

13

rijkswaterstaat
dienst getijdewateren
bibliotheek C-3460

GEOMOR

GEOMORFOLOGISCHE PROCESSEN OOSTERSCHELDE

400 551.

- EEN PILOT STUDY -

GEOMOR NOTA 84.01

Nota DDMI 84.06
DDWT 84.006

INHOUD:	Pag.
VOORWOORD	
1. INLEIDING	1
2. SAMENVATTING	8
2.1. Schema's	8
2.2. Samenvatting/Conclusies Fase 1	13
3. OOSTERSCHELDE	20
3.1. Geologische opbouw	20
3.2. De wordingsgeschiedenis van de Oosterschelde	22
3.3. Bodemsamenstelling	36
3.4. Geomorfologie (intergetijdegebieden)	41
3.5. Morfologie van de onderwaterbodem van het westelijk deel van de Oosterschelde	44
3.5.1. Inleiding	44
3.5.2. Hammen	44
3.5.3. De Schaar van de Roggenplaat	47
3.5.4. De Roompot	49
3.5.5. De Schaar van Colijnsplaat	49
4. MORFODYNAMISCH GEDRAG ESTUARIA (literatuurstudie)	51
5. GALGEPLAAT	52
5.1. Historische ontwikkeling	52
5.2. De onderwaterbodem rondom de Galgeplaat	62
6. PLOTMETING GALGEPLAAT	65
6.1. Algemeen	65
6.2. Wind	66
6.3. Hydraulica	74
6.3.1. Stroom	74
6.3.2. Golven	81
6.3.3. Concentratie	89
6.3.4. Transport	104

6.4.	Sedimentatie - erosiemetingen	116
6.4.1.	Meetmethode	116
6.4.2.	Resultaten	116
6.5.	Bodemsamenstelling	129
6.6.	Bodemdiatomeeën	132
6.7.	Relatie tussen de hydraulische parameters, bodemparemers en de morfologie	136
6.7.1.	Algemeen	136
6.7.2.	Variaties in ruimte en tijd van het transport	136
6.7.3.	Berekening sedimentatie/erosie bovenkant plaat	138
6.8.	Overige parameters	147
7.	MODELLEN	168
7.1.	Doelstelling en realisering van het bocht(stromings)model	169
7.2.	Doelstelling en realisering van het plaatmodel	172
8.	VERGELIJKING MEETRESULTATEN EN MODELRESULTATEN	189
8.1.	Rustig springtij (15 april)	189
8.2.	Getijsituatie met krachtige zuid-westelijke wind (30 maart)	195
8.3.	Conclusies	197
9.	LITERATUUROVERZICHT	199
10.	OVERZICHT GEOMOR-NOTA'S	207

LIJST VAN FIGUREN

- Fig. 1.1 Ligging schorren, intergetijde- en ondiepe gebieden in de Oosterschelde.
- 1.2 Ligging meetplot aan de noordwest kant van de Galgeplaat.
- 2.1.1 Matrix Ecosysteem Oosterschelde.
- 2.1.2 Relatieschema morfologische eenheden.
- 2.1.3 Plaat-slik systeem.
- 2.1.4 Geulsysteem.
- 2.2.1 Gemiddelde bruto erosie (metingen 1 t/m 29).
- 2.2.2 Gemiddelde bruto sedimentatie (metingen 1 t/m 29).
- 2.2.3 Variatie van aanzanding/erosie als functie van de tijd (15-4-1983).
- 2.2.4 Concentratie als functie van \bar{u} , verband afgeleid voor ($\bar{u}_{orbit} < 10 \text{ cm/s}$).
- 3..2.1 De wordingsgeschiedenis van Zeeland. Reconstructie ontleend aan Wolff et al., 1979.
- 3.2.2 De teruggang van de zuidoever van Schouwen. Gegevens ontleend aan Wilderom, 1964.
- 3.2.3 De ontwikkelingen van Noord-Beveland sedert de 16e eeuw. Gegevens ontleend aan Bruin et al., 1961.
- 3.2.4 Inhouds- en diepteveranderingen van de monding van de Oosterschelde in de periode 1827-1977.
- 3.2.5a/ Situatie monding Oosterschelde in de periode 1827-1978.
- 3.2.5j
- 3.3.1 Mediane korrelgrootte kaart.
- 3.3.2 Slibgehalte ($< 50 \mu\text{m}$) kaart.
- 3.3.3 Organisch koolstofgehalte kaart.
- 3.4.1 Oppervlakteverdeling in ha en % per hoogtezona van slikken, platen en schorren in de Oosterschelde, westelijk van de toekomstige compartimenteringsdammen (naar gegevens uit 1976).
- 3.4.2 Ligging intergetijdegebieden in de Oosterschelde.
- 3.5.1 Stroomsnelheids- en bodemvormbewegingsrichting in T_2 -raaien ten westen van de Zeelandbrug.
- 5.1.1/ Morfologische ontwikkeling in de 20e eeuw van de omgeving Galgeplaat.
- 5.1.4
Situaties 1909, 1932, 1952 en 1982.

- 5.1.5/ Diepteverschillen (isallobaten) kaart Oosterschelde
- 5.1.7 Omgeving Galgeplaat in de periodes 1960-1965, 1965-1970 en 1970-1975.
- 6.2.1 Verband windsnelheid Ponton vs windsnelheid OS₄.
- 6.2.2 Verband windrichting Ponton vs windrichting OS₄.
- 6.2.3/ Windsnelheid en windrichting (OS₄) september 1982 t/m augustus 1983.
- 6.2.14 1983.
- 6.3.1 Stroomsnelheid en -richting AZTM Ponton, wind < 5 m/s.
- 6.3.2 Stroomsnelheid en -richting AZTM Stelling, wind < 5 m/s.
- 6.3.3 Verband u-wind en u-longshore maximum.
- 6.3.4 Berekende en waargenomen longshore current.
- 6.3.5 Windgedreven componentstroom Ponton en Stelling.
- 6.3.6 Verband AZTM stroomsnelheid en gemiddelde snelheid (Ponton).
- 6.3.7 Golfvoorspelling Ponton.
- 6.3.8 Golfvoorspelling Stelling.
- 6.3.9 Ponton: Verband golven vs windsnelheid (Ponton) voor windsector 240-270 graden.
- 6.3.10 Vergelijking totale golfenergie (MO) Ponton en Stelling.
- 6.3.11 Vergelijke golfhoogte ($H^1/3$) Ponton en Stelling.
- 6.3.12 Vergelijking golfperiode TMO2 Ponton en Stelling.
- 6.3.13 Concentratie bij Ponton als functie van de gemiddelde stroomsnelheid ($u_{orbit} < 10$ cm/s) bij Ponton.
- 6.3.14 Concentratie bij Stelling als functie van de gemiddelde stroomsnelheid ($u_{orbit} < 10$ cm/s) bij Stelling.
- 6.3.15 Concentratie bij Ponton als functie van $\bar{u} + u_{orbitaal}$ ($u_{orbitaal} > 20$ cm/s).
- 6.3.16 Concentratie bij Stelling als functie van $u + u_{orbitaal}$ ($u_{orbitaal} > 20$ cm/s).
- 6.3.17 Hoogte knikpunt concentratievertikaal boven de bodem als functie van orbitaalsnelheid bij de bodem.
- 6.3.18 Verspreidingscoëfficiënt onderlaag concentratievertikaal als functie van de gemiddelde stroomsnelheid.
- 6.3.19 Verspreidingscoëfficiënt bovenlaag concentratievertikaal als functie van de gemiddelde stroomsnelheid.

- 6.3.20 Concentratievertikalen.
- 6.3.21 Momentane transporten (+ richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (doodtij) op 20-4-'83/21-4-'83.
- 6.3.22 Momentane transporten (+ richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (springtij) op 15-4-'83.
- 6.3.23 Momentane transporten (+ richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (zuidwester storm) op 31-3-'83.
- 6.3.24 Momentane transporten (+ richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (noordwester storm) op 6-4-'83.
- 6.3.25 Transportroos Ponton 14 april '83 (springtij).
- 6.3.26 Transportroos Ponton 6 april '83 (noordwester storm).
- 6.3.27 Transportroos Ponton 11-12 april '83 (noord-noordwester storm)
- 6.3.28 Transportroos Ponton 21-22 maart '83 (westerstorm).
- 6.3.29 Ponton: Totale transporten en sedimentatie/erosie voor de gehele meetperiode.
- 6.3.30 Stelling: Totale transporten en sedimentatie/erosie voor de gehele meetperiode.
- 6.3.31 Ponton: Netto transporten onderscheiden naar versnellende en vertragende stroom.
- 6.3.32 Stelling: Netto transporten onderscheiden naar versnellende en vertragende stroom.
- 6.4.1 Overzicht sedimentatie/erosie plots Galgeplaat.
- 6.4.2 Cumulatieve sed./erosie lengterai 50.
- 6.4.3 Cumulatieve sed./erosie lengterai 150.
- 6.4.4 Cumulatieve sed./erosie lengterai 250.
- 6.4.5 Cumulatieve sed./erosie lengterai 350.
- 6.4.6 Ruimtelijke weergave plots Galgeplaat.
- 6.4.7 Gemiddelde absolute sedimentatie plots 1-19/20-44.
- 6.4.8 Gemiddelde bruto sedimentatie (metingen 1 t/m 29).
- 6.4.9 Gemiddelde absolute erosie plots 1-19/20-44.
- 6.4.10 Gemiddelde bruto erosie (metingen 1 t/m 29).
- 6.4.11 Verloop sedimentatie springtij-doodtij cyclus.
- 6.4.12 Ploterosie gedurende storm.

- 6.4.13 Sedimentatiesnelheid (mm/dag) van alle plots (8-9-'82 t/m 20-8-'83) met uitzondering van de metingen met storminvloed.
- 6.5.1 Verloop in de tijd van D_{50} en procentuele korrelgrootte fracties.
- 6.7.1 Stelling: Verband gemeten gemiddelde stroomsnelheid vs WAQUA gemiddelde stroomsnelheid.
- 6.7.2 Stelling: Vergelijking berekende stroomrichting (WAQUA) en gemeten stroomrichting
- 6.7.3 Resultaten IMPLIC Engelsch Vaarwater (nabij Ponton).
- 6.8.1a Relatie troebelheid (JTU) en slib ($<50 \mu$) gehalte mg/l.
- 6.8.1b Relatie AZTM zandgehalte mg/l en zandgehalte mg/l bemonsteringsapparaat.
- 6.8.2/ Tijdsreeksen in minuten van significante golfhoogte ($H^1/3$ in cm), zandconcentratie AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s), waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA gedurende de meetperiode april-mei 1983.
- 6.8.8
- 6.8.9 POC-Slib relatie GALA. Meetperiode april 1983.
- 6.8.10/ Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd.
- 6.8.14
- 6.8.15 Verloop van de watertemperatuur, meetlocaties P3 en GALA.
- 7.2.1 Werkverdeling Deltadienst RWS-WL.
- 7.2.2/ Vergelijking gemeten- en berekend waterstandsverloop WAQUA bij resp. Philipsdam-west, Loodijkse Gat en Marolle Gat.
- 7.2.4
- 7.2.5 Bodemligging COMOR-berekening:
- 7.2.6 Stroomsnelheden COMOR zonder golfinvloed: 830415; 15.00 uur.
- 7.2.7 Stroomsnelheden COMOR zonder golfinvloed: 830415; 15.30 uur.
- 7.2.8 Stroomsnelheden COMOR zonder golfinvloed: 830415; 17.30 uur.
- 7.2.9 Stroomsnelheden COMOR zonder golfinvloed: 830415; 20.00 uur.
- 7.2.10 Stroomsnelheden COMOR zonder golfinvloed en met verruimd rekenrooster: 830415; 20.00 uur.
- 7.2.11 Aanzanding/erosiepatroon voor rustig springtij: 830415; 20.00 uur.
- 7.2.12 Stroomsnelheden COMOR met golfinvloed: 830330; 18.00 uur (reg. grid).

- 7.2.13 Stroomsnelheden COMOR met golfinvloed: 830330; 18.00 uur (onreg. grid).
- 7.2.14 Aanzanding/erosiepatroon voor stormsituaties ($H^{1/3} = 50$ cm) 830330; 18.00 uur.
- 8.1.1 Vergelijking stroomsnelheden COMOR-GEOMOR: 15 april 1983.
- 8.1.2 Vergelijking stroomrichtingen COMOR-GEOMOR: 15 april 1983.
- 8.1.3 Vergelijking transport Engelund Hansen vs GEOMOR: 15 april 1983.
- 8.1.4 Variatie van aanzanding/erosie als functie van de tijd: 15 april 1983.
- 8.2.1 Vergelijking resultaten COMOR-GEOMOR: 30 maart 1983: Ponton.

LIJST VAN TABELLEN

- 3.5.1 Vergelijking van het stroomsnelheidsbeeld en bodemvorm dimensies.
- 6.3.1 Resultaten correlatieberekeningen wind-golven: Ponton.
- 6.3.2 Resultaten correlatieberekeningen wind-golven: Stelling.
- 6.3.3 Verband stroomsnelheid versus concentratie ($u_{orbit} < 10$ cm/s).
- 6.3.4 Verband stroomsnelheid + orbitaalsnelheid bodem versus concentratie ($u_{orbit} > 20$ cm/s).
- 6.3.5 Vorm concentratievertikaal als functie van RI en du/dt : Ponton.
- 6.3.6 Vorm concentratievertikaal als functie van RI en du/dt : Stelling.
- 6.3.7 Concentratievertikalen.
- 6.3.8 Concentratievertikalen geïntegreerd over de waterdiepte.
- 6.7.1 Resultaten proefberekening 15 april 1983.

LIJST VAN BIJLAGEN

- 1. Geomorfologische kaart, schaal 1:10.000 van de Galgeplaat (naar luchtfoto's uit 1976).
- 2. Hoogtelijnenkaart, schaal 1:10.000 van de Galgeplaat (vervaardigd uit luchtfoto's schaal 1:5.000 uit 1982).
- 3. Overzicht SLS-opnamen rond de Galgeplaat (maart 1983).

VOORWOORD

De geomorfologische situatie van estuaria, en zo ook voor de Oosterschelde, bepaalt in belangrijke mate de ruimtelijke differentiatie in milieutypen en subgebieden met o.a. verschillen in hoogteligging; overspoelingsduur, mate van hydraulische dynamiek, verschillen in sedimentsamenstelling, etc. Een en ander correleert weer met o.a. de biologische diversiteit van het estuarine systeem en met functionele gebruiksvormen zoals o.a. visserij, recreatie en scheepvaart.

Juist ook in een estuarium spelen actuele morfologische processen een belangrijke rol. Morfodynamische factoren als getij-, winddrift, secundaire stromingen, wind en golven spelen een belangrijke rol. Blijven globaal beschouwd de groot-morfologische eenheden zoals geulen, slikken en platen min of meer onveranderd of wijzigen deze slechts langzaam, op kleine schaal daarentegen is onder invloed van stroming en golven het sediment steeds in beweging.

In het kader van het morfologisch onderzoek wordt binnen het project GEOMOR dan ook zowel naar de processen onderzoek gedaan als naar hun ruimtelijke differentiatie.

In de eerste fase van het onderzoek, waarvan dit rapport een verslag is, is door vele (tijdelijke) medewerkers een bedrage geleverd (zie overzicht GEOMOR-nota's).

Voor de ondersteunende werkzaamheden ten behoeve van het GEOMOR-project worden hier met name genoemd de afdelingen MIO, WTZ van de Delta-dienst en Adviesdienst Vlissingen van de Directie Waterhuishouding en Waterbeweging.

Voor de managng van de grote stroom aan inwingegevens tot een "sophisticated" data-opslag en verwerkingssysteem is gewerkt door drs. H.J. Buist en drs. P. Bloks, die tevens een belangrijke bijdrage hebben geleverd aan de opzet en de tekst van dit rapport.

1. INLEIDING

In het getijdegebied van de Oosterschelde (fig. 1.1) vormen de ondiepe gebieden en de intergetijdegebieden (slikken en platen) essentiële gebieden in relatie tot de belangrijkste functies van dit getijdebekken, nl. de natuurfunctie en de visserijfunctie.

Hier bevinden zich de grote hoeveelheden aan bodemdieren en andere micro-organismen, die op hun beurt weer tot voedsel dienen voor vissen en vogels. Op betreffende gebieden bevinden zich de mosselkweek- en verwaterpercelen, evenals de oesterkweekpercelen, terwijl ook de kokkelvisserij gekoppeld is aan het voorkomen van deze schelpdieren op vele plaatgebieden.

Tussen de ondiepe- en intergetijdegebieden meanderen de diepe getijdegeulen. De ligging en diepte van de getijdegeulen is naast de scheepvaart, o.a. van belang voor de stabiliteit van dijken (oevers) rond de Oosterschelde.

De morfologie van een getijdebekken zoals de Oosterschelde, is geen statisch gegeven, maar is altijd in meer of mindere mate in beweging, waarbij geulen, ondiepe- en intergetijdegebieden als grootschalige onderdelen een zekere afhankelijkheid hebben.

De belangrijkste krachten achter deze morfologie en haar dynamiek zijn de getijdestromen en de golven.

Belangrijke wijzigingen in één of meer van deze drijvende krachten zal wijzigingen in de morfologie van het bekken tot gevolg hebben. Zo zal de "demping" van het getij na het gereedkomen van de stormvloedkering wijzigingen in de morfologie tot gevolg hebben. Over de aard, grootte en snelheid van deze wijzigingen in de morfologie bestaat nog onzekerheid.

Met het doel klaarheid te brengen in deze onzekerheden is in 1982 het project GEOMOR, als samenwerkingsproject tussen de hoofdafdelingen MI en WT van de Deltadienst, gestart. Voor uitvoerige informatie omtrent dit project wordt verwezen naar het projectplan (nota DDMI-82.11/DDWT-82.012).

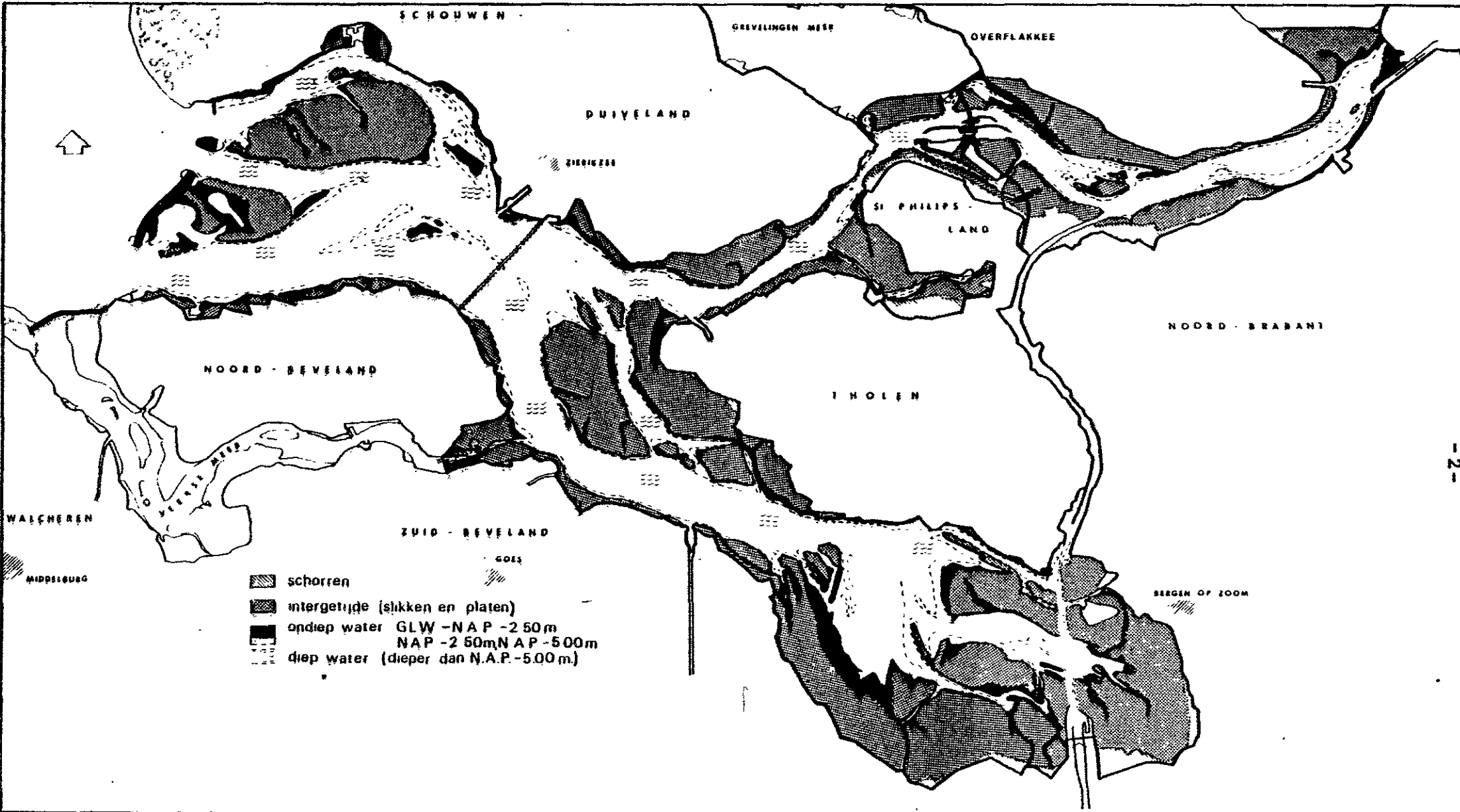


Fig.11 Ligging schorren, intergetijde- en ondiepe gebieden in de Oosterschelde

Het doel van het project is:

1. Onderzoek naar de aard en de snelheid van de huidige morfologische processen, op een beperkte locatie.
2. Het toetsen van de gevonden, bepalende factoren in de overige delen van de Oosterschelde.
3. Op basis van deze kennis een langere termijnvoorspelling maken over de veranderingen in de morfologie na het gereedkomen van de stormvloedkering.
4. Het verrichten van een evaluerende studie aansluitend op het gereedkomen van de stormvloedkering.

Gezien haar doelstellingen beperkt het project zich tot dat gedeelte van de Oosterschelde ten westen van de in aanbouw zijnde compartimenteringswerken. Dit gedeelte vormt het zgn. "gedempt getijdebekken".

De 4 doelstellingen van het GEOMOR-project zijn terug te vinden in de 3 grote fasen waarin het project is opgesplitst, nl.:

Fase 1: "Pilot-study", omvat voornamelijk doelstelling 1 en loopt van medio 1982 tot medio 1983.

Fase 2: "Ecoplots". Deze fase omvat de doelstellingen 2 en 3 en loopt van medio 1983 tot medio 1985.

Fase 3: "Evaluatie-studie". Deze fase omvat doelstelling 4 en loopt van 1985 t/m 1986 en eventueel daarna.

Het onderhavige interimrapport is het eindverslag van fase 1, waarover reeds in eerdere stadia tussentijdse voortgangsrapportages zijn verschenen, nl. het eerste voortgangsrapport (notitie DDMI-82.625) in december 1982 en een tweede voortgangsrapport, in de vorm van een concept-interimrapport fase 1 (notitie DDWTZ-83.484) in mei 1983.

Overeenkomstig het projectplan is fase 1 opgedeeld in een drietal grote gedeelten.

Deze delen, waarvan de inhoud hieronder beknopt is weergegeven zijn niet als zodanig herkenbaar in de opbouw van dit rapport. De per deel genoemde onderwerpen worden later wel in het onderhavige rapport behandeld. Zij zijn onderstreept met daarachter tussen haakjes het hoofdstuk waarin betreffend onderwerp wordt behandeld.

Deel A: Theoretische deel.

Dit blok omvat een uitvoerige literatuurstudie (4) en omvat de ontwikkeling c.q. modificatie van modellen (7).

Deel B: Praktisch deel.

Dit blok, waaraan in de periode 1982 - 1983 de meeste tijd is besteed, omvat enige fenomenologische studies. Hierbij zijn/worden voor het gehele Oosterscheldebekken inventarisaties gemaakt van de geologische (3.1), bodemkundig/sedimentologische (3.3) en (micro)morfologische (3.4) gesteldheid van geulen, ondiepten en intergetijdegebieden. Bovendien is in dit blok een paragraaf gewijd aan de wordingsgeschiedenis van de Oosterschelde (3.2).

Verder omvat dit blok naast de geulmetingen (3.5) tevens de zgn. plotmetingen (6). De geulmetingen zijn uitgevoerd in het kader van het T₂-project (Berg, van den et al., 1982).

In het kader van het T₂-project is in een 8-tal transecten van de Oosterschelde, verspreid over het gehele bekken door middel van simultane metingen het verloop van de getijstroming bij dood- en springtij vastgelegd. Op een aantal plaatsen werd tegelijkertijd het verloop van de zandconcentratie bepaald door middel van Acoustische Zandtransportmeters (AZTM) en/of Pump Filter Sampler (PFS) bemonsteringen en een gedeelte van de transecten, westelijk van de Zeelandbrug werd met Side Looking Sonar (SLS) apparatuur opgenomen.

De zgn. plotmetingen vormen de "kern" van fase 1 en betreffen gedetailleerde metingen van zowel hydraulische parameters, stroomsnelheid, richting en golven, als ook sedimentatie en erosie op een beperkt gebied aan de noordwest kant van de Galgeplaat (fig. 1.2). De hydraulische parameters werden gemeten op een tweetal punten in dit proefgebied, nl. aan de laagwaterlijn (Ponton) en bovenop de plaat. De metingen aan de laagwaterlijn werden verricht vanaf een Ponton. Deze meetplaats wordt in dit rapport betiteld onder de naam "Ponton" of "Gala" (Galgeplaat Laag). Het hoger op de plaat gelegen meetpunt bestaat uit een meetstelling. In dit rapport wordt dit meetstation wel "Stelling" of "Gaho" (Galgeplaat Hoog) genoemd. De

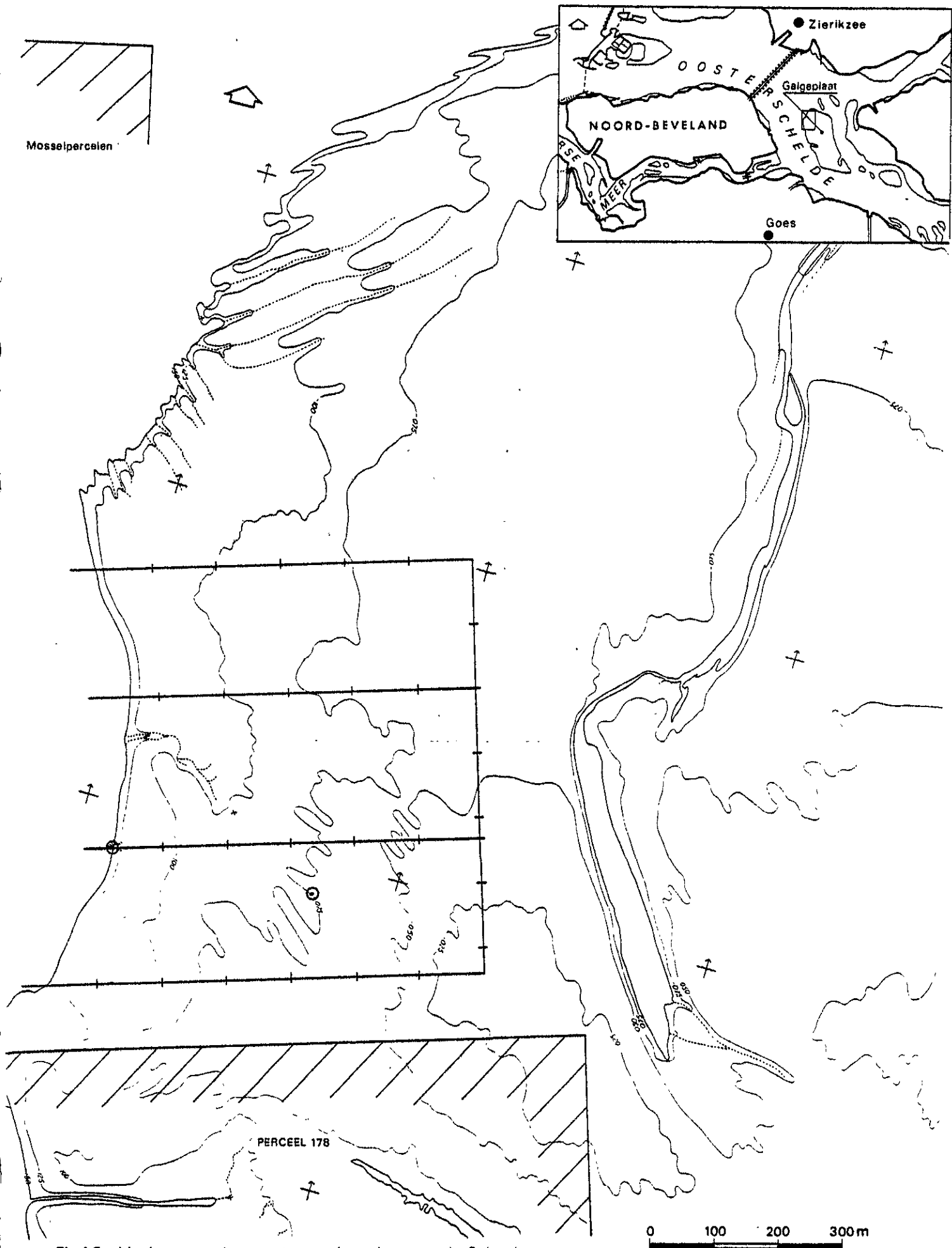


Fig.1.2. Ligging meetplot aan de noordwestkant van de Galgeplaat

sedimentatie-erosiemetingen werden uitgevoerd op een 44-tal punten, verdeeld over vier raaien.

In het kader van deze plotmetingen werd eveneens aandacht besteed aan de rol van bodemkundige parameters, zoals o.a. korrelgrootte en bodemalgen (6.5 en 6.6), op het erosie/sedimentatiegedrag. Teneinde een indruk te krijgen van het gedrag van bodem en zwevend transport in de geul grenzend aan de plot, zijn hierin eveneens S.L.S. opnamen gemaakt en zijn zandtransportmetingen uitgevoerd.

Voor een aantal van de onderwerpen, m.n. SLS/Bodemkunde/Bodemalgen, zijn de bijdragen samengesteld uit studies die door andere personen werden uitgevoerd. Deze studies zijn op naam in de vorm van notities beschikbaar. Bovendien zijn een aantal onderwerpen, m.n. het literatuuronderzoek en het onderzoek naar de geologische gesteldheid, het bochtstromingsmodel en het plaatmodel (COMOR) geheel of gedeeltelijk ingevuld middels uitbestedingsopdrachten. Hierover zijn aparte rapporten opge maakt (zie lit. overzicht).

Deel C: Evaluatie.

Dit blok omvat in feite de rapportage en interpretatie van de delen A en B, waarbij speciale aandacht zal worden geschonken aan de voorspellingsmethodieken en de opzet van de volgende fase van het onderzoek op basis van conclusies uit fase 1.

Zoals reeds in het projectplan GEOMOR naar voren werd gebracht, vormt de morfologie een (basaal) aspect van het gehele ecosysteem van de Oosterschelde. Daarom is aandacht besteed aan de relatie met andere onderzoekingen betreffende andere ecosysteem aspecten. Daartoe zijn gedurende de meetperiode eveneens parameters (6.8) (o.a. POC en temp.) opgenomen, die een meer ecologische interpreteerbaarheid mogelijk maken. In fase 2 zal zowel in de opzet, uitvoering als interpretatie expliciet meer aandacht besteed worden aan de relatie met andere projecten.

De nogal fundamentele aanpak van het GEOMOR-project is niet alleen noodzakelijk om met een zekere mate van nauwkeurigheid iets over de veranderingen na 1986 te kunnen zeggen, doch levert eveneens een zoda-

nig (kwantitatief en kwalitatief) inzicht in het (morfologisch) proces van dergelijke getijdegebieden, dat de kennis in belangrijke mate extrapolerebaar is voor andere gebieden.

2. SAMENVATTING

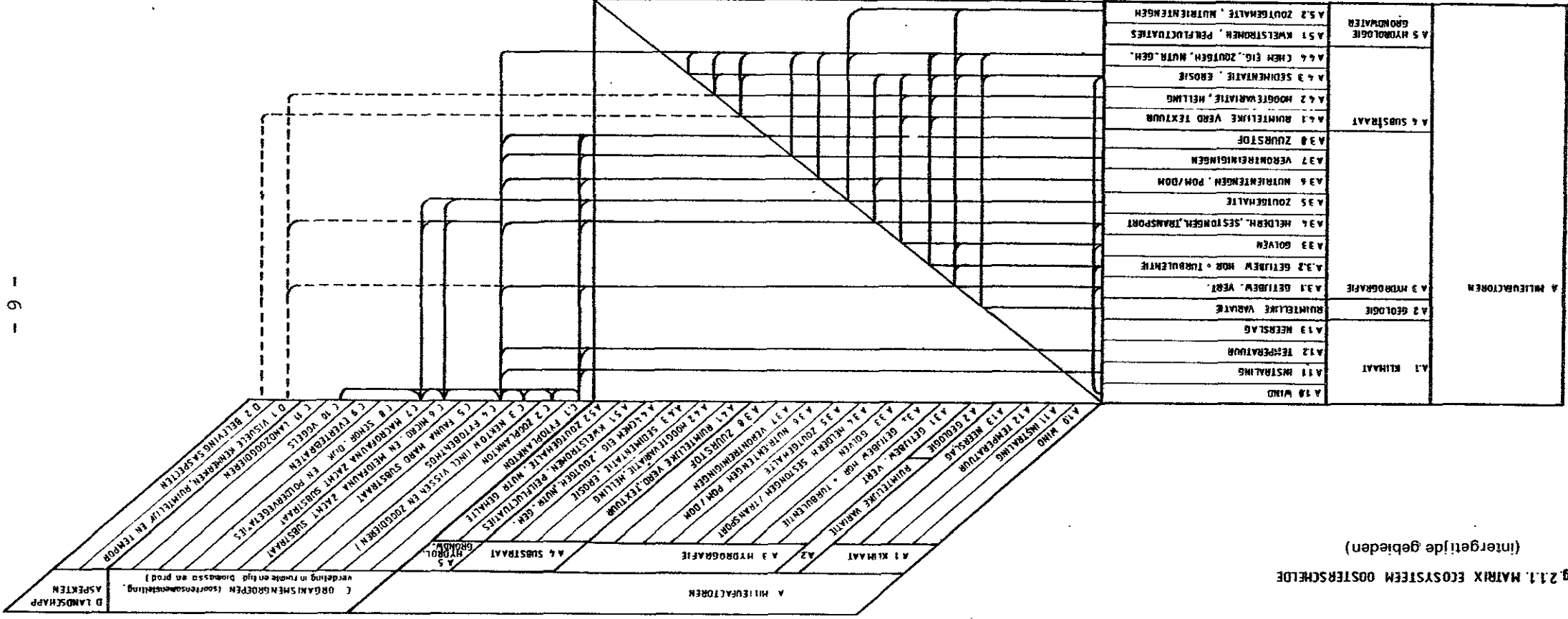
2.1. Schema's

De relaties tussen abiotische milieufactoren onderling, en tussen de abiotische milieufactoren, de organismengroepen en de landschappelijke aspecten, m.n. voor zover die werkzaam zijn op het intergetijdegebied, worden geïllustreerd in de matrix van het ecosysteem Oosterschelde (fig. 2.1.1).

Binnen het project Geomor ligt de nadruk op de morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde, zowel op dit moment als in de toekomst, en de processen (biotische en abiotische) die hieraan ten grondslag liggen.

Het onderzoek omvat de materiaaluitwisseling tussen de grotere morfologische eenheden, te weten schorren, slikken, platen, geulen en de zee (fig. 2.1.2). Na de voltooiing van de stormvloedkering zal er naar verwachting nauwelijks materiaaluitwisseling tussen het Oosterscheldebekken en de Noordzee plaatsvinden (nota DDMI-82.11/DDWT-82.012). Binnen het project Geomschor (DDMI-Rijksuniversiteit Utrecht) vindt onderzoek plaats naar de opbouw en afbraak van schorren en de overgang schor-slik in het bijzonder. Het Geomor onderzoek richt zich op het dynamisch gedrag van geulen, de slikken en de platen. Hiertoe wordt onderzoek verricht naar de abiotische processen en de biotische processen, voor zover van belang voor de transporteerbaarheid van sediment. Een stroomschema van deze processen is weergegeven in fig. 2.1.3, plaat/sliksysteem, en fig. 2.1.4, geulsysteem. De rode draad in beide schema's loopt van proces via materiaaltransport naar morfologische veranderingen. Schelpdiercultures, bodemdiatomeeën (= microfythobenthos), consolidatie en bodemeigenschappen zijn van invloed op de kritische erosiesnelheid van het sediment, terwijl golven en stroming zorg dragen voor de opwerveling en het transport. Indien in beide stroomschema's bij de procesnaam een toelichting is gegeven (bijv. $H^{1/3}$ bij golven) dan is hieraan, binnen het Geomor-onderzoek, aandacht besteed. De variatie in de tijd van de morfologie, de golven, de stroming en de zandconcentraties is momenteel het meest intensief bestudeerd. De kennis betreffende variatie in de ruimte moet nader worden onderzocht.

Fig 2.11. MATRIX ECOSYSTEEM OOSTERSCHIED (intergetijde gebieden)



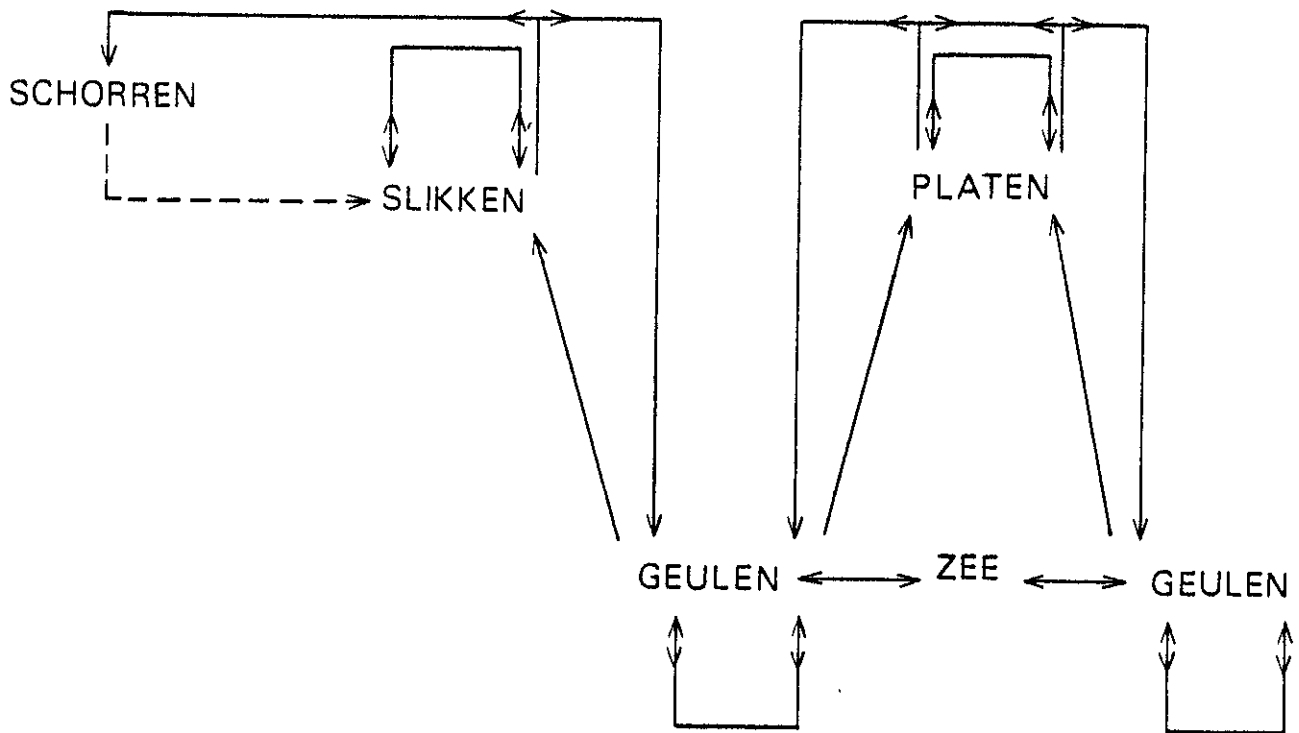
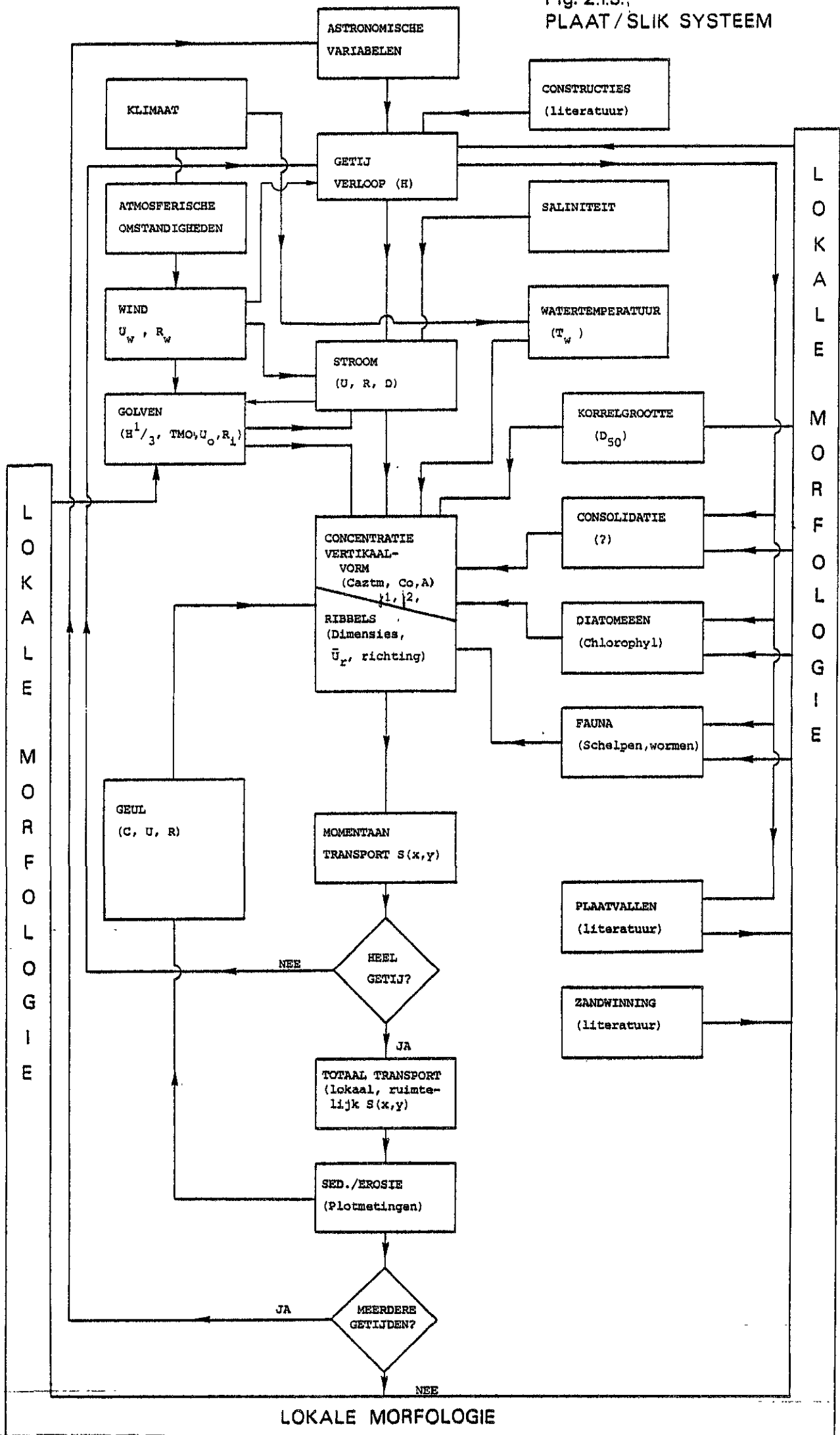
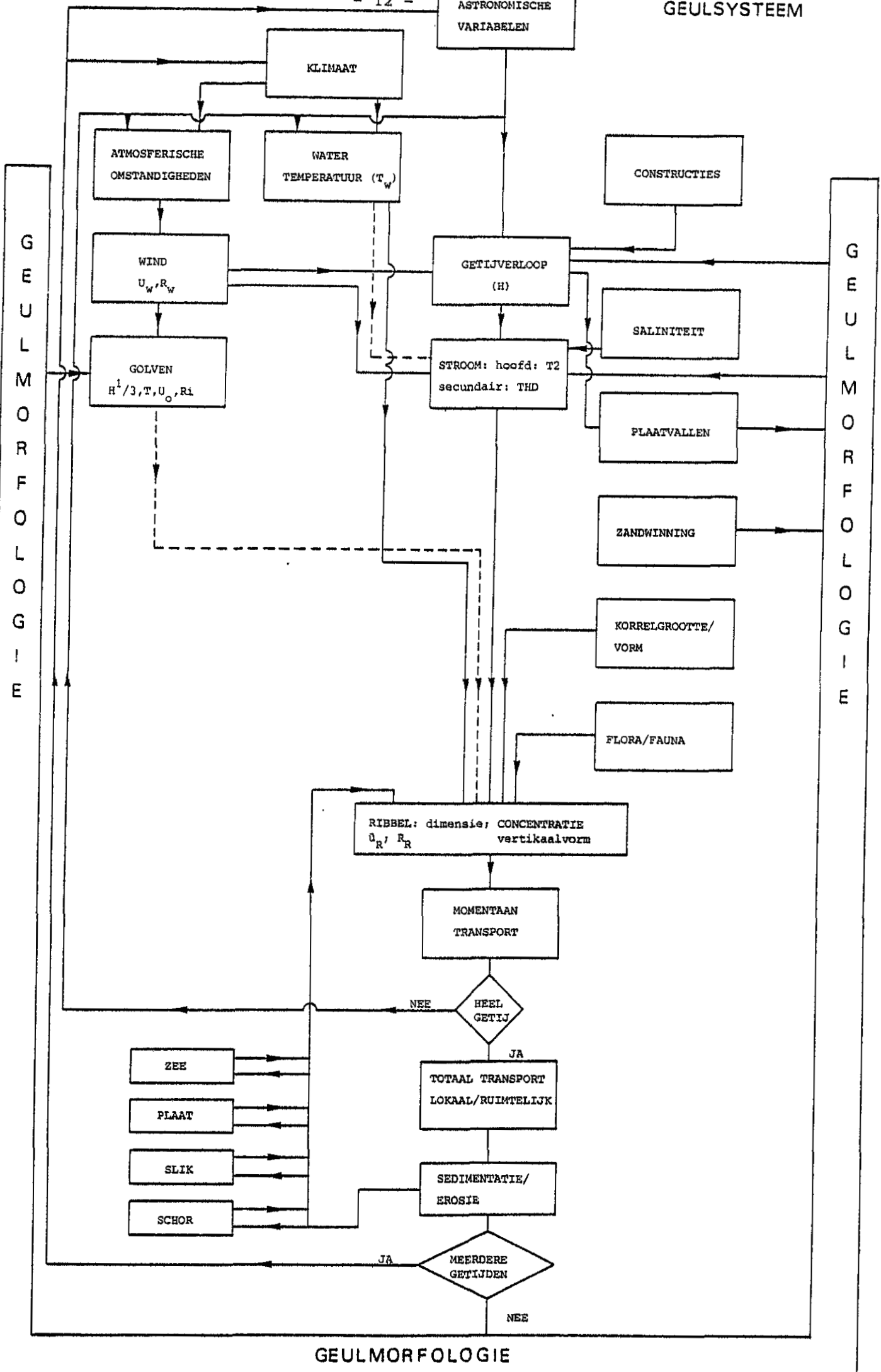


Fig. 2.1.2. Relatieschema morfologische eenheden

Fig. 2.13.,
PLAAT / SLIK SYSTEEM





2.2. Samenvatting/Conclusies Fase 1

Essenties Fase 1

In fase 1 van het project GEOMOR is getracht om de volgende hoofdvragen te beantwoorden.

- I. Welke relevante hydraulische en sedimentparameters bepalen momenteel de morfologische ontwikkeling? Hierbij is de meeste inspanning gestopt in het intergetijdegebied, omdat van de hypothese is uitgegaan dat na het gereedkomen van de stormvloedkering t.g.v. de getijreductie (afname stroomsnelheid en toename van effecten van golfwerking) de grootste morfologische veranderingen zich in het intergetijdegebied zullen voordoen.
- II. Wat voor wiskundige modellen zijn er die op basis van de onder I gestelde relevante parameters de morfologische ontwikkeling voor een morfologische eenheid (plaat, slik, geul, zie fig. 2.1.2) kunnen berekenen? Met een dergelijk model zouden, afhankelijk van de nauwkeurigheid, voorspellingen voor de situatie na het gereedkomen van de stormvloedkering kunnen worden gedaan.
- III. Welke van de variabelen, die m.n. de kritische erosiesnelheid bepalen (o.a. sedimentsamenstelling), zijn in het Oosterscheldebekken ruimtelijk zodanig gedifferentieerd, dat zij consequenties hebben voor de morfologische processen en dus ook voor de wiskundige modellering daarvan?

Ten aanzien van deze laatste vraag is uit een geologische studie en uit een sedimentsamenstellingsstudie van het bodemoppervlak gebleken dat het gebied ten westen van de lijn Wemeldinge - Stavenisse - Ouwkerk, zowel in verticale als in horizontale zin veelal uit los gepakt zand bestaat waarin weinig slib en veen voorkomt. Ten oosten van deze lijn m.n. in de Kom van de Oosterschelde zijn lokaal wel grote verschillen aanwezig (veen- en kleibanken). Met andere woorden op textuurele gronden is er met uitzondering van de kom van de Oosterschelde geen grote ruimtelijke differentiatie van morfologische processen te verwachten. Hierbij moet worden opgemerkt dat de bodembemonstering en de geologische boringen m.n. ruimtelijk gezien grote hiaten kennen, hetgeen in fase 2 nader zal moeten worden aangepakt. Daarnaast zal ook de invloed van mosselpercelen moeten worden geanalyseerd, omdat deze tot op heden buiten beschouwing zijn gelaten. Bovendien kunnen facto-

ren als diatomeeën, expositie, de ligging aan de binnen- of buitenbocht van de getijgeulen, alsmede de aard daarvan (eb- of vloedgeul), ruimtelijke verschillen in morfologische processen tot gevolg hebben. De invloed van deze factoren zal in fase 2 nader worden onderzocht. Anderzijds mag men ook verwachten dat daar waar klei- of veenbanken aan het oppervlak dagzomen de morfologische ontwikkeling langzamer verandert (VB. Zuidoostzijde van de Roggenplaat).

Met betrekking tot vraag I is in fase 1 een gedeelte (400x700m) van een systeem (fig. 2.1.2 en 2.1.4) - de Galgeplaat - onderzocht. De sedimentatie in het onderzochte plaatsysteem treedt op onder rustige weerscondities, waarbij de windsnelheden kleiner zijn dan 5 Beaufort. Over het algemeen heeft de sedimentatie een cyclisch karakter, van gering bij doodtij (0-0,5 mm/getij) tot groot bij springtij (1-2 mm/getij). Gezien de beperkte opzet van de hydraulische metingen (2 locaties) kon niet worden nagegaan welk deel van de sedimentatie verklaard wordt uit aanvoer van de geul (suspensie-bodemtransport) danwel aanvoer van een ander gedeelte van de plaat. In fase 2 zal hieraan nader aandacht worden besteed.

De erosie van het onderzochte gebied vindt voornamelijk plaats wanneer de windsnelheid groter wordt dan 5 Beaufort (1-200 mm/getij). Deze erosie wordt verklaard uit enerzijds de verhoging van de orbitaalsnelheid ($>0,20$ m/s), waardoor niet alleen meer sediment wordt opgewerveld, maar ook langer in suspensie wordt gehouden en anderzijds het ontstaan van een longshore current, en een windgedreven stroming, waardoor het transporterend vermogen wordt vergroot. Omdat de longshore current gerelateerd is aan de brandingszone en derhalve de erosie sterk lokaal beïnvloedt, is ruimtelijk gezien de erosie na een storm niet uniform.

Gemiddeld over een jaar is echter zowel de erosie als de sedimentatie over het meetgebied erg regelmatig, waarbij de plaatrand wat grotere fluctuaties kent dan het gebied boven op de plaat (fig. 2.2.1 en 2.2.2).

Erosie van de intergetijdegebieden lijkt dus vnl. plaats te vinden onder invloed van krachtige golfwerking. Onder rustige omstandigheden, met geringe of geen golven, lijken (getij)stroming en erbij behorende

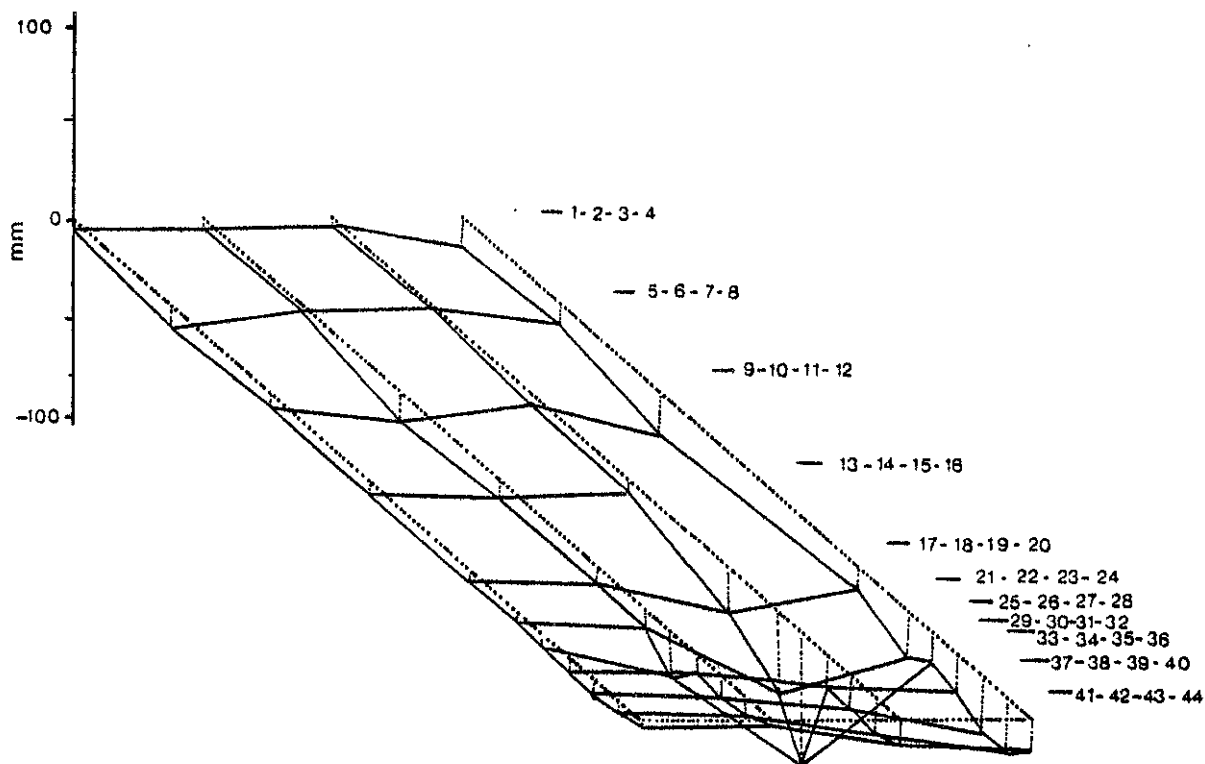


Fig. 2.2.1. : Gemiddelde bruto erosie (metingen 1 t/m 29) sept 1982 t/m aug 1983

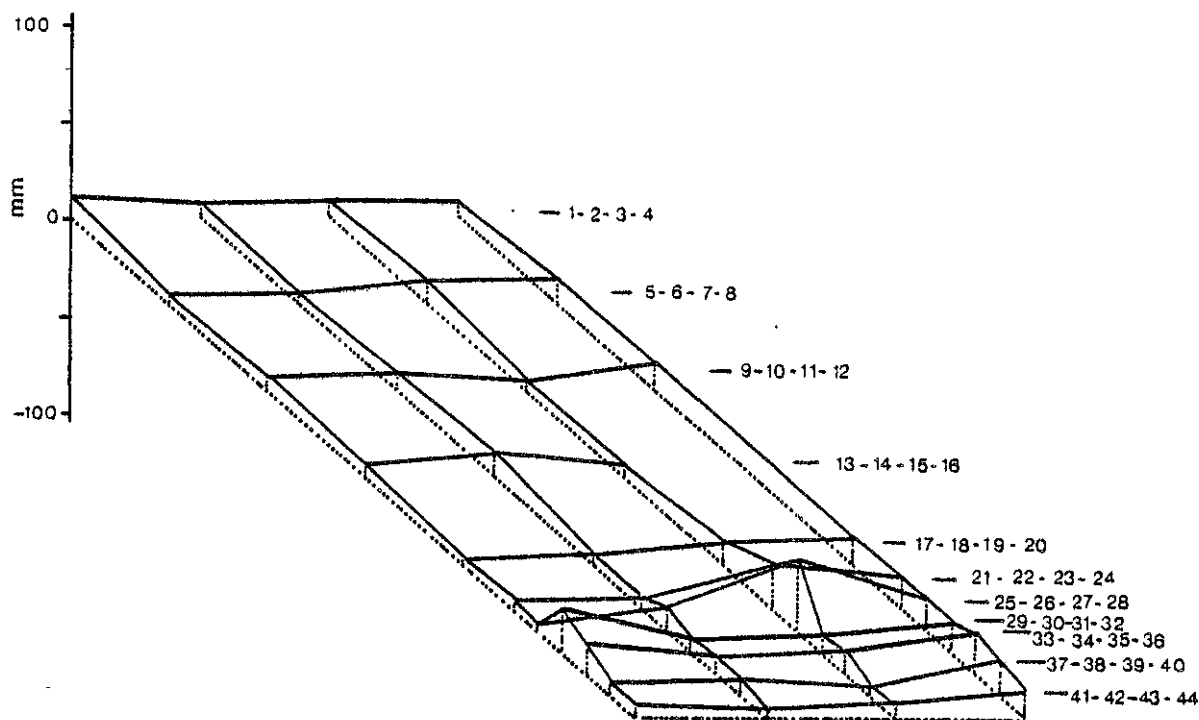


Fig. 2.2.2. : Gemiddelde bruto sedimentatie (metingen 1 t/m 29) sept 1982 t/m aug 1983

sedimenttransporten, m.n. vanuit de geul, verantwoordelijk voor het sedimentatieproces.

Globaal beschouwd zijn, zo blijkt uit de metingen, sedimentatie en erosie in evenwicht.

Na het gereedkomen van de stormvloedkering nemen de stroomsnelheden en daarmee het transporterend vermogen af. Daar verwacht mag worden dat de perioden met krachtige golfwerking niet veranderen, kan dit leiden tot verschuiving van het genoemde evenwicht in de richting van erosie, hetgeen een ondersteuning betekent van de in vraag I gestelde hypothese.

Waar, in welke mate en met welke snelheid erosie optreedt is momenteel niet aan te geven. Deze aspecten zullen in de volgende fasen van het project nader aan de orde komen.

Aangetoond is dat bij een erosieve gebeurtenis het fijne sediment wordt uitgewassen en het grovere sediment blijft liggen.

De consequentie hiervan is dat de plaat tijdelijk meer erosiebestendig is. In het geval dat deze volgende storm niet binnen enkele dagen na de vorige optreedt dan kan de erosie bestendigheid ook worden versterkt door diatomeeën. De erosiebestendigheid wordt veroorzaakt doordat diatomeeën slijmhuiden op korrels kunnen aanbrengen. De diatomeeënlaag schijnt bij zware storm te worden aangetast, maar is na enkele dagen weer hersteld.

Tot zover zijn alleen de belangrijkste kwalitatieve resultaten van het onderzoek op de Galgeplaat genoemd. Voordat wordt ingegaan op de belangrijkste kwantitatieve resultaten van de hydraulische metingen zal eerst worden ingegaan op vraag II over de wiskundige modellen, omdat bevindingen van de meetresultaten direct kunnen worden vergeleken met de uitkomsten van de wiskundige modellen, m.n. wat betreft het plaat/slikmodel.

Ten aanzien van de geulen bestaat er geen morfologisch model voor instationaire omstandigheden. Uitgaande van de hypothese dat de secundaire stroming, evenals in rivieren, een belangrijke, zonet de belangrijkste rol speelt in het gedrag van het geulenpatroon, is aan de TH Delft afd. vloeistofmechanica gevraagd of het mogelijk was om WAQUA uit te breiden met secundaire stroming voor instationaire omstandigheden en zo ja, om dit uit te voeren. Het model wordt momenteel getoetst

a.h.v. laboratoriummetingen en zal daarna voor het prototype verder worden getoetst.

In fase 2 zal eerst moeten worden nagegaan of m.b.v. uitkomsten van dit ontwikkelde model inzicht kan worden verkregen over de ontwikkeling van het geulpatroon in het verleden. Pas als de hierboven veronderstelde hypothese juist is gebleken zal erover worden nagedacht of dit ontwikkelde model eventueel moet worden uitgebreid met sedimenttransport.

T.a.v. de platen en slikken is er momenteel maar één morfologisch model in ontwikkeling dat in principe geschikt is. Dit model heet COMOR en wordt door het WL in opdracht van TOW ontwikkeld. COMOR heeft als invoer stroomrandvoorwaarden op de rand van het gekozen plaatsysteem en golfgegevens op zijn roosterpunten nodig. Voor het eerste zijn voor drie proefdagen WAQUA-berekeningen gemaakt. Een groot nadeel is dat WAQUA van een geheel andere bodemschematisatie uitgaat.

Voor het laatste is gebruik gemaakt van het model CREDIZ. Dit model is echter ongeschikt gebleken, ook nadat de golfgroei was ingebracht. Het belangrijkste probleem hierbij is dat de groeisnelheid van de golven in dezelfde orde van grootte is als de stroomsnelheid, waardoor de golven a.h.w. door de stroom worden weggedrukt.

Derhalve is COMOR alleen maar gedraaid voor een vloed-ebcyclus met een rustig weersituatie (10 tijdstippen) en voor slechts 3 tijdstippen met golven, nl. de tijdstippen waarbij de stroomsnelheid gering is.

In het model zelf wordt de stroomsnelheid (inclusief golfinvloed), het suspensietransport en de bodemliggingsverandering op een willekeurig te kiezen rekenrooster uitgerekend. In het huidig model kunnen een aantal formules worden gebruikt die het suspensietransport berekenen. Hiertoe behoren de zgn. Bosmanformule die voornamelijk is afgeleid op basis van 1 op 1 schaalmodelproeven, welke in het kader van GEOMOR zijn uitgevoerd, de formule van Engelund-Hansen en de Bijkerformule.

Voor de rustig weersituatie (sedimentatie) zijn de resultaten van COMOR (10 tijdstappen) vergeleken met de uitkomsten van een proefberekening die gebaseerd is op de kwantitatieve resultaten van de hydraulische metingen. Deze vergelijking heeft alleen betrekking op de situatie boven op de plaat.

Het grote verschil tussen beiden is dat een belangrijk deel van de sedimentatie in de proefberekening plaatsvindt tijdens de (versnellende*) vloed, terwijl dit in de COMOR-berekening zowel tijdens de gehele vloed als in het vertragende deel van de eb plaatsvindt (fig. 2.2.3). Een en ander is te verklaren uit het feit dat in de proefberekening rekening is gehouden met naijling, terwijl dit in de COMOR-transportformules niet is ingebouwd (fig. 2.2.4). Onbekend is of deze naijling overal op de plaat zo'n belangrijke rol speelt. Dit zal in fase 2 moeten worden geverifieerd.

Absoluut gezien lijken de resultaten van de proefberekening veel beter dan de COMOR-resultaten; proefberekening \rightarrow 0,7 mm, COMOR \rightarrow ~~0,2~~ mm (gecorrigeerd voor te hoog ingevoerde stroomsnelheden), terwijl er in werkelijkheid een sedimentatie van circa 1 mm/getijdencyclus wordt gemeten.

Helaas is, i.v.m. het slecht functioneren van het golfmodel CREDIZ, momenteel geen mogelijkheid om COMOR onder golfsituaties qua erosie te vergelijken met een proefberekening.

In principe lijkt het mogelijk op basis van de huidige stand van zaken om het model COMOR zodanig verder te ontwikkelen (naijling, etc.) dat dit bruikbaar is voor (eenvoudige) morfologische voorspellingen, mits het golfmodel dat in fase 2 door de TH Delft wordt ontwikkeld het probleem van CREDIZ ondervangt. Voor het bochtstromingsmodel kan deze conclusie nog niet worden getrokken. Gezien de prioriteitstelling die in vraag I is gesteld, is dit ook minder belangrijk.

* onder versnellend wordt verstaan waar $\frac{du}{dt} > 0$ en onder vertragend

wordt verstaan waar $\frac{du}{dt} < 0$ is.

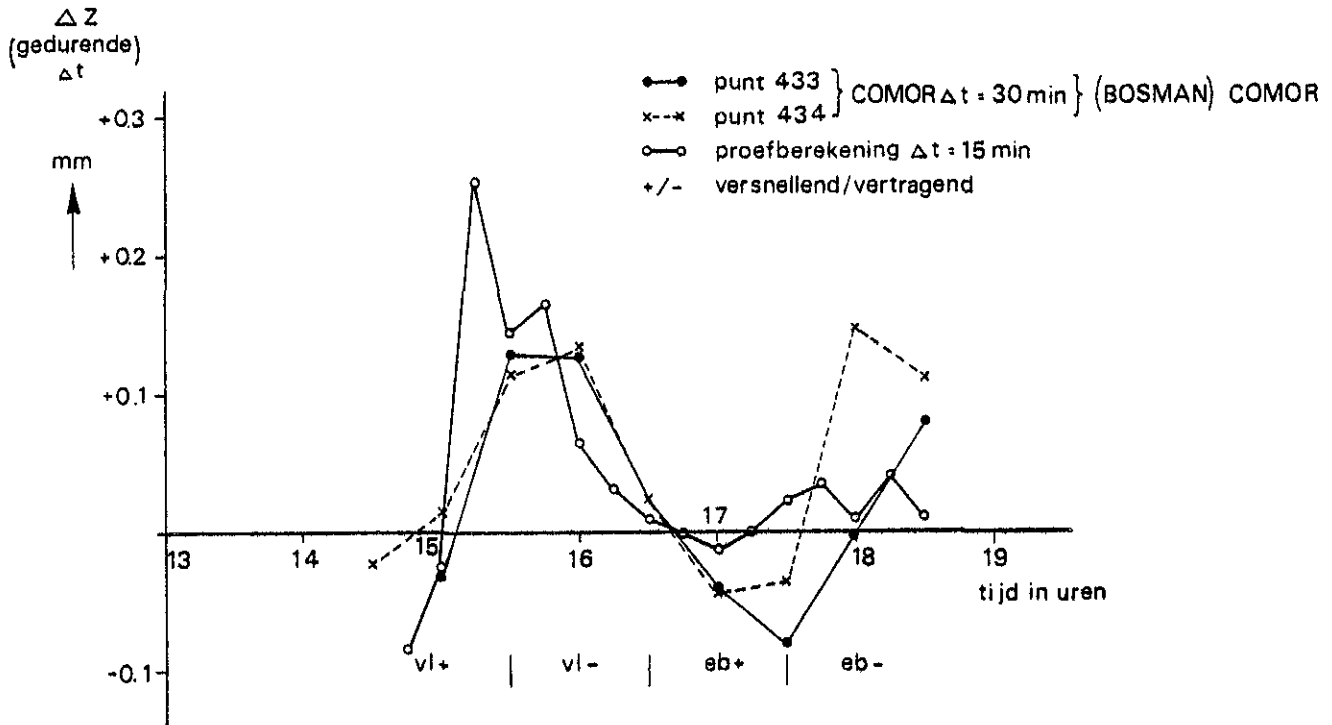


Fig. 2.2.3. Variatie van aanzanding/erosie als functie van de tijd: 15-4-1983

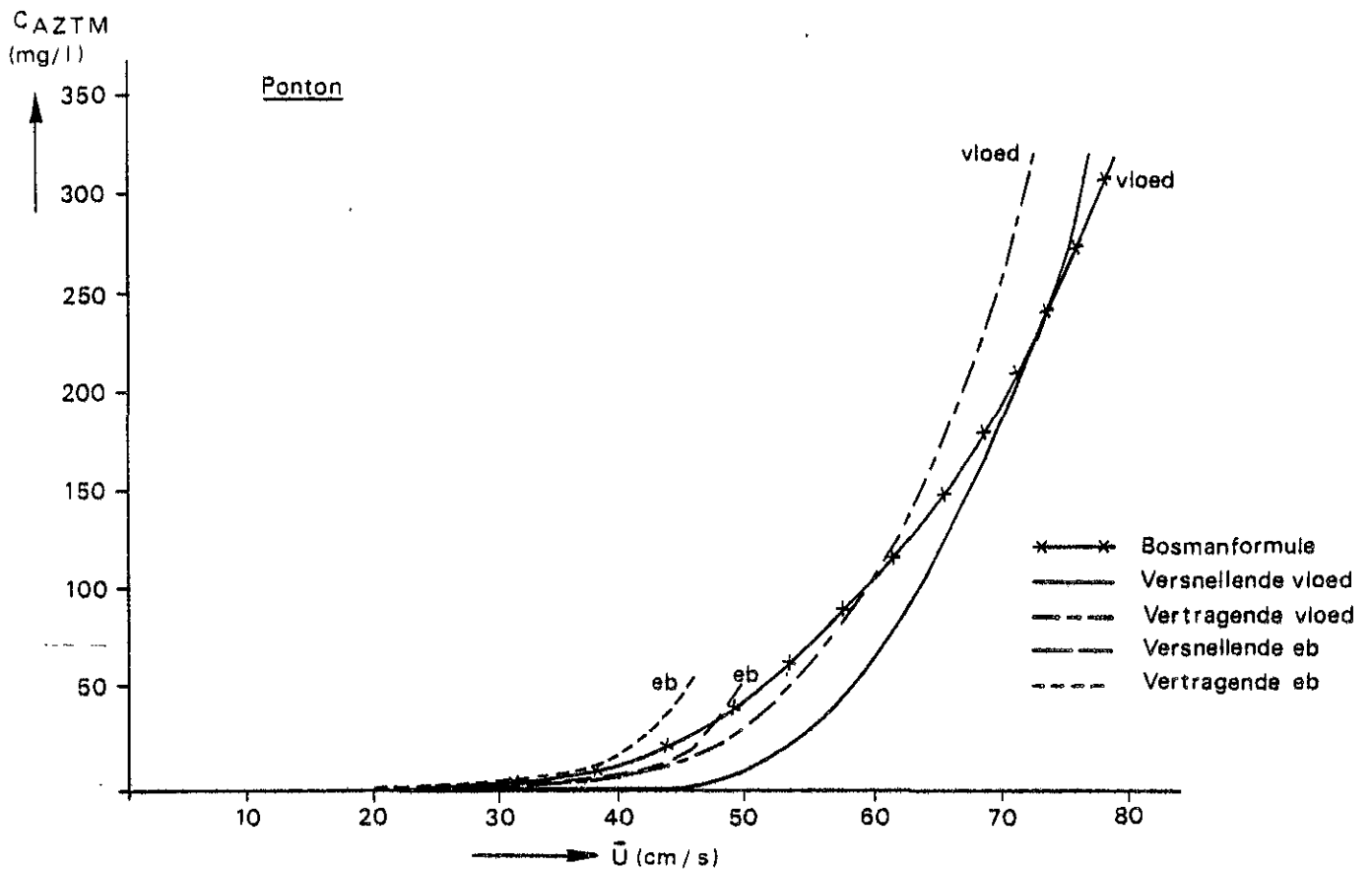


Fig. 2.2.4 Concentratie als functie van \bar{U} , verband afgeleid voor $\bar{U}_{orbit} < 10 \text{ cm/s}$

3. OOSTERSCHELDE

3.1. Geologische opbouw

Hoewel van deelgebieden van de Oosterschelde door de Rijks Geologische Dienst geologische rapporten zijn opgesteld - met name van de directe omgeving van de Oosterscheldewerken, maar ook van zandwingebieden en van de ondergrond van de hoogwaterkering, bestaat er nog geen samenvattende studie van de gehele Oosterschelde. Aangezien de snelheid van erosieprocessen en dus ook het sedimentaanbod voor aanzanding in hoge mate bepaald wordt door de lithologische eigenschappen van het sediment in de ondergrond, werd daarom in het kader van het Geomorproject een inventariserend onderzoek uitgevoerd naar de lithostratigrafie van de bovenstaande tientallen meters in de Oosterscheldebodem, d.w.z. dat gedeelte van de ondergrond dat voor de verplaatsing van geulen van belang is. De resultaten zijn vervat in Geomor nota 83.02: "Boven Pleistocene en Holocene geologische opbouw van het Oosterscheldebekken". Dit rapport bevat naast een beknopte beschrijving van de in de Oosterschelde dagzomende lithostratigrafische formaties een aantal geologische profielen door de Oosterschelde en enkele lithologische niveaukaarten (niveau N.A.P. - 10 m en maaiveld - 1 m en - 5 m). Hieruit blijkt dat de randen van het bekken en de kom (het deel van de Oosterschelde ten oosten van Yerseke), in vergelijking met de plaatgebieden in het midden en westen van de Oosterschelde, qua lithologie en chronostratigrafie een veel gedifferentieerder beeld vertonen. Plaatselijk ten noorden van St. Philipsland en in vrij omvangrijke gebieden in de kom van de Oosterschelde wordt een veenlaag (Hollandveen) aan of dicht onder de oppervlakte aangetroffen. Kleiige afzettingen (veelal uit de Calais formatie) dagzomen op veel plaatsen langs de oevers van de Oosterschelde of komen op geringe diepte voor. Dat laatste geldt ook voor grote gebieden in de kom, de Slikken van de Dortsman, de Krabbenkreek en de Zandkreek. De plaatgebieden in het midden en westen van de Oosterschelde zijn tot meer dan 20 m beneden N.A.P. opgebouwd uit Duinkerke zanden, slechts op enkele plaatsen zijn daarin zandige kleien aangetroffen. Daar moet wel bij worden vermeld dat in deze gebieden in het algemeen zeer weinig boringen werden verricht en dat de mogelijk-

heid bestaat dat op meer plaatsen kleiige afzettingen voorkomen. Het verdient dan ook de aanbeveling in deze gebieden aanvullende boringen uit te voeren.

3.2. De wordingsgeschiedenis van de Oosterschelde

De huidige morfologie van de Oosterschelde is deels het resultaat van een natuurlijke ontwikkeling van een estuarium in een alluviaal gebied onder omstandigheden van een geleidelijk stijgende zeespiegel. De ontwikkeling van de Oosterschelde tot wat zij nu is wordt echter in belangrijke en steeds toenemende mate bepaald door kunstmatige menselijke ingrepen in het getijdensysteem. Voor een goed begrip van de situatie waarin de Oosterschelde nu verkeert is het nuttig de belangrijkste morfologische veranderingen en de toenemende menselijke invloed daarop te schetsen.

Op grond van geologische en historische gegevens zijn door Wolff et al. (1979) een aantal paleogeografische reconstructies gemaakt van Zeeland, die teruggaan tot de Romeinse tijd. (fig. 3.2.1).

Laatstgenoemde reconstructie en die van circa 1000 zijn erg onzeker. Wel staat vast dat een belangrijk mondingsgebied van de Schelde reeds voor de Romeinse tijd gelegen was tussen Schouwen en Walcheren (Rummelen, 1978).

Tot in de vroege middeleeuwen bleef deze Schelde-arm de voornaamste rivierloop van de Schelde. Desondanks wordt aangenomen dat met uitzondering van de monding het estuarium minder dan één km breed was, dus 10 à 20% van de huidige breedte (Wolff et al., 1979; Wilderom, 1964). In de 11^e en 12^e eeuw werd op uitgebreide schaal overgegaan tot bedijking van schorren en veengebieden. Deze bedijkingen verlaagden het overstromingsrisico. Men was echter niet in staat geleidelijke natuurlijke veranderingen in de ligging van de geulen, met name ten gevolge van bochtwerking tegen te gaan. Dat blijkt bijvoorbeeld uit de geschiedenis van de zuidelijke oever van Schouwen, waar als gevolg van uitschuring in de buitenbocht van de Hammen de kustlijn zich tussen 1300 en 1600 tot plaatselijk vier km naar het noorden verplaatste (fig. 3.2.2).

Door de middeleeuwse inpolderingen waren grote delen van het met klei overdekte veengebied van het buitenwater afgesloten. Hierdoor trad er geen nieuwe aanslibbing meer op. Door de ontwatering van het gebied,

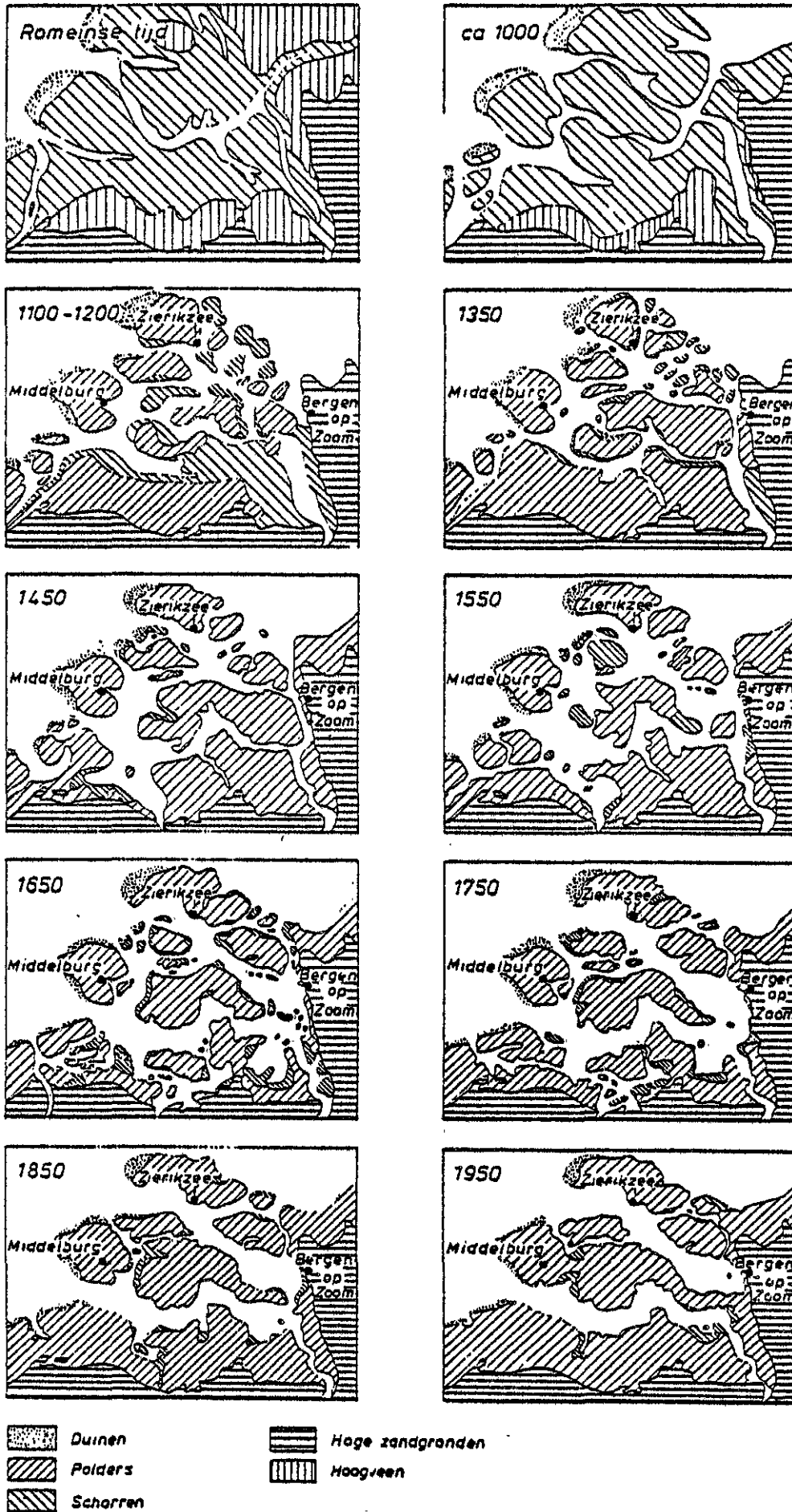


Fig. 3. 2.1 De wordingsgeschiedenis van Zeeland .

Reconstructie ontleend aan Wolff et al, 1979.

ten behoeve van de landbouw, was er zelfs sprake van een behoorlijke bodemdaling door inklinking. De verlaging van het gebied werd verder bevorderd door het op grote schaal steken van turf, ten behoeve van zoutwinning (moertering). Voornamelijk door deze kunstmatige oorzaak kwamen de polders lager te liggen ten opzichte van het zeeniveau,

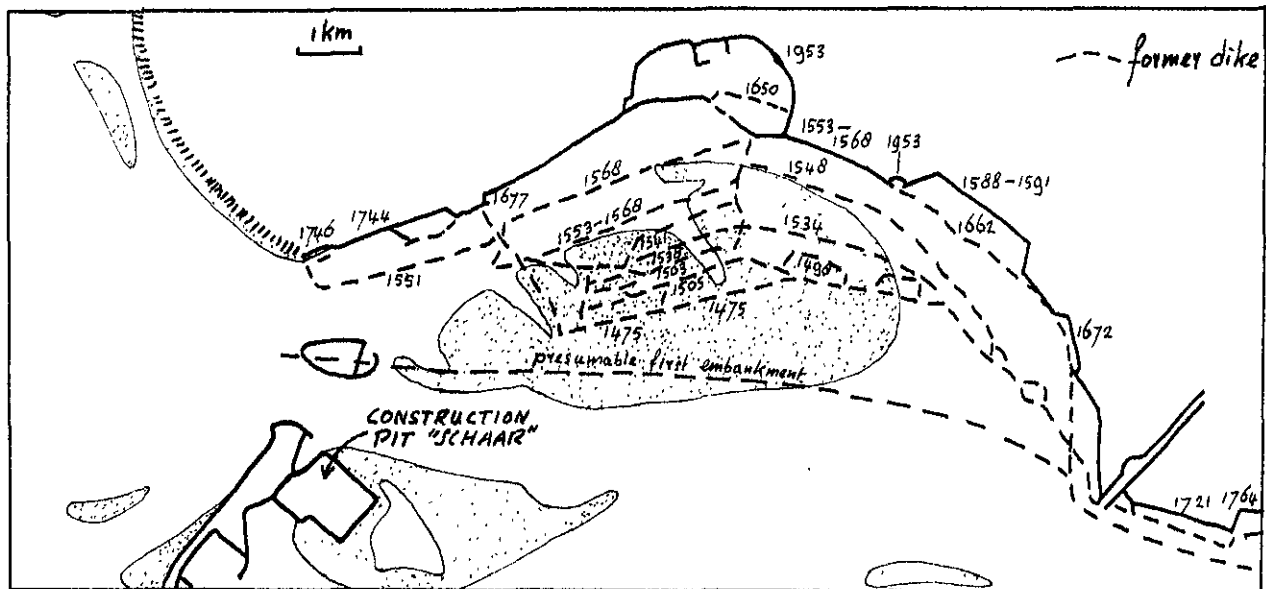


Fig. 3.2.2.: De teruggang van de zuidoever van Schouwen.

Gegevens ontleend aan Wilderom, 1964.

waardoor het steeds moeilijker werd na een stormvloed het binnengedrongen water weer buiten te sluiten. Er moest dan ook steeds meer gebied worden prijsgegeven aan de zee.

Zo ontstaat na een stormvloed in 1174 het Sloe en ondergaat de Westerschelde, die daarvoor een onbetekenende zeearm was, een belangrijke verruiming. De Westerschelde neemt daarna verder in betekenis toe.

Er vormt zich een oostelijke verbinding met de Schelde-rivier en met het ontstaan van de Braakman in 1375 een uitbreiding naar het zuiden (Gottschalk, 1971).

Geleidelijk ontwikkelt de Westerschelde zich nu tot de belangrijkste rivierarm van de Schelde en met de afdamming van het Kreekrak in 1867 en het Sloe in 1871 verliest de Oosterschelde haar estuariene connectie met de Schelde-rivier.

Zeer grote overstromingen deden zich in Zeeland voor bij de stormramp van 1530, de zogenaamde "St. Felixvloed". Noord-Beveland en St. Philipsland gingen voor tientallen jaren verloren; het land van Reimerswaal zelfs voorgoed.

Ten gevolge van dit landverlies, wat mogelijk werd doordat als gevolg van menselijk handelen oorspronkelijk hoog gelegen gebieden aanmerkelijk lager kwamen te liggen, moet het getijvolume van de Oosterschelde met honderden miljoenen m³ zijn toegenomen. Als reactie hierop onderging de westelijke Oosterschelde een geleidelijk proces van verruiming dat tot in het 19e eeuw voortduurde. Bij de ontwikkeling van Noord-Beveland na de stormramp van 1530 zien we dat hierdoor twee tegengestelde processen optreden (fig. 3.2.3).

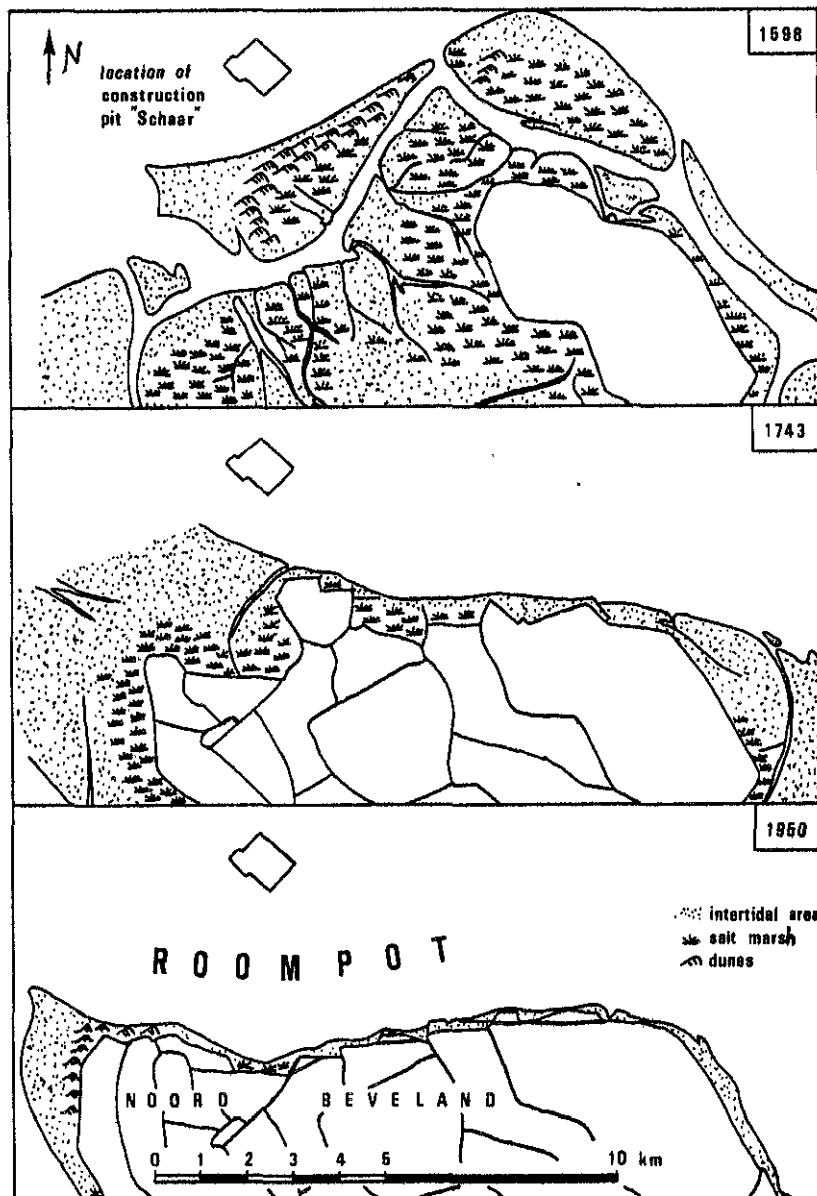


Fig. 3.2.3: De ontwikkelingen van Noord-Beveland sedert de 16^e eeuw. Gegevens ontleend aan Bruin et al., 1961.

