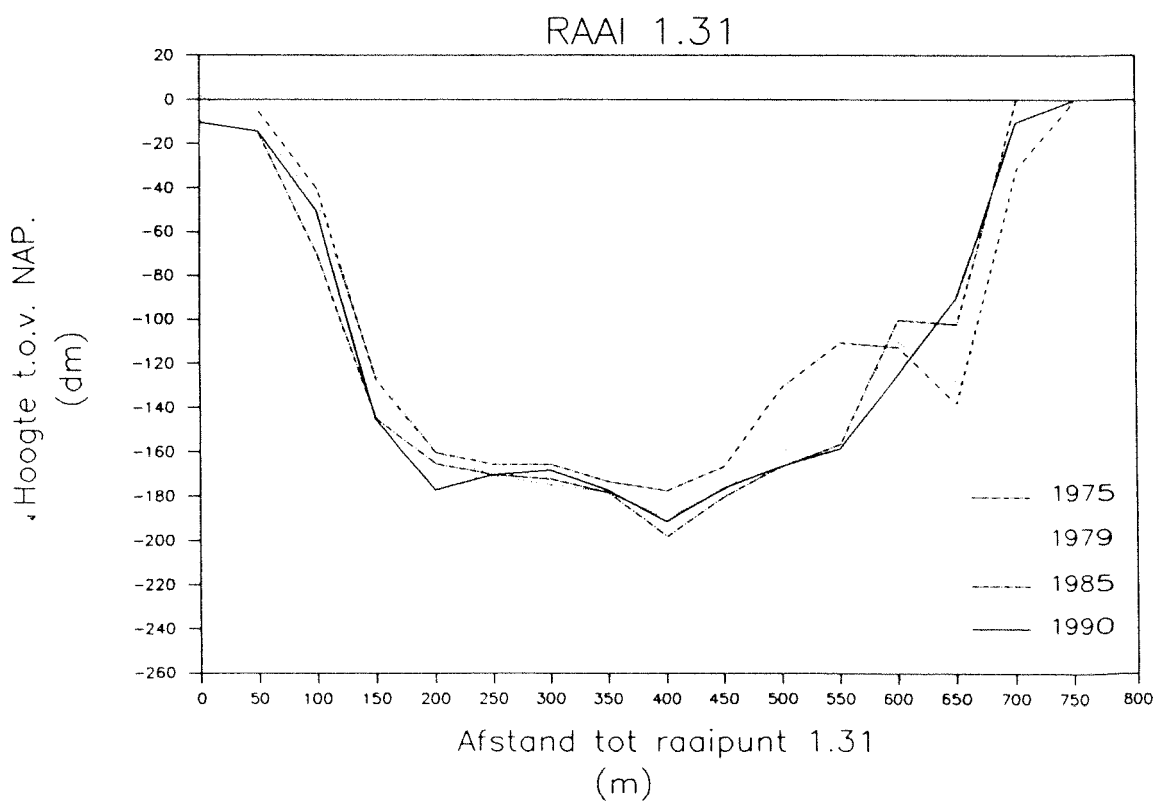
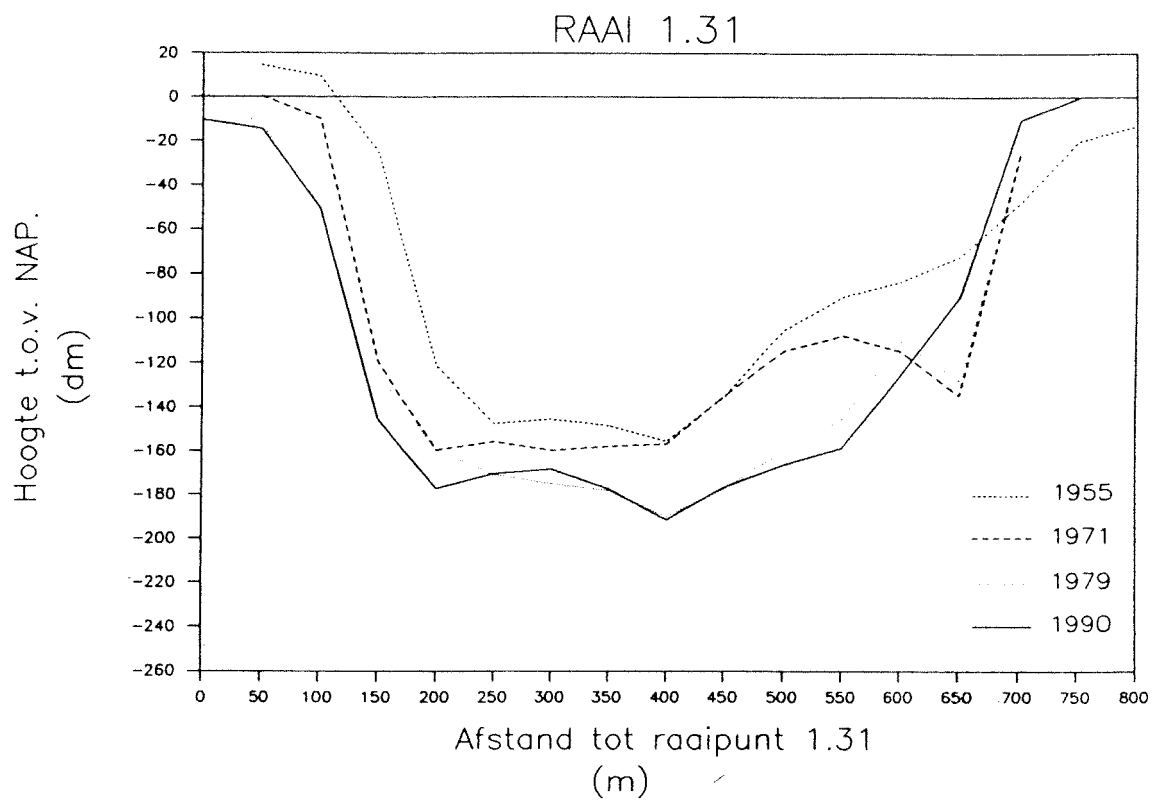


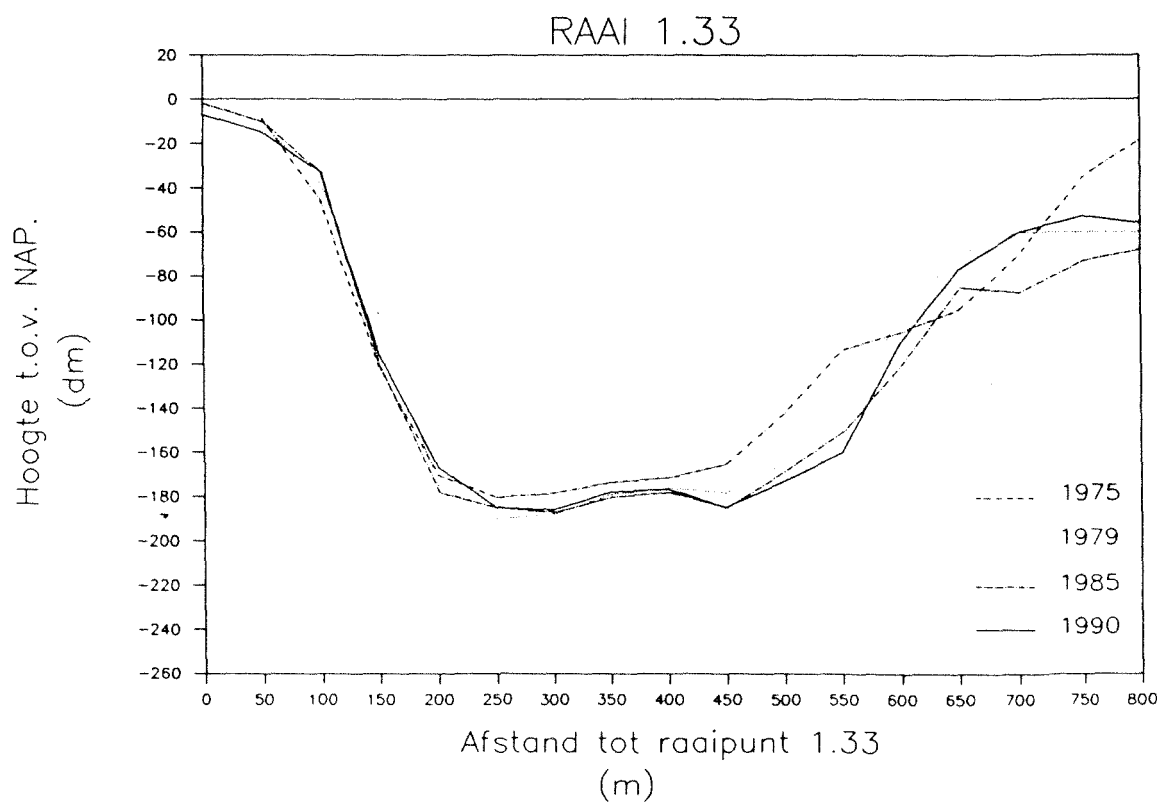
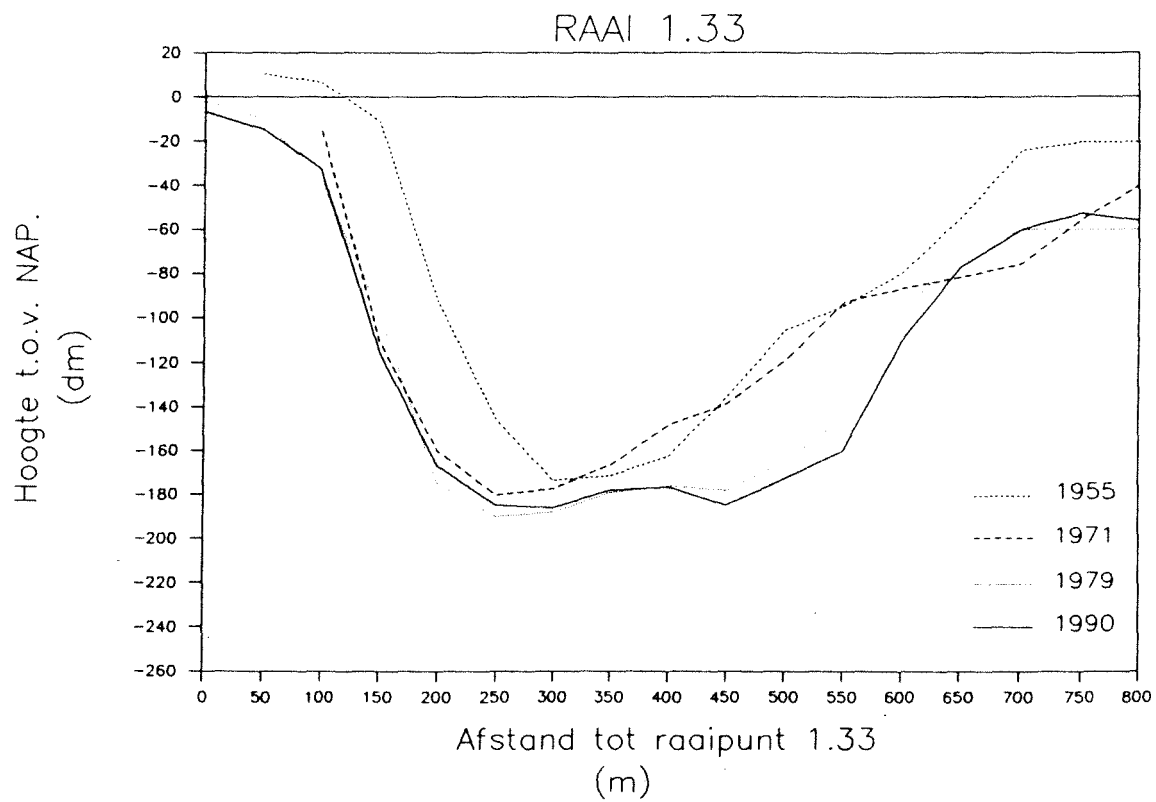


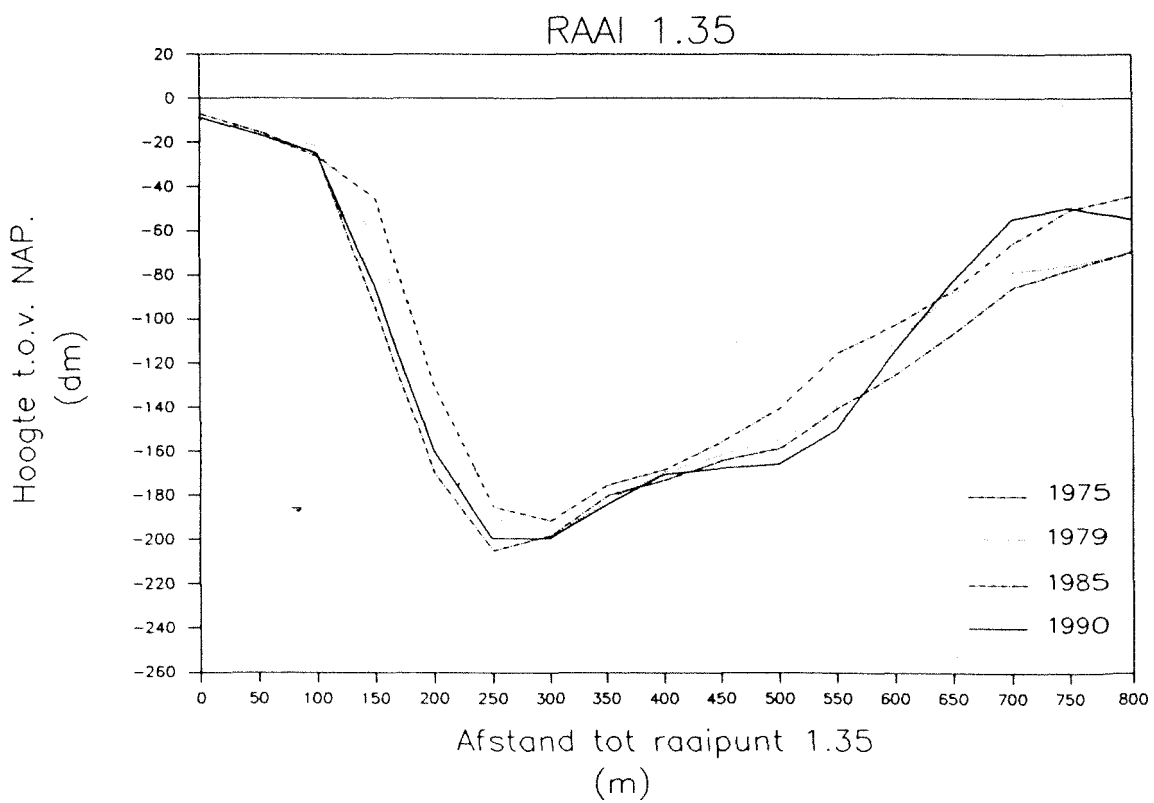
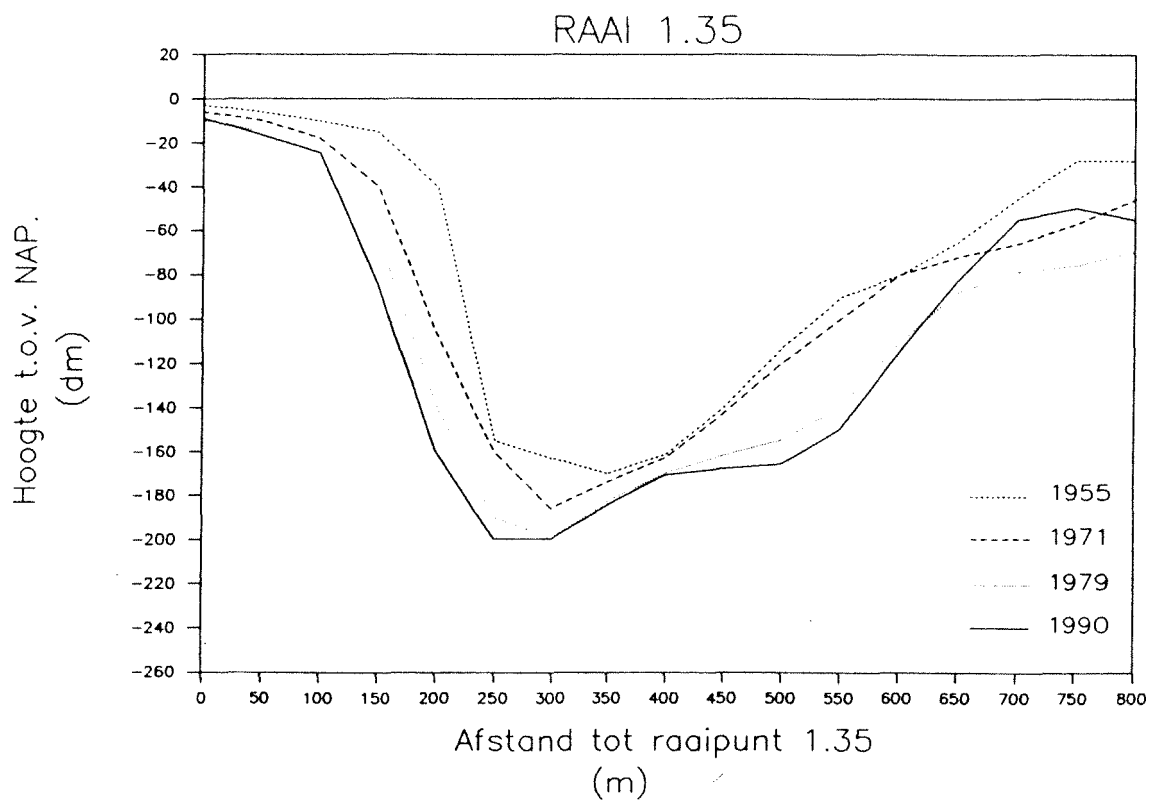












