

Ribbelvormen, waterbeweging en hun onderlinge samenhang in een getijdengebied (Plaats van Ossensisse, Westerschelde)

F.M.L. Berben

M.J.N. Brouwer

L.H.M. Kolsiek

J.C.A. Lemkes

F.H.I.M. Steyaert

Geografisch Instituut,
Rijksuniversiteit Utrecht,
oktober 1978.

0,5 m
alle hoogst
120-130

FOTO 1. PLAAT VAN OSSENISSE

1976

N

SCHAAL 1 : 12.000



120-130

Voorwoord	1
Hoofdstuk 1 ALGEMENE INLEIDING	
1.1.ONTSTAANSGESCHIEDENIS	5
1.2.GETIJDEN.	9
1.3.MEETPERIODE,MEETLOCATIES EN MEETOBJECTEN.	10
Hoofdstuk 2 WATERBEWEGING	
2.1.INLEIDING	12
2.2.MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS	12
2.2.1.Stroomsnelheid.	12
2.2.1.1.Meten van stroomsnelheid.	12
2.2.1.2.Berekening van de gemiddelde stroomsnelheid	13
2.2.1.3.Berekening van de schuifspanningssnelheid	14
2.2.1.4.Berekening van de totale ruweidswaarde	14
2.2.1.5.Berekening van het sedimenttransport.	14
2.2.1.6.Froude getal.	15
2.2.1.7.Berekening van de stroomsnelheid,gemeten met de wadstroommeter	16
2.2.2.Waterhoogte	16
2.2.2.1.Meten van de waterphoogte.	16
2.2.2.2.Berekening van de waterhoogte	16
2.2.3.Stroomrichting.	17
2.2.3.1.Meten van de stroomrichting	17
2.2.3.2.Berekening van de stroomrichting.	17
2.3.MEETRESULTATEN.	21
2.3.1.Momentane stroomsnelheid.	21
2.3.2.Verloop van de variabelen tijdens een vloed-ebcyclus	21
2.3.2.1.Inleiding	21
2.3.2.2.Verloop van de in de meetverticaal gemeten variabelen tijdens een vloed-ebcyclus	23
2.3.2.3.Verloop van de met de wadstroommeter gemeten varia- belen tijdens een vloed-ebcyclus	32
2.3.3.Verloop van de variabelen tijdens de gehele meetperiode. . .	34
2.3.3.1.Inleiding	34
2.3.3.2.Dagelijkse ongelijkheid van het getij.	34

	blz.
2.3.3.3. Stroomsnelheid	35
2.3.3.4. Effectiviteit	42
2.3.3.5. Stroomrichting en sedimenttransport	47
2.3.3.6. Waterhoogte	53
2.3.3.7. Totale ruwheidswaarde en schuifspanningssnelheid .	58
2.3.3.8. Froude getal	58
2.4. SAMENVATTING VAN HOOFDSTUK 2	61

Hoofdstuk 3 MORFOLOGIE VAN DE RIBBELVELDEN

3.1. INLEIDING	62
3.2. BESCHRIJVING VAN DE MEGARIBBEL	62
3.3. MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS	64
3.3.1. Ribbelvorm	64
3.3.1.1. Meten van de ribbelvorm	64
3.3.1.2. Verwerking van de ribbelmetingen	65
3.3.2. Ribbelrichting	65
3.3.3. Ribbelpatroon	65
3.4. RESULTATEN	65
3.4.1. Inleiding	65
3.4.2. Ribbelparameters	67
3.4.2.1. Benaderingswijze	67
3.4.2.2. Verloop van de ribbelhoogte (h) gedurende de meet- periode	68
3.4.2.3. Verloop van de kamlengte (kl) gedurende de meet- periode	72
3.4.2.4. Verloop van de ribbellengte (l) gedurende de meet- periode	75
3.4.3. Ribbelindices	79
3.4.3.1. Verloop van de $\bar{l}/\bar{h}$ - index gedurende de meet- periode	79
3.4.3.2. Verloop van de kl/h - index gedurende de meet- periode	83
3.4.3.3. Verloop van de $\bar{b}/\bar{a}$ - index gedurende de meet- periode	83
3.5. HET DRIEDIMENSIONALE BEELD VAN DE BESCHOUWDE RIBBELVELDEN .	87
3.5.1. Inleiding	87
3.5.2. De ontwikkeling van het ribbelpatroon bij de landstelling gedurende de meetperiode	87