Enerzijds een geleidelijke herinpoldering, mogelijk geworden door geleidelijk op- en aanwas van schorren en anderzijds landverlies door het naar het zuiden opdringen van de Roompot (Gottschalk, 1971). Het is opmerkelijk dat het begin van dit landverlies in de 17e eeuw samenvalt met een stabilisatie van de situatie langs de Schouwse oever. Dit zou erop kunnen wijzen dat in die tijd de Roompot sterk in betekenis toenam en daarbij een gedeelte van de afvoer door de Hammen overnam (Berg, van den, 1980).

Tot het begin van de 18e eeuw was het Zijpe van weinig betekenis voor de getij-beweging in de Oosterschelde. Tezamen met Tholen vormde dit gebied een landschap van schorren, slikken en ondiepe geulen. In 1575, tijdens de 80-Jarige Oorlog presteerden de Spanjaarden onder leiding van Mondragon het nog om met 1500 man wadend het Zijpe over te steken en daarbij de leeftocht, en wat belangrijker was, het buskruit droog te houden (Bruin et al., 1961).

Na het begin van de 19e eeuw begon een proces van verdieping in het Zijpe, waardoor reeds in het midden van die eeuw de oeverwerken langs de westflank van het Zijpe bedreigd werden. Deze uitschuring van het Zijpe moet het gevolg zijn geweest van veranderingen die zich voordeden in het getijverloop in de Oosterschelde en de Grevelingen en die tot een toename van de wateruitwisseling tussen beide bekkens via het Zijpe hebben geleid. In dit verband kan gewezen worden op de invloed van de geleidelijke verruiming van de Oosterschelde (toename van de getij-amplitude en het faseverschil met het getij in de Grevelingen) en veranderingen in het getij op het traject Volkerak-Hammen-Grevelingen samenhangend met de geleidelijke inpoldering van Flakkee en de sluiting van de Hals tussen Goeree en Overflakkee (voltooid in 1751).

In de afgelopen eeuw is de morfologische ontwikkeling in het Oosterscheldebekken in toenemende mate kunstmatig opgelegd. Door baggerwerkzaamheden op de benedenrivieren (doorgraving Amer-Bergsche Maas in 1904, verruiming Nieuwe Merwede 1920-1930) en normalisaties op het rivierentraject Hellegat-Krammer (o.a. aanleg leidam in het Hellegat, 1931) nam de getijbeweging hier sterk toe evenals de afvoeren door het Zijpe. Met de afdamming van de zuidelijk Grevelingen in 1962 en de uiteindelijke afsluiting van het noordelijke gedeelte in december 1964 kwam een einde aan de complexe uitwisseling van getijwater tussen het Zijpe en de Grevelingen. Voornamelijk als gevolg van een sterke toe-

name van de afvoeren bij eb nam het getijvolume in het Zijpe met bijna 40% toe (Berg, van den, 1981).

In tegenstelling tot de afsluiting van de Grevelingen leidde de afdamming van het Volkerak in 1969 tot een belangrijke toename van het vertikaal getij in de noordelijke tak van de Oosterschelde en in veel mindere mate in het overige deel van het bekken. Doordat het Hellegat als kombergingsgebied verloren ging, leidde de toename in het vertikaal getij bij Bruinisse in het Zijpe nog niet tot een toename van de totale eb- en vloeddebieten. Wél trad er een belangrijke wijziging op in het verloop.

Het maximum ebdebiet nam volgens natuurmetingen in het Zijpe toe met ongeveer 12% en in de mond van het Keeten met ongeveer 30% (Schaap, 1974).

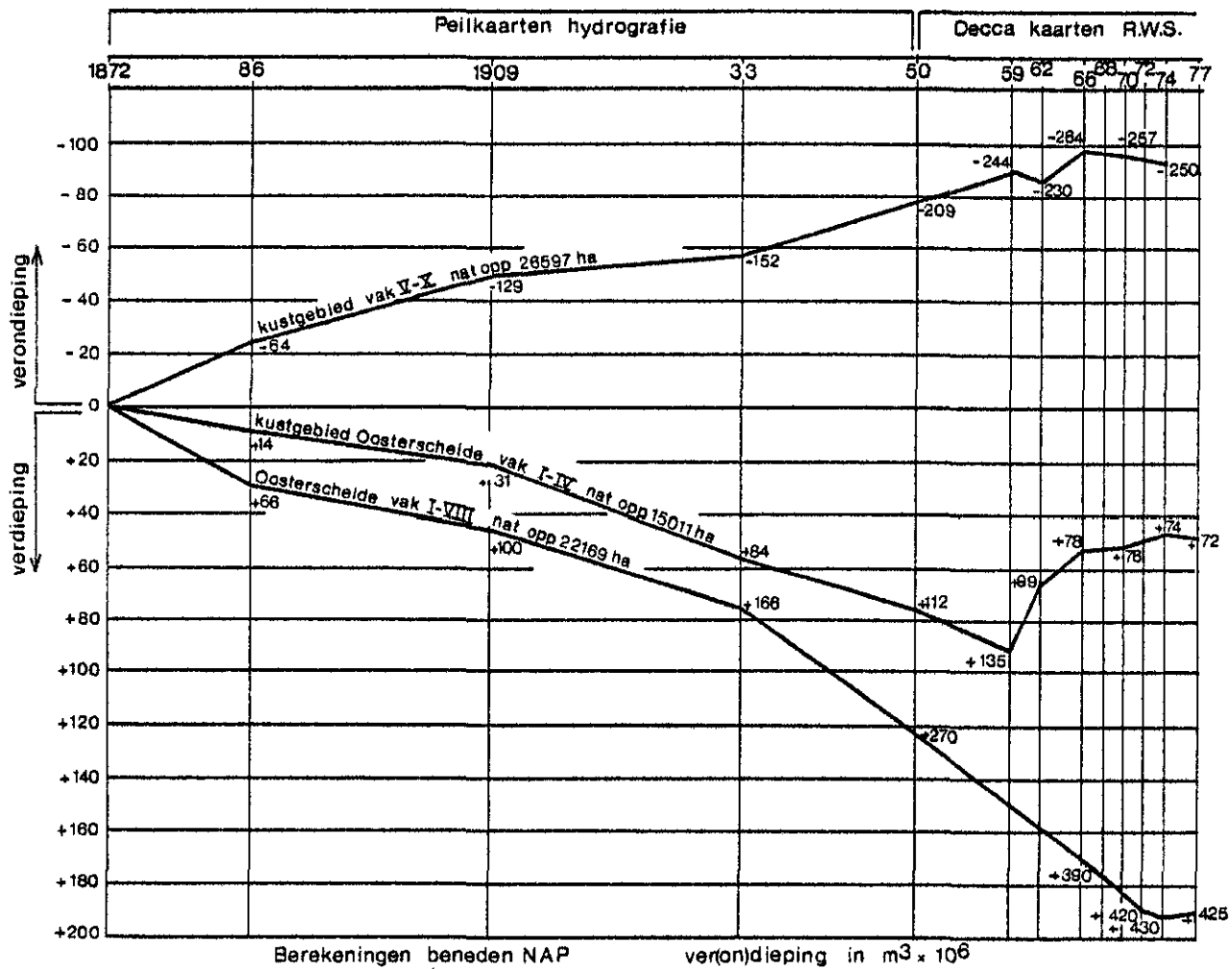
Volgens het één-dimensionale mathematische model IMPLIC bedroeg de toename van het maximum ebdebiet in het mondingsgebied nog 12%, terwijl de grootte van het maximum vloeddebiet daar vrijwel geen wijziging onderging (Anonymus, 1975).

Uit peilschaalwaarnemingen blijkt dat de getijamplitude langs de Nederlandse kust in de afgelopen 100 jaar met 4% is toegenomen (De Ronde, 1983). Uit simultane lange duur metingen met schoepstroommeters (Flachsee) in de monding van de Oosterschelde is komen vast te staan, dat een dergelijke toename van het verticale getij tot een vrijwel even grote toename van het getijvolume in de Oosterschelde leidt.

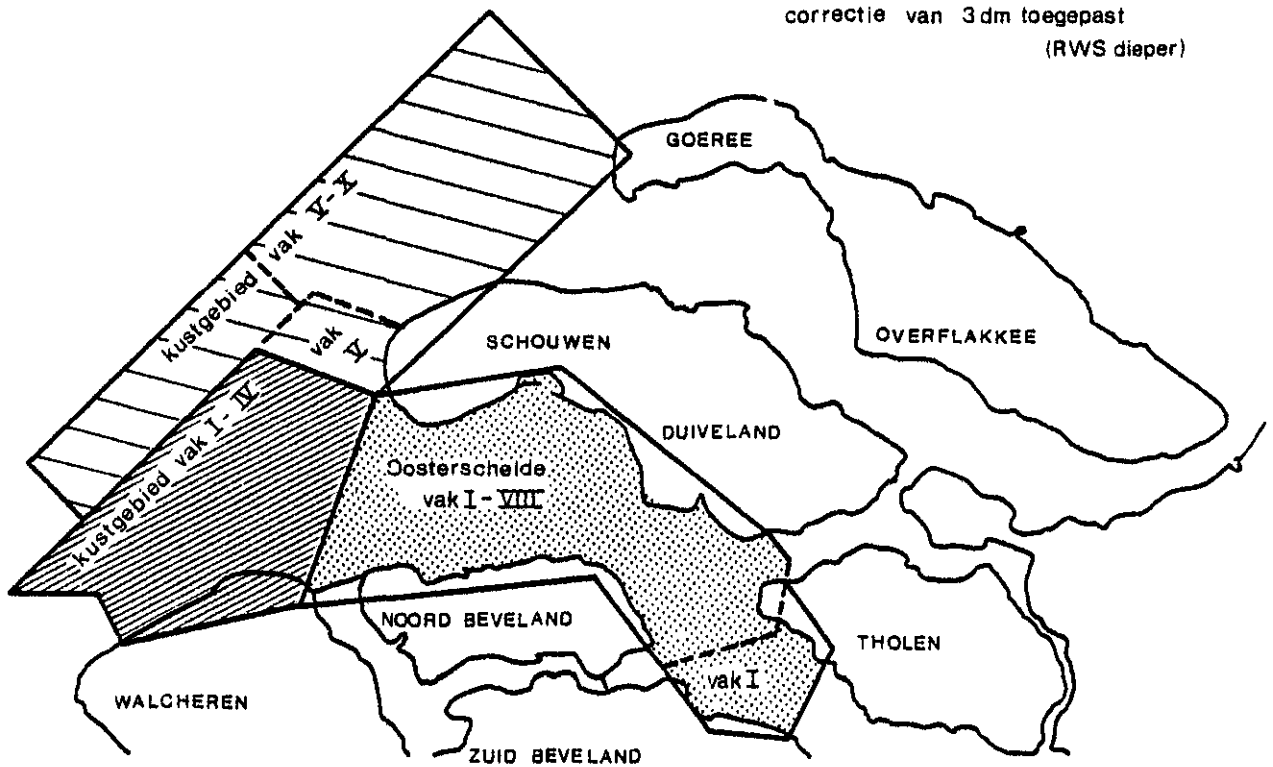
Als gevolg van voornoemde vergrotingen van het getijvolume en de veranderingen in het debietverloop namen de stroomsnelheden in het traject Krammer-Zijpe-Keeten-mondingsgebied toe.

Als reactie hierop vond verruiming plaats van de doorstroomprofielen van de geulen in dit gebied. Deze profielvergroting kon door de verbeterde oeververdediging niet of nauwelijks in horizontale richting plaatsvinden - wat voorheen het geval was - en kwam daardoor tot uiting in een verdieping van het bekken.

Deze ontwikkeling werd nog bevorderd door zandwinning, met name in de zuidelijke tak van de Oosterschelde (zie § 5.1) en leidde uiteindelijk tot een verdieping van het Oosterscheldebekken ten opzichte van de situatie in 1872 met circa 1,2 meter, in het westelijke gedeelte van de Oosterschelde zelfs met circa 1,9 meter (fig. 3.2.4).



Toelichting: Bij de overgang van peilmethode van hydrografie naar decca kaarten RWS in de periode 1950-59 is een gemiddelde correctie van 3 dm toegepast (RWS diaper)



Schaal 1 : 300 000

Toelichting: Gebied Oosterschelde (vak I-VIII)
kustgebied voor de mond van de Oosterschelde (vak I-IV)

Fig. 3.2.4: Inhouds- en diepte- veranderingen van de monding van de Oosterschelde in de periode 1827-1977

Op grond van de toename van het doorstroomvermogen ($\int_0^b h^{1,5} dy$), waarin b = geulbreedte en h = geuldiepte) en eerdergenoemde IMPLIC som wordt de toename van het getijvolume in de monding van de Oosterschelde tussen 1872 en 1974 geschat op 25%, waarvan circa 9% voor rekening van de sluiting van het Volkerak (Haring et al., 1976) en 3% als gevolg van de natuurlijke toename van de getijamplitude langs de kust. Nadat als reactie op de toename van het getijvolume in de loop van de 17e eeuw de Roompot zich als tweede hoofdgeul in de westelijke Oosterschelde, naast de Hammen, ontplooit, ziet men, volgend op een verdere toename, in de afgelopen eeuw een derde hoofdgeul ontstaan: de Schaar van Roggenplaat.

Deze ontwikkeling is goed gedocumenteerd doordat vanaf het begin van de 19e eeuw het gebied regelmatig werd gepeild door de Hydrografische Dienst. Op basis van de minuutgegevens van deze kaarten is een serie van tien situaties uit de periode 1827-1978 gepresenteerd in figuur 3.2.5.

Omstreeks 1850 maakte de Schaar van Roggenplaat nog deel uit van een systeem van eb- en vloedscharen in het platencomplex Roggenplaat-Neeltje Jans-Noordland dat in stand werd gehouden door dwarsverhangen tussen de Hammen in het noorden en de Roompot in het zuiden. Met vloed was de stroming over de platen van de Hammen naar de Roompot, met eb vond een uitwisseling in omgekeerde richting plaats.

De toename van de afvoeren in de monding had tot gevolg dat de functie van de Schaar als vereveningsstroom geleidelijk overging in die van een doorvoergeul. Daarmee samenhangend draaide de geul zich geleidelijk in een zin tegengesteld aan die van de wijzers van een klok en nam daarbij sterk in betekenis toe.

Door de toename van de getijdebieten in het mondingsgebied van de Oosterschelde hebben de ebscharen in de voordelta zich in zeevaartse richting uitgebreid, waarbij een gedeelte in het uit de Oosterschelde geërodeerde materiaal langs de flanken van deze geulen en langs de buitenrand van de voordelta tot afzetting kwam (zie ook figuur 3.2.4). De in figuur 3.2.4 weergegeven inhoudsveranderingen zijn berekend aan de hand van het beneden N.A.P. gelegen oppervlak van een groot aantal dwarsprofielen van de Oosterschelde, waarbij ieder dwarsprofiel repre-

sentatief werd gesteld voor een strook ter weerszijden van het profiel met een totale breedte van circa 500 meter. Door de grote afstand tussen de profielen is deze berekeningsmethode niet erg nauwkeurig. Op het ogenblik wordt gewerkt aan het opzetten van een bestand waarin de gegevens van geïnterpoleerde waarden van kruispunten van een vierkante net van 200 x 200 meter van de Oosterschelde, situatie 1960, 1963, 1970, 1975, 1980 en 1983 zijn opgeslagen. Hiermee zullen de inhoudsveranderingen met een grotere mate van nauwkeurigheid kunnen worden bepaald en kan ook beter worden vastgesteld aan welke wijzigingen de hypsometrie van het bekken of van delen daarvan onderhevig is.

Met uitzondering van 1983 zijn van bovenstaande situaties wel inhoudsberekeningen uitgevoerd van de voordelta. Daaruit blijkt dat in de periode 1960-1980 circa 90.10^6 m^3 sediment in de voordelta tot afzetting is gekomen, waarvan circa 50% tussen 1975 en 1980.

In de periode 1960-1974 bedraagt de netto erosie van de Oosterschelde volgens de "profielenmethode" circa 60.10^6 m^3 . Dit komt overeen met de hoeveelheid die volgens de berekeningen in die periode in de voordelta zijn afgezet.

Ongeveer de helft daarvan is blijkbaar in de voordelta tot afzetting gekomen.

Tussen 1974 en 1977 zou er volgens de berekeningen met de profielen geen netto erosie meer hebben plaatsgevonden in de Westelijke Oosterschelde. Juist dan wordt er echter een sterke toename van de aanzanding in de voordelta gevonden, die gepaard gaat met een verdere zee-waartse uitbreiding van de ebscharen en de rand van de delta. Hieruit moet worden geconcludeerd, dat de Oosterschelde na 1975 toch verder erodeert. Niet alleen de nauwkeurigheid van de berekeningen geeft reden om meer vertrouwen te hebben in de inhoudsberekeningen van de voordelta dan die van het bekken: de sluiting van het Volkerak viel samen met het minimum van een 18.6 jaar durende cyclus in het astronomisch getij (culminatie van de maan). Tijdens dit minimum is het vertikaal getij ongeveer 3% lager dan tijdens het maximum.

Aangezien het getijvolume van de Oosterschelde in gelijke mate varieert, moet dit omstreeks 1978 ongeveer 3% groter zijn geweest als vlak na de sluiting van het Volkerak en ca. 11% groter vergeleken met de situatie vlak vóór de sluiting. Er is dus alle reden voor een voortgaande erosie van het bekken en aanzanding van de Voordelta.

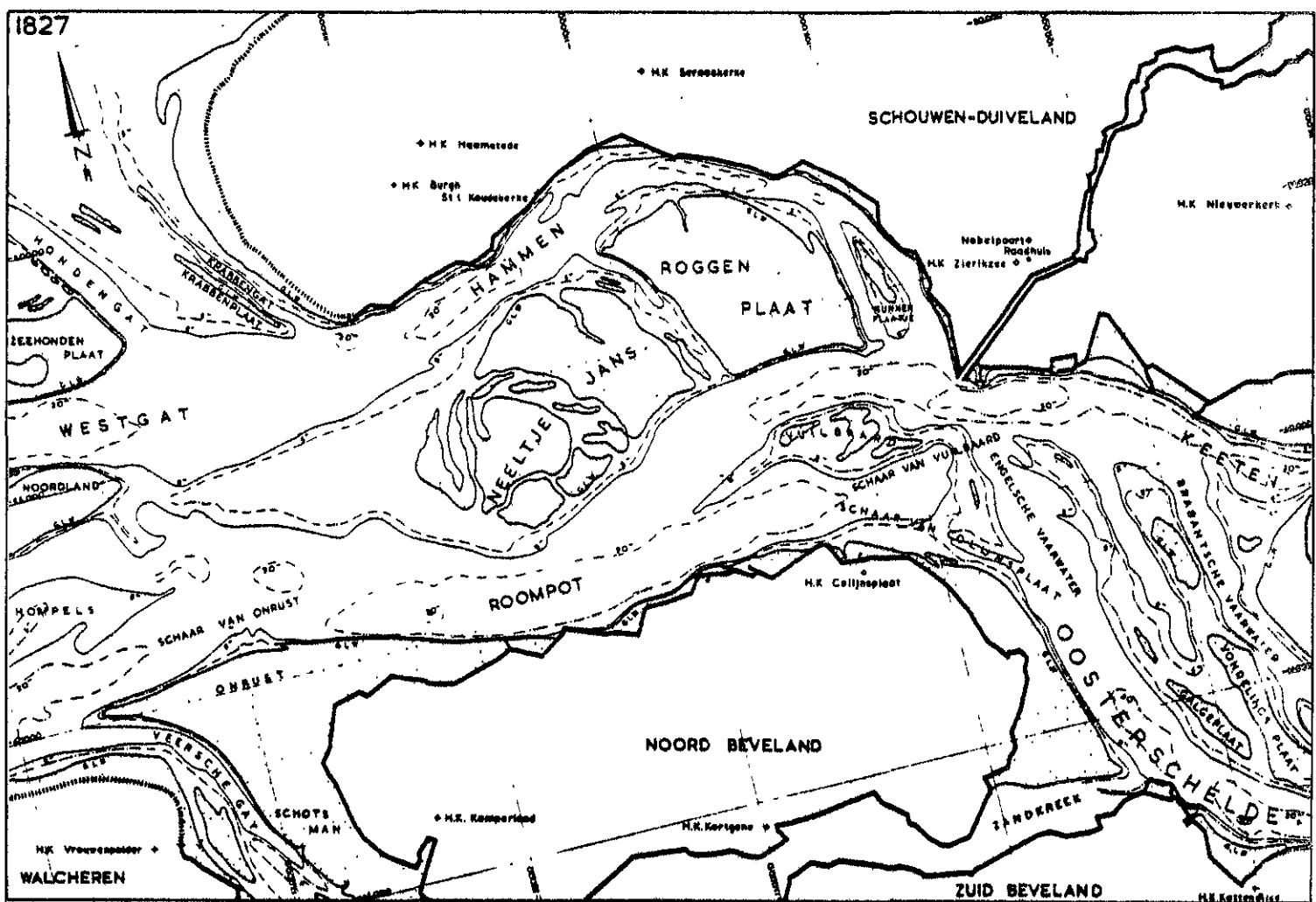


Fig. 3.2.5a : Situatie monding Oosterschelde in 1827

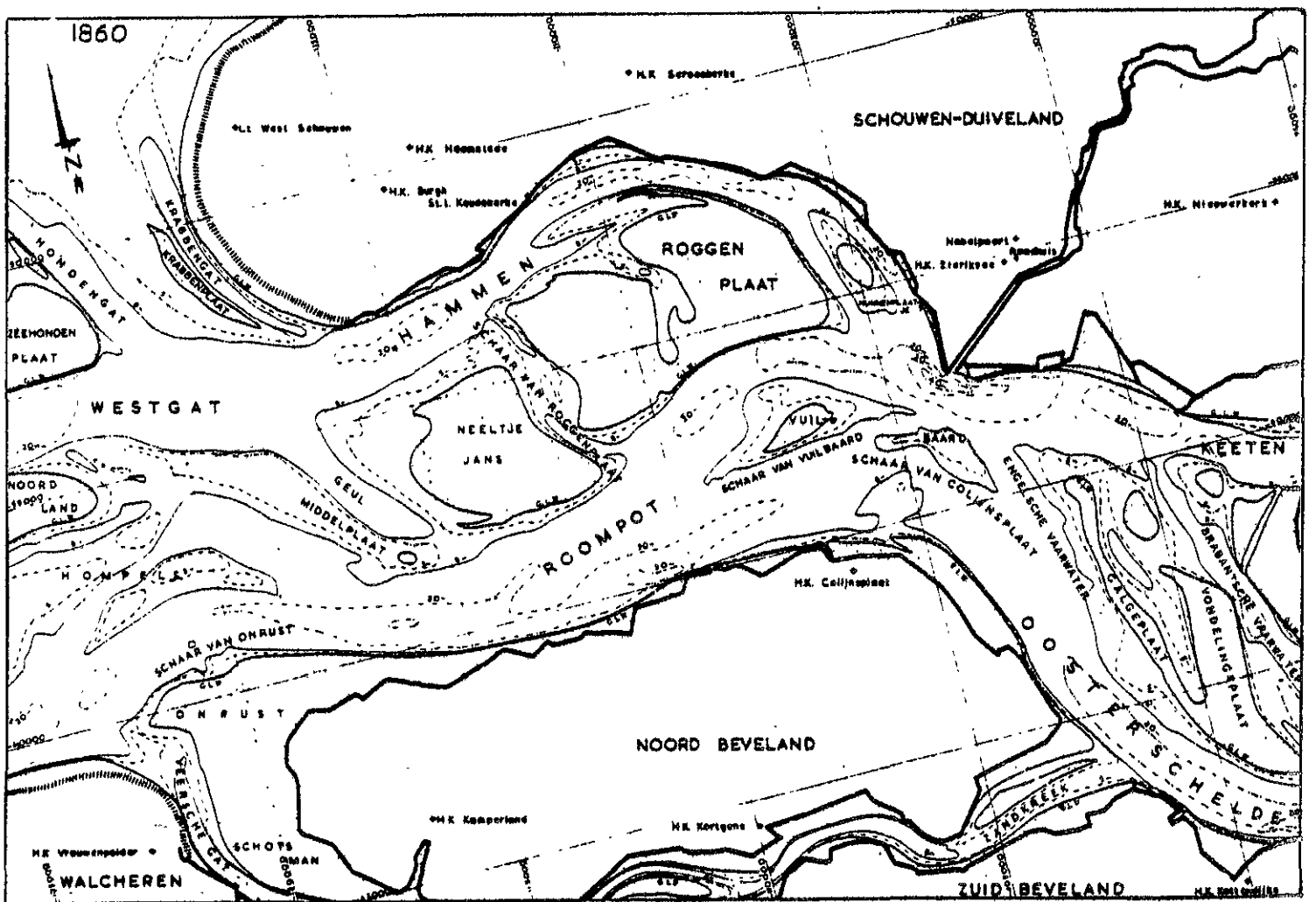


Fig. 3.2.5b : Situatie monding Oosterschelde in 1860

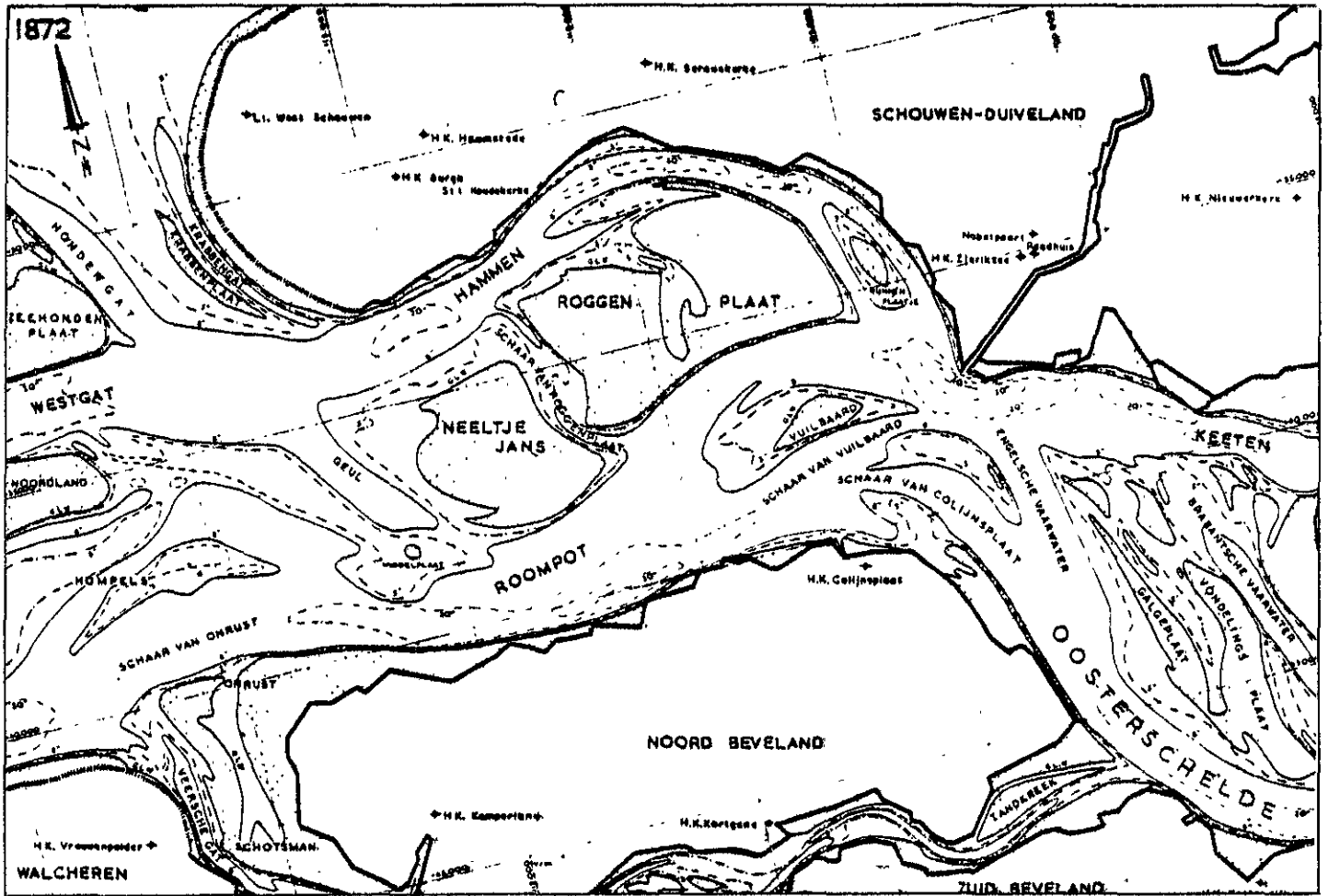


Fig. 3.2.5c : Situatie monding Oosterschelde in 1872

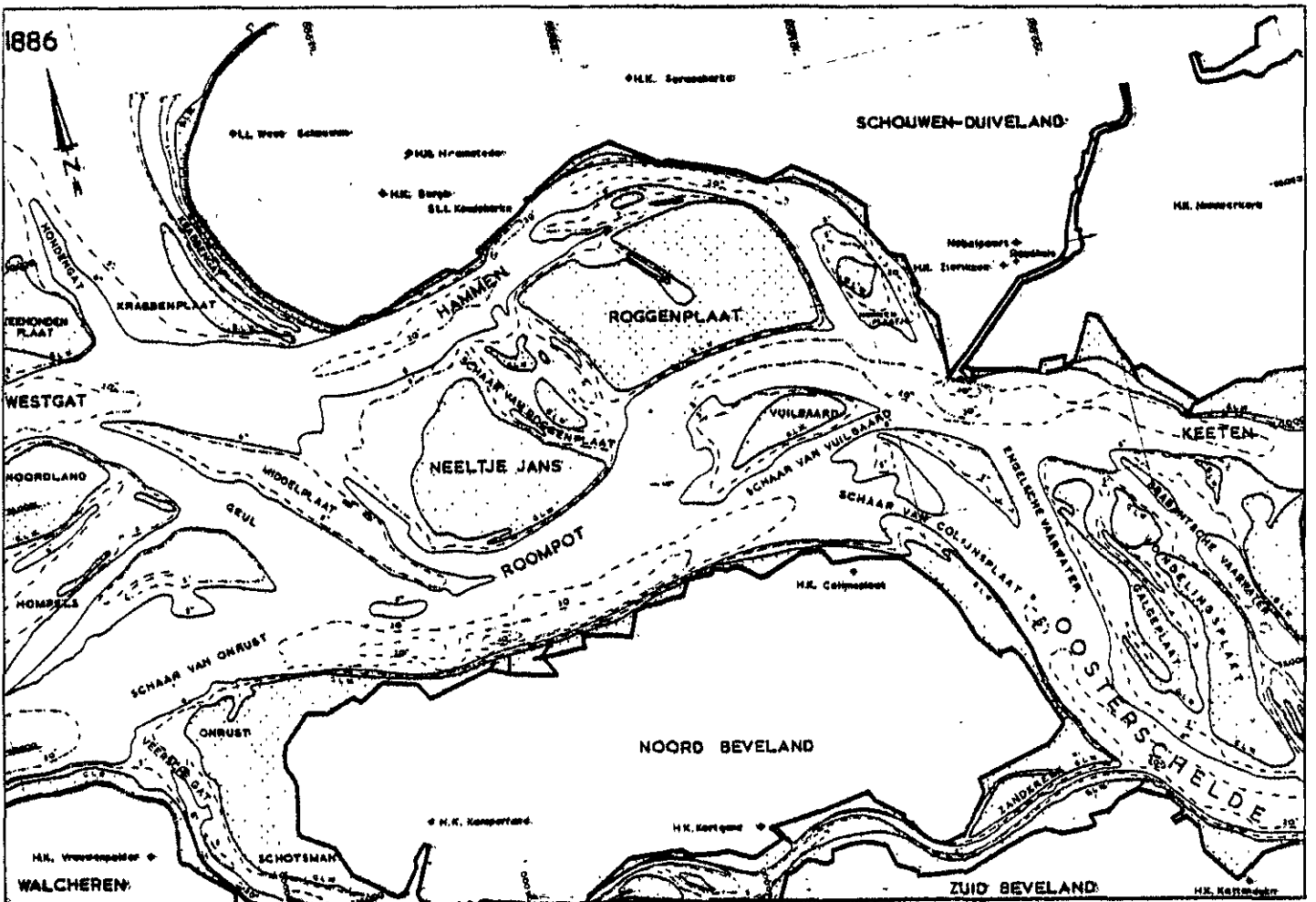


Fig. 3.2.5d.: Situatie monding Oosterschelde in 1886

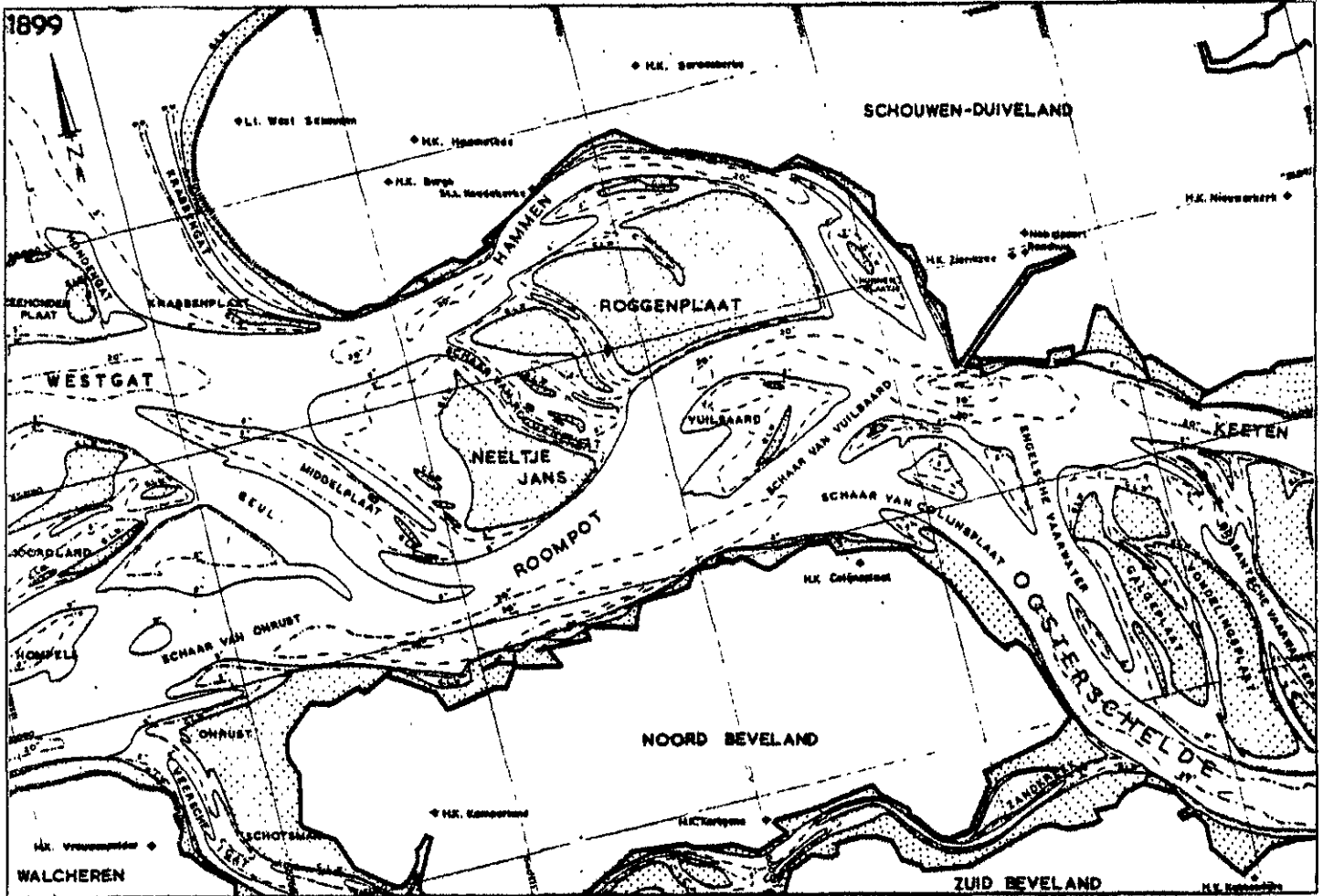


Fig. 3.2.5e: Situatie monding Oosterschelde in 1899

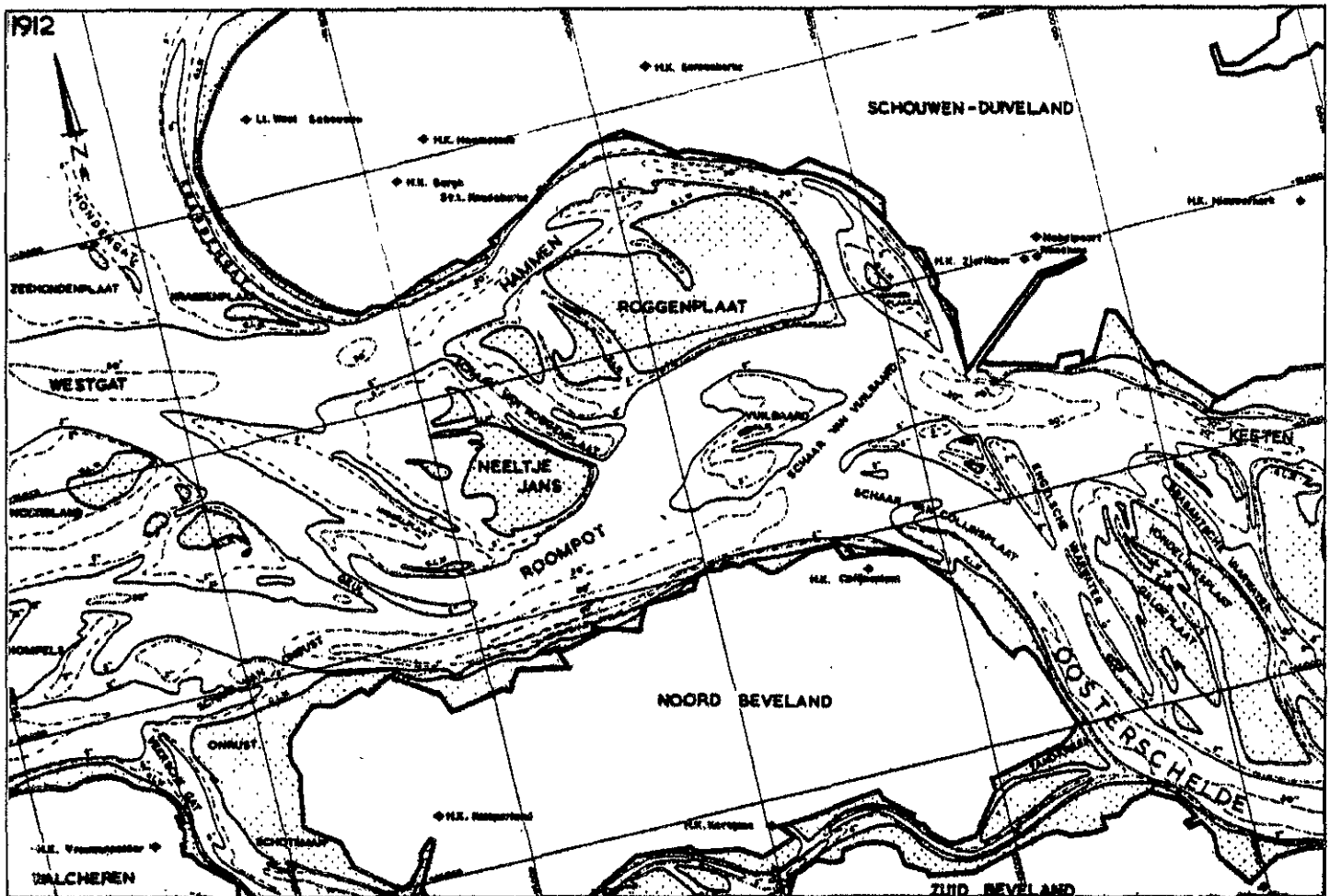


Fig. 3.2.5f: Situatie monding Oosterschelde in 1912.

Fig. 3.2.5h : Situatie monding Oosterschelde in 1963

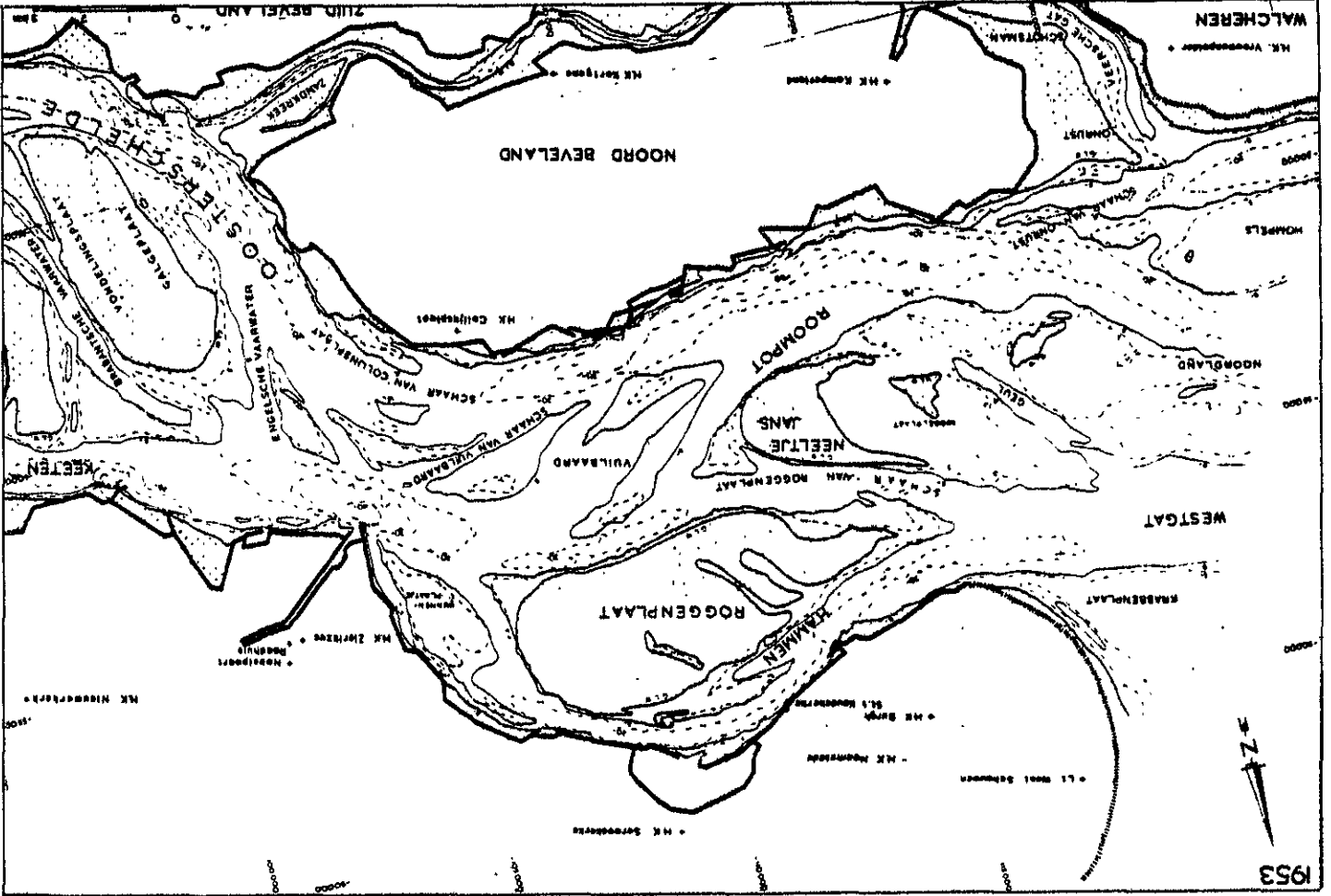
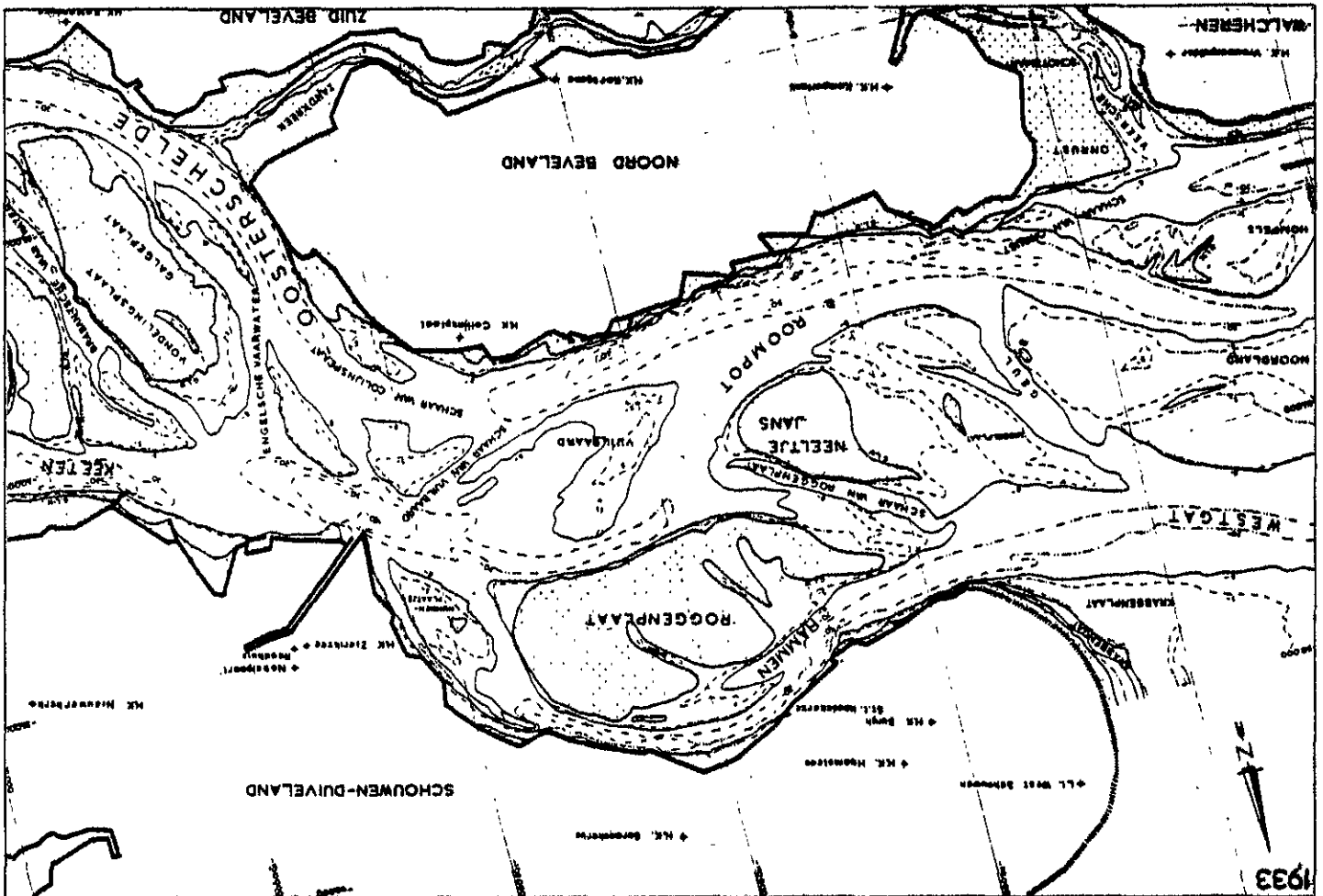


Fig. 3.2.5g : Situatie monding Oosterschelde in 1933



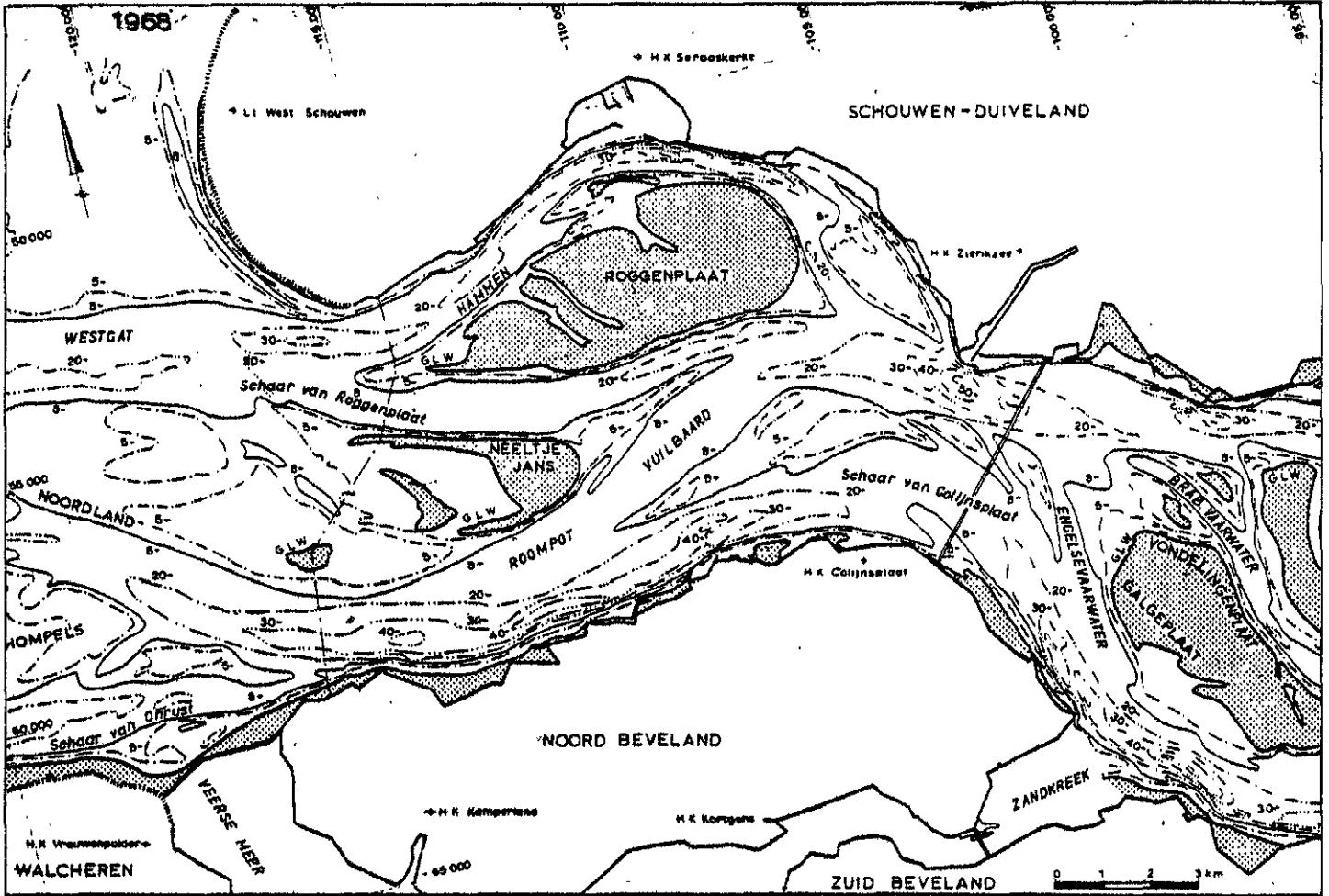


Fig. 3.2.5i: Situatie monding Oosterschelde in 1968

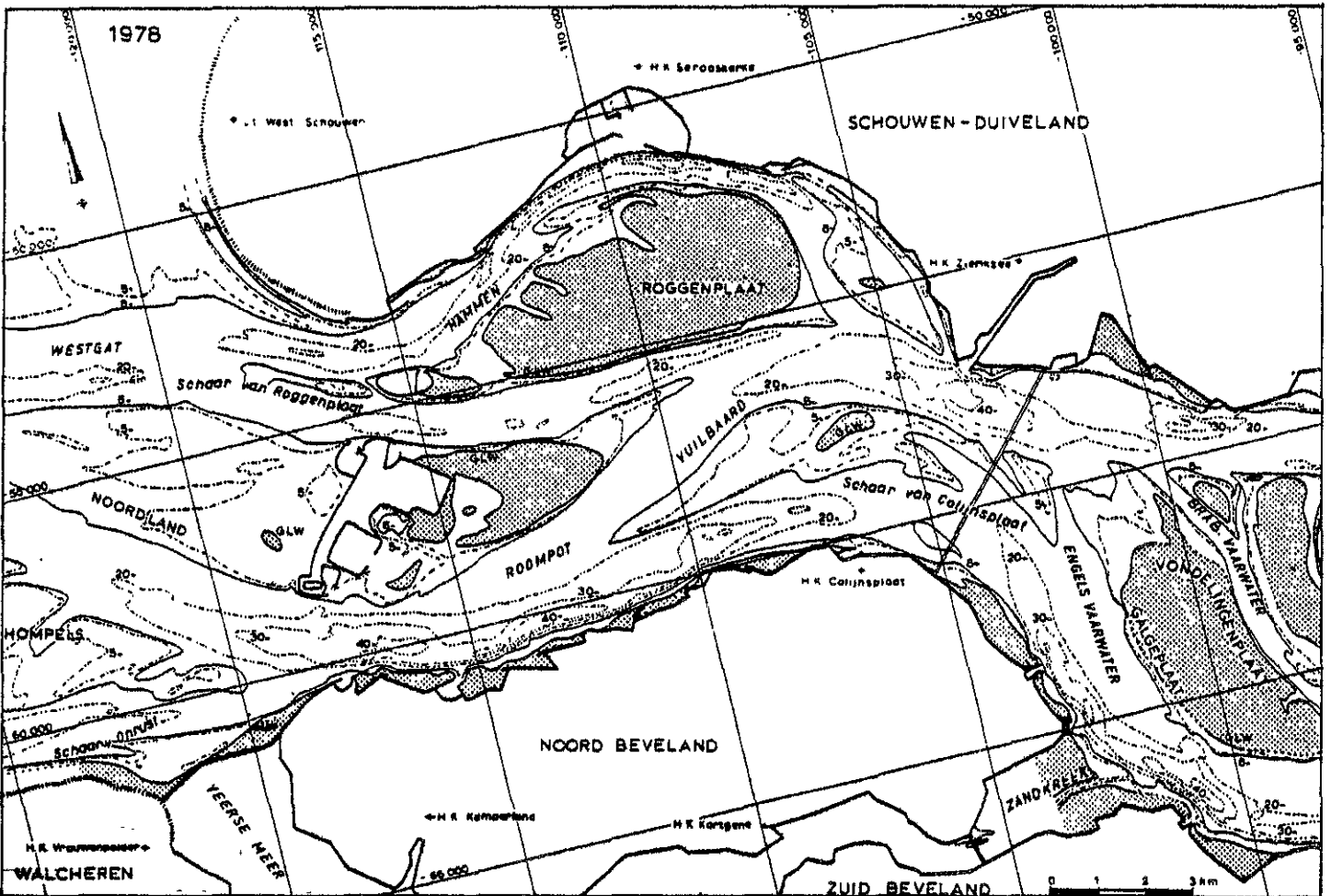


Fig. 3.2.5j: Situatie monding Oosterschelde in 1978

3.3. Bodemsamenstelling

Een compilatie van de sedimentsamenstelling van de bodem van de Oosterschelde (Elgershuizen et al., 1982) heeft geresulteerd in drie globale verpreidingskaarten:

1. een mediane korrelgroottekaart (fig. 3.3.1).
2. een slibgehaltekaart (fig. 3.3.2).
3. een organisch koolstofgehaltekaart (fig. 3.3.3).

Deze compilatie is gebaseerd op rapporten en nota's die de laatste 20 jaren zijn verschenen. Gezien het globale karakter van de genoemde kaarten kunnen alleen globale interpretaties worden gepleegd.

In het Oosterscheldebekken varieert de mediane korrelgrootte ($M\phi$) van 3,2 - 1,8 overeenkomend met 110 μm , resp. 285 μm (fig. 3.3.1).

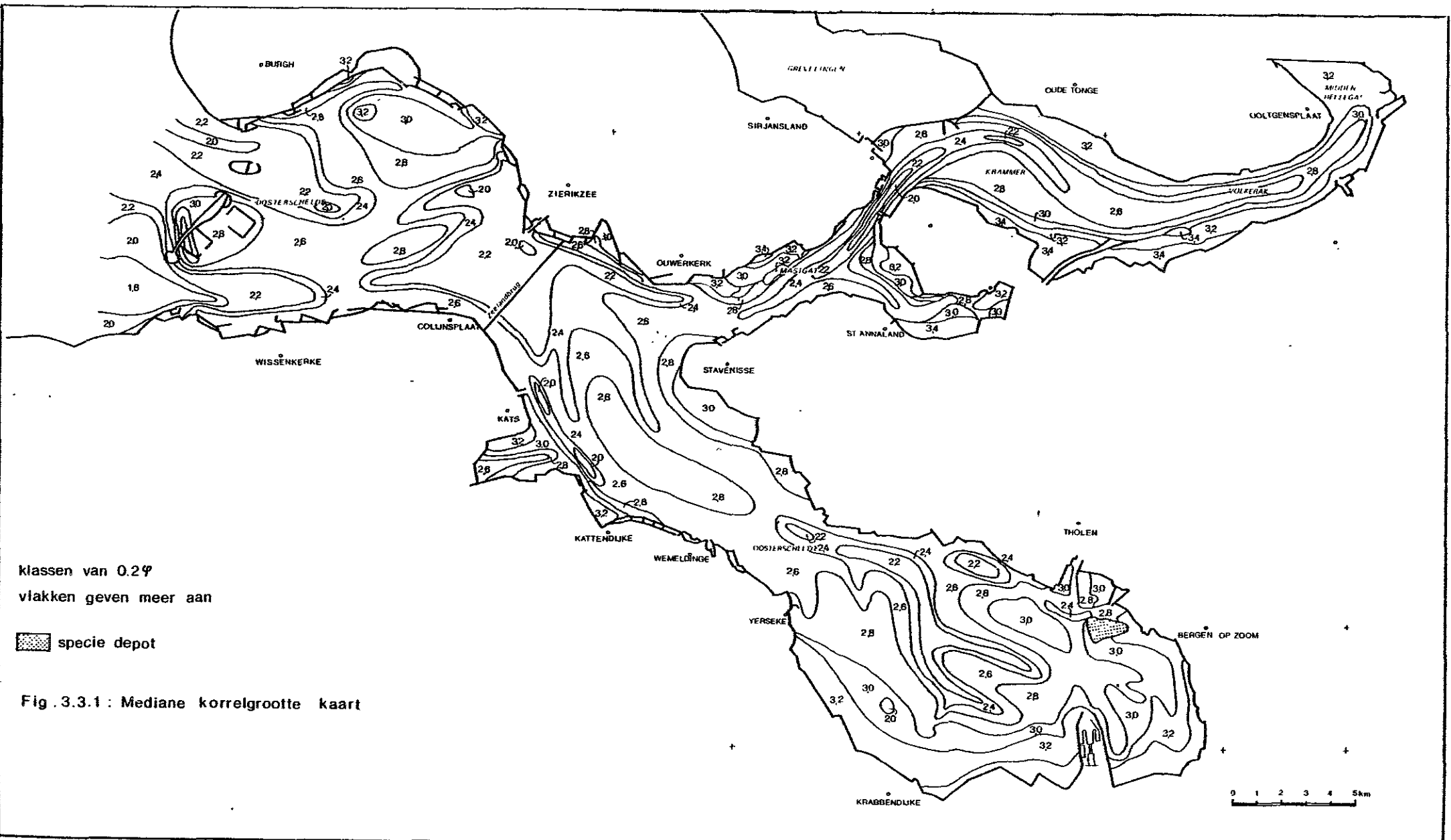
De mediane korrelgrootteverspreiding kenmerkt zich heel duidelijk door de afwezigheid van een algemene gradiënt in de lengterichting van het bekken. De grootste $M\phi$ -waarden (3,0-3,2) komen zowel in het westen als in het oosten voor. Met betrekking tot het voorkomen van fijn sediment bestaat er echter wel een verschil in areaalgrootte nl.:

in het westen ca. 10 km^2 gebied met $M\phi \geq 3,0$ terwijl in het oosten ca. 45 km^2 bedekt is met sediment dat een $M\phi \geq 3,0$ bezit.

De twee redenen voor de afwezigheid van een algemene west-oost-gradiënt (grof-fijn) zijn:

- lokale beïnvloeding van dagzomende Duinkerken III zandige kleilagen (Geomor nota 83.02 - bijlage 4a en b). Dit is met name het geval op en nabij de Roggenplaat alwaar deze zandige kleilaag een dikte heeft van tenminste 10 m.
- de duidelijk aanwezige (lokale) laterale gradiënten: in de geul grof sediment naar de ondiepere delen plaat en slik treedt er duidelijk een verfijning van het sediment op.

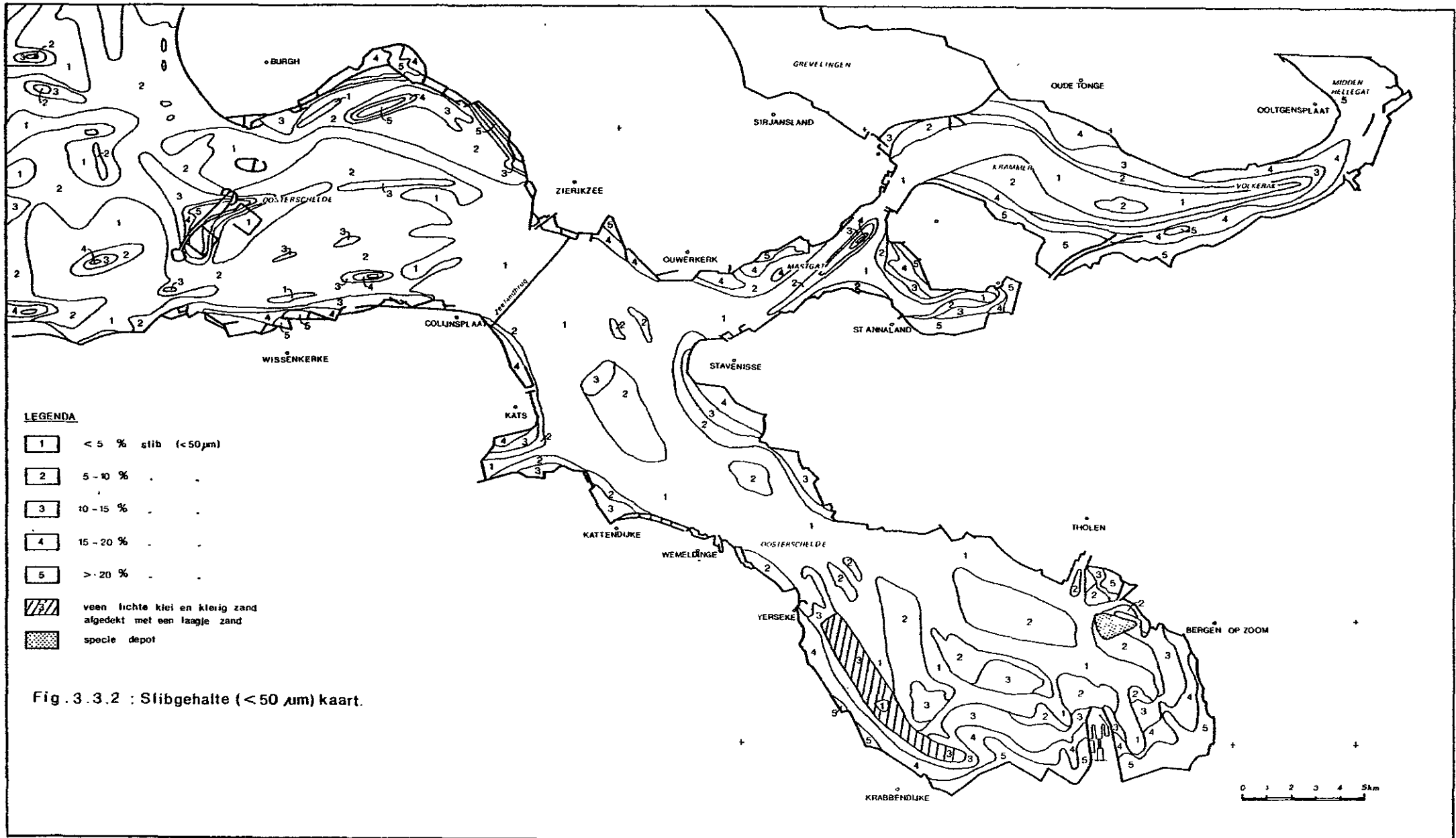
Deze laterale gradiënt is het duidelijkst zichtbaar in de Kom van de Oosterschelde (fig. 3.3.1) in de geulen sediment met $M\phi = 2,2$ terwijl de slik- en schorgebieden worden gekenmerkt door $M\phi = 3,0 - 3,2$.

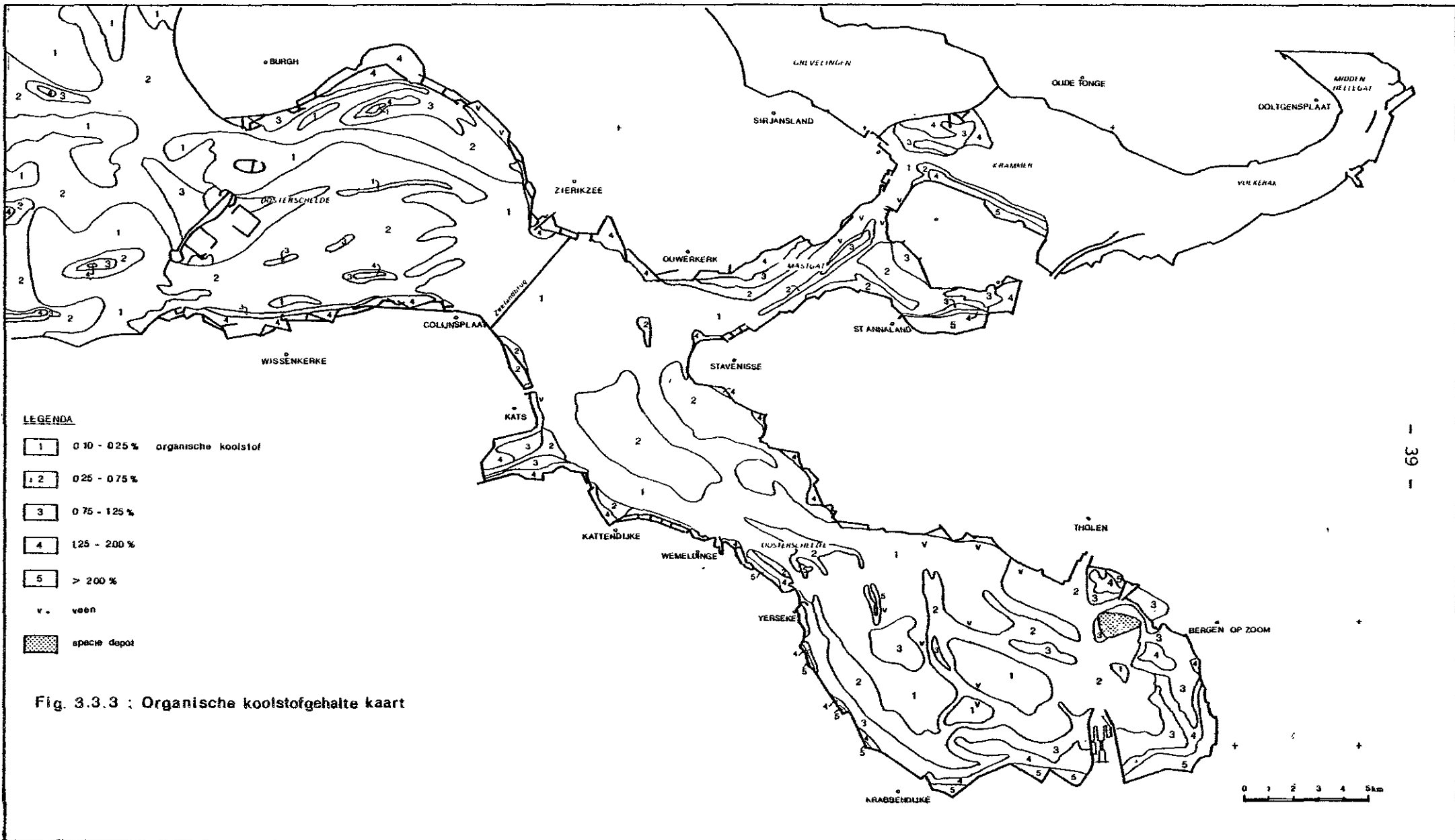


klassen van 0.2 ϕ
vlakken geven meer aan

 specie depot

Fig. 3.3.1: Mediane korrelgrootte kaart





Het slibgehalte (<50 µm) van de Oosterscheldebodan varieert tussen de 35% en 3% (fig. 3.3.2). Het grootste deel van de Oosterscheldebodan is bedekt met sediment waarvan het slibgehalte <10% bedraagt.

Het westelijk gebied wordt gekenmerkt door het vnl. voorkomen van sediment met 5-10% slib, het middengebied bevat minder slib, terwijl het Komgebied een duidelijke geleidelijke toename van het slibgehalte naar de dijken toe te zien geeft.

Het voorkomen van gebieden met hoger slibgehalten in het westelijk deel staat in verband met de hierbovengenoemde dagzomende zandige kleilagen.

Het plaatselijk voorkomen van relatief hoge slibgehalten op de Galgeplaat en Roggenplaat wordt veroorzaakt door de aanrijking van slib door faecesproduktie van schelpdieren, voornamelijk van halfwas en zaadmosselen.

In het Oosterscheldegebied varieert het organisch C-gehalte van het bodensediment tussen de 0,1 en de 5% (fig. 3.3.3). In de grote geulen is het gehalte veelal lager dan 0,25% uitgezonderd in een paar diepe gaten, bijvoorbeeld ter hoogte van Colijnsplaat. Het centrale deel van de Oosterschelde blijkt gemiddeld een lager organisch C-gehalte te hebben dan het westelijk deel, ca. 0,15 tot 0,25% tegenover 0,25 - 0,40%. Het Komgedeelte vertoont een duidelijke zonering met de hoogste gehalten nabij de schorren (veelal 2-5%). Verder worden alleen hogere gehalten, d.w.z. groter dan 2% gevonden in ondiepe gebieden die relatief weinig geëxponeerd zijn of waar een duidelijke sedimentatie overheerst, als bijvoorbeeld in de Kom nabij Rattekaai of in het Markiezaat.

In het algemeen wordt in de bodem van estuaria een relatie gevonden tussen het lutumgehalte en het organische stofgehalte. Ook in het Oosterscheldegebied blijkt dit het geval te zijn, (DDMI-82.259). Derhalve stemt de organisch koolstofkaart grotendeels overeen met de slibgehaltekaart.

De dagzomende Hollandveen lagen (Geomor nota-83.02, bijlage 4), die zijn weergegeven in fig. 3.3.3, zorgden voor een lokale verhoging van het organisch stofgehalte.

3.4. Geomorfologie (Intergetijdgebieden)

De morfologische eenheden die in de Oosterschelde zijn te onderscheiden, zijn de platen/slikken, de schorren en de diepere getijdgeulen. De schorren zijn het hoogst in het getijdemilieu gelegen morfologische eenheden, die begroeid zijn en een kleirijke bodem bezitten. Morfologisch worden zij vooral gekenmerkt door een dicht patroon van krekens, al dan niet geleid door oeverwallen en kommen. Schorren worden vnl. gevonden in het midden en oostelijk deel van de Oosterschelde in rustige inhammen van de zeedijk.

De overgang van de schorren naar de slikken is voor het overgrote deel erosief van karakter in de vorm van een erosief klif. Slechts op zeer weinig plekken "achter" in de kom van de Oosterschelde en "achter" in de Krabbenkreek zien we een geleidelijke overgang van het schor naar het slik.

De totale oppervlakte schorren, slikken en platen bij gemiddeld laagwater bedraagt ca. 12.250 ha waarvan ongeveer 6% bestaat uit schorren en 94% uit slikken en platen.

Voor een verdeling van de oppervlakten over de verschillende (absolute) hoogtezones wordt verwezen naar fig. 3.4.1.

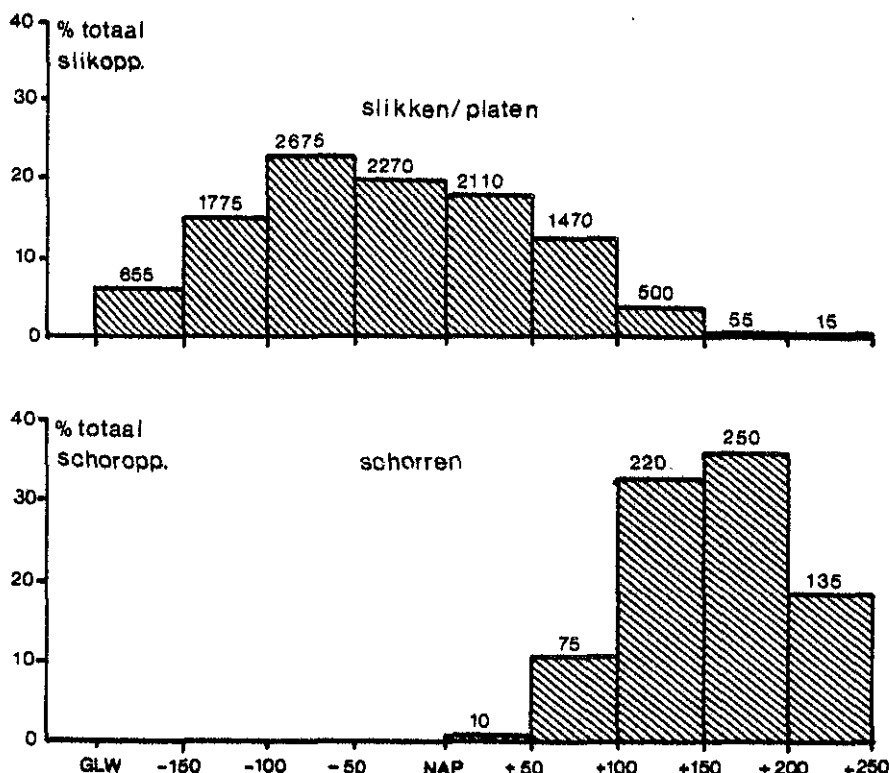


Fig. 3.4.1.: Oppervlakteverdeling in ha en % per hoogtezone van slikken, platen en schorren in de Oosterschelde, westelijk van de toekomstige compartimenteringsdammen (naar gegevens uit 1976).

Onder platen worden verstaan die gebieden, die bij laag water nog geheel omgeven zijn door water, terwijl de slikken gebieden zijn die vastliggen tegen de dijk. Platen bestaan doorgaans uit zand, terwijl slikken soms ook een gering percentage slib bevatten.

Platen worden vooral aangetroffen in het westelijk en middendeel van de Oosterschelde, terwijl slikken voornamelijk in het midden en oostelijk deel van het Oosterscheldegebied liggen (figuur 3.4.2).

Zoals uit het hoofdstuk 3.2. blijkt, zijn de ligging en oppervlakte van platen en slikken niet stabiel.

De morfologische kenmerken op de platen en slikken, ook wel intergetijdegebieden genoemd, wordt vnl. door natuurlijke factoren, als stroming en golven bepaald, maar tevens door menselijke activiteiten, vnl. samenhangend met de schelpdiervisserij, zoals kokkelvisserij en mosselkweek. Daarnaast kunnen biologische activiteiten, zoals b.v. pie- ren, eveneens een typisch micro-reliëf veroorzaken.

De morfologie op de platen kan in de tijd sterk variëren. Dit is afhankelijk van "snel" wisselende omstandigheden zoals storm, dootij- springtij etc. Globaal gezien is er een zekere stabiliteit in de ruim telijke variatie per plaat of slikgebied, blijkbaar samenhangend met gemiddelde omstandigheden over een langer tijdsbestek.

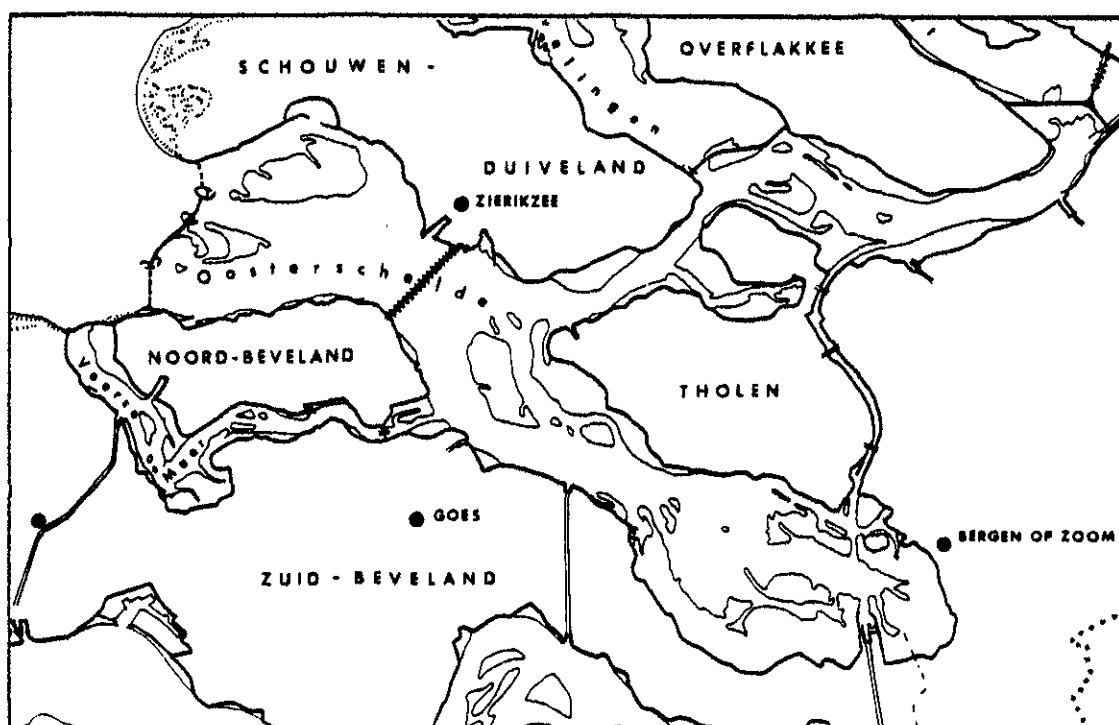


Fig. 3.4.2 Ligging intergetijdegebieden in de Oosterschelde.

Over het algemeen bestaan de centrale delen van zowel de platen als de slikken uit gebieden zonder of hooguit met enig micro-reliëf. Dit micro-reliëf bestaat dan uit kleine stroom- en/of golfribbels met een lengte van <50 cm en een hoogte van enkele centimeters maximaal.

Langs de randen van slikken en platen worden ribbels aangetroffen met grotere lengte en hoogte.

De lengte ligt doorgaans tussen de 50 cm en de 200 cm met een hoogte van enkele decimeters.

Ribbels met een grote lengte tot 15 m of zelden daarboven en een golfhoogte tot max. 50 cm worden slechts in zeer dynamische gebieden aangetroffen. Het meest dynamisch in dit opzicht zijn de slikken in de monding van de Krabbenkreek, de plaatjes ten noorden van Yerseke en de Speelmansplaten in het oosten van de Oosterschelde.

Opmerkelijk is het voorkomen van vaak geïsoleerde ruggen, vaak bestaand uit schelpen en soms uit een mengsel van schelpen en zand.

Dit soort ruggen komt vnl. voor langs de laagwaterlijn en op sommige slikgebieden, m.n. in het westelijk deel.

Opmerkelijk is de afwezigheid van deze geïsoleerde ruggen langs de Slikken van den Dortsman, in de Zandkreek en de Slikken van Zuid-Beveland (onvoldoende golfdynamiek?). Verder komen de geïsoleerde ruggen voor wat betreft de plaatgebieden vnl. voor aan de oost-, zuid- en noordzijde ervan. Het opmerkelijkst zijn de enkele decimeters tot meters hoge schelpruggen aan de oost- en zuidzijde van Neeltje Jans, Roggenplaat en Galgeplaat. Hoge zandruggen komen vooral voor langs de noordrand van de Speelmansplaten.

Op plaatsen, doorgaans wat lager gelegen, waar mosselkweekpercelen liggen, bestaat het terrein uit bulten en laagten.

Sommige plaat- en slikgebieden worden doorsneden door vele priel- en afvoergeulen. Dat is m.n. het geval op de Roggenplaat, Galgeplaat, Speelmansplaten en de slikken ten zuidwesten van St. Philipsland.

Als voorbeeld is van een van de platen, nl. de Galgeplaat, een geomorfologische kaart (aan de hand van luchtfoto's uit 1976) bijgevoegd (bijlage 1).

Voor een uitvoerige beschrijving van alle plaat- en slikgebieden wordt verwezen naar Goedheer, 1982.

3.5. Morfologie van de onderwaterbodem van het westelijk deel van de Oosterschelde

3.5.1. Inleiding

De morfologie van de getijdegeulen beneden GLW kan worden beschreven aan de hand van Side Looking Sonarbeelden. Een aantal van deze beelden is, in het kader van het project T₂-getij, geregistreerd. Het gaat hierbij om beelden in getijgeulen ten westen van de Zeelandbrug (Goedheer, 1983). De morfologie, zoals die uit de sonarbeelden is gekarteerd is in verband gebracht met stroomsnelheidsmetingen (gemiddelde stroomsnelheden en -richtingen) in dezelfde raaien en een min of meer gelijke fase in het getij.

Hieronder volgt het algemene beeld, zoals dit door interpolatie van de SLS-beelden is verkregen. Stroomsnelheden zijn voor raai I bij springtij en raai II en III bij doodtij gemeten (ligging zie fig. 3.5.1, waarden zie tabel 3.5.1). Voorzover in het hier volgende wordt gesproken over de duur van eb en vloed, betekent dit die periode waarin de waarde van de stroomsnelheid boven de 0,25 m/s, wordt overschreden.

3.5.2. Hammen

Naarmate de geul van west naar oost minder diep wordt, worden de hellingen van de geulwanden flauwer (bijl. 10 nota 83.18).

De Hammen is onder te verdelen in de noordelijke, steile geulwand (eroderende buitenbocht), het diepe middendeel (N.A.P. -30 m) en een flauwer hellende zuidelijke geulwand (binnenbocht).

De SLS-beelden zijn van west naar oost resp. 2 uur na LW/3 d. na DT, 2¹/₂ uur na LW/3 d. na DT en op HW 1 d. na DT opgenomen.

a. De noordelijke geulhelling

De maximale eb- en vloodsnelheden en de eb- en vloedduur zijn vrijwel gelijk. De stroomsnelheidsrichting varieert nogal door aanwezigheid van neren. De bedvormen tijdens de SLS-opname bij Burghsluis (2 uur na LW) zijn matig groot (tabel 3.5.1., mp I.16) en bestaan uit vloedribbels met ebkapjes. De vormen geven een indicatie voor een vloeddominant gebied.