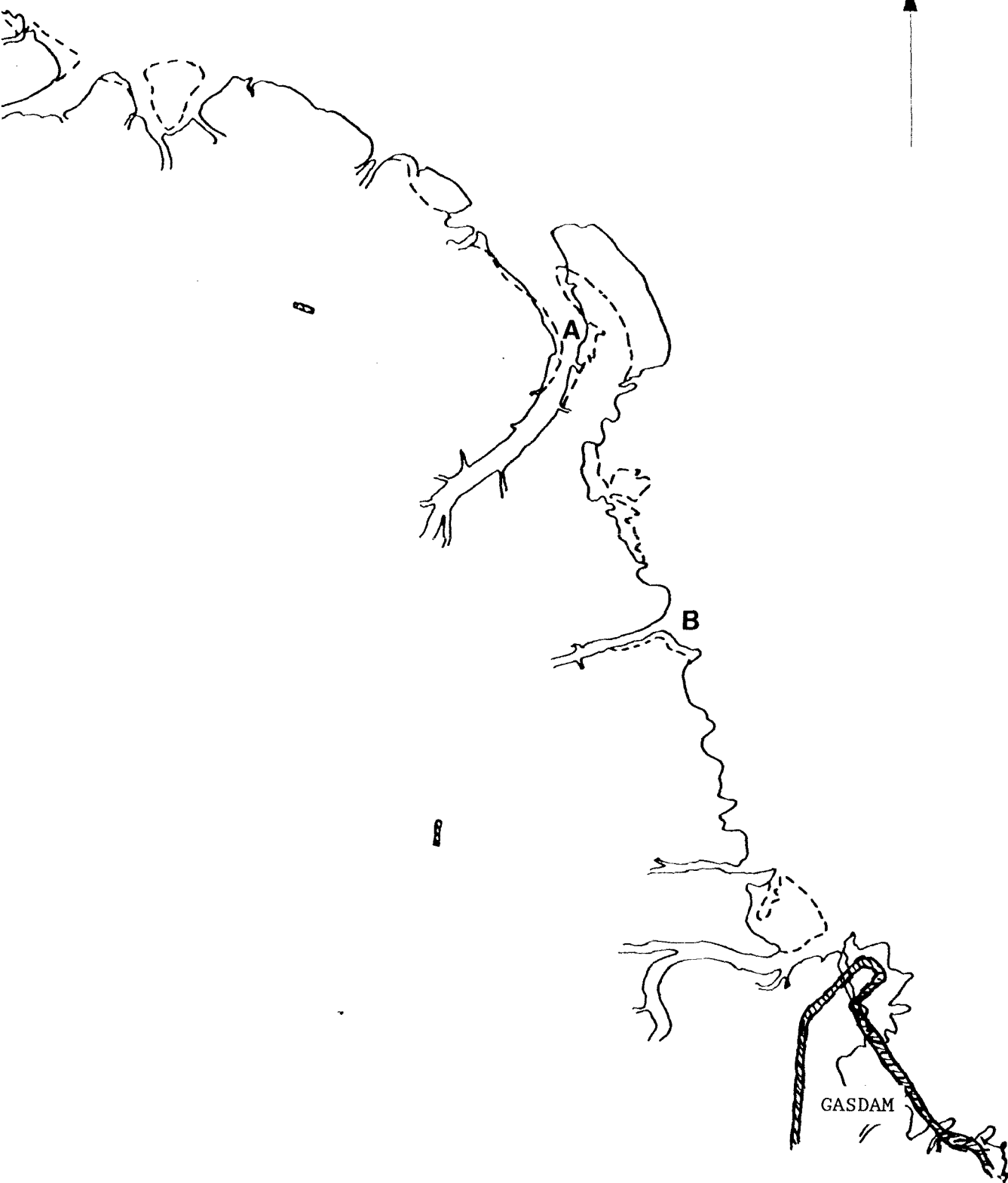
BIJLAGE 3

Kaarten oostelijk en noordoostelijk deel Verdronken land van
Saeftinghe.

SCHORRAND NOORDOOSTELIJK EN OOSTELIJK DEEL VERDRONKEN LAND VAN SAEFTINGHE

1955 EN 1971

N



— SCHORRAND 1955

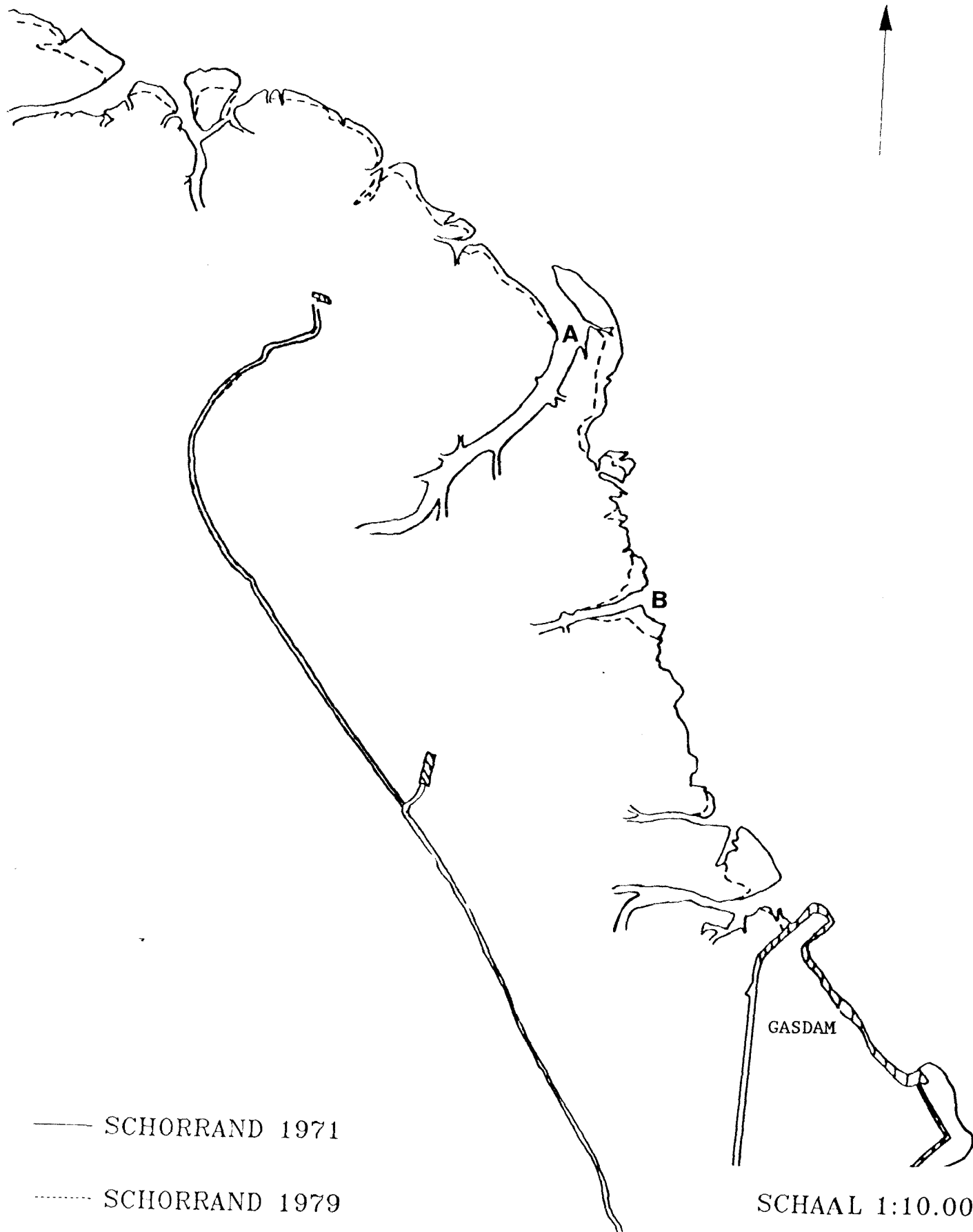
- - - - - SCHORRAND 1971

SCHAAL 1:10.000

SCHORRAND NOORDOOSTELIJK EN OOSTELIJK DEEL VERDRONKEN LAND VAN SAEFTINGHE

1971 EN 1979

N



SCHORRAND NOORDOOSTELIJK EN OOSTELIJK DEEL VERDRONKEN LAND VAN SAEFTINGHE

1979 EN 1990

N



—— SCHORRAND 1979

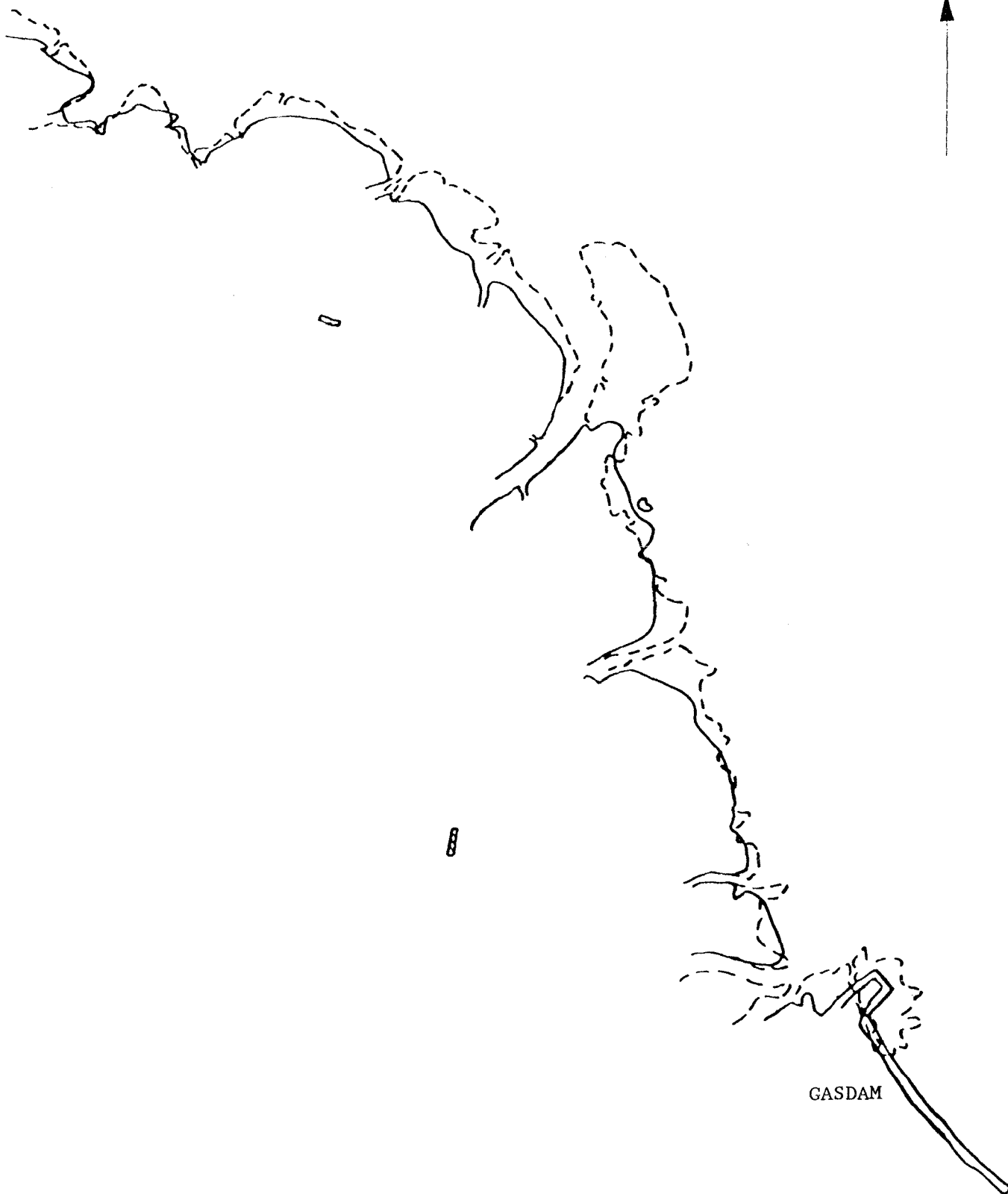
----- SCHORRAND 1990

SCHAAL 1:10.000

SCHORRAND NOORDOOSTELIJK EN OOSTELIJK DEEL VERDRONKEN LAND VAN SAEFTINGHE

1955 EN 1990

N



GASDAM

— SCHORRAND 1990

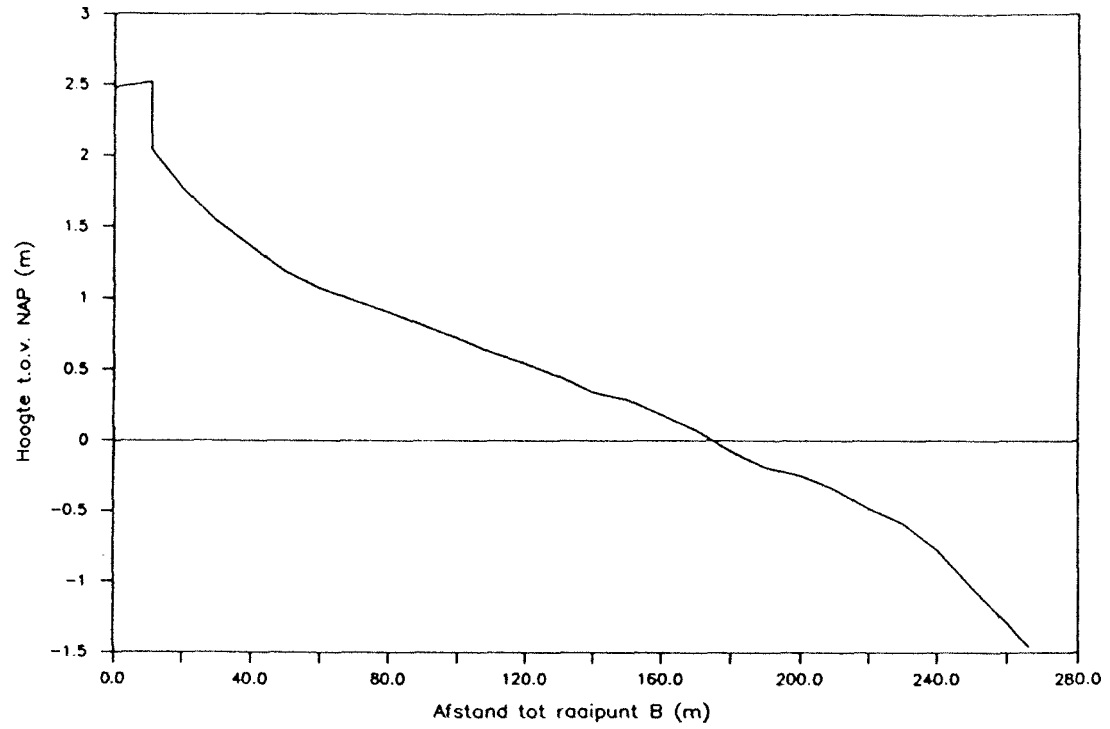
..... SCHORRAND 1955

SCHAAL 1:10.000

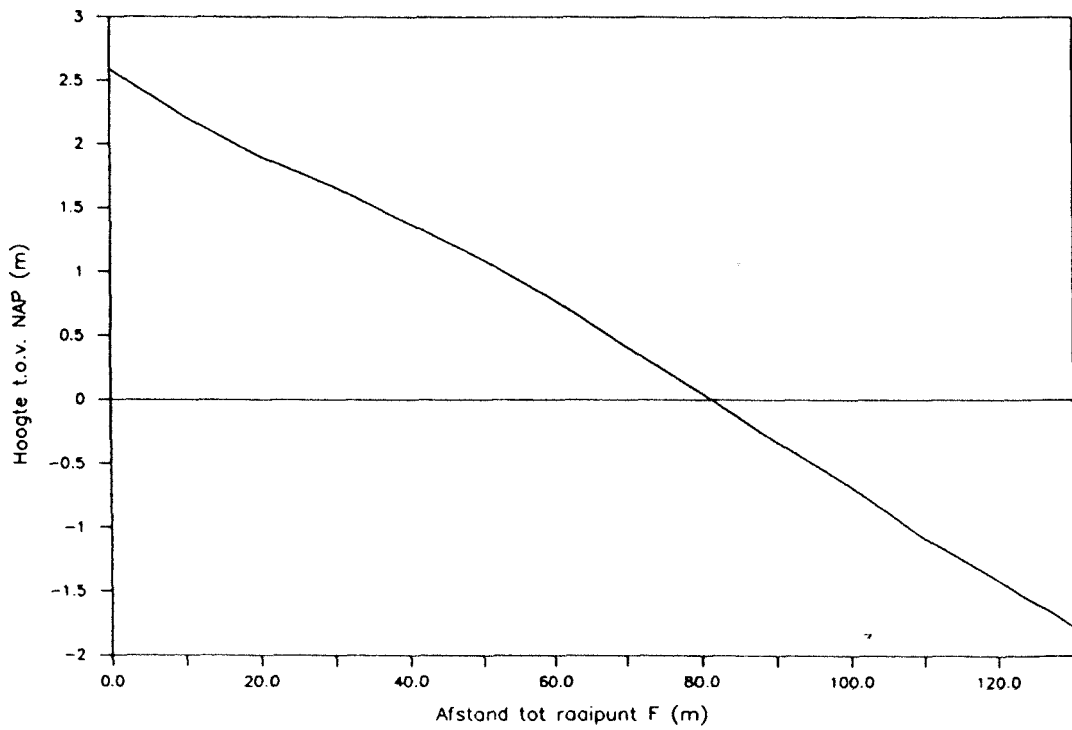
BIJLAGE 4

Waterpas profielen.