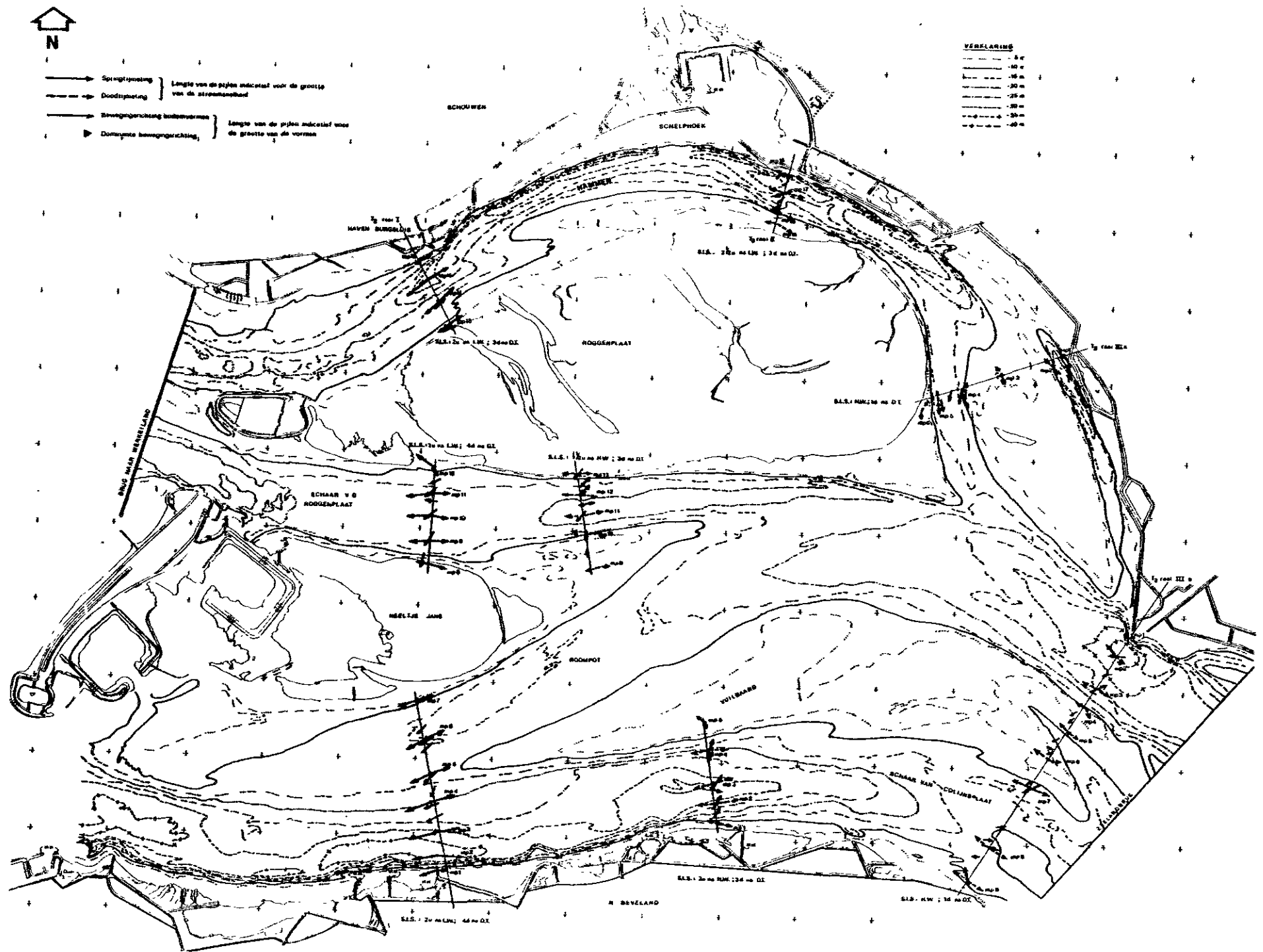


Fig. 3.5.1. Stroomsnelheids- en bodemvormbewegingsrichting in T₂ raaren ten Westen van de Zeelandbrug

Tabel 3.5.1. Vergelijking van het stroomsnelheidsbeeld en bodemvorm dimensies

mp*		\bar{L} (m)	\bar{h} (m)	richting t.a.v. N	\bar{V}_{ri}	orient.	dim.	\bar{L}/\bar{h}	\bar{d} (m)	\bar{V}_{mvl} (m/s)	$\bar{V}_{m\text{eb}}$ (m/s)	helling %
I 4	R	18	0.4	336	245	eb	2	45	18.8	1.26	1.37	2.1
I 5	R	16	0.6	316	240	eb	2	27	13.0	1.05	1.08	1.2
I 6	R	27	0.5	332	240	eb	3	54	14.8	0.96	1.25	0.6
I 9	S	14	0.3	295	97	eb	3	47	18.7	1.09	0.98	0.7
I 10	S	9	0.2	320	100	eb	2-3	45	18.4	1.25	1.23	1.1
I 11	S	8	0.2	321	270	eb	3	40	14.3	0.89	1.25	1.7
I 13	H	10	0.6	126	50	vloed	3	17	6.2	1.00	0.32	5.3
I 14	H	12	0.6	140	45	vloed	2-3	20	13.3	1.14	0.84	1.6
I 15	H	11	0.9	329	233	eb	3-2	12	24.0	1.02	1.48	4.0
I 16	H	10	0.5	144	52	vl+ek	3	20	26.0	0.54	0.51	5.3
II 2	SvC	26	0.5	125	80	vloed	3	52	22.9	1.13	0.89	1.2
II 3	SvC	9	0.1	123	80	vloed	3	90	34.3	1.08	0.98	6.3
II 4	SvC	12	0.5	287	260	e+vlk	2-3	24	17.6	0.89	0.90	5.2
II 10	S	18	0.7	86	75	vloed	2	26	13.4	0.80	0.60	6.8
II 11	S	14	0.2	296	265	e+vlk	2-3	70	23.1	0.90	0.89	1.6
II 12	S	9	0.5	318	275	e+vlk	2-3	18	16.1	0.76	0.95	1.8
II 13	S	12	0.3	314	270	eb	3	40	12.4	0.55	0.80	6.7
II 17	H	6	0.2	330	295	eb	2-3	30	26.4	0.90	0.88	3.6
III a.4	H	6	0.4	100	5	vloed	3	40	17.8	0.56	0.62	1.4
III b.2	R	6	0.3	183	300	eb	2	20	43.4	0.65	0.90	3.7
III b.3	R	9	0.2	159	110	vloed	3	45	24.7	0.65	0.81	5.1
III b.7	SvC	9	0.2	338	290	eb	2	45	15.4	0.92	1.01	0.5
III b.8	SvC	7	0.3	22	115	vloed	2	23	12.1	1.02	1.00	0.6
III b.9	SvC	8	0.4	257	305	eb	3	20	10.2	0.83	0.93	7.1

* De meetpunten zijn in fig. 3.5.1. aangegeven op de plaats waar ze hadden moeten liggen. In praktijk komt het er echter op neer dat de schepen in de buurt van de geven locatie liggen te meten. De aangegeven diepte is een gemiddelde van het ribbelveld waar het meetpunt bij in de buurt ligt.

Nabij Schelphoek (mp II.17) zijn de eb en vloed maximale stroomsnelheden aan de steile noordzijde eveneens van gelijke grootte. $2\frac{1}{2}$ uur na LW worden hier kleine, lage en korte bedvormen (tabel 3.5.1) aangetroffen, welke ebgeöriënteerd zijn. Nabij het Nunnenplaatje (raai IIIa) worden langere ($\bar{L} = 20-25$ m) en hogere ($\bar{h} = 30-50$ cm) bodemvormen gevonden bij hoogwaterkentering. Hier is geen indicatie voor stroomrichtingdominantie.

b. Het diepe middendeel

Nabij Burghsluis vertoont het diepe deel een duidelijke ebdominantie m.b.t. de stroomsnelheden (tabel 3.5.1, mp I.15). De asymmetrie van de hoge ribbels (tabel 3.5.1) geeft een duidelijk zeewaarts gericht bodemtransport aan.

Bij Schelphoek (II.17) vertoont de getijdestroming geen eb of vloeddominantie, de kleine bedvormen ($\bar{L} = 6$ m; $\bar{h} = 0.2$ m) zijn nog eb gericht ($2\frac{1}{2}$ uur na LW).

De eb en vloodsnelheden nabij het Nunnenplaatje (IIIa.4) zijn vrijwel gelijk in grootte, de matig grote ribbels (tabel 3.5.1) zijn op hoogwaterkentering vloedgericht. Het is de vraag of de vormen tijdens eb zullen omslaan.

c. De zuidelijke geulhelling

De flauwhellende zuidzijde van de Hammen is in het westen qua stroming sterk vloeddominant (tabel 3.5.1, I.13 en I.14), hetgeen tevens blijkt uit het verloop van de dieptelijnen (bijlage 10 nota 83.18). De driedimensionale, korte, hoge ribbels ($\bar{L} = 10$ m, $\bar{h} = 0,6$ m) hebben een asymmetrie die duidt op een naar de Roggenplaat gericht bodemtransport (2 uur na LW). De richting maakt een hoek van 10 à 20° met de stroomrichting en met de N.A.P. -5 m lijn.

Nabij Schelphoek en het Nunnenplaatje zijn geen bodemvormen zichtbaar. Dit wordt veroorzaakt door de slechte kwaliteit van de SLS-beelden en door het bij het Nunnenplaatje, weer steilere talud (donkere reflecties op het SLS-beeld) van de Roggenplaat.

3.5.3. De Schaar van de Roggenplaat

De geul wordt van west naar oost iets dieper (resp. N.A.P. -20 tot N.A.P. -24 m), waarbij de steilheid van de hellingen groter wordt

(fig. 3.5.1). Tevens wordt de geul in oostelijke richting smaller. Er is hier geen duidelijke binnen- dan wel buitenbocht aanwezig.

De SLS-opnamen zijn van west naar oost respectievelijk 1 uur na LW, 4 d. na DT en $1\frac{1}{2}$ uur na HW, 3 d. na DT gemaakt.

a. De noordelijke geulhelling

Er is sprake van een duidelijke ebdominantie zowel in stroomsnelheden als in duur. In het westen (tabel 3.5.1, mp I.11) duidt de asymmetrie van de bodemvormen, op een zeewaarts transport langs de bodem, in de vorm van kleine ribbels (tabel 3.5.1; 1 uur na LW). In het oosten treedt eveneens transport in zeewaartse richting op, door iets grotere bodemvormen (mp II.12 en II.13, tabel 3.5.1). De bodemvormen onder aan de noordelijke geulhelling bezitten $1\frac{1}{2}$ uur na HW vloedkapjes (mp II.12, tabel 3.5.1).

b. De zuidelijke geulhelling

Onderaan de zuidhelling zijn de stroomsnelheden van eb en vloed met elkaar in evenwicht (mp I.10 en II.11). De bodemvormen hebben in zowel het westen (1 uur na LW) als in het oosten ($1\frac{1}{2}$ uur na HW!) een ebgerichte asymmetrie. De oorzaak hiervan kan zijn dat de duur van eb en vloed ongelijk zijn, waarbij de eb ongeveer 45 min. langer duurt.

De bovenzijde van de zuidhelling is zowel in het westen als in het oosten voor stroomsnelheid en duur vloeddinant. De asymmetrie van de vormen is in beide gebieden zodanig dat bodemtransport tegen Neeltje Jans op, plaatsvindt (mp I.9 en II.10) in de vorm van grotere, hoge ribbels ($\bar{L} = 16$ m, $\bar{h} = 0,6$ m). De kamlijn richtingen van de bodemvormen zijn bijna gelijk aan de stroomsnelheidsrichtingen (mp I, 8,9 en mp II.9,10).

Het onderlinge en verticale stroomrichtingsverloop geeft geen duidelijke oorzakelijke verklaring voor de richting van de kamlijnen, hier ter plaatse. Een snelheidsgradiënt is aanwezig, vanuit het midden van de geul naar de geulrand, die echter elders geen aanleiding geeft tot dergelijke grote hoek verschillen, m.u.v. T₂-raai II Schaar van Co-lijsplaat.

3.5.4. De Roompot

De Sonarbeelden zijn 2 uur na LW, 4 d. na DT opgenomen.

De Roompot wordt vanuit het westen ondieper tussen Neeltje Jans en de Vuilbaard, om vervolgens naar het oosten weer in diepte toe te nemen. De geul is voor wat betreft de stroomsnelheden en duur ebdominant. De vormen ($\bar{L} \approx 20$ m, $\bar{h} \approx 0,5$ m) migreren voor het grootste deel in dezelfde richting als de stroomrichting. In afwezigheid van Sonarbeelden, ondieper dan N.A.P. -10 m, is het niet mogelijk uitspraak te doen omtrent materiaal transport van of naar de plaat van Neeltje Jans.

3.5.5. De Schaar van Colijnsplaat

Naarmate de geul van west naar oost minder diep wordt, worden de hellingen van de geulwanden flauwer. De Schaar van Colijnsplaat is onder te verdelen in de noordelijke flauwere geulwand (binnenbocht) en de zuidelijke, steilere geulwand (buitenbocht). In het oosten zijn in het algemeen zowel de eb- als vloedsnelheden lager dan in het westen.

De Sonaropnamen zijn van west naar oost opgenomen resp. 2 uur na HW/3 d. na DT en 1 uur na HW, 1 d. na DT.

a. De noordelijke geulhelling

De noordzijde is in het westen voor wat de stroming betreft ebdominant (mp I.4, tabel 3.5.1). De asymmetrie van de bodemvormen duidt op een bodemtransport in zeewaartse richting (2 uur na LW). In het midden is de ebdominantie van de stroming verdwenen. De stroming is hier indifferent. De bodemvormen lopen tegen de Vuilbaard op en bezitten grote afmetingen ($\bar{L} = 30$ m, $\bar{h} = 1$ m). De kamlijnrichting is hier zodanig dat de bewegingsrichting van de vormen bijna loodrecht op die van de stroom staat (2 uur na HW). Hier lijkt zich een vergelijkbare situatie voor te doen als aan de zuidhelling van de Schaar van de Roggenplaat.

In het oosten is de stroom vloeddominant (IIIb, mp 7), hoewel de eb-snelheid groter is dan de vloed-snelheid. De duur van de vloed is echter zowel bij doodtij als springtij langer (resp. 82 min. en 50 min.). De bodemvormen bezitten echter een ebgerichte asymmetrie (1 uur na HW), zonder vloedkapjes.

b. De zuidelijke geulhelling

In het westen zijn de maximale vloedsnelheden groter dan de maximale ebsnelheden. Tevens is de duur van de vloed langer dan van de eb. Bodemvormen konden op de Sonarbeelden niet worden waargenomen. Dit wordt veroorzaakt door de steilheid van het talud.

In het midden blijkt de stroomsnelheid in de vloedrichting groter te zijn dan in de ebrichting. De bodemvormen zijn min of meer vloedgericht. De kamlijnen maken een hoek van circa 30° met de vloedstroomrichting (2 uur na HW).

In het oosten, bij de Zeelandbrug, is de zuidhelling (IIIb, mp 8) aan de onderzijde wat betreft stroomsnelheid indifferent. De duur van de vloed is zowel bij spring- als doodtij groter (resp. 70 en 77 min.). Het vloedgericht zijn van de vormen, 1 uur na HW, is in overeenstemming met het stroomsnelheidsbeeld.

Aan de bovenzijde van de zuidhelling (IIIb, mp 9) is de stroom wat betreft duur, vloeddominant, hier zijn de vormen echter ebgericht. De oorzaak hiervan zou kunnen liggen aan het feit dat de stroming hier tijdens vloed een sterk variërende richting (Goedheer, 1983) heeft en de eb constanter in richting is en die bovendien iets hogere (± 10 cm bij pieksnelheid) stroomsnelheden heeft.

4. MORFODYNAMISCH GEDRAG ESTUARIA (literatuurstudie)

Als een eerste stap in de uitvoering van het Geomor-project gold het vergaren van de bestaande kennis in het onderzoeksveld. De resultaten van deze literatuurstudie zijn vervat in Geomor-nota 83.01, getiteld: "De te verwachten veranderingen in het morfodynamisch gedrag van de Oosterschelde na het gereedkomen van de stormvloedkering, een literatuurstudie naar het morfodynamisch gedrag van estuaria".

In dit rapport in de bestaande kennis op het gebied van de processen die de morfologie van "coastal plain estuaries" als de Oosterschelde beheersen, bijeengebracht.

De verzamelde gegevens hebben voornamelijk betrekking op situaties waarbij de waterbeweging in evenwicht is met de morfologie. Met deze informatie is een indruk gegeven van de wijzigingen die zowel in waterbeweging als morfologie optreden indien de evenwichtssituatie verstoord wordt en de nieuwe evenwichtssituatie op de lange termijn beschouwd wordt.

Als gevolg van de bouw van de SVK in de monding van de Oosterschelde wordt de bestaande situatie zo diepgaand gewijzigd, dat het zeer lange tijd zal gaan duren voordat zich een nieuw evenwicht tussen waterbeweging, materiaaltransport en morfologie ingesteld heeft. Hierdoor kunnen een aantal korte-termijnprocessen van doorslaggevende betekenis zijn voor het morfodynamische gedrag van de Oosterschelde in de komende decennia. Omdat deze korte-termijnprocessen, in de gevallen die in de literatuur beschreven zijn, meestal een ondergeschikte rol spelen in de ontwikkeling naar de nieuwe evenwichtssituatie, is er weinig over hun werking en mogelijke morfologische consequenties bekend.

5. GALGEPLAAT

5.1. Historische ontwikkeling

De eerste betrouwbare kaart waarop de omgeving van de Galgeplaat en de Vondelingenplaat vrij gedetailleerd staat aangegeven is de "Carte Reduite des Côtes des Pays Bas".

De opnamen van het Oosterscheldegebied op deze kaart is geschied tussen 1799 en 1809. Uit de selectie van hydrografische opnamen welke in fig. 3.2.5. is gepresenteerd kan de morfologische ontwikkeling sedertdien op de voet worden gevolgd. De ontwikkeling in de 20^e eeuw wordt meer in detail weergegeven in fig. 5.1.1. t/m 5.1.4. Het blijkt dat in het begin van de 19e eeuw slechts kleine gedeelten van de Galgeplaat en Vondelingenplaat bij laag water droogvielen en dat het platencomplex werd doorsneden door verscheidene geulen. De ontwikkeling daarna wordt gekenmerkt door een geleidelijke uitbreiding van de platen en verzanding van de tussengelegen geulen. Rudimentaire restanten van deze geulen kunnen nog worden teruggevonden op de uit luchtfoto's vervaardigde hoogtelijnenkaart van 1982 (bijlage 2).

Het Engelsche Vaarwater was tot in de zestiger jaren een uitgesproken vloodschaar. Langs de oostflank en in de zuidelijke uitloop van de schaar deden zich in de eerste helft van de 20^e eeuw aanzienlijke aanzandingen voor. Daarna traden verdiepingen op die deze aanzanding gedeeltelijk teniet deden. Deze omslag was niet het gevolg van natuurlijke processen maar moet geweten worden aan zeer omvangrijke zandwinningen die hier na 1965 plaatsvonden, waarop nog nader zal worden ingegaan.

In de huidige situatie bestaat de bovenste 10 m sediment van het zuidwestelijk deel van de Galgeplaat over een strook van 100-200 m gerekend vanaf de laagwaterlijn uit materiaal dat in voornoemde vloodschaar tot afzetting kwam. Gevoegelijk kan worden aangenomen dat dit pakket vrijwel volledig uit zanden bestaat, gelet ook op de interesse waarmee deze sedimenteenheid als zandwinplaats werd benut en de uitkomsten van enkele boringen die hierin werden verricht (Geomor nota 83.02).

In het overgangsgebied van het Brabantsche Vaarwater en de Dortsman trad een soortgelijk proces van aanzanding in een vloodschaar op als langs de westrand van de Galgeplaat. Tussen 1909 en 1932 breidde het slik zich hierdoor met ca. 500 m naar het zuidwesten uit.

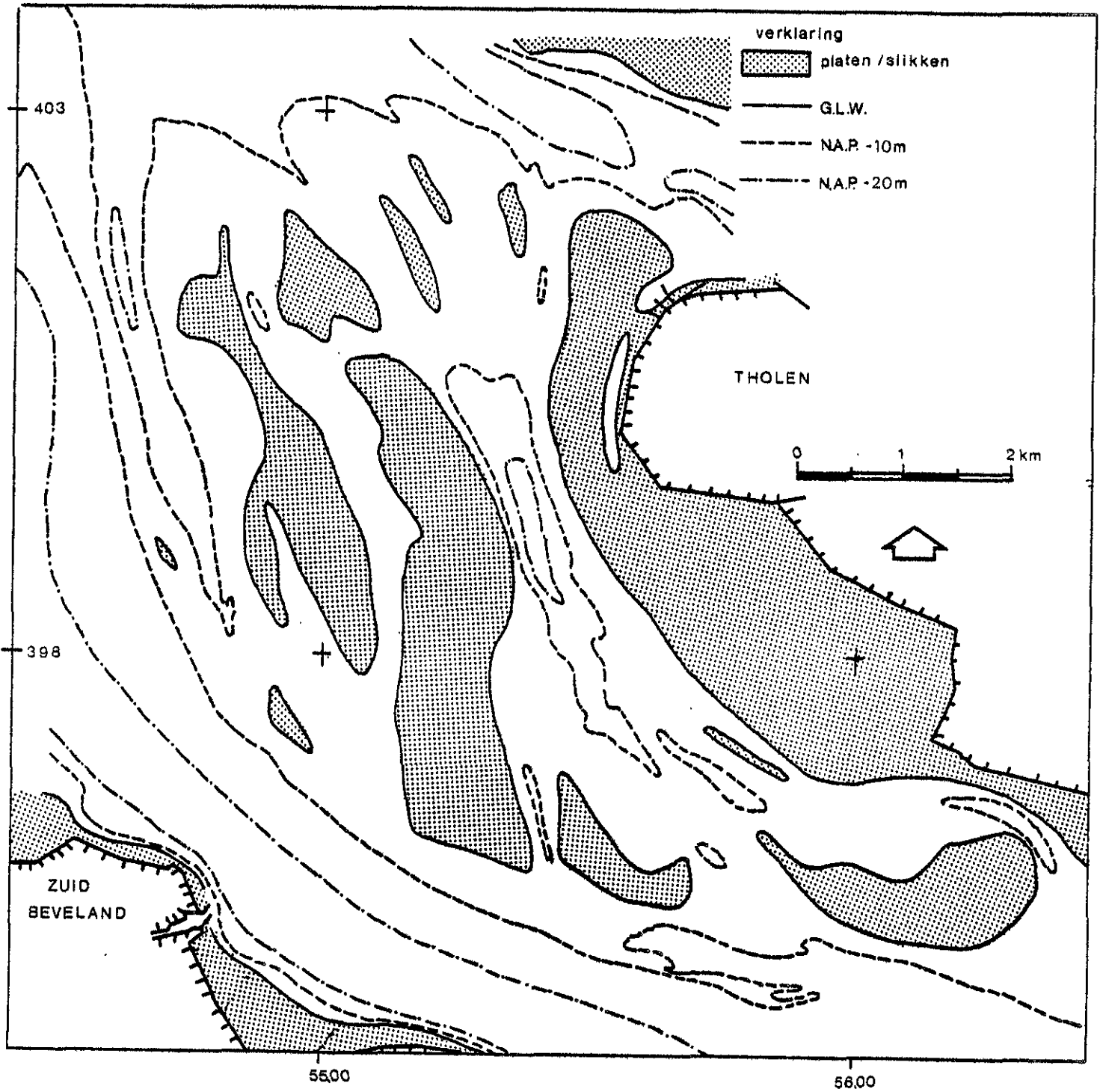


Fig.5.1.1 : Morfologische ontwikkeling in de 20^e eeuw van de omgeving Galgeplaat
situatie 1909

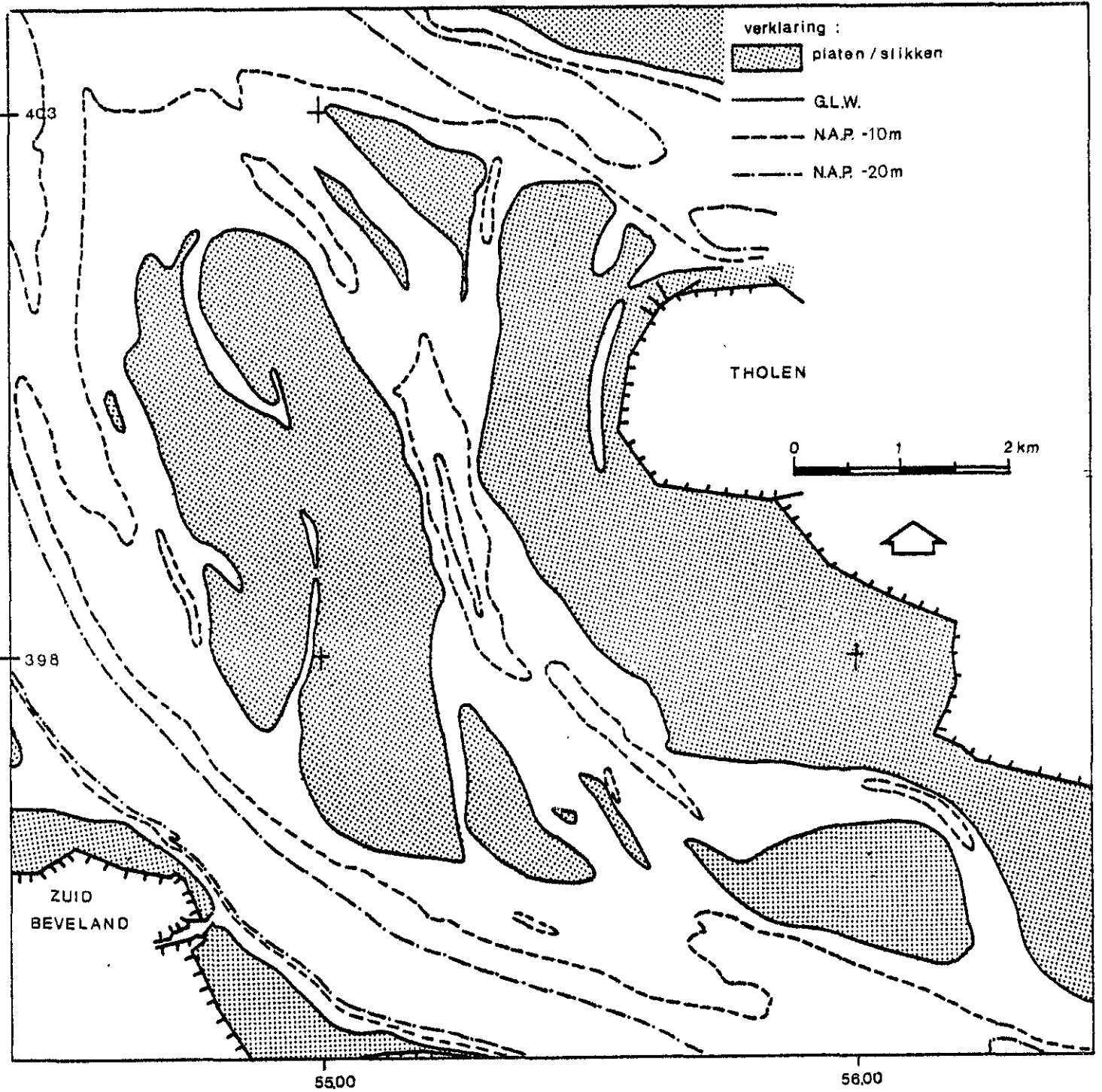


Fig.5 .1. 2 : Morfologische ontwikkeling in de 20^e eeuw van de omgeving Gaigeplaat
situatie 1932

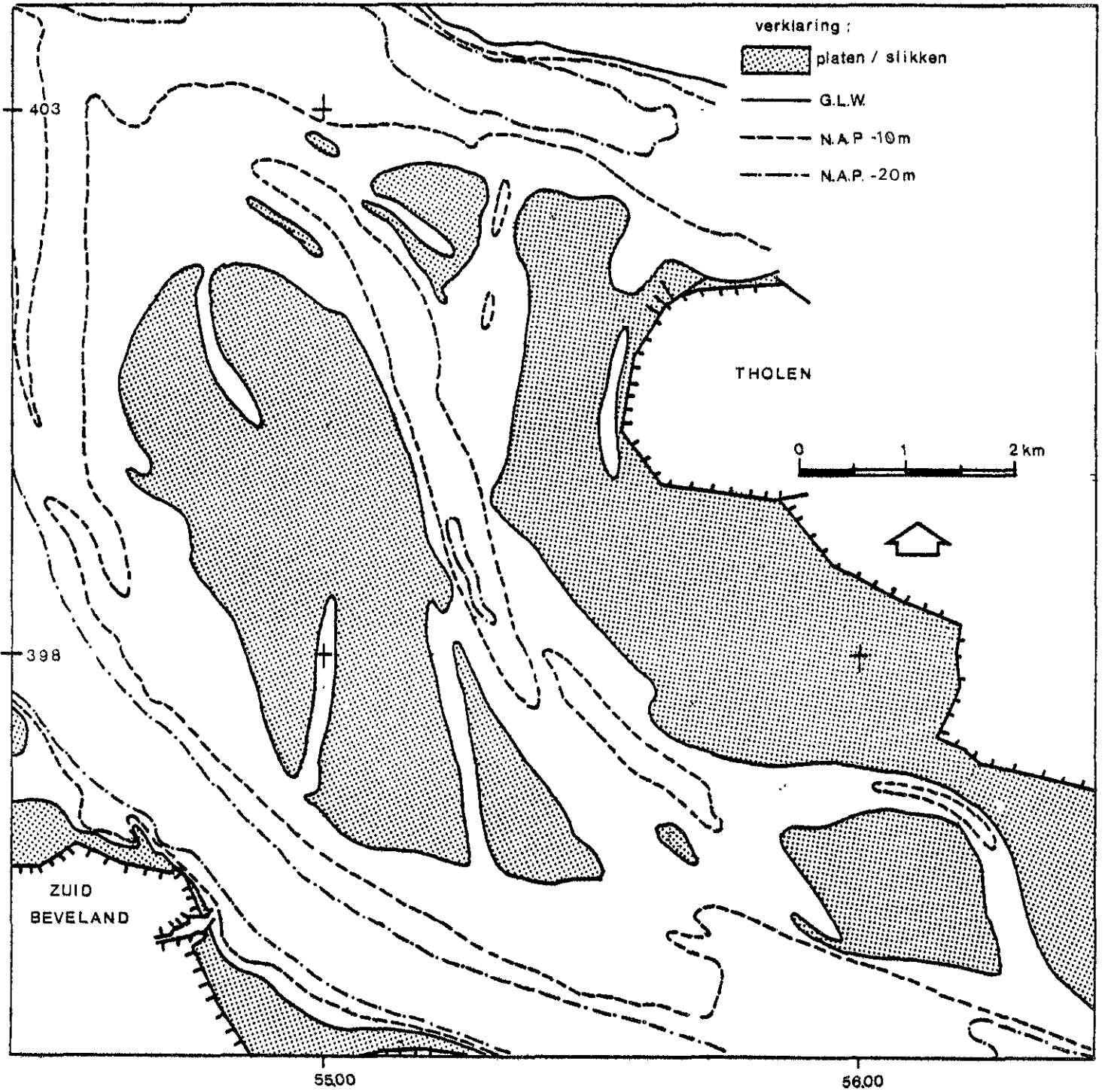


Fig.5 1 3 · Morfologische ontwikkeling in de 20^e eeuw van de omgeving Galgeplaat
situatie 1952

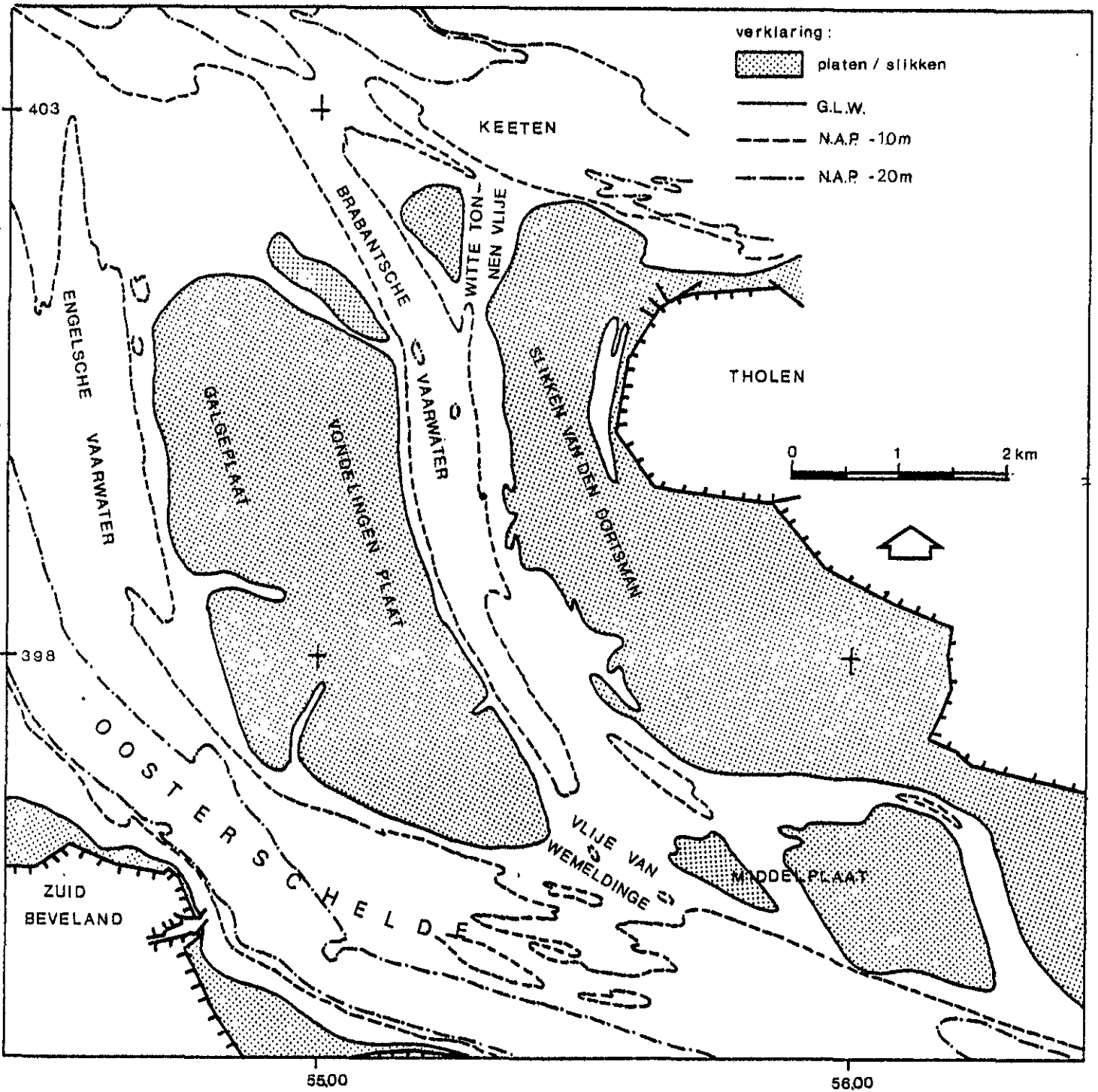


Fig.5 .1.4 : Morfologische ontwikkeling in de 20^e eeuw van de omgeving Galgeplaat
situatie 1982

Van de omgeving van de Galgeplaat is het in paragraaf 3.2. genoemde gegevensbestand van de bodemschematisaties van de jaren 1960, 1965, 1970 en 1975 gereed. Inhoudsberekeningen zullen worden uitgevoerd zodra 1980 ook in het bestand is opgenomen. Hier wordt volstaan met een presentatie van diepteverschillen (isallobaten) kaartjes van opeenvolgende perioden van 5 jaar (fig. 5.1.5. t/m 5.1.7). Bij het beschouwen van deze kaartjes moet men erop bedacht zijn dat de opnamen zijn uitgevoerd met behulp van een Decca-plaatsbepalingssysteem, waarvan de nauwkeurigheid in dit gebied ca. 15 m bedraagt. Met name langs steile oevers kunnen hierdoor schijnbaar grote veranderingen optreden.

Een sprekend voorbeeld hiervan vormen de veranderingen nabij de haven van Kats, waar schijnbaar erosie (1965-1970) wordt gevolgd door evenzo grote aanzanding (1970-1975).

Uit figuur 5.1.5. blijkt, dat in de periode 1960-1965 in de directe omgeving van de Galgeplaat-Vondelingenplaat de veranderingen betrekkelijk gering zijn. Een uitzondering wordt gevormd door een gebied in het noordoosten, waar het Brabantsche Vaarwater zich lateraal naar het noordoosten verplaatst. Deze verplaatsing zet zich voort tot omstreeks 1975. De totale verplaatsing van de geulas in deze periode bedraagt ca. 200 m.

De veranderingen ter hoogte van Goese Sas hangen samen met de plaatval die hier in 1958 plaatsvond. Vanaf 1922 hebben zich hier periodiek (meestal om de 11 à 13 jaar) plaatvallen voorgedaan, waarbij de aanwezige, somtijds tot 52 meter diep reikende, turbulentieput steeds met ca. 20 m werd verondiept om in de erop volgende jaren weer sterk uit te schuren (Wilderom, 1972). Tezelfdertijd vond er dan sterke aanzanding plaats op het "weggevalen" benedenbeloop van de Galgeplaat, totdat zich opnieuw een zettingsvloeiing voordeed. De vallen deden zich voor in 1922, 1934, 1945, 1958, 1972-73 en 1978. De sedimentverplaatsingen beliepen steeds enkele miljoenen kubieke meters. Bij de laatste twee vallen ging het om een hoeveelheid van respectievelijk $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en $3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ sediment.

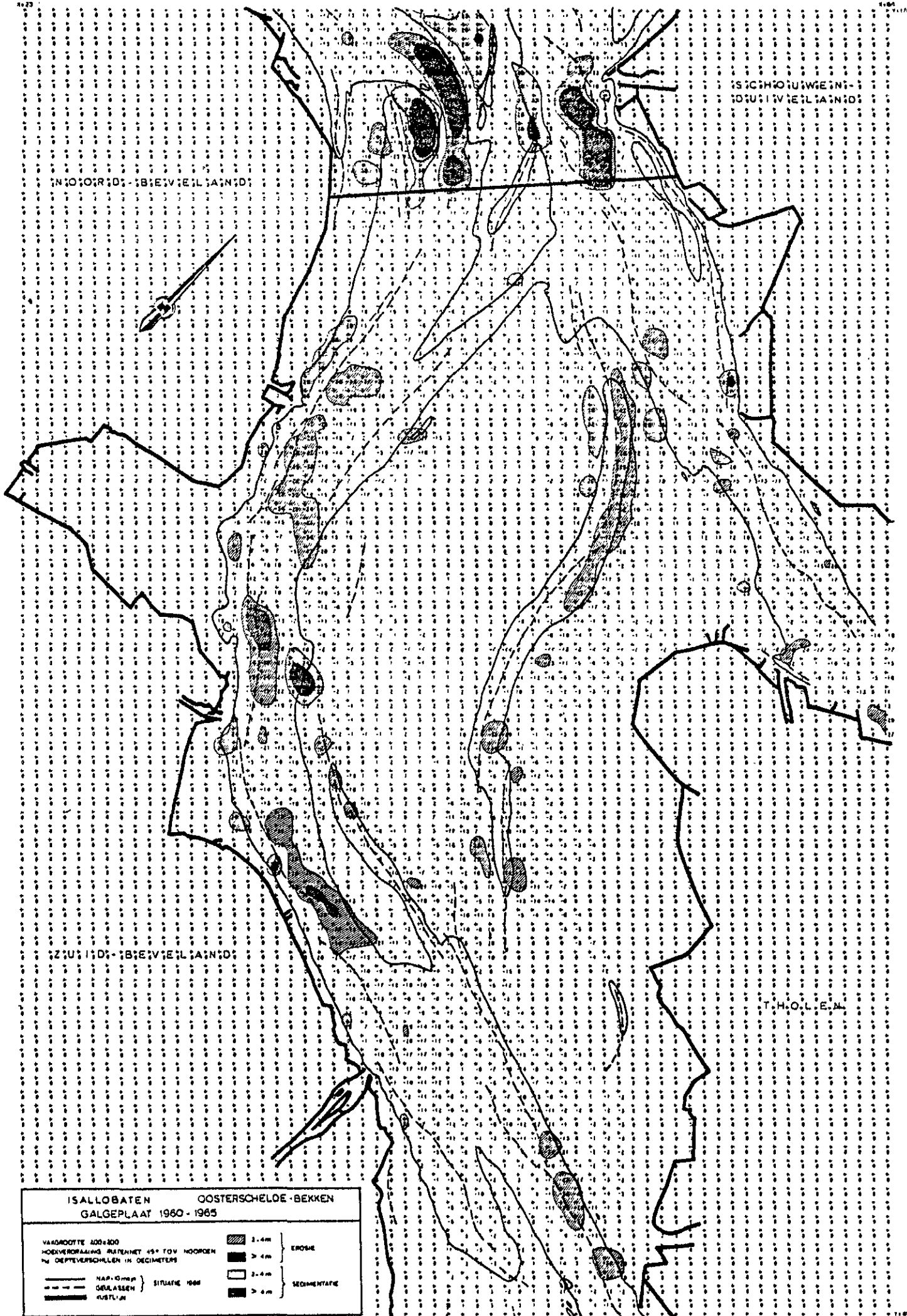
Tot 1966 vindt op diverse plaatsen in de omgeving van de Galgeplaat enige zandwinning plaats (Witte Tonnen Vlije, de zuidelijke uitloop van het Brabantsche Vaarwater en langs de zuidelijke en westelijke rand van de Galgeplaat). De daarmee gemoeide hoeveelheden waren echter klein en van weinig betekenis voor de morfologische veranderingen

ISCHHOUTWEGEN
TOEGANG TOT DE ZEE

NOORD- OOST- BREVIELEKART

ZUID- OOST- BREVIELEKART

T.H.O.L.E.M.



**IJALLOBATEN OOSTERSCHELDE-BEKKEN
GALGEPLAAT 1960 - 1965**

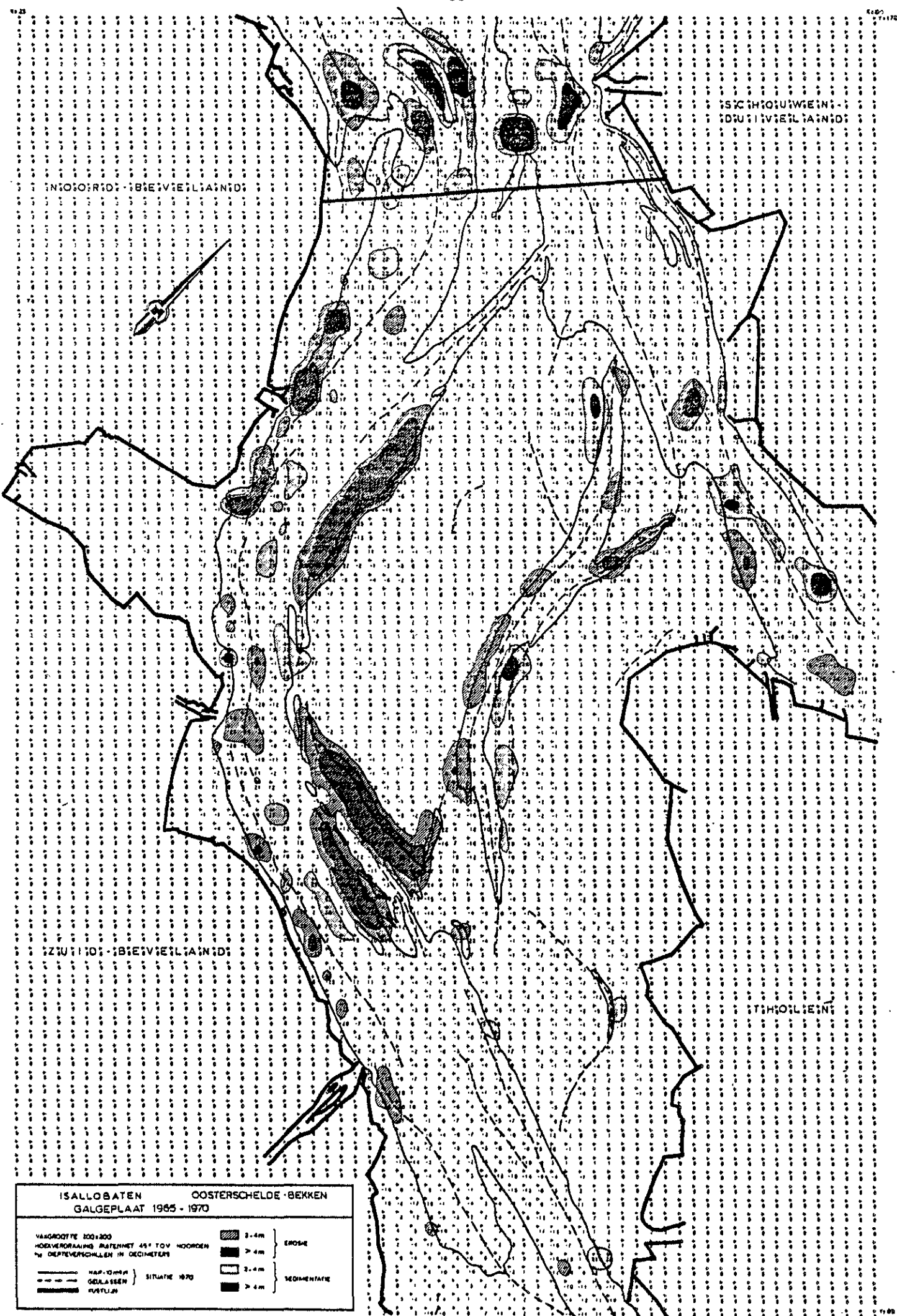
VAARDROOTTE 400x400 HOEFVERHOOGING 45° TOV NOORDEN % DIEPTEVERSCHILLEN IN DECIMETERS	[Hatched] 2-4m [Dark] > 4m	EROSIE
--- NAP+0,5m - - - - - GEVLASSEN [Thick] KUSTLIJN	[White] 2-4m [Dark] > 4m	SEDIMENTATIE

SITUATIE 1960

rijkswaterstaat deildienst - hoofdafdeling waterloopkunde meet- en studieafdeling zierikzee	GET	
	M3	
	26.6.83	TEK NR A2-83-9311



Fig. 5.1.5.



St. Philipsland

Zuid-Beveland

Zuid-Beveland

St. Philipsland

ISALLOBATEN OOSTERSCHELDE-BEKKEN
GALGEPLAAT 1965 - 1970

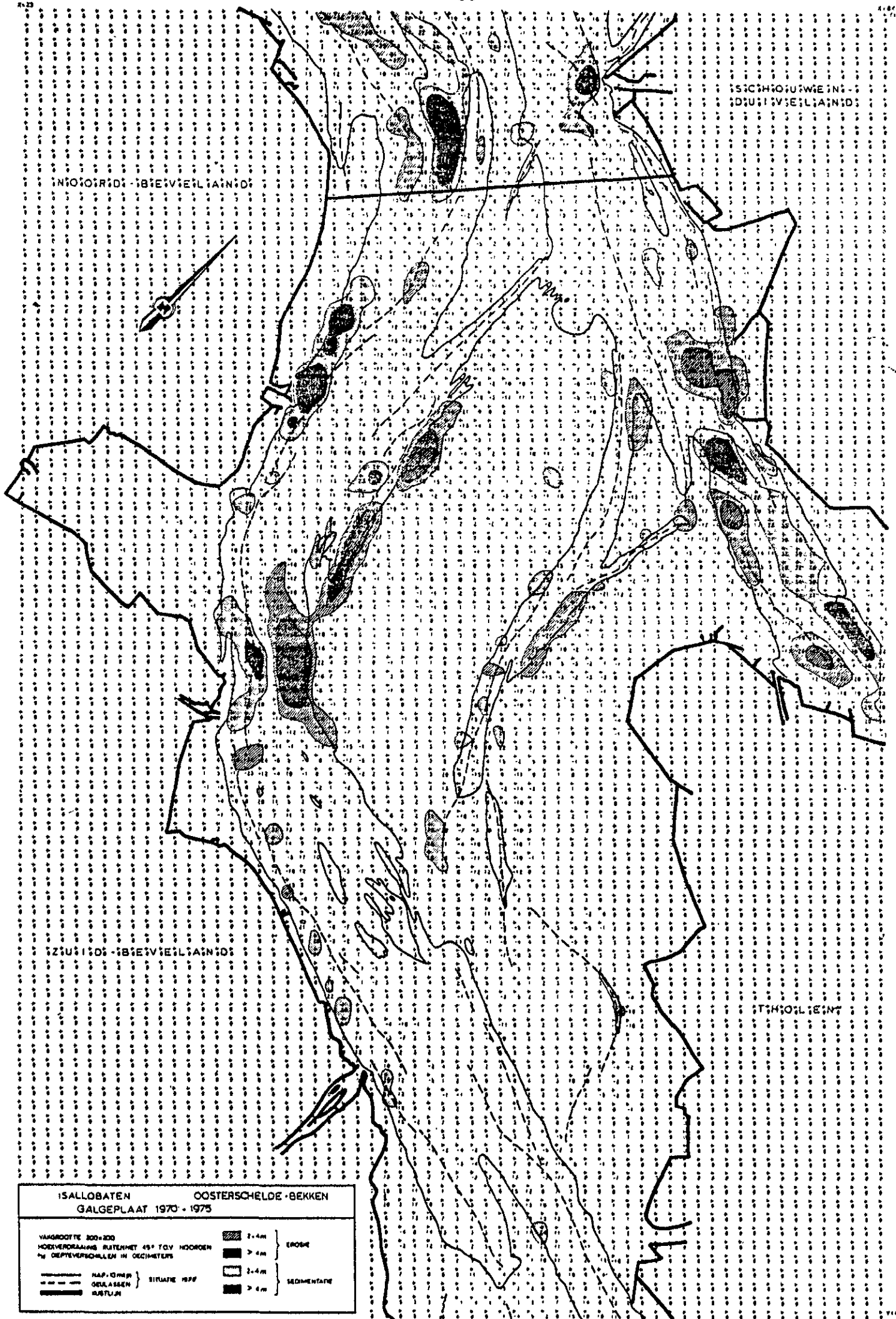
VASGROOTTE 1:2000
 HOEDIERORANING RUFENNET 45° TOV HOORDEN
 % DEPTVEVRSCHILLEN IN DECIJETEREN

—	HAF-OMMER	SITUATIE 1970	▨	3-4m	EROSIE
- - -	GELASSEN		■	> 4m	
—	RUWELIJN		▨	3-4m	SEDIMENTATIE
—			■	> 4m	

rijkswaterstaat
 deliadienst - hoofddeling waterloookunde

GET	
1/3	TEK. NO. 42.92.0.310





ISOHALIEN 10-15

ISOHALIEN 20-25

ISOHALIEN 25-30

ISOHALIEN 30-35

ISALLOBATEN OOSTERSCHELDE-BEKKEN
GALGEPLAAT 1970 - 1975

VANGROOFTJE 200-250	2-4m	EROSIE
HOEVEERORANING RUTENMET 45° TGV HOORGEN	> 4m	
% DIEPTEVERSCHILLEN IN DECIMETERS	2-4m	SEDIMENTATIE
	> 4m	

--- RAP-OMGEVING } SITUATIE 1975
 --- OERLASSEN }
 --- RUSTWIJN }

rijkswaterstaat
 deltadienst - hoofdafdeling waterloopkunde

GET
 MB
 TFX NR. A2-B3-0 317

0 1 2 3 km

(Kwak, 1971). Na 1965 worden voor allerlei doeleinden langs de Galgeplaat veel grotere hoeveelheden specie gewonnen en is er wel degelijk sprake van beïnvloeding. Het eerste grote zuigwerk werd uitgevoerd langs de zuidrand van de Vondelingenplaat. Van februari 1966 tot in het voorjaar van 1968 werd hier bijna $9,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie gewonnen. Ten behoeve van de scheepvaart werd in 1967 de Witte Tonnen Vlije uitgediept, waarbij $4 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gewonnen werd (de genoemde getallen hebben steeds betrekking op in middelen van vervoer gemeten hoeveelheden, na verrekening van de uitlevering van ca. 20%). De zandwinning langs de Galgeplaat bleek ongunstigere gevolgen te hebben voor de hooggelegen zuidelijke gedeelten van de plaat, waarvan zand toestroomde naar het zuigvlak. De zandwinning werd om deze reden in juli 1968 verplaatst naar de westelijke rand van de Galgeplaat, waar slechts op grote afstand van de plaat mocht worden gezogen. Van juli 1968 tot december 1969 werd in dit gebied ongeveer $10 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ gewonnen en in 1970 $8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Achteraf bleek dat het zuigwerk wederom te dicht langs de Galgeplaat was uitgevoerd, waardoor zich opnieuw sterke erosieprocessen langs de plaatrand voordeden. Desondanks werd in 1971 nog circa $12 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ opgebaggerd totdat een tijdelijk verbod van kracht werd op het zuigwerk in dit gebied.

De grote hoeveelheid specie benodigd voor de uitvoering van de partiële dijksverhoging van de Oosterschelde maakte hernieuwde zandwinningen noodzakelijk. Zandwinplaatsen werden aangewezen langs de westelijke rand van de Galgeplaat, in het zuidelijk deel van het Engelsche Vaarwater en bij de zuidelijke uitloop van het Brabantsche Vaarwater (Haring, et al. 1975). In de periode 1974-1979 werd hier nog respectievelijk $0,8 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, $1,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ zand gewonnen. In de periode 1978-1979 werd de vaargeul Witte Tonnen Vlije plaatselijk uitgediept waarbij $0,9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ specie werd gewonnen. In 1983 werd hier opnieuw enig baggerwerk t.b.v. de scheepvaart uitgevoerd.

5.2. De onderwaterbodem rondom de Galgeplaat

Op 29 en 30 maart 1983 zijn rond springtij Side Looking Sonaropnamen gemaakt van de onderwaterbodem rondom de Galgeplaat (bijlage 3).

De opnamen van 29 maart zijn kwalitatief het best, omdat vooral tijdens de opname voor de meetplot de weers- en stromingsomstandigheden rustig waren.

De opnamen van 30 maart zijn kwalitatief minder goed omdat de vertroebeling door schroefwater en deeltjes in het water groot is.

De opnamen van GA1 en GA2 zijn met toenemende vloedstroomsnelheid gemaakt.

Het noordelijke gebied (GA2) is in het westen relatief vlak (1:200) en op het noorden geëxponeerd en in het noordoosten steiler (1:30) en op het westen geëxponeerd en in het noordoosten op het westen. Het gebied (GA2) is te beschouwen als een uitloper van een vloodschaar. De diepte varieert tussen N.A.P. - 9.5 en - 2.5 m.

Uit de SLS-opnamen (2³/₄ tot 1¹/₄ uur voor HW, ST 29-3-'83) blijkt dat in het noorden (GA2) relatief grote bodemvormen ($\bar{L} = 21 \pm 6$ m, $n = 338$ en $\bar{h} = 0.8 \pm 0.3$ m, $n = 338$) de plaat op migreren (lijzijde van de vormen aan zuidzijde). De kamlijnrichting is ongeveer west-oost (266°).

Boven N.A.P. - 4 m zijn de vormen afgevlakt ($h < 0.3$ m), beneden deze lijn komen alleen hoge vormen voor: $h > 0.8$ m).

De lengte is over het hele gebied vrijwel steeds groter dan 20 m. Op grond van andere bewijsmaterialen (Goedheer, 1983) is komen vast te staan dat het gebied vloeddominant is en dat de plaat door bedload transport wordt opgebouwd aan de noordzijde.

Het opnamegebied (GA1), westelijk van GALA, vertoont een totaalbeeld dat minder eenvormig is.

De SLS-beelden zijn opgenomen direct na laagwaterkentering (1¹/₂ u - 3¹/₂ u na LW, tijdens ST).

Het opnamegebied is op grond van de morfologie in twee delen te verdelen:

- een zeer vlak gebied op -12,5 m N.A.P. in het westen en midden met kleine ($\bar{L} < 12$ m; $\bar{L} \leftrightarrow 0.2$ m) ebgeöriënteerde bodemvormen. De kamlijnrichting is 300°.

- een steil deel in het oosten, waarbij de geulhellingen toenemen van 1:30 tot 1:7 bij afnemende waterdiepte (van - 12.5 m tot - 5 m N.A.P.).

In het noordoostelijk deel van dit gebied met een waterdiepte van 9.5 m tot - 5 m N.A.P. bevinden zich grote vloedgeöriënteerde bodemvormen ($\bar{L} > 20$ m; $\bar{h} > 0.8$ m), die met een kamlijn oriëntatie van 310° zich van de plaat af bewegen. De gemiddelde richting van de laagwaterlijn is hier 355° .

De kleinere vloedgeöriënteerde bodemvormen bewegen zich, onder een minder grote hoek, eveneens van de plaat af.

Gezien het tijdstip van de SLS-opname en het feit dat de vloedvormen hier in het algemeen grote afmetingen bezitten, kunnen we hier spreken van een vloeddinant gebied, alwaar de ribbels zich van de plaat af bewegen.

De 2 overige gebieden geven een minder duidelijk beeld. Dit komt voornamelijk door grote troebelheid van het water. Beide gebieden (GA3 en GA4) zijn onder minder rustige weers- en stromingsomstandigheden opgenomen (resp. 2 uur vóór tot $1/2$ uur ná LW, 1 dag na ST en $1\frac{1}{4}$ tot 2 uur na LW, 1 dag na ST). De plaatranden zijn niet goed geregistreerd omdat bij LW is gevaren.

De diepte van GA3 varieert tussen N.A.P. - 25 m en - 11 m. Ook hier doet zich evenal bij GA1 een "vervlakking" voor bij de - 12.5 m-lijn. Uit de richting van de kamlijnen valt een materiaaltransport van noordwest naar zuidoost of zuidoost naar noordwest af te leiden. Het is echter niet goed mogelijk de dominante transportrichting aan te geven.

Dit laatste is evenmin voor GA4 aan te geven. Slechts op grond van kamlijnrichtingen kan worden beweerd dat de transportrichting NNW-ZZO of omgekeerd is.

Als gevolg van een mogelijk technisch mankement tijdens de opnamen in het GA4-gebied, dient hier rekening gehouden te worden met mogelijke fouten voor wat betreft de richting van de kamlijnen.

Het totaalbeeld is als volgt (bijlage 3):

Aan de noordzijde treedt aangroei op door "voeding" van de vloedstroom. Aan de NW-zijde blijkt langs de plaatrand een "vloed"dominant

sedimenttransport aanwezig. Het sediment beweegt zich naar het zuidwesten in de richting van de geul.

De resulterende transportrichting langs de zuidrand en de oostrand van de plaat kan nog niet exact bepaald worden.

~~K H J. Morra C341~~

~~Land bewegingen
Getijden 551.311.2~~

Est 701985 14 } aanvragen naar de bibliotheek
uitgave NEI

~~Geometrie p401
DWT p406
DWT p406~~

6. PLOTMETING GALGEPLAAT

6.1. Algemeen

De meetperiode op de Galgeplaat voor fase 1 liep van 1-9-82 tot 1-6-83, waarbij de sedimentatie/erosiemetingen en de bodemsamenstellingopnames over de gehele periode zijn uitgevoerd, terwijl de hydraulische metingen alleen van 20-3-83 tot 11-5-83 zijn uitgevoerd. In deze laatstgenoemde periode is de meetfrequentie van de sedimentatie/erosiemetingen opgevoerd. De hydraulische metingen werden uitgevoerd vanaf een ponton dat gelegen was nabij de laagwaterlijn en vanaf een stelling boven op de plaat (bijlage 2).

In het onderstaande zullen achtereenvolgens de resultaten van de hydraulische metingen, de sedimentatie/erosiemetingen en bodemsamenstellingsopnames (incl. diatomeeën) worden behandeld. Vervolgens zal worden getracht om verbanden tussen de verschillende resultaten aan te geven.

6.2. Wind

Vergelijking windgegevens Ponton - OS₄ (monding Oosterschelde), verloop in tijd

De gedigitaliseerde windgegevens van het Ponton zijn vergeleken met de 10 minutengegevens van de OS₄. Een deel van het totale bestand aan punten staat afgebeeld in fig. 6.2.1. en fig. 6.2.2.

Zoals valt te verwachten heeft de OS₄ over het algemeen een wat hogere windsnelheid ($U_{OS_4} = -0.43 + 1.19 * U_{Ponton}$, waarbij U in m/s).

De windrichting bij de OS₄ ligt ook hoger. Een regressielijn blijkt moeilijk te fitten, maar op het oog kan duidelijk vastgesteld worden dat de richting meestal 10 tot 20° verschilt. Bij de volgende situaties blijken deze verbanden slecht op te gaan:

- A. De passage van een scherp begrenst koufront. Windsnelheid en richting kunnen dan bij het Ponton en de OS₄ sterk verschillen. Dit was onder andere het geval op 2 april.
- B. De passage van een bui, er ontwikkelt zich dan een plaatselijk windveld.

Gezien de mogelijke verschillen tussen beide lokaties valt het gebruik van een windmeter op de Galgeplaat tijdens een meetcampagne te prefereren boven de OS₄-gegevens.

Voor een globaal overzicht van de windgesteldheid gedurende de rest van de tijd zijn de OS₄-gegevens voldoende. De maandelijkse OS₄-windgegevens van 1-9-82 tot 1-9-83 staan in de figuren 6.2.3. tot en met 6.2.14.