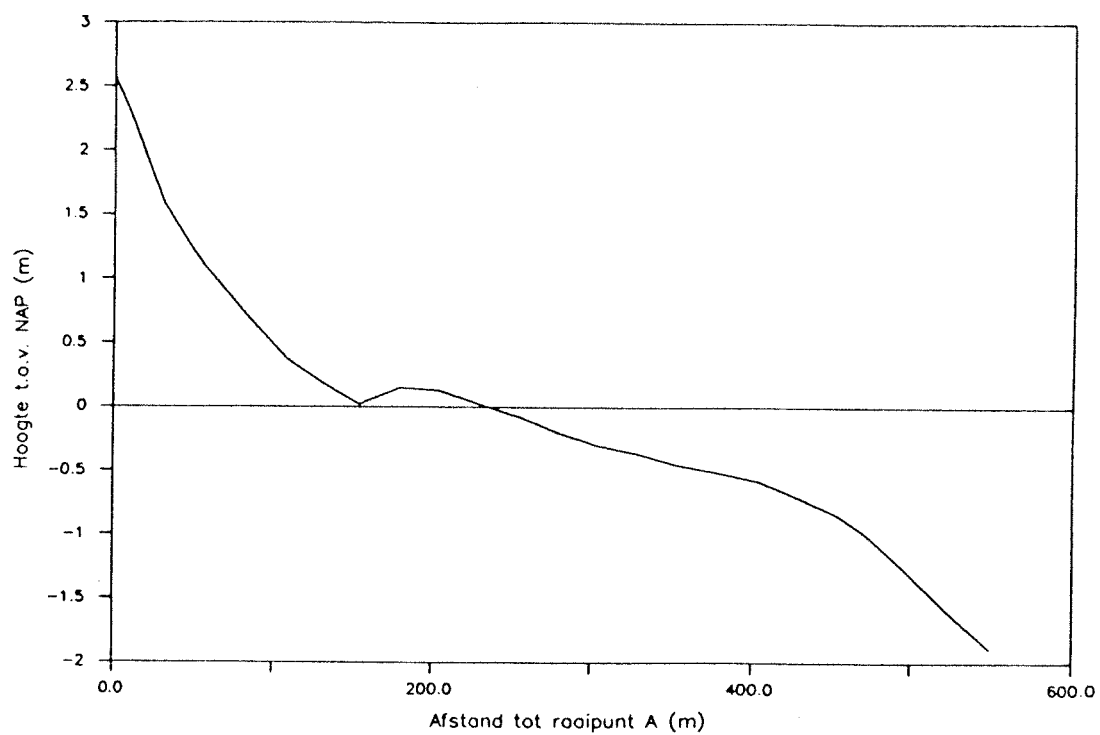
RAAI B



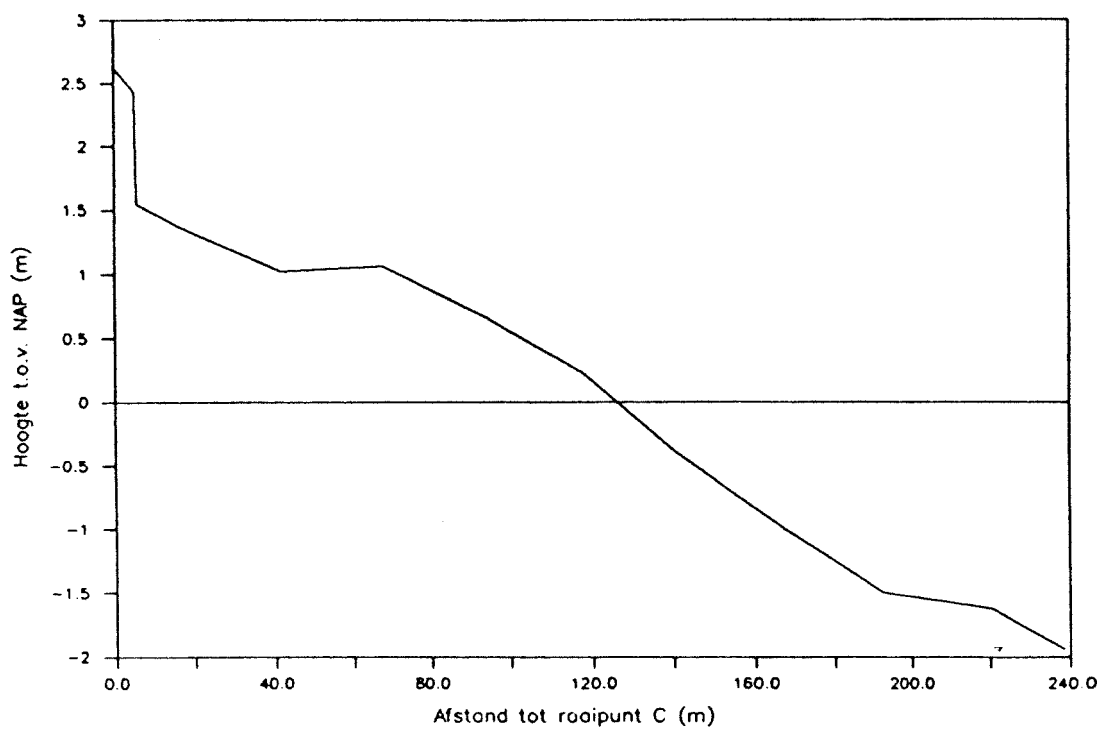
RAAI F



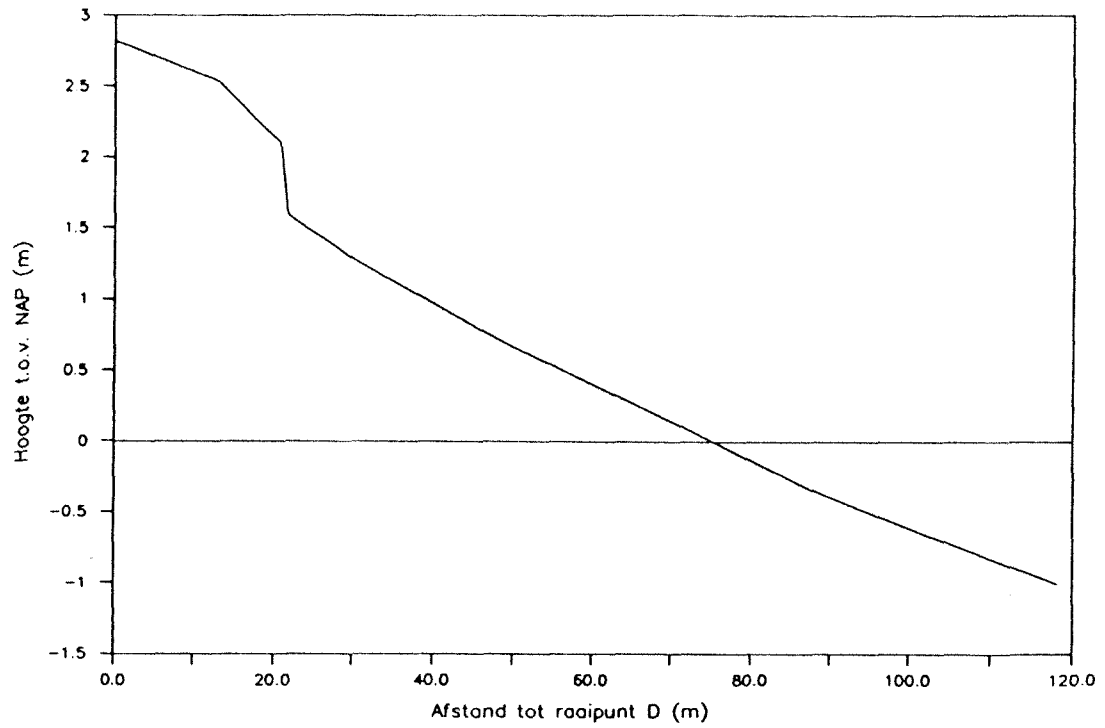
RAAI A



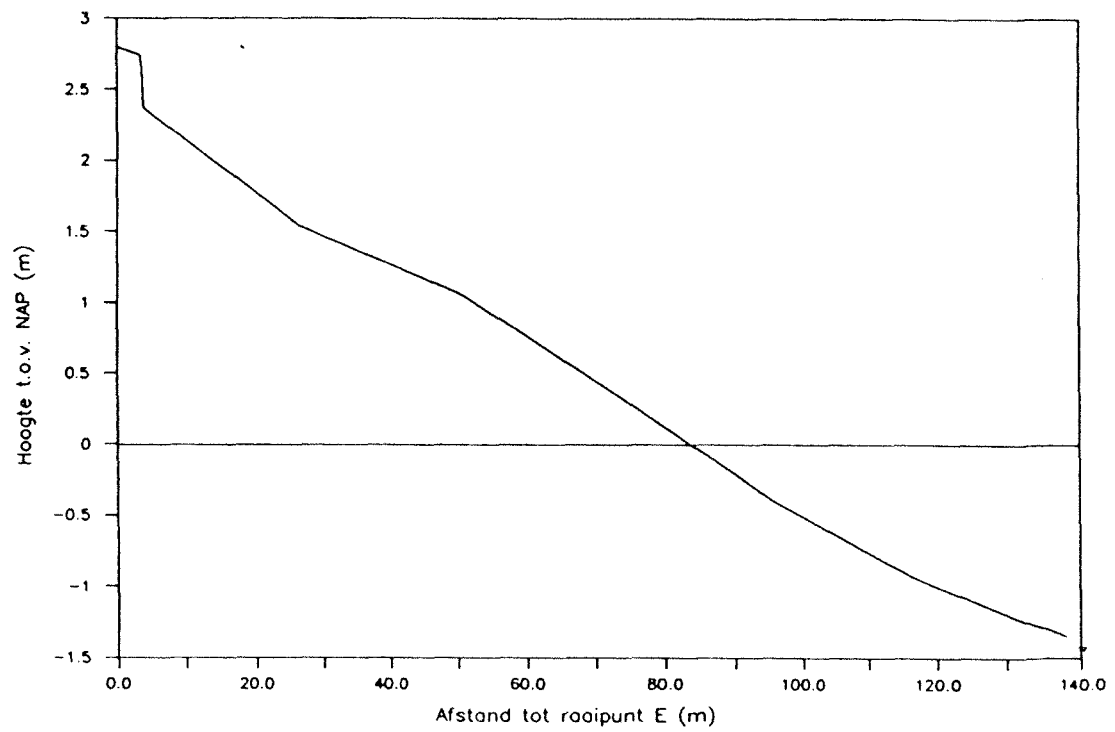
RAAI C



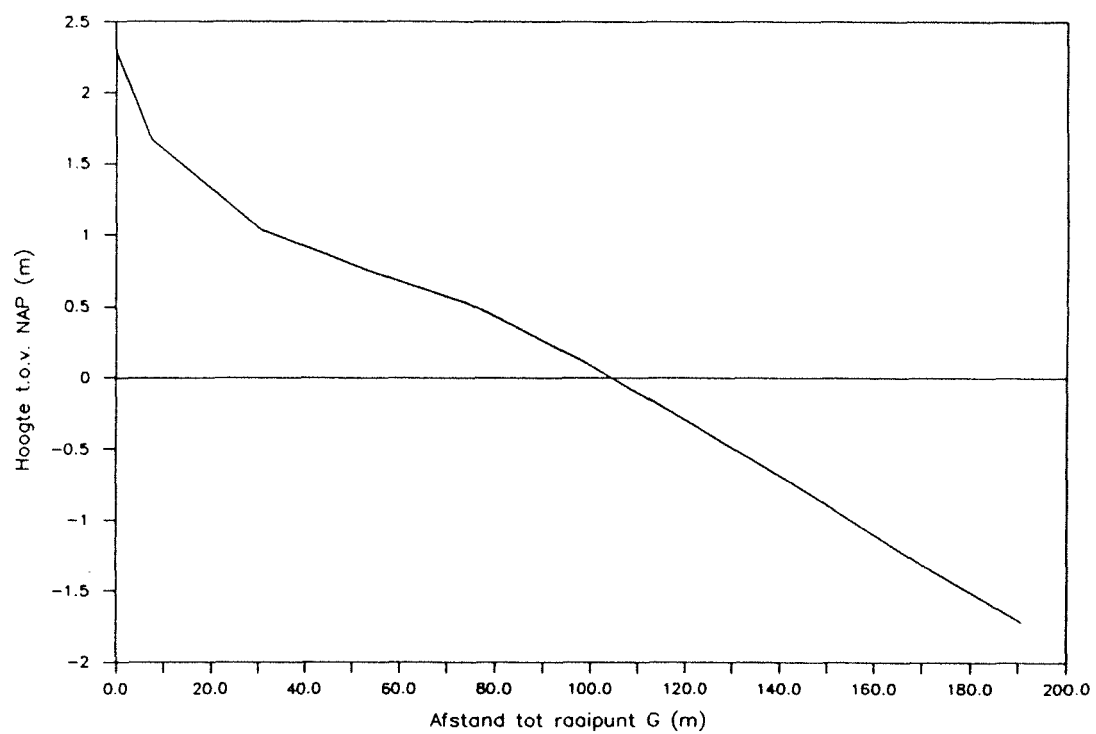
RAAI D



RAAI E



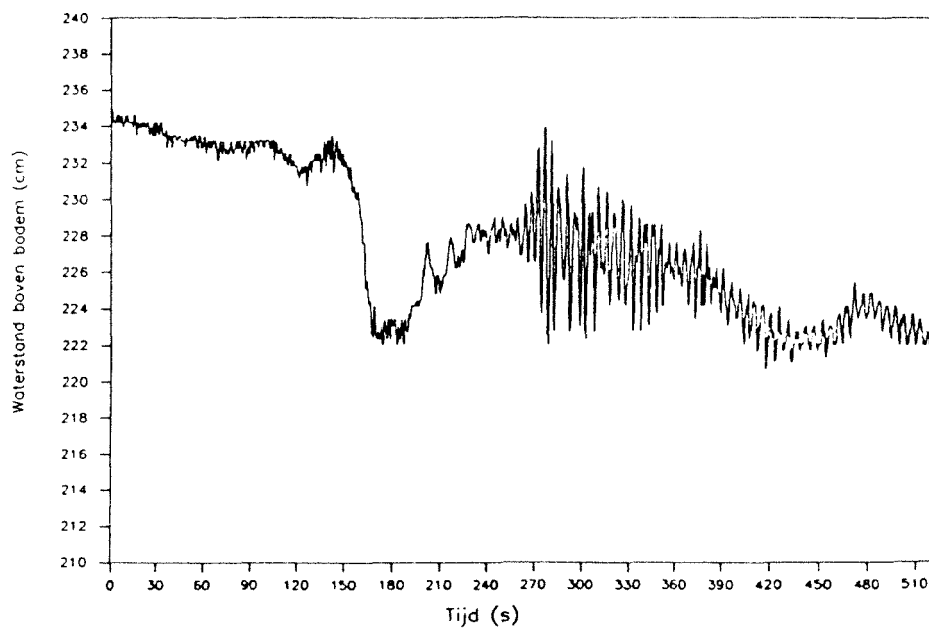
RAAI G



BIJLAGE 5

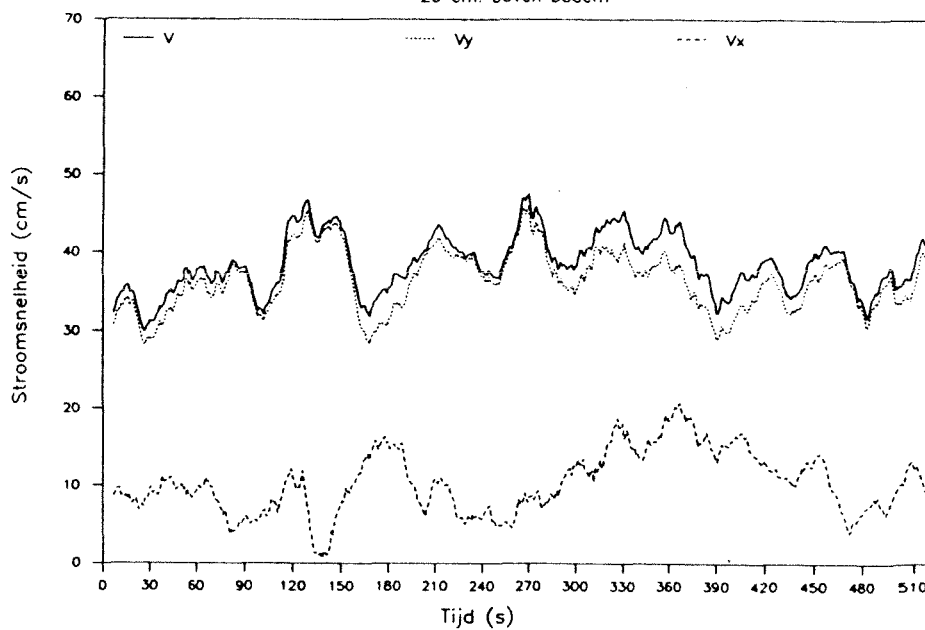
Scheeps geïnduceerde waterbewegingen.

WATERSTANDFLUCTUATIES, 1



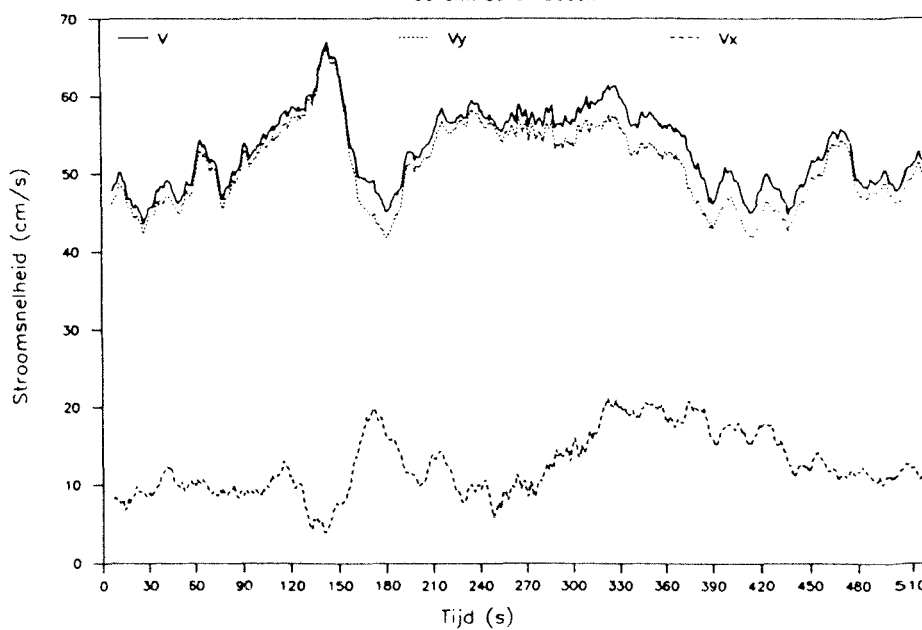
STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 1

20 cm. boven bodem

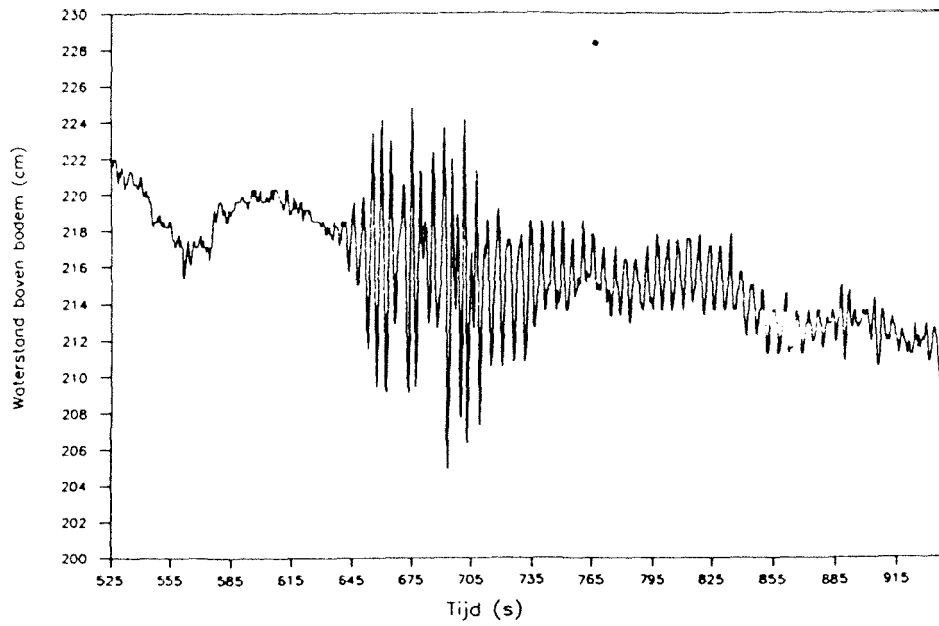


STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 1

50 cm. boven bodem

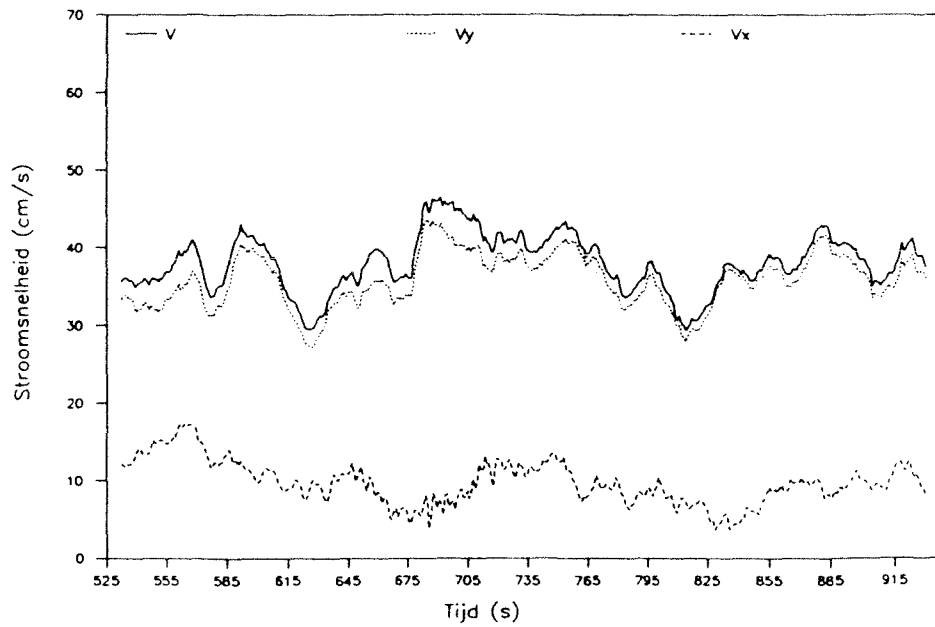


WATERSTANDFLUCTUATIES, 2



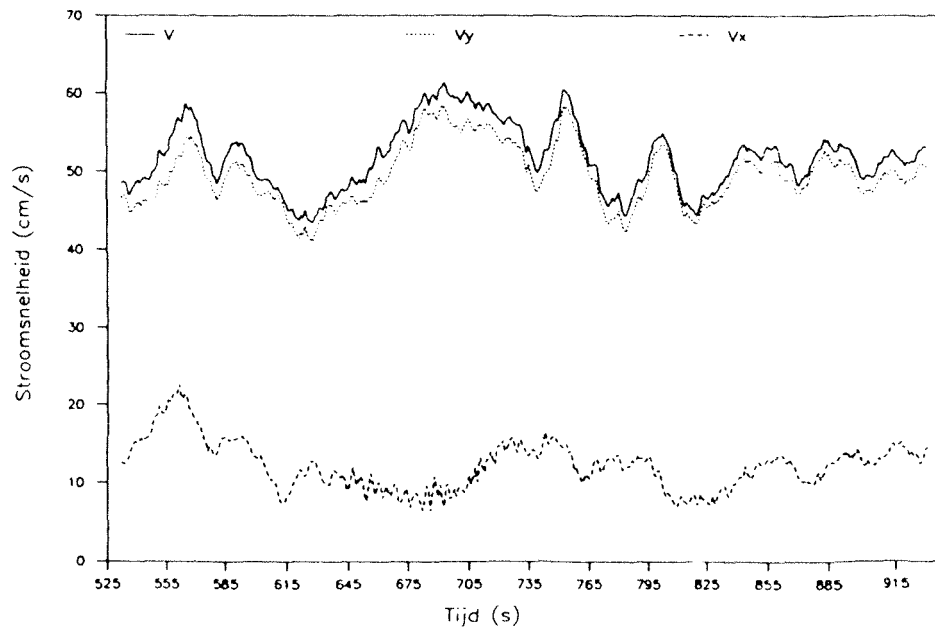
STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 2

20 cm. boven bodem

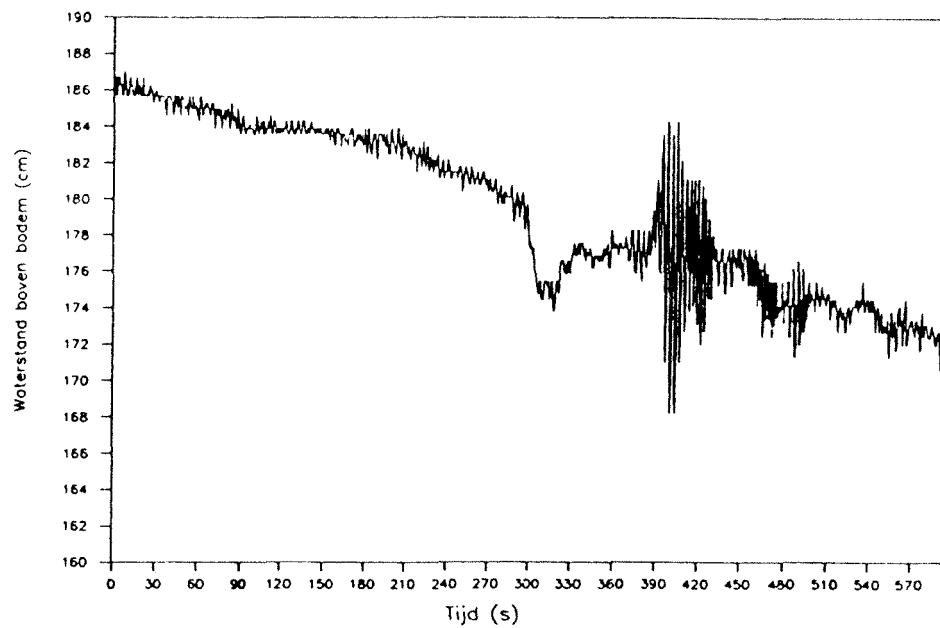


STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 2

50 cm. boven bodem

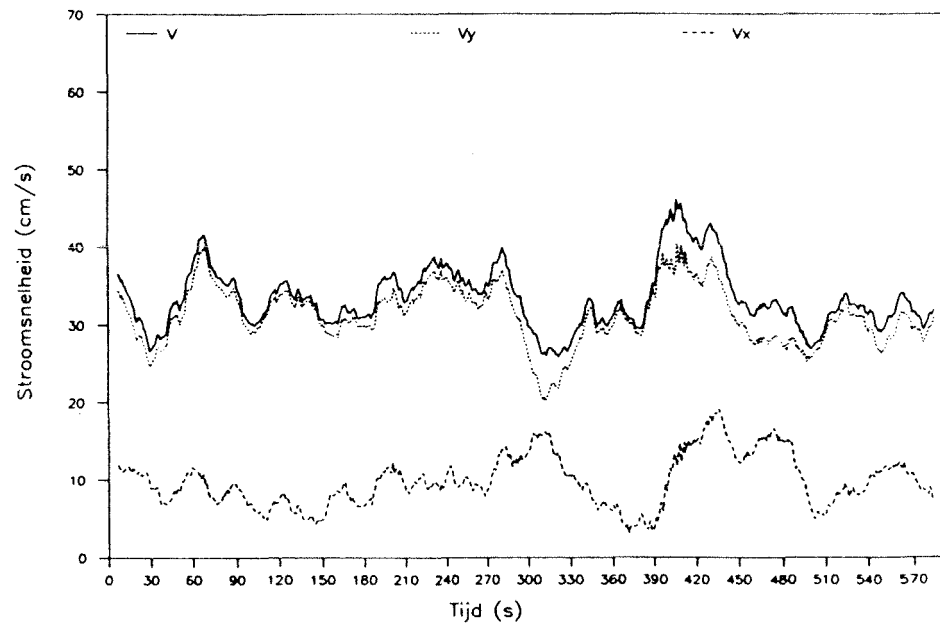


WATERSTANDFLUCTUATIES, 3



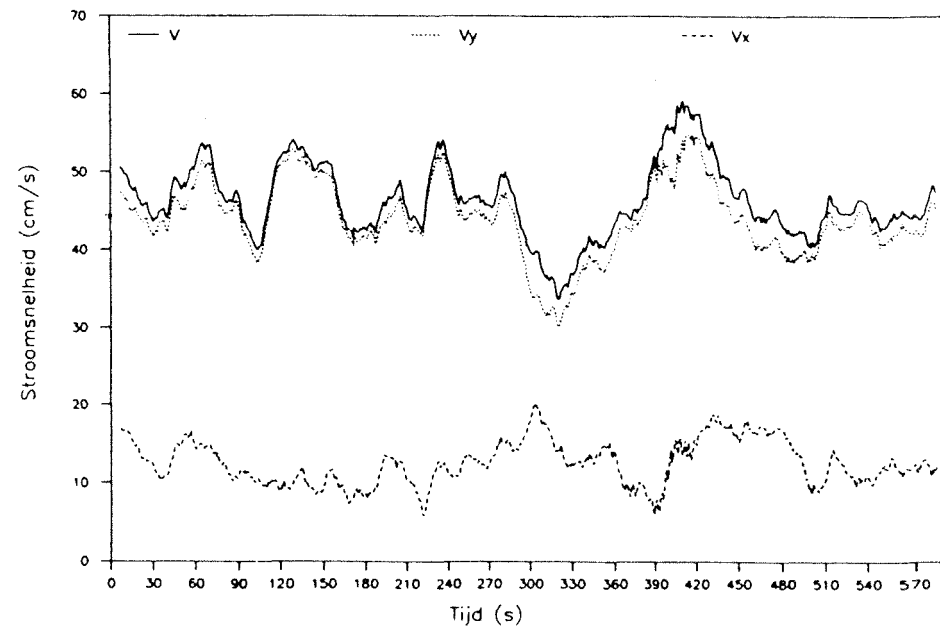
STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 3