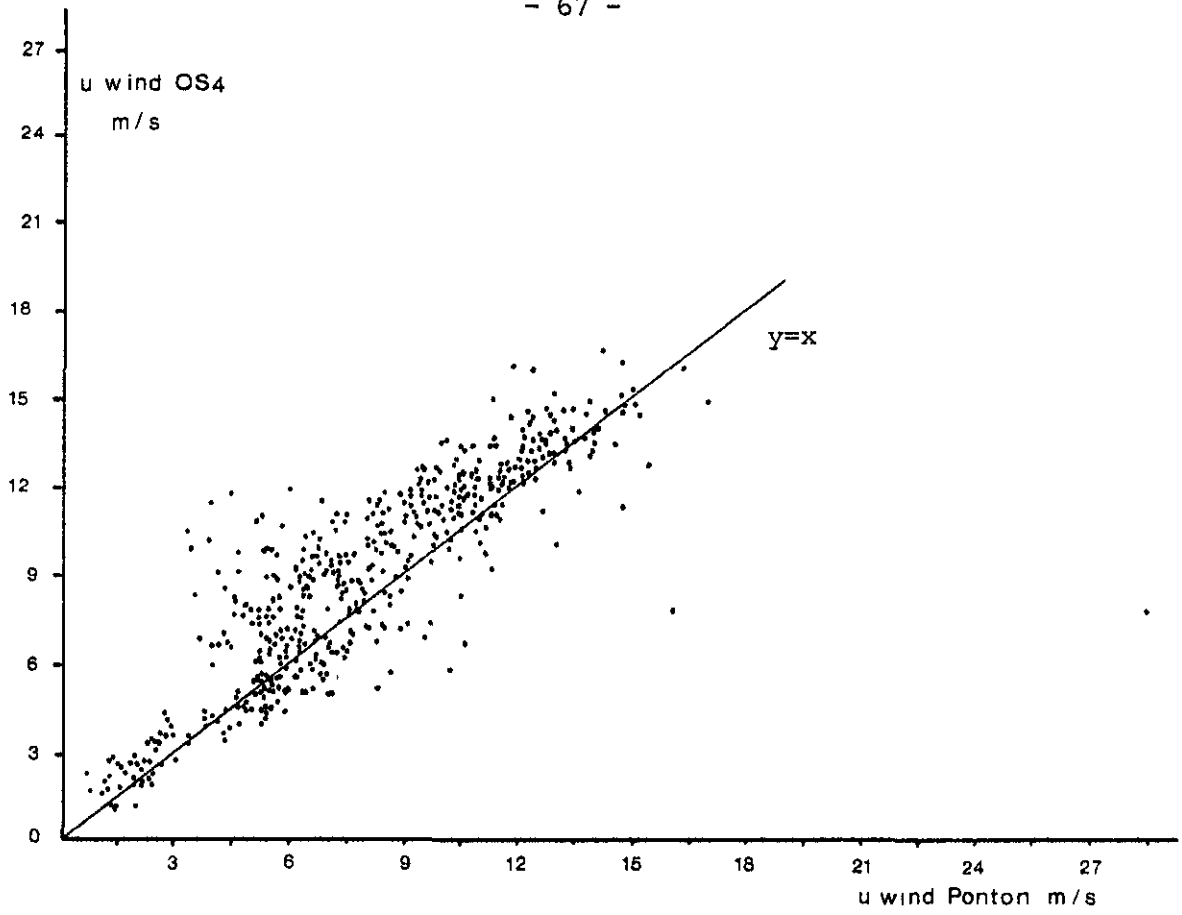


Fig. 6.2.1 Verband windsnelheid Ponton vs windsnelheid OS4

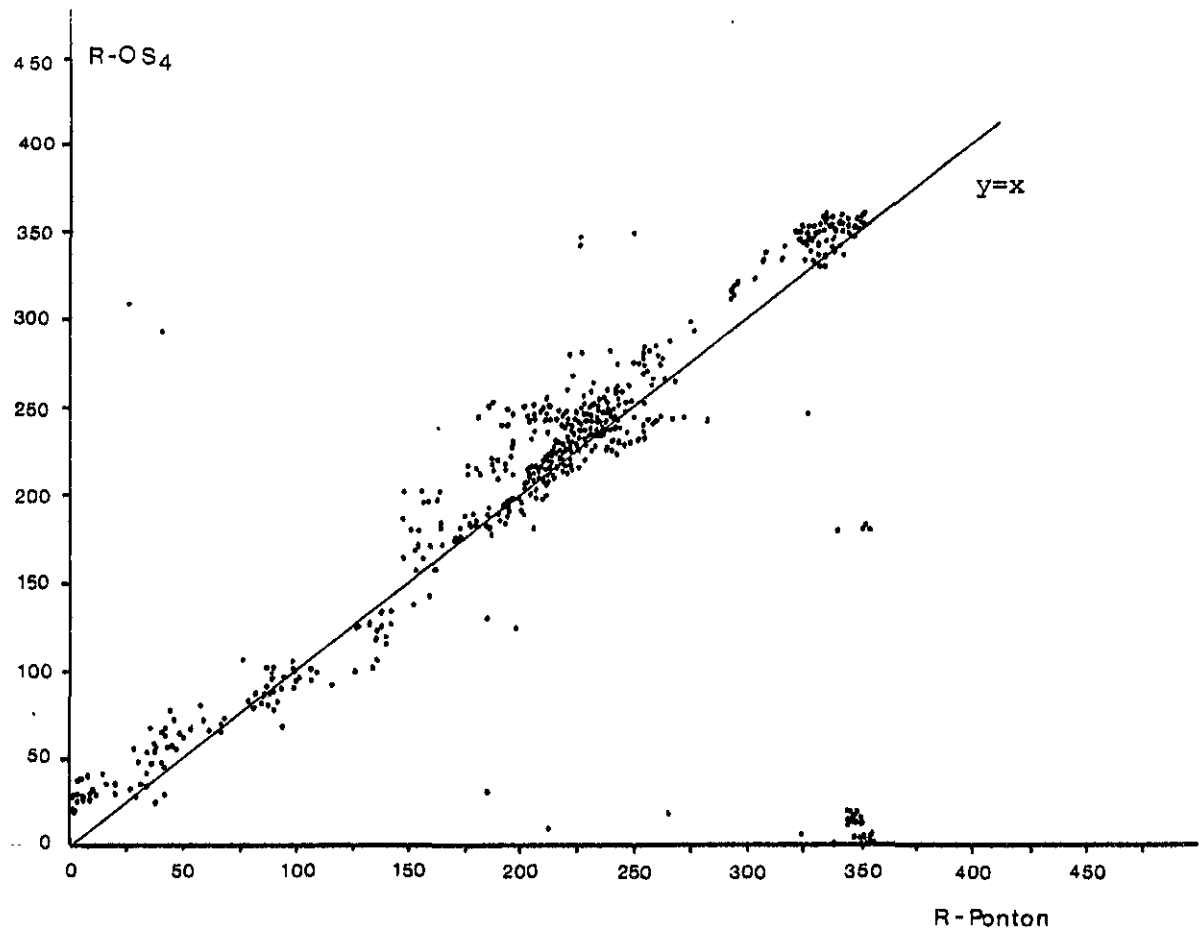


Fig. 6.2.2 : Verband windrichting Ponton vs windrichting OS4

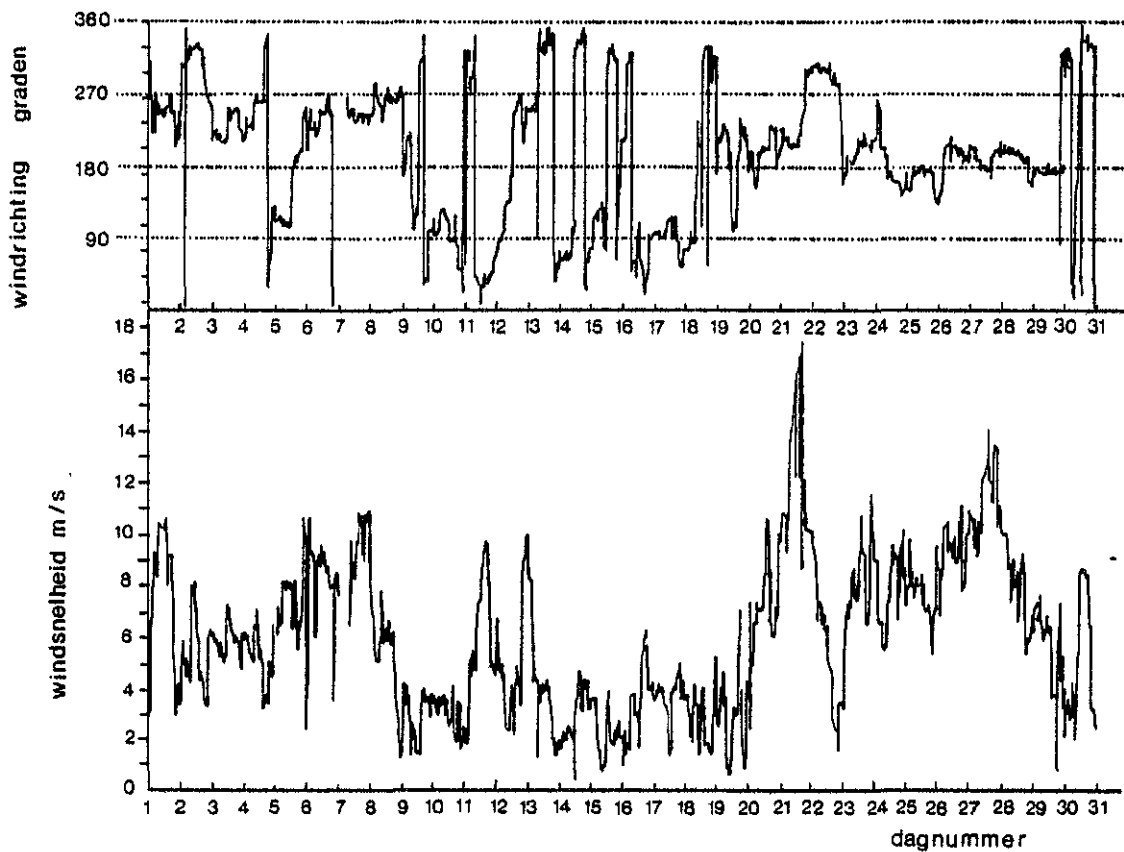


Fig. 6.2.3 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) september 1982

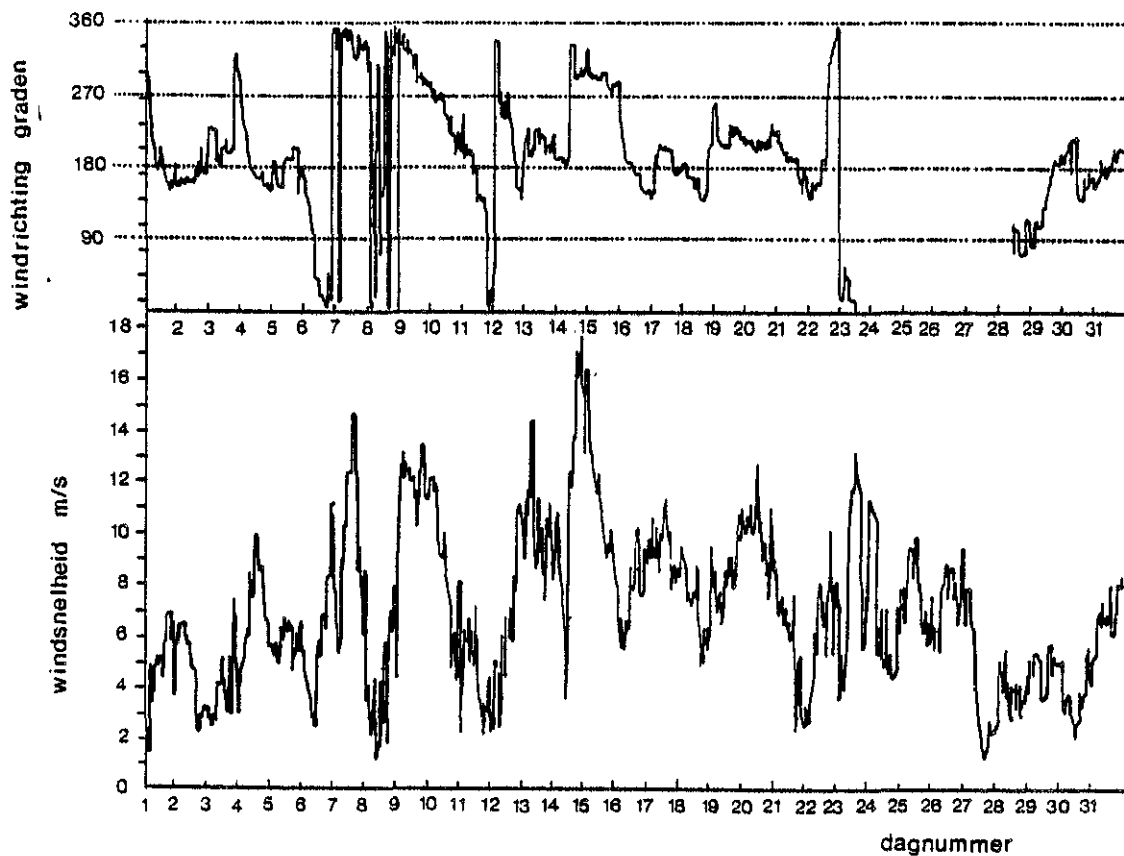


Fig. 6.2.4 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) oktober 1982

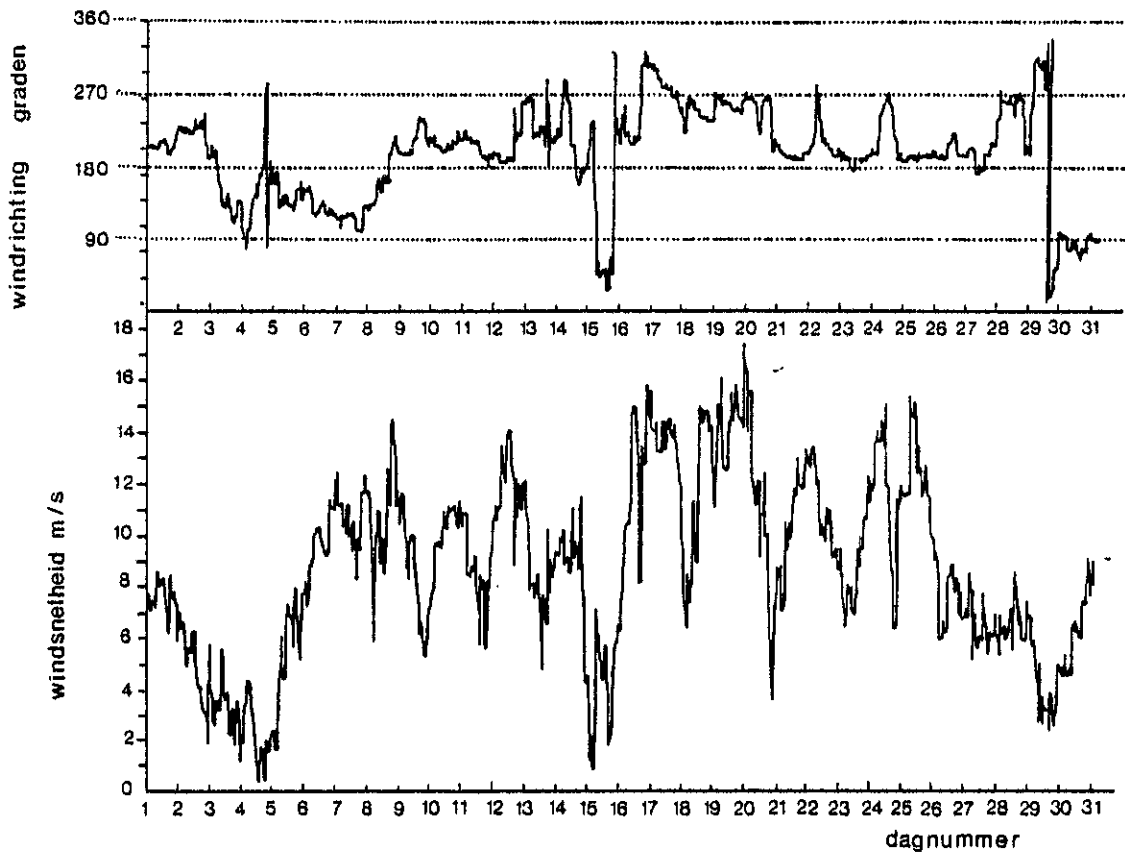


Fig. 6.2. 5: Windsnelheid en windrichting (OS₄) november 1982

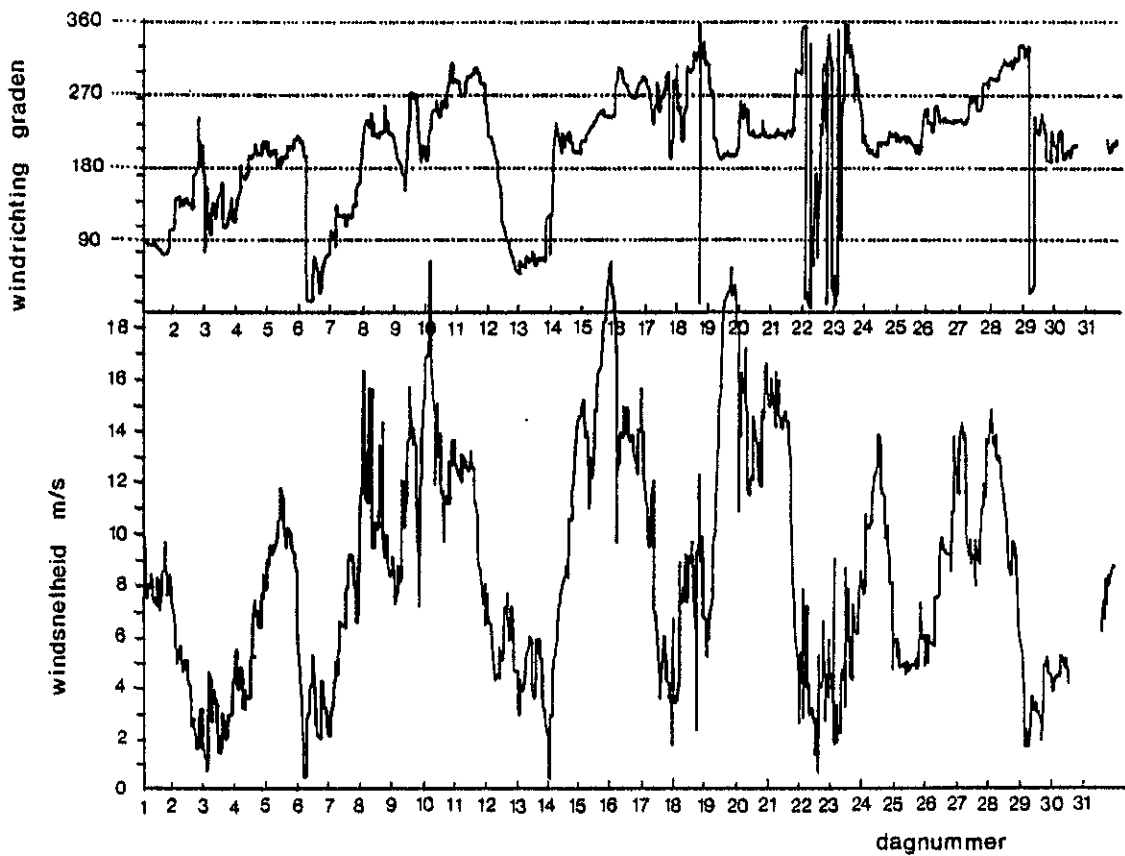


Fig. 6.2. 6 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) december 1982

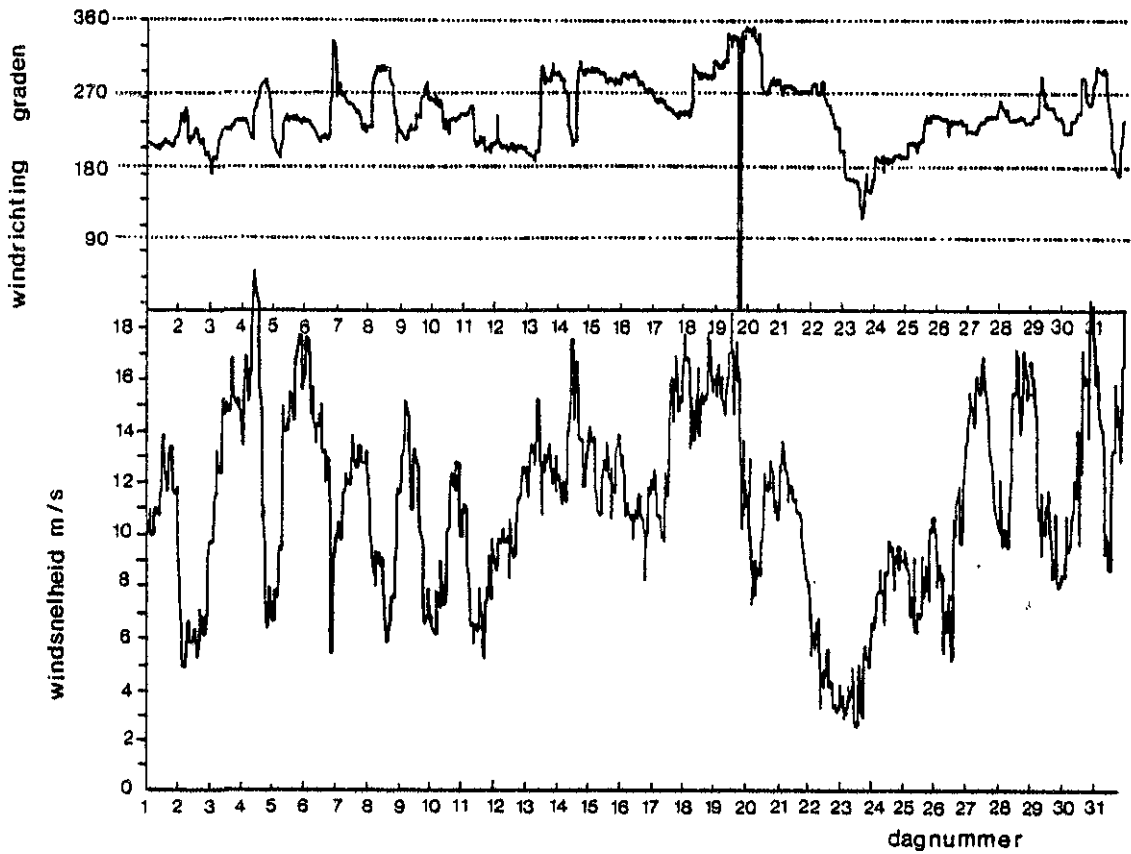


Fig. 6.2.7 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) januari 1983

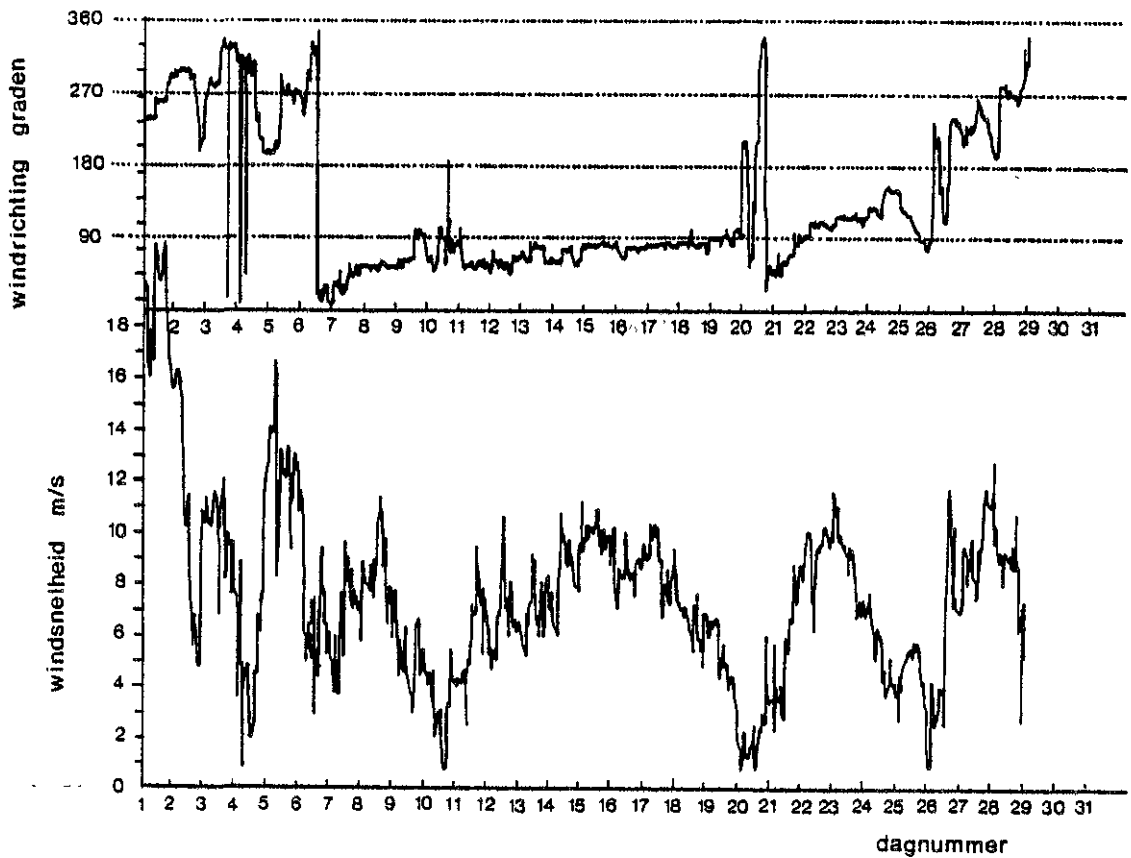


Fig. 6.2.8 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) februari 1983

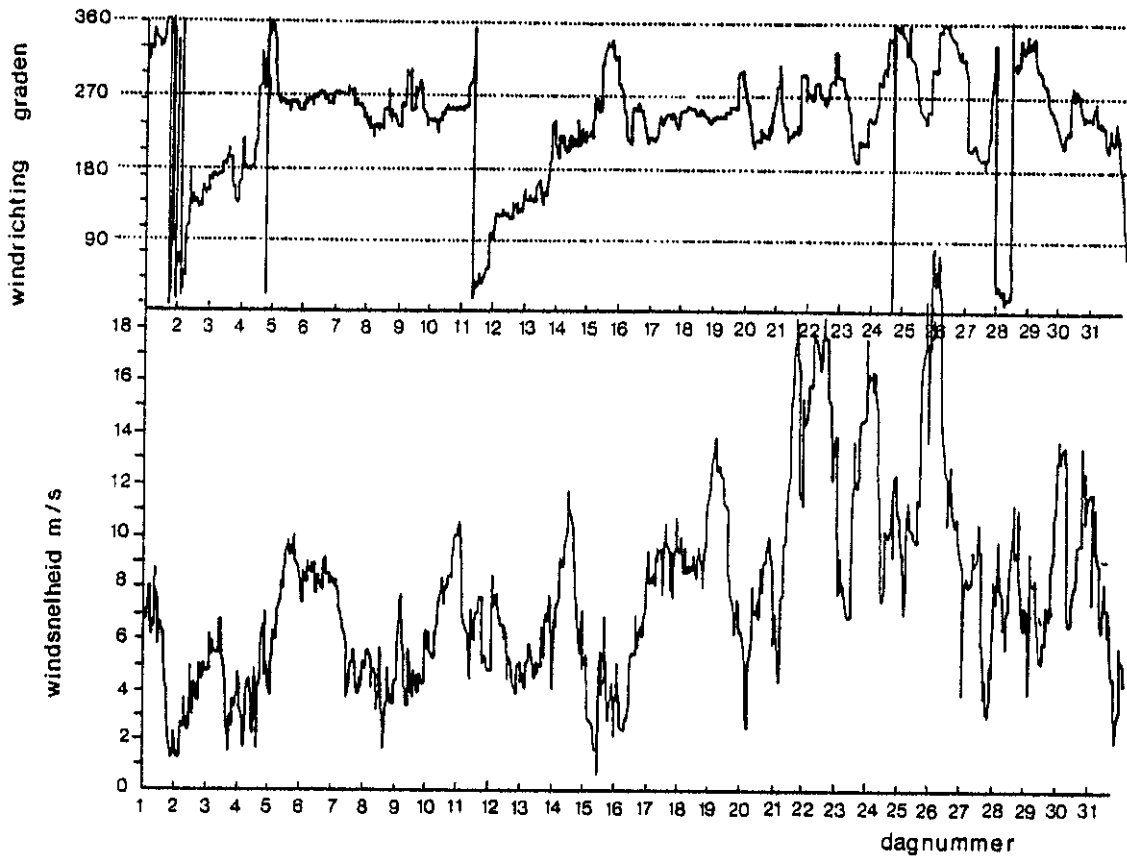


Fig. 6.2.9 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) maart 1983

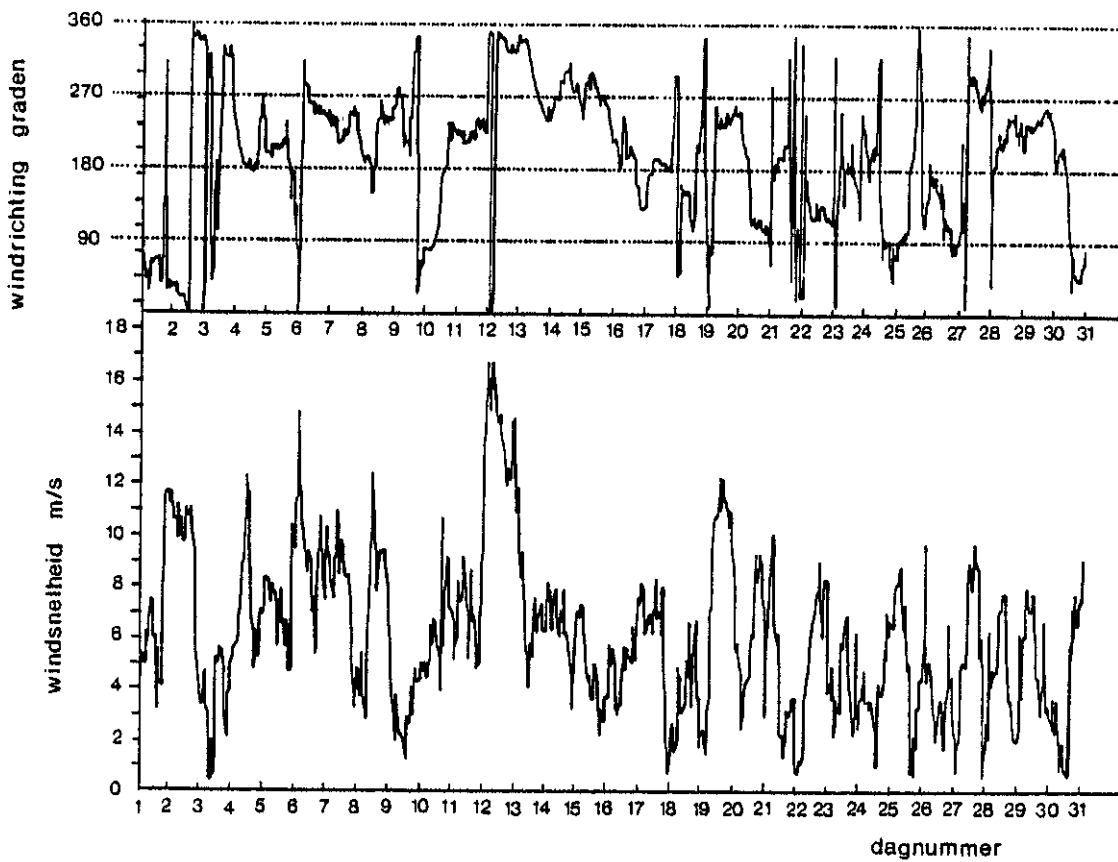


Fig. 6.2.10: Windsnelheid en windrichting (OS₄) april 1983

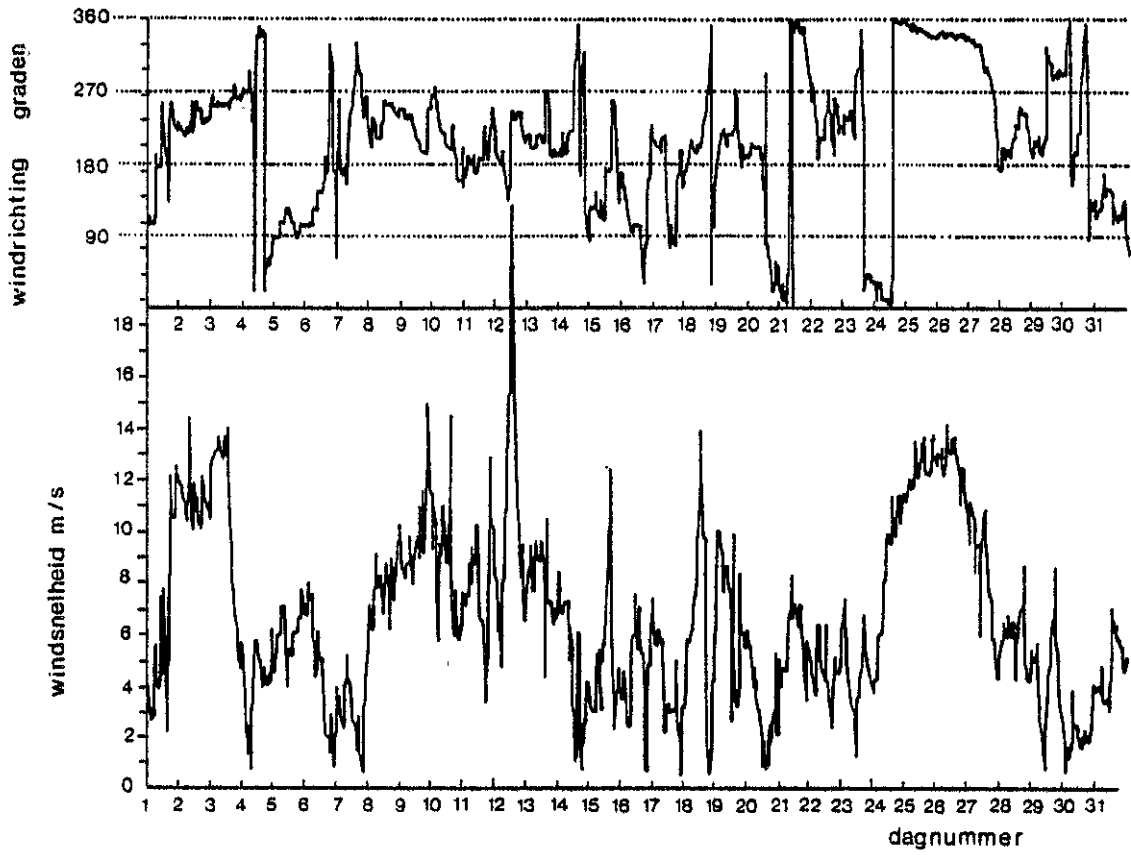


Fig. 6.2.11: Windsnelheid en windrichting (OS₄) mei 1983

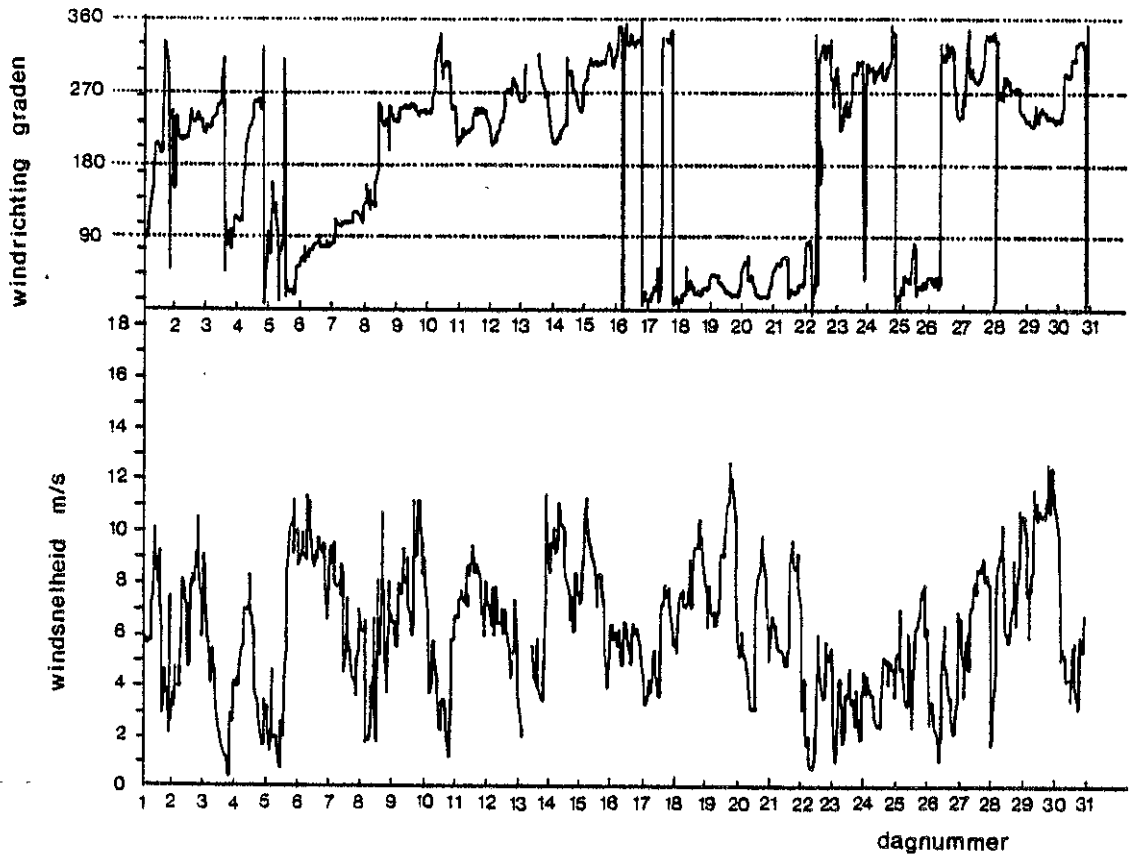


Fig. 6.2.12: Windsnelheid en windrichting (OS₄) juni 1983

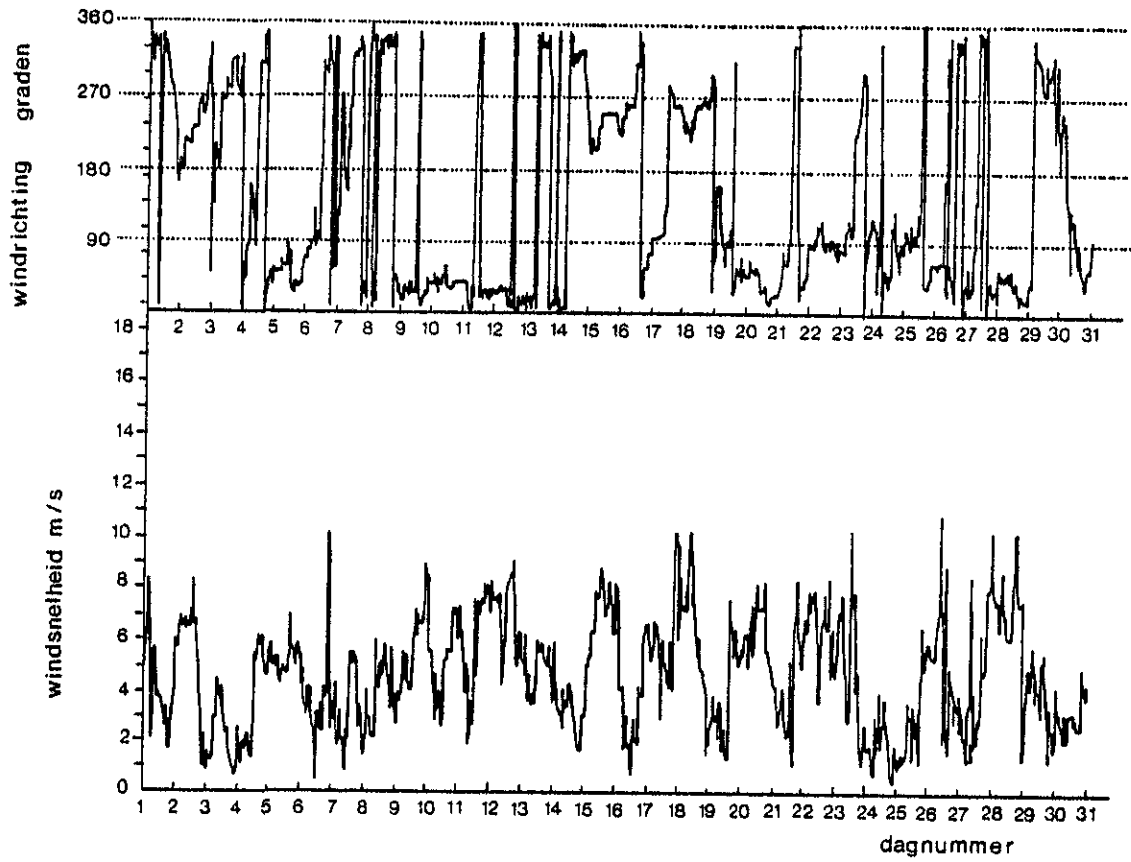


Fig. 6.2.13: Windsnelheid en windrichting (OS₄) juli 1983

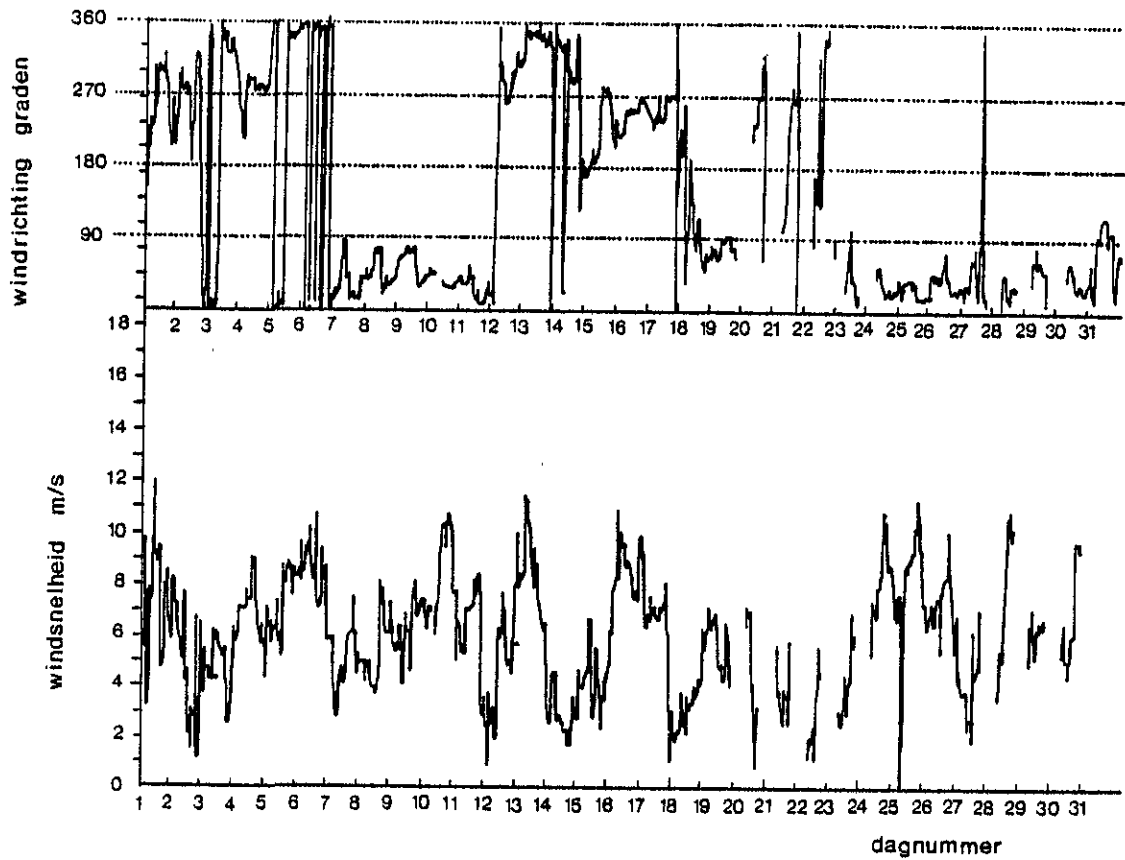


Fig. 6.2.14 : Windsnelheid en windrichting (OS₄) augustus 1983

6.3. Hydraulica

6.3.1. Stroom

1. verloop U-AZTM en Ri-AZTM bij windsnelheden kleiner dan 5 m/s

In fig. 6.3.1. en fig. 6.3.2. staat het verloop in de tijd van de stroomrichting en snelheid bij Ponton en Stelling, van doodtij tot springtij. De figuren zijn samengesteld voor condities met windsnelheden kleiner dan 5 m/s.

Kentering valt bij Ponton en Stelling op hetzelfde tijdstip. De stroomrichting bij eb is identiek voor beide meetlocaties. Bij vloed verschilt de richting $\pm 20^\circ$. Het verloop van de stroomsnelheid in de tijd vertoont een aantal verschillen. Bij springtij is het verloop bij het Ponton asymmetrisch (vloeddominant) en bij de Stelling symmetrisch. Bij doodtij is het net andersom. Opvallend is dat de afname van vloodsnelheid bij Ponton en Stelling even snel verloopt. Ook de vertragende ebstroom komt qua verloop overeen.

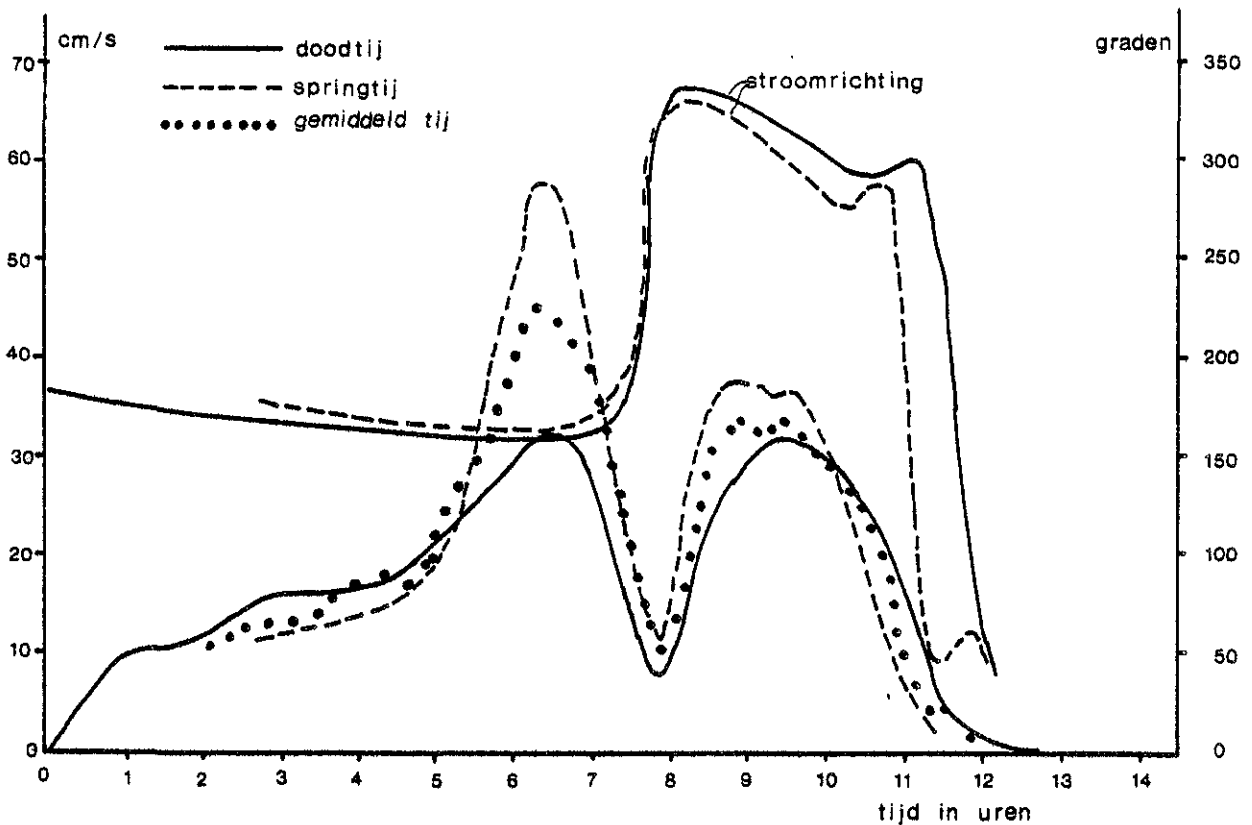


Fig. 6.3.1.: Stroomsnelheid en -richting AZTM Ponton, wind < 5 m/s.

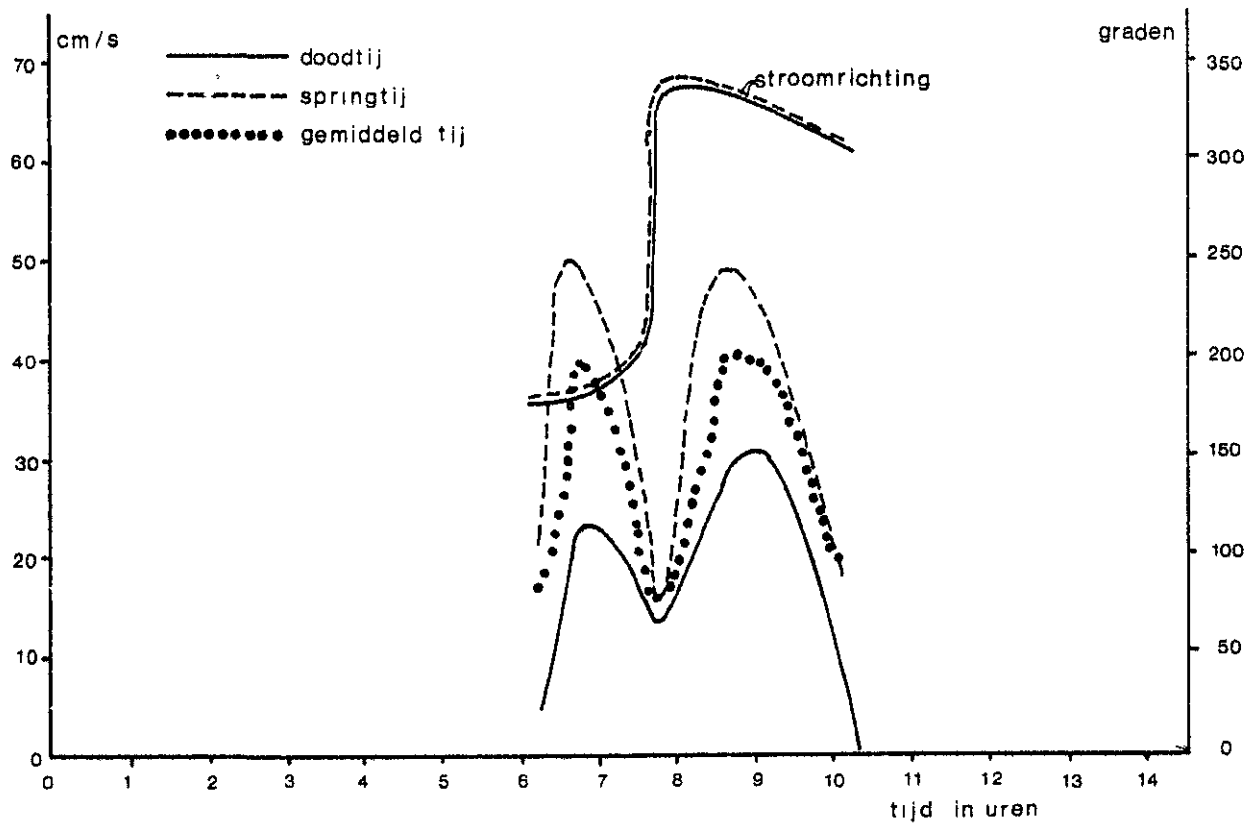


Fig. 6.3.2.: Stroomsnelheid en -richting AZTM Stelling, wind < 5 m/s.

2. Verloop U-AZTM en Ri-AZTM bij windsnelheden groter dan 5 m/s

Longshore currents

Bij een windsnelheid boven de 7 m/s. en een wind uit een richting tussen de 180° en 360°, kan bij het Ponton gedurende het eerste deel van de vloed of het laatste deel van de eb een longshore current ontstaan. Waait de wind uit NW-richtingen dan werkt de longshore current met de vloed mee en de eb tegen. ZW-winden werken de vloed tegen en met de eb mee. Als de windsnelheid boven de 10 m/s. uitkomt kan de eb- of vloedstroomrichting zelfs worden omgekeerd. In fig. 6.3.3. staat het verband tussen de windsnelheid uit de twee dominante windsectoren en de opgetreden maximum longshore current (volgens AZTM-PONTON). De duur van een longshore current is beperkt, zodra het water niet meer langs de plaatrand wordt gedwongen te stromen maar over de plaat heen, houdt ze op te bestaan.

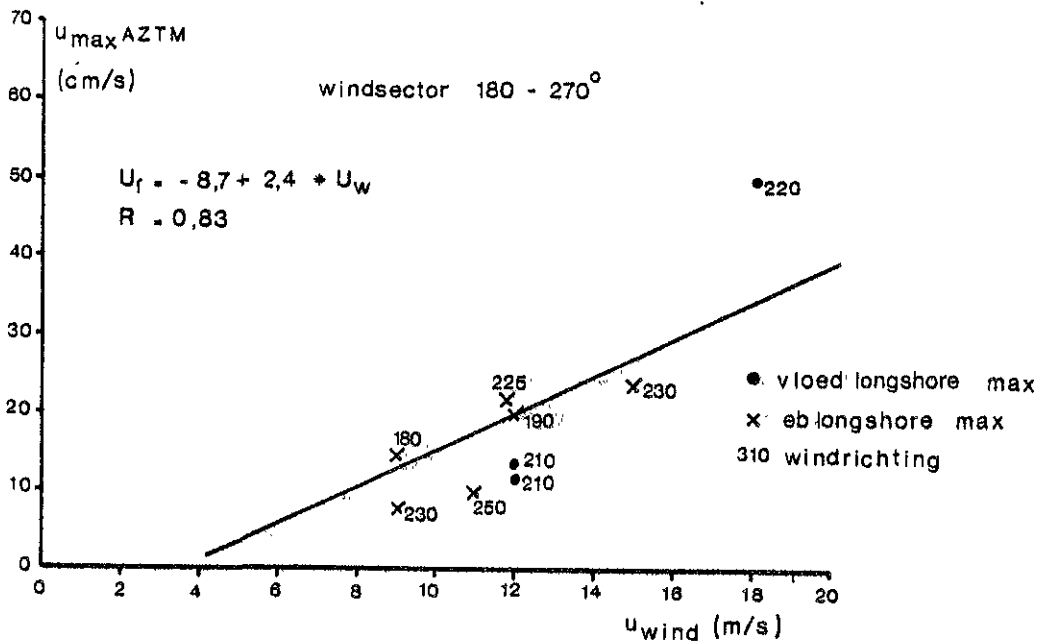
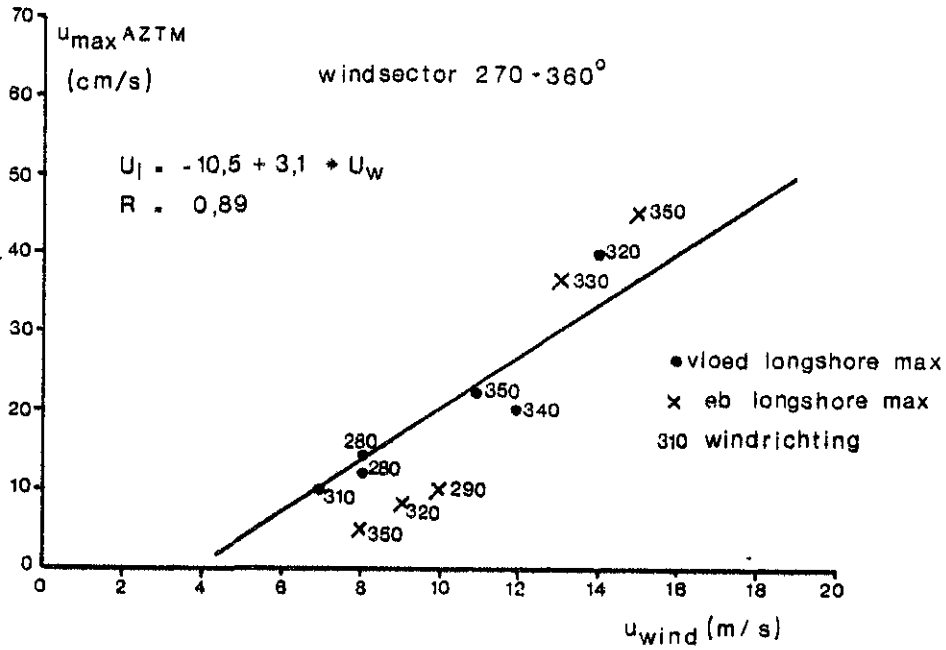


Fig. 6.3.3 : Verband u_{wind} en $u_{longshore\ maximum}$

Bovendien is de longshore current beperkt tot de brekerzone. Om een longshore current te kunnen berekenen (voorspellen) moet de invalshoek van de golven bekend zijn. Helaas is dit tijdens de meetperiode nooit gemeten. Getracht is nu om na te gaan of het gemeten longshore current maximum in de buurt ligt van het maximum berekend met de formule (Komar-Inmann, 1970):

$$\bar{U}_1 = 2.7 * U_M * \sin(\alpha_\beta) * \cos(\alpha_\beta) \quad (6.1)$$

waarbij:

\bar{U}_1 = de longshore current in het midden van de breker zone

U_M = de maximum horizontale orbitaalsnelheid (bij de bodem)

α_β = de invalshoek van de brekende golven.

Met behulp van de formule is berekend bij welke invalshoek (α_β), de berekende en de gemeten longshore current overeenkomen, rekening houdend met een vertragend of juist versnellend werkende vloed of eb. Het blijkt dat \bar{U}_1 en U-AZTM goed overeenkomen bij een invalshoek tussen de 5 en 10 graden (fig. 6.3.4.). Gezien de geringe hellingshoek van de plaatrand lijkt een zodanige refractie van de golven zeer wel mogelijk.

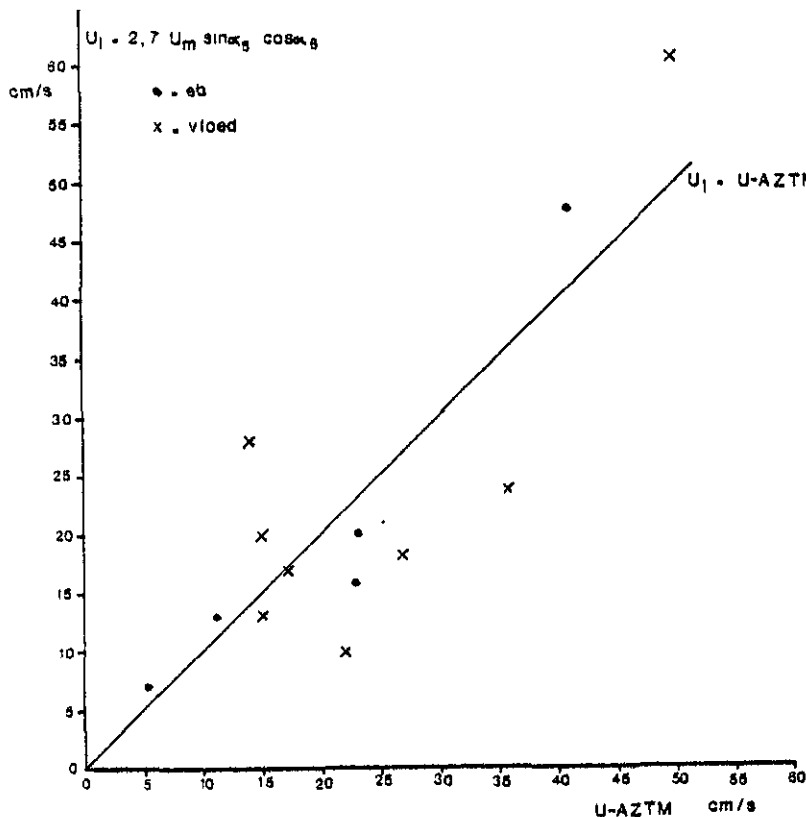


Fig. 6.3.4: Berekende en waargenomen longshore current.

De windgedreven component van de stroom

Om de windgedreven component van de stroom te bepalen is het noodzakelijk de stroomsnelheid onder normale condities voor een bepaalde getijcyclus te kunnen voorspellen. Dit is momenteel nog niet mogelijk. Aan de hand van fig. 6.3.1. en 6.3.2. is in plaats daarvan de windgedreven component afgeschat op het moment van maximale vloed of eb. De gemeten stroomsnelheid is vergeleken met de (afgeschatte) te verwachten stroomsnelheid. De resultaten staan in fig. 6.3.5. Helaas ontbreken voor de Stelling metingen met windsnelheden hoger dan 11 m/s. De plaatjes lijken te bevestigen dat een windsnelheid beneden de 5 m/s. bij het Ponton navenant geen invloed meer heeft op de stroomsnelheid van het water.

Invloed van de wind op de stroomrichting

Beïnvloeding van de stroomrichting begint pas op te treden bij windsnelheden boven de 7 m/s. Bij windsnelheden beneden de 15 m/s. is windbeïnvloeding slechts merkbaar indien de plaatselijke waterstand niet hoger is als ± 1.3 m. Wind uit noordelijke richtingen zorgt voor een lang aanhouden van de vloedrichting en een vroeg optreden van de vloedrichting tijdens het laatste deel van de eb. Omgekeerd wordt met zuidelijke winden de eb-richting dominant. Bij windsnelheden boven de 15 m/s. kunnen naargelang de windrichting, de eb- of vloedrichting zeer dominant worden. Zo is er op de 12e april nauwelijks een eb geweest bij een stormachtige noordelijke wind (± 16 m/s).

3. Gemiddelde stroomsnelheid

Nagenoeg alle stroomsnelheidsvertikalen zijn gemeten onder omstandigheden waarbij de windinvloed verwaarloosbaar was. Hierbij bleek de vorm van de vertikaal logaritmisch te zijn. De stroomsnelheid als functie van de afstand tot de bodem is hierbij als volgt weer te geven:

$$U(Z,t) = a(t) \ln Z + b(t) \quad (6.2)$$

Waarbij $U(Z,t)$: stroomsnelheid op tijdstip t op afstand Z boven de bodem (cm/s)

$a(t)$; $b(t)$: coëfficiënten

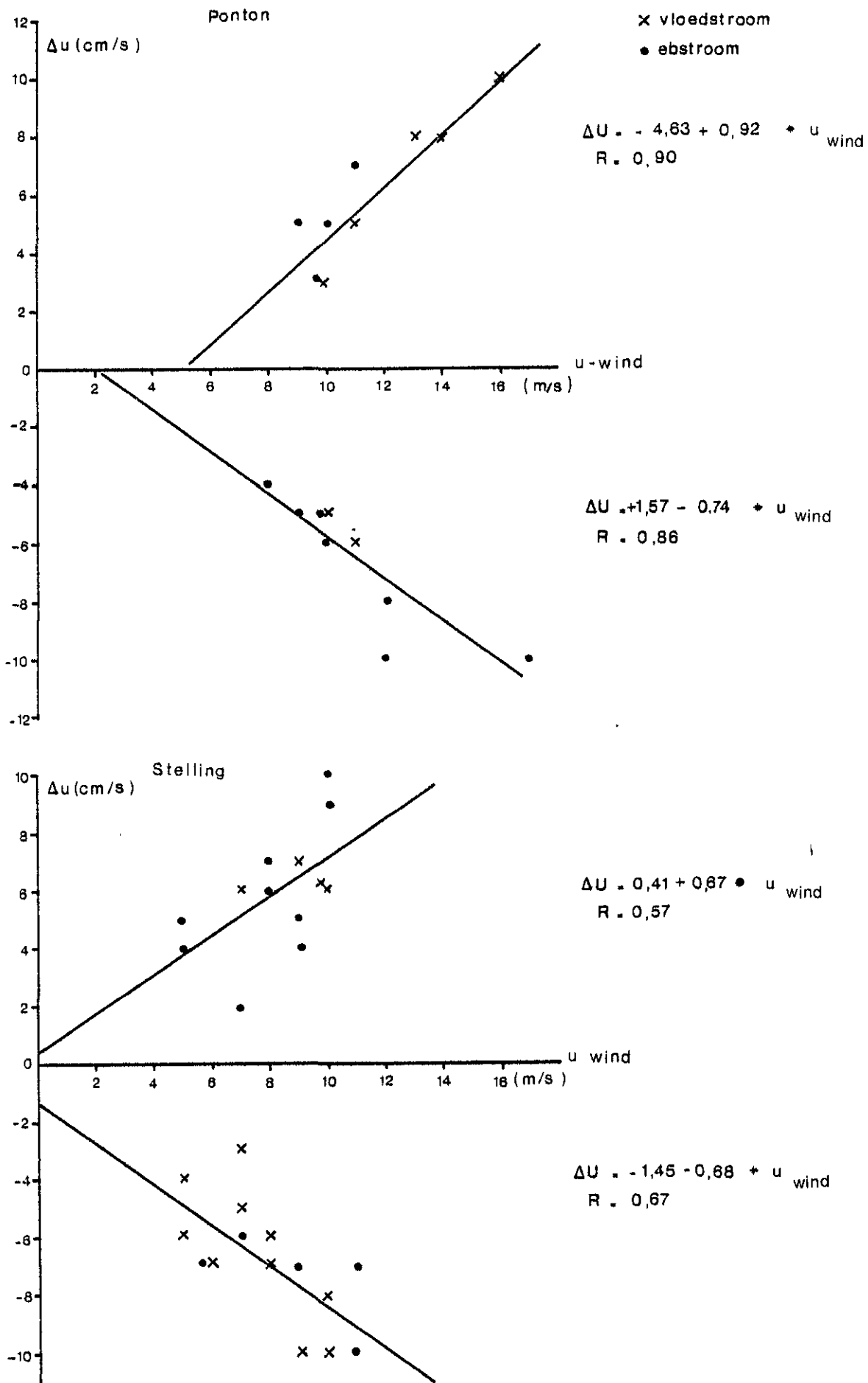


Fig. 6.3.5 : Windgedreven componentstroom Ponton en Stelling

Met behulp van bovenstaande vergelijking kan de over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid worden berekend (vergelijk Kohsiek et al., 1981), volgens:

$$\bar{u}(t) = b(t) - a(t) + a(t) \ln d(t) \quad (6.3)$$

en $\bar{u}(t)$: over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid op tijdstip t (m/s.)

$d(t)$: lokale momentane waterdiepte (cm).

In fig. 6.3.6. is het verband tussen de gemiddelde stroomsnelheid en de door de AZTM, op 30 cm boven de bodem gemeten stroomsnelheid weergegeven (ponton). Het verband is lineair:

$$\text{Ponton} : \bar{u} = 3.02 + 1.155 * U_{AZTM} \quad R = 0.950 \quad N = 140 \quad (6.4a)$$

$$\text{Stelling} : \bar{u} = 1.05 + 1.081 * U_{AZTM} \quad R = 0.984 \quad N = 104 \quad (6.4b)$$

waarbij: \bar{u} en U_{AZTM} in cm/s.

Beide vergelijkingen geven aan dat met een puntmeting (AZTM) een goed beeld van het over de vertikaal gemiddelde snelheidsveld kan worden verkregen. In verband met de verandering van de relatieve positie van de AZTM in de vertikaal bij veranderende waterdiepte is het nauwkeuriger om bij de berekening van de gemiddelde snelheid zowel met de door de AZTM gemeten stroomsnelheid als met de momentane waterdiepte rekening te houden. De resultaten van een multivariate analyse zijn als volgt:

$$\text{Ponton} : \bar{u} = -4.16 + 1.022 * U_{AZTM} + 0.044 * \text{Diepte} \quad R = 0.97 \\ N = 82 \quad (6.5a)$$

$$\text{Stelling} : \bar{u} = -7.56 + 1.078 * U_{AZTM} + 0.065 * \text{Diepte} \quad R = 0.99 \\ N = 101 \quad (6.5b)$$

$$\text{Ponton + Stelling} : \bar{u} = -4.34 + 1.053 * U_{AZTM} + 0.043 * \text{Diepte} \quad R = 0.98 \\ N = 183 \quad (6.5c)$$

waarbij: \bar{u} en U_{AZTM} in cm/s en de waterdiepte in cm.

In het navolgende zal vrijwel alleen gebruik gemaakt worden van de gemiddelde stroomsnelheid.

Betreffende de windbeïnvloeding van de snelheidsvertikaal staan dermate weinig metingen ter beschikking dat hierover geen uitspraak kan worden gedaan. In het navolgende wordt hiermee dan ook geen rekening gehouden.

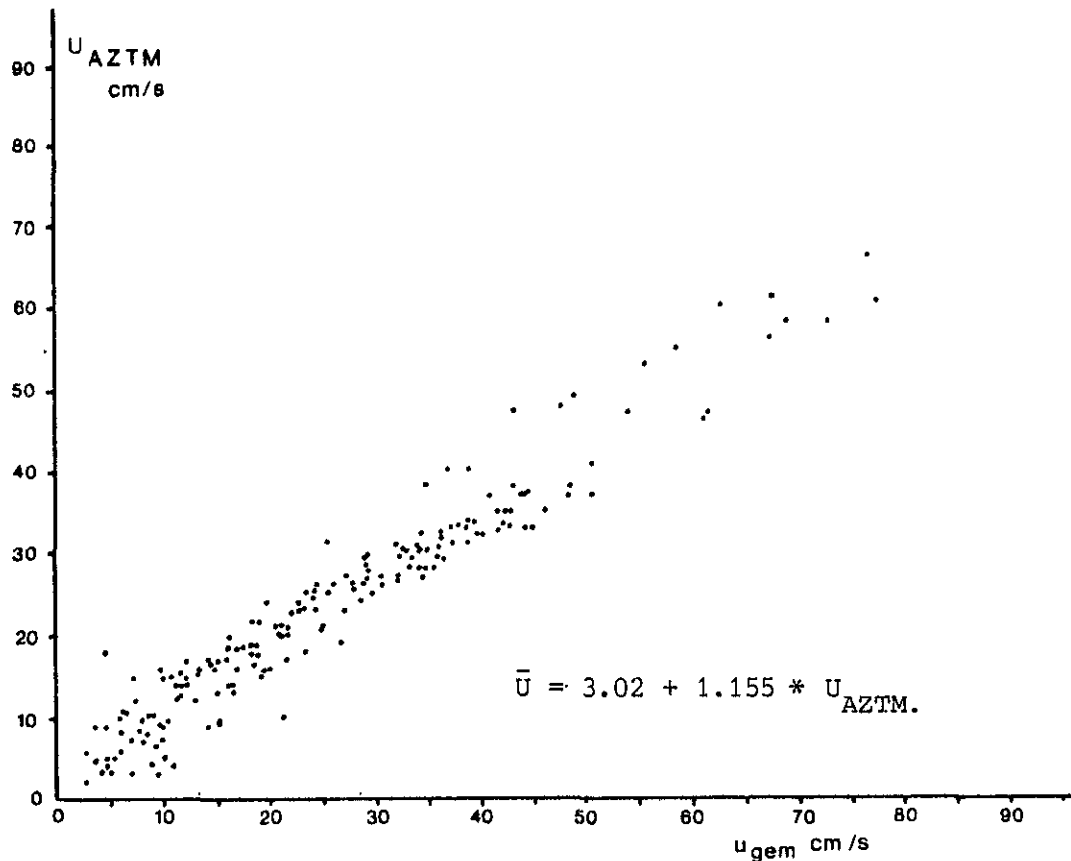


Fig. 6.3.6: Verband AZTM stroomsnelheid en gemiddelde snelheid (Ponton).

6.3.2. Golven

1. Meetmethode en verwerking

Bij ponton (Gala) en stelling (Gaho) zijn golven geregistreerd met behulp van een stappenbaak. De elektrodenafstand bedraagt 5 cm. De golfregistraties (inwinfrequentie 2 Hz) hebben ieder half uur gedurende 20 minuten plaatsgevonden. Van de 172 parameters (vergelijk gebruikersspecificatie golfprocessor) zijn de volgende gebruikt:

- waterstand in cm t.o.v. N.A.P.
- golfhoogte $H^{1/3}$, $H_{M0} = 4\sqrt{M0}$, $H^{1/10}$, $H^{1/50}$, H_{max} in cm
- periode $T_{M02} = \sqrt{M0/m^2}$ in sec.

De overige periodeparameters (GGT , $T^{1/3}$, $TH^{1/3}$, T_{MAX}) bleken onbetrouwbaar. Dit is een gevolg van de meetmethode (5 cm baak, inwinfrequentie 2 Hz) en de verwerkingsmethode (golfprocessor):

- a. Lage golven in combinatie met de relatief grote elektrodenafstand en het relatief geringe aantal metingen per golf geeft aanleiding tot zeer grote waarden van de periode parameters GGT, $H^{1/3}$, $TH^{1/3}$ en T_{MAX} . De parameter TMO2 is hiervoor ongevoelig omdat de golf-energie (MO) voor zeer lage golven naar nul gaat.
- b. Bij relatief lage korte golven (hoogte ongeveer 25 cm; periode ongeveer 2 sec.) ontstaan fouten tengevolge van de combinatie inw-frequentie (2 Hz), elektrodenafstand (5 cm) en de verwerkingsmethode van de golfprocessor (vlg. Kuyk en Leenman, 1983). De gebruikte golfhoogteparameters en de periodeparameter TMO2 zijn hiervoor het minst gevoelig.

Gezien bovenstaande zijn golfregistraties waarbij $H^{1/3} > 10$ cm of MO nadert tot nul of TMO2 < 1 sec. verworpen.

Gebruikmakend van $H^{1/3}$, TMO2 en de waterdiepte is de maximale horizontale orbitaalsnelheid $U_{MAX}(z = -d)$ bij de bodem uitgerekend:

$$U_{MAX}(z = -d) = \frac{\pi H^{1/3}}{TMO2} \frac{1}{\sinh(kd)} \quad (6.6)$$

waarbij k = golfgetal.

Tengevolge van het slechte functioneren van de electromagnetische snelheidsmeters was geen vergelijking mogelijk tussen berekende en werkelijke orbitaalsnelheden.

2. Golfvoorspelling

Voor iedere windsector van 30 graden is het verband bepaald tussen de golfhoogteparameters $H^{1/3}$, de lokale waterdiepte (D) en de windsnelheid. Idem voor de periode parameter TMO2. De best fittende regressielijnen hebben de volgende vorm:

$$H^{1/3}/D = A + B * U_{WIND}/\sqrt{D} \quad (6.7)$$

$$TMO2/\sqrt{D} = C + E * U_{WIND}/\sqrt{D} \quad (6.8)$$

Waarbij: D: lokale waterdiepte in cm.

U_{WIND} : windsnelheid (Galgeplaat) in cm/s.

De berekende verbanden voor windsnelheden groter dan 5 m/s, zijn weergegeven in de tabellen 6.3.1 en 6.3.2 (respectievelijk voor ponton en stelling) en in de fig. 6.3.7. en 6.3.8. Bij het ponton zijn de

correlatiecoëfficiënten behorende bij de berekende verbanden in de orde van 0.9 bij de voorspelling van $H^1/3$ en 0.8 bij de voorspelling van de golfperiode. Betreffende de golfvoorspelling voor de Stelling is de populatiegrootte voor het merendeel van de windsectoren te klein.

Bij de ponton (fig. 6.3.7.) blijken de hoogste golven in de sector 240-270 graden te worden opgewekt. Dit is de windsector, met de kortste fetch, die dwars op de plaatrand staat. Golven uit deze richting ondergaan relatief weinig verandering in hoogte door refractie, in vergelijking met golven komende uit andere richting sectoren. Bij oostenwind (90-150°) dringen slechts lage golven door tot bij het ponton. Toenemende windsnelheden leiden daarbij slechts tot een geringe toename van de golfhoogte.

In fig. 6.3.9. is een voorbeeld gegeven van het verband tussen U_{wind}/\sqrt{D} en $H^1/3/D$. Het blijkt dat de verhouding $H^1/3/D$ niet groter wordt dan 0.42. De golfgroei wordt beperkt door breken! Voor alle windsectoren blijkt de verhouding van $H^1/3/D$ waarbij de golven gaan breken tussen de 0.4 en 0.5 te liggen.

Tabel 6.3.1.: Resultaten correlatieberekeningen wind-golven: Ponton

Windsnelheden Galgeplaat groter dan 5 m/sec.

Sector (graden)	Golfhoogte				Golfperiode				
	A	B	R	N	C	E	R	N	
0- 30	-0.023	0.0021	0.925	41	0.008	0.0019	0.914	41	$H^1/3/D=A+B * U_{WIND}/\sqrt{D}$
30- 60	-0.107	0.0043	0.945	47	0.017	0.0018	0.890	47	$TMO2/\sqrt{D} =C+E * U_{WIND}/\sqrt{D}$
60- 90	-0.113	0.0041	0.919	35	0.027	0.0015	0.948	35	$H^1/3$ in cm
90-120	0.054	0.0003	0.142	25	0.101	0.0002	0.117	25	TMO2 in sec.
120-150	0.009	0.0012	0.521	39	-0.010	0.0032	0.640	39	D in cm
150-180	-0.029	0.0021	0.921	110	-0.016	0.0028	0.699	110	U_{WIND} in cm/s.
180-210	-0.077	0.0031	0.910	218	0.000	0.0022	0.839	218	R: correlatiecoëfficiënt
210-240	-0.091	0.0036	0.916	254	0.036	0.0016	0.871	254	N: aantal getallen paren
240-270	-0.124	0.0044	0.919	251	0.036	0.0017	0.864	251	
270-300	-0.067	0.0036	0.987	81	0.029	0.0016	0.914	81	
300-330	-0.069	0.0036	0.852	78	0.029	0.0015	0.695	78	
330-360	-0.023	0.0031	0.930	77	0.049	0.0012	0.914	77	

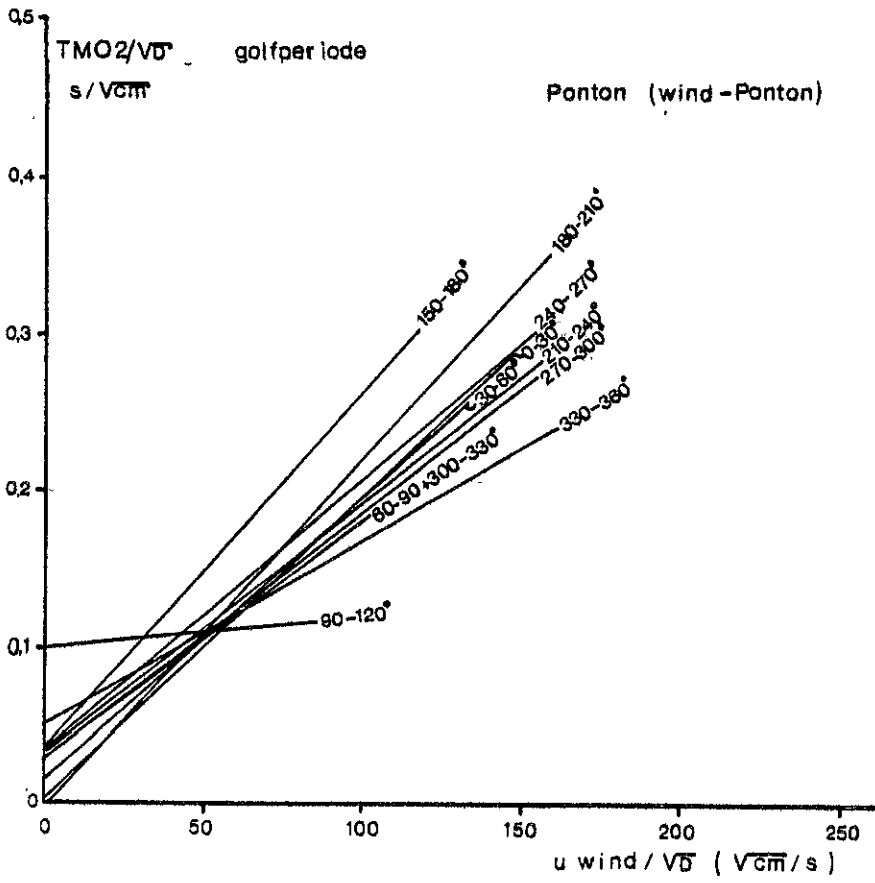
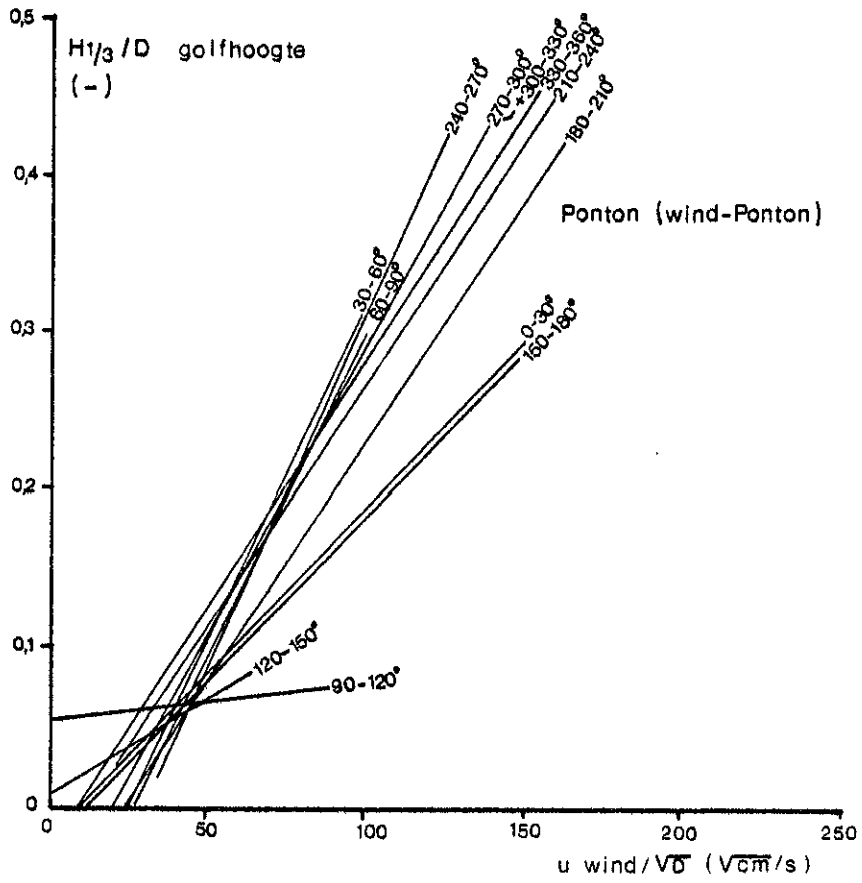


Fig. 6.3.7: Golfvoorspelling Ponton

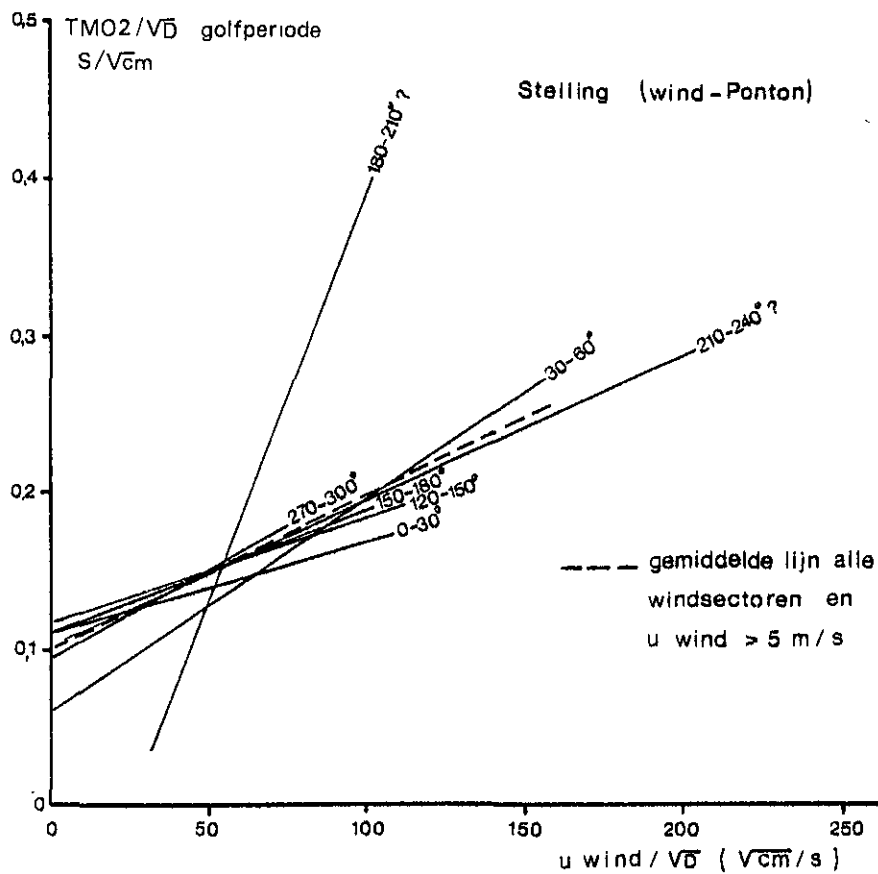
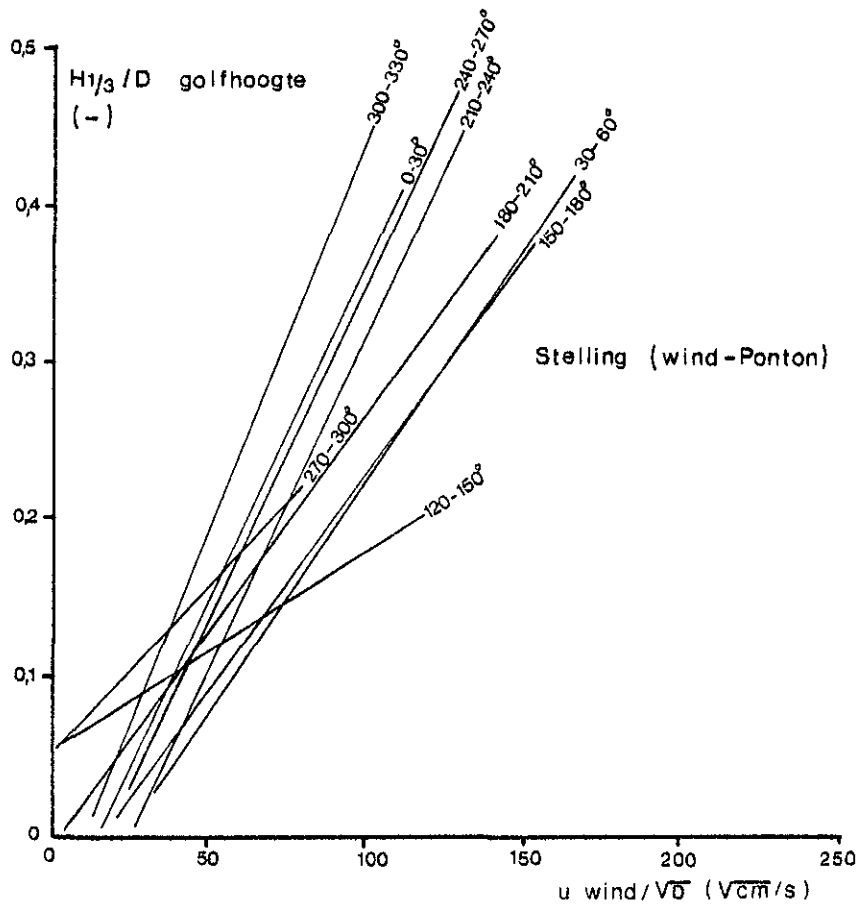


Fig. 6.3.8 : Golfvoorspelling Stelling

Tabel 6.3.2.: Resultaten correlatieberekeningen wind-golven: Stelling

Windsnelheden Galgeplaat groter dan 5 m/sec.

Sector (graden)	Golfhoogte								
	A	B	R	N	C	E	R	N	
0- 30	-0.063	0.0043	0.981	11	0.012	0.0006	0.699	11	
30- 60	-0.075	0.0030	0.928	18	0.058	0.0014	0.874	18	$H^{1/3}/D = A+B * U_{WIND}/\sqrt{D}$
60- 90	1.535	-0.0237	1.0	2	0.841	-0.0116	1,0	2	$TMO2/\sqrt{D} = C+E * U_{WIND}/\sqrt{D}$
90-120	0.125	0.0007	0.751	6	0.172	0.0011	0.301	6	
120-150	0.053	0.0014	0.478	8	0.117	0.0007	0.454	8	
150-180	-0.050	0.0028	0.852	34	0.108	0.0008	0.434	34	
180-210	-0.012	0.0028	0.867	36	-0.129	0.0052	0.621	36	
210-240	-0.109	0.0043	0.793	30	0.102	0.0009	0.741	30	
240-270	-0.088	0.0044	0.829	60	0.098	0.0010	0.766	60	
270-300	0.053	0.0021	0.481	25	0.094	0.0011	0.412	25	
300-330	0.056	0.0050	0.936	21	0.120	0.0007	0.496	21	
330-360	0.228	0.0007	0.706	8	0.111	0.0008	0.489	8	

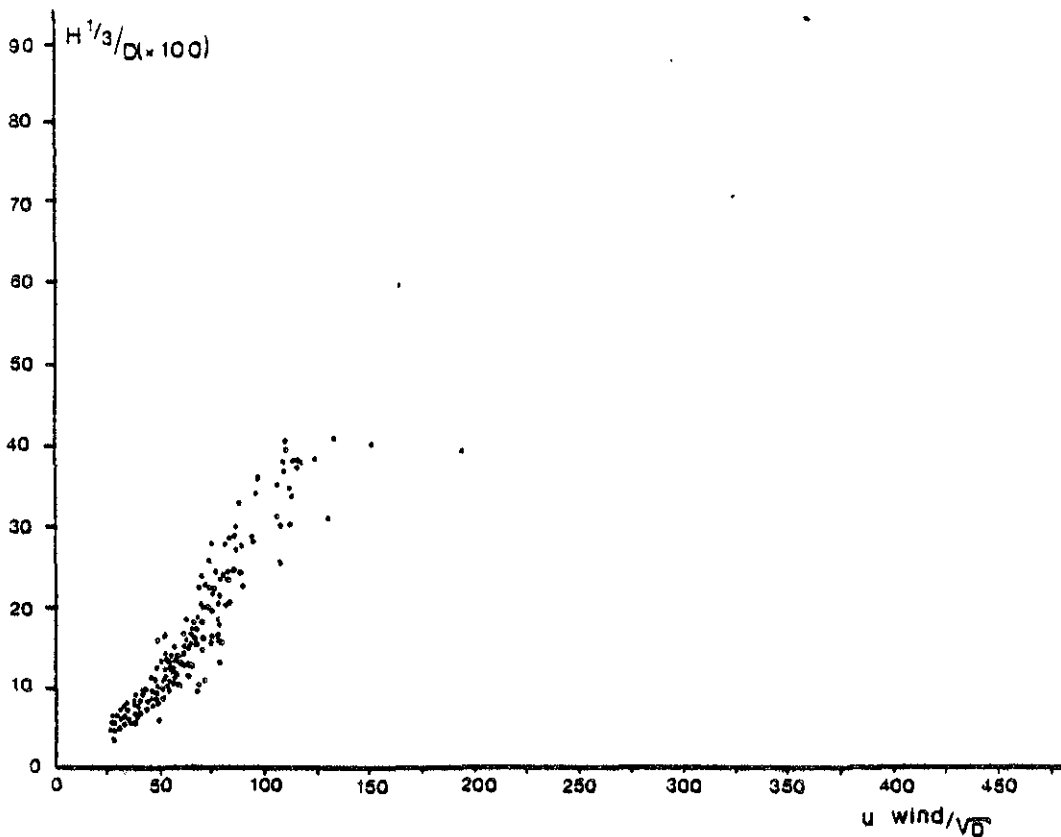


Fig. 6.3.9.: Ponton: Verband golven vs windsnelheid (Ponton) voor windsector 240 - 270 graden.

3. Vergelijking golfparameters Ponton-Stelling

Het verband tussen de totale golfenergie (MO), per registratie van 20 minuten, bij Stelling en Ponton is nagenoeg lineair (fig. 6.3.10.):

$$MO(\text{Stelling}) = 2.665 + 0.833 * MO(\text{Ponton}) \quad R=0.919 \quad N=296 \quad (6.9)$$

Voor een deel van de metingen blijkt dat de totale golfenergie bij de Stelling kleiner is dan die bij het Ponton. Daar beide meetposities binnen hetzelfde golfveld liggen, wijst dit op dissipatie van de golfenergie op ondiep water.

De relatie tussen $H^{1/3}$ (Stelling) en $H^{1/3}$ (Ponton) voldoet nagenoeg aan het verband $H^{1/3}$ (Stelling) = $H^{1/3}$ (Ponton) (fig. 6.3.11.).

De meetpunten die onder deze lijn liggen wijzen erop dat door bodemwrijving, percolatie en breken de golfhoogten van Stelling afnemen in vgl. met die bij Ponton. De regressielijn door alle meetpunten luidt:

$$H^{1/3}(\text{Stelling}) = 1.426 + 0.899 * H^{1/3}(\text{Ponton}) \quad R=0.925 \quad N=3.96 \quad (6.10)$$

Betreffende de vergelijking van de golfperioden (fig. 6.3.12.) blijkt de overeenkomst tussen Stelling en Ponton veel minder duidelijk dan hetgeen voor MO en $H^{1/3}$ is geconstateerd:

$$TMO2(\text{Stelling}) = 0.706 + 0.626 * TMO2(\text{Ponton}) \quad R= 0.750 \quad N=3.96 \quad (6.11)$$

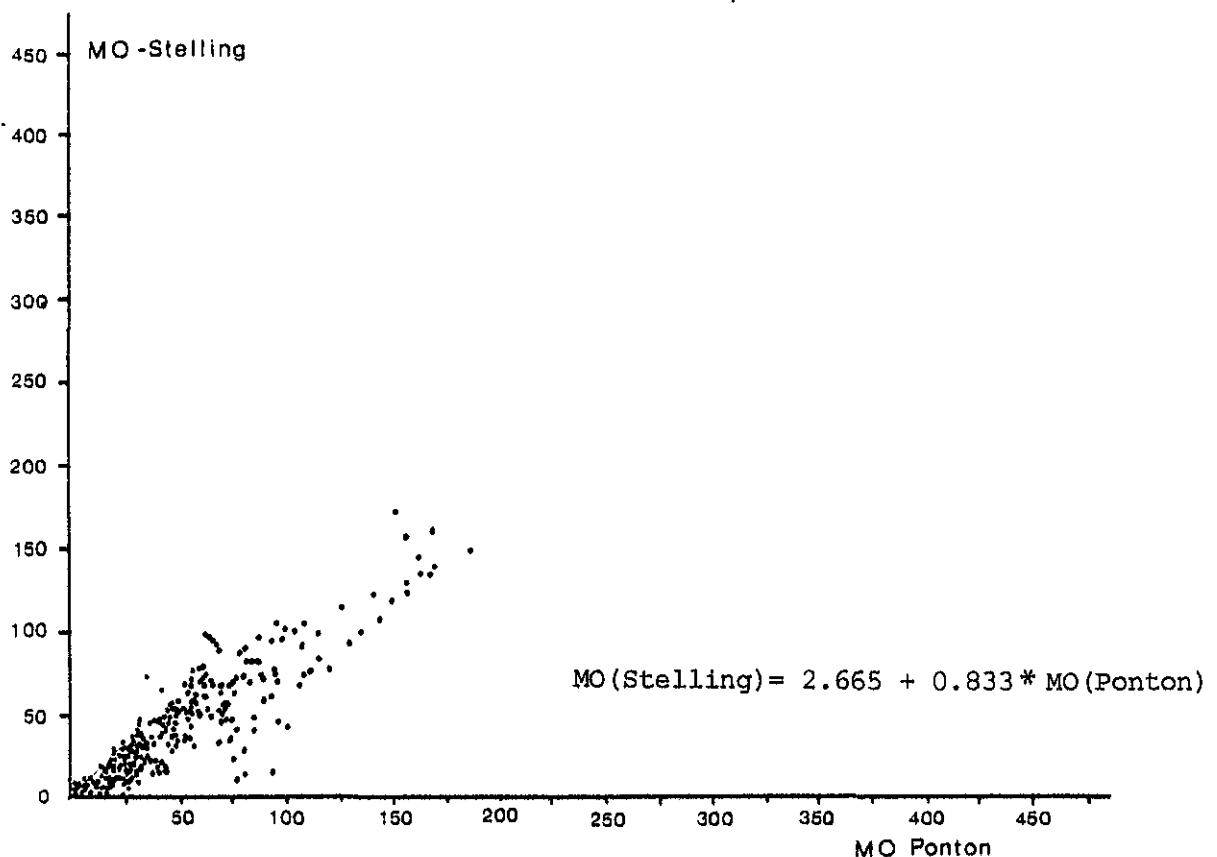


Fig. 6.3.10. Vergelijking totale golfenergie (MO) Ponton en Stelling.

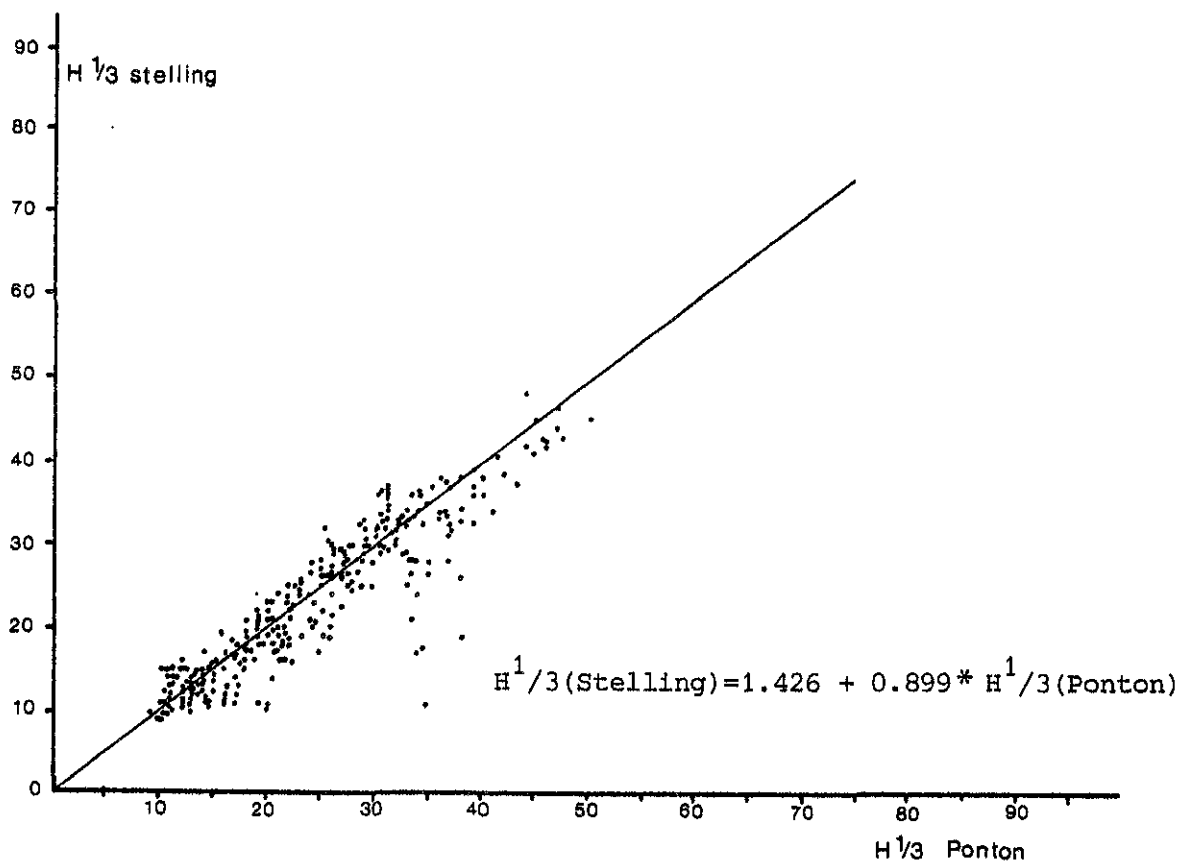


Fig. 6. 3. 11 Vergelijking golfhoogte $H^{1/3}$ Ponton en Stelling

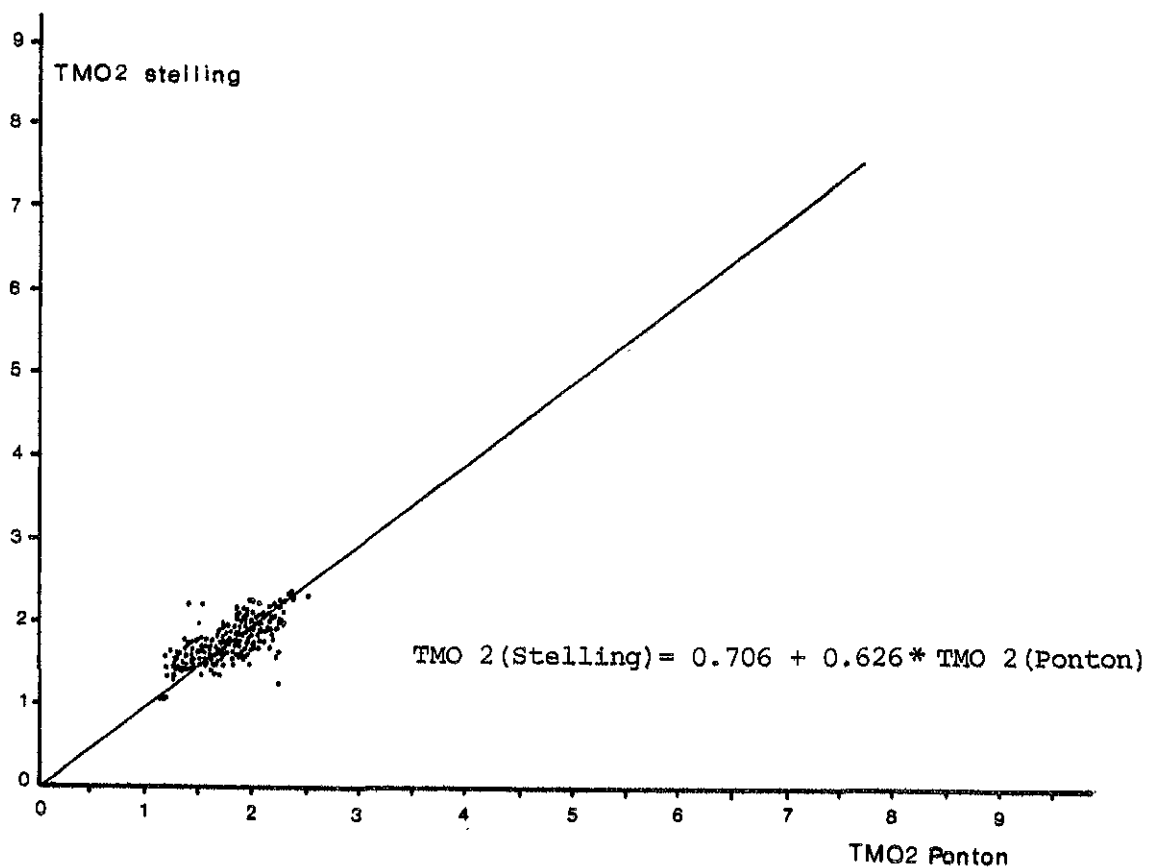


Fig. 6. 3. 12: Vergelijking golfperiode TMO2 Ponton en Stelling

6.3.3. Concentratie

1. Verloop concentratie AZTM (U orbitaal <10 cm/s)

Het verloop van de concentratie als functie van de gemiddelde stroomsnelheid (\bar{u}) is voor de vertragende en versnellende vloed- en ebstroom van Ponton en Stelling vastgesteld. Onder versnellende stroom wordt hierbij verstaan dat de term du/dt groter is dan nul (vertragende stroom: du/dt kleiner dan nul). De functies van de regressielijnen staan in tabel 6.3.3.

Bij het Ponton blijkt het sediment door een versnellende ebstroom eerder te worden opgewerveld dan door een versnellende vloedstroom (fig. 6.3.13.). Het sediment blijft bij een vertragende vloed- of ebstroom langer in suspensie.

Bij de Stelling is opvallend (fig. 6.3.14) dat tijdens de vertragende vloed het sediment lang in suspensie blijft (grote naijling).

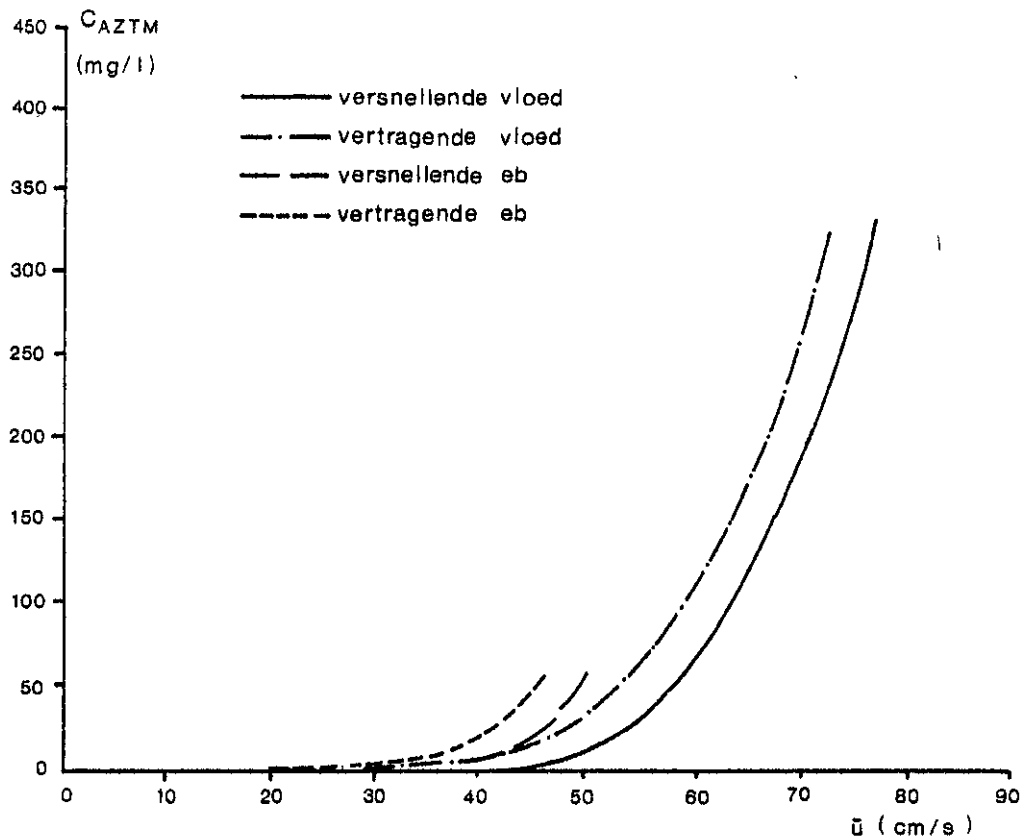


Fig. 6.3.13: Concentratie bij Ponton als functie van de gemiddelde stroomsnelheid ($u_{orbit} < 10$ cm/s) bij Ponton.

Tabel 6.3.3. Verband stroomsnelheid versus concentratie (u orbit < 10 cm/s).

		A	B	R	N
Ponton	Versnellende vloed	0.01454	0.13581	0.883	130
	Vertragende vloed	0.06582	0.12186	0.889	213
	Versnellende eb	0.03955	0.14165	0.884	136
	Vertragende eb	0.06324	0.14605	0.711	601
Stelling	Versnellende vloed	0.00494	0.19372	0.420	38
	Vertragende vloed	0.67886	0.11110	0.878	99
	Versnellende eb	0.00029	0.24637	0.869	67
	Vertragende eb	0.01069	0.18985	0.709	229

Waarbij: Concentratie AZTM = A * ($e^{**}(\bar{u} * \beta)$)

Tabel 6.3.4. Verband stroomsnelheid + orbitaalsnelheid bodem versus concentratie (u orbit > 20 cm/s).

		A	B	R	N
Ponton	Versnellende vloed	0.02609	0.10884	0.937	88
	Vertragende vloed	0.03147	0.11362	0.950	27
	Versnellende eb	0.04198	0.11526	0.703	12
	Vertragende eb	0.01475	0.14618	0.933	15
Stelling	Versnellende vloed	0.02306	0.10926	0.968	19
	Vertragende vloed	0.05965	0.10480	0.925	41
	Versnellende eb	0.00013	0.19712	0.928	33
	Vertragende eb	0.01304	0.14944	0.574	29

Waarbij: Concentratie AZTM = A * ($e^{**} (u * \beta)$)

R : correlatiecoëfficiënt

N : aantal getallen paren

e : 2.718281828

\bar{u} : over de vertikaal gemiddelde stroomsnelheid (cm/s)
concentratie AZTM in mg/liter.

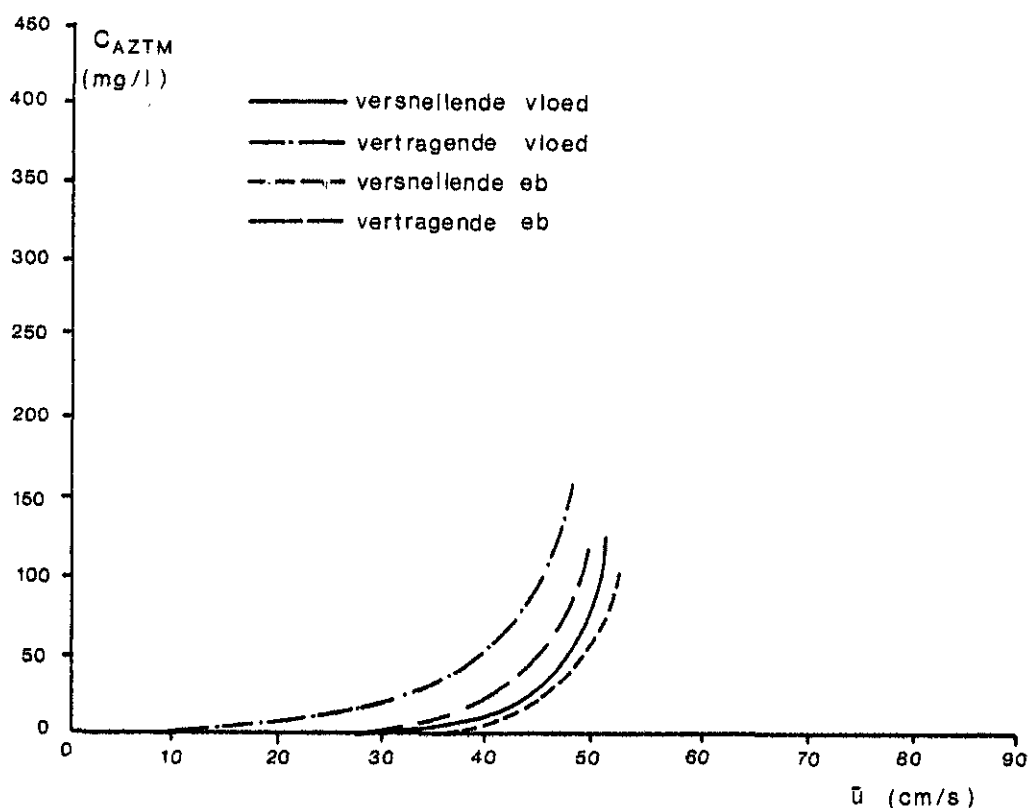


Fig. 6.3.14: Concentratie bij Stelling als functie van de gemiddelde stroomsnelheid ($u_{orbit} < 10$ cm/s) bij Stelling.

De concentratie als functie van \bar{u} bij versnellende en vertragende eb komt bij de Stelling en het Ponton praktisch overeen, bij vloed treden verschillen op. De overeenkomsten en verschillen kunnen misschien als volgt verklaard worden. Het verschil bij de versnellende vloed kan het gevolg zijn van een plaatselijk verschil in kritische erosiesnelheid en/of een verschil in aanstroming bij vloed. Het water bij de Stelling stroomt immers eerst een lang stuk over de kop van de Galgeplaat en kan dan mogelijk al sediment opnemen.

Een lagere kritische erosiesnelheid bij eb (Ponton; bij de Stelling is het niet duidelijk) kan op de volgende wijze verklaard worden. Met de versnellende eb kan met name sediment worden opgenomen dat bij de vertragende vloed (+ kentering) is gesedimenteerd. Het lijkt erop dat dit materiaal nog nauwelijks geconsolideerd is; de plaat staat nog onder water; en kan daarom makkelijk worden opgenomen door de ebstroom. Het gebied waarover het water stroomt voor het bij de Stelling en het Ponton is komt nagenoeg overeen.

2. Verloop concentratie met wind (u orbitaal > 20 cm/s)

Bij een orbitaalsnelheid van meer dan 20 cm/s blijkt de concentratie het best als functie van $\bar{u} + u_{\text{orbitaal}}$ te kunnen worden beschreven (tabel 6.3.4; fig. 6.3.15 + 6.3.16).

Een vergelijking met de vorige relaties (§ 6.3.3.1.) is nu echter niet meer mogelijk. Tussen Ponton en Stelling bestaat nu nog alleen verschil bij de versnellende eb, dit is waarschijnlijk te wijten aan de scatter in punten bij het Ponton waardoor het moeilijk is om een goede curve te fitten. In ieder geval blijkt dat door golfwerking het verschil in versnellende vloed bij Ponton en Stelling volledig verdwijnt. Ook bij deze situatie kan het sediment bij eb blijkbaar gemakkelijker worden opgenomen.

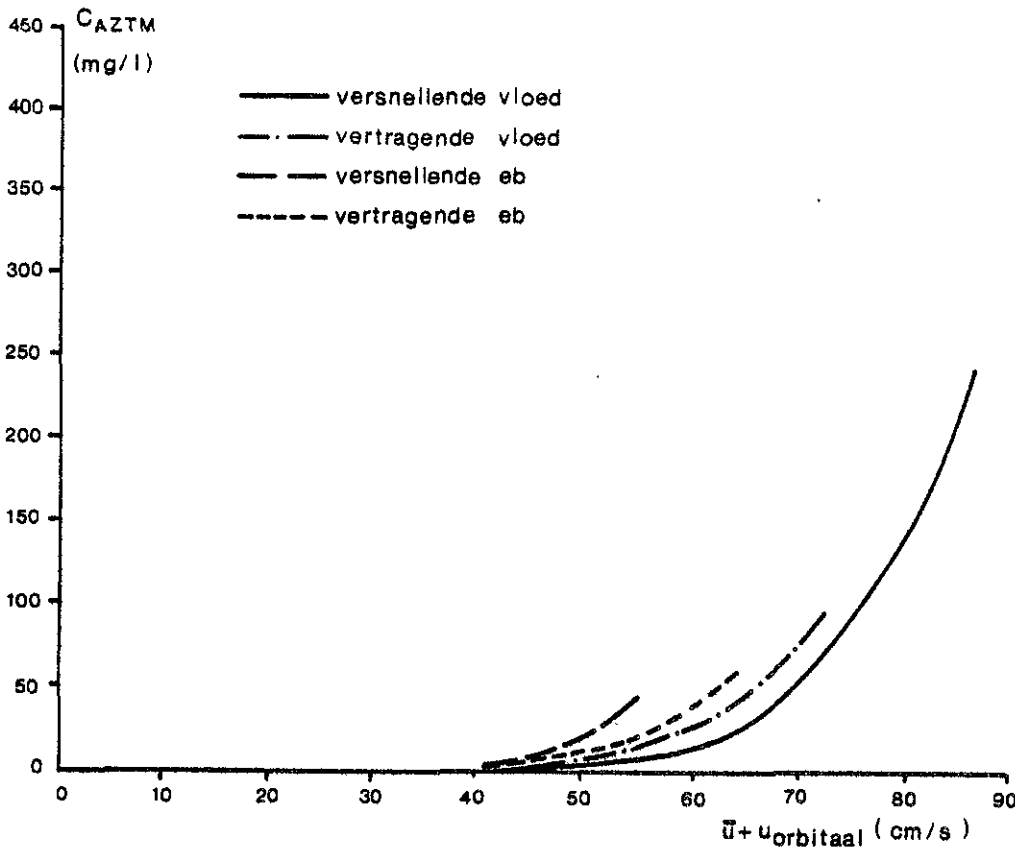


Fig. 6.3.15: Concentratie bij Ponton als functie van $u + u_{\text{orbitaal}}$ ($u_{\text{orbitaal}} > 20$ cm/s).