20 cm. boven bodem

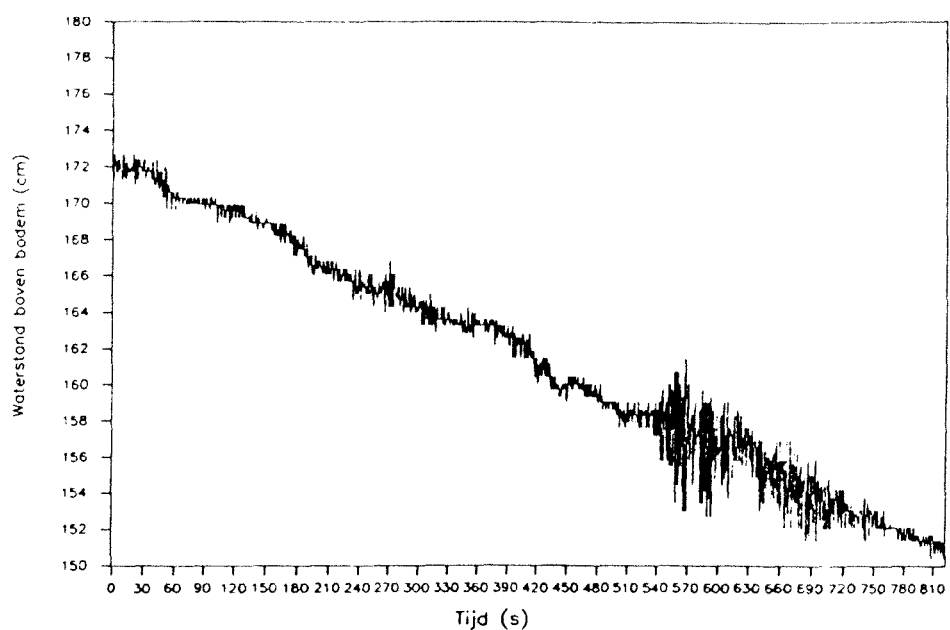


STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 3

50 cm boven bodem

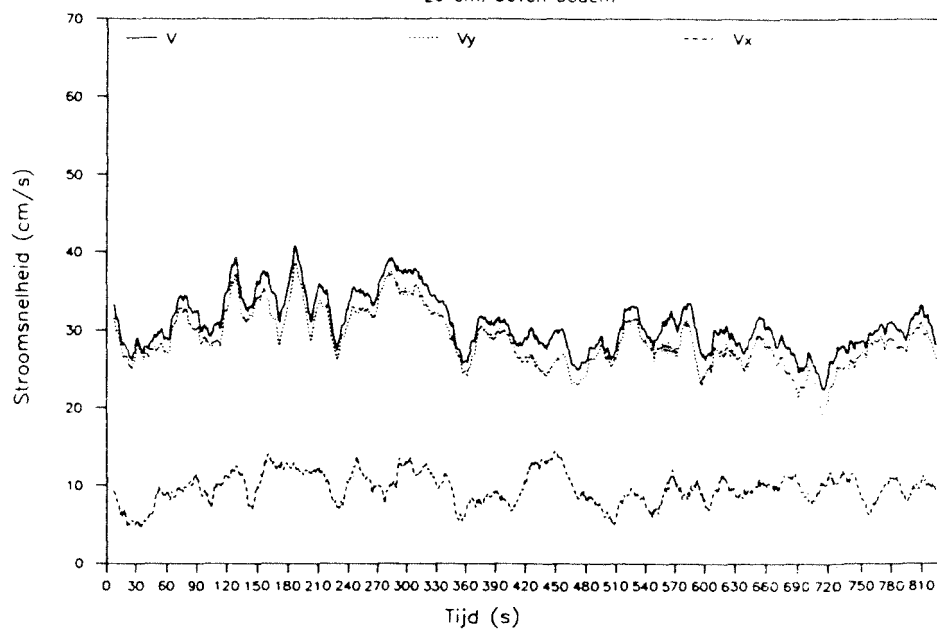


WATERSTANDFLUCTUATIES, 4



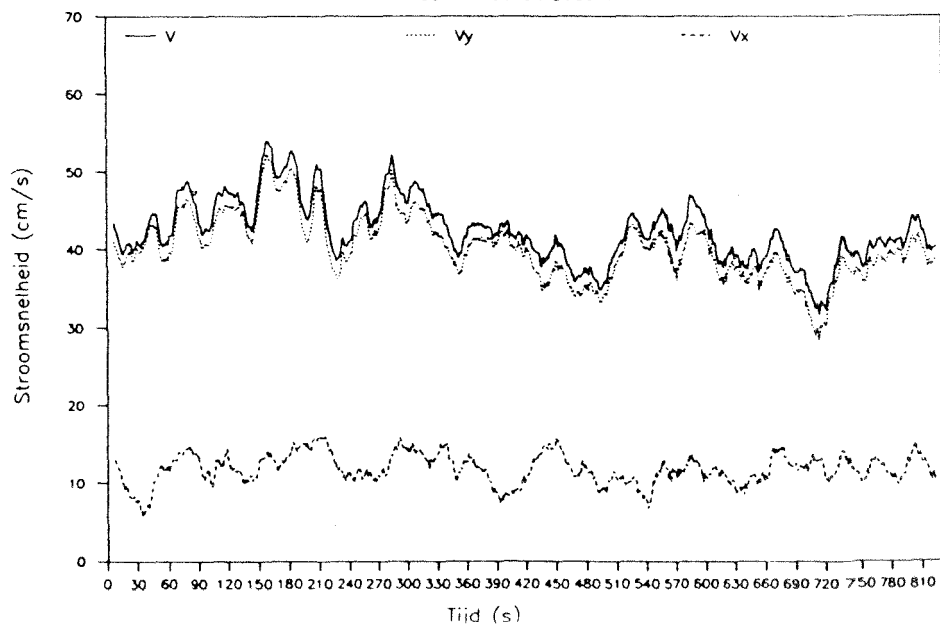
STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 4

20 cm. boven bodem

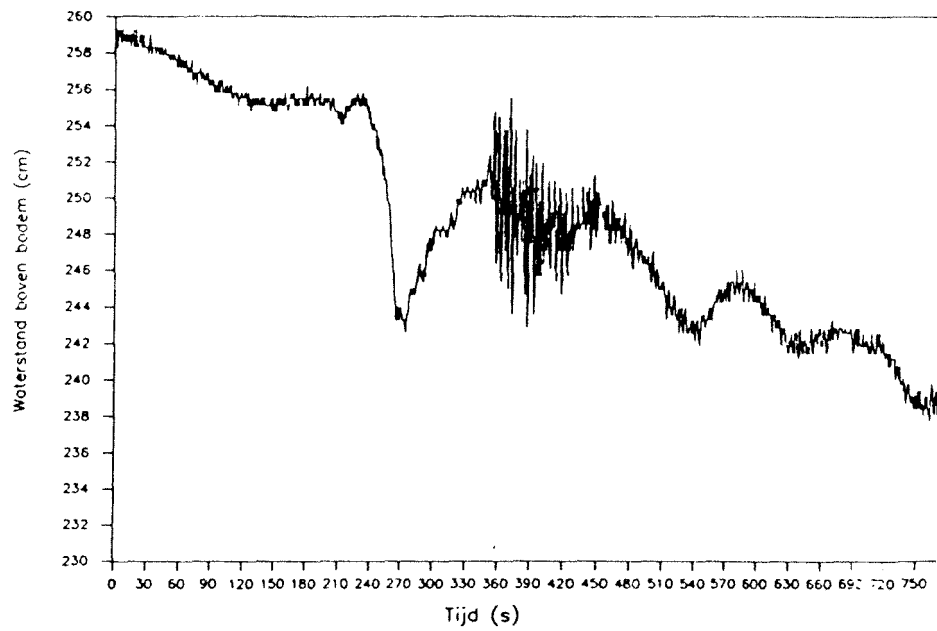


STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 4

50 cm. boven bodem

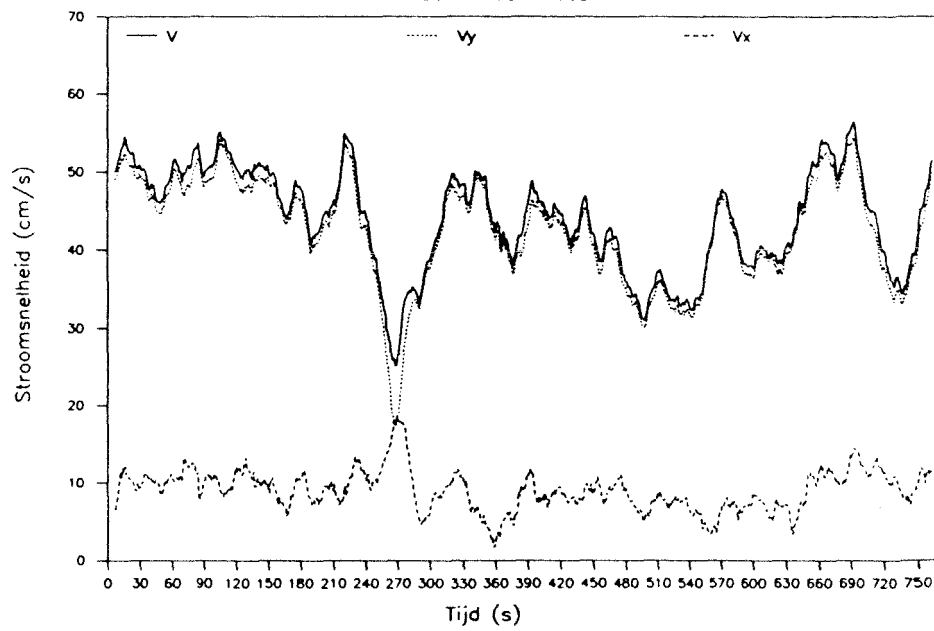


WATERSTANDFLUCTUATIES, 5



STROOMSNELHEIDFLUCTUATIES, 5

20 cm. boven bodem

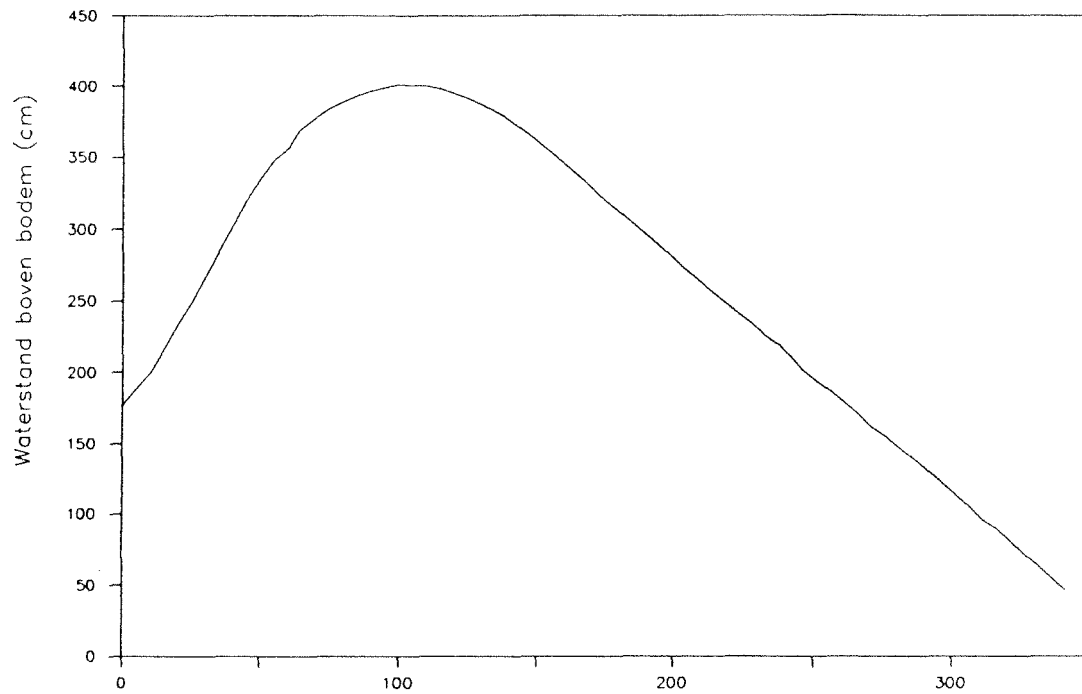


BIJLAGE 6

Gemeten stroomsnelheden.

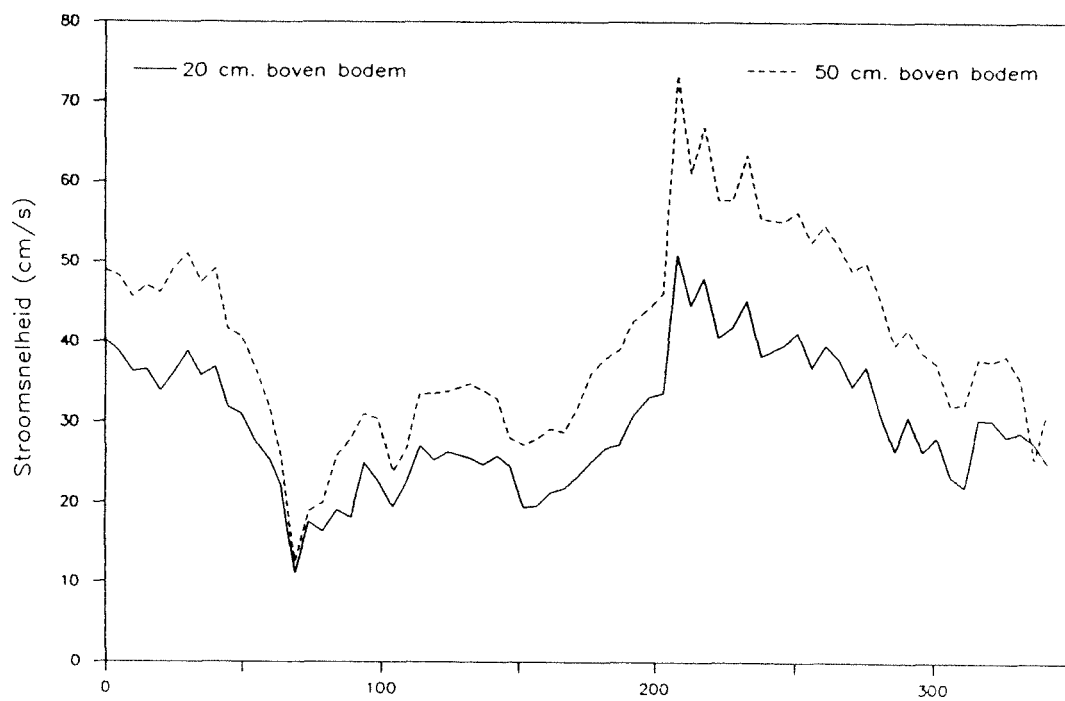
WATERSTAND LOCATIE 1

7-10-91, 13:08-18:53



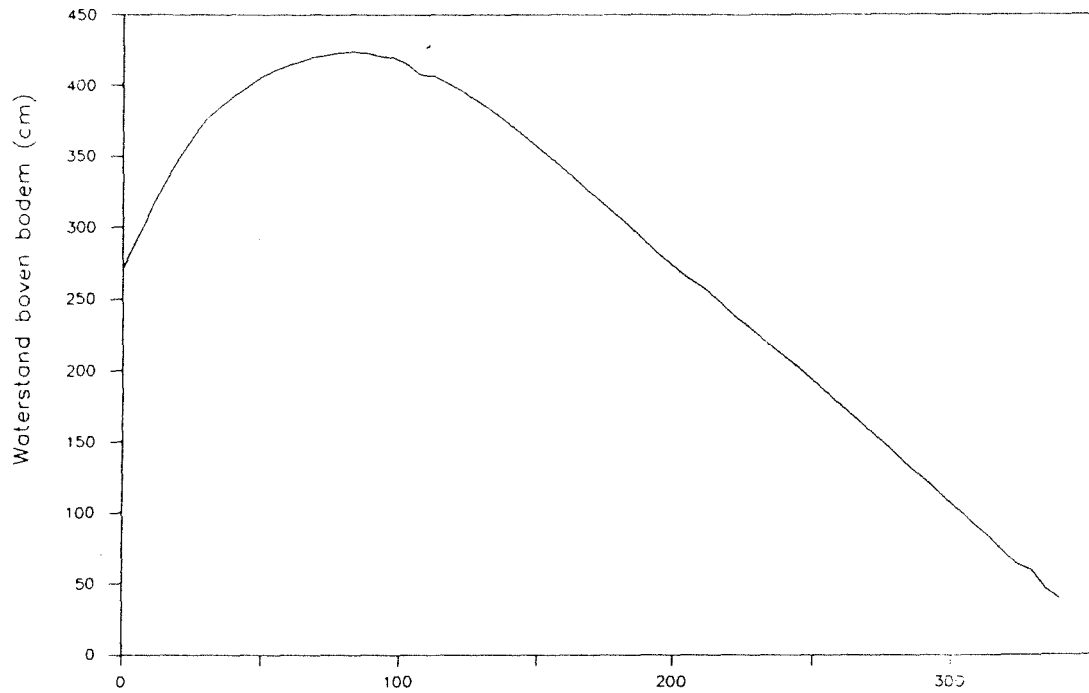
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

7-10-91, 13:08-18:53



WATERSTAND LOCATIE 1

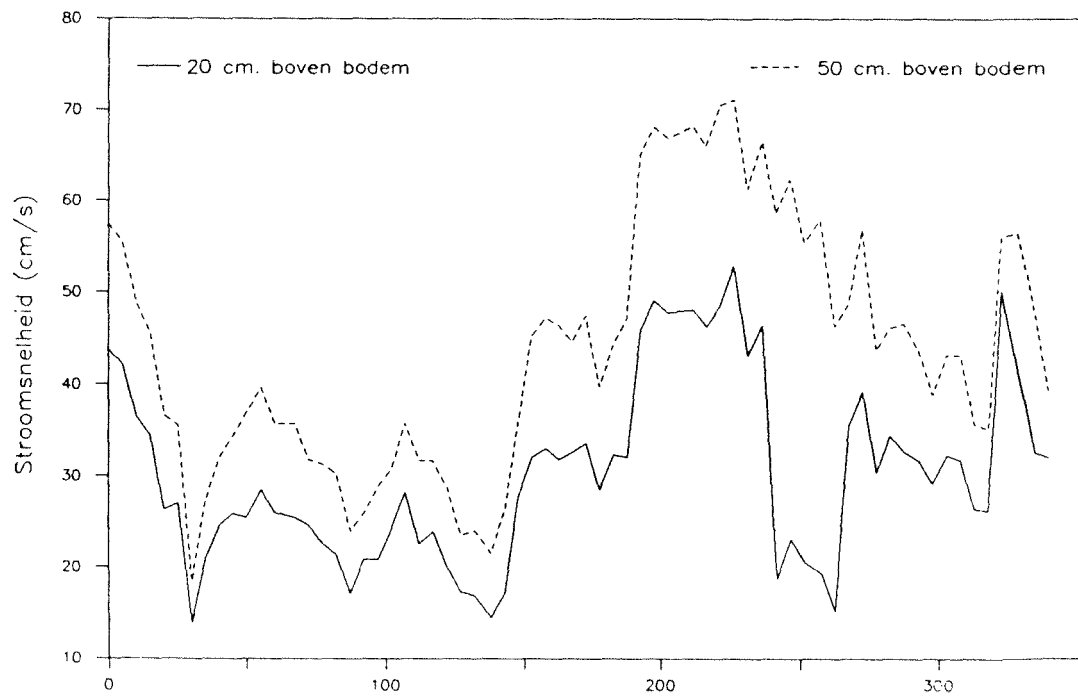
8-10-91, 01:50-7:27



Aantal minuten na begin meting.

STROOMSNELHEID LOCATIE 1

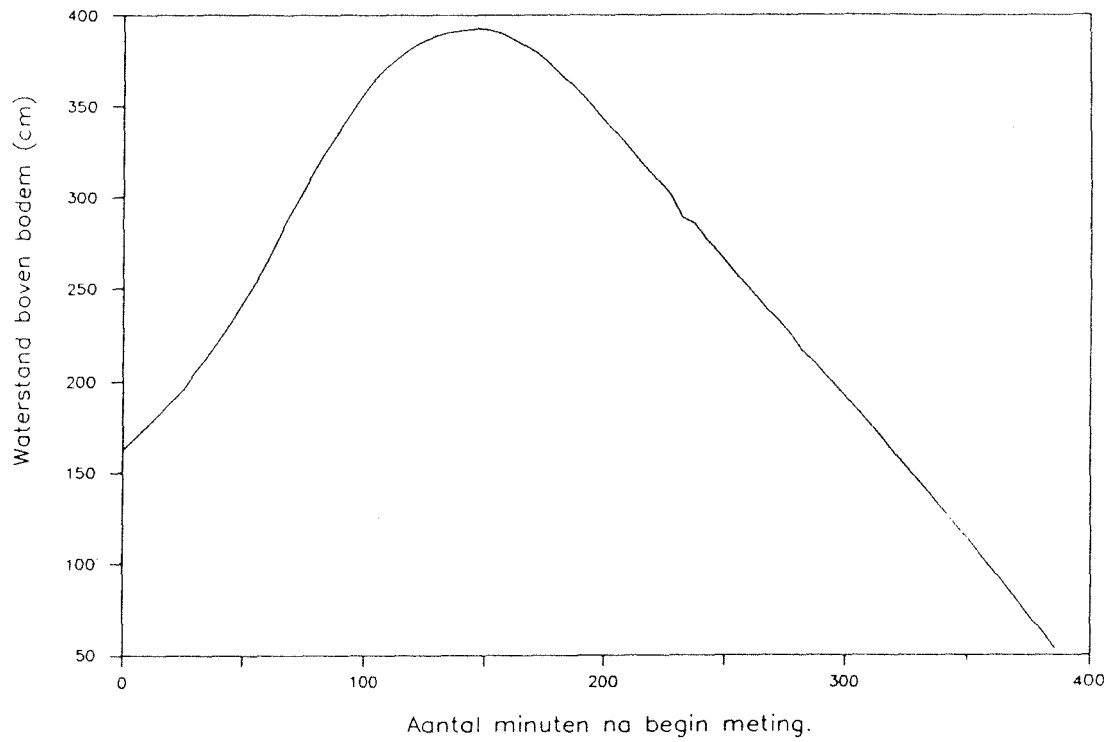
8-10-91, 01:50-7:27



Aantal minuten na begin meting.

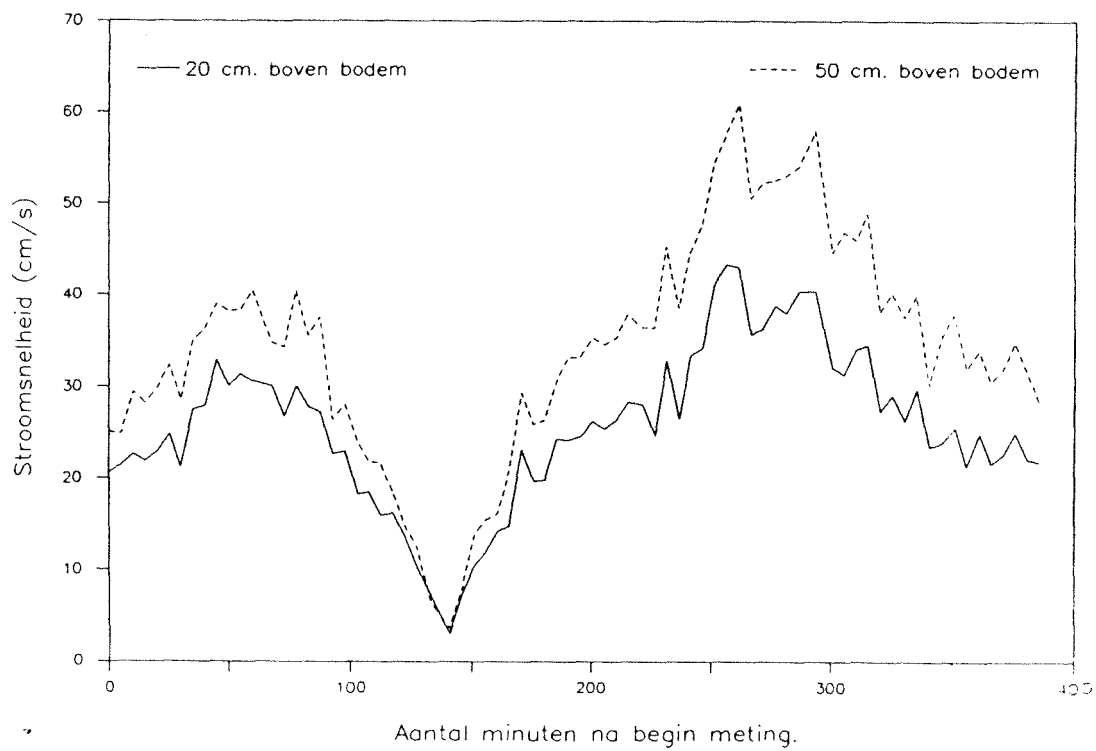
WATERSTAND LOCATIE 1

21-10-91, 11:32-17:58



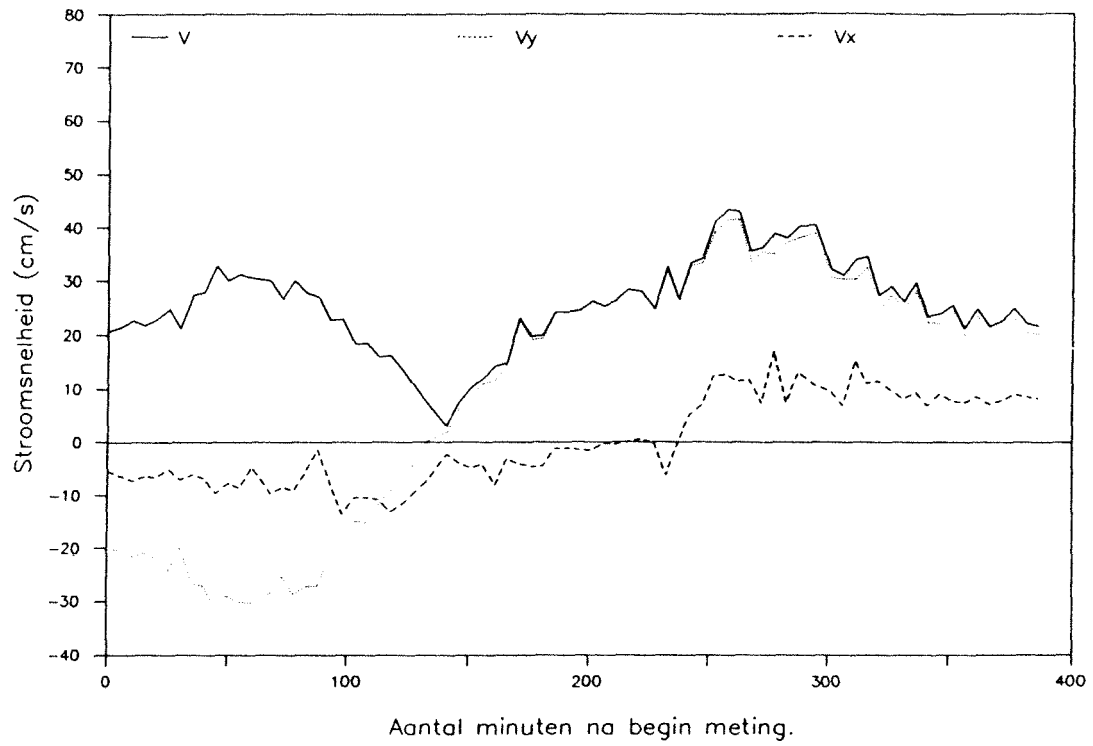
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

21-10-91, 11:32-17:58



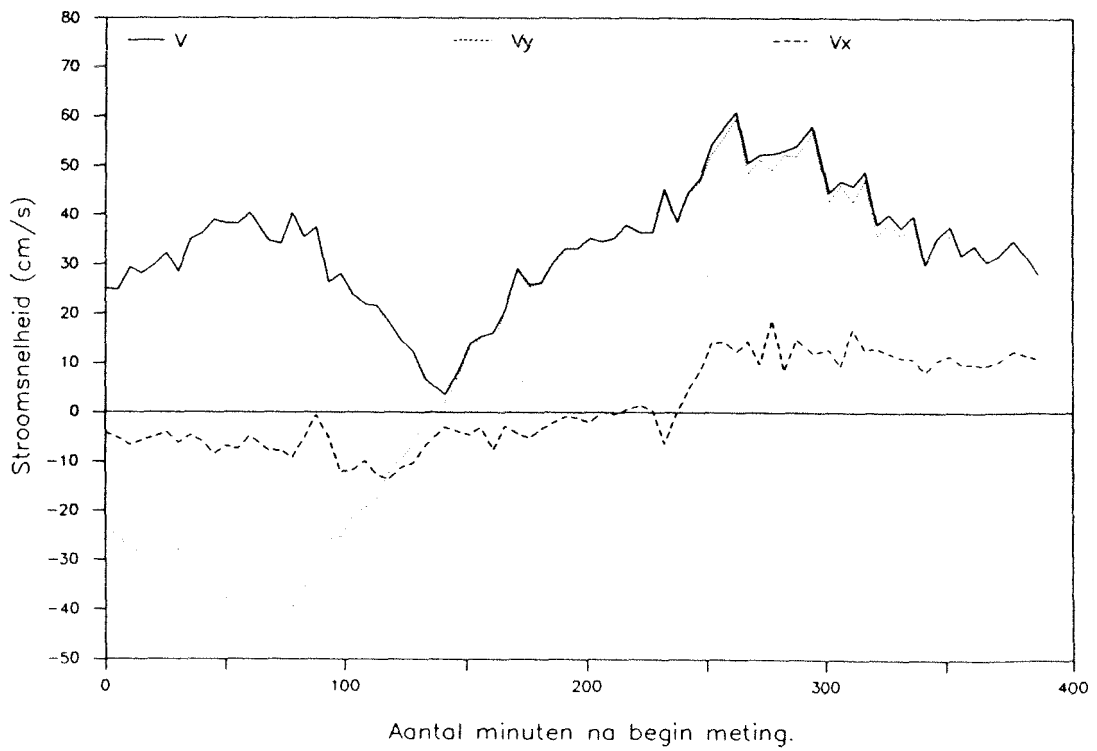
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

21-10-91, 11:32-17:58, 20 cm. boven bodem



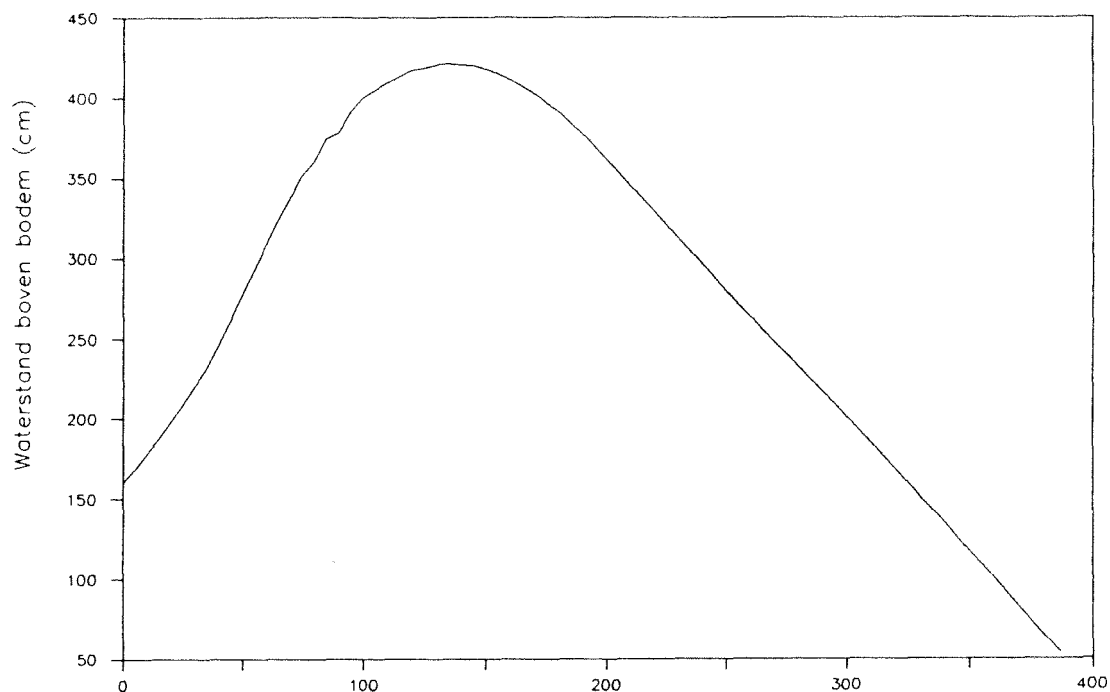
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

21-10-91, 11:32-17:58, 50 cm. boven bodem



WATERSTAND LOCATIE 1

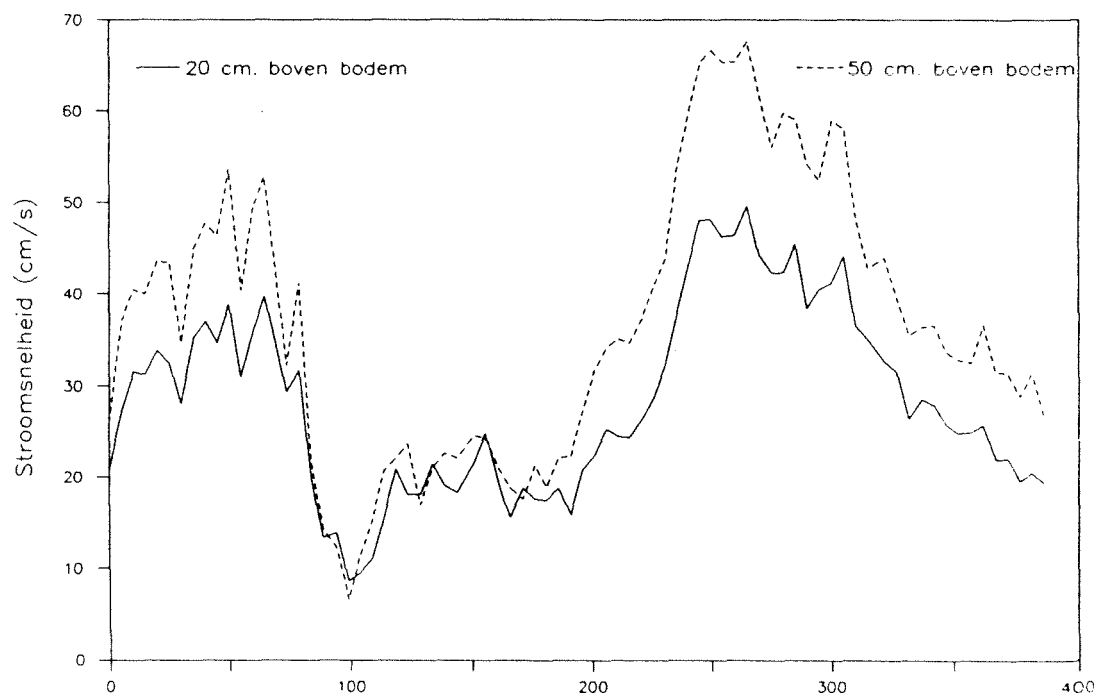
22-10-91, 00:03-6:30



Aantal minuten na begin meting.