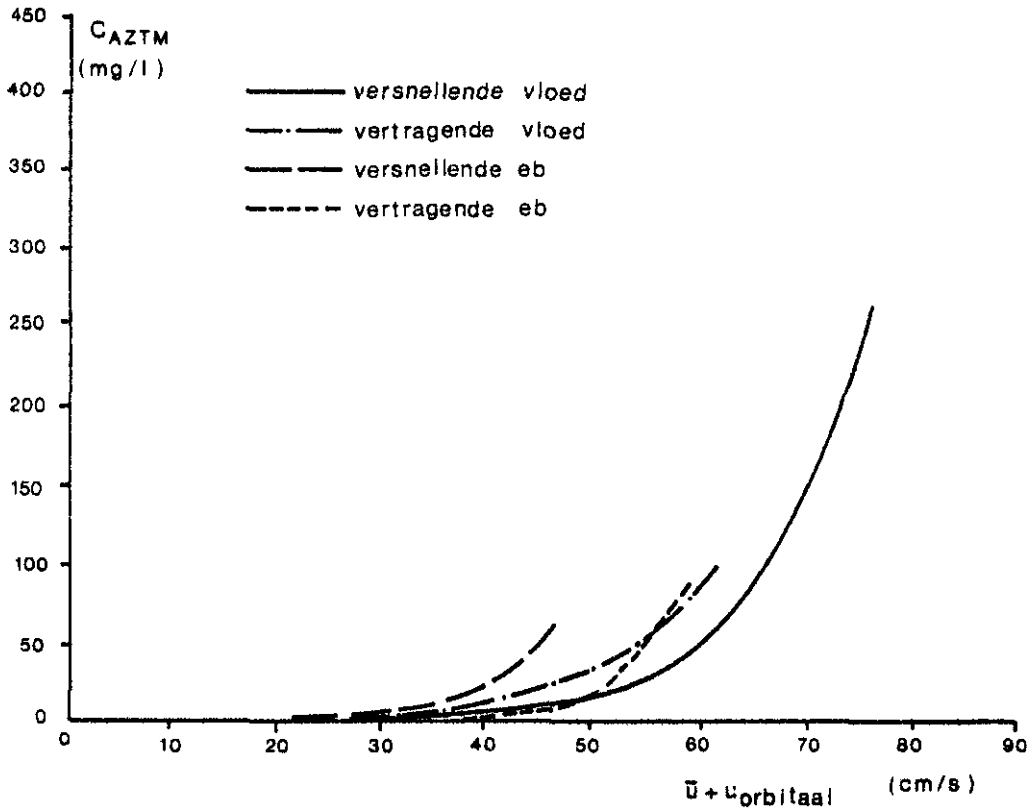


Fig. 6.3.16: Concentratie bij Stelling als functie van $\bar{u} + u_{orbitaal}$ ($u_{orbitaal} > 20$ cm/s).

3. Concentratievertikalen

3.1. Meetmethode en verwerking

Met springtij en doodtij werd bij het ponton de zandconcentratie vertikaal gemeten met een 8-mondig afzuigapparaat. Bij de stelling zijn m.b.v. een P.F.S. vertikaalmetingen uitgevoerd. Bij storm zijn nauwelijks vertikaalmetingen uitgevoerd.

De sedimentconcentratie van het 8-mondige afzuigapparaat wordt bepaald aan de hand van het bezonken volume sediment. Waargenomen is dat slib in de bezinkingcylinders snel uitvlokt en bezinkt. Bij concentraties kleiner dan 150 mg/liter is slib soms in even grote of grotere hoeveelheden dan zand aanwezig. De aanwezigheid van slib en organisch stof leidt dan tot een aanzienlijke meetfout in de bepaling van de zandconcentratie. Tevens blijkt de afgezogen hoeveelheid sediment afhankelijk te zijn van de stroomsnelheid en de hoek tussen de afzuigmond en de stroomrichting. Hoewel het afzuigapparaat absoluut niet erg

betrouwbare concentraties geeft wordt in het navolgende aangenomen dat de vorm van de gemeten vertikaal bruikbaar is. De concentratie vertikaalmetingen van de Galgeplaat blijken namelijk qua vorm overeen te komen met de vertikalen die in het WL zijn gemeten (vergelijk Bosman, 1982).

Bosman (1982) vond uit laboratoriumproeven dat bij de aanwezigheid van golven en stroming de vorm van de concentratievertikaal beschreven kan worden met behulp van een twee-lagen model (Dubbel-Coleman model). Hierbij wordt voor iedere laag een verschillende maar constante turbulente viscositeit (ϵ_s) aangenomen. In formulevorm:

$$\epsilon_s(Z) = \begin{cases} \epsilon_1 & \text{voor } Z \leq A \\ \epsilon_2 & \text{voor } Z \geq A \end{cases} \quad \text{met } \epsilon_1 \text{ en } \epsilon_2 \text{ constant} \quad (6.12)$$

$$c(Z) = \begin{cases} C(0) \cdot e^{-W1/\epsilon_1 Z} & \text{voor } Z \leq A \\ C(A) \cdot e^{-W2/\epsilon_2 (Z-A)} = C(0) e^{-(W1/\epsilon_1)A} \cdot e^{(W2/\epsilon_2)(Z-A)} & \text{voor } Z \geq A \end{cases} \quad (6.13)$$

- Waarbij ϵ = turbulente viscositeit
 $c(Z)$ = concentratie op afstand z boven de bodem
 W = valsnelheid materiaal
 A = hoogte overgangspunt boven de bodem

In het navolgende wordt gewerkt met de verspreidingscoëfficiënten γ_1 ($=W1/\epsilon_1$) en γ_2 ($=W2/\epsilon_2$) voor respectievelijk de onder- en de bovenlaag. Dit geeft:

$$C(Z) = \begin{cases} C(0) e^{-\gamma_1 Z} & \text{voor } Z \leq A \\ C(0) e^{-\gamma_1 A} e^{-\gamma_2 (Z-A)} & \text{voor } Z \geq A \end{cases} \quad (6.14)$$

Met behulp van dit model kan de vertikaalvorm worden beschreven waarbij tevens gebruik gemaakt wordt van een eindige bodemconcentratie $C(0)$ en waarbij de concentratie aan het wateroppervlak vrij is. In het navolgende is het Dubbel-Coleman model gevolgd bij de analyse van de Galgeplaatmetingen.

De door Bosman (1982) uitgevoerde laboratoriumproeven zijn in hoofdzaak uitgevoerd zonder stroom, d.w.z. alleen bij golven. Hij relateerde de vorm van de concentratieverdeling (dit zijn de parameters A , $C(0)$, γ_1 en γ_2) aan de rms-waarde van de horizontale snelheid, (dit is

een maat voor de orbitaalsnelheid), de waterdiepte, de bodemhelling en het al of niet breken van golven.

Hij vond de volgende resultaten bij golven zonder stroming:

1. De concentratieverdeling is niet expliciet afhankelijk van de waterdiepte
2. Bij toenemende orbitaalsnelheid blijkt de hoogte van het knikpunt boven de bodem een licht dalende tendens te vertonen
3. Voor flauwe bodemhellingen neemt de bodemconcentratie $C(o)$ toe bij toenemende orbitaalsnelheid
4. De verspreidingscoëfficiënt γ_1 blijkt niet systematisch van de bodemhelling of van de rms-snelheid af te hangen
5. De verspreidingscoëfficiënt γ_2 blijkt af te nemen bij toenemende rms-snelheid. Dat wil zeggen dat de vertikaal steiler wordt.

Bosman heeft slechts zeer weinig proeven uitgevoerd met de combinatie van golven en stroom.

3.2. Resultaten

De Galgeplaatmetingen wijken op een aantal belangrijke punten af van de door Bosman uitgevoerde proeven:

1. De absolute waarde van de concentraties is onbetrouwbaar. Er kan dan ook geen analyse plaatsvinden van de bij de bodem optredende concentraties. De vorm van de vertikaal wordt verondersteld conform de werkelijkheid te zijn. In het navolgende zullen de gevonden vertikaalvormen dan ook gekoppeld worden aan de op 30 cm boven de bodem gemeten concentraties (AZTM).
2. Er zijn op de Galgeplaat nauwelijks vertikaalmetingen uitgevoerd waarbij sprake was van een aanzienlijke golfinvloed.
3. De electromagnetische snelheidsmeters hebben dermate slecht gefunctioneerd dat deze niet gebruikt kon worden. Er kon dus niet gewerkt worden met de rms-waarde van het horizontale snelheidsveld. In plaats hiervan is gewerkt met een m.b.v. de lineaire golftheorie bij de bodem uitgerekenende maximale horizontale orbitaalsnelheid (zie par. 6.2.1.).
4. Er zijn geen vertikaalmetingen uitgevoerd waarbij alleen sprake was van golfinvloed. De stroomsnelheden zijn altijd in de orde van of groter dan de berekende orbitaalsnelheden.

5. De stroomsnelheden zijn variabel in grootte en richting, waarbij de voortplantingsrichting van het lokale golfveld onbekend is. Tevens is er sprake van versnellende en van vertragende stroom.
6. Er is slechts een beperkt aantal concentratievertikalen voor de analyse bruikbaar (ongeveer 30).

Alle gemeten concentratievertikalen kunnen met het twee lagen model beschreven worden.

De resultaten zijn als volgt:

1. Bij toenemende orbitaalsnelheid bij de bodem neemt de hoogte van het knikpunt boven de bodem toe (fig. 6.3.17.). Dit wijkt af van de resultaten van Bosman. Indien de orbitaalsnelheid groter is dan 20 cm/s ligt het knikpunt op ongeveer 7 cm boven de bodem. Bij lage orbitaalsnelheden ligt het knikpunt op ongeveer 5 cm boven de bodem.

2. Indien γ_1 en γ_2 als functie van \bar{u} worden weergegeven (fig. 6.3.18 en 6.3.19) dan blijken de waarnemingen voor vloed/eb en voor versnellende en voor vertragende stroom van elkaar te verschillen.

In tabel 6.3.5 zijn gemiddelde waarden voor γ_1 en γ_2 met bijbehorende standaarddeviaties weergegeven. Hoewel de populatiegrootte gering is

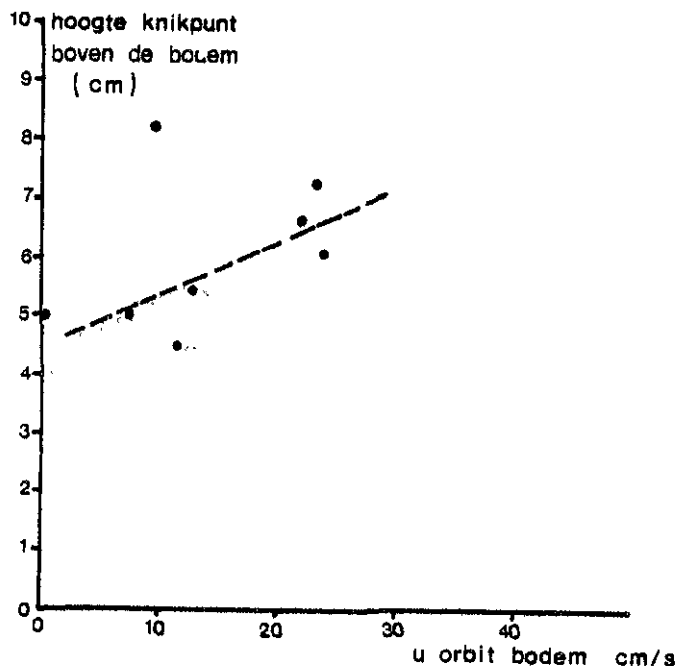


Fig.6.3.17: Hoogte knikpunt concentratievertikaal boven de bodem als functie van orbitaalsnelheid bij de bodem.

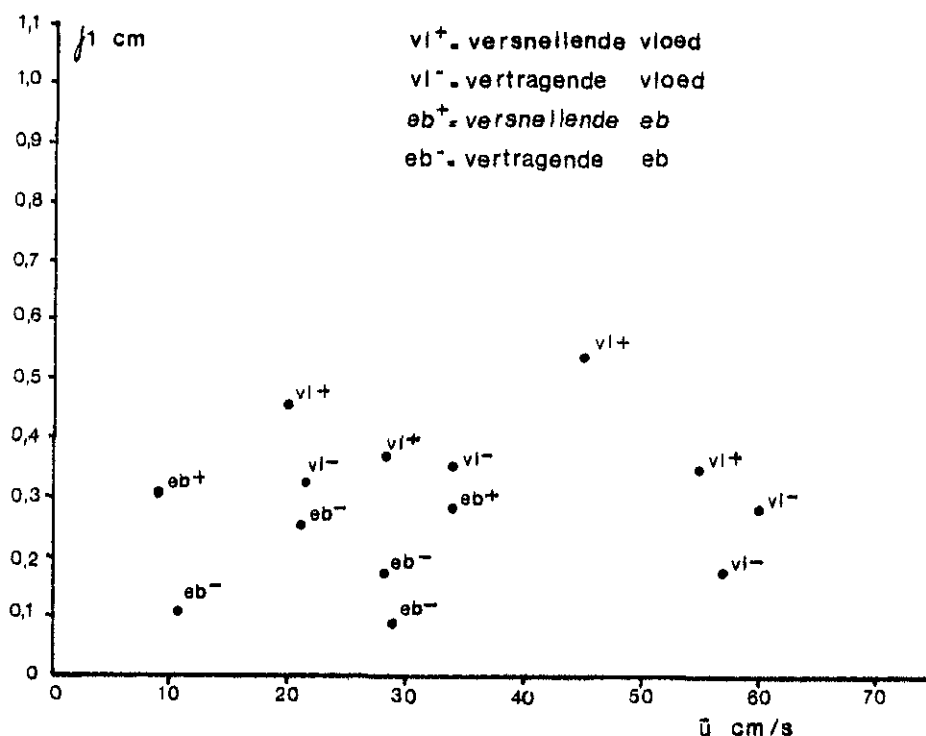


Fig. 6.3.18: Verspreidingscoëfficiënt onderlaag concentratievertikaal als functie van de gemiddelde stroomsnelheid.

blijkt γ_1 voor zowel versnellende als voor vertragende vloed en versnellende en vertragende eb verschillend te zijn. Voor γ_2 geldt hetzelfde bij vloed. Bij eb blijkt hier echter geen verschil tussen versnellende en vertragende stroom aantoonbaar. De hoogte van het knikpunt ligt op ongeveer 5 cm boven de bodem. De uit bovenstaande geconstrueerde concentratievertikalen, gekoppeld aan de op 30 cm boven de bodem gemeten concentratie (AZTM), zijn weergegeven in tabel 6.3.7 en fig. 6.3.20. In deze figuur zijn de vertikaalvormen uitgaande van CAZTM = 100 mg/l weergegeven voor de onderste 30 cm van de vertikaal. Bij versnellende vloed blijkt veel meer materiaal in de vertikaal aanwezig te zijn dan in de overige 3 stroomsituaties.

De invloed van golven op de vorm van de concentratievertikaal wordt in de vertikaalvorm opgenomen door aan te nemen dat voor orbitaalsnelheden groter dan 20 cm/s bij de bodem de parameters γ_1 en γ_2 constant blijven, maar dat het knikpunt verschuift naar 7 cm boven de bodem. Dit betekent, behoudens het feit dat t.g.v. golfwerking de concentratie op 30 cm boven de bodem toeneemt, dat er meer materiaal in het onderste deel van de vertikaal aanwezig is. De vertikaalvormen, als functie van de AZTM-concentratie onder golfcondities zijn eveneens in tabel 6.3.7 opgenomen.

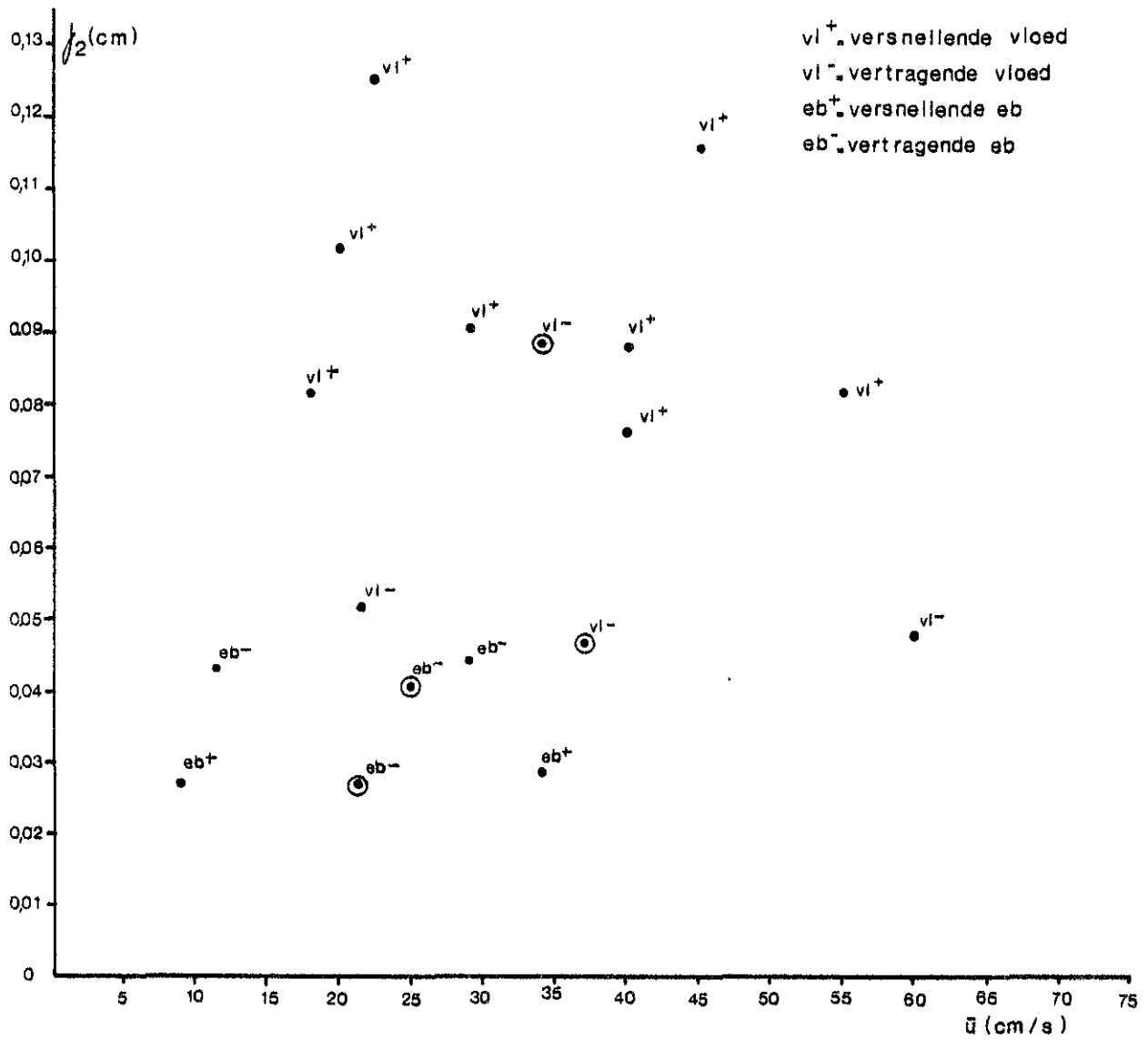


Fig. 6. 3.19 : Verspreidingscoëfficiënt bovenlaag concentratieverticaal als functie van de gemiddelde stroomsnelheid

Bij stelling zijn 14 concentratievertikalen gemeten met behulp van een PFS. De minimale meetafstand tot de bodem bedraagt 10 cm. Er kan dan ook alleen een uitspraak over het bovenste deel van de concentratievertikaal worden gedaan. De resultaten zijn weergegeven in tabel 6.3.6. Er lijken voor het bovenste deel van de vertikaal geen aantoonbare verschillen te bestaan met hetgeen bij ponton is gevonden. Er wordt in het navolgende vanuit gegaan dat de vertikaalvormen bij stelling en bij ponton overeenkomen.

Tot slot moet worden opgemerkt, dat de in bovenstaande weergegeven resultaten gebaseerd zijn op een gering aantal vertikaalmetingen. Bovenstaande kan dan ook alleen als een aanzet worden beschouwd. De resultaten moeten in het vervolgonderzoek worden geverifieerd en uitgebreid.

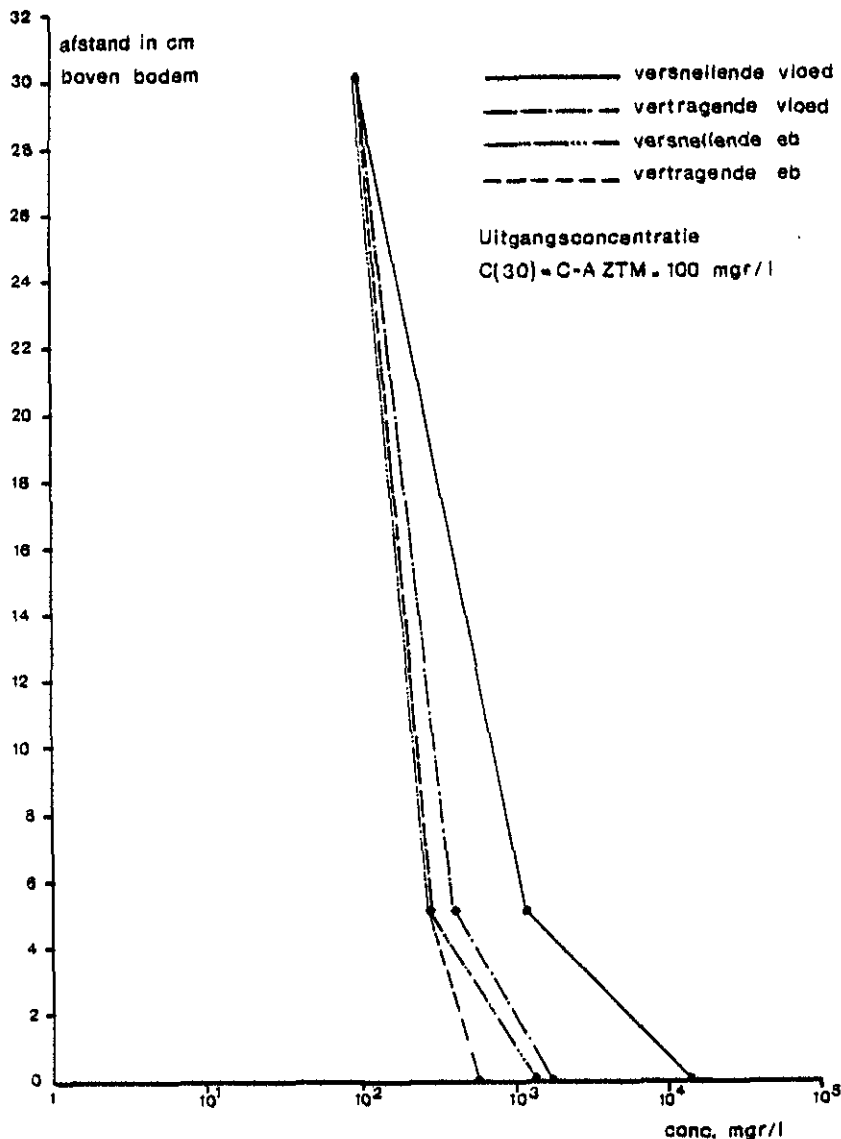


Fig. 6.3.20: Concentratievertikalen.

Tabel 6.3.5. Vorm concentratievertikaal als functie van RI en du/dt:
Ponton.

VLOED	VERSNELLEND	$\bar{j}_1 = 0.5038$ (s=0.1855 (37%))	N= 5
		$\bar{j}_2 = 0.0974$ (s=0.0233 (24%))	N= 8
	VERTRAGEND	$\bar{j}_1 = 0.2806$ (s=0.0757 (27%))	N= 4
		$\bar{j}_2 = 0.0584$ (s=0.0203 (35%))	N= 4
	ALLE VERTIKALEN	$\bar{j}_1 = 0.3595$ (s=0.1800 (50%))	N=15
		$\bar{j}_2 = 0.0792$ (s=0.0305 (38%))	N=20
EB	VERSNELLEND	$\bar{j}_1 = 0.2961$ (s=0.0135 (5%))	N= 2
		$\bar{j}_2 = 0.0460$ (s=0.0308 (67%))	N= 3
	VERTRAGEND	$\bar{j}_1 = 0.1570$ (s=0.0761 (48%))	N= 4
		$\bar{j}_2 = 0.0427$ (s=0.0017 (4%))	N= 3
	ALLE VERTIKALEN	$\bar{j}_1 = 0.2240$ (s=0.1012 (45%))	N= 7
		$\bar{j}_2 = 0.0436$ (s=0.0163 (37%))	N= 9

s = standaarddeviatie

Tabel 6.3.6. Vorm concentratievertikaal als functie van RI en du/dt:
Stelling.

VLOED	VERSNELLEND	$\bar{j}_2 = 0.0383$	N= 1
	VERTRAGEND	$\bar{j}_2 = 0.0485$ (s=0.0260 (54%))	N= 2
	du/dt = 0 of?	$\bar{j}_2 = 0.0451$ (s=0.0193 (43%))	N= 3
EB	VERSNELLEND	$\bar{j}_2 = 0.0331$ (s=0.0147 (44%))	N= 2
	VERTRAGEND	$\bar{j}_2 = 0.0380$ (s=0.0140 (37%))	N= 9
	du/dt = 0 of?	$\bar{j}_2 = 0.0371$ (s=0.0135 (36%))	N=11

s = standaarddeviatie.

Tabel 6.3.7. Concentratievertikalen

U ORBIT < 10 cm/s.	VLOED	DU/DT > 0	$c(z) = \begin{cases} 141.7 * CAZTM * e^{-0.5038z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 18.6 * CAZTM * e^{-0.0974z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT < 0	$c(z) = \begin{cases} 17.5 * CAZTM * e^{-0.2806z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 5.8 * CAZTM * e^{-0.0584z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT=0 of?	$c(z) = \begin{cases} 43.7 * CAZTM * e^{-0.3595z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 10.8 * CAZTM * e^{-0.0792z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
	EB	DU/DT > 0	$c(z) = \begin{cases} 13.1 * CAZTM * e^{-0.2961z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT < 0	$c(z) = \begin{cases} 6.5 * CAZTM * e^{-0.1570z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT=0 of?	$c(z) = \begin{cases} 9.1 * CAZTM * e^{-0.2240z} & z \leq 5 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 5 \text{ cm} \end{cases}$	
	U ORBIT > 20 cm/s.	VLOED	DU/DT > 0	$c(z) = \begin{cases} 319.8 * CAZTM * e^{-0.5038z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 18.6 * CAZTM * e^{-0.0974z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$
			DU/DT < 0	$c(z) = \begin{cases} 27.3 * CAZTM * e^{-0.2806z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 5.8 * CAZTM * e^{-0.0584z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$
			DU/DT=0 of?	$c(z) = \begin{cases} 76.6 * CAZTM * e^{-0.3595z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 10.76 * CAZTM * e^{-0.0792z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$
EB		DU/DT > 0	$c(z) = \begin{cases} 21.7 * CAZTM * e^{-0.2961z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT < 0	$c(z) = \begin{cases} 8.2 * CAZTM * e^{-0.1570z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$	
		DU/DT=0 of?	$c(z) = \begin{cases} 13.1 * CAZTM * e^{-0.2240z} & z \leq 7 \text{ cm} \\ 3.7 * CAZTM * e^{-0.0436z} & z \geq 7 \text{ cm} \end{cases}$	

Waarbij: z in cm; CAZTM en c(z) in mg/liter.

Tabel 6.3.8. Concentratievertikalen geïntegreerd over de waterdiepte

VLOED	U ORBIT < 10 cm/s	$\frac{du}{dt} > 0$	$\bar{c}d = (375.8 - 190.8 * e^{-0.0974d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} < 0$	$\bar{c}d = (120.8 - 98.8 * e^{-0.0584d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} = 0$ of	$\bar{c}d = (192.9 - 135.9 * e^{-0.0792d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} = ?$		
U ORBIT > 20 cm/s		$\frac{du}{dt} > 0$	$\bar{c}d = (712.5 - 190.8 * e^{-0.0974d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} < 0$	$\bar{c}d = (149.2 - 98.8 * e^{-0.0584d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} = 0$ of		
		$\frac{du}{dt} = ?$	$\bar{c}d = (273.8 - 135.9 * e^{-0.0792d}) * CAZTM *$	10^{-5}
EB	U ORBIT < 10 cm/s	$\frac{du}{dt} > 0$	$\bar{c}d = (102.3 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} < 0$	$\bar{c}d = (90.8 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} = 0$ of?	$\bar{c}d = (5.7 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}
U ORBIT > 20 cm/s		$\frac{du}{dt} > 0$	$\bar{c}d = (126.5 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} < 0$	$\bar{c}d = (97.3 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}
		$\frac{du}{dt} = 0$ of?	$\bar{c}d = (108.8 - 84.9 * e^{-0.0436d}) * CAZTM *$	10^{-5}

Met: $\bar{c}d$ in kg/m^2 ; CAZTM in mg/liter; d in cm.

4. Geulmeting nabij meetplot

Op 14 en 22 april zijn gedurende een springtij- en doodtijcyclus vanaf het meetschip de Orisant AZTM-metingen uitgevoerd om een indruk te verkrijgen van het stroom- en concentratieverloop in de geul nabij de meetplot. De Orisant lag op beide dagen ± 300 m van het Ponton af, ongeveer in het verlengde van de lijn Stelling - Ponton.

Er werd gemeten op een hoogte van 1, 2, 4 en 8 m boven de bodem. Daarnaast werd op 1 m boven de bodem om het uur een PFS-monster afgezogen.

Op 14 april valt het snelheidsmaximum tijdens vloed ± 7 minuten later als bij het Ponton. Op dat moment stroomt het water op 1 m boven de bodem met een snelheid van 1 m/s op 8 m ongeveer 1.25 m/s. en bij het Ponton 0.6 m/s. De totale waterdiepte bedraagt dan 12 meter. De richting bij de onderste 3 meetpunten is rond de 180° , bij de bovenste 160° , overeenkomstig met de richting bij het Ponton. Ook het concentratieverloop van de onderste 3 meetpunten wijkt af, nl. het concentratie maximum valt 25 minuten nadat het snelheidsmaximum bereikt is. De AZTM op 8 m hoogte bereikt wel simultaan een stroom en concentratie

maximum. Bovendien zakt hier de concentratie het eerste half uur nauwelijks terug. Bij het Ponton vallen het concentratie- en snelheidsmaximum ook samen. De concentratie varieert van 230 mg/l op 1 m tot 120 mg/l op 8 m. Het Ponton heeft een maximum van 220 mg/l.

Bij eb is het beeld duidelijk afwijkend. Helaas is de AZTM op 8 m hoogte dan niet of nauwelijks in bedrijf geweest. Het eb snelheidsmaximum bij de Orisant valt bijna een uur later als het maximum bij het Ponton, hoewel de snelheid bij het Ponton gedurende dat uur niet veel afloopt.

De snelheid bij de Orisant varieert van 0.6 m/s op 1 m hoogte tot 0.70 m/s op 4 m. Bij het Ponton is het maximum 0.4 m/s. De richting is op alle 3 de hoogtes ongeveer 5° en bij het Ponton $\pm 320^{\circ}$.

Het tijdstip van het concentratiemaximum komt nu overeen met die van het snelheidsmaximum, behalve bij het Ponton. Daar valt het maximum een half uur na het snelheidsmaximum.

De maximum concentratie varieert van 60 mg/l op 1 m hoogte tot 30 mg/l op 4 m. Het ponton heeft een maximum van 40 mg/l.

Uit dit alles lijkt het beeld naar voren te komen dat bij vloed de bovenste meters water van de geul in de richting van de plaat stromen, hetgeen zal bijdragen aan de sedimentatie op de plaat.

Bij eb lijkt bij de Orisant lokaal sediment te worden opgenomen. Het sediment dat op de plaat wordt opgenomen en in de richting van de geul wordt verplaatst is bij de Orisant niet meer te herkennen. Helaas ontbreken dan de AZTM-gegevens op 8 m hoogte.

Het doodtij beeld is minder gecompliceerd. De concentratie en snelheidsmaxima bij vloed vallen min of meer gelijktijdig. Het water bij de Orisant stroomt dan ongeveer 55 cm/s op 1, 2 en 4 m hoogte en bij het Ponton 35 cm/s. De stroomrichting op beide locaties bedraagt op dat moment $\pm 160^{\circ}$. De concentraties liggen onder de 5 mg/l.

Bij eb vindt het snelheids- en concentratiemaximum gelijktijdig plaats bij Orisant en Ponton. De snelheid bij de Orisant ligt dan iets lager. De stroomrichtingen zijn praktisch identiek aan die bij springtij - eb. De concentratie bij de Orisant ligt nog steeds onder de 10 mg/l, maar bij het Ponton bereikt het een maximum van 20 mg/l.

Dit hogere maximum bij een lagere snelheid wordt veroorzaakt door een lang aanhouden van de maximale ebstroom.

Het is duidelijk dat met doodtij weinig wordt getransporteerd, maar dat de transportrichting bij vloed wel de plaat op is gericht.

6.3.4. Transport

1. Berekeningswijze

1.1. Momentaan transport

Het momentane transport $S(t)$ wordt bepaald uit de integratie over de waterdiepte van het produkt van stroomsnelheid en concentratie:

$$S(t) = \int_0^{d(t)} c(z,t) u(z,t) dz \quad (6.15)$$

waarbij: $S(t)$ = momentane transport (in grammen/ms)

$c(z,t)$ = momentane concentratie op afstand z boven de bodem
(in mg/liter)

$u(z,t)$ = momentane stroomsnelheid op afstand z boven de bodem
(in cm/s).

$d(t)$ = momentane waterdiepte (in cm).

Vergelijking 6.15 wordt benaderd met:

$$S(t) = \bar{u}(t) * \bar{c}d(t) \quad (6.16)$$

Waarbij de term $\bar{c}d(t)$ bepaald wordt uit de integratie over de waterdiepte van de concentratievertikaal:

$$\bar{c}d(t) = \int_0^{d(t)} \bar{c}(z,t) dz \quad (6.17)$$

De resultaten van deze integratie zijn voor de in § 6.3.3. besproken concentratievertikalen weergegeven in tabel 6.7. Er wordt onderscheid gemaakt in versnellende en vertragende stroom. Zowel voor vloed als voor eb, en voor maximale orbitaalsnelheden bij de bodem groter dan wel kleiner dan 20 cm/s. Indien du/dt gelijk is aan nul, of niet te bepalen is, dan wordt gebruik gemaakt van de gemiddelde vertikaalvorm. Indien de orbitaalsnelheid onbekend is dan is de vertikaalvorm aangenomen voor u orbit < 20 cm/s.

Aan het gebruik van bovenstaande concentratievertikalen kleven de volgende bezwaren:

1. Indien de waterdiepte groter wordt dan 100 cm dan neemt het materiaaltransport nauwelijks toe. Dit is het gevolg van het feit dat alleen de onderste 30 cm van de vertikaal gemeten is.
2. Het materiaaltransport is voor versnellende vloed zeer groot, in vergelijking met vertragende vloed, versnellende en vertragende eb. Het is de vraag in hoeverre dit reëel is.
3. Betreffende de invloed van golven op de vorm van de concentratievertikaal zijn zeer weinig metingen beschikbaar. Er wordt dan ook slechts globaal rekening gehouden met de invloed van golven op de vorm van de concentratievertikaal.

1.2. Netto en totaal transport

Het netto transport over een getij of over een deel daarvan wordt berekend volgens:

a. Netto transport naar noorden (T_N):

$$T_N = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_0^{d(t)} c(z,t) * u(z,t) * \cos R_i dz \right) dt \quad (6.18)$$

Waarbij: t_1 = begintijd

t_2 = eindtijd

R_i = stroomrichting

Vergelijking (6.18) wordt benaderd door:

$$T_N = \frac{1}{2} \sum_{t_n = t_1}^{t_{n+1}} \left[(c \bar{u} d \cos R_i) (t_n) + (\bar{c} \bar{u} d \cos R_i) (t_{n+1}) \right] * (t_{n+1} - t_n) \quad (6.19)$$

b. Nettotransport naar oosten (T_O)

$$T_O = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_0^{d(t)} c(z,t) * u(z,t) * \sin R_i dz \right) dt \quad (6.20)$$

Hetgeen benaderd wordt door:

$$T_0 = 1/2 \sum_{t_n = t_1}^{t_{n+1}} \left[\bar{c} \bar{u} \bar{d} \cos R_i(t_n) + \bar{c} \bar{u} \bar{d} \cos R_i(t_{n+1}) * (t_{n+1} - t_n) \right] \quad (6.21)$$

Met behulp van de vergelijkingen (6.19) en (6.21) kan het netto transport en de richting daarvan over een bepaalde getijperiode worden berekend. Berekeningen zijn uitgevoerd voor: gehele getij, vloed, eb, versnellende stroom, vertragende stroom en voor verschillende waterstanden.

Het totale transport wordt gedefinieerd als de totale materiaalverplaatsing ongeacht de stromingsrichting, en wordt berekend volgens:

$$T_{tot} = \int_{t_1}^{t_2} d(t) \left(\int_0^d c(z,t) u(z,t) dz \right) dt \quad (6.22)$$

2. Momentaantransport als functie van de tijd

In de figuren 6.3.21. en 6.3.22. wordt het momentane transport als functie van de tijd weergegeven voor respectievelijk springtij en doodtij. Bij beide is geen sprake van golfbeïnvloeding. Bij doodtij (20 april 1983) blijken de transporten zeer klein te zijn (max. 7 g/m s). Bij springtij echter zijn de transporten aanzienlijk hoger. Zowel bij Ponton als Stelling is het transport bij vloed het grootst, respectievelijk 500 g/m s en 80 g/m s. Bij eb zijn de momentane transporten aanzienlijk kleiner (minder dan 50 g/m s). Opvallend is dat bij eb de transportpiek bij de Stelling eerder optreedt dan bij Ponton. In de figuren 6.3.23. en 6.3.24 wordt het momentane transport weergegeven onder stormcondities. Vooral bij vloed blijken zeer grote momentane transporten op te treden.

3. Transportrozen

In de figuren 6.3.25 t/m 6.3.28 is het totale transport (Ponton), per sector van 15°, dat over een gehele vloed-ebcyclus plaatsvindt, weergegeven. In de eerste figuur (14 april) zijn de resultaten voor springtij weergegeven. De grootste materiaalverplaatsingen treden dan

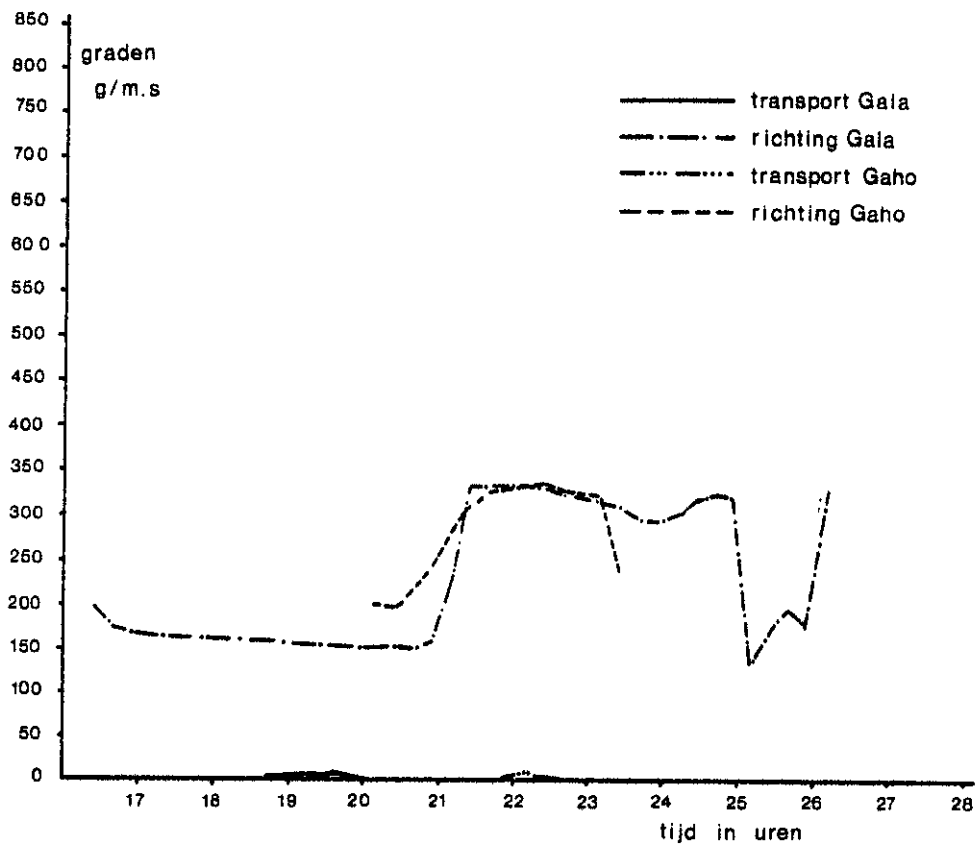


Fig. 6. 3.21 : Momentane transporten (+richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (doodtij) op 20-4-'83 / 21-4-'83

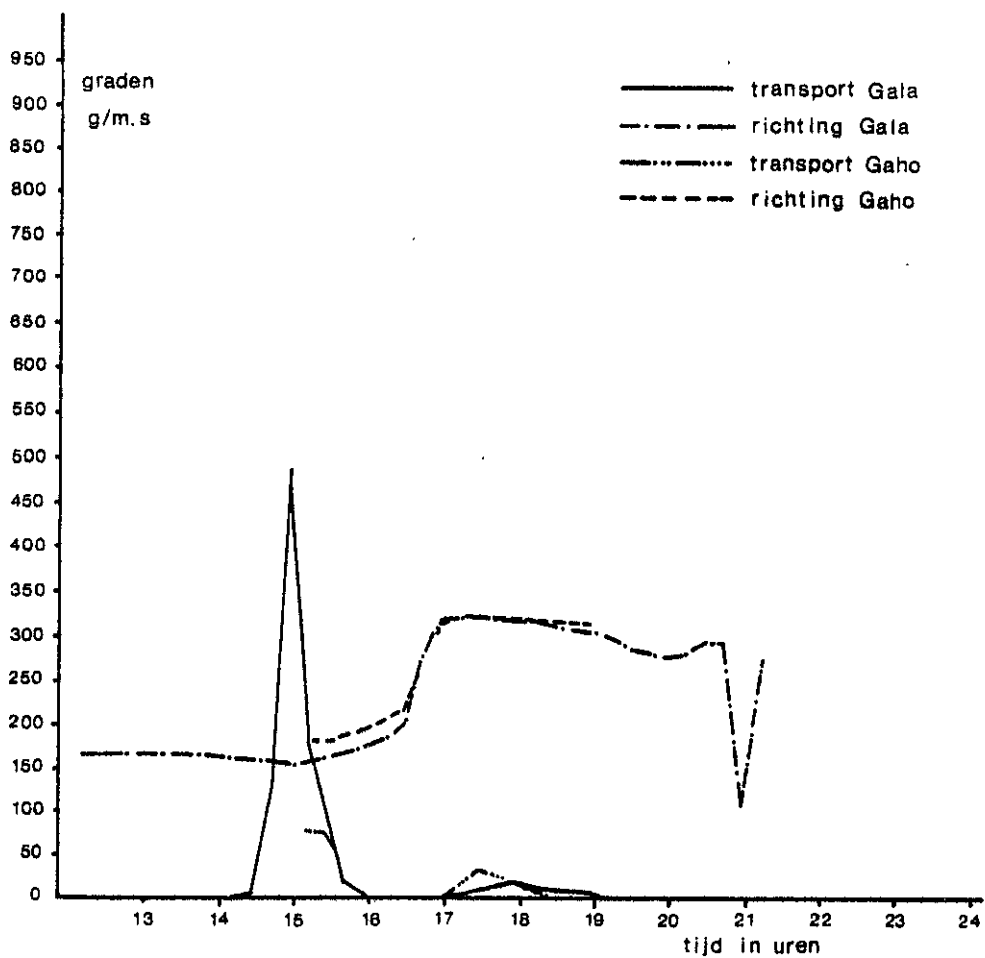


Fig. 6. 3.22 : Momentane transporten (+richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (springtij) op 15-4-'83

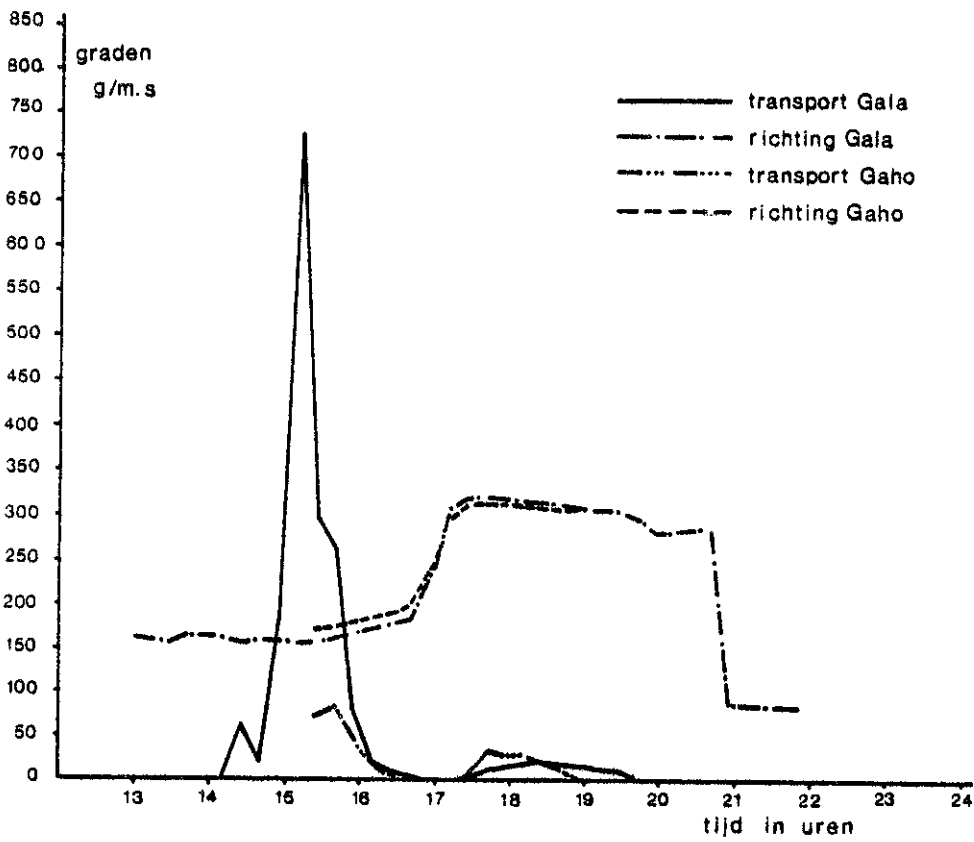


Fig. 6. 3. 23: Momentane transporten (+richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (zuidwester storm) op 31-3-'83

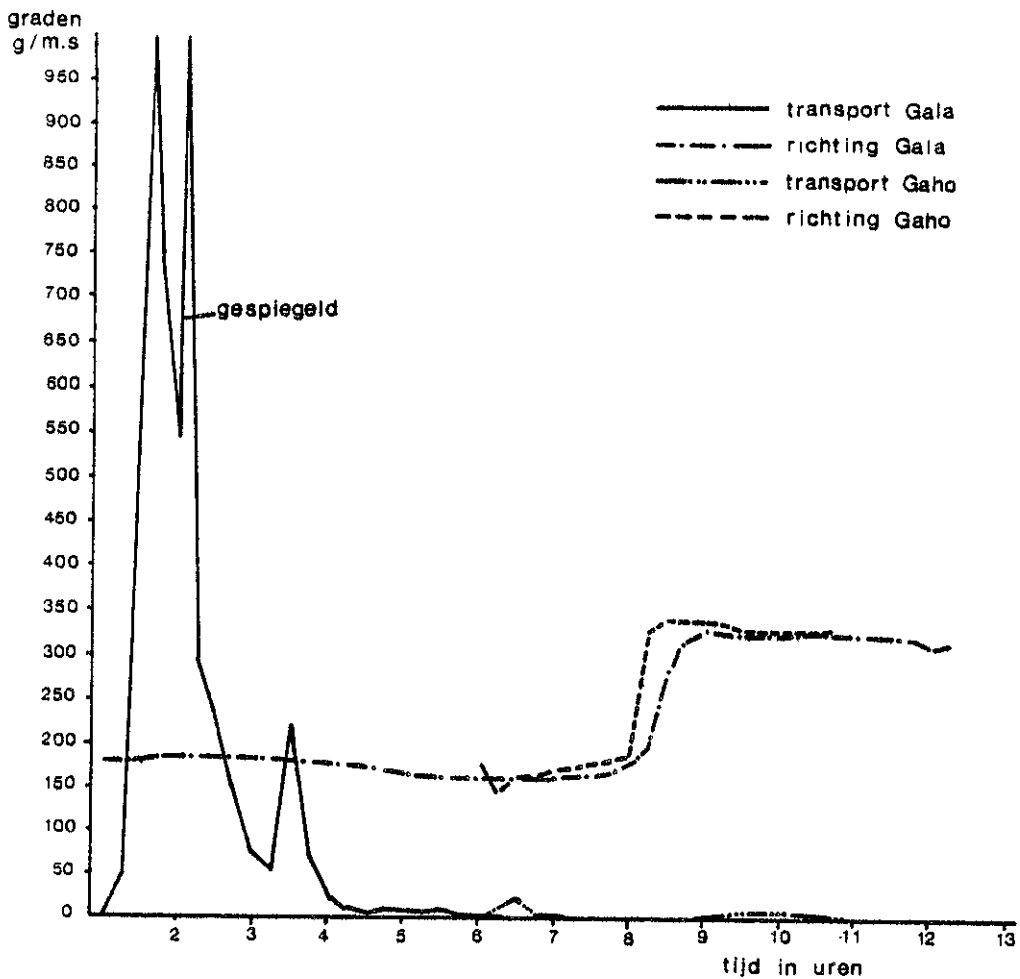


Fig. 6. 3. 24 : Momentane transporten (+richting) bij Stelling en Ponton als functie van de tijd (noordwester storm) op 6-4-'83

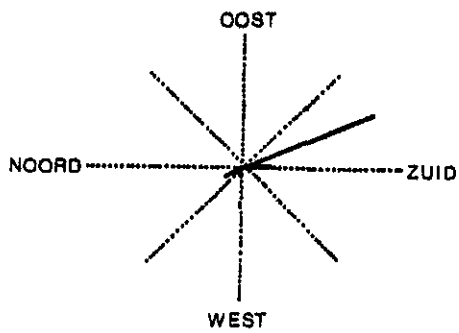


Fig. 6.3.25 : Transport roos Ponton 14 april '83 (springtij)

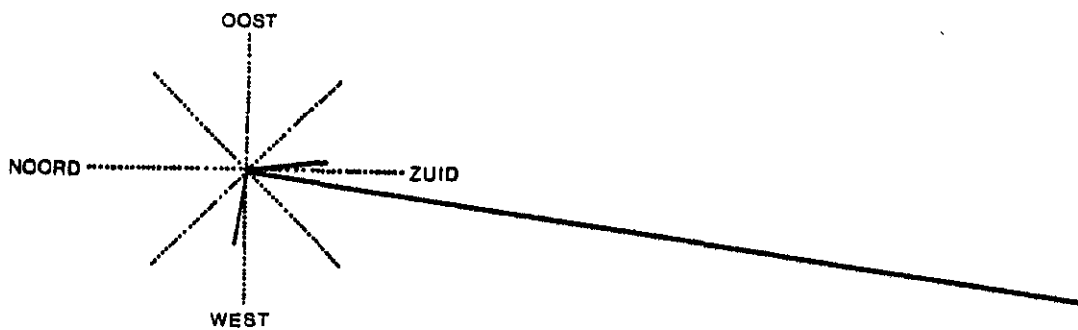


Fig. 6.3.26 : Transport roos Ponton 6 april '83 (noordwester storm)

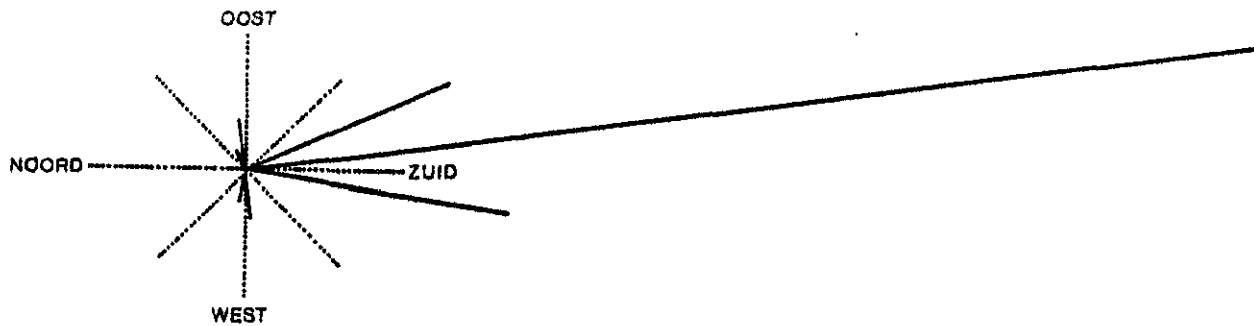


Fig. 6.3.27 : Transport roos Ponton 11-12 april '83 (noord - noordwester storm)

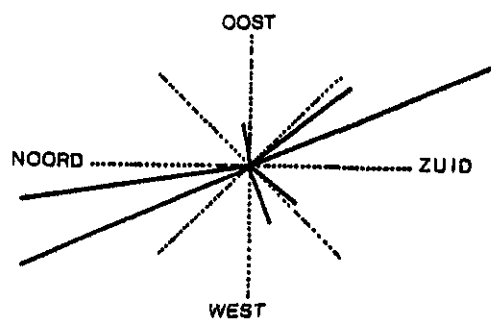


Fig. 6.3.28 : Transport roos Ponton 21-22 maart '83 (westerstorm)

op in de sector 150-165°. Dit is evenwijdig met de lokale plaatrand. Er is geen doodtij voorbeeld opgenomen omdat hiervoor de totale transporten per sector, voor de gekozen schaal van tekening, te gering zijn. Bij het Ponton treedt het maximale transport bij vloed op bij een stroomrichting van 155° en bij eb bij een stroomrichting van 315°. Bij de Stelling gelden respectievelijk 175° en 315°. De figuren 6.3.26 t/m 6.3.28 betreffen vloed-eb cycli met storm. Op 6 april treedt het grootste totale transport op in de sector 180-195°, d.w.z. onder een hoek van 20° met de plaatrand. Tijdens de storm van 11 op 12 april blijken de grootste totale transporten evenwijdig met de plaatrand op te treden. Tijdens de vloed-eb cyclus van 21 op 22 maart blijken grote transporten in de sector 330-360° op te treden. Dit is het gevolg van de toen aanwezige longshore current (vgl. § 6.1.2.).

4. Totaaltransport

Betreffende de totale transporten zoals berekend voor iedere gemeten vloed-eb cyclus kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt (vergeleijk Fig. 6.3.29 en 6.3.30):

- a. In de grootte van het totale transport is zowel voor Stelling als voor Ponton het verloop van doodtij naar springtij herkenbaar. Bij springtij zijn de netto transporten groot. Dit in tegenstelling tot doodtij wanneer de netto transporten verwaarloosbaar klein zijn.
- b. Het aandeel van de vloedstroom in het totale transport is aanzienlijk groter dan dat van de ebstroom. Dit manifesteert zich het duidelijkst bij het ponton en is daar een gevolg van de dominerende vloedstroom in combinatie met de in par. 6.3.3. beschreven variatie in vertikaalvorm. Bij de stelling wordt dit in hoofdzaak bepaald door het verschil in vorm van de concentratievertikaal tussen vloed- en ebstroom.
- c. Bij storm, bijvoorbeeld 21 en 22 maart, 30 april, 6 april en 11 + 12 april, treden zeer grote totale transporten op. Deze stormbeïnvloeding van de grootte van het netto-transport is gesuperponeerd op hetgeen bij a en b beschreven is.
- d. Bij de sterkste stormen (21 maart; 6 april; 12 april) blijkt het grootste deel van het totale transport op te treden als de waterdiepte bij het ponton kleiner is dan 120 cm (fig. 6.3.29). Deze stormen hebben dus de grootste activiteit als de Galgeplaat droog

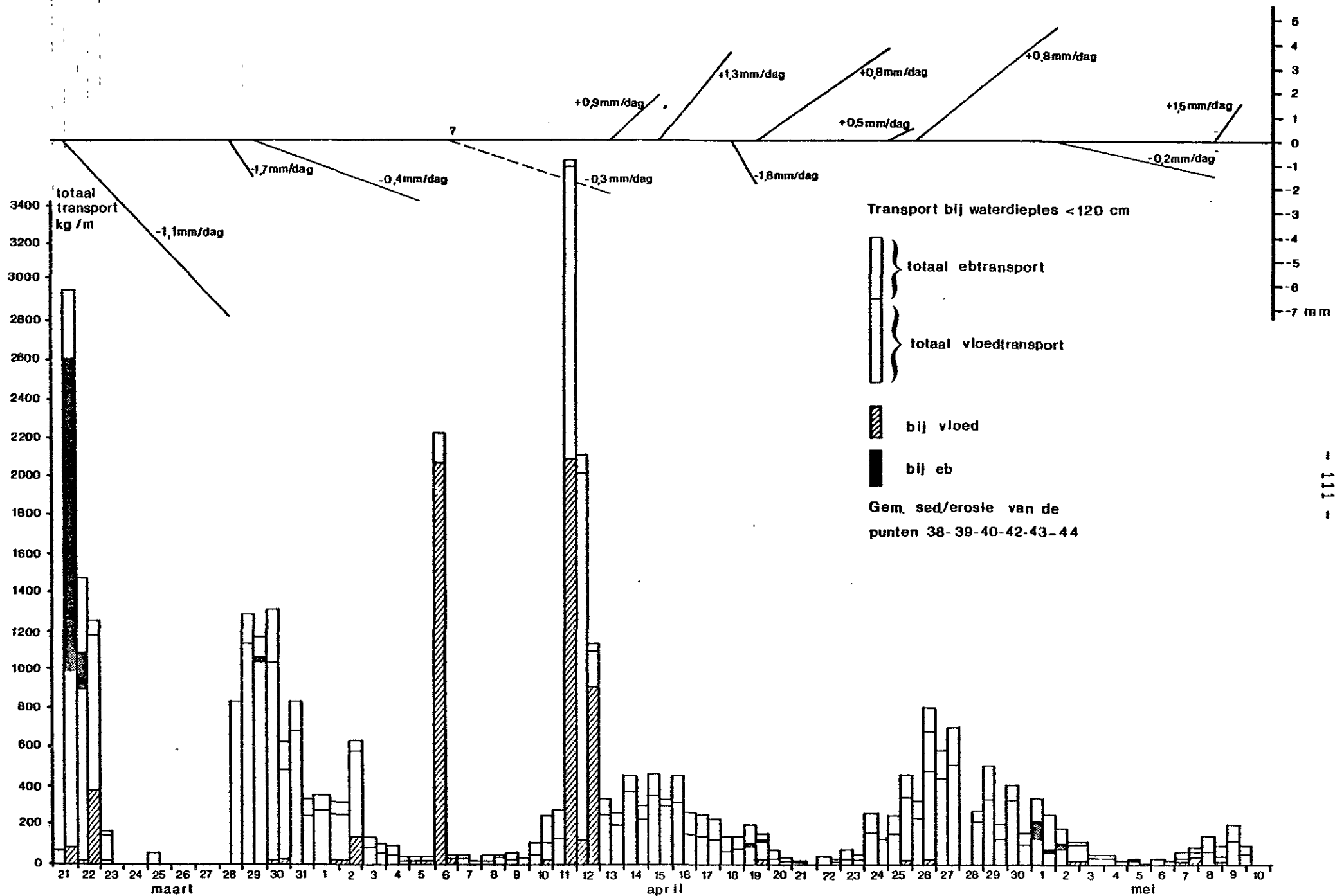
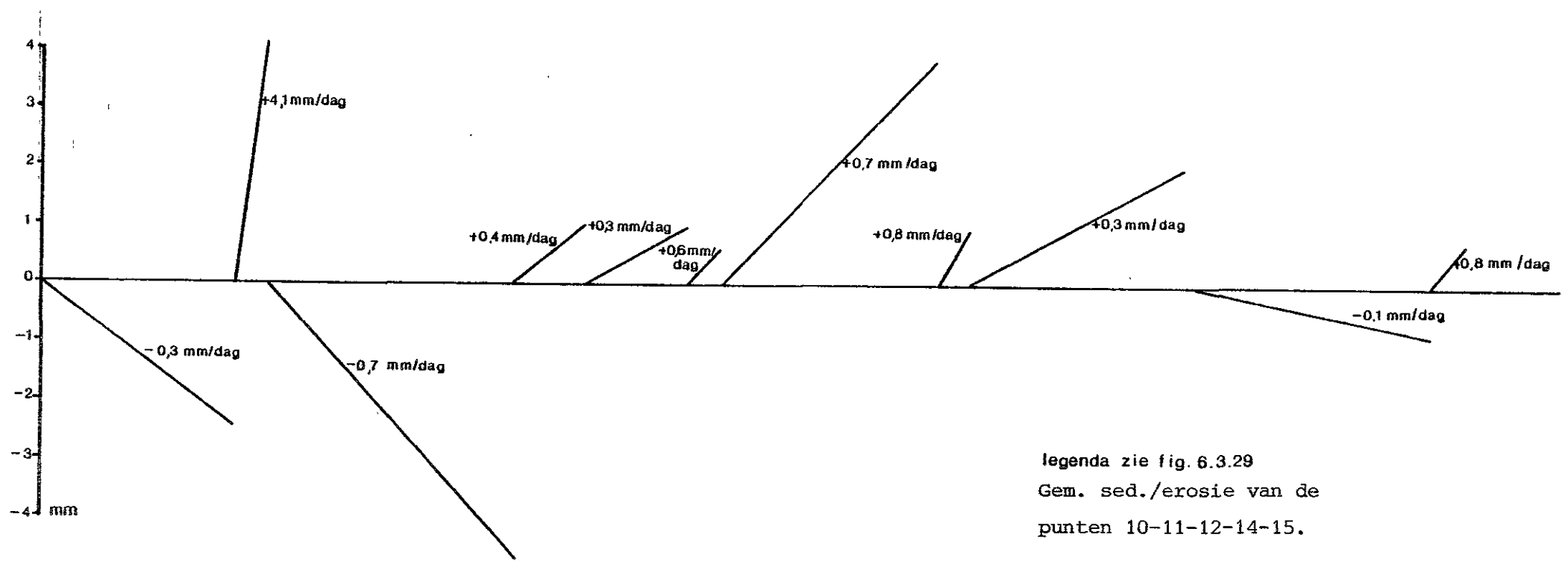


Fig 6.3.29 : Ponton: Totale transporten en sedimentatie /erosie voor de gehele meetperiode



legenda zie fig. 6.3.29
 Gem. sed./erosie van de
 punten 10-11-12-14-15.

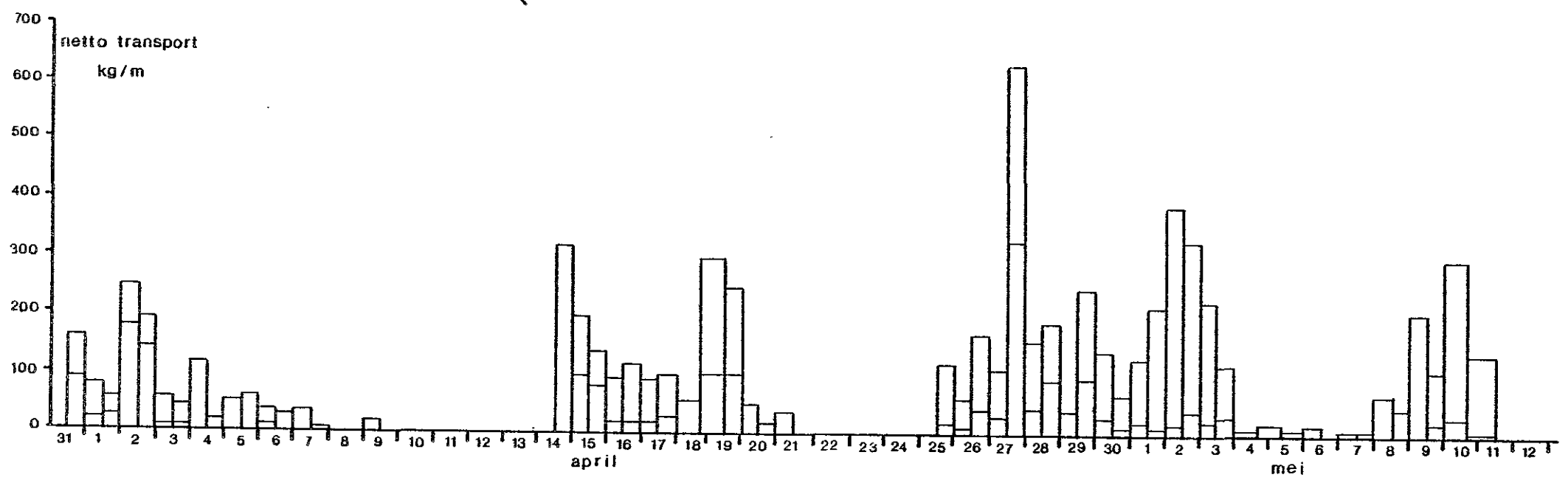


Fig. 6.3.30 : Stelling : Totale transporten en sedimentatie/erosie voor de gehele meetperiode

ligt. De bodemhoogte bij Ponton bedraagt immers 185 cm beneden N.A.P. en die bij Stelling 30 cm boven N.A.P. Bij de stelling is de invloed van deze stormen (voorzover gemeten) op het totale transport dan ook niet herkenbaar.

5. Netto transporten onderscheiden naar versnellende en vertragende stroom

Bij de berekening van de netto transporten is onderscheid gemaakt in versnellende vloed, vertragende vloed, versnellende eb en vertragende eb. De resultaten, respectievelijk voor Ponton en Stelling, zijn weergegeven in de figuren 6.3.31 en 6.3.32 en kunnen als volgt worden samengevat:

- a. In de grootte van de netto transporten is het doortij-springtijverloop herkenbaar. Bij springtij bedragen de netto transporten bij het Ponton voor versnellende vloed, vertragende vloed, versnellende eb en vertragende eb respectievelijk 500, 50, 200 en 100 kg/m. Bij Stelling (ST) respectievelijk 50, 100, 25 en 150 kg/m. Bij DT zijn de netto transporten gering.
- b. Storm leidt tot een sterke toename in de grootte van het netto transport. Goede voorbeelden hiervan zijn voor Ponton 11 april en voor Stelling 27 april (zie fig. 6.3.31 en 6.3.32). Bij beide neemt het netto transport van de versnellende vloedstroom toe met respectievelijk 2600 en 400 kg/m in vergelijking met het netto springtij transport. Dit is een toename met een factor 5 à 10 in vergelijking met het netto transport van de versnellende vloed bij springtij.
- c. De netto transporten zijn, vooral bij Ponton, het grootst voor de versnellende vloedstroom.
- d. Bij Ponton zijn de netto transporten van de versnellende stroom (vloed + eb) beduidend groter dan de transporten van de vertragende stroom. Bij stelling daarentegen is, uitgezonderd storm (2 april; 14 april; 17 april), het tegenovergestelde het geval. Dit is deels het gevolg van de relatief korte duur van de versnellende vloedstroom bij stelling.

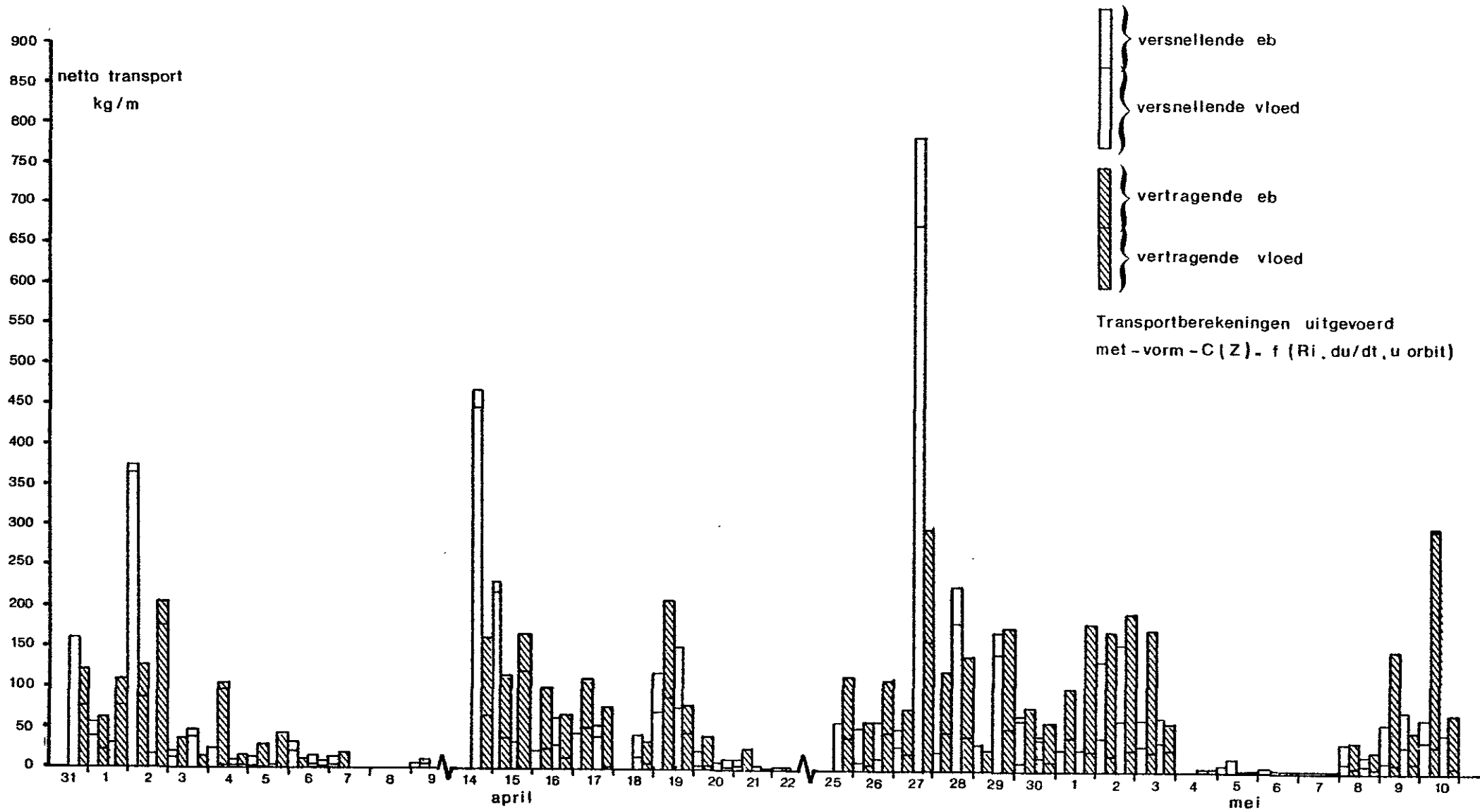


Fig. 6. 3. 32 . Stelling : Netto transporten onderscheiden naar versnellende en vertragende stroom

6.4. Sedimentatie-erosiemetingen

6.4.1. Meetmethode

In het voortgangsrapport (DDMI-82.625) is uitgelegd dat de sedimentatie/erosiemetingen op de Galgeplaat zijn uitgevoerd met behulp van 44 gelijkzijdige meetdriehoeken (fig. 6.4.1). In de interimnota GEOMOR 83-00 (mei 1983) is vervolgens aandacht besteed aan de reductie van het aantal meetpunten per zijde van de gelijkzijdige driehoek. Om deze reden wordt hier slechts volstaan met het weergeven van de resultaten uit de genoemde interimnota. Aangetoond is dat wanneer het aantal meetpunten per zijde van 21 tot 5 wordt gereduceerd, dat in minder dan 1% van de gevallen het gemiddelde significant afwijkt. Dit heeft ertoe geleid dat alle opnames na de 8e opname slechts met 5 punten per meetzijde zijn opgenomen.

Ten aanzien van de reductie van het aantal meetdriehoeken zal in het volgende hoofdstuk na de bespreking van de resultaten aandacht worden geschonken.

6.4.2. Resultaten

De grootschalige ontwikkeling van het meetgebied kan schematisch als volgt worden gekenschetst: Erosie vindt plaats onder stormomstandigheden (fig. 6.4.2 t/m 6.4.5), waarbij voor het meetgebied met name west en noordwestelijke stormen (windkracht 7 en groter) van belang zijn. Sedimentatie treedt op tijdens perioden met rustig weer, waarbij er gedurende springtij meer sedimenteert dan gedurende doodtij.

Dit algemene beeld wordt nogal verstoord vanwege het feit dat de sedimentatie/erosiemetingen meestal met relatief grote tussenpozen van 1 à 4 weken worden uitgevoerd, terwijl de erosie meestal het gevolg is van een storm die slechts één of maximaal twee getijperioden actief is. De sedimentatie die plaatsvindt na de storm tot aan het moment van de opname vertroebelt het effect van de storm.

Het hierboven geschetste globale beeld zal nu aan de hand van een aantal kenmerkende voorbeelden worden geïllustreerd.

In de figuren 6.4.2 t/m 6.4.5 staat de sedimentatie/erosie cumulatief uitgezet.

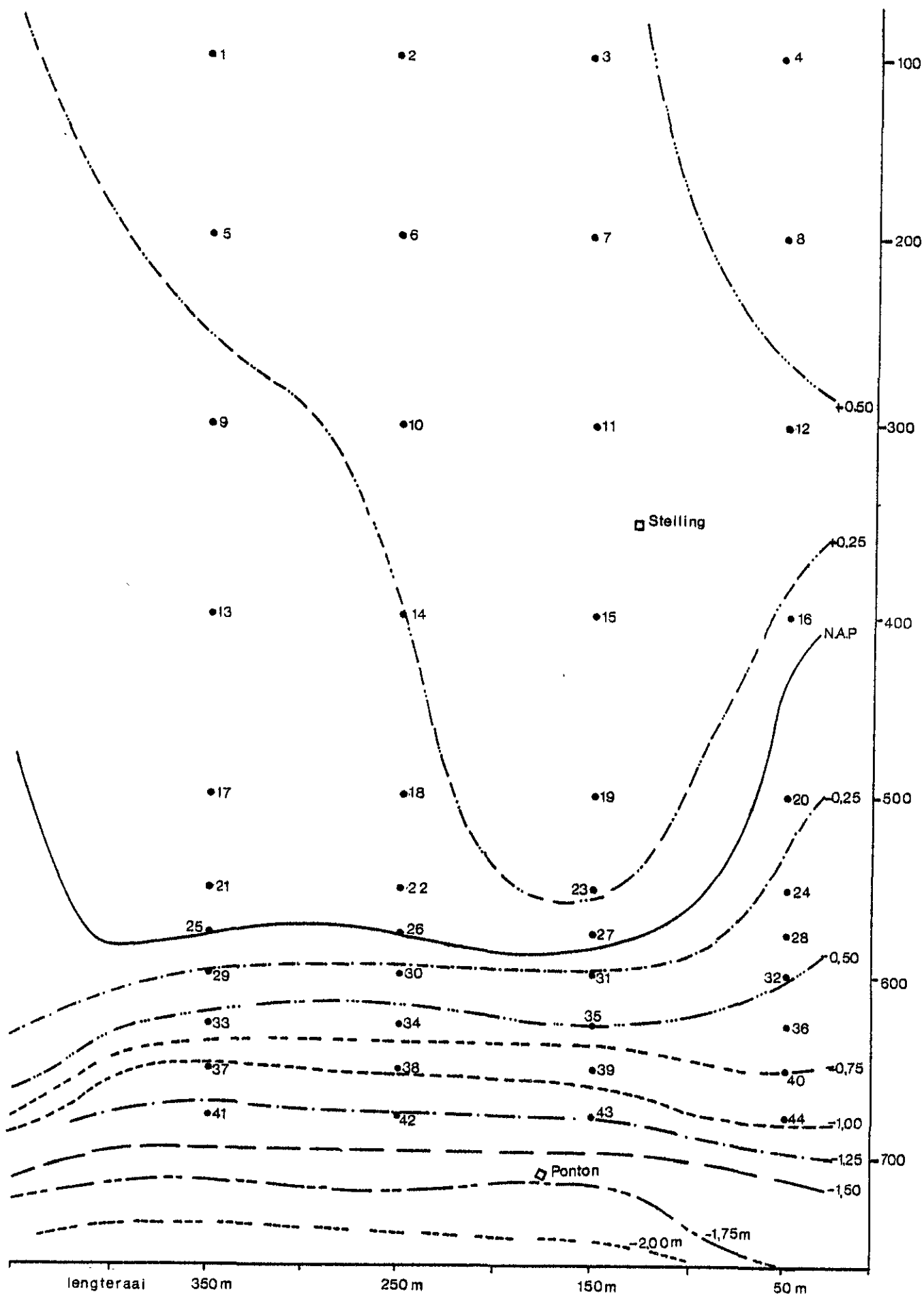


Fig. 6.4.1: Overzicht sedimentatie / erosie plots Galgeplaat

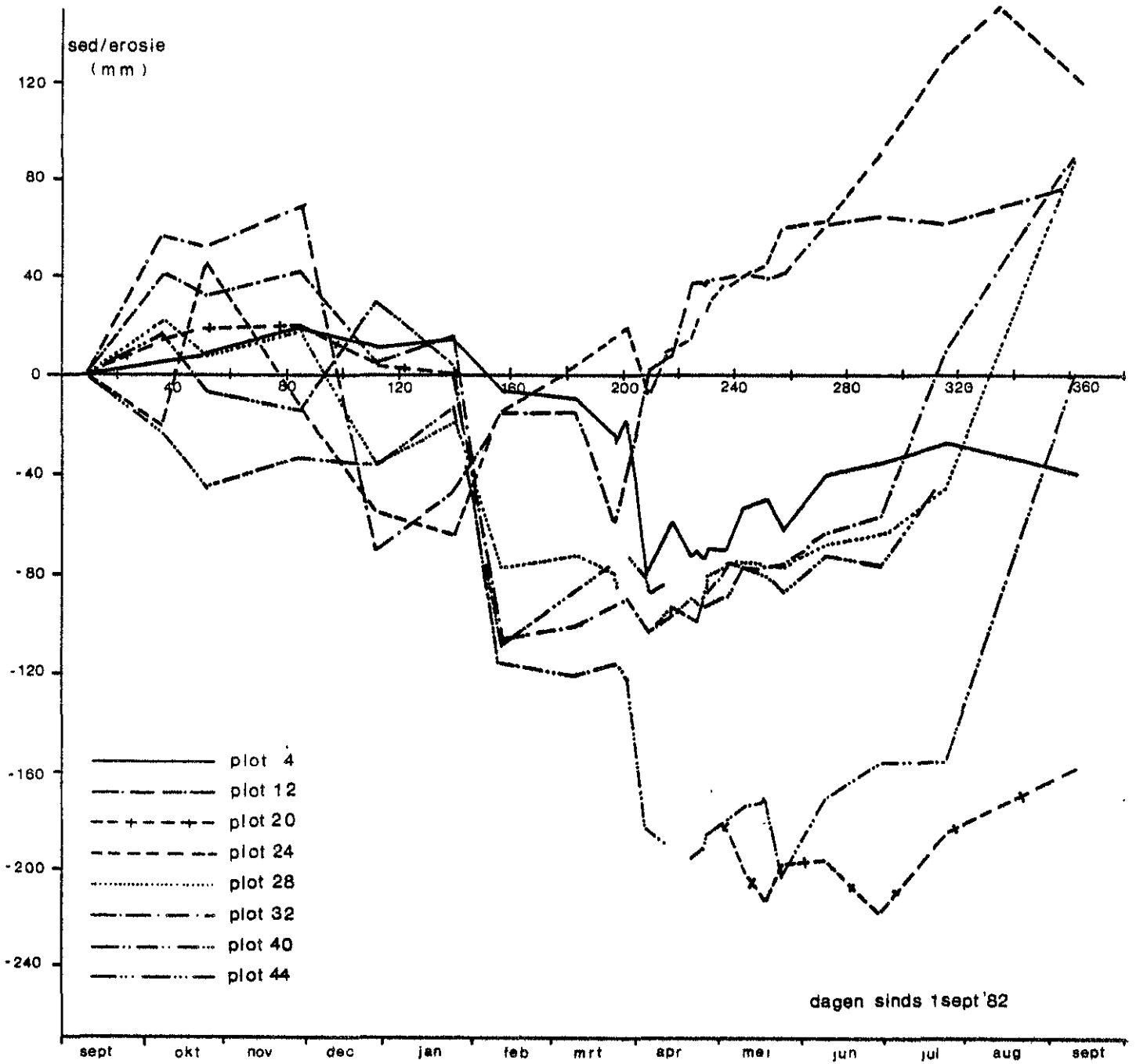
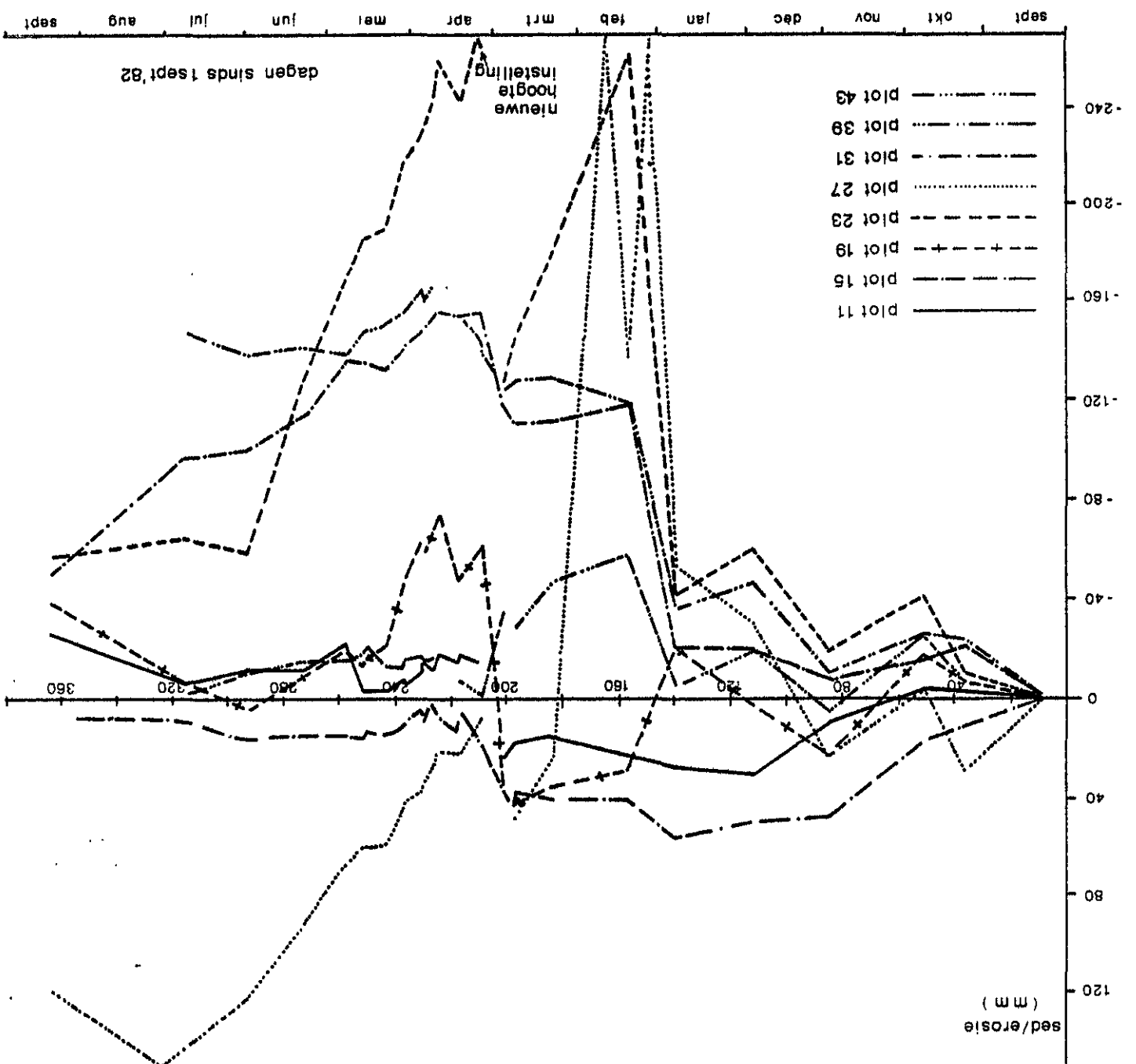


Fig. 6.4.2 : Cumulatieve sedimentatie/erosie lengte-raai 50

Fig. 6.4.3 : Cumulatieve sedimentatie/erosie lengte raai 150



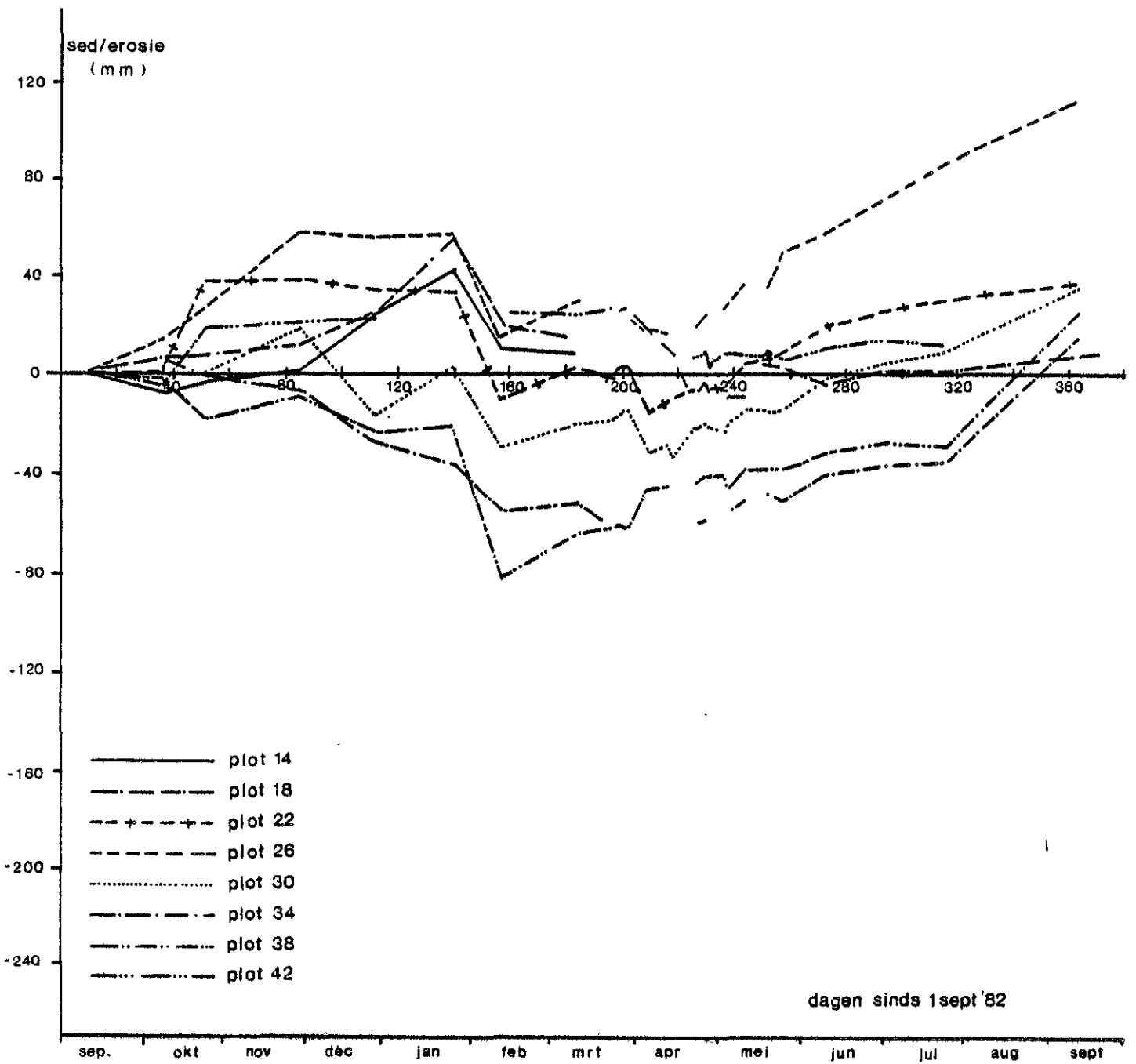


Fig. 6.4.4 : Cumulatieve sedimentatie / erosie lengte raai 250

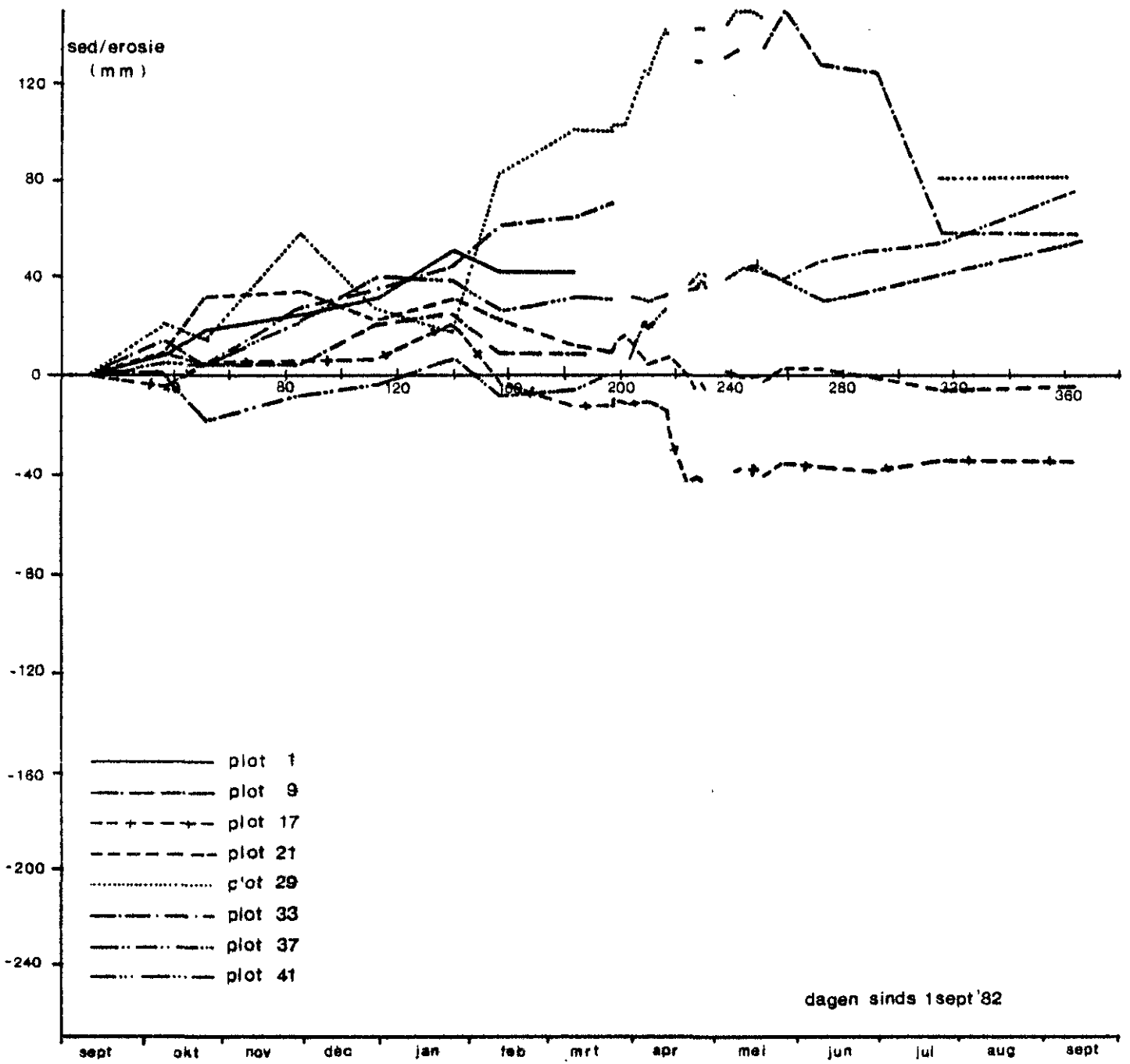


Fig. 6.4.5 : Cumulatieve sedimentatie/erosie lengte.raai 350

Op alle plaatjes is de invloed te zien van een noordwester storm in begin februari (Noordwester). De grootste erosie vindt plaats in raai 050, de minste in raai 350. Ook zichtbaar is de erosie veroorzaakt door de stormen op 21 en 26 maart.

Duidelijk is dat van februari af de sedimentatie de overhand neemt. De trend is binnen elke raai gelijk, hoewel de sedimentatiesnelheid van raai 350 tot raai 050 toeneemt (fig. 6.4.8).

Teneinde kwantitatieve uitspraken te kunnen doen voor het gehele meetgebied zijn de eerstvolgende bewerkingen uitgevoerd:

In figuur 6.4.6 staan de meetpunten drie-dimensionaal getekend ten opzichte van N.A.P. De grens plaatrand-plaat is goed waarneembaar. Nagegaan is of er verschillen in sedimentatie en erosie bestaan tussen de plaatrand en de bovenkant van de plaat. Tot de plaat werden de plotjes 1 t/m 19 gerekend, tot de rand de plotjes 20 t/m 44. Voor deze twee populaties is de gemiddelde absolute sedimentatie en erosie berekend, alsmede het totaal van de populatie. Bij het vergelijken is ook gebruik gemaakt van dezelfde gegevens, maar dan omgerekend naar mm per dag.

In figuur 6.4.7 staan de gemiddelde absolute sedimentatiecijfers uitgezet. De spreiding wordt met name veroorzaakt door metingen die met een tussenpoze van meer dan 10 dagen zijn uitgevoerd en waar windefecten een rol spelen in de sedimentatie.

Bovendien blijkt uit de cijfers dat er rond springtij meer sedimenteert dan bij doodtij. In fig. 6.4.11 staat het verloop van de sedimentatie per dag, van doodtij tot springtij. De curve is getrokken aan de hand van een aantal metingen rond springtij en doodtij. Met behulp van de curve is berekend wat er zou moeten sedimenteren over een tijdvak en wat er werkelijk gemeten is. De resultaten komen heel redelijk overeen.

Om de curve te verfijnen zijn echter meer plotmetingen met een tussenpoze van een dag nodig.

Alle sedimentatiecijfers van alle plots voor alle metingen zijn in één histogram verwerkt (fig. 6.4.13). De grote piek van 0 tot 0.5 mm/dag bestaat voor 75% uit metingen die met een tussenpoos van meer dan 10 dagen zijn uitgevoerd en waarin dus alweer lokale windefecten zitten. Wat betreft de erosie is het beeld wat onregelmatiger (fig. 6.4.9).

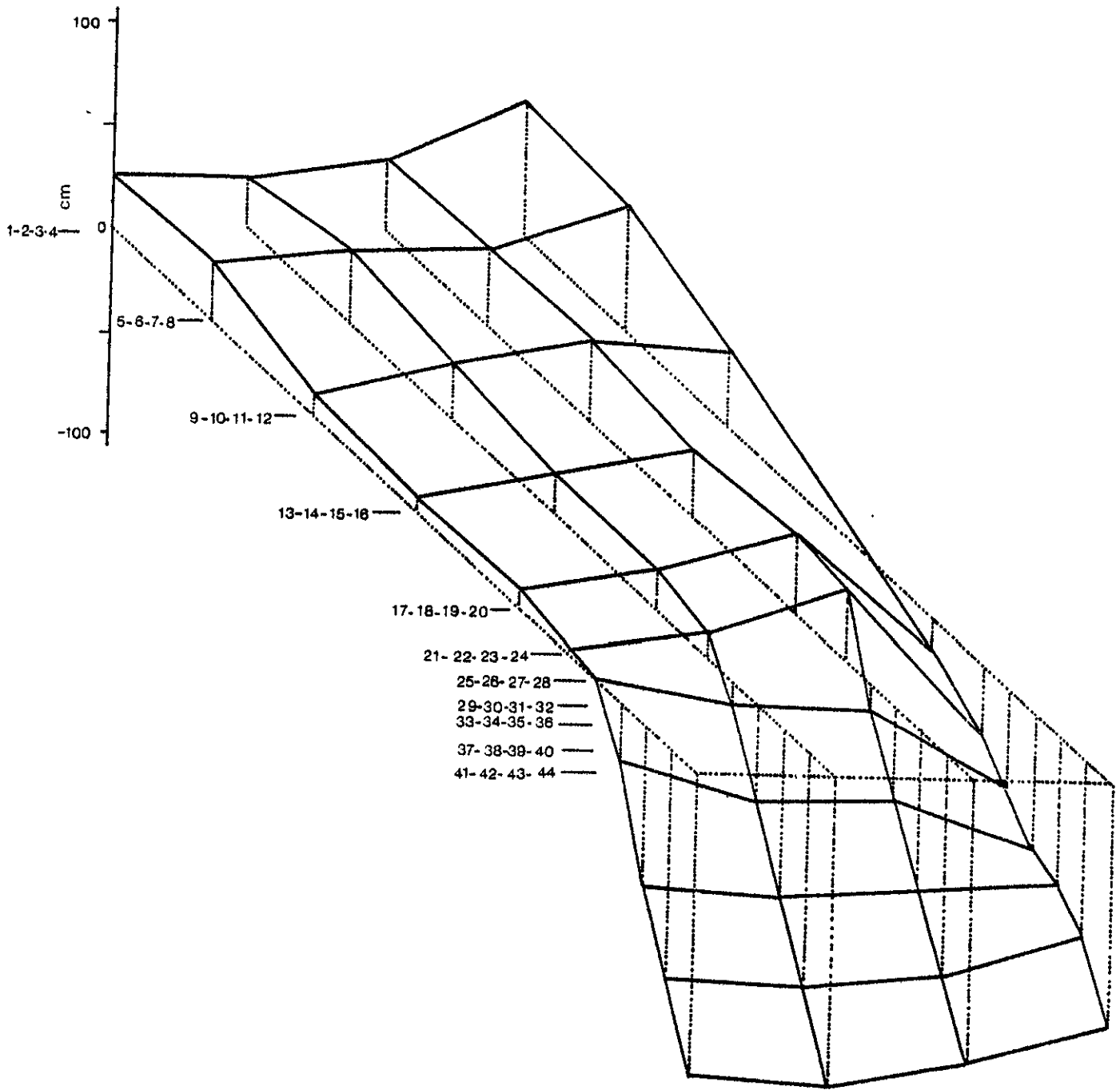


Fig. 6. 4. 6: Ruimtellijke weergave plots Galgeplaat

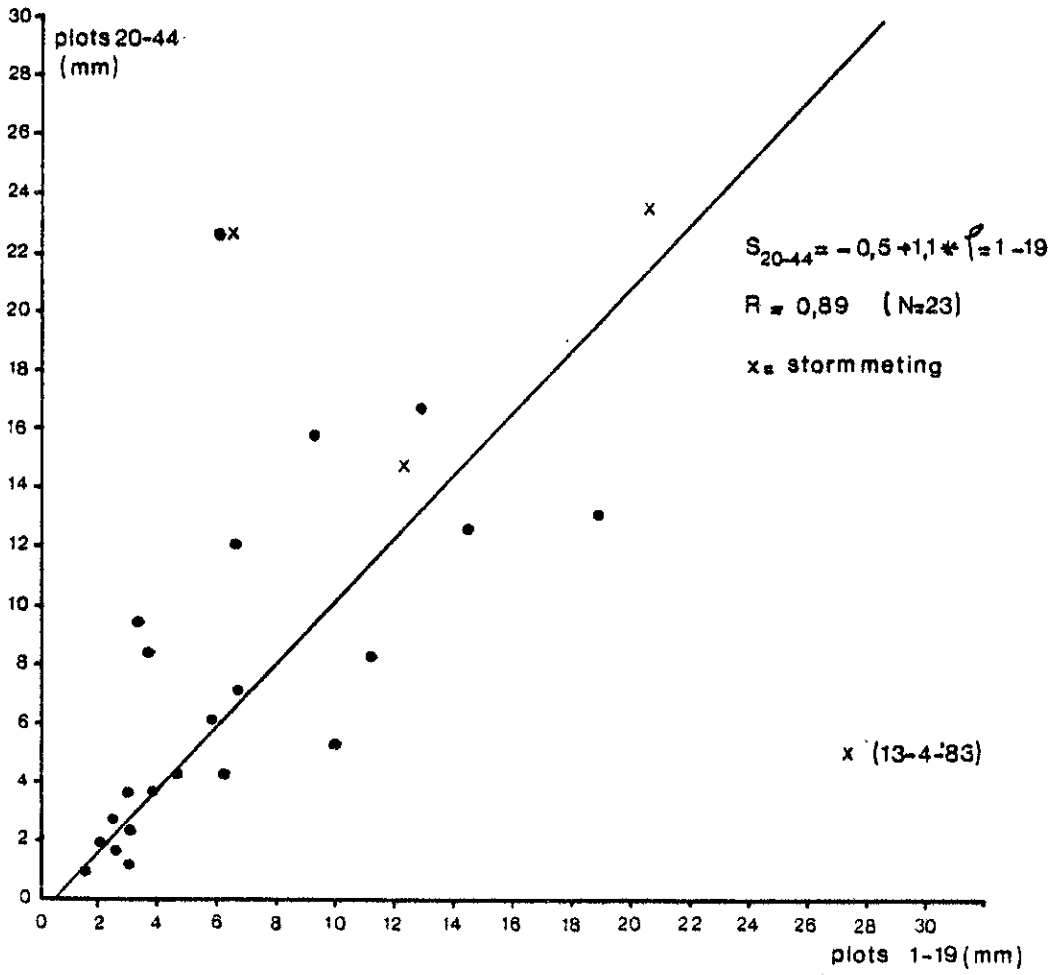


Fig. 6 4. 7 : Gemiddelde absolute sedimentatie plots 1-19 en 20 - 44

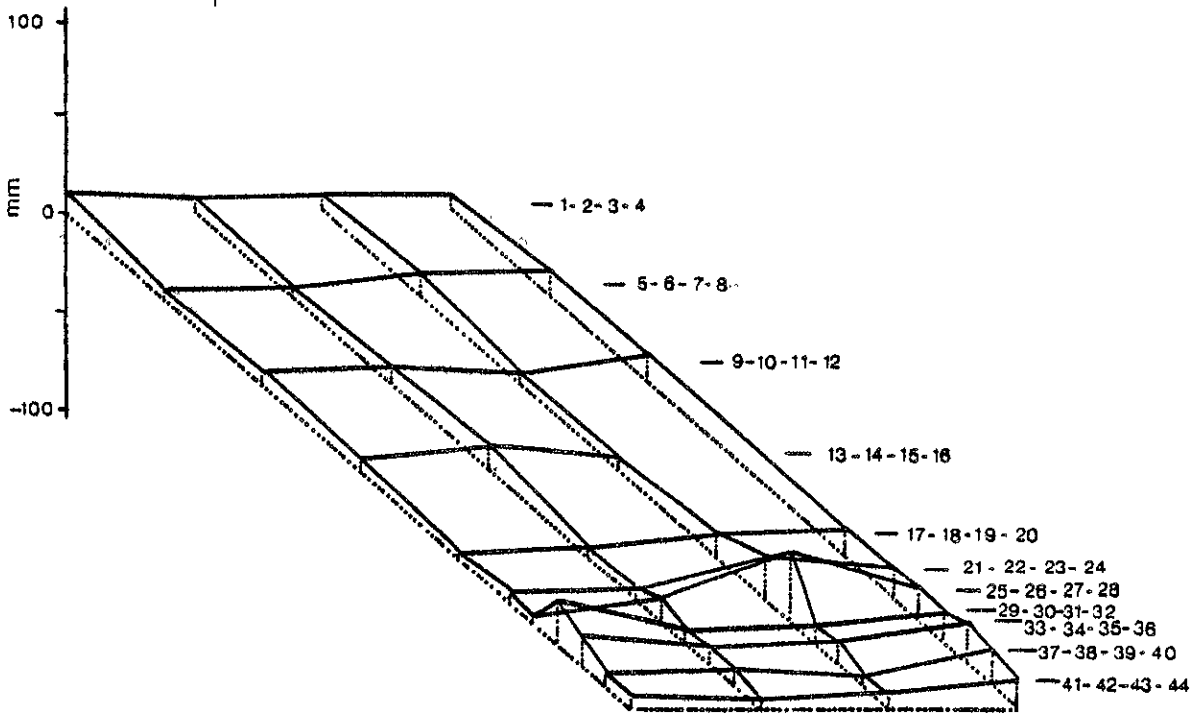


Fig. 6.4. 8 : Gemiddelde bruto sedimentatie (metingen 1 t/m 29) sept 1982 t/m aug 1983

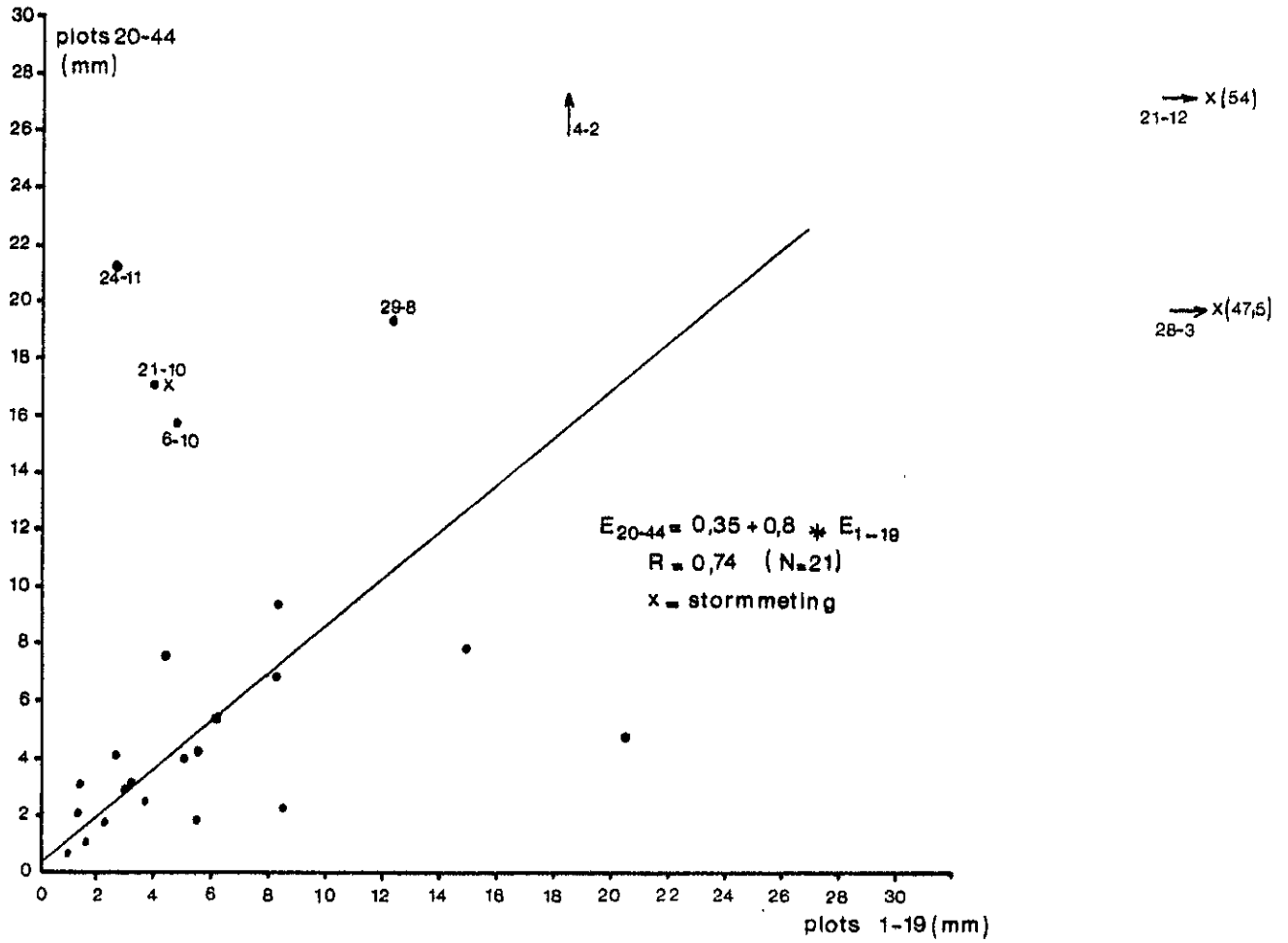


Fig. 6 4. 9 : Gemiddelde absolute erosie plots 1-19 en 20 - 44

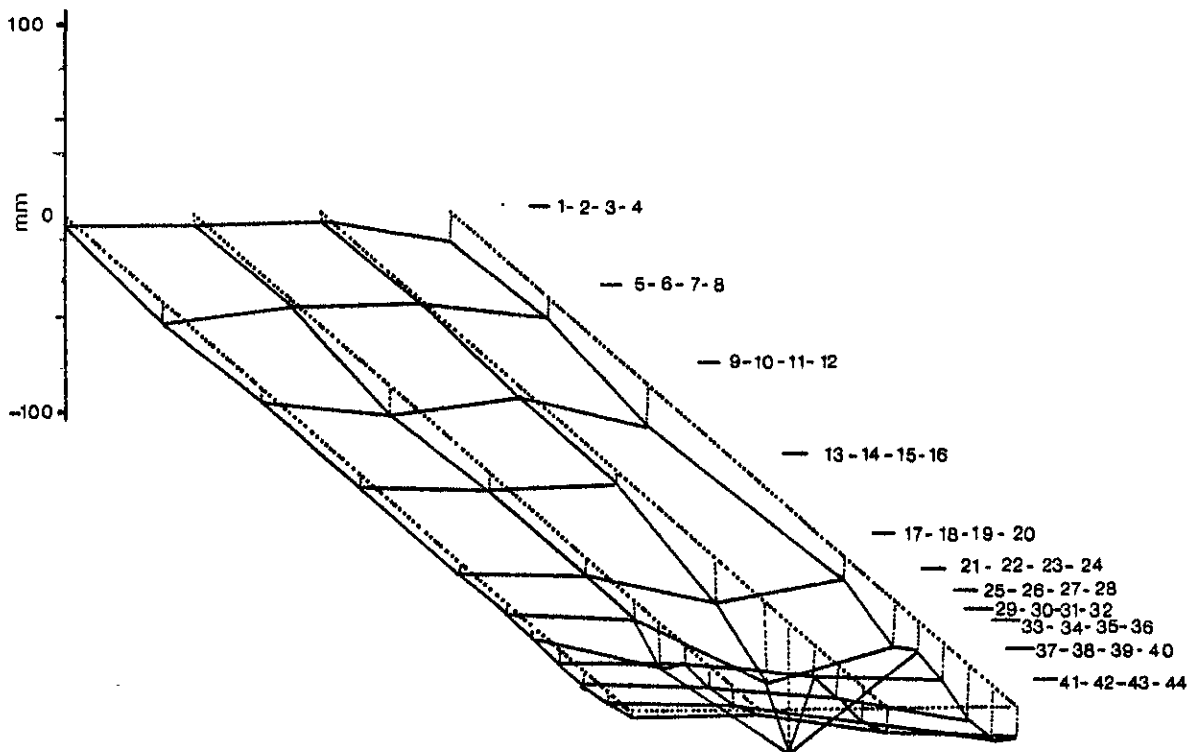
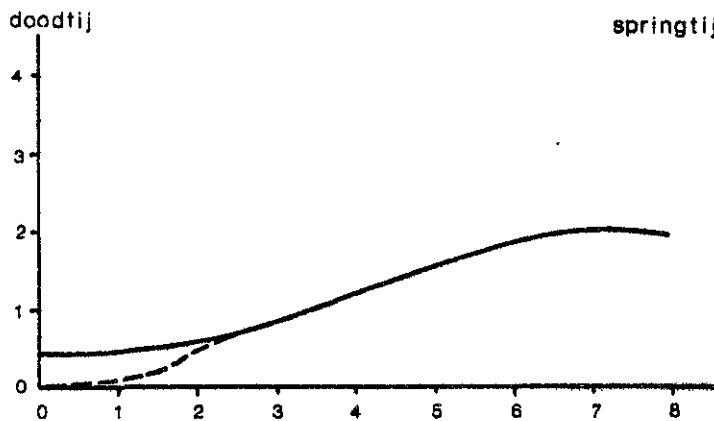


Fig. 6.4.10 : Gemiddelde bruto erosie (metingen 1 t/m 29) sept 1982 t/m aug 1983

Tijdens de storm van februari is er een factor 4 meer geërodeerd op de plaatrand, terwijl in december de erosie juist 2 maal zo sterk was op de bovenkant van de plaat. De gemiddelde absolute erosie per plot staat in fig. 6.4.10. Over het geheel genomen lijkt er iets meer erosie plaats te vinden op de plaatrand. Om het effect van verschillende stormen te illustreren staan in fig. 6.4.12 histogrammen van de plot-erosie. Zelfs tijdens de februaristorm erodeert slechts 80% van alle meetplots. Omgekeerd eroderen er altijd plotjes tijdens een periode waarin vnl. sedimentatie plaatsvindt. Dit betekent dat het netto totaal aan sedimentatie per populatie lager is. Voor de bovenkant van de plaat is dit bij rustig weer gemiddeld 47% van de totale sedimentatie, voor de rand 58%.

Op grond van de betrekkelijke uniformiteit in sedimentatie per populatie en de gelijkmatige trend per raai kan geconcludeerd worden dat een kleiner aantal meetpunten de grootschalige ontwikkelingen ook kan weergeven. Bij de keuze van de punten moet dan wel rekening worden gehouden met de lokale topografie, zoals blijkt uit het dynamische gedrag van plotjes 23 en 27. Deze punten liggen op een wat vooruitstekend deel van de plaat.



	gemeten	berekend
16-3 / 17-3	2,0	1,8
29-3 / 5-4	1,4 (18-12)	1,4
13-4 / 16-4	1,9	1,9
15-4 / 18-4	1,7 (20-14)	1,4
19-4 / 25-4	1,0	0,7
25-4 / 26-4	2,5 (24-27)	1,4
26-4 / 2-5	1,2	1,4
2-5 / 9-5	0,4	0,6

Fig. 6.4.11.: Verloop sedimentatie springtij-doodtij cyclus.

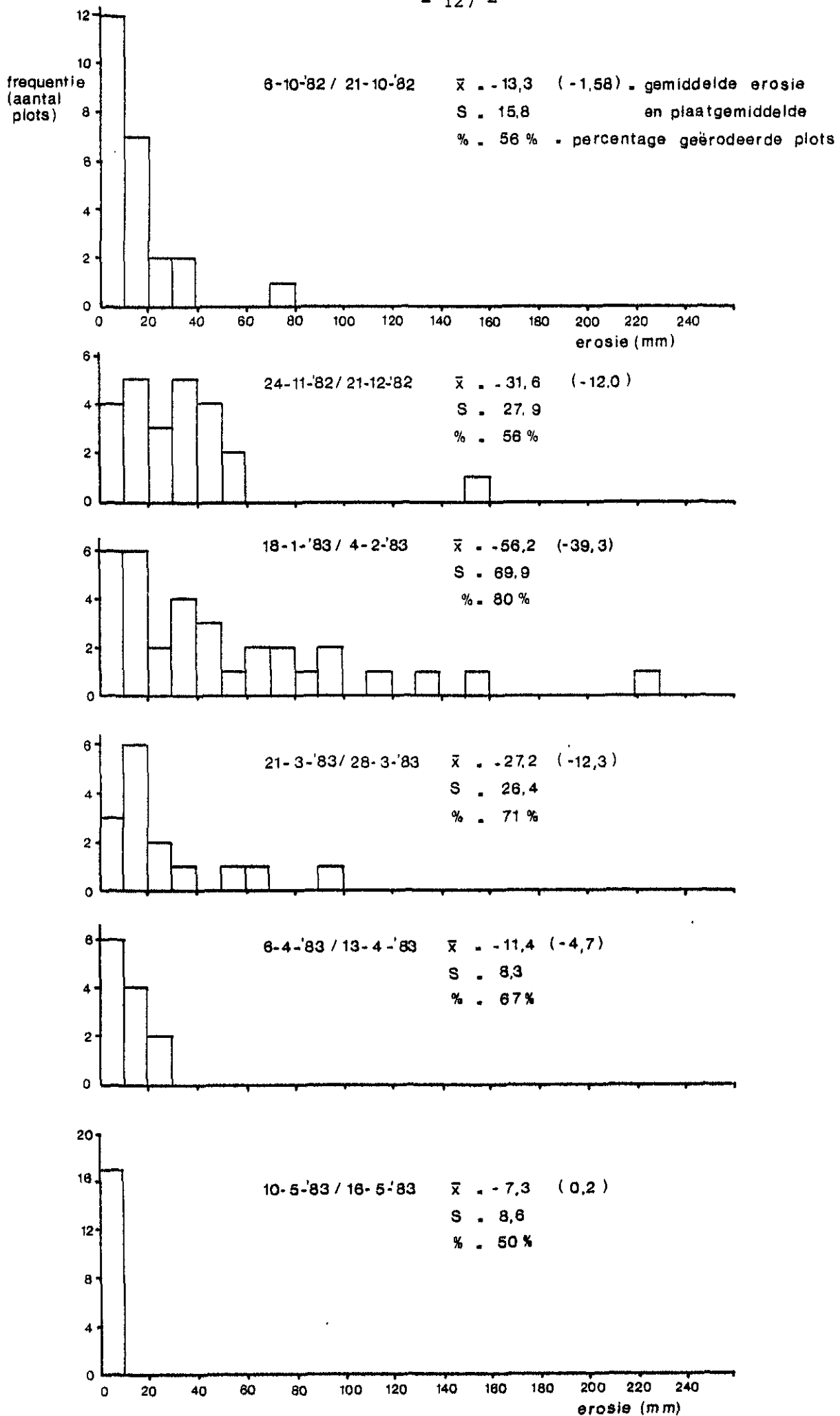


Fig. 6.4.12 : Ploterosie gedurende storm

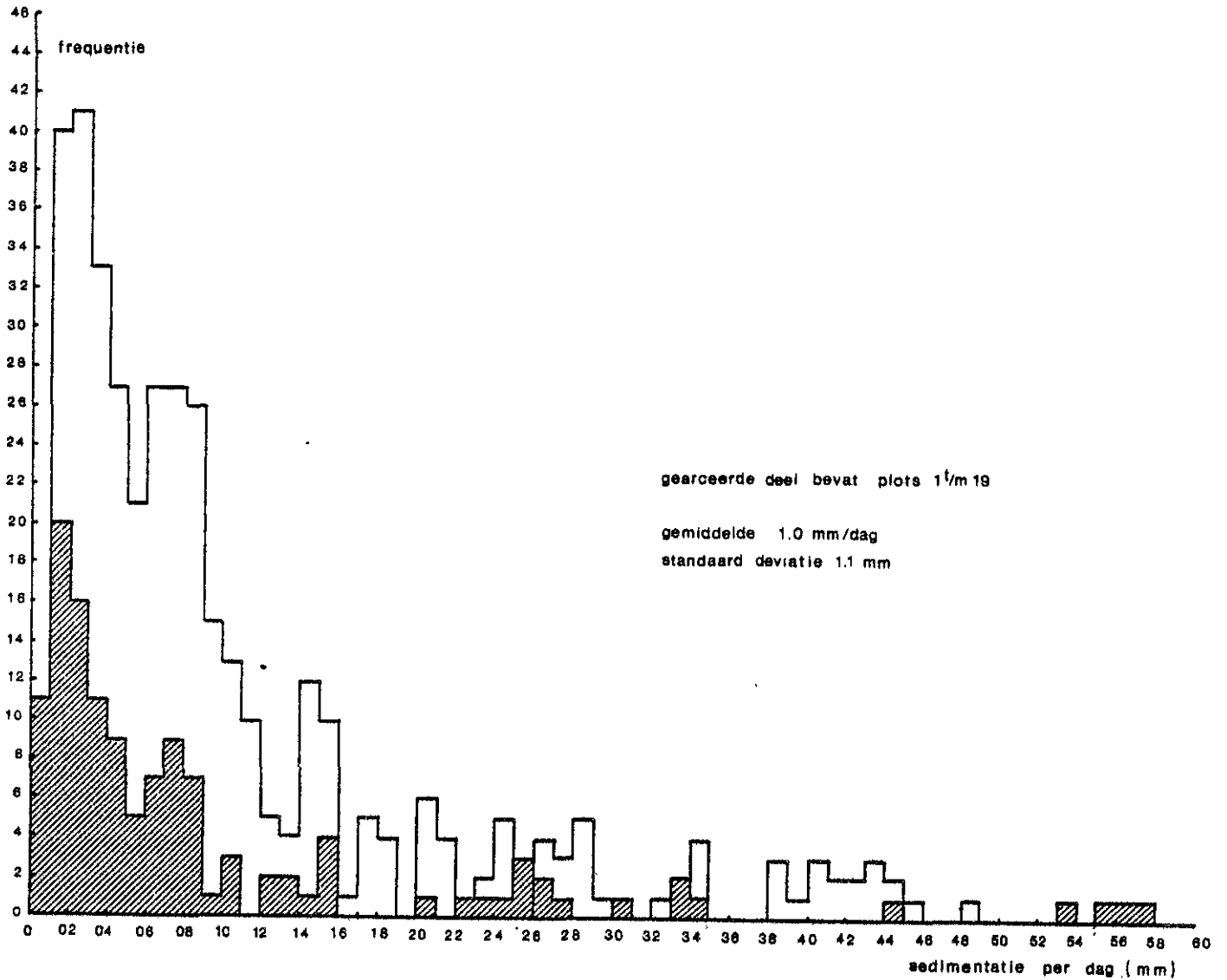


Fig. 6.4.13.: Sedimentatie snelheid (mm/dag) van alle plots: (8-9-'82 t/m 20-8-'83, met uitzondering van de metingen met storminvloed.

6.5. Bodemsamenstelling

In de notitie DDMI-83.316 en DDMI-83.649 is de aanwezigheid van een "ijzerbandje" besproken ter hoogte van de knik naar de plaatrand. Het ijzerbandje vormt geen aaneengesloten geheel, maar bezit een grillig patroon. Het ijzerbandje is bestendiger tegen erosie dan het omliggende sediment. Dit komt met name naar voren na zware erosie zoals in begin februari 1983.

Uit een korrelgrootte-onderzoek is gebleken dat het bandje ten opzichte van het omringende sediment geen afwijkende samenstelling heeft.

Het ijzergehalte van de gereduceerde ondergrond, de geoxideerde bovengrond en de overgang tussen deze twee lagen is op een negental plaatsen onderzocht. Er blijkt geen verschil te zijn in Fe_0 -gehalte tussen de gereduceerde en de geoxideerde laag. Ter plaatse van het ijzerbandje is de overgangszone tussen de twee lagen maximaal 100% in Fe_0 aanrijkt. Uit een onderzoek naar de bodemfauna blijkt dat ter hoogte van het bandje veel meer kreeftachtigen (*Bathyporeia* en *Corophium valutator*) worden aangetroffen dan elders op de plaat. Beide diertjes graven zich enkele centimeters in de bodem. Uit slijpplatenonderzoek komt duidelijk naar voren dat de roestvorming geconcentreerd is rondom of onder de gangen. De gangen bevorderen de drainage waardoor een snelle oxidatie van de redox-actieve verbindingen plaatsvindt en het ijzer zich rond gangen concentreert.

Ten behoeve van het diatomeeënonderzoek is het poriënwater op 9 mei, 16 juni en 3 augustus bemonsterd. De monsters werden binnen een lengteraaï op verschillende dieptes genomen. Na het natte voorjaar bleek de chlorideconcentratie met de diepte toe te nemen. Later in het jaar keerde de gradiënt echter weer om. Het Fe_{tot} -gehalte varieert niet binnen een raai en verloopt onregelmatig met de diepte. Ter hoogte van het ijzerbandje is de concentratie hoger.

De ammonium-, fosfaat-, anorganische koolstof- en siliciumconcentraties namen toe van hoog naar laag op de plaat.

Daarnaast bevindt er zich nog een scherpe concentratie-afname tussen 0 en 5 cm. De oorzaak van deze verschillen in concentratie ligt waarschijnlijk in de betere drainage hoger op de plaat en de hoeveelheid aanwezige bodemdiatomeeën.

Voor de bestudering van de variatie in sedimentsamenstelling in ruimte en tijd, zijn gedurende 1 jaar, 15 korrelgroottemonsters genomen nabij de sedimentatie/erosieplotjes van raai 250 (raai 3). Daarnaast is de variatie in sedimentsamenstelling per monsterpunt tweemaal onderzocht. Het sediment bij alle 44 plotjes is ook tweemaal bemonsterd.

Uit het onderzoek volgt dat de variatie in sedimentsamenstelling per meetpunt gering is. De variatie in D_{50} tussen de vier raaien onderling is in maart kleiner als in september. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de voorjaarsstormen. De gemiddelde D_{50} van de dwarsraaien neemt toe vanaf de laagwaterlijn in de richting van de knik met de plaatrand. Op het eerste deel van de plaatrand blijft het sediment wat grover, hoger op de plaat wordt het weer fijner.

In de tijd gezien blijken er belangrijke variaties op te treden in de sedimentsamenstelling van de meetplot. Tijdens perioden met hoog energetische omstandigheden neemt de D_{50} toe (fig. 6.5.1). Het fijne sediment wordt kennelijk uitgewassen en gaat op transport. Tijdens rustige weersomstandigheden neemt de D_{50} weer af. Er vindt dan waarschijnlijk sedimentatie plaats van fijn materiaal. Uit de korrelgrootte-analyse van een aantal in de vertikaal genomen watermonsters bleek de gemiddelde D_{50} ongeveer 130 μ te bedragen. Dichtbij de bodem bedroeg de $D_{50} \pm 140 \mu$.

De trend in de D_{50} van de plotjes is vaak gelijk, een mooi voorbeeld hiervan is rond april te zien. Over een jaar genomen is het sediment boven op de plaat iets grover geworden. Op de rand is het gelijk gebleven of iets fijner geworden.

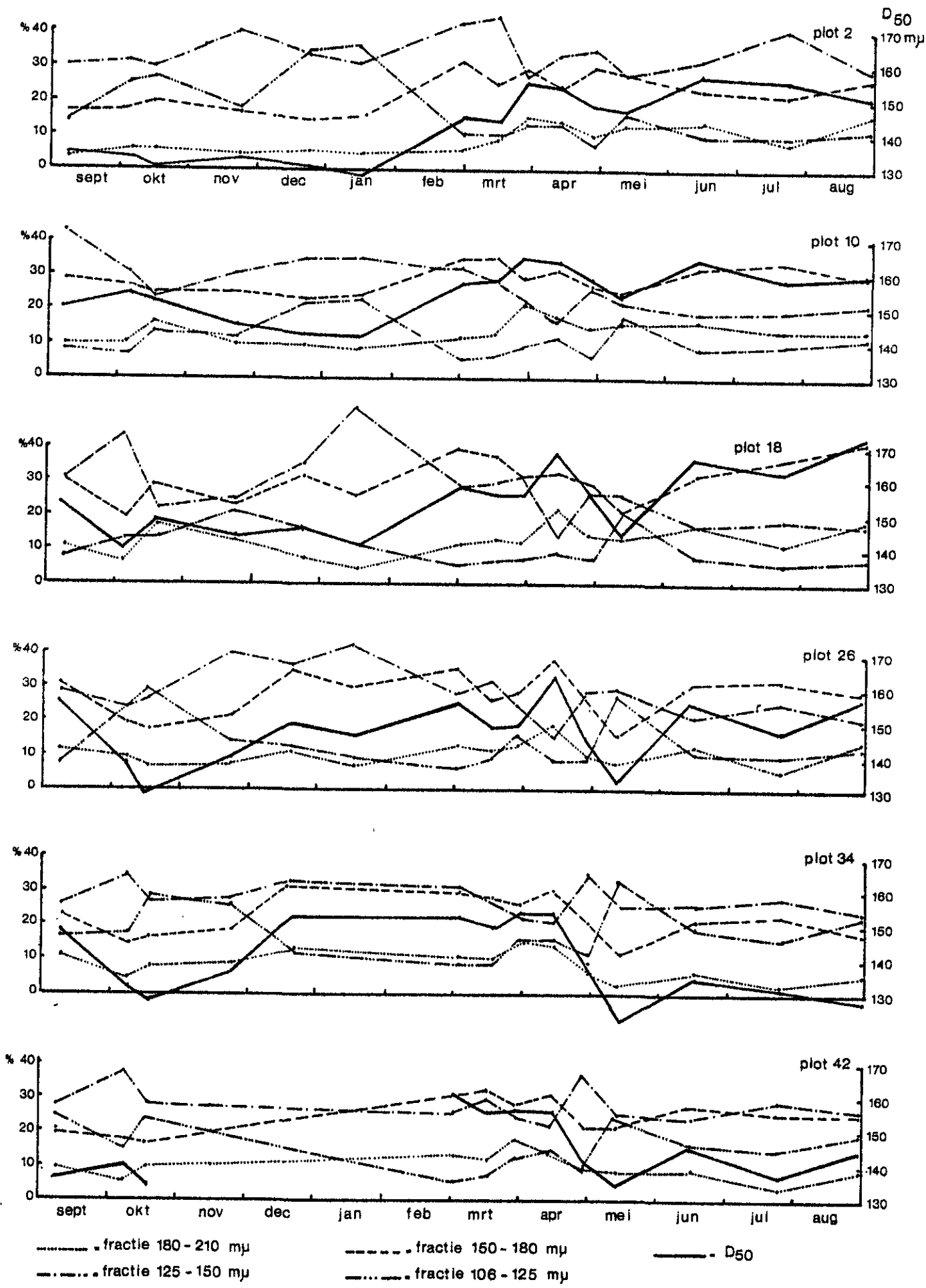


Fig. 6.5.1 : Verloop in de tijd van D₅₀ en procentuele korrelgrootte fracties

6.6. Bodemdiatomeeën

In het intergetijdegebied bestaat het microfytobenthos overwegend uit diatomeeën. Deze benthonische diatomeeën verhogen de kritische schuifspanning van het sediment.

Een deel van de benthonische diatomeeën (nl. de epipsammische) zijn vastgehecht op de zandkorrels. Hierdoor wordt de ruwheid van de zandkorrels vergroot en vertragen deze diatomeeën het sedimenttransport.

De door het sediment kruipende (de epipelische) diatomeeën produceren bij hun voortbeweging slijm en hebben daardoor de neiging sedimentkorrels aan elkaar te kitten. Ook hierdoor wordt de weerstand tegen erosie bevorderd.

De grootte van de stabiliserende werking is afhankelijk van:

- de rijkdom, de hoeveelheid diatomeeën in het sediment. Deze wordt bepaald door middel van celtelling en biomassa (chlorofyl a) bepalingen.
- de levenswijze, het onderscheid tussen kruipende en de aan de zandkorrels vastzittende diatomeeën wordt bepaald m.b.v. de lens-tissue methode. De kruipende diatomeeën hebben het vermogen in de tissue te komen; de aan de korrels vastzittende diatomeeën niet.

Het aantonen van de stabiliserende werking van benthonische diatomeeën wordt gedaan m.b.v. laboratoriumproeven en veldexperimenten.

Laboratorium:

- Gewerkt wordt aan een opstelling die het verband, tussen de hoeveelheid energie die nodig is om het sediment in beweging te krijgen en het chlorofyl a gehalte, aantoont.

In kernen (diameter 12 cm) wordt sediment op verschillende plaatsen in het veld bemonsterd. In het laboratorium wordt op het sediment een waterkolom van 10 cm gebracht en met behulp van een roerder rondgedraaid. Het moment dat het sediment in beweging komt (het aantal omwentelingen dat hiervoor nodig is) en/of de hoeveelheid sediment in suspensie bij een bepaald toerental wordt uitgezet tegen de belangrijkste parameters die de kritische schuifspanning bepalen, de korrelgrootte, poriënvolume en diatomeeën (chlorofyl a gehalte).

Veld:

- Proef met kopersulfaat. Door verontreiniging met kopersulfaat kan (door doding van de diatomeeën) op een klein deel van een plaat de

bindende werking uitgeschakeld worden en het hierdoor ontstane verschil in erosie/sedimentatie kan gemeten worden (Boer de, 1981).

- Schuifspanningsmetingen met behulp van de Hydro Critical Erosion Meter (HCEM). Dit apparaat wordt thans ontwikkeld. Door deze metingen te vergelijken met de rijkdom bepalingen en met andere parameters zoals de korrelgrootte van het gemeten deel kan de sedimentstabiliserende werking van de diatomeeën worden afgeleid.

Op de Galgeplaat wordt - binnen de meetplots GALA en GAHO en in de directe nabijheid daarvan - één keer per maand (vanaf januari 1983) bemonsterd. Daarnaast vinden minder frequent bemonsteringen plaats op de Slikken van Vianen en in de Grevelingen om respectievelijk de invloed van de korrelgrootte en golfwerking op de diatomeeën populatie te kunnen relateren aan die van de Galgeplaat.

De volgende conclusies kunnen na 6 maanden onderzoek naar de relatie tussen het microfytobenthos en de erosie/sedimentatie in het intergetijdengebied worden getrokken:

1. Op de Galgeplaat en op het zandige gedeelte van de Slikken van Vianen overheersen de kleine diatomeeën ($< 25 \mu$). Zij dragen ook het grootste deel bij aan het chlorofyl a gehalte van het sediment. De diatomeeën flora van de Galgeplaat komt in hoge mate overeen met die van de zandige monsters van de Slikken van Vianen. De kleiige monsters van Vianen wijken enigszins af.
2. De diatomeeën flora op de Galgeplaat is, wat betreft de soortensamenstelling vrij constant, zowel in ruimte als in tijd.
Navicula peregrina ($> 35 \mu$) komt alleen in het voorjaar, vooral aan de rand van de plaat, veel voor. Vanaf mei verdwijnt deze soort. De kleine diatomeeën compenseren dit verlies; een daling in het chlorofyl a gehalte treedt niet op.
3. De grootste concentratie aan levende diatomeeën (op de Galgeplaat) bevindt zich in de bovenste 4 cm van het sediment.
4. Een sterke toename van de rijkdom aan diatomeeën in het voorjaar (voorjaarsbloei) is, in tegenstelling tot de algemene trend die Daemen & Vereecken (1982) - voorlopig - in de Oosterschelde hebben waargenomen, op de Galgeplaat niet aanwezig. Pas in de zomermaanden bereikt het chlorofyl a gehalte zijn hoogste waarden.

5. Rustige weersomstandigheden, zoals die zich in de afgelopen zomermaanden hebben voorgedaan, zijn gunstig gebleken voor de diatomeeëngroei. Beperkende factoren die de biomassa doen dalen doen zich op de Galgeplaat niet voor. Dit is mogelijk wel het geval in het hoger liggende kleiige gedeelte van de Slikken van Vianen, waar in de zomermaanden het chlorofyl a gehalte daalt.
6. Tijdens ruwe weersomstandigheden in het bijzonder tijdens noordwester stormen, zoals b.v. in januari 1983, daalt de diatomeeënrijkdom in sterke mate op die plaatsen waar de bovenste 4 cm van het sediment is weggeërodeerd. Op plaatsen waar dit niet is gebeurd, blijft de rijkdom aan diatomeeën nog redelijk op peil.
Enige dagen na een storm heeft de diatomeeënflora zich, op de sterk geërodeerde plaatsen, weer hersteld.
7. Beneden de GLW-lijn (in de geulen) is het aantal levende diatomeeën gering (wel komen er veel dode gebroken diatomeeën schalen voor). Dit lijkt te worden veroorzaakt door een combinatie van een geringe lichtinstraling door het vele materiaal dat in suspensie is en door de getijde stromen.
8. Op de Galgeplaat is de diatomeeënrijkdom op het hoger liggende centrale vlakke deel in de hele periode vanaf januari t/m augustus aanzienlijk groter dan op de lager liggende delen. Een verklaring hiervoor is een geringere invloed van de golfwerking en/of een grotere lichtinstraling.
9. Nabij de oeverlijn van het Grevelingenmeer, aan de westkant van de Veermansplaat, was de rijkdom aan diatomeeën op 21 september zeer gering. De lage chorofylwaarden worden veroorzaakt door de golfwerking.
10. Een inleidende proef met kopersulfaat uitgevoerd in april 1983 op de Galgeplaat om de remmende werking van algen aan te tonen, heeft niet tot het beoogde resultaat geleid. Een breder opgezet experiment zal in het najaar 1983 plaatsvinden.

Uit de bovenstaande conclusies van het onderzoek tot nu toe blijkt dat de rijkdom aan diatomeeën, die voor een belangrijk deel de sediment stabiliserende werking van de diatomeeën bepaalt, vooral afhangt van het energie niveau binnen het milieu. Tijdens hoog energetische omstandigheden in het intergetijdegebied is de rijkdom gering en tijdens

laag energetische omstandigheden - indien er geen overige beperkende factoren een rol spelen - is de rijkdom groot.

Wat betreft de relatie tussen de golfwerking en de stabiliserende werking van diatomeeën op intergetijdse afzettingen bestaat een terugkoppelingsmechanisme; wordt gedurende een lange tijd het milieu onrustig dan neemt de hoeveelheid diatomeeën af, wordt de beschermende werking minder, dan erodeert het sediment sneller.

Het omgekeerde proces kan ook optreden; wordt het milieu gedurende een langere tijd rustiger dan neemt de diatomeeën populatie toe en wordt de stabiliserende werking groter.

In het ecosysteem van de Oosterschelde bestaat momenteel min of meer een evenwichtssituatie, tijdens ruw weer vindt er op de platen erosie plaats en wordt een deel van de beschermende diatomeeënlaag afgebroken. In de daarop volgende rustigere periode herstelt de diatomeeën populatie zich weer en bouwen de platen zich langzaam weer op.

Na de voltooiing van de Stormvloedkering zal, door de vermindering van de getijde-amplitude, de golfwerking op een kleiner traject geconcentreerd worden. Gezien de bovenstaande conclusies is het de verwachting, dat hierdoor de diatomeeën rijkdom en daarmee de stabiliserende werking aan de randen van de platen zal afnemen. Een extreem voorbeeld van een dergelijke afname is de oever van de Veermansplaat waar na de afdamming van de Grevelingen de golfwerking op één niveau werd geconcentreerd en waar de diatomeeën populatie thans vrijwel nihil is. Om te weten hoe groot de veranderingen na de bouw van de SVK in het getijde ecosysteem zullen zijn, is het van groot belang kwantitatief de grootte van de stabiliserende werking, die de diatomeeën op het sediment uitoefenen, te weten. Het is de verwachting dat de Hydro-Critical-Erosion-Meter, die thans ontwikkeld wordt, van grote waarde zal zijn bij het beantwoorden van deze vraag.

6.7. Relatie tussen de hydraulische parameters, bodemparameters en de morfologie

6.7.1. Algemeen

In het hoofdstuk morfologie is al gewezen op het feit dat er sedimentatie onder rustig weercondities optreedt en erosie gedurende stormsituaties. Worden deze kwalitatieve uitspraken nu vergeleken met de resultaten van de verschillende transportberekeningen, zoals die in de paragraaf hydraulica behandeld zijn, dan kan het volgende worden opgemerkt:

- uitgaande van de totale transporten (excl. stormen) (fig. 6.3.29 en 6.3.30) lijkt er een duidelijke doodtij-springtijrelatie aanwezig, waarbij gedurende doodtij nauwelijks nog van transport (50 kg/m/getij) sprake is. Toch is dit geringe transport verantwoordelijk voor een gemiddelde sedimentatie van ca. 0,5 mm/dag. Met andere woorden, een gering transport kan op bepaalde momenten verantwoordelijk zijn voor relatief grote morfologische veranderingen. Immers, vergelijken we dit met de situatie rond springtij dan zijn er relatief grote transporten (ca. 200 tot ca. 1200 kg/m/getij), terwijl de sedimentatie in de orde van 2 mm/dag ligt. Met andere woorden, een groot gedeelte van het optredende transport wordt niet gebruikt voor morfologische veranderingen.
- De totale transporten gedurende stormen is al gauw een factor 2 tot 50 groter dan het transport onder normale omstandigheden (fig. 6.3.29 voorbeeld 6 april; 11 en 12 april). Kennelijk heeft onder deze meer of minder extreme situaties dat deel van het transport dat normaal voor de sedimentatie zorgt geen kans om te bezinken en wordt er lokaal netto materiaal opgewerveld/geërodeerd.

6.7.2. Variaties in ruimte en tijd van het transport

Uit hetgeen in de vorige paragraaf is opgemerkt komt de vraag naar voren welk deel van het transport is nu eigenlijk van belang voor de morfologische veranderingen en waarom is juist dat deel van belang.

Het antwoord op deze vraag kan verscholen liggen in het lokale tijdfankelijke gedrag van het transport of in het ruimtelijke gedrag van het transport, of in een combinatie van beide. Gebruikmakend van de metingen sec kan geen uitspraak over de ruimtelijke variabiliteit in

het transport worden gedaan, omdat op de Galgeplaat geen ruimtelijk net van hydraulische metingen bestaat. Betreffende de ruimtelijke variabiliteit in het transport spelen zowel ruimtelijke verschillen in de stroomsnelheid als ruimtelijke verschillen in de mate van opwerping van sediment een rol. Vergelijk bijvoorbeeld het verschil in de empirische verbanden tussen stroomsnelheid en concentratie van de vloedstroom tussen Stelling en Ponton (zie par. 6.3). Tevens kunnen lokale verschillen in de kritische erosiesnelheid optreden. Deze kunnen afhankelijk zijn van ruimtelijke verschillen in korrelgrootte, van het voorkomen van ijzerbandjes of van de ruimtelijke variabiliteit in de biologische activiteit. Hoewel het voor de Galgeplaat nog niet bewezen is dat diatomeeën een bindende werking op het sediment hebben, blijken er wel ruimtelijke verschillen in de diatomeeënrijkdom te bestaan. Boven op de plaat komen meer diatomeeën voor dan langs de plaatrand, hetgeen een potentieel verschil in kritische erosiesnelheid inhoudt.

In de volgende paragraaf wordt, gebruikmakend van met behulp van het model WAQUA berekende stroomsnelheden, een proefberekening uitgevoerd. Hierin komen ruimtelijke aspecten van het zandtransportpatroon naar voren. Een belangrijk onderdeel van deze berekening vormen echter ook de tijdsafhankelijke variaties in het zandtransport en de inhoud van de concentratievertikaal. Hierbij zijn de verschillen in de empirische verbanden tussen stroomsnelheid en concentratie van belang. Zo bleken er (per meetlocatie) verschillen in deze verbanden te bestaan tussen versnellende/vertragende vloed/ebstroming. Tevens bleek dat voor dezelfde vier gevallen onderscheid gemaakt kan worden in de vorm van de concentratievertikaal (par. 6.3). Het is duidelijk dat de voornoemde verschillen van invloed kunnen zijn voor de sedimentatie/erosie op de plaat. Betreffende de temporele variabiliteit in de transporten speelt tevens de DT-ST-cyclus een rol. Bij springtij zijn de stroomsnelheden en dientengevolge de sedimenttransporten aanzienlijk groter dan bij doodtij (vgl. § 6.3.4.). Tevens blijken over de DT-ST-cyclus variaties in de dominerende stroming op te treden (vgl. § 6.3.1.). Denk hierbij bijvoorbeeld aan de situatie bij het ponton waar bij DT de eb en vloed maxima in de stroomsnelheid nagenoeg gelijk zijn ter-

wijl bij St de vloedstroom duidelijk dominant is. Deze variatie kan natuurlijk ook een ruimtelijke weerslag hebben. Variaties betreffende nog grotere tijdschaal dan de DT-ST-cyclus is bijvoorbeeld een variatie over de seizoenen. Deze kan eveneens tot variatie in de sedimenttransporten leiden. Het duidelijkste voorbeeld hiervan is de in hoofdzaak in de herfst en winter voorkomende stormen. Stormen blijken over het algemeen tot erosie van de plaat aanleiding te geven. De mate van erosie tijdens storm is echter van een groot aantal factoren afhankelijk, zoals windsnelheid, windrichting, duur van de storm, het moment van de storm in de ST-DT-cyclus en het moment van de storm in de eb- en vloedcyclus. Zo geeft een storm die samenvalt met laagwater alleen aanleiding tot erosie van de plaatrand, terwijl het bovenste deel van de plaat onaangetast blijft. Indien de storm gaat liggen kan tengevolge van de verhoogde concentraties in het water (vgl. § 6.3) zelfs netto sedimentatie boven op de plaat optreden. Een ander optredend fenomeen bij storm is het uitwassen van de relatief fijne bodemdeeltjes, waardoor de D_{50} -waarde van het sediment toeneemt. Dit is weer van invloed op de transporteerbaarheid van het bodemmateriaal en daarmee op de erodeerbaarheid.

Uit het bovenstaande komt naar voren dat de processen die een rol spelen bij de sedimentatie en erosie van de plaat uitermate complex zijn. De van eind maart t/m begin mei uitgevoerde meetcampagne is dan ook te kort geweest om een uitspraak te kunnen doen over het belang voor de sedimentatie/erosie van alle in het voorgaande genoemde factoren.

6.7.3. Berekeningen sedimentatie/erosie bovenkant plaat

In par. 6.3. is besproken dat de grootte van het suspensietransport afhankelijk is van de gemiddelde stroomsnelheid, de maximale orbitaal-snelheid bij de bodem, de stroomrichting, de gradiënt van de stroomsnelheid in de tijd en de locatie op de plaat. Gebruikmakend van deze resultaten kan voor een gegeven windveld en een gegeven stromingsveld een afschatting worden gegeven van de aanzanding of erosie van het onderzochte deel van de plaat. Het bodemtransport kan hierbij worden afgeschat met de transportformule van Meyer-Peter en Müller (M.P.M.).

In het navolgende worden de resultaten van een proefberekening besproken.

De massabalans voor het op transport zijnde materiaal luidt, gebruikmakend van een rechthoekig coördinatiestelsel, als volgt:

$$\rho_s (1-\epsilon) \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{c}d)}{\partial t} = - \frac{\partial s_x}{\partial x} - \frac{\partial s_y}{\partial y} \quad (6.23)$$

(a) (b) (c) (d)

Waarbij: ρ_s = soortelijk gewicht zand (2650 kg/m³)

ϵ = porositeit (0.4)

z = bodemhoogte t.o.v. referentieniveau (m)

\bar{c} = over de vertikaal gemiddelde concentratie (kg/m³)

d = waterdiepte (m)

s_x, s_y = over de vertikaal geïntegreerde sedimenttransport in x - respectievelijk y-richting (kg/m³)

Vergelijking 6.23 bevat 4 termen. De eerste (a) beschrijft de bodemhoogteverandering in de tijd. Deze representeert de gemiddelde morfologische verandering in het balansgebied. Deze term moet worden voorspeld m.b.v. de overige termen van de vergelijking. Het resultaat moet worden geverifieerd met de sedimentatie/erosiemetingen. De tweede term (b) beschouwt de verandering van de inhoud van de concentratievertikaal in de tijd. De derde (c) en de vierde (d) term beschrijven respectievelijk de verandering van het transport in x- en y-richting.

Van belang is niet zo zeer de momentane morfologische verandering binnen het balansgebied, maar de resulterende bodemhoogteverandering over een geheel getij. Hiertoe wordt verg. 6.23 over de tijd geïntegreerd:

$$\int_{t_0}^{t_e} \left\{ \rho_s (1-\epsilon) \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(\bar{c}d)}{\partial t} + \frac{\partial s_x}{\partial x} + \frac{\partial s_y}{\partial y} \right\} dt = 0 \quad (6.24)$$

Waarbij: t_a en t_e respectievelijk de begin- en eindtijd van de integratie.

Uitwerking van vgl. 6.24 geeft:

$$\rho_s(1-\epsilon) \left\{ z(t_e) - z(t_a) \right\} + \bar{c}d(t_e) - \bar{c}d(t_a) + \int_{t_a}^{t_e} \frac{\partial s_x}{\partial x} dt + \int_{t_a}^{t_e} \frac{\partial s_y}{\partial y} dt = 0 \quad (6.25)$$

Waarbij: $z(t_e)$ en $\bar{c}d(t_e)$ de waarden van respectievelijk de bodemhoogte en de inhoud van de concentratievertikaal op tijdstip t_e (idem tijdstip t_a).

Indien een gehele vloed-eb-cyclus wordt beschouwd dan geldt, omdat de bovenkant van de plaat droogvalt: $\bar{c}d(t_e) = \bar{c}d(t_a) = 0$. Hieruit volgt dat:

$$\Delta Z(\text{getij}) = \frac{- \int_{t_a}^{t_e} \left(\frac{\partial s_x}{\partial x} + \frac{\partial s_y}{\partial y} \right) dt}{\rho_s(1-\epsilon)} \quad (6.26)$$

Waarbij: $\Delta Z(\text{getij})$ de netto bodemhoogteverandering over het gehele getij (m).

Het suspensietransport kan voor een gegeven stromingsveld en windveld voorspeld worden met behulp van de in par. 6.3. besproken resultaten. Een schatting van het bodemtransport kan worden verkregen door gebruik te maken van de formule van Meyer-Peter en Müller:

$$s_b = \rho_s(1-\epsilon) 13.3 \sqrt{g \Delta D_{50}^3} \left[\frac{\mu}{\Delta D_{50}} \frac{\bar{u}^2}{C^2} - 0.047 \right]^{3/2} \quad (6.27)$$

Waarbij: s_b = bodemtransport in kg/ms

D_{50} = mediane korrelgrootte van het op transport zijnde materiaal (m)

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} = 1.60 : \text{relatieve dichtheid (-)}$$

ρ = dichtheid zeewater (1020 kg/m^3)

g = versnelling van de zwaartekracht (9.81 m/s^2)

$\mu = \left(\frac{C}{C_1} \right)^{3/2} : \text{ribbelfactor (-)}$

C = Chézy coëfficiënt ($\text{m}^{1/2}/\text{s}$)

C^1 = Chézy coëfficiënt betrekking hebbende op de korrelruwheid ($m^{1/2}/s$)

D_{90} = de korreldiameter waarvoor geldt dat 90% van het monster bestaat uit materiaal met een kleinere korrelgrootte (m)

d = waterdiepte (m)

De korrelruwheid C^1 wordt als volgt bepaald:

$$C^1 = 18 \log \frac{12d}{D_{90}} \quad \text{in } m^{1/2}/s \quad (6.28)$$

Indien $C = 40 \text{ m}^{1/2}/s$; $D_{50} = 0.165 \text{ mm}$ en $D_{90} = 0.230 \text{ mm}$ dan geldt:

$$C^1 = 85 \text{ dus } \mu = 0.32$$

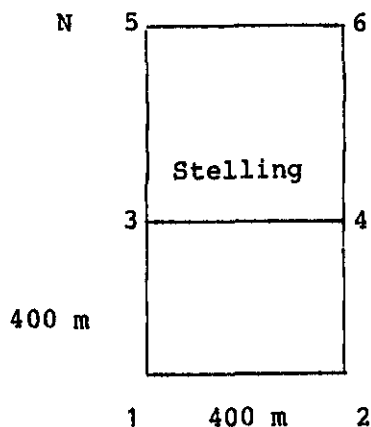
zodat:

$$s_b = 0.18 \left[0.758 * \bar{u}^2 - 0.047 \right]^{3/2} \quad (6.29)$$

Uit bovenstaande vergelijking blijkt dat bodemtransport op gaat treden indien de gemiddelde stroomsnelheid groter is dan 0.25 m/s.

Nadrukkelijk moet worden gesteld dat deze bodemtransportformule niet voor de Galgeplaat is geijkt, zodat alleen van een ruwe schatting van het bodemtransport kan worden gesproken.

Voor 15 april (springtij zonder wind) is vergelijking 6.23 opgelost voor het hoogste deel van de plaat. De hierbij gebruikte stroomsnelheden zijn afkomstig van berekeningen met het model WAQUA.



In nevenstaande figuur zijn de posities van 6 punten van het uitvoerrooster van WAQUA, die voor de berekeningen zijn gebruikt, weergegeven. Punt 3 valt nagenoeg samen met de positie van Stelling. De WAQUA-stroomsnelheden (punt 3) blijken systematisch kleiner te zijn dan bij Stelling gemeten stroomsnelheden (vgl. Fig. 6.7.1). De WAQUA-snelheden zijn als volgt gecorrigeerd:

a. Vloed : $\bar{u} = 2.14 + 1.475 \bar{u}_{WAQUA}$ $R = 0.992$ $N = 6$ (6.30)

b. Eb : $\bar{u} = -0.05 + 1.245 \bar{u}_{WAQUA}$ $R = 0.987$ $N = 7$ (6.31)

Voor het laatste deel van de ebstroom blijken de berekende en de gemeten stroomsnelheden goed overeen te komen. Voor dit deel van de getijcyclus zijn de WAQUA-snelheden dan ook niet gecorrigeerd.

De gemeten stroomrichtingen zijn over het algemeen groter dan de berekende stroomrichtingen, met name de vloed (fig. 6.7.2). Het verband tussen beide is lineair:

$$R_i(\text{WAQUA}) = -38.6 + 1.104 * R_i(\text{gemeten}) \quad R = 0.993 \quad N = 16 \quad (6.32)$$

In de navolgende berekeningen is de stroomrichting niet gecorrigeerd. De resultaten zijn als volgt:

- a. De over de gehele getijcyclus berekende netto sedimentatie bedraagt 0.74 mm (tabel 6.8.1), dat wil zeggen 1.5 mm per dag. Dit komt goed overeen met de gemeten sedimentatie voor een springtij dag met rustig weer.
- b. De over het gehele getij gesommeerde aanzanding tengevolge van variaties in de tijd voor de inhoud van het balansgebied is, overeenkomstig de afleiding van verg. 6.26, gelijk aan nul. De over het getij gesommeerde aanzandingen tengevolge van de ruimtelijke variaties in het suspensie- en het bodemtransport bedragen respectievelijk 0.67 en 0.07 mm (tabel 6.8). Het suspensietransport lijkt dan ook het belangrijkste te zijn voor de morfologische ontwikkeling van het balansgebied.
- c. Van de totale netto sedimentatie wordt 20% (0.13 mm) tijdens eb en 80% (0.61 mm) tijdens vloed afgezet. Hierbij treedt de grootste sedimentatie op tijdens de versnellende vloed. Deze sterke vloedsedimentatie is het gevolg van het feit dat zodra de plaat onder loopt hoge stroomsnelheden (vloedmaximum) en dientengevolge hoge concentraties optreden. Bovendien bevat de concentratievertikaal bij versnellende vloed veel sediment (vgl. par. 6.3). Tijdens vloed wordt dus materiaal vanaf de kop van de plaat en, hetgeen het meest waarschijnlijk is, vanuit de geulen aangevoerd en op de plaat afgezet. Na voltooiing van de stormvloedkering nemen de stroomsnelheden in het Engelsch Vaarwater met 25% af (fig. 6.7.3; Resultaten Implicberekening) en reduceert de duur van de versnellende vloedstroom van 60 tot 30 minuten. Uitgaande van de resultaten van de in

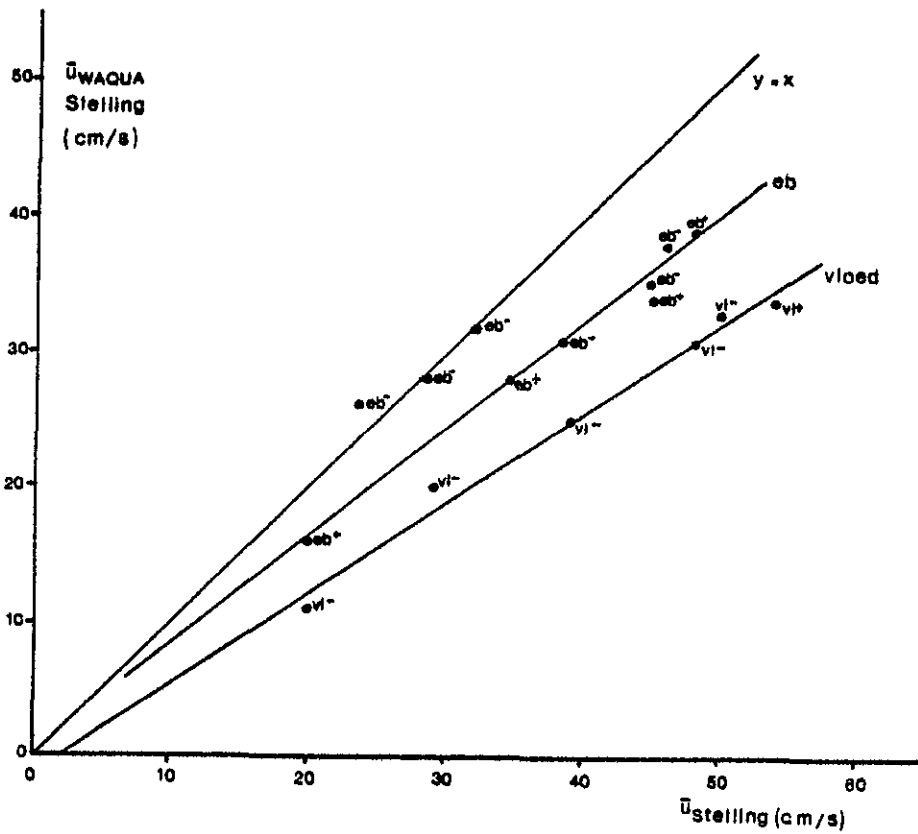


Fig. 6.7.1 : Stelling : Verband gemeten gemiddelde stroomsnelheid vs WAQUA gemiddelde stroomsnelheid

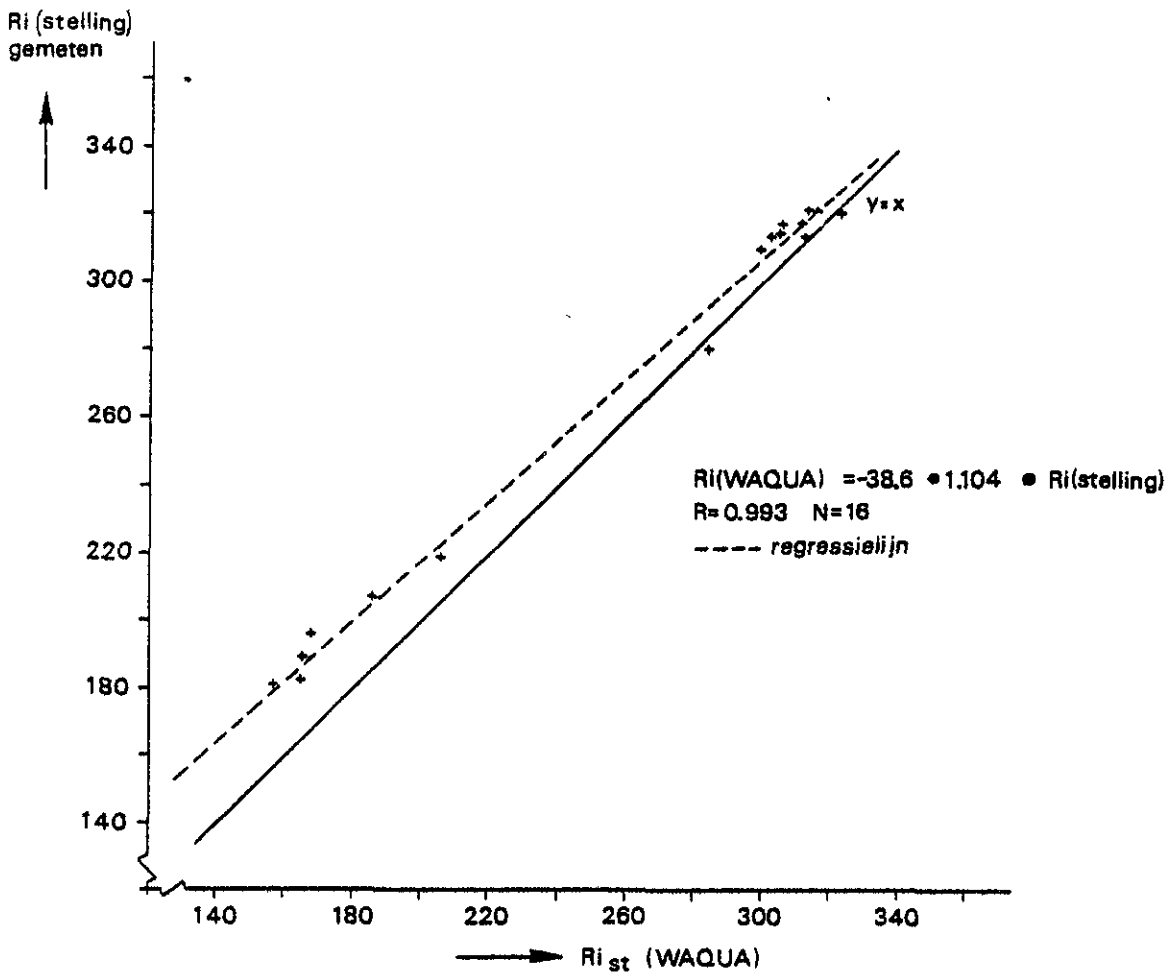


Fig 6.7.2. Stelling: vergelijking berekende stroomrichting (WAQUA) en gemeten stroomrichting.

deze paragraaf beschreven proefberekening in combinatie met de resultaten van de Implicberekening zal in de toekomst de tijdens de vloed plaatsvindende sedimentatie sterk af kunnen nemen. Hierdoor zal de opbouw van de plaat verminderen.

opc				meetlijn	knooppunt	
A0 (1)	} huidige situatie	'H' in m	vak 88	88.1	20	————
A0 (1)		'U' in m/sec	vak 88	88.0	20	-----
E0 (1)	} toekomst	'H' in m	vak 88	88.1	20	-----
E0 (1)		'U' in m/sec	vak 88	88.0	20	-----

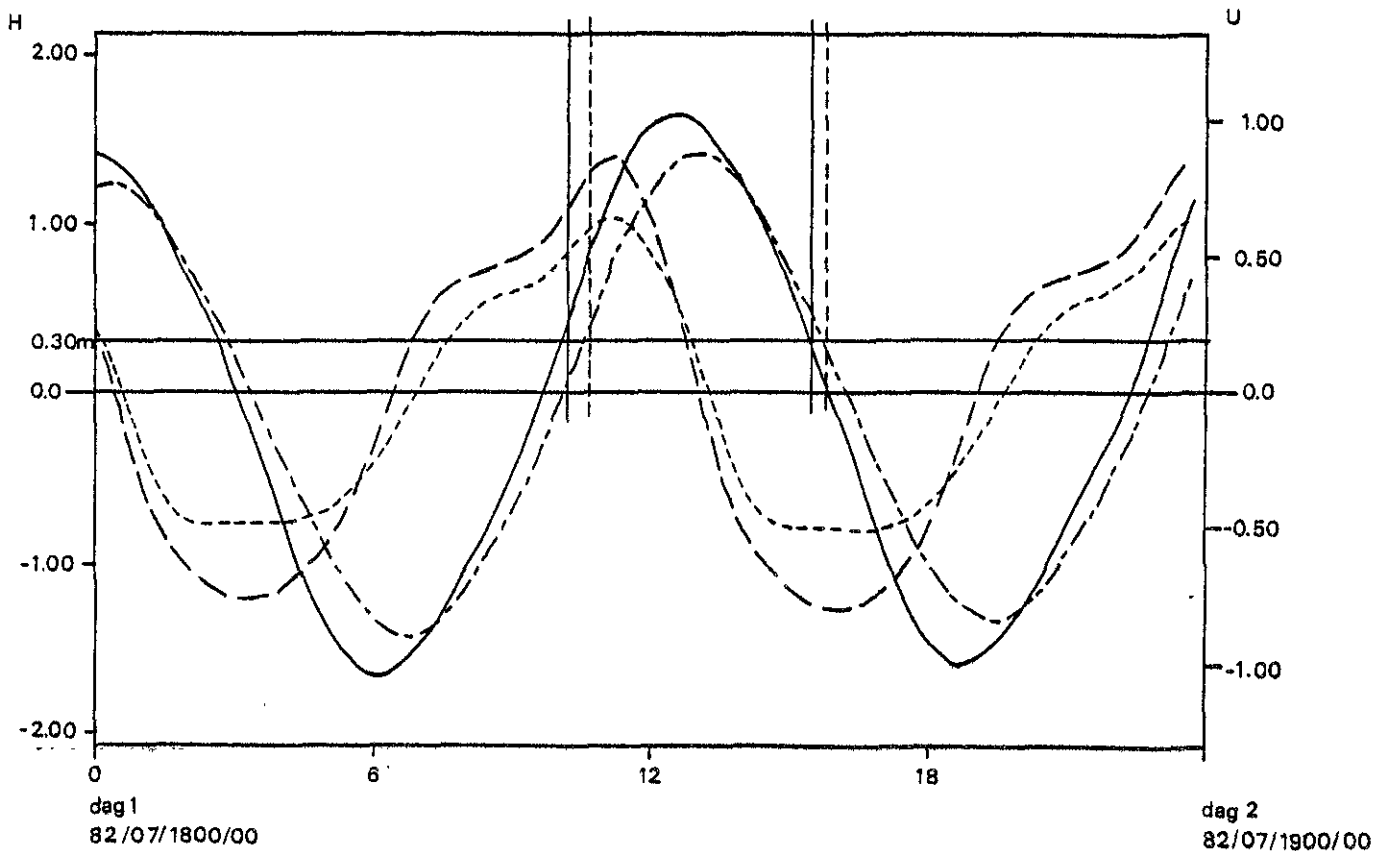


Fig. 6.7.3.: Resultaten IMPLIC Engelsche Vaarwater (nabij Ponton).

Bovenstaande resultaten hebben zoals reeds eerder is vermeld alleen betekenis voor de relatief vlakke delen van de plaat (omgeving Stelling). Helaas komt de positie van de plaatrand in de bodemschematisatie van WAQUA momenteel niet overeen met de huidige positie van de plaatrand bij het Ponton. Om deze reden kan bij het Ponton nog geen zinvolle proefberekening worden uitgevoerd. Het wachten wat dit betreft is op goede COMOR-resultaten.

Resumerend kan worden gesteld dat de ruimtelijke verandering in het suspensietransport (ST), in het bijzonder tijdens vloed, bepalend lijkt te zijn voor de tijdens een rustig springtij plaatsvindende sedimentatie op het hoge, relatief vlakke, deel van de plaat.

Het ligt in de bedoeling om meer van dergelijke op de metingen geënte proefberekeningen uit te voeren, zodat ook voor het Ponton, voor doodtij en voor stormsituaties een indruk van de morfologische verandering kan worden verkregen. Hierbij zal dan gebruik gemaakt worden van het met behulp van het model COMOR (Frimo) berekende snelheidsveld.

Het nut van dit soort proefberekeningen is dat wordt nagegaan of aan de hand van de werkelijk opgetreden transporten de orde van grootte van de morfologische ontwikkeling kan worden berekend. Is dit het geval dan mag redelijkerwijs worden aangenomen dat er geen processen over het hoofd zijn gezien, zodat met gehulp van de gebruikte parameters een transportmodule voor COMOR kan worden ontwikkeld.

Tabel 6.7.1. Resultaten proefberekening 15 april 1983

Tijdstap	ΔZ_1	ΔZ_2	ΔZ_3	ΔZ_{123}	Getij
1437.5 - 1452.5	- 8.5	0.0	0.0	- 8.5	vl+
1452.5 - 157.5	- 11.2	+ 8.3	+ 1.4	- 1.5	vl+
157.5 - 1522.5	- 7.2	+ 32.8	+ 1.8	+ 27.4	vl+
1522.5 - 1537.5	+ 5.5	+ 9.0	+ 0.2	+ 14.7	vl+
1537.5 - 1552.5	+ 12.8	+ 3.7	+ 0.9	+ 17.4	vl-
1552.5 - 167.5	+ 4.7	+ 1.8	+ 0.2	+ 6.7	vl-
167.5 - 1622.5	+ 2.7	+ 0.4	+ 0.1	+ 3.2	vl-
1622.5 - 1637.5	+ 1.0	0.0	0.0	+ 1.0	vl-
1637.5 - 1652.5	0.0	0.0	0.0	0.0	eb+
1652.5 - 177.5	- 1.3	+ 0.2	+ 0.3	- 0.8	eb+
177.5 - 1722.5	- 2.0	+ 2.3	+ 0.5	+ 0.8	eb+
1722.5 - 1737.5	- 1.1	+ 3.5	+ 0.4	+ 2.8	eb+
1737.5 - 1752.5	+ 0.1	+ 3.5	+ 0.3	+ 3.9	eb-
1752.5 - 187.5	+ 1.1	0.0	+ 0.2	+ 1.3	eb-
187.5 - 1822.5	+ 1.9	2.1	+ 0.1	+ 4.1	eb-
1822.5 - 1837.5	+ 1.1	- 0.1	+ 0.1	+ 1.1	eb-
1837.5 - 1852.5	+ 0.1	- 0.2	+ 0.1	0.0	eb-
1852.5 - 197.5	+ 0.2	0.0	0.0	+ 0.2	eb-
197.5 - 1922.5	+ 0.2	0.0	0.0	+ 0.2	eb-
	-----	+ -----	+ -----	+ -----	+
SOM	0.0	+ 67.3	+ 6.6	73.9	

ΔZ_1 : sed./erosie t.g.v. verandering in de tijd van de inhoud van de concentratievertikaal ($\times 10^{-5}$ m)

ΔZ_2 : sed./erosie t.g.v. ruimtelijke variaties in het suspensie transport ($\times 10^{-5}$ m)

ΔZ_3 : sed./erosie t.g.v. ruimtelijke variaties in het bodemtransport ($\times 10^{-5}$ m)

ΔZ_{123} : totale sed./erosie = $\Delta Z_1 + \Delta Z_2 + \Delta Z_3$ ($\times 10^{-5}$ m)

+,- : respectievelijk versnellende en vertragende stroom.

6.8. Overige parameters

Er zijn aanwijzingen dat er zich binnen het getijde-ecosysteem allerlei fijschalige en labiele relaties voordoen tussen biotische en abiotische componenten, in die zin, dat schijnbaar kleine veranderingen in b.v. het abiotische milieu verregaande consequenties kunnen hebben voor biotische milieu-aspecten. Binnen het Geomor-onderzoek wordt daarom aandacht besteed aan de interactie tussen biotische en abiotische milieucomponenten. Een voorbeeld hiervan is het onderzoek naar bodemdiatomeeën (§ 6.6).

Daarnaast is ook aandacht besteed aan het slibtransport (POC transport). Hiertoe is op het Ponton (GALA) gedurende een volledige maand de troebelheid continue vastgelegd (11-04-'83 tot 10-05-'83). De troebelheidswaarden zijn geijkt m.b.v. watermonsters, die respectievelijk op 7 (DT), 14+15 (ST), 19 (GT) en 26+27+28 (ST) april zijn genomen. Deze (2,3 l) watermonsters zijn gedurende 10 minuten om het uur genomen met behulp van een pomp met hoge (>1 m/s) aanzuigsnelheid genomen. Het slibgehalte ($<50 \mu$) is uitgezet tegen de troebelheidswaarden. De ijklijn heeft een zodanige helling, dat 1 mg slib/l gelijk is aan 2 troebelheidseenheden (J.T.U.), (fig. 6.8.1a). Ondanks speciale voorzorgsmaatregelen (hoge aanzuigsnelheid; een glazen bolvormig verzamelvat, alwaar onder turbulente omstandigheden de watermonsters worden afgetapt) blijkt het zandgehalte van de monsters duidelijk lager te zijn dan de AZTM-waarden (fig. 6.8.1b), bovendien is de correlatie coëfficiënt ($r = 0,68$) niet hoog. Dit in tegenstelling tot de correlatie tussen AZTM en pumpfilter sampler (P.F.S.) 50 l watermonsters (fig. 6.8.1b), die gebruikt wordt voor de AZTM-ijking.

Omdat op het Ponton naast de troebelheid ook andere parameters continue zijn gemeten is een vergelijking gemaakt tussen een selectie van deze parameters en de troebelheid.

Deze vergelijking heeft betrekking tot het verloop in de tijd van de verschillende parameters.