STROOMSNELHEID LOCATIE 1

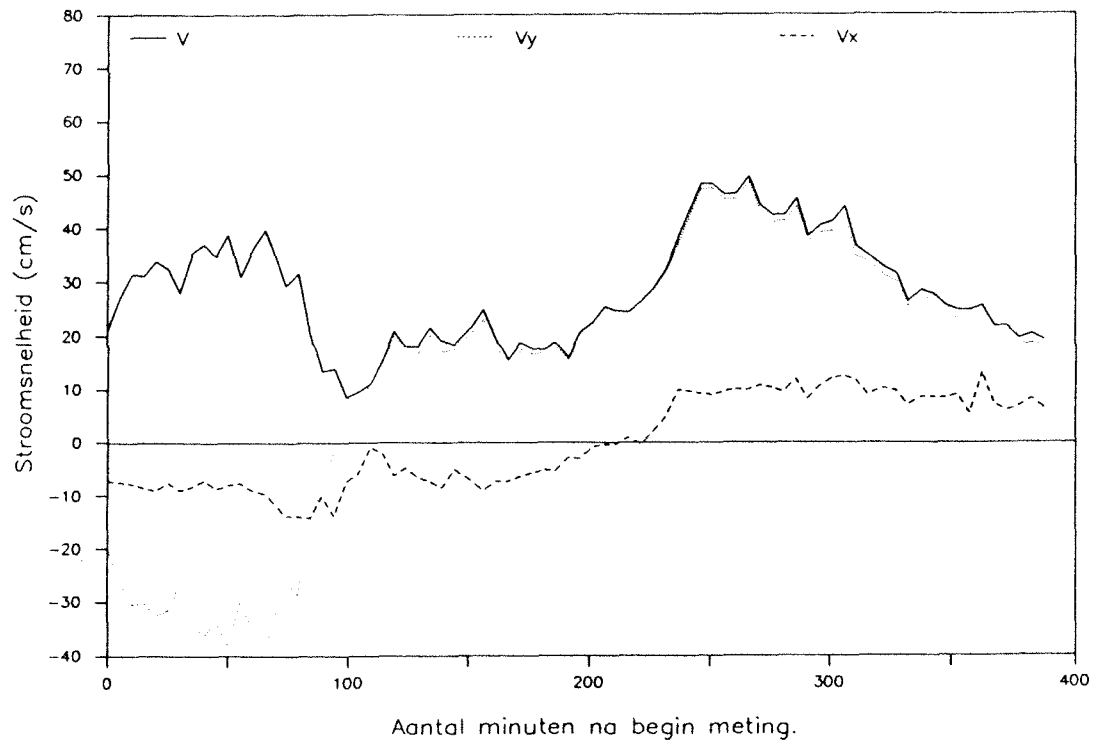
22-10-91, 00:03-06:30



Aantal minuten na begin meting.

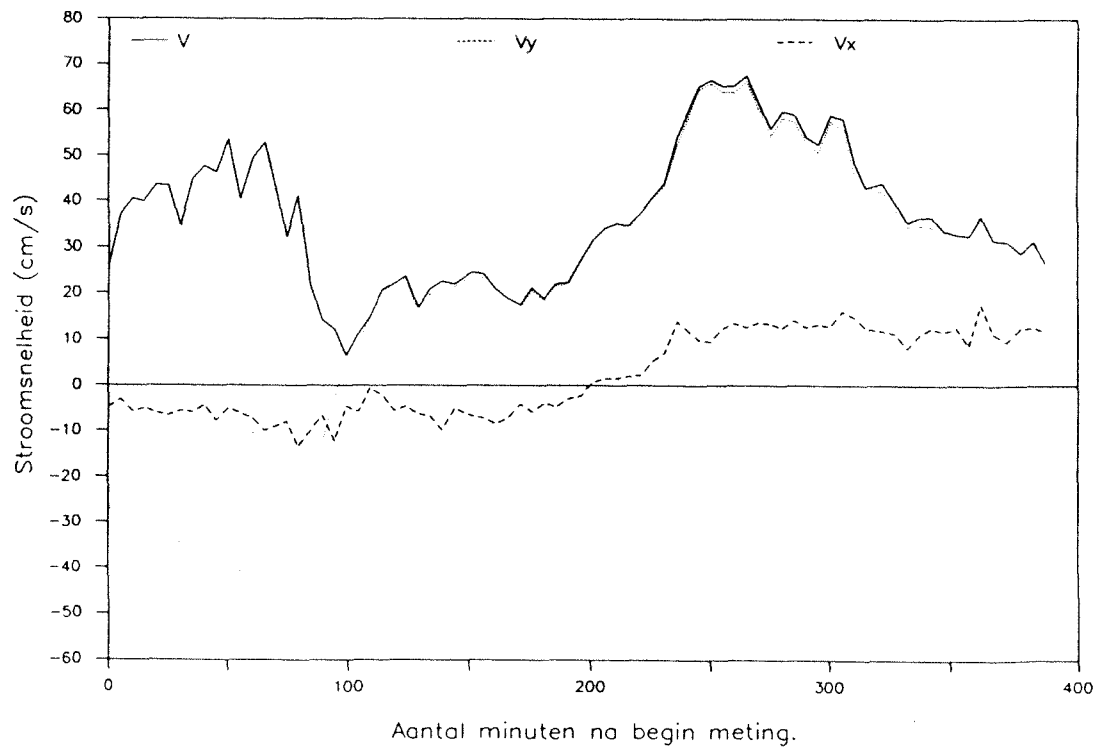
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

22-10-91, 00:03-6:30, 20 cm. boven bodem



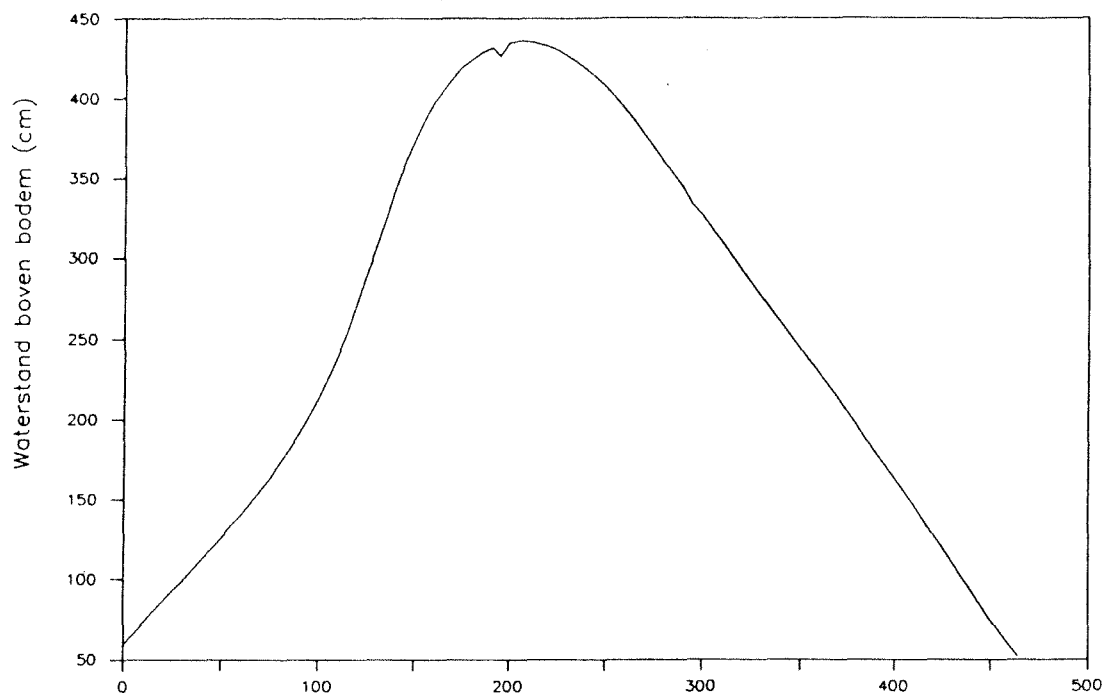
STROOMSNELHEID LOCATIE 1

22-10-91, 00:03-6:30, 50 cm. boven bodem



WATERSTAND LOCATIE 1

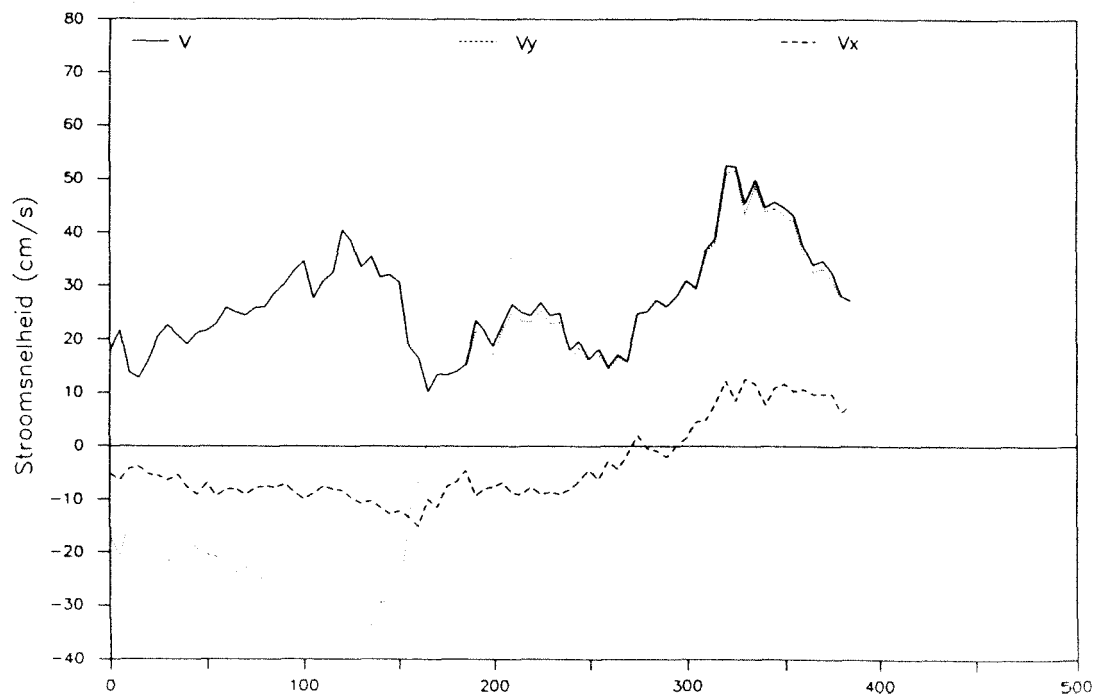
22/23-10-91, 23:29-6:03



Aantal minuten na begin meting.

STROOMSNELHEID LOCATIE 1

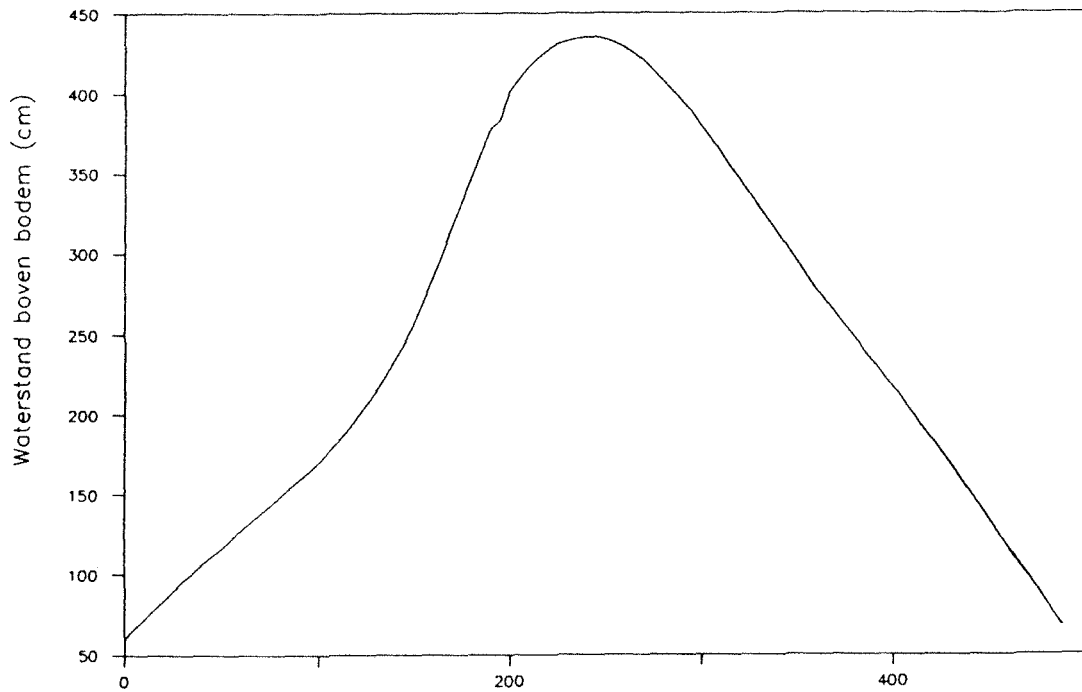
22/23-10-91, 23:29-5:53, 20 cm. boven bodem



Aantal minuten na begin meting.

WATERSTAND LOCATIE 1

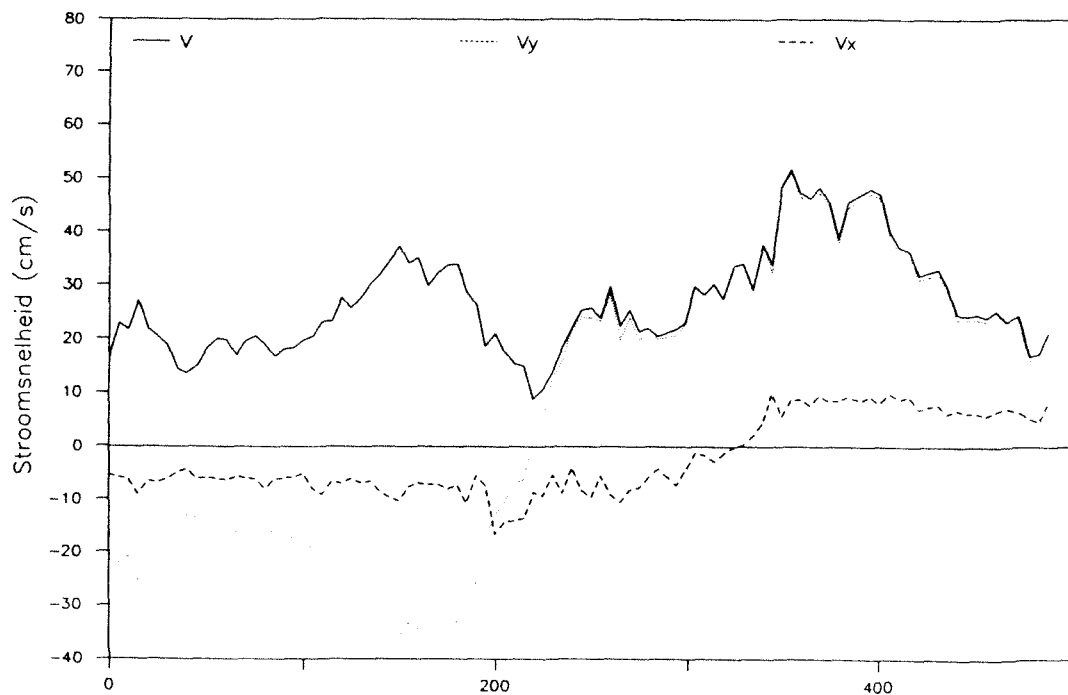
23-10-91, 11:08-19:13



Aantal minuten na begin meting.