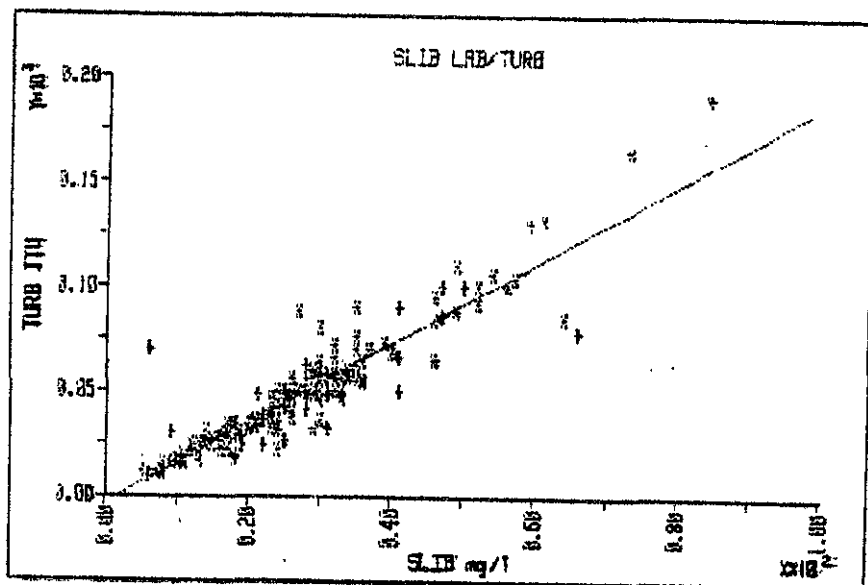
Na een uitvoerige analyse van 54 opeenvolgende vloed-eb-cycli kan het volgende algemene beeld worden gesticilleerd:

1. Bij springtij en gemiddeld tij met rustig weer zijn er afhankelijk van de optredende laagwaterstand 4 of 3 pieken in de slibconcentratie in de loop van de vloed-eb cyclus (fig. 6.8.2). De eerste slibpiek (in de tijd na LW gezien) treedt gedurende of net na het tijd-

 * STATISTISCH REGRESSIE-PAKKET
 * RIJKSWATERSTAAT-DELTADIENST

Datum: 19-10-1983 *
 Afd.: Milieu + Inrichting *

GRAFIEK VOOR FILE :NIEUW



	X	Y
KOLOM	4	5
MIN.RECORD	35	89
MAX.RECORD	98	98
MINIMUM	5.000000E+00	1.000000E+01
MAXIMUM	8.400000E+01	1.900000E+02
GEMIDDELDE	2.680982E+01	4.819018E+01
VARIANTIE	1.896735E+02	8.168093E+02
ST.DEVIATIE	1.377220E+01	2.857988E+01

REGRESSIE :POLYNOMISCH
 FUNCTIE : a0+a1*X+...+aN*(X^N)

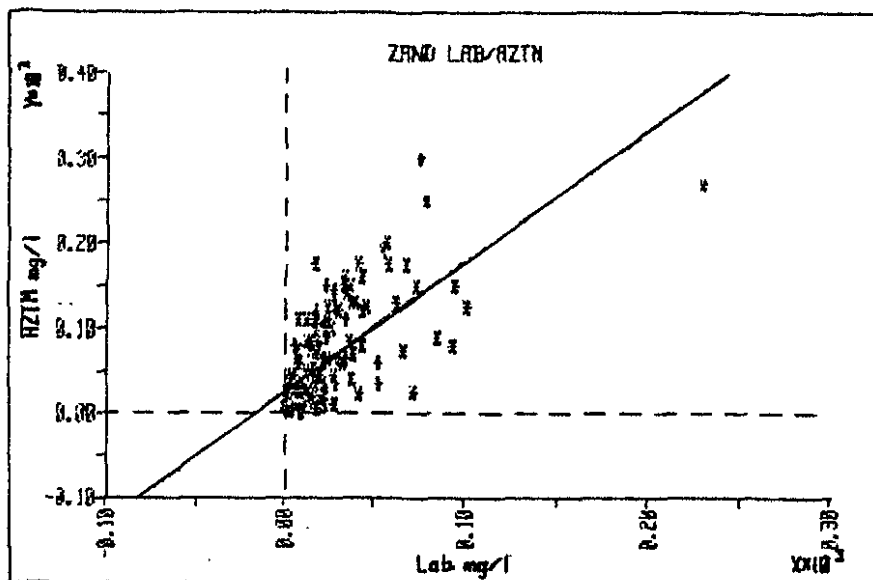
AANTAL TOT/REGRES	153 / 163	- TOTALE POPULATIE
BETROUWBAARHEID XY	95 %	
GEWICHTSFUNCTIE	Ne	
KWADRATEN-SOM	2.113819E+04	
VARIANTIE	1.312931E+02	
ST.DEVIATIE	1.145832E+01	

	BEREKEND	VARIANTIE	ST.DEVIATIE	BETR.MIN	BETR.MAX
a0	-2.808144E+00	3.876679E+00	1.968928E+00	-6.667244E+00	1.050956E+00
a1	1.902226E+00	4.272877E-03	6.536725E-02	1.774106E+00	2.030346E+00
CORR.	9.166533E-01			8.880886E-01	9.381771E-01

Fig. 6.8.1a. Relatie troebelheid (JTU) en slib (< 50 µ) gehalte mg/l

 * STATISTISCH REGRESSIE-PAKKET Datum: 19-10-1983 *
 * RIJKSWATERSTAAT-DELTADIENST Afd.: Milieu + Inrichting *

GRAFIEK VOOR FILE :NIEUW



	X	Y
KOLOM	2	3
MIN.RECORD	73	12
MAX.RECORD	126	17
MINIMUM	0.000000E+00	0.000000E+00
MAXIMUM	2.300000E+02	3.000000E+02
GEMIDDELDE	2.206395E+01	6.123256E+01
VARIANTIE	6.794871E+02	3.404776E+03
ST.DEVIATIE	2.606697E+01	5.835046E+01

REGRESSIE- : POLYNOMISCH
 FUNCTIE : $a_0 + a_1 * X + \dots + a_N * (X^N)$

AANTAL TOT/REGRES	172 / 172	- TOTALE POPULATIE
BETROUWBAARHEID XY	95 %	
GEWICHTSFUNCTIE	Nae	
KWADRATEN-SOM	3.084745E+05	
VARIANTIE	1.814556E+03	
ST.DEVIATIE	4.259760E+01	

	BEREKEND	VARIANTIE	ST.DEVIATIE	BETR.MIN	BETR.MAX
a0	2.736643E+01	1.815230E+01	4.260551E+00	1.901575E+01	3.571711E+01
a1	1.534908E+00	1.561683E-02	1.249673E-01	1.289972E+00	1.779844E+00
CORR.	6.856912E-01			5.973445E-01	7.575954E-01

Fig. 6.8.1b Relatie AZTM zandgehalte mg/l en
 zandgehalte mg/l bemonsteringsapp.

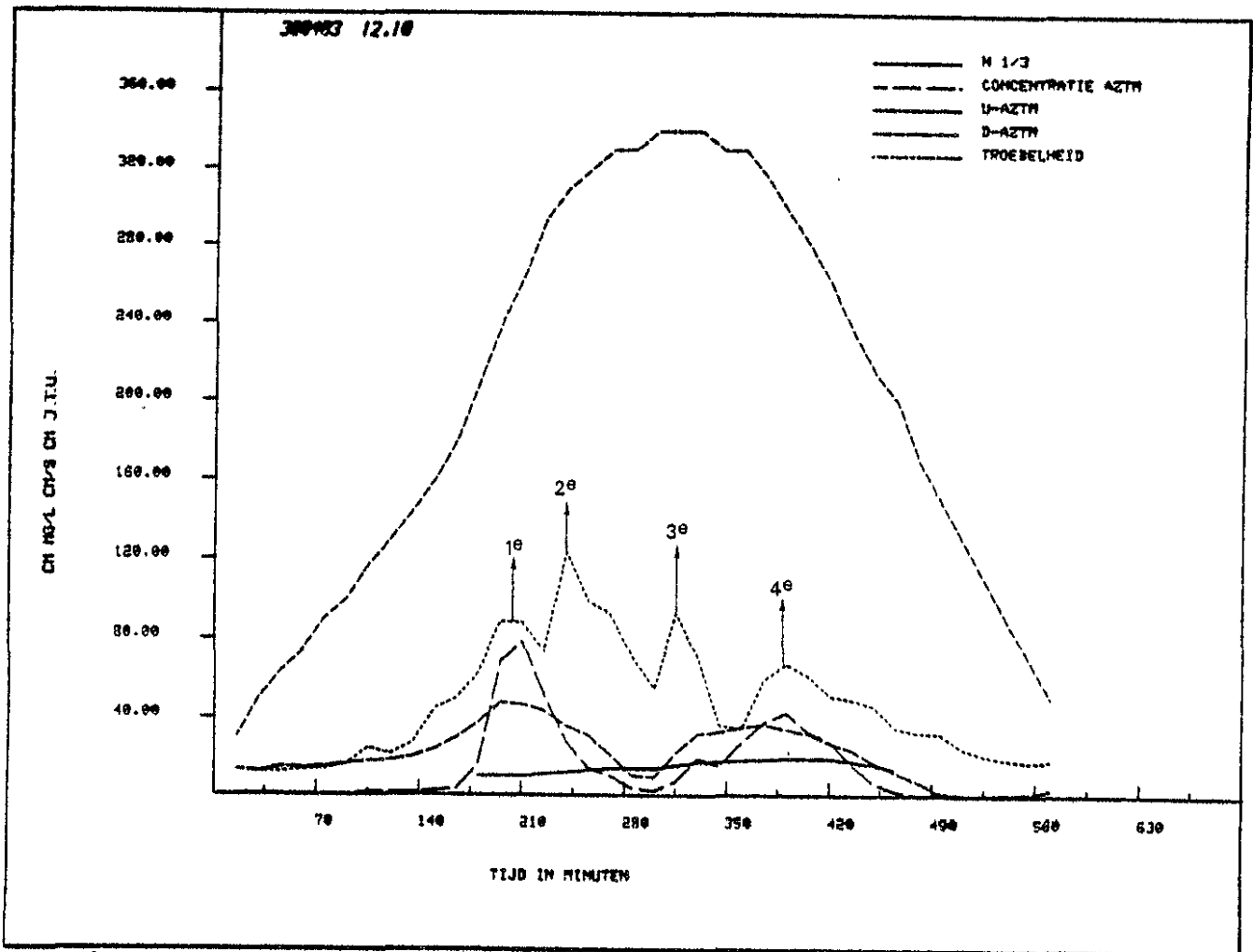


Fig. 6.8.2.
Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm),
zandconcentraties AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s),
waterstand AZTM (in cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA
gedurende de meetperiode april-mei 1983.

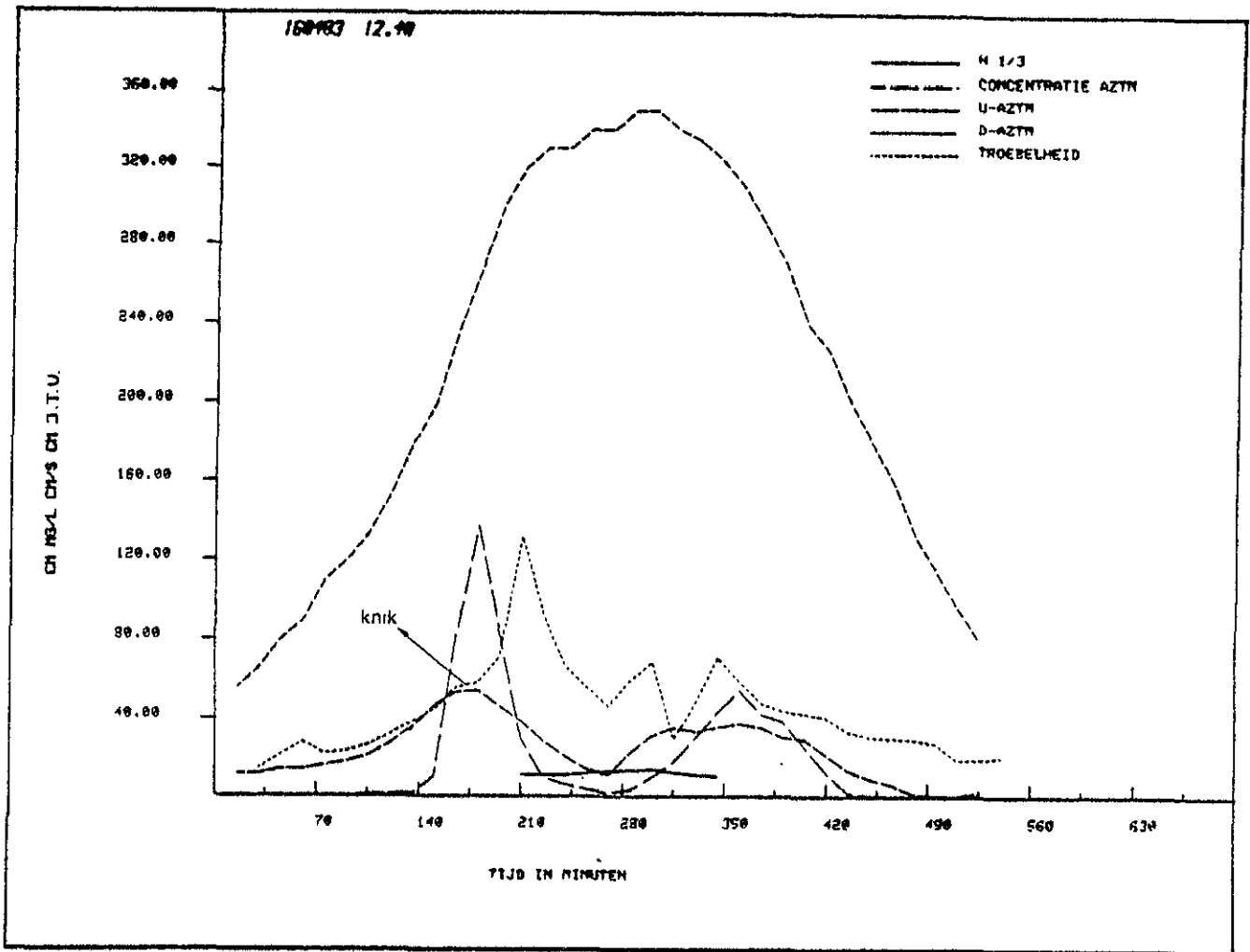


Fig. 6.8.3.

Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm), zandconcentratie AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s), waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA gedurende de meetperiode april-mei 1983.

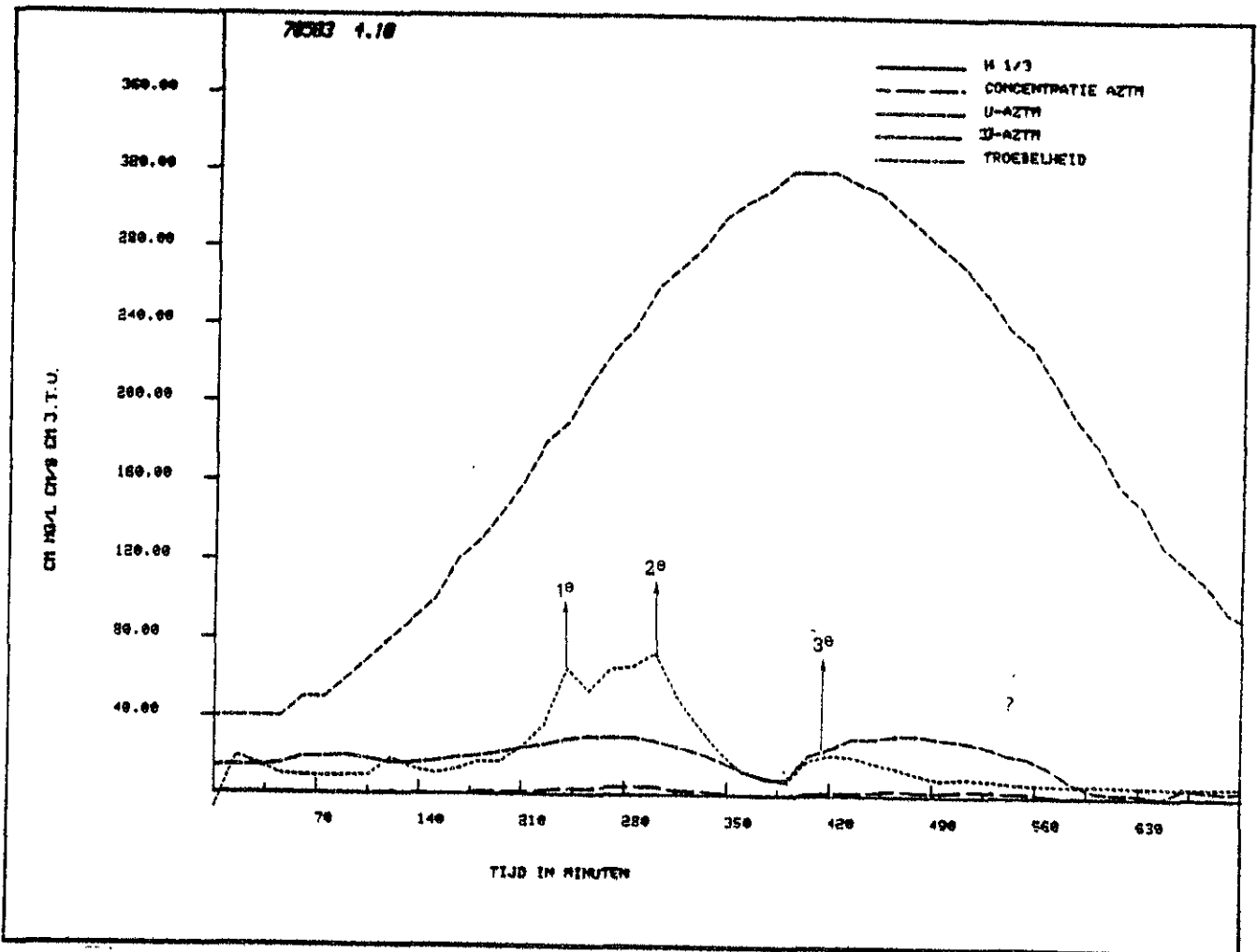


Fig. 6.8.4.
Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm),
zandconcentraties AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s),
waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA
gedurende de meetperiode april-mei 1983.

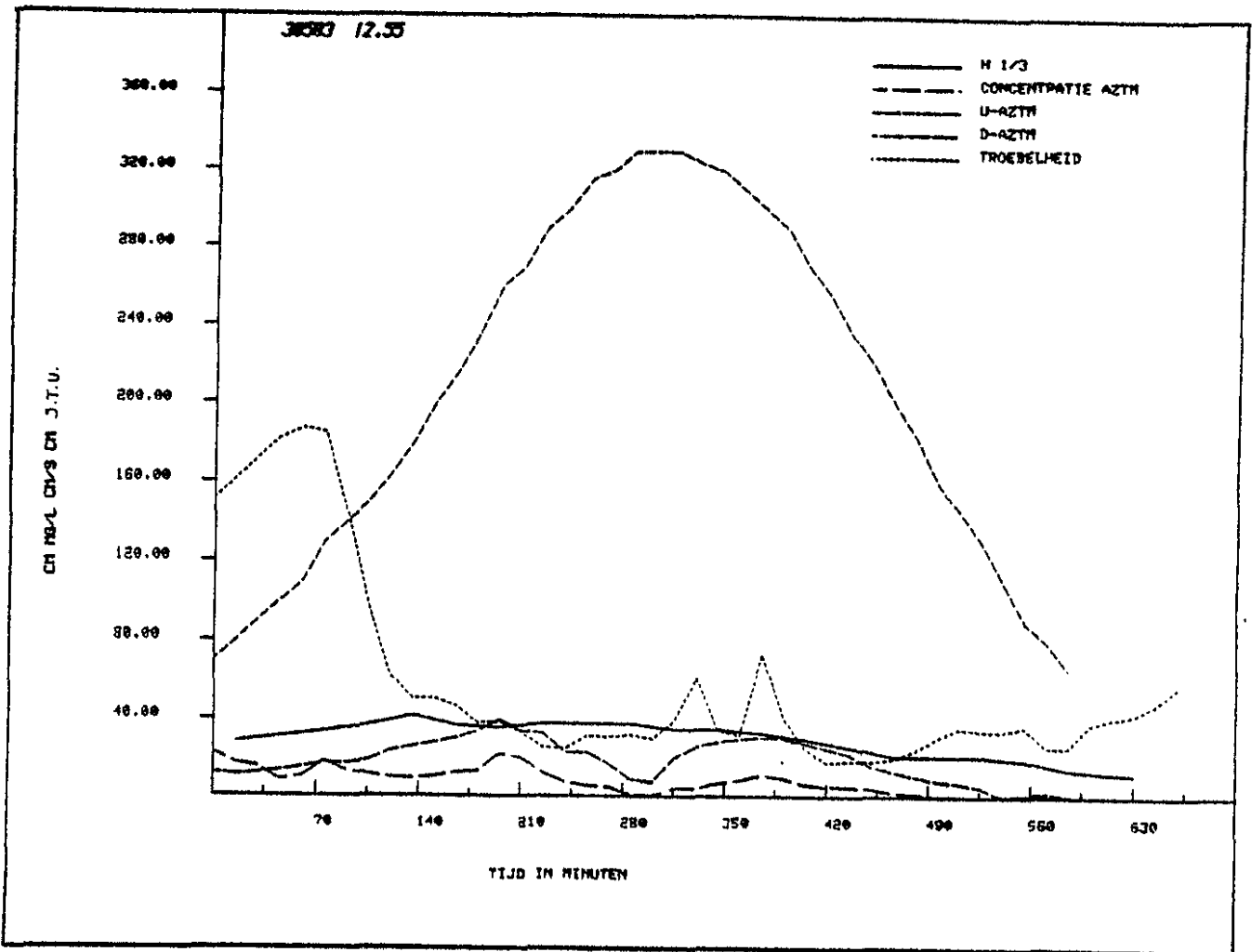


Fig. 6.8.5.
Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte ($H_{1/3}$ in cm),
zandconcentratie AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s),
waterstand AZTM (in cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA
gedurende de meetperiode april-mei 1983.

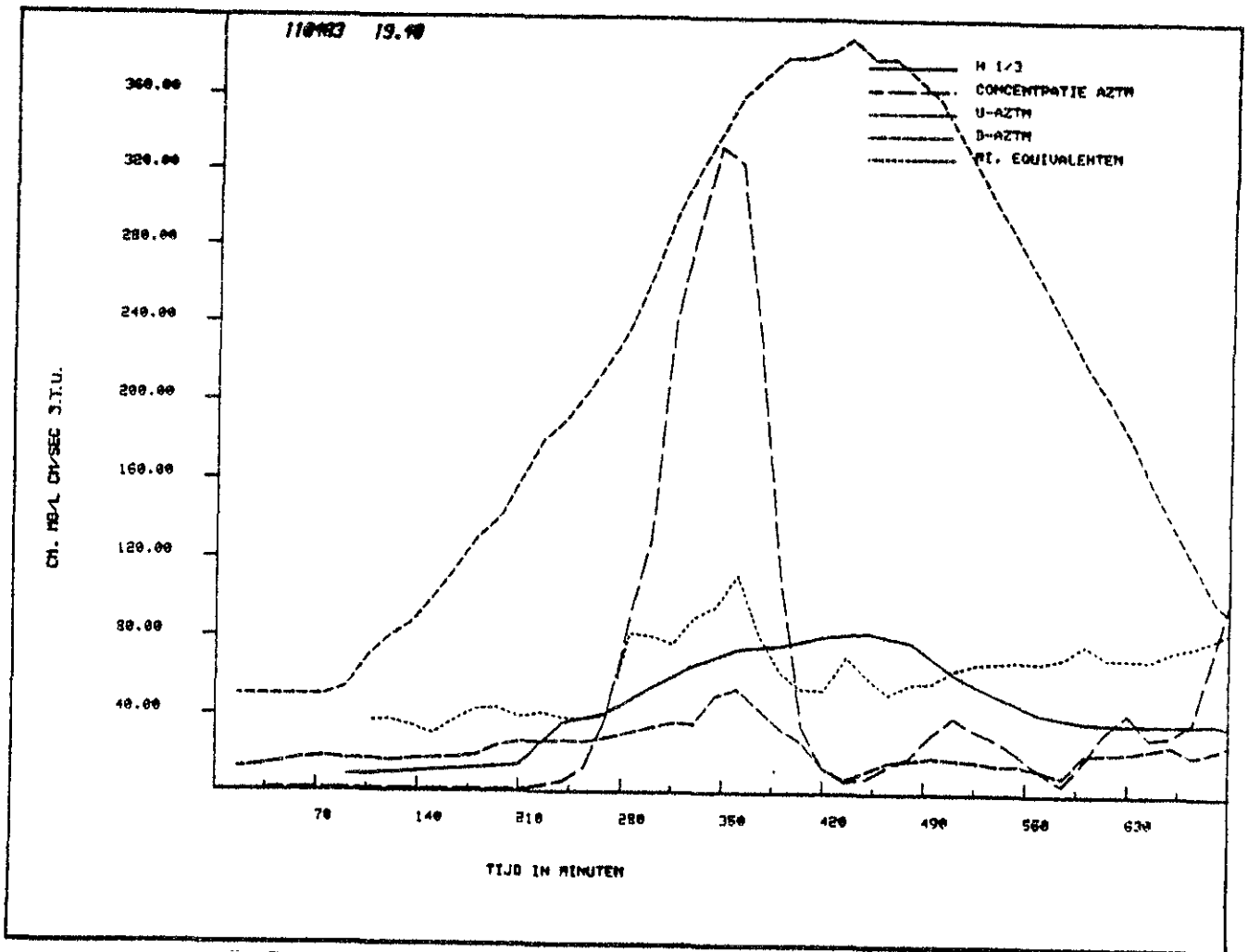


Fig. 6.8.6.
Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm),
zandconcentraties AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s),
waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA
gedurende de meetperiode april-mei 1983

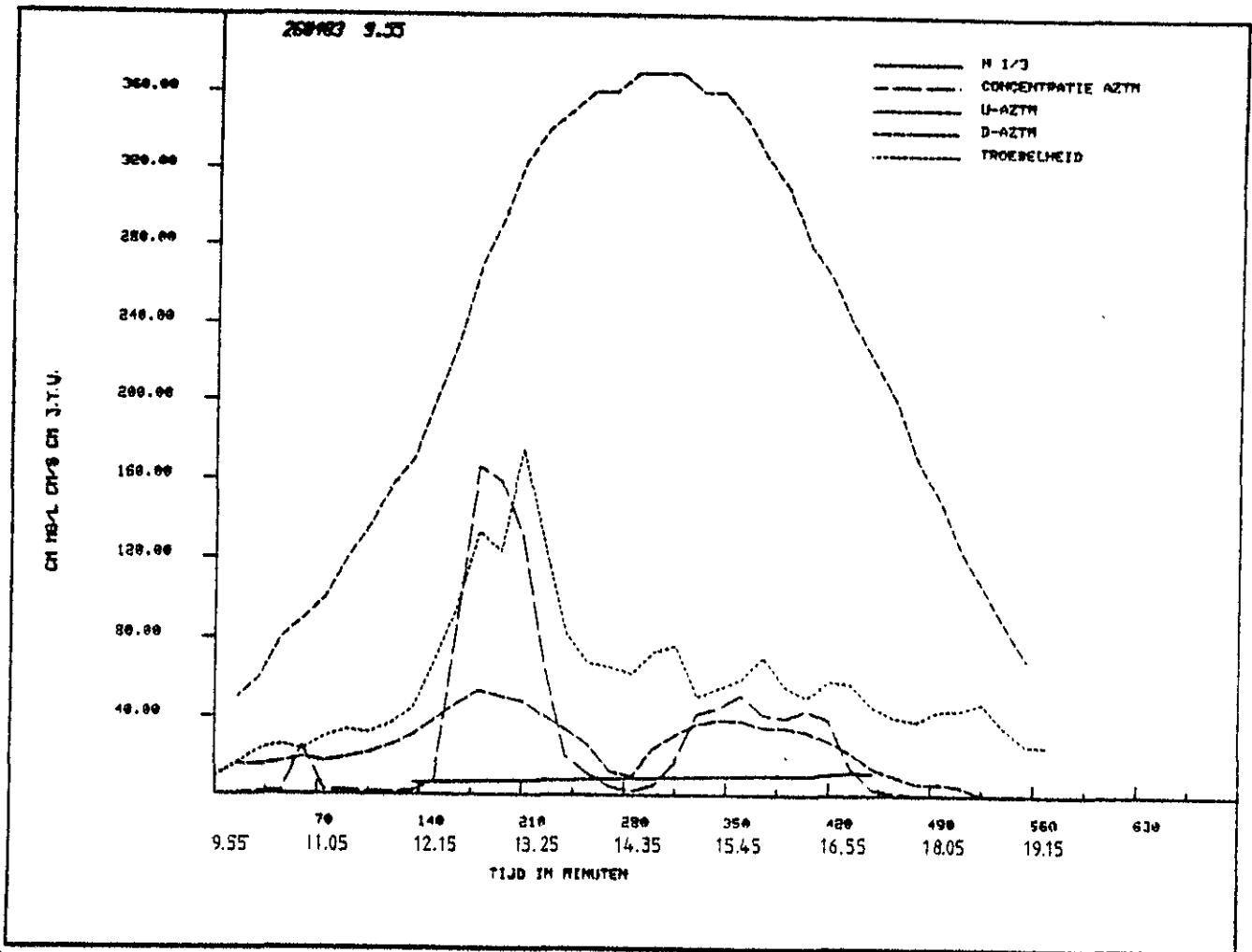


Fig. 6.8.7.

Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm), zandconcentratie AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s), waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA gedurende de meetperiode april-mei 1983.

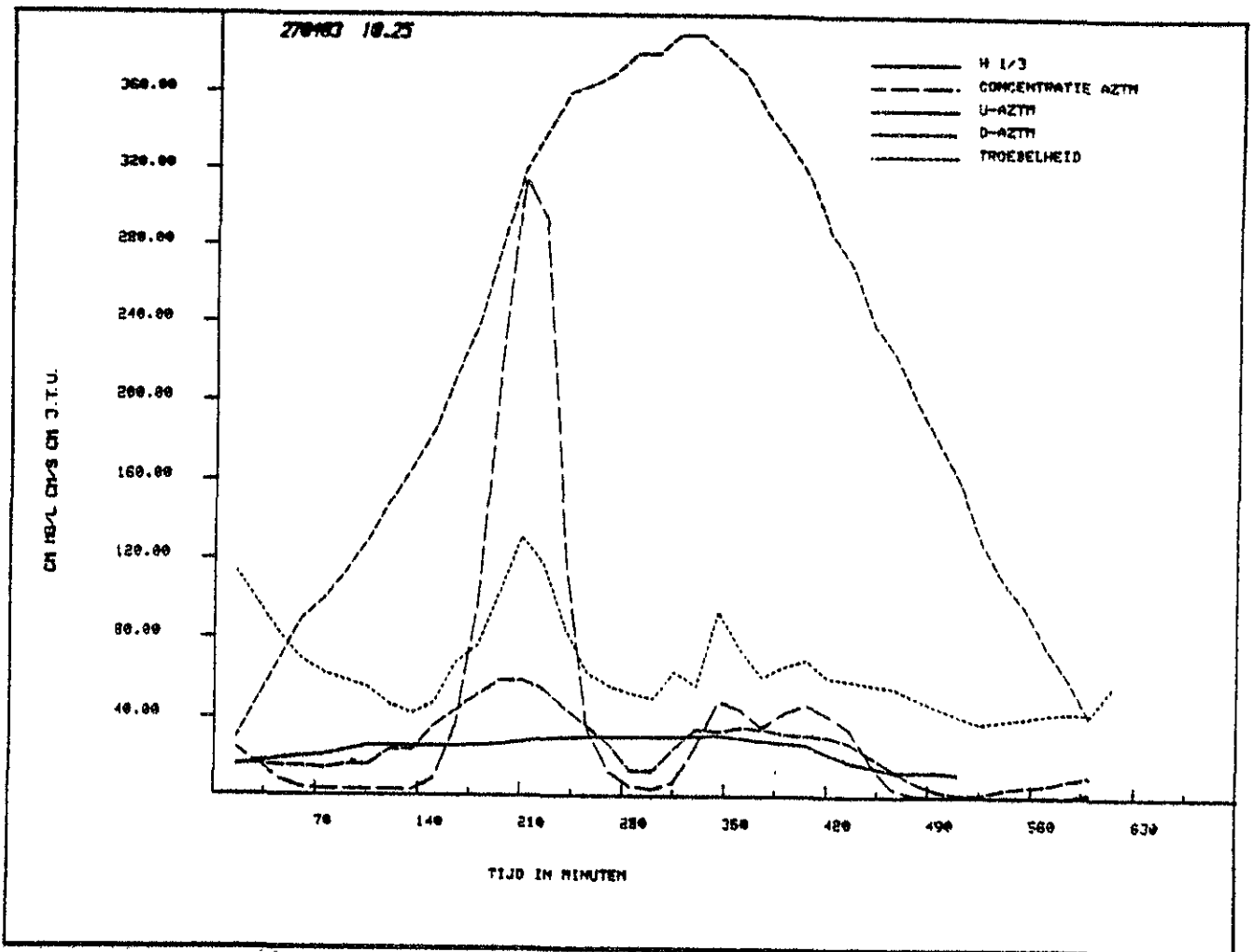


Fig. 6.8.8.
Tijdreeksen in minuten van significante golfhoogte (H 1/3 in cm),
zandconcentraties AZTM (mg/l), stroomsnelheid AZTM (cm/s),
waterstand AZTM (cm), troebelheid (JTU) bij meetlocatie GALA
gedurende de meetperiode april-mei 1983.

stip van de maximale stroomsnelheid, maar meestal gelijktijdig met de piek in de zandconcentratie. M.a.w. het lijkt erop dat deze eerste piek veroorzaakt wordt door locale opwerveling. De tweede slibpiek (2e vloedpiek) ijlt duidelijk na t.o.v. de maximale stroomsnelheid en de maximale zandconcentratie. Waarschijnlijk wordt deze piek bepaald door slibaanvoer vanuit de geul. Bij de bespreking van het doottij zal hiervoor een extra argument naar voren komen. De derde slibpiek (of 1e ebpiek) wordt bepaald door het feit dat gedurende de hoogwaterkentering een gedeelte van het slib wordt gesedimenteerd, dat geen tijd krijgt om te consolideren (lage kritische erosiesnelheid). Dit betekent dat een geringe stroomsnelheid voldoende is om dit materiaal op te wervelen, hetgeen ook duidelijk gebeurt (fig. 6.8.2). De vierde slibpiek (2e ebpiek) wordt in tegenstelling tot de derde piek weer bepaald door het moment waarop de maximale stroomsnelheid optreedt. M.a.w. deze laatste slibpiek is te vergelijken met de eerste slibpiek.

Soms kan de eerste slibpiek worden onderdrukt, waardoor a.h.w. alleen een knik in de aanloop naar de tweede slibpiek zichtbaar is (fig. 6.8.3).

2. Tijdens doottij en rustig weer verschuift het hierboven geschetste beeld enigszins, nl.:

- de eerste slibpiek valt nu voor het moment van maximale stroomsnelheid, omdat op de plaats van de meting de plaat niet meer droogvalt, waardoor het slib minder consolideert en dus sneller wordt opgewerveld (fig. 6.8.4). In feite is deze situatie identiek aan de hierboven geschetste situatie van de 3e slibpiek na de HW-kentering.
- de tweede slibpiek valt meestal na of soms samen met het tijdstip van de maximale stroomsnelheid. Zoals hierboven al is gesteld wordt ervan uitgegaan dat dit materiaal uit de geul wordt aangevoerd. Een extra argument hierbij is dat gedurende eb de snelheden hoger zijn maar dat de 4e slibpiek afwezig is, ofwel op de plaat zijn de snelheden kennelijk niet groot genoeg om zand en slib op te wervelen (Immers ten tijde van de 4e slibpiek stroomt het water over de plaat). M.a.w. bij vloed zijn de snelheden klein en toch bestaat de 2e slibpiek, hetgeen enkel en alleen verklaard kan worden uit het feit dat deze slibpiek in de geulen

wordt gegeneerd waar de snelheden per definitie groter zijn dan op de plaat.

- de derde slibpiek is gelijk aan de onder 1 beschreven derde slibpiek.
- de vierde slibpiek is afwezig (zie beschrijving hierboven).

3. Tijdens storm treden afhankelijk van de voorkomende golfhoogtes twee verschijnselen op. Enerzijds neemt de slibconcentratie bij geringe waterdieptes dus rond de LW-kentering sterk toe (fig. 6.8.5). Anderzijds kan het gehele concentratie niveau worden verhoogd (fig. 6.8.6).

Het eerste verschijnsel hangt samen met het breken van de golven, het tweede met het effect van de orbitaalbeweging onder lopende golven.

De slibpieken die onder 1 en 2 zijn genoemd, kunnen door de golfwerking worden onderdrukt (zie afwezigheid van piek 1 en 2 in fig. 6.8.5 en piek 4 in fig. 6.8.6).

4. Gaande van doodtij naar springtij is de slibconcentratie gedurende de eerste keer dat er meer dan 150 mg/l zand wordt getransporteerd, groter dan een dag later wanneer er 320 mg/l zand wordt getransporteerd (fig. 6.8.7 en 6.8.8). Kennelijk wordt bij een groot zandtransport het slib uit de bovenste laag gewassen.

Resumerend kan gesteld worden dat er onder rustige weersomstandigheden er op de meetlocatie sprake is van import. De 2e slibpiek is over 't algemeen de grootste piek onder dergelijke condities. De overige pieken lijken alleen lokale betekenis te hebben, hoewel dit "netto" zou moeten worden bekeken. Bij storm is het gedrag onzeker en hangt het van de duur, kracht en tijdstip van aanvang van de storm af wat er gebeurt.

Naast de troebelheid, en dus het slibgehalte, kunnen ook vergelijkbare uitspraken m.b.t. het POC-gehalte worden gedaan.

Hiertoe zijn bij het Ponton op 30 cm vanaf de bodem (Gala), ieder ieder, watermonsters genomen op achtereenvolgens 7 (DT), 14+15 (ST), 19 (GT) en 26+27+28 (ST) april zoals hierboven vermeld. Van deze monsters

is het sestongehalte, het POC-gehalte (Particulair Organisch Koolstof) en het slibgehalte bepaald. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 6.8.10 t/m 6.8.14. In deze figuren worden tevens het verloop in de tijd van de abiotische milieucomponenten stroomsnelheid, stroomrichting, windsnelheid, windrichting en waterstand gegeven.

De POC-gehalten variëren tussen 1 en 8 mg POC/l met een maximale waarde van 21,4 mg/l. Het POC-gehalte bedraagt gemiddeld 8% van het slibgehalte gedurende deze april '83 waarnemingen. Er bestaat een goede correlatie tussen het slib- en POC-gehalte (fig. 6.8.9). Geen duidelijk onderscheid is er te maken tussen de verdeling naar de vijf hydraulische omstandigheden. Alleen is 't duidelijk, dat door golfwerking de grootste waarden worden bereikt, die echter qua POC/slib-verhouding nauwelijks afwijken (fig. 6.8.9).

Uit fig. 6.8.10 t/m 14 blijkt, dat de POC/slib-verhouding over het algemeen een dalende tendens aangeeft gedurende de eb, nadat de maximale waarden tijdens vloed pieksnelheden zijn bereikt. Dit zou mogelijkerwijs kunnen duiden op een import van POC vanuit de geulen.

Gaande van DT via GT naar ST neemt het zandgehalte tijdens vloed en eb pieksnelheden duidelijk toe, terwijl het slibgehalte nauwelijks verandert en zich bevindt op een niveau van 30-50 mg slib/l. M.a.w. het slib aandeel in het zwevend stof is gedurende DT relatief veel groter dan tijdens ST.

Tijdens stormachtige dagen 19/4 en 28/4-'83 (ZW-wind, snelheid >8 m/s) neemt het slibgehalte sterk toe tijdens LW-kentering, waarbij slib/zand verhouding ≤ 1 . De westenwind, 's middags 7/4-'83 (windsnelheid - 12 m/s) heeft opvallend weinig invloed op het slibgehalte voor LW-kentering, terwijl het zandgehalte sterk stijgt.

Bij het ponton is de watertemperatuur bepaald. Van 23 maart tot 9 mei blijkt deze op te lopen van 3 tot 11° Celsius. Tijdens perioden met sterke wind blijkt de watertemperatuur 1 à 2 graden in korte tijd ($1/2 - 1$ uur) af te nemen. Nabij het wateroppervlak verwarmd water wordt dan blijkbaar vermengd met van grotere diepten opgewerveld koud water.

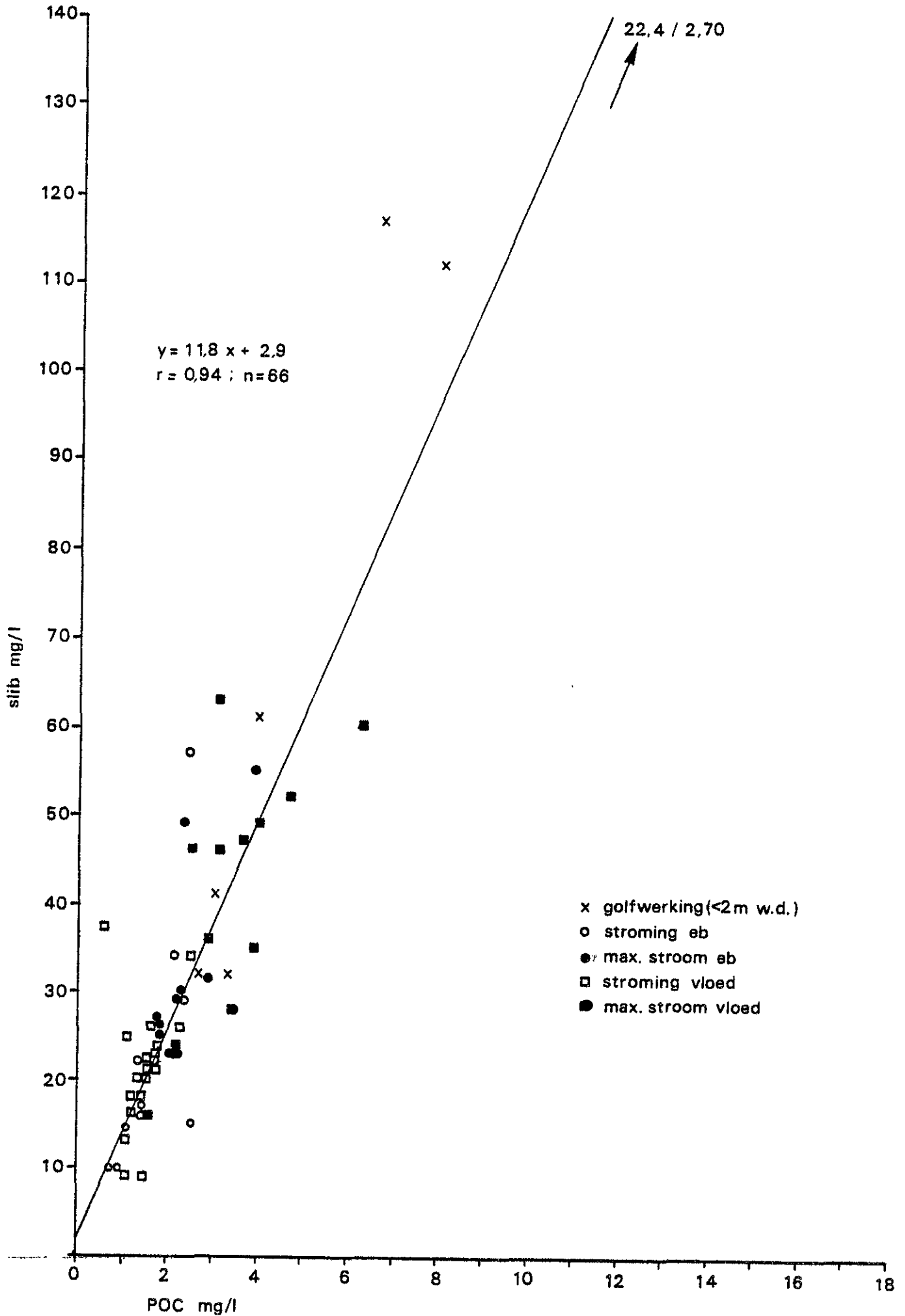


Fig. 6.8.9. POC-slib relatie, GALA-metperiode april 1983

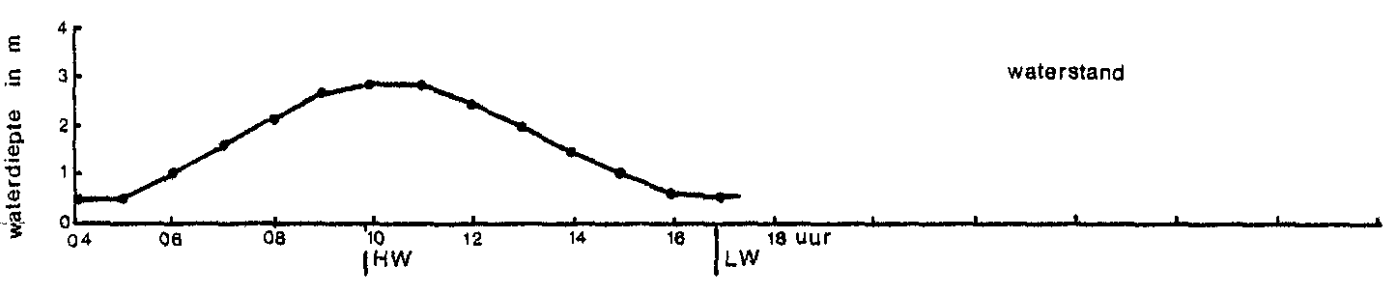
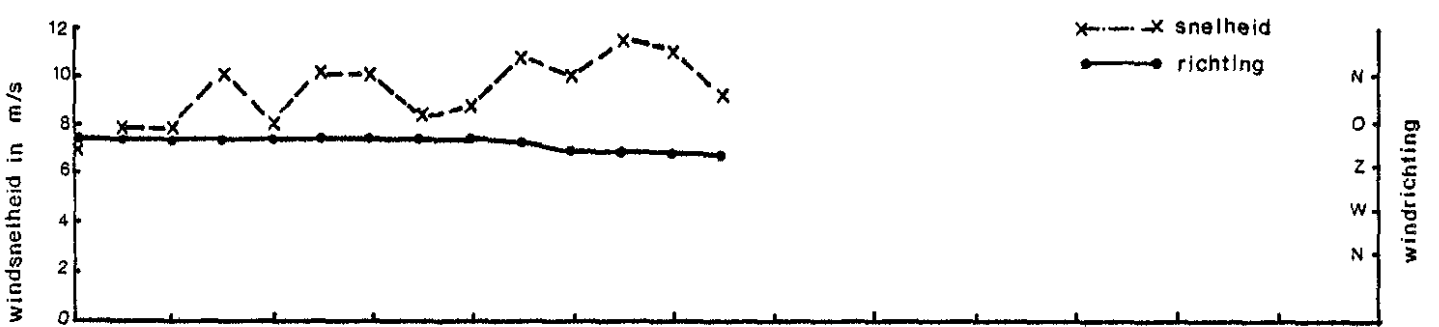
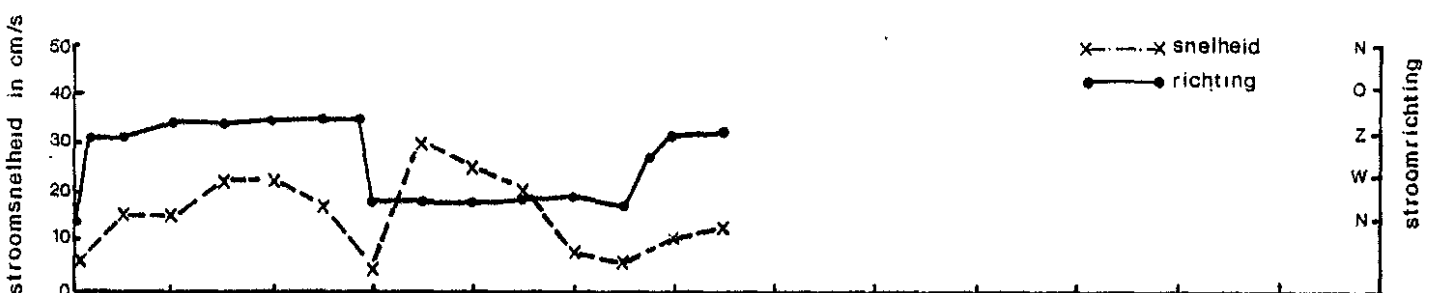
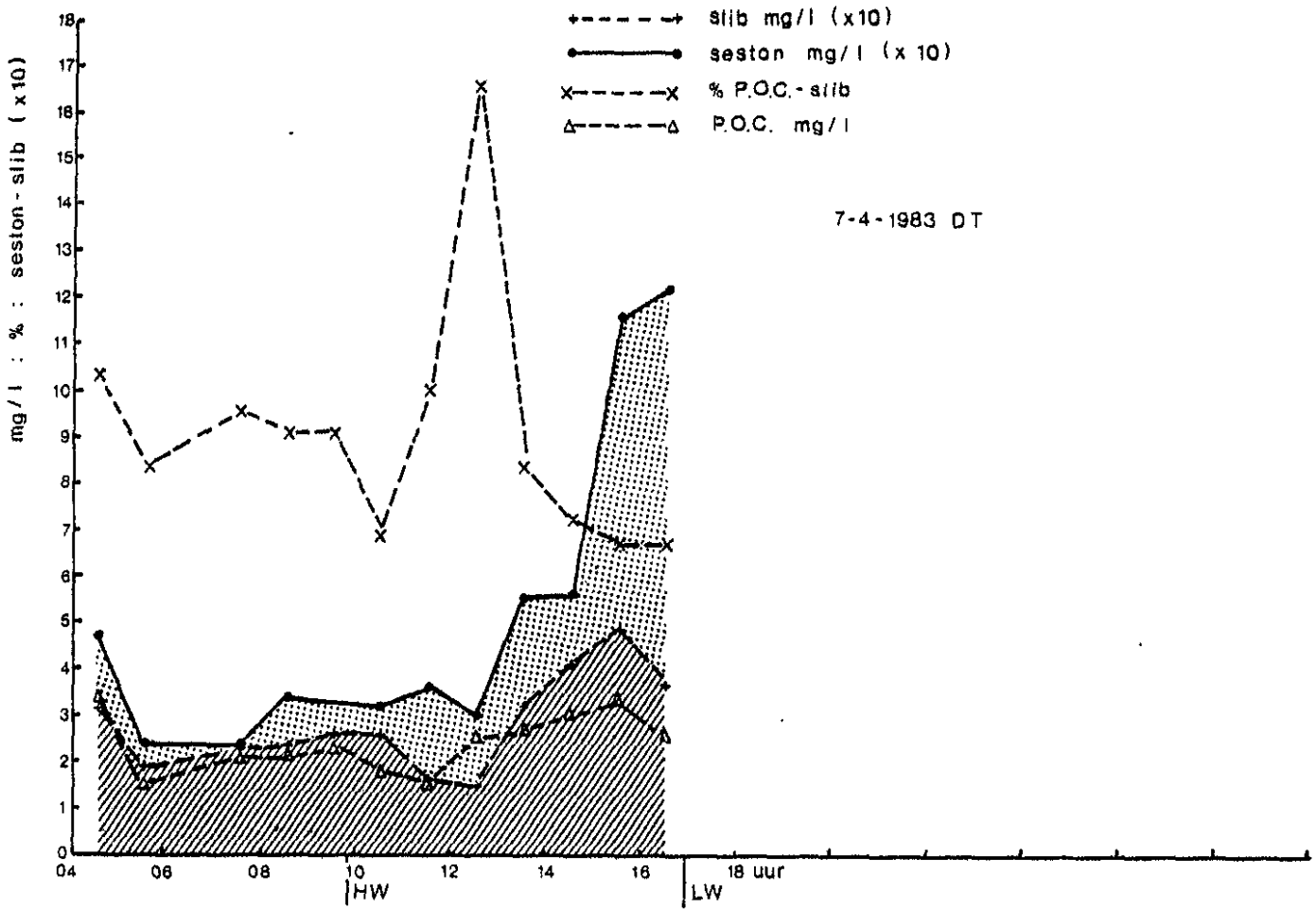


Fig. 6.8.10. Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd

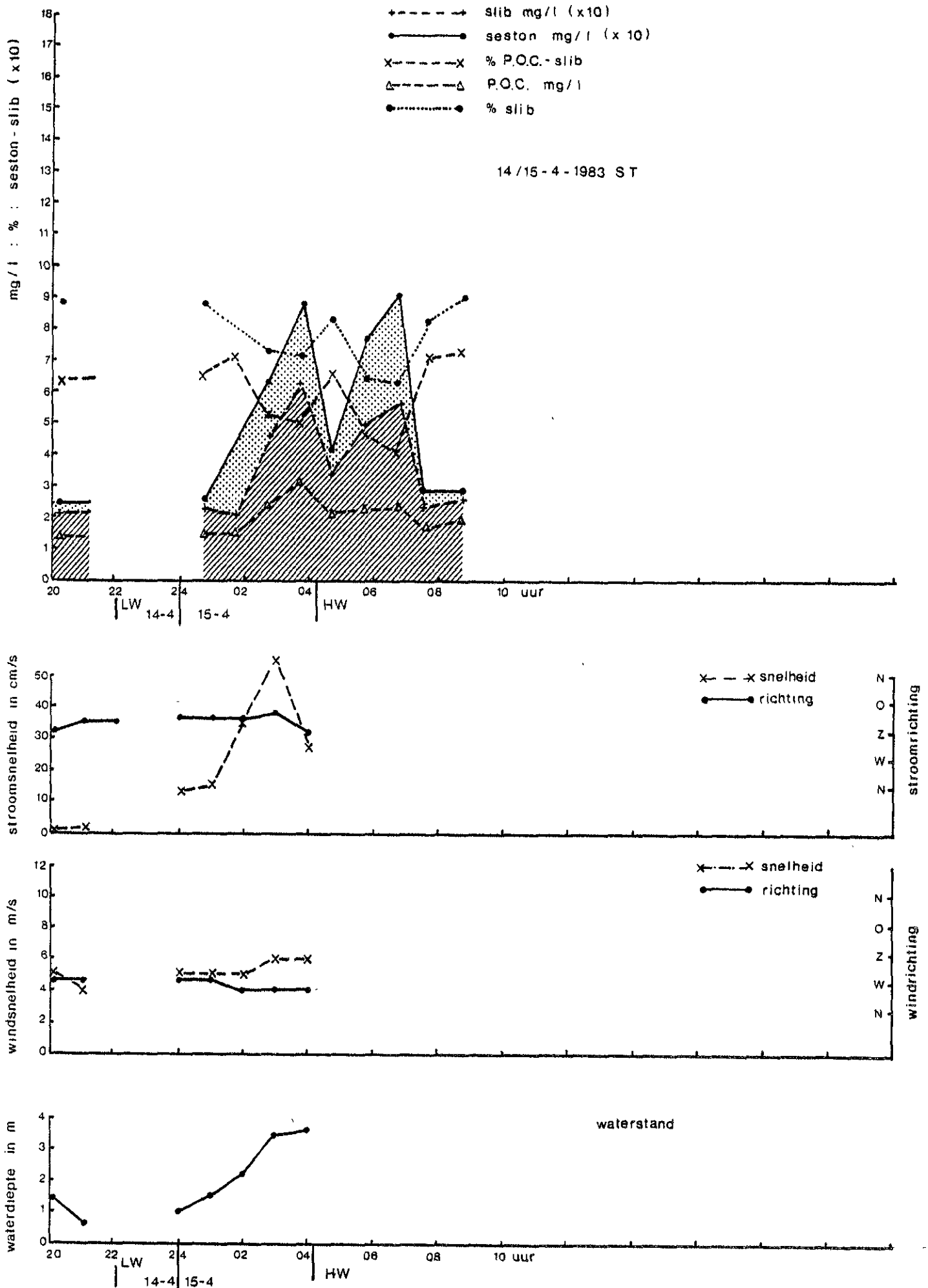


Fig. 6.8.11: Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd

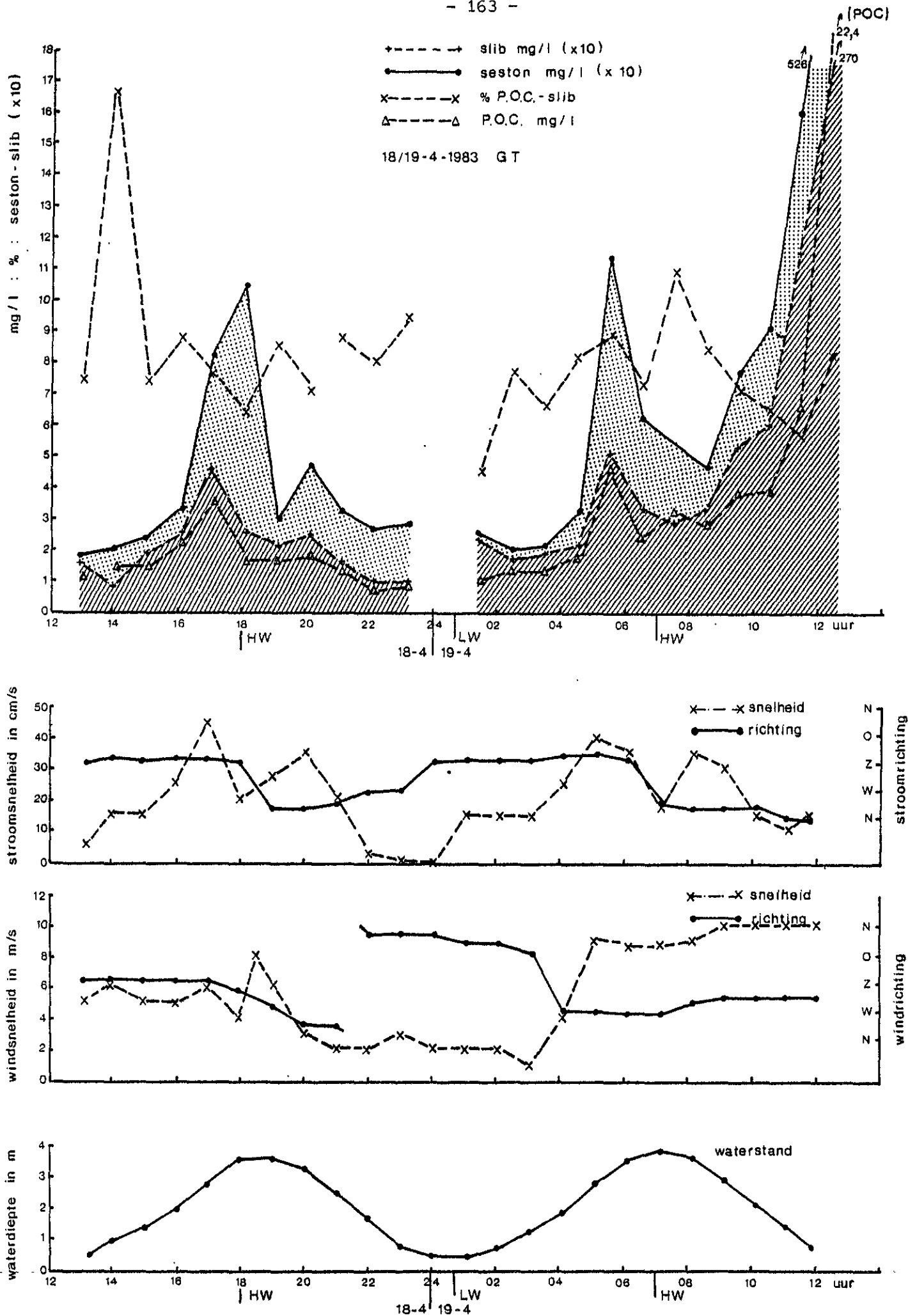


Fig. 6.8.12: Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd

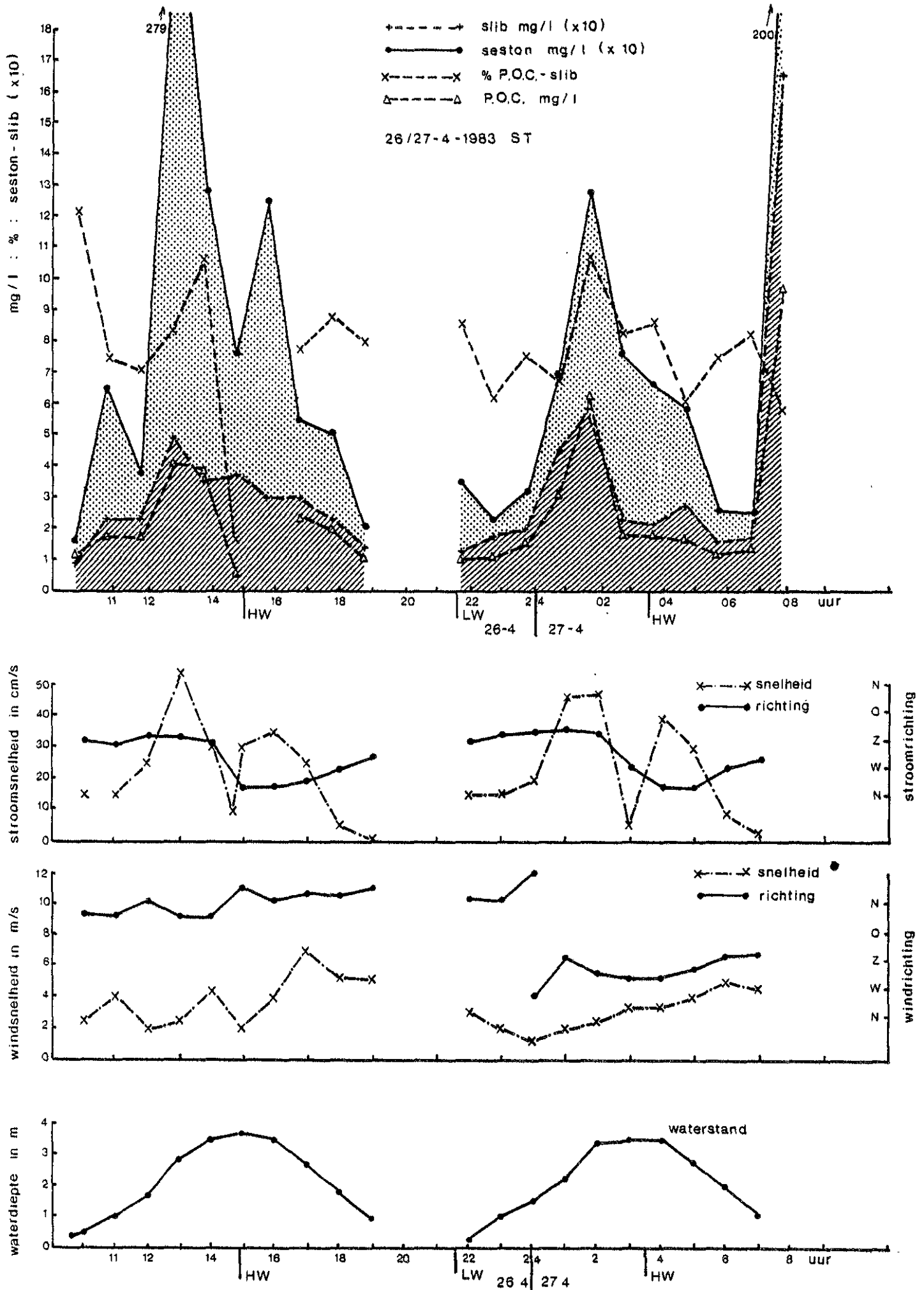


Fig. 6.8.13: Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd

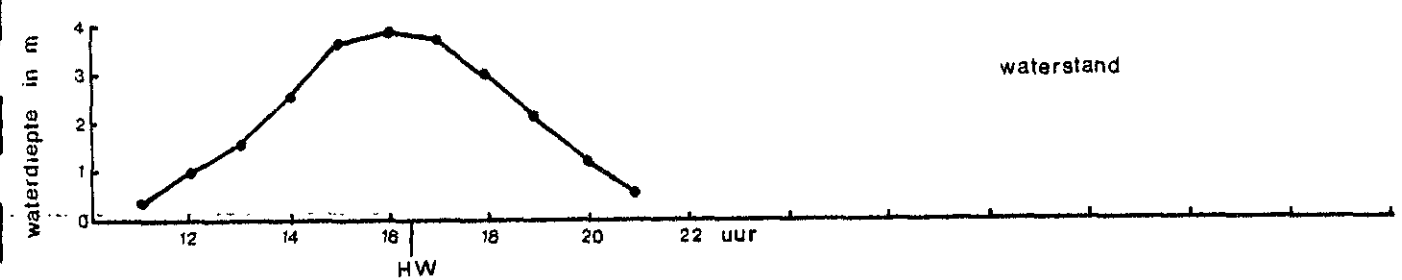
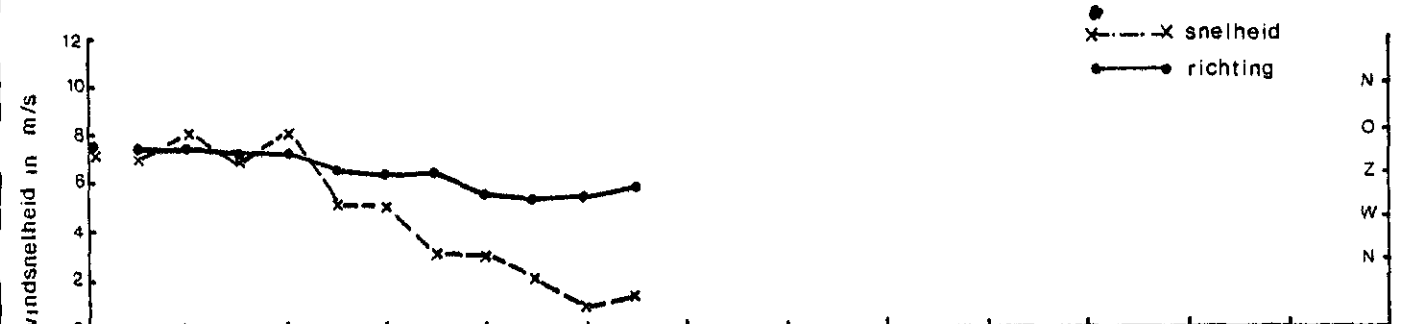
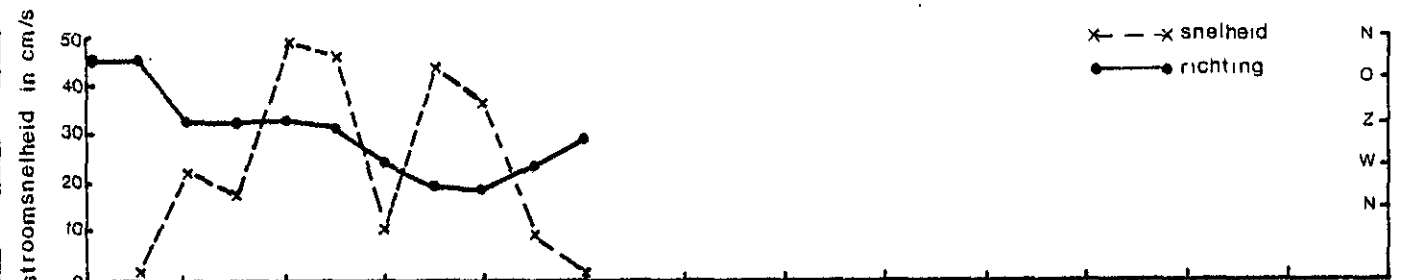
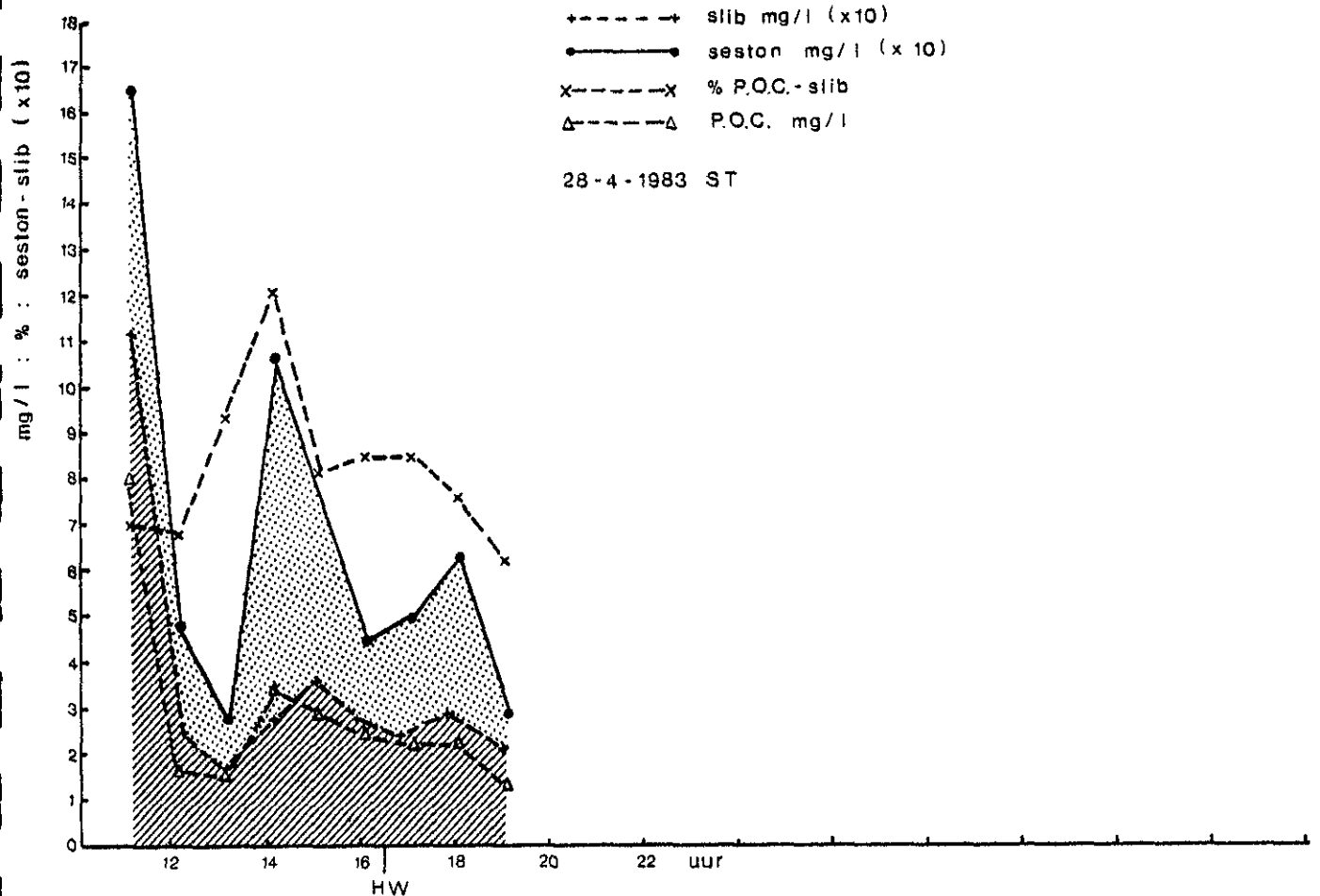


Fig. 6.8.14: Verloop waterstand, wind, stroming, POC en seston in de tijd

Het temperatuurverloop, gemeten nabij het ponton, 30 cm boven het plaatoppervlak, varieert in vele grotere mate dan het temperatuursverloop in de geul (P3) tussen Kats en het ponton, op een diepte van 1 m onder het wateroppervlak (fig. 6.8.15).

De temperatuur van het water boven de plaat is over het algemeen lager dan die van het oppervlaktewater in de geul gedurende de meetperiode.

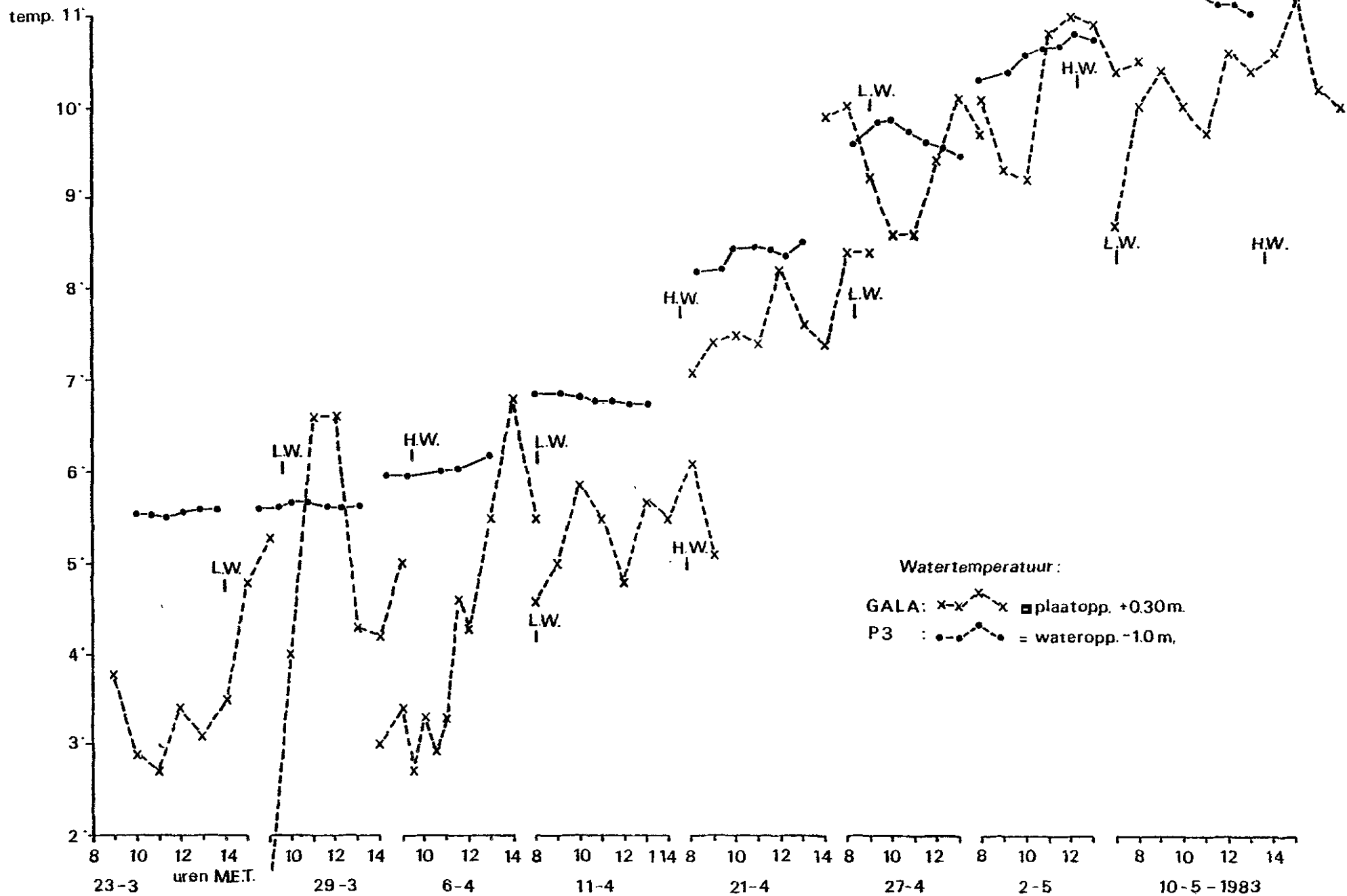


Fig. 6.8.15. Verloop van de watertemperatuur. meetlokaties P3 en GALA

7. MODELLEN

In het kader van de "pilot-study" is er op twee verschillende fronten begonnen met de ontwikkeling van wiskundige modellen, nl. een bocht (stromings)model en een plaatmodel. Het doel van deze ontwikkeling binnen fase 1 was om na te gaan of er "überhaupt" vooruitzichten waren om morfologische processen in zgn. veldmodellen te modelleren. Immers, een ruimtelijke extrapolatie van de morfologische ontwikkelingen na het gereedkomen van de SVK is nagenoeg alleen mogelijk met behulp van wiskundige modellen.

7.1. Doelstelling en realisering van het bocht(stromings)model

Doelstelling

De gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde brengt een aanmerkelijke verandering van het stromingsregime mee. Een van de aspecten van deze verandering is de geringere stroomsnelheid in de getijgeulen. Hiermee samenhangend verandert de secundaire of spiraalstroming. Deze secundaire stroming staat dwars op de gemiddelde stroomrichting en heft daarom een invloed op het sedimenttransport in dwarsrichting en daarmee op de morfologie van de getijgeulen, zoals bodemligging en meanderlengte. Voorspellingen die de morfologie betreffen steunen daarom in belangrijke mate op de kennis van de secundaire stroming. Van de zeer gecompliceerde stroming is echter nog weinig bekend.

In de overeenkomst d.d. 1 november 1982 is als opdracht aan de TH gegeven een rekenmodel te ontwerpen, waarmee de secundaire stroming en daarmee de stroomsnelheid en -richting vlak boven de bodem kunnen worden berekend, uitgaande van de dieptegemiddelde stroming.

In de vergadering van 17 november 1982 is afgesproken dit als volgt te interpreteren. Het gaat erom een rekenmodel te ontwikkelen om de secundaire stroming, en samenhangend daarmee, de bodemschuifspanning te berekenen in enige voor de morfologie van getijgeulen interessante configuraties. Indien de tijd dit toelaat, wordt daarnaast een begin gemaakt met de bepaling van de sedimenttransport. Dit i.v.m. het uiteindelijke doel, het verkrijgen van inzicht in de evolutie van de morfologie van een enkele getijgeul en vervolgens van een stelsel geulen.

Realisering

De te gebruiken rekenmodellen voor dieptegemiddelde stroming (zoals WAQUA, Rand Corporation) bleken aanmerkelijk minder geschikt voor stromingssituaties als in getijgeulen dan algemeen werd aangenomen. Een te grote diffusie-coëfficiënt, vereist om numerieke instabiliteit te onderdrukken, verstoort sterk de berekende snelheidsverdelingen over de dwarsdoorsnedes met ernstig gevolgen voor de berekening van de secundaire stroming en daarmee van het sedimenttransport. Hierover is gerapporteerd door Pennekamp en Booy (1983) en Booy (1984).

Besloten werd om te streven naar het gebruik van een rekenmodel voor

dieptegemiddelde stroming, waarmee een betere beschrijving van stromingssituaties in getijgeulen te verwachten is. Dit lijkt weliswaar niet besloten te zijn in de opdracht, doch wel in de interpretatie van 17 november. Aanvankelijk is deze verbetering gezocht in een ingrijpende verandering van het gebruikte rekenmodel, TIDES, doch hiermee bleek zoveel tijd gemoeid, dat het eigenlijke onderzoek in het gedrang zou komen. Gebruik van het rekenmodel voor dieptegemiddelde stroming Mini-WAQUA, ontwikkeld door de DIV van Rijkswaterstaat, dat omstreeks deze tijd ter beschikking kwam, gaf bevredigende resultaten.

Ten koste van vrij veel inspanning is het model samen met de DIV geschikt gemaakt voor laboratoriummodellen met getijgeulachtige configuraties. Het model is getest door vergelijking van berekeningen met metingen, destijds uitgevoerd in een goot van het Waterloopkundig Laboratorium in het model van een lange rivierbocht. De resultaten van deze test zijn bevredigend (zie Booy en Pennekamp, 1983a). Een verdere verbetering van de resultaten kan verkregen worden door het gebruik van een aangepaste roosterconfiguratie. Momenteel wordt dan ook bij de DIV, in samenwerking met het WL, MiniWAQUA geschikt gemaakt voor kromlijnige rekenroosters.

Bij de bepaling van de secundaire stroming zijn de mechanismen voor het ontstaan van de secundaire stroming en de mate van ontwikkeling ervan, zowel i.v.m. variatie in de tijd als over de stroombaan, van belang. Een theoretische verhandeling hierover is gegeven door Booy en Kalkwijk (1982).

Bij de modellering is de volledig ontwikkelde secundaire stroming beschouwd (zie Booy en Pennekamp, 1983). Uitbreiding tot zich ontwikkelende secundaire stroming is gepland in de eerstkomende maanden.

Berekeningen in andere, voor de morfologie van getijgeulen interessante configuraties zijn begonnen.

Metingen in een getijachtig variërende stroming in een bochtmiddel van het Laboratorium voor Vloeistofmechanica ter controle van het rekenmodel voor secundaire stroming bij tijdsafhankelijke hoofdstroming, worden momenteel uitgevoerd. De maten van het bochtmodel maken het niet bijzonder geschikt, maar een alternatief is voorlopig niet aanwezig.

Onderzoek naar de turbulentie en de snelheidsprofielen over de vertikaal van de hoofdstroom is uitgevoerd en zal voortgezet worden, o.a. in het kader van een afstudeeronderzoek inzake hoofdstroming en secundaire stroming gemeten in de Oosterschelde in de raai Kats-Stavenisse. Vermoedelijk is binnen de onderzoekstermijn nog wel een eenvoudig model ter berekening van het sedimenttransport op te zetten. Voor het maken van morfologische modellen ontbreekt vrijwel zeker de tijd. Zo mogelijk zal een inleidend onderzoek naar de morfologische gevolgen uitgevoerd worden.

7.2. Doelstelling en realisering van het plaatmodel

Doelstelling

Na het gereedkomen van de SVK kan het huidige evenwicht tussen opbouwende en afbrekende processen op de platen worden verstoord. Deze verstoring van het evenwicht wordt m.n. veroorzaakt door een geringer sedimenttransport; lagere stroomsnelheden, en door een toename van de golfwerking; kleinere getijverschillen (zie ook de probleemanalyse in het projectplan GEOMOR nota DDMI-83.11, DDWT-82.012).

Teneinde de morfologische ontwikkeling die het gevolg is van deze veranderingen te kunnen voorspellen is aan het WL gevraagd na te gaan in hoeverre het wiskundig model COMOR geschikt zou zijn. Het model COMOR bestaat uit een getij- en golfgedreven stromingsmodule, een golfmodule, een sedimenttransportmodule en een bodemliggingsmodule.

Realisering

In de interimnota 83.00 is uitvoering ingegaan op de vraag hoe de hierboven genoemde modules zouden moeten worden ingevuld en wat de motivering is van eventueel aan te brengen vereenvoudigingen met name in de stromingsmodule. Het resultaat van deze beschouwing was dat het model COMOR in principe bruikbaar is.

Op basis hiervan is besloten het model COMOR voor de Galgeplaat te draaien voor een aantal tijdstippen op karakteristieke dagen. Hiervoor zijn op grond van de meetresultaten de volgende dagen geselecteerd:

- 30 maart 1983, motivatie: krachtige zuidwestelijke wind
- 11-12 april 1983, motivatie: krachtige noordwestelijke wind
- 15 april 1983, motivatie: windstil, springtij.

Na deze keuze is er een werkverdeling gemaakt tussen de Deltadienst en het WL (fig. 7.2.1). De Deltadienst zou zorgen voor:

- a. een 50 m bij 50 m bodemschematisatie tot de -6 m N.A.P.-lijn
- b. WAQUA (2D waterbewegingsmodel) berekeningen (Oost-Oost-model) van de gekozen tijdstippen op de genoemde dagen
- c. CREDIZ (2D golfvoortplantingsmodel) van de gekozen tijdstippen op de genoemde dagen.

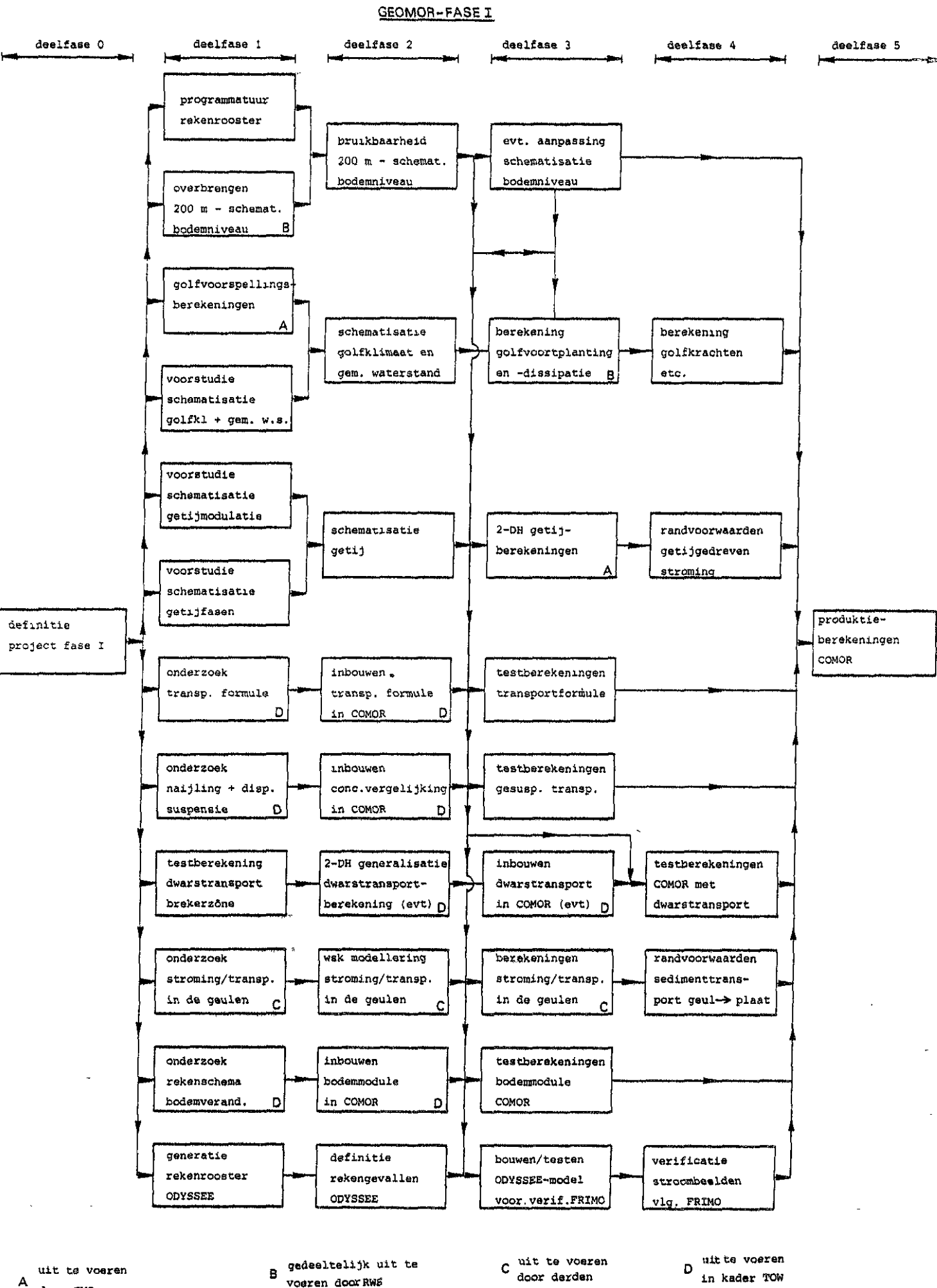


Fig.7.2.1. Werkverdeling Deltadienst RWS-W.L.

ad b.: De WAQUA-berekeningen zijn uitgevoerd. Uit de simulaties van het verticale getij blijkt dat de afwijkingen minimaal zijn (zie voorbeeld figuren 7.2.2, 7.2.3 en 7.2.4). Helaas heeft het maken van een interface tussen de WAQUA uitvoer en de COMOR invoer relatief veel tijd gekost.

ad c.: Na de eerste testberekeningen van het model CREDIZ is gebleken dat dit model waarschijnlijk in de huidige vorm niet voldoet en dat hiermee niet de voor COMOR benodigde golf informatie kan worden berekend. De redenen hiervoor zijn:

- dat er geen golfgroei in CREDIZ wordt meegenomen, waardoor in gebieden waar de stroomsnelheid in dezelfde orde van grootte ligt als de groepsvoortplantingssnelheid van de golven en waar bovendien de golfvoortplantingsrichting tegengesteld kan zijn aan de stroomrichting, de golven erg snel kleiner worden en a.h.w. uitdoven.

Het opnemen van golfgroei in CREDIZ heeft nauwelijks tot een verbetering van de resultaten geleid.

- dat de golfperiode constant blijft, terwijl er toch breking optreedt.

Helaas is het overzetten van de UNIVAC-resultaten naar de CDC ook hier een "bottleneck" geweest.

Een en ander heeft ertoe geleid dat lang niet alle voor deze nota geplande berekeningen met het model COMOR zijn uitgevoerd. Momenteel zijn uitgebreide proefbedieningen (10 tijdstippen uitgevoerd voor 15 april (rustig weer, springtij) en zijn voor 30 maart (krachtige zuidwestelijke wind) 3 tijdstippen doorgerekend.

Voor 15 april zijn de volgende COMOR-berekeningen uitgevoerd:

- a. Een eerste versie berekeningen waarbij gebruik gemaakt is van een zeer nauw om de plaat sluitende rekenrooster. Hierbij ligt de rand van het rooster, in het bijzonder aan de oostzijde van de plaat, dicht bij de hoogste delen van de plaat. Tengevolge van grote discrepanties tussen de in WAQUA gebruikte bodemschematisatie en de in COMOR gebruikte bodemligging (fig. 7.2.5), kunnen relatief grote debieten opgelegd door de WAQUA randvoorwaarden slechts gebruik maken van een klein doorstroom-oppervlak. Dit leidt tot grote stroom-

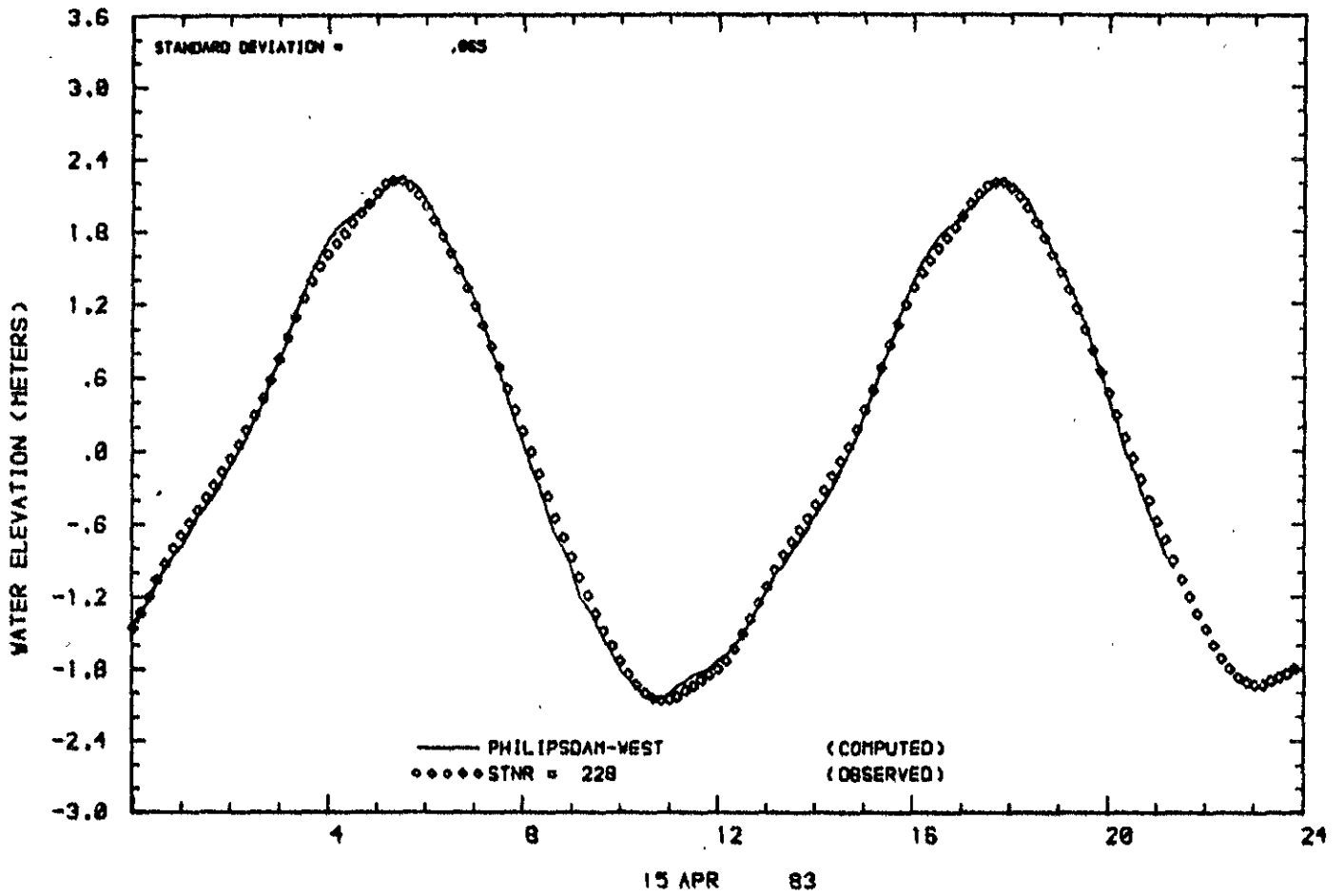


Fig. 7.2.2. Vergelijking gemeten en berekende waterstandsverloop WAQUA bij Philipsdam-west

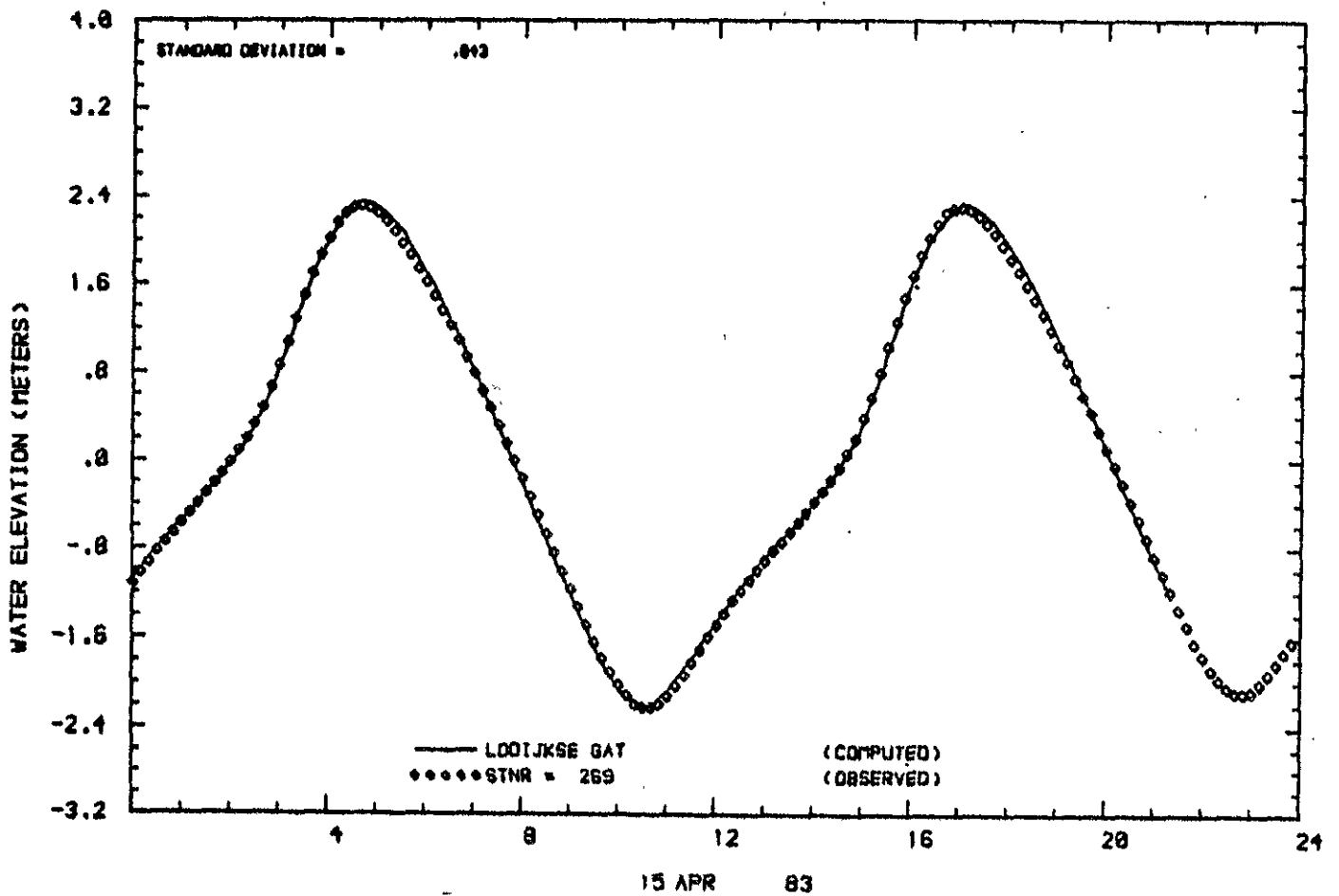


Fig. 7.2.3. Vergelijking gemeten en berekende waterstandsverloop WAQUA bij Loodijkse Gat

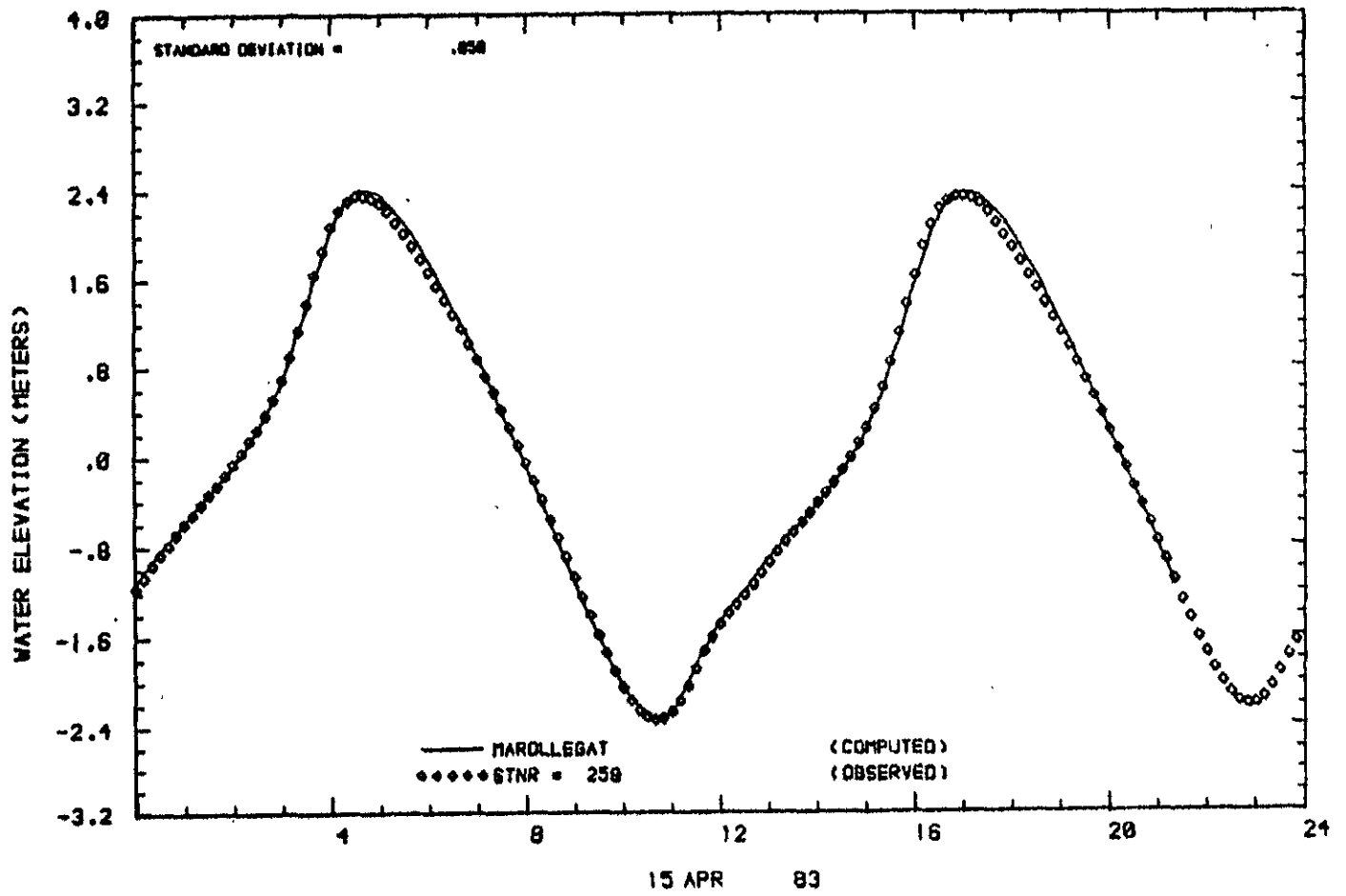


Fig. 7.2.4. Vergelijking gemeten en berekende waterstandsverloop bij Marollegat

snelheden. Bovengenoemde verschillen in de bodemschematisatie zijn het gevolg van het doel en de wijze van schematiseren voor de betreffende modellen.

- b. Bij de volgende versie berekeningen is het rekenrooster dan ook verruimd, waardoor de resultaten beduidend verbeterd zijn. Gebruikmakend van de stroomberekeningen (FRIMO) zijn transporten uitgerekend m.b.v. de formule van BOSMAN (voortbouwend op WL-nota M1875) en de formule van Engelund-Hansen. Beide formules gelden voor stationaire uniforme stroming en houden derhalve geen rekening met nagingseffecten in ruimte en tijd.
- c. In de onder b genoemde berekeningen blijkt het rekenrooster nog te dicht rond de plaat te liggen. Hierdoor blijft de invloed van de WAQUA randvoorwaarden aanzienlijk op het door FRIMO berekende snelheidsveld. Deze invloed is het grootst tijdens het laatste deel van de eb (19.00 en 20.00 uur). Voor 20.00 uur is het snelheidsveld nogmaals uitgerekend met een verder verruimd rekenrooster (vgl. fig. 7.2.9 en 7.2.10). Dit leidt tot een aanzienlijke verbetering van de resultaten.

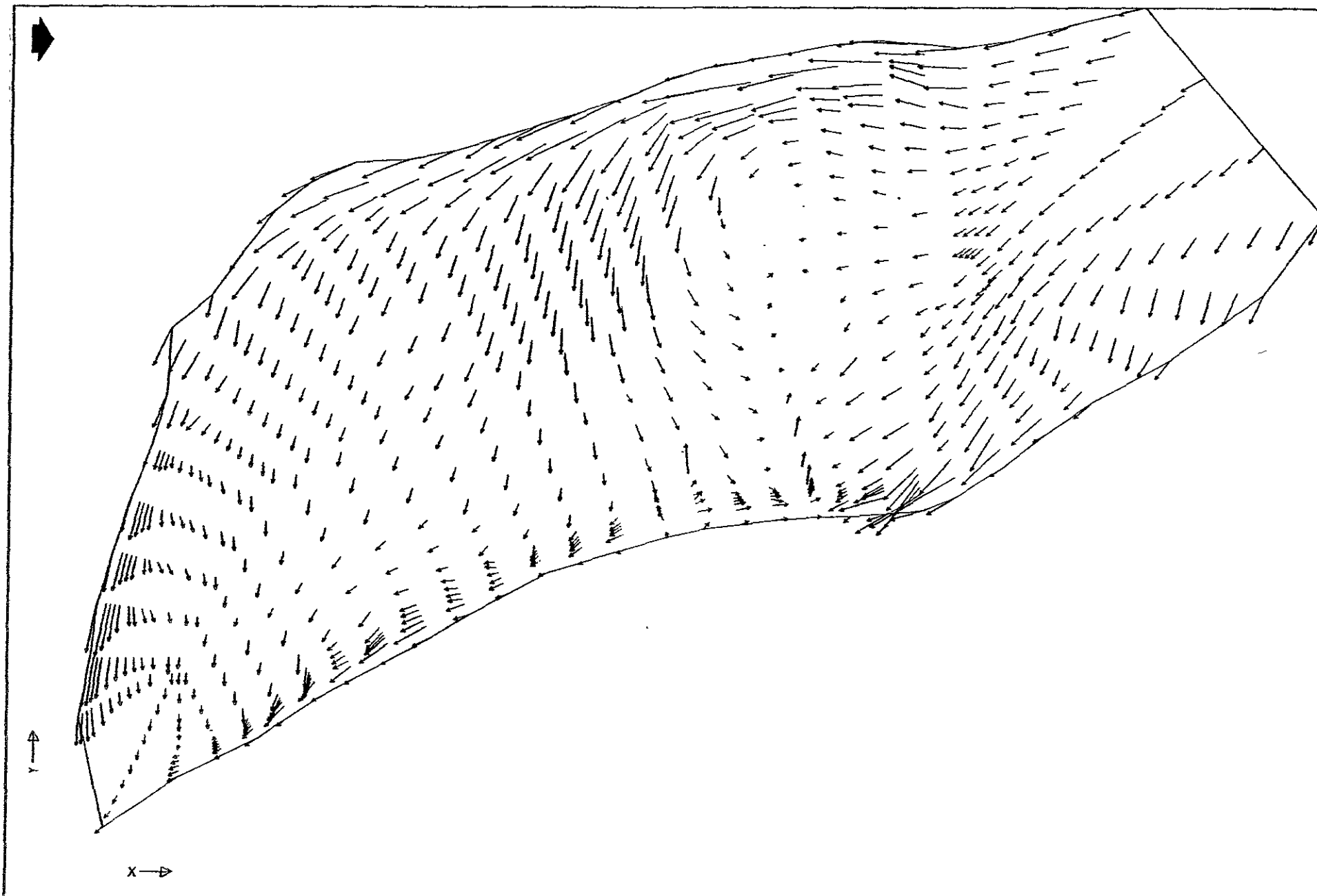
In het licht van bovenstaande hebben de huidige resultaten de status van proefberekeningen, waarbij de berekende stroomsnelheden nabij de plaatranden te groot zijn (versie b). Dit wordt in hoofdzaak bepaald door de WAQUA randvoorwaarden. Het verdient dan ook aanbeveling om de berekening nogmaals uit te voeren voor een verder verruimd rekenrooster (vgl. testresultaten 20.00 uur, fig. 7.2.9. en 7.2.10. Uit de resultaten (versie b) (fig. 7.2.6 t/m 7.2.10) blijkt dat de grootste stroomsnelheden zoals verwacht optreden in de geulen verg. fig. 7.2.5). Met andere woorden het ruimtelijk snelheidsveld wordt mede morfologisch bepaald.

Als voorbeeld zijn de stroomsituaties rond maximum vloed (fig. 7.2.6 en 7.2.7) en maximum eb weergegeven (fig. 7.2.8 en 7.2.9). Bij dergelijke snelheidsvelden behoort een sedimentatie-erosiepatroon. Als voorbeeld wordt de situatie bij maximum eb gegeven (fig. 7.2.11 en verg. met fig. 7.2.9). Kwantitatief noch kwalitatief mag aan deze figuur veel waarde worden gehecht. De redenen hiervoor worden in hoofdstuk 8 nader besproken.



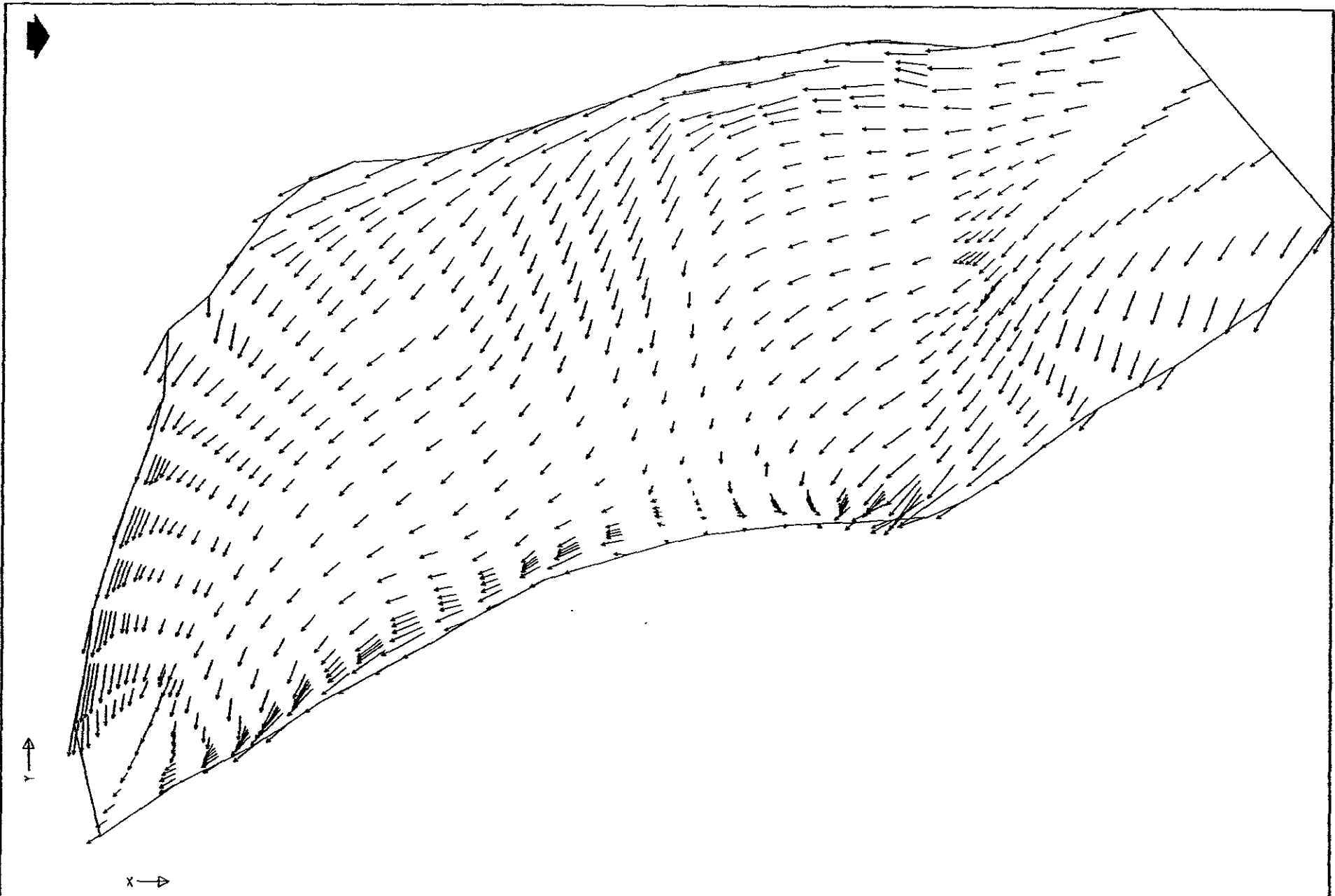
GEOMOR-ONDERZOEK GALGENPLAAT
 BODEMLIGGING COMOR-BEREKENING
 REFERENTIE NIVEAU: 0.00 M +N.A.P.
 WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

INT.-12.	regelmatig
SCHAAL 1:20000	
R1914	FIG.7.2.5.

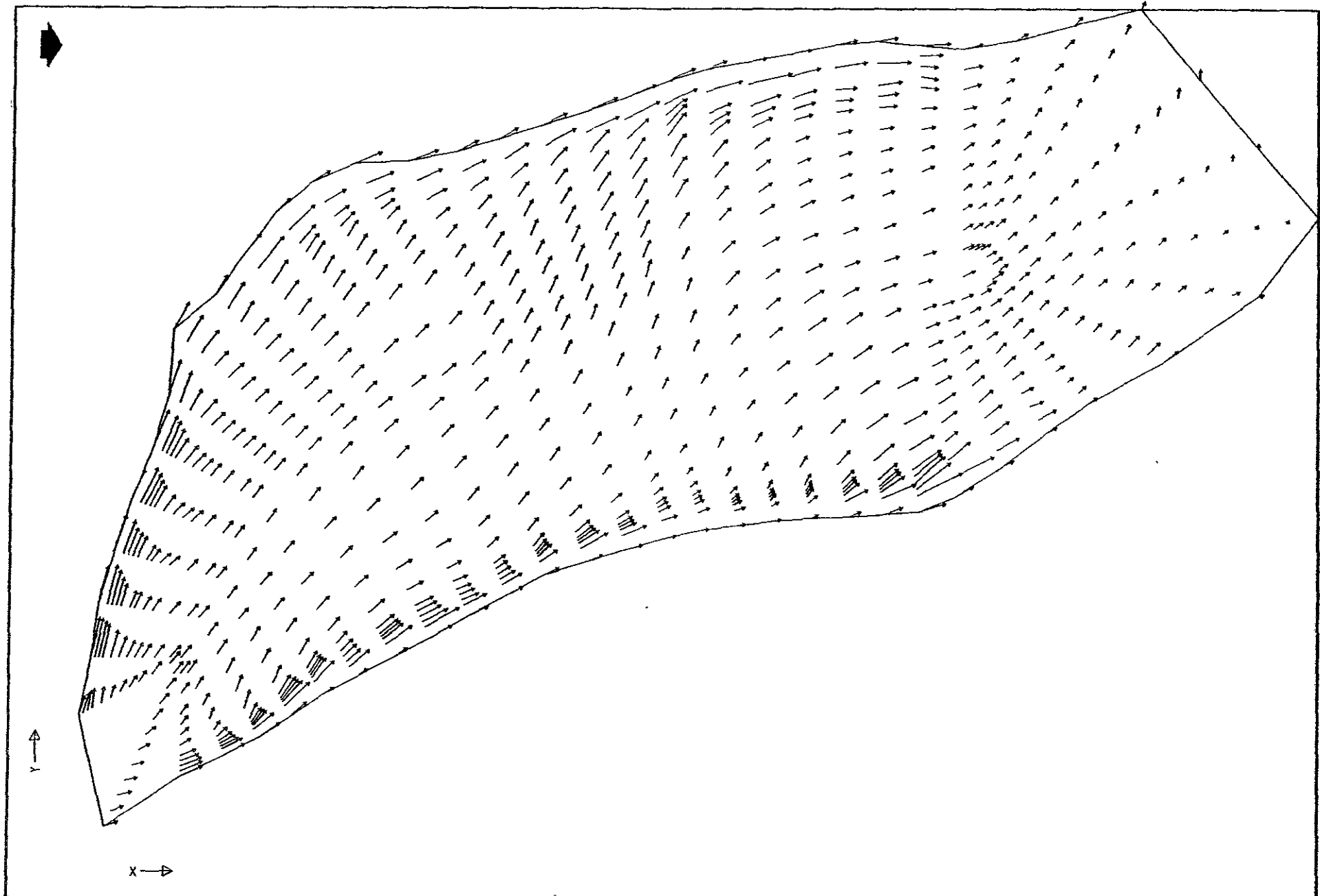


GEOMOR-ONDERZOEK GALGEPLAAT STROOMSNELHEID COMOR-BEREKENING DATUM/TIJD: 830415.15.00	1cm=1m/s	
	SCHAAL 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG. 7.2.6.

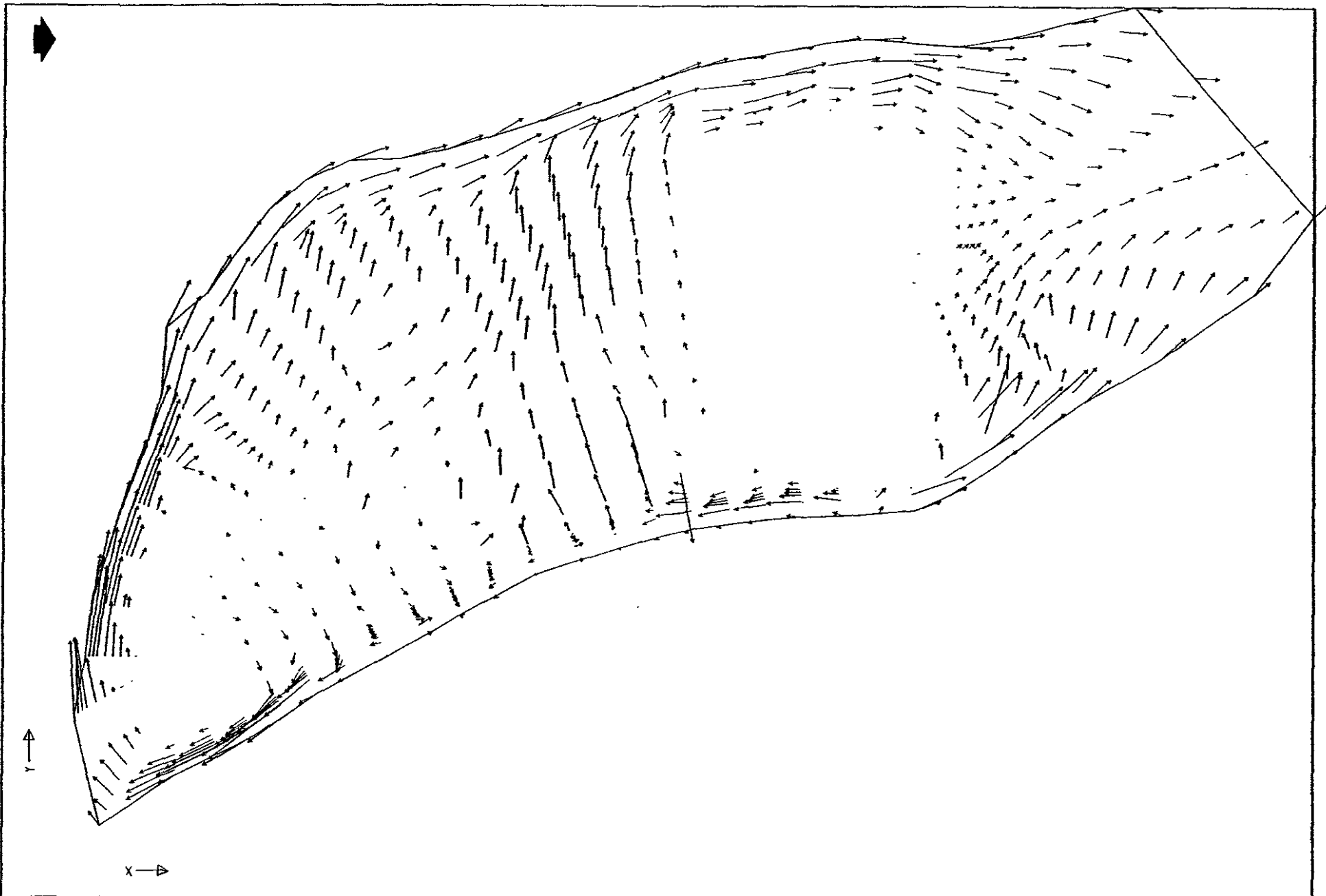
GETIJRVW
GLADGESTREKEN



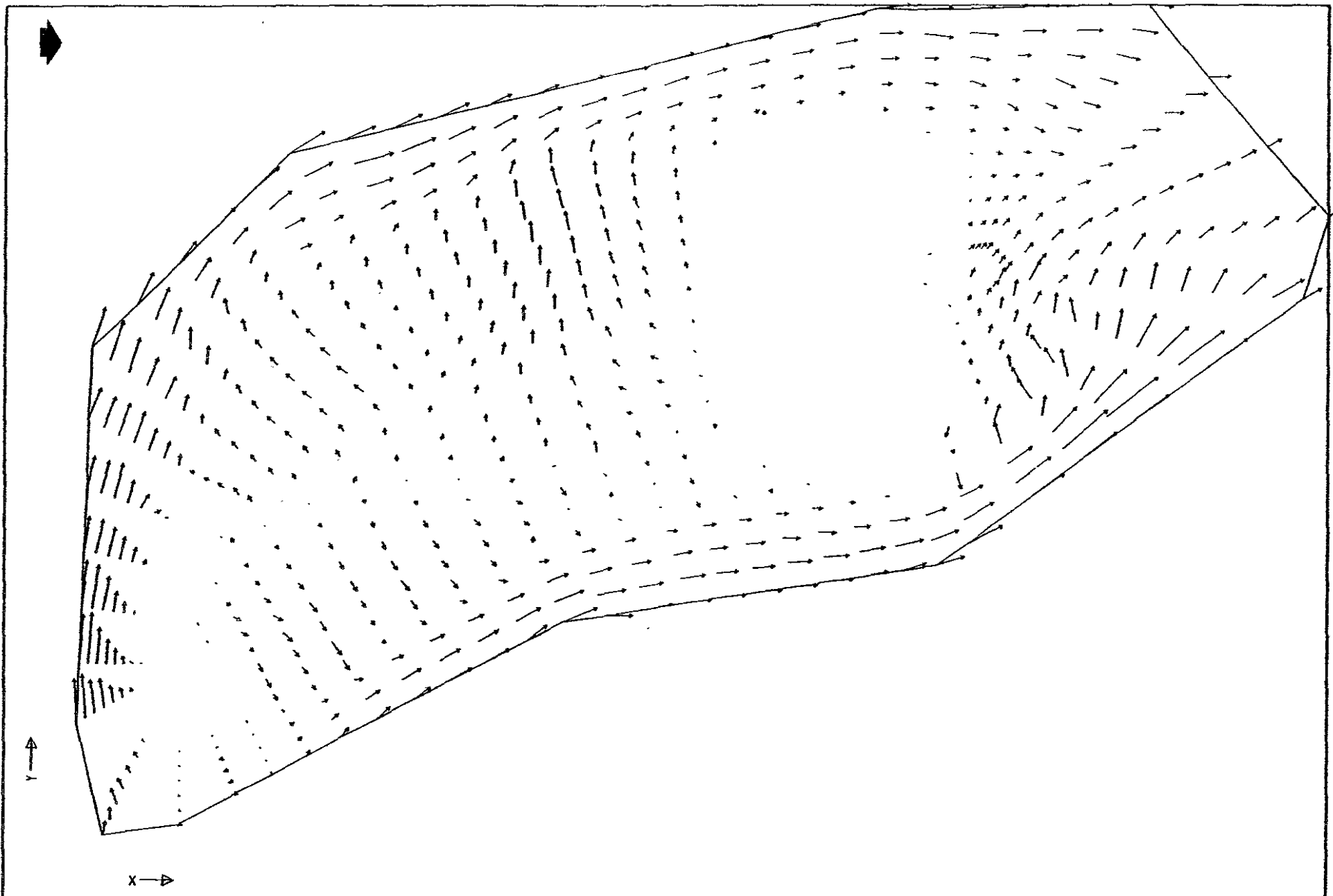
GEOMOR-ONDERZOEK GALGEPLAAT STROOMSNELHEID COMOR-BEREKENING DATUM/TIJD: 830415.15.30	1CM=1M/S	
WATERLOPKUNDIG LABORATORIUM	SCHAAL 1:20000	R1914 FIG. 7.2.7.



GEOMOR-ONDERZOEK GALGEPLAAT STROOMSNELHEID COMOR-BEREKENING DATUM/TIJD: 830415.17.30	1CM=1M/S	
	SCHAAL 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG. 7.2.8.



GEOMOR-ONDERZOEK GALGENPLAAT STROOMSNELHEID COMOR-BEREKENING DATUM/TIJD: 830415.20.00	LCP-1R/S	
	SCHAAL 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG.7.2.9.



GEMOR-ONDERZOEK GALGEPLAAT STROOMSNELHEID COMOR-BEREKENING DATUM/TIJD: 830415 20.00 UUR	100=1M/S	regelmatig
	SCHAL. 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG.7.2.10.

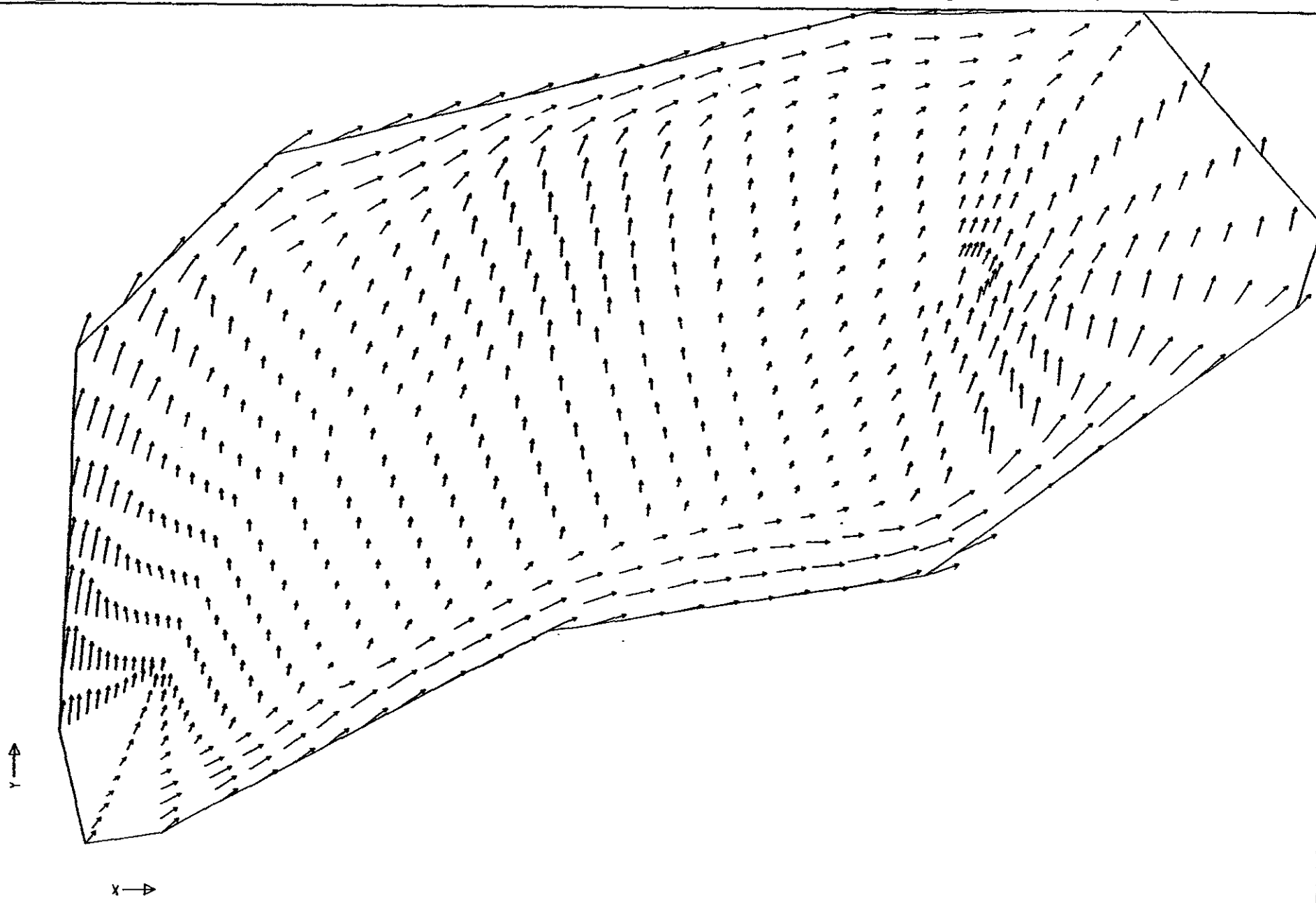


GEOMORFONDERZOEK CALGENPLAAT AANZANDING/EROSIE VOLGENS BOSMAN DATUM/TIJD: 830415. 20.00 UUR	KL. = 1.E-7H	
	SCHAAL 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG.7.2.11.

Voor 30 maart, krachtige zuidwestelijke wind, zijn proefberekeningen uitgevoerd met het model COMOR, voor de tijdstippen 13.00; 18.00 en 20.00 uur. Hierbij is gebruik gemaakt van het ruimste rekenrooster (zie resultaten 15 april, c). Testberekeningen zijn uitgevoerd om de invloed op het stromingsveld na te gaan van respectievelijk wind, golven en de ruimtelijke verdeling van de punten van het rekenrooster. Hieruit bleek dat:

- a. De directe invloed van de wind op het stroombeeld binnen het rekengebied gering is. In de WAQUA-randvoorwaarde wordt nl. rekening gehouden met de windinvloed op de waterstand en daarmee op de stroomsnelheden in de Oosterschelde.
- b. De invloed van de golven op het stroombeeld gering is ($H^1/3 = 50$ cm). De resultaten van een berekening met en zonder golven komen nagenoeg overeen.
- c. De ruimtelijke verdeling van de punten van het rekenrooster heeft een, zij het beperkt, invloed op het berekende snelheidsveld (Vgl. fig. 7.2.12 en 7.2.13). Een beperkte uitbreiding van het aantal rekenpunten (momenteel 693) tot ongeveer 1000 lijkt voldoende om deze verschillen op te vangen.

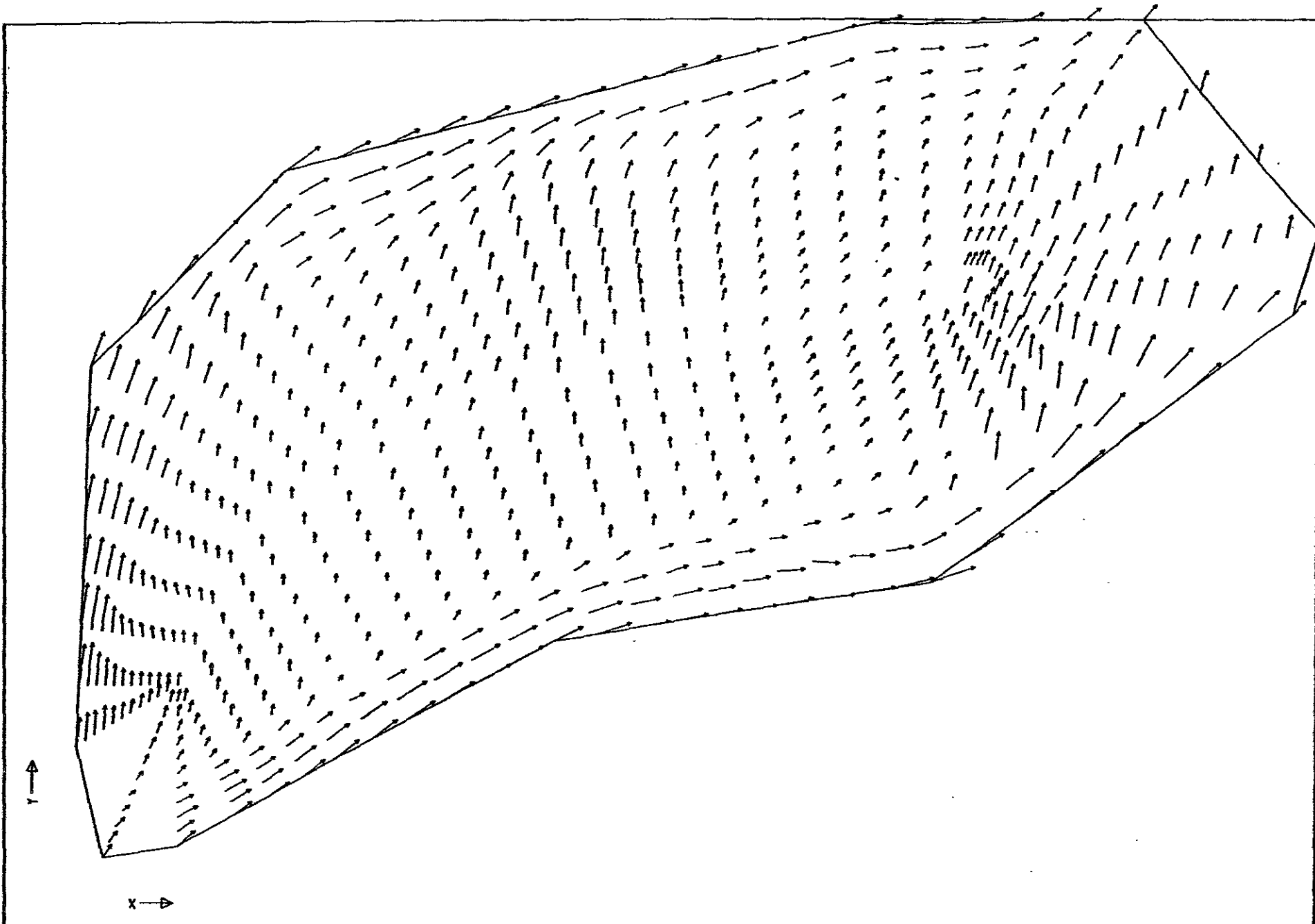
De grootste erosie blijkt op te treden in de brandingszones, indien de gehele plaat nog niet onder water staat. Voor het tijdstip van 18.00 uur, als de gehele plaat onder water staat, vindt sterke erosie plaats op het hoogste deel van de plaat (fig. 7.2.14). In deze figuur representeert een minteken erosie en een plusteken sedimentatie.



GEOMOR-ONDERZOEK, BALGENPLAAT
 STROOMSNELHEID MET GOLVEN (REC. 6KID)
 DATUM/TIJD: 830330.18.00 UUR

100°11/8	
SCHAAL 1:20000	
R1914	FIG. 7.2.12

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



GEOMOR-ONDERZOEK GALGENPLAAT
 STROOMSNELHEID MET GOLVEN (ONR. GRID)
 DATUM/TIJD: 830330.18.00 UUR

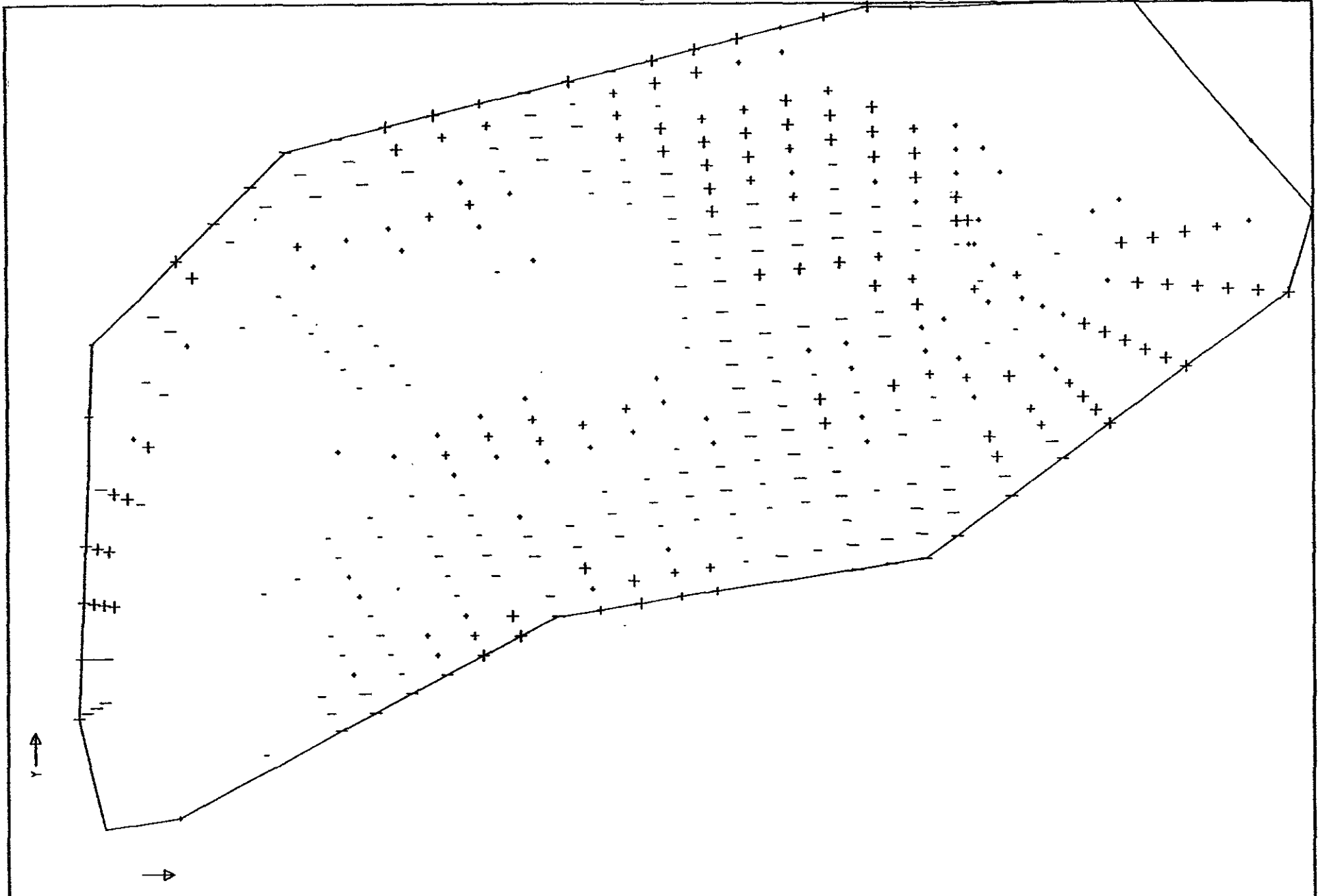
ICM-18/S

SCHAAL 1:20000

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1914

FIG. 7.2.13



GEOMOR-ONDERZOEK GALGENPLAAT AANZ./EROSIE (BOSMAN) MET GOLVEN DATUM/TIJD: 830330. 18.00 UUR	KL-4E-8	
	SCHAAL 1:20000	
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R1914	FIG. 7.2.14.

8. VERGELIJKING MEETRESULTATEN EN MODELRESULTATEN

8.1. Rustig springtij (15 april)

Het rekenpunt 437 van het model COMOR komt qua positie overeen met de locatie van het Ponton. De berekende stroomsnelheden zijn aanzienlijk groter dan de gemeten waarden (fig. 8.1.1):

$$u_{\text{ponton}}(\text{m/s}) = 0.076 + 0.501 * \bar{u}_{437}(\text{m/s})^{\text{Ⓢ}} \quad N = 7 \quad R = 0.96 \quad (8.1)$$

Vooraf voor de tijdstippen 19.00 en 20.00 uur treden grote verschillen op. Een herberekening (voor 20.00 uur) met een ruimer rekenrooster geeft veel betere resultaten (vgl. fig. 7.2.9).

Bij Stelling (COMOR-punten 433 en 434) komen de berekende en de gemeten stroomsnelheden goed overeen (fig. 8.1.1). De berekende stroomsnelheden zijn hierbij iets groter dan de gemeten waarden.

De berekende en de gemeten stromingsrichtingen komen zowel voor Stelling als voor Ponton, behoudens de tijdstippen 19.00 en 20.00, goed overeen (fig. 8.1.2):

$$Ri_{\text{ponton}} = 18.586 + 0.891 * Ri_{437}^{\text{Ⓢ}} \quad N = 8 \quad R = 0.99 \quad (8.2)$$

$$Ri_{\text{stelling}} = 68.782 + 0.783 * Ri_{434}^{\text{Ⓢ}} \quad N = 5 \quad R = 0.99 \quad (8.3)$$

Als gevolg van de hogere COMOR-snelheden zijn de m.b.v. de transportformule van Engelund-Hansen (fig. 8.1.3) en de formule van Bosman berekende transporten systematisch groter dan de uit de metingen afgeleide transporten. De door COMOR berekende momentane bodemhoogteveranderingen, uitgaande van de transportformule van Engelund-Hansen, zijn geïntegreerd over de gehele getijperiode. Voor de omgeving van Stelling gaf dit een gemiddelde aanzanding van 0.37 mm. Ondanks het feit dat de in COMOR berekende transporten groter zijn dan de gemeten transporten wordt een geringere netto aanzanding berekend dan volgens de proefberekening (0.74 mm). Dit verschil is een gevolg van de gebruikte transportmodule. Bij de fomule van Engelund-Hansen wordt ervan uitgegaan dat op

Ⓢ Dit geldt voor deze resultaten van COMOR versie b uit par. 7.2.

ieder tijdstip en op iedere locatie het transport is aangepast aan de stroomsnelheid. In de proefberekening (zie § 6.7.3) daarentegen wordt onderscheid gemaakt naar stroomrichting en versnellende of vertragende stroom. Uit de berekening blijkt dat 80% van de aanzanding tijdens vloed, en in het bijzonder tijdens versnellende vloed, plaatsvindt (vgl. fig. 8.1.4). De ebstroom daarentegen lijkt nauwelijks invloed te hebben op de morfologische veranderingen. De resultaten van het model COMOR geven echter een veel regelmatig patroon van aanzanding en erosie over de vloed-eb cyclus (fig. 8.1.4). Gedurende de versnellende stroom (zowel vloed als eb) vindt erosie plaats en tijdens vertragende stroom treedt sedimentatie op.

De in het voorafgaande besproken resultaten geven aan dat de in het model COMOR opgenomen transportmodule verfijnd dient te worden. Hierbij zal gebruik gemaakt moeten worden van veldmetingen in combinatie met theoretische beschouwingen (bijv. Galappatti, 1983) en laboratoriumresultaten (bijv. Bosman, 1983).

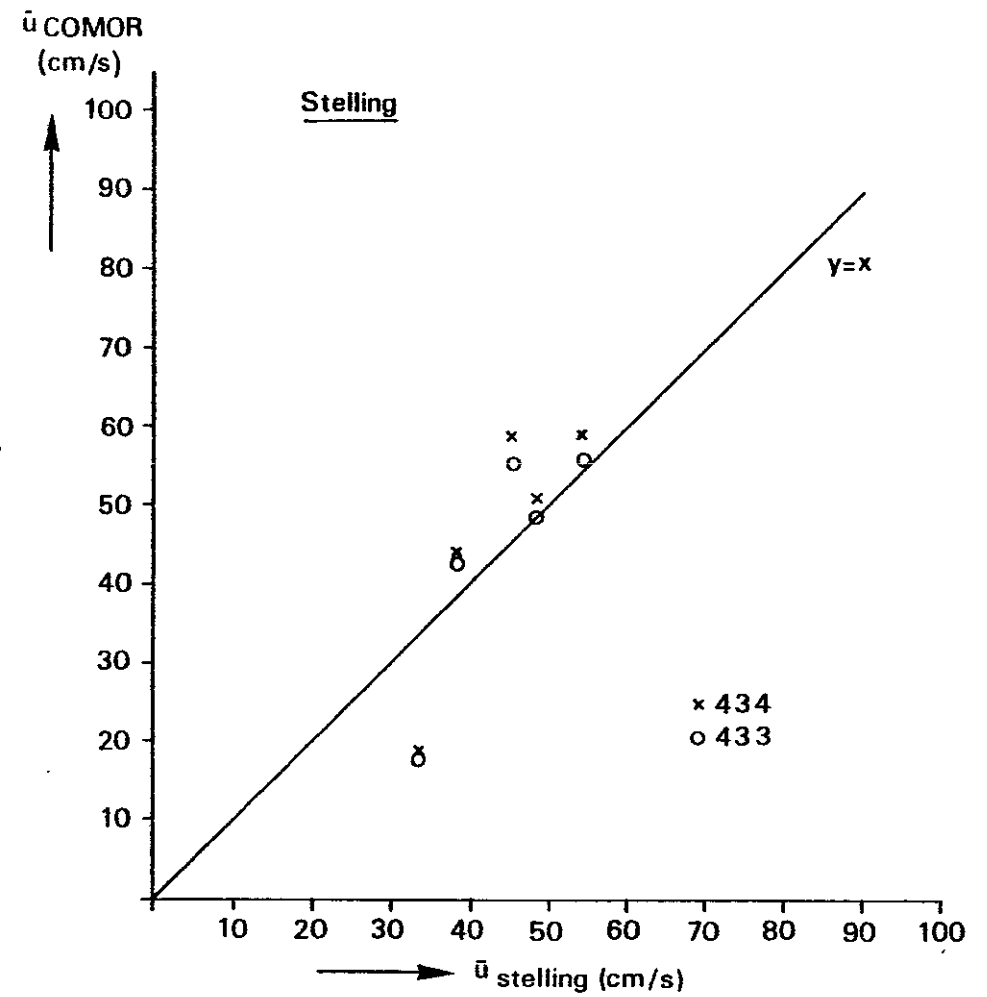
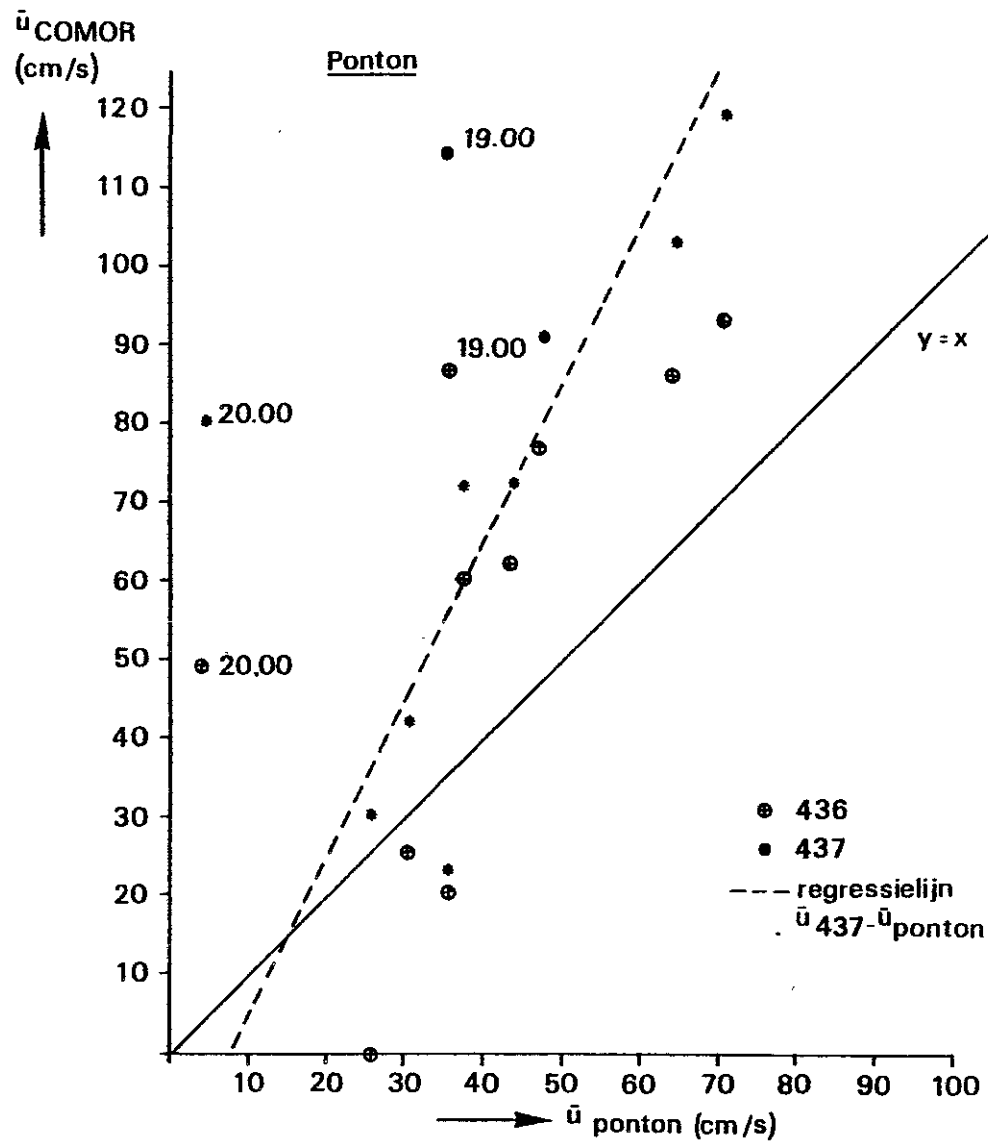


Fig. 8.1.1. Vergelijking stroomsnelheden COMOR-GEOMOR 15-4-1983

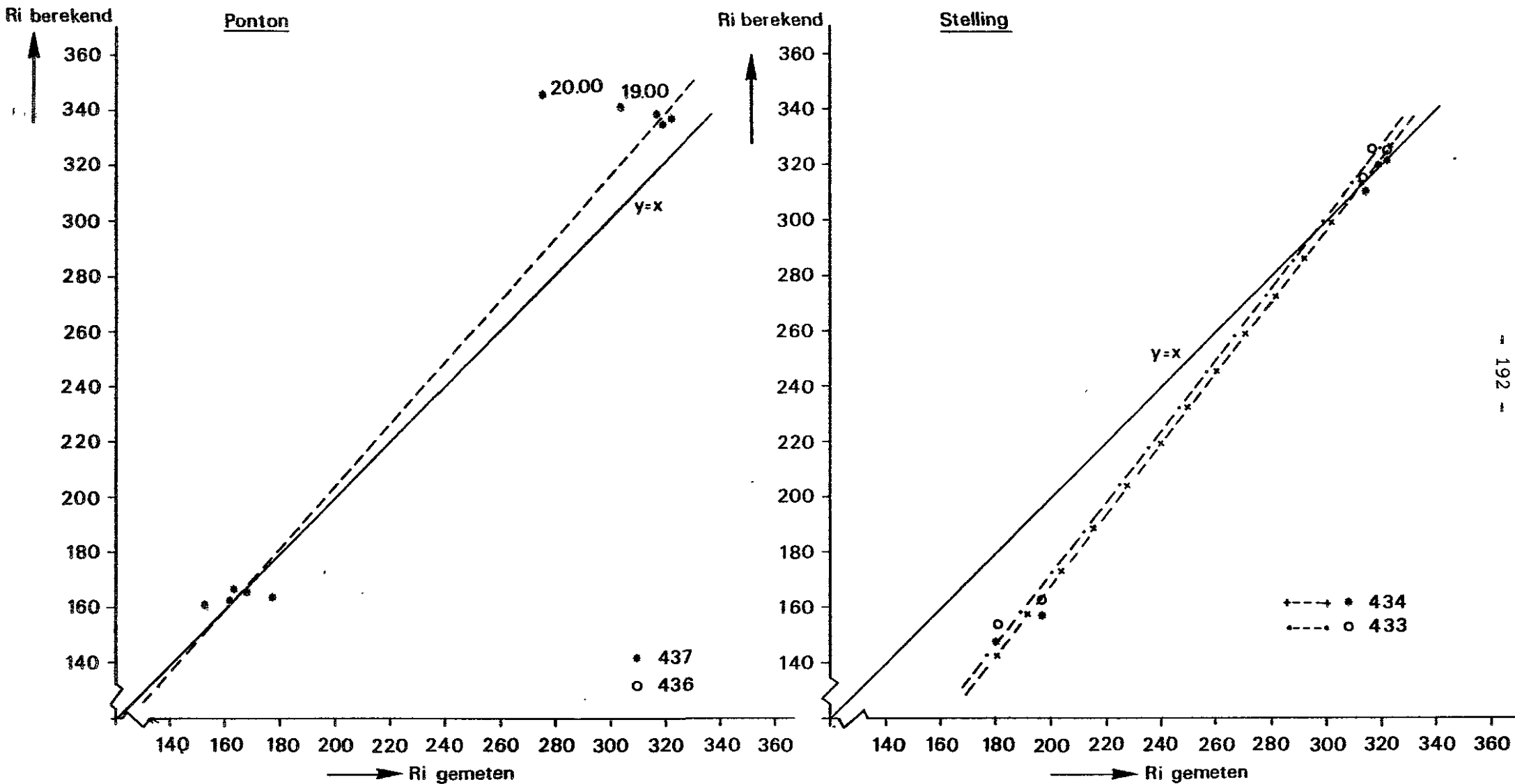


Fig 8.1.2. Vergelijking stroomrichtingen COMOR - GEOMOR 15 - 4 - 1983

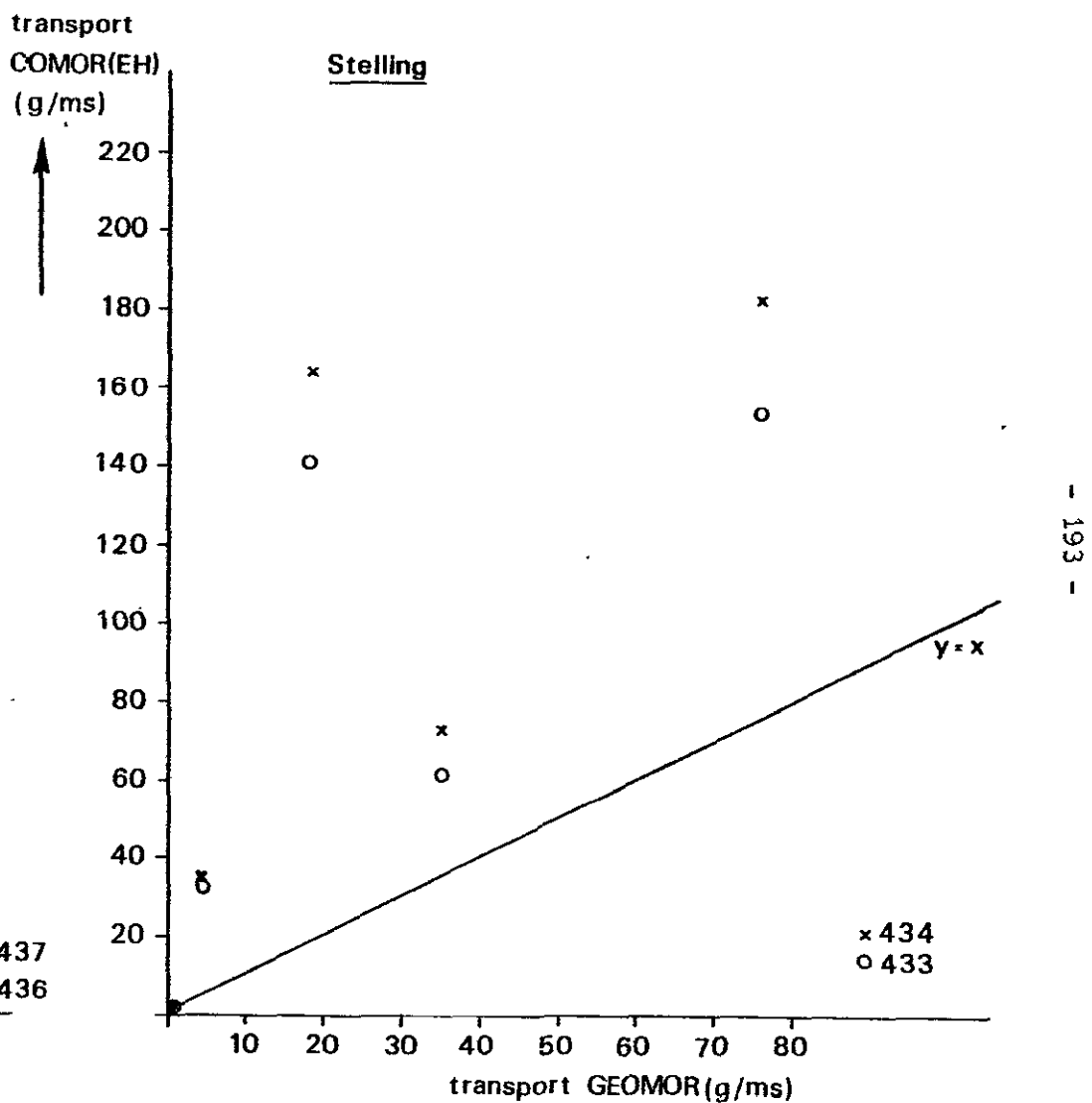
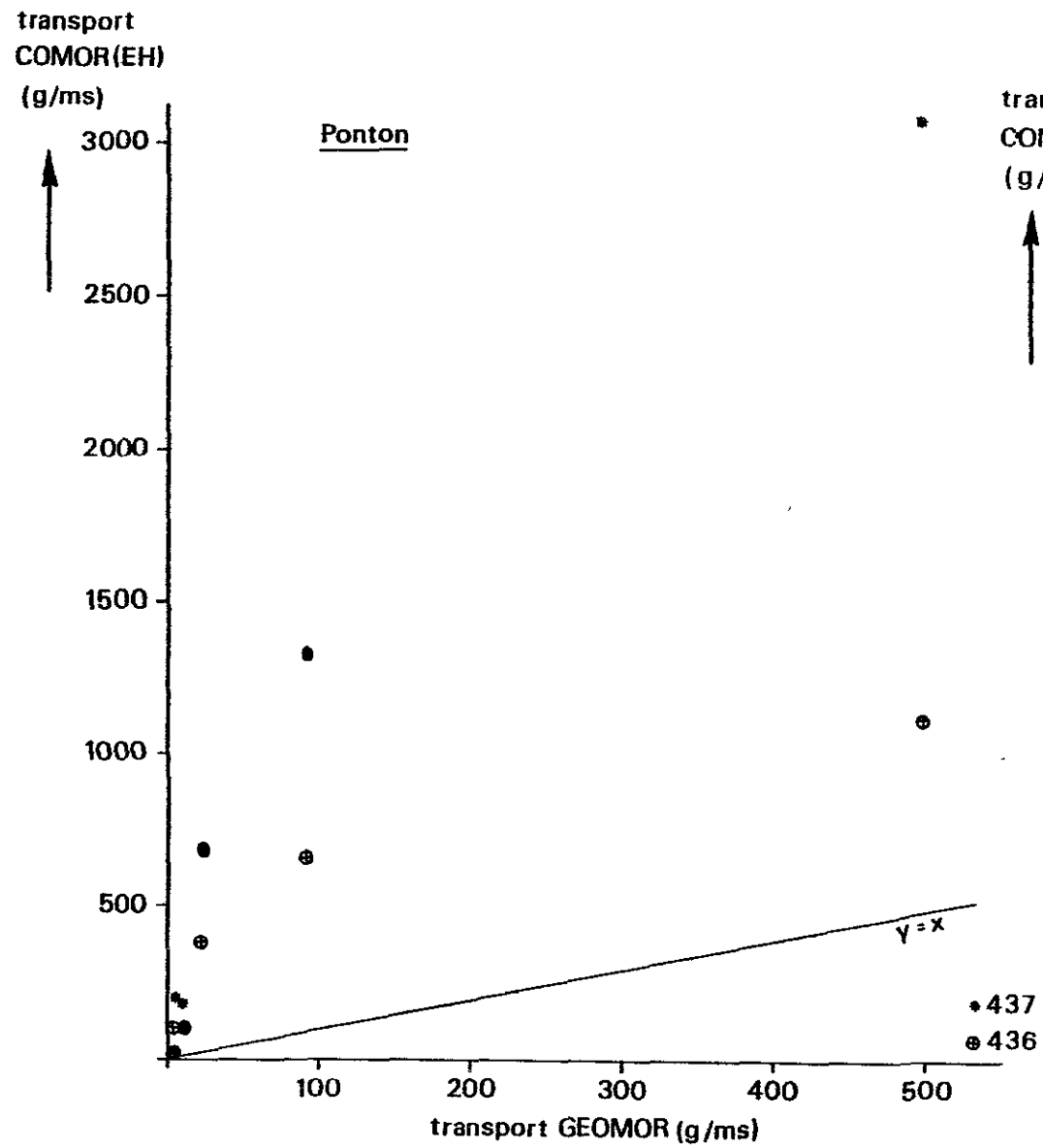


Fig.8.1.3. Vergelijking transport Engeland Hansen ↔ GEOMOR15-4-1984

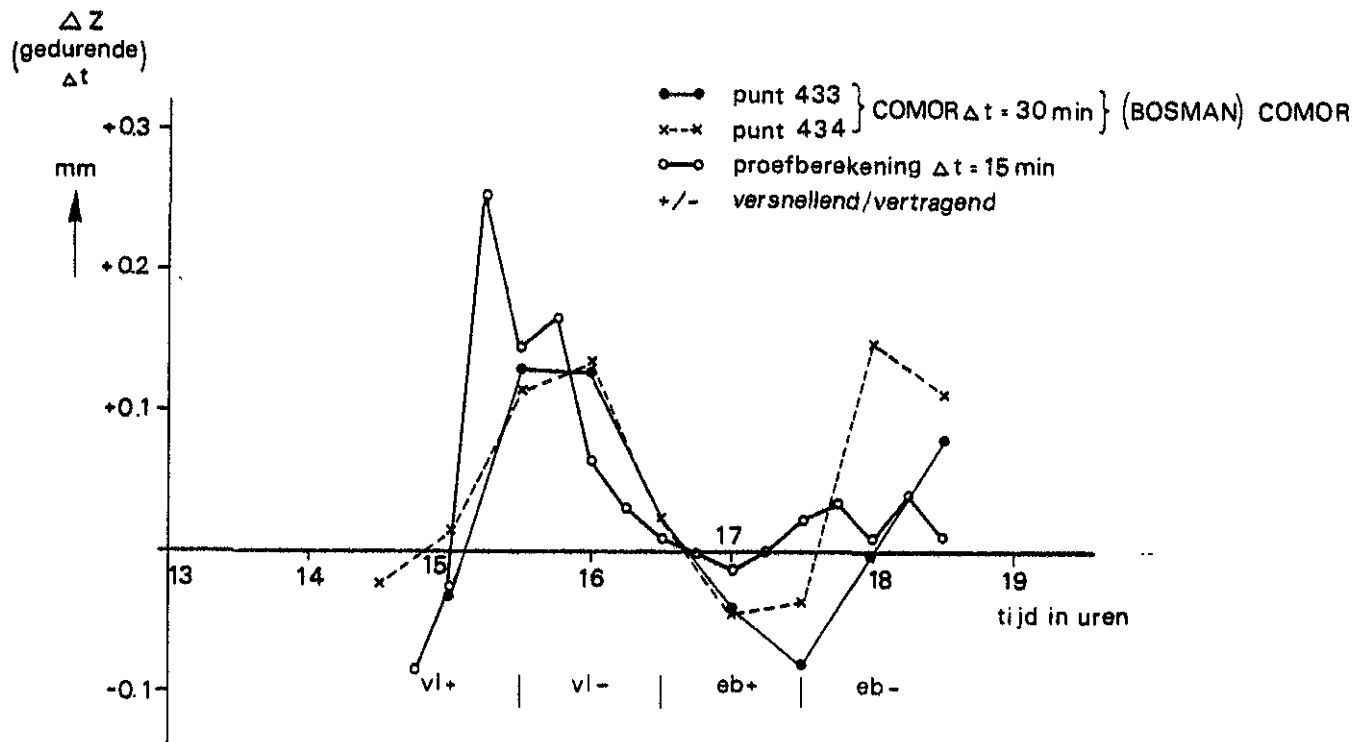


Fig. 8.1.4. Variatie van aanzanding/erosie als functie van de tijd: 15-4-1983

8.2. Getijsituatie met krachtige zuid-westelijke wind (30 maart)

De met behulp van het model COMOR berekende stroomsnelheden zijn in dit geval systematisch kleiner dan de bij Ponton gemeten stroomsnelheden (fig. 8.2.1a). Mede hierdoor en als gevolg van verschillen in de gebruikte transportmodule zijn de m.b.v. COMOR berekende transporten kleiner dan de uit de veldmetingen afgeleide transporten (fig. 8.2.1c). De stroomrichtingen daarentegen komen goed overeen (fig. 8.2.1b). Voor 30 maart zijn geen gegevens van Stelling beschikbaar zodat voor het bovendeel van de plaat geen vergelijking tussen de metingen en de COMOR resultaten kan plaatsvinden.

Gezien het geringe aantal doorgerekende tijdstippen (3), het feit dat de uit de metingen afgeleide zandtransporten voor stroomsituaties slechts beperkte geldigheid hebben (vgl. par. 6.3) en het ontbreken van naijling in de transportformule van COMOR kan geen uitspraak worden gedaan over de betrouwbaarheid van de COMOR resultaten.

Resumerend kan worden opgemerkt dat het plaatmodel COMOR bruikbaar is indien verbeteringen plaatsvinden betreffende de kwaliteit van de toegeleverde randvoorwaarden en indien een transportmodule met naijling wordt ontwikkeld.

9. LITERATUUROVERZICHT

- Admiraal, W.H., H. Peletier en H. Zomer 1982 Observations and experiments on the population dynamics of epipelagic diatoms from an estuarine mudflat.
Estuarine, Coastal and Shelf Science 14, p. 471-487.
- Alphen, J. van 1982 De te verwachten veranderingen in het morfodynamisch gedrag van de Oosterschelde na het gereedkomen van de Stormvloedkering.
- Een literatuurstudie naar het morfodynamisch gedrag van estuaria -.
Deltadienst RWS Geomor-nota 83.01, Middelburg - Den Haag.
- Anonymus 1975 Hydrografisch onderzoek naar de invloed van de stormvloedkering op de omgeving.
Driemaandelijks Bericht Delta-werken. 73:84-92.
- Berg, J.H. van den 1980 Field Course Guidebook on Clastic Tidal Deposits, Comparative Sedimentology Division, Institute of Earth Sciences Utrecht Utrecht:67 p.
- Berg, J.H. van den 1981 Morfologische ontwikkeling van het Krammer en het Slaak tijdens de aanleg van de Philipsdam. Deltadienst RWS, nota DDWT-81.024;Zierikzee:38p.

- Berg, J.H. van den,
F.J. de Vos
- 1982 Projectplan T₂-getij
Deltadienst RWS nota DDWT-
82.026 Zierikzee: 27 p.
- Boer, de P.L.
- 1981 Mechanical effects of micro-or-
ganisms on intertidal bedform
migration.
Sedimentology 28, p. 129-132.
- Bloks, P., H.J. Buist en
L.H.M. Koksiek
- 1983 Resultaten hydraulische meteo-
rologische en morfologische me-
tingen Galgeplaat. Deltadienst
RWS, notitie DDWTZ-83.484, bij-
lage 4. Den Haag.
- Booy, R.
- 1982 Reproduction of velocity pro-
files in Estuaries by some one-
dimensional mathematical mo-
dels. Deltadienst RWS, Geomor-
nota 83.04, Den Haag.
- Booy, R.
- 1984 Discussion to "Computation of
Flow Patterns in rivers" by
C.B. Vreugdenhil and J.H.A.
Wijbenga, J. Hydr. Div. ASCE,
to be published.
- Booy, R., J.P.Th. Kalkwijk
- 1982 Secondary flow in estuaries due
to the curvature of the main
flow and to the rotation of the
earth and its development.
Delft Univ. of Techn., Dept. of
Civil Eng., Lab of Fluid Mech.,
Report no. 9-82.

- Booy, R., J.G.S. Pennekamp 1983 Simultation of main flow and secondary flow in a curved open channel. Delft Univ. of Techn., Dept. of Civil Eng., Lab of Fluid Mech., Report no. 10-83.
- Bosman, J.J. 1982 Concentratie-verdeling onder golven en stroom. De invloed van bodemhelling, waterdiepte, brekende golven, orbitaalsnelheid en stroomsnelheid. Geomor-nota-83.03, Middelburg.
- Bruin, M.P. de, M.H. Wilderom 1961 Tussen afsluitdijken en delatadijken I: Noord-Beveland, Geschiedenis van strijd, nederlaag en overwinning op het water; Middelburg: 304 p.
- Daemen, E.A.M.J., M.T.T. Vereecken 1982 Kwalificering en kwantificering van het microfytobenthos in de Oosterschelde. Intern rapport Balans II.
- Daemen, E.A.M.J., H. Planken, P.H. Nienhuis 1982 The benthic diatom flora of saline lake Grevelingen (SW Netherlands). Acta. Bot. Neerl. 3 p. 153-167.
- De Ronde, J.G. 1983 Changes of relative mean sea-level and of mean amplitude along the Dutch Coast, In: A.R. Ritsema and A. Gürpınar (eds.): Seismicity and seismic risk in the offshore Northsea area; Dordrecht: 131-142.

Vos, P.

1983 Voortgangsrapport over het onderzoek naar de relatie tussen het microfytobenthos en erosie-/sedimentatieprocessen op de Galgeplaat (Oosterschelde). Deltadienst - RWS nota DDMI-84.03, Middelburg : 40 p.

Wilderom, M.H.

1964 Tussen afsluitdijken en deltdijken II Noord-Zeeland; Middelburg : 415 p.

Wilderom, M.H.

1972 Plaatvallen. OTAR 57;p 288-305.

Wolff, W., J.K. Post

1979 Oosterschelde, het leven in en om het water; Alphen aan de Rijn : 206 p.

Wolff, W.J. (editor)

1979 Flora and registration of the Wadden Sea. Stichting Veth. tot Steun aan het Waddenonderzoek, Leiden.

10. LIJST VAN GEOMOR NOTA'S
- 83.00 Geomor interim rapport, mei 1983 /Projectteam Geomor
- 83.01 De te verwachten veranderingen in het morfodynamisch gedrag van de Oosterschelde na het gereedkomen van de stormvloedkering.
- Een literatuurstudie naar het morfodynamisch gedrag van estuaria. /J. van Alphen
- 83.02 Boven pleistocene en holocene geologische opbouw van het Oosterscheldebekken. /H.M. van Dierendonck
J.A. Okkerman
- 83.03 Concentratie-verdeling onder golven en stroom. De invloed van bodemhelling, waterdiepte, brekende golven, orbitaal snelheid en stroomsnelheid. /Dr. J.J. Bosman
- 83.04 Reproduction of velocity profiles in Estuaries by some one-dimensional mathematical models (report no. 3.82) /R. Booy
- 83.05 Secondary flow in estuaries due to the curvature of the main flow to the rotation of the earth and its development.
- 83.06 Simulation of flow in rivers and tidal channels with an implicit finite difference method of the ADI-type (report No. 3.83). /J.G.S. Pennekamp,
R. Booy
- 83.07 Simulation of main flow and secondary flow in a curved open channel (report no. 10-83) /R. Booy,
J.G.S. Pennekamp
- 83.08 Voortgangsrapport over het onderzoek naar de relatie tussen het microfytobenthos en erosie/sedimentatie processen op de Galgeplaat (Oosterschelde). /P. Vos

83.09 Relatie tussen stroomsnelheden, -richtingen en bodenvormen in T₂-raaien ten westen van de Zee-landbrug. Nota DDMI-83.18.

+

Bodem morfologie beneden de laagwaterlijn van de Galgeplaat (Een interpretatie van Side Looking Sonar-opnamen. Notitie DDMI-84.146

/G.J. Goedheer

83.10 Een eerste interpretatie van de bodem analyses op de Galgeplaat. Notitie DDMI-83.292.

+

Resultaten bodemkundig onderzoek op de meetplot van de Galgeplaat. Notitie DDMI-83.649.

/O. Oenema

84.01 Geomorfologische processen Oosterschelde

- een pilot study -

Nota DDMI-84.06

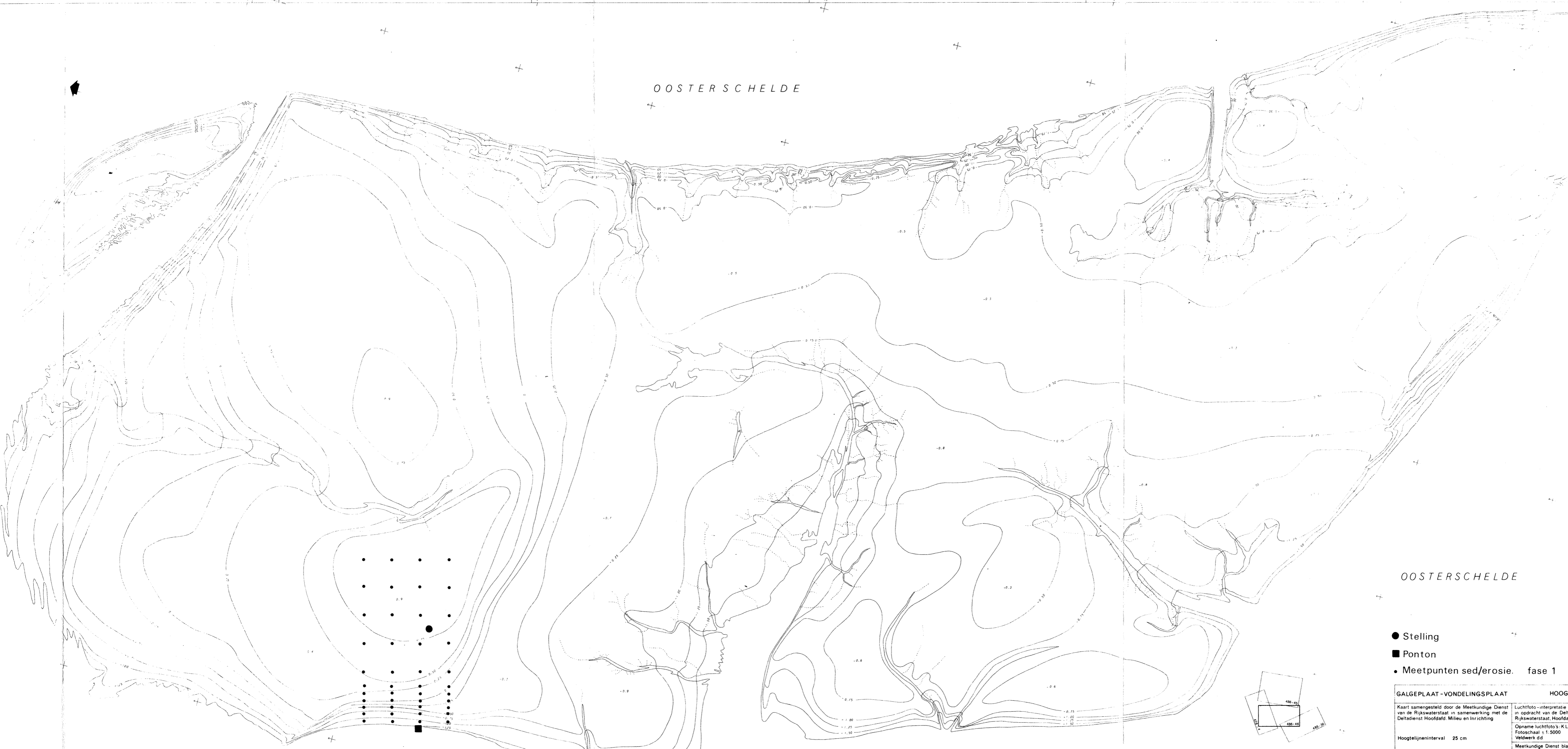
DDWT-84.006

/Projectteam Geomor

P. Bloks,

H.J. Buist.

OOSTERSCHELDE



OOSTERSCHELDE

- Stelling
- Ponton
- Meetpunten sed/erosie, fase 1

GALGEPLAAT - VONDELINGSPLAAT	HOOGTELIJNENKAART
Kaart samengesteld door de Meetkundige Dienst van de Rijkswaterstaat in samenwerking met de Deltadienst Hoofddaf. Milieu en Inrichting	Luchtfoto-interpretatie uit false-colour opnamen in opdracht van de Deltadienst van de Rijkswaterstaat, Hoofddaf. Milieu en Inrichting
	Opname luchtfoto's: K.L.M. Aerocarto d.d. mei '82 Fotoschaal = 1:5000 Veldwerk d.d.
Hoogtelijneninterval 25 cm	Meetkundige Dienst blad no. 486-46 Deltadienst blad no. 0 83M 108
bijlage 2	0.83 M 192
	0 100 200 300 400 500m