STROOMSNELHEID LOCATIE 1

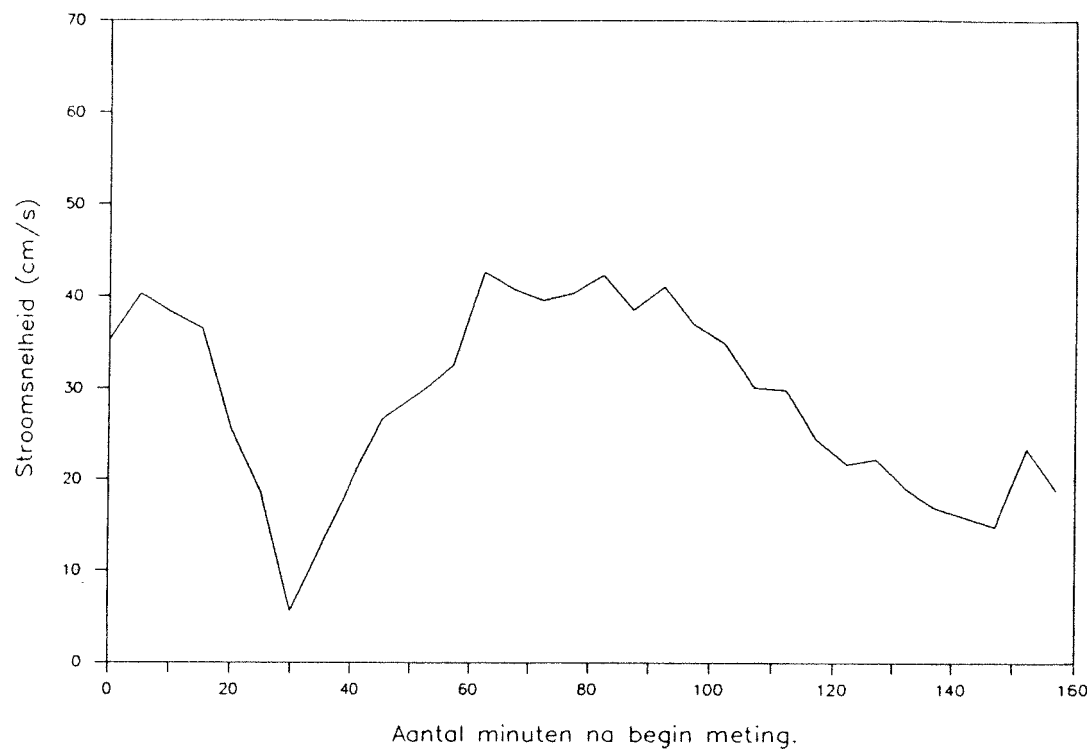
23-10-91, 11:08-19:13, 20 cm. boven bodem



Aantal minuten na begin meting.

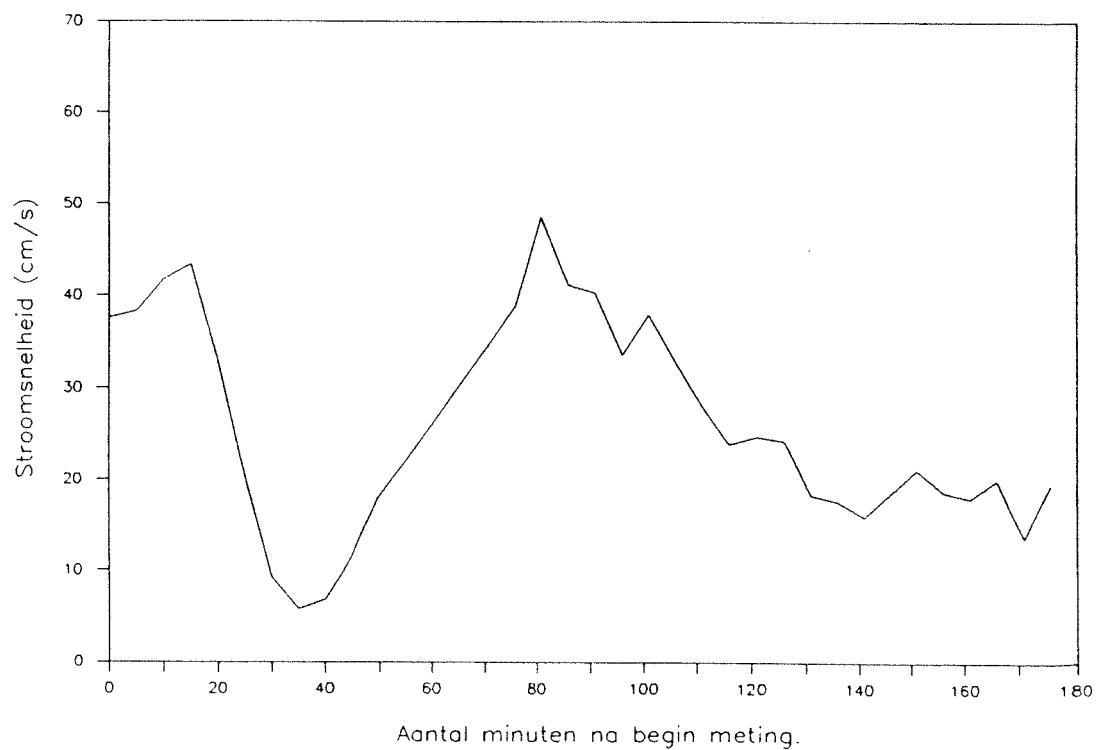
STROOMSNELHEID COLNBROOK

7-10-91, 13:46-16:20, 20 CM. BOVEN BODEM



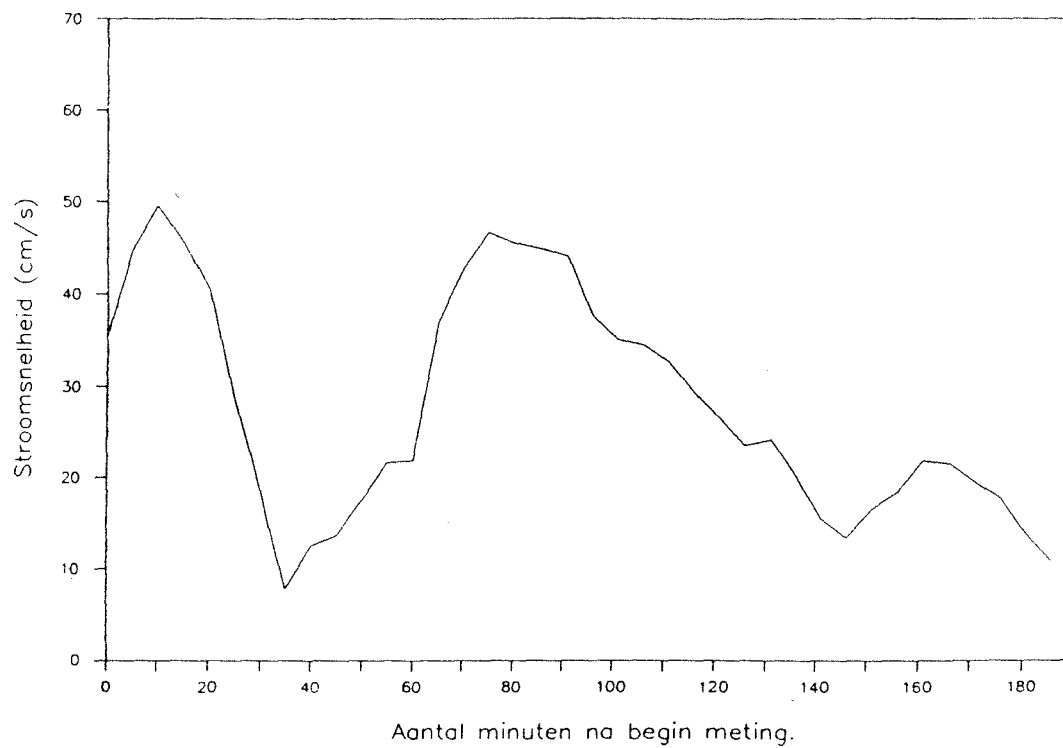
STROOMSNELHEID COLNBROOK

8-10-91, 14:15-17:10, 20 CM. BOVEN BODEM



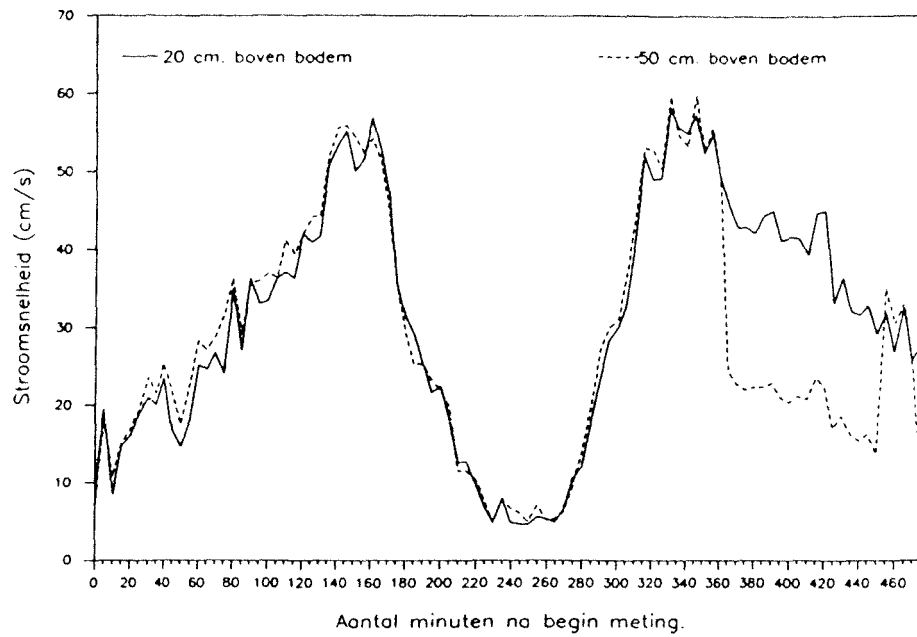
STROOMSNELHEID COLNBROOK

9-10-91, 14:53-17:58, 20 CM. BOVEN BODEM



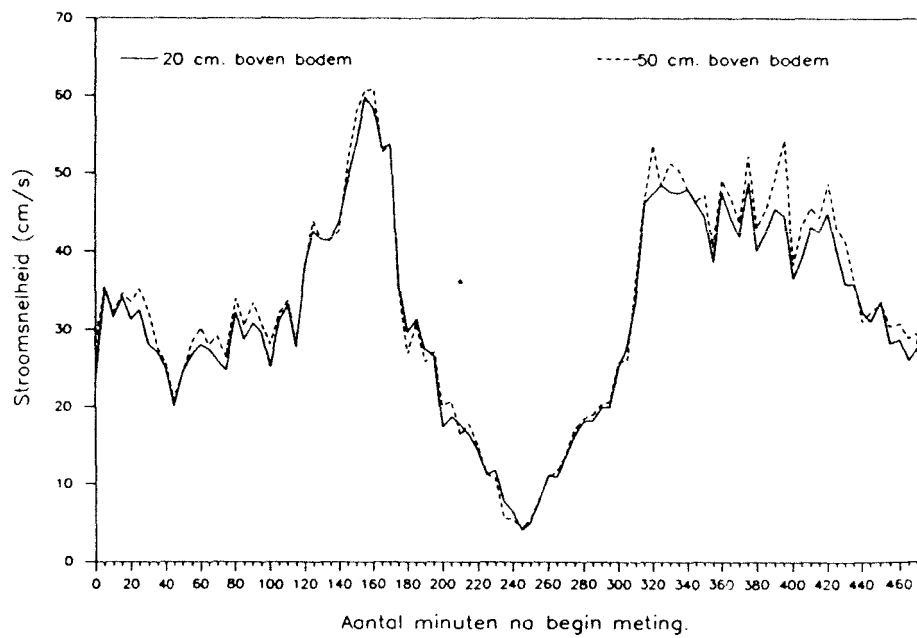
STROOMSNELHEID LOCATIE 2

8-11-91, 12.30-20.25



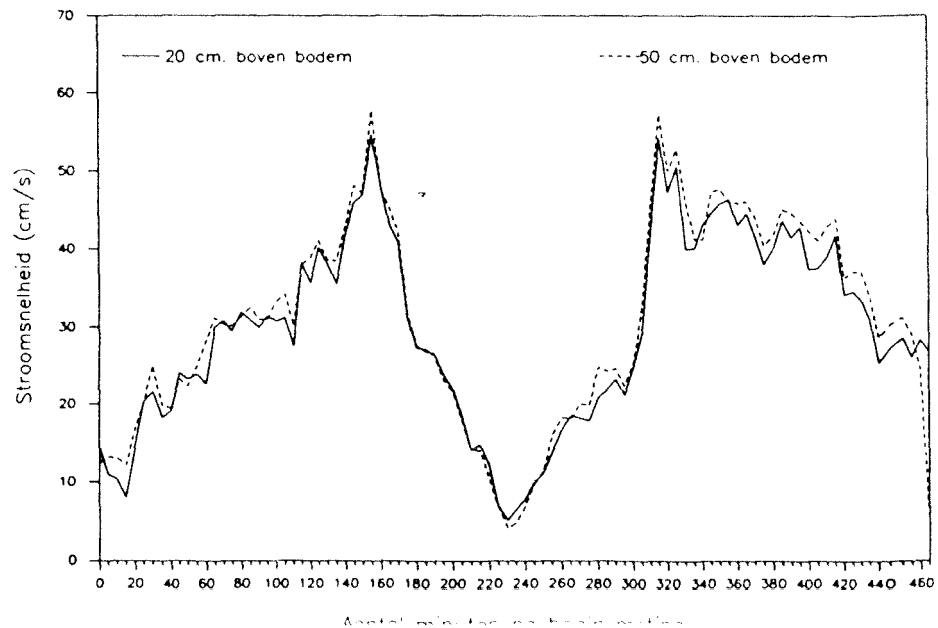
STROOMSNELHEID LOCATIE 2

9-11-91, 13.10-21.10



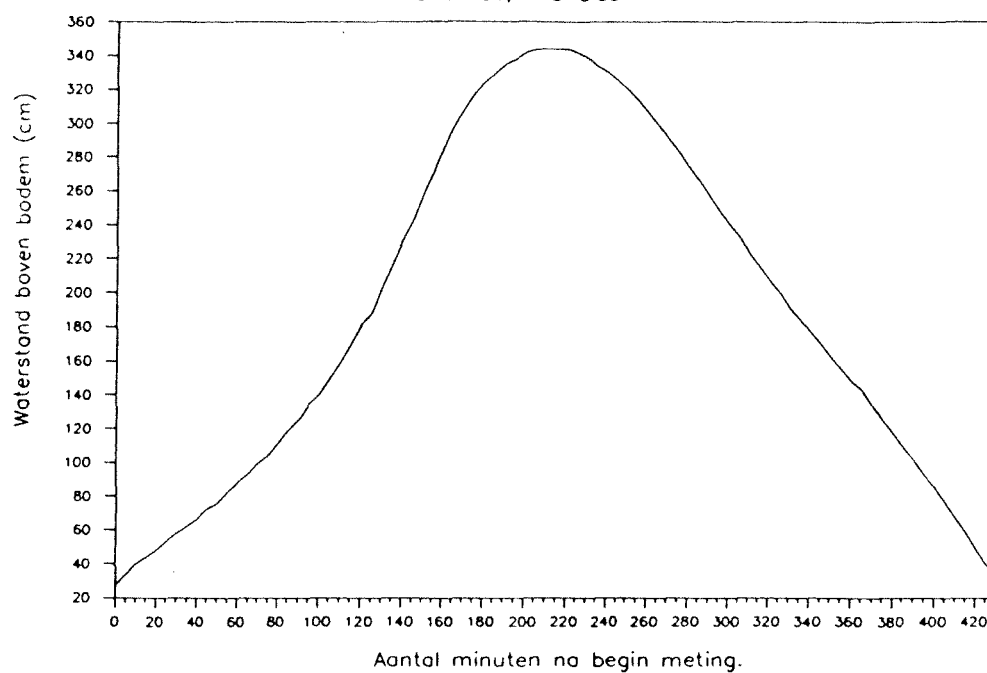
STROOMSNELHEID LOCATIE 2

9-11-91, 1.00-8.45



WATERSTAND LOCATIE 2

10-11-91, 1:45-8:55



STROOMSNELHEID LOCATIE 2

10-11-91, 1:45-8:55