3.5.3. De ontwikkeling van het ribbelpatroon bij de zeestelling gedurende de meetperiode	91
3.5.4. De ontwikkeling van het ribbelpatroon op het quasi-ebribbel- veld gedurende de meetperiode	93
3.5.5. Kommen	93
3.5.6. Ebkap	95
3.5.7. Kleinribbels	99
3.5.8. Spurs	99
3.6. SAMENVATTING VAN HOOFDSTUK 3	101

Hoofdstuk 4 RIBBELVERPLAATSING

4.1. INLEIDING	102
4.2. MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS	102
4.2.1. Voortplanting uit de lakprofielen	102
4.2.2. Voortplanting uit de ribbelmetingen	103
4.2.3. Materiaaltransport uit de lakprofielen	103
4.2.4. Materiaaltransport uit de ribbelmetingen	103
4.3. RESULTATEN	107
4.3.1. Voortplanting per vloed-ebcyclus gedurende de meetperiode	107
4.3.2. Voortplanting per etmaal gedurende de meetperiode	107
4.3.3. Materiaaltransport per vloed-ebcyclus gedurende de meet- periode	110
4.3.4. Materiaaltransport per etmaal gedurende de meetperiode	110
4.3.5. Vergelijking van de transportformule van Engelund-Hansen met het materiaaltransport, bepaald uit de ribbelmetingen	114
4.4. SAMENVATTING VAN HOOFDSTUK 4	117

Hoofdstuk 5 RELATIES TUSSEN DE PARAMETERS VAN DE SEDIMENT- STRUCTUREN EN DE PARAMETERS VAN DE WATERBEWEGING .118

5.1. INLEIDING	118
5.2. STRUCTUUR VAN DE MEGARIBBELS	118
5.3. DATERING VAN SETS, METING VAN STRUCTUURPARAMETERS EN NAUWKEURIGHEID	118
5.3.1. Datering	118
5.3.2. Meting van de structuurparameters	120
5.3.3. Nauwkeurigheid	120
5.4. VERWERKING VAN DE GEGEVENS	120
5.4.1. Inleiding	120

	blz.
5.4.2.Overzicht van de beschouwde parameters	120
5.4.3.Statistische verwerking	121
5.5.RELATIES TUSSEN DE STRUCRUURPARAMETERS EN DE HYDRODYNA- MISCHE PARAMETERS	122
5.5.1.Verloop van de foresetdip in twee ST-DT-ST perioden, relaties tussen de foresetdip en de hydrodynamische parameters,nauwkeurigheid	122
5.5.1.1.Verloop van de foresetdip	122
5.5.1.2.Relaties tussen de foresetdip en de hydrodyna- mische parameters	122
5.5.1.3.Nauwkeurigheid	125
5.5.2.Verloop van de sethoogte en setlengte in twee ST-DT-ST perioden,relaties tussen de sethoogte en setlengte en de hydrodynamische parameters,nauwkeurigheid	126
5.5.2.1.Verloop van de sethoogte en de setlengte	126
5.5.2.2.Relaties tussen sethoogte en setlengte enerzijds en $H_{\max}$ en LW-HW anderzijds	126
5.5.2.3.Relaties tussen sethoogte,setlengte en $\bar{u}_{\max}$	126
5.5.2.4.Relaties tussen de sethoogte,setlengte en $u'_{w\max v1}$	130
5.5.2.5.Relaties tussen seth,setl.en de effectiviteit $\bar{u}_{v1}$	132
5.5.2.6.Relaties tussen seth,setl.en de effectiviteit u_{bv1}	133
5.5.2.7.Relaties tussen seth,setl. en de effectiviteit u'_{wv1}	133
5.5.2.8.Relaties tussen seth,setl. en $u_{\max}$	133
5.5.2.9.Relaties tussen seth,setl. en het Froudegetal	137
5.5.2.10.Enkele aantekeningen betreffende de nauwkeurig- heid van de relaties	137
5.5.3.Dagelijkse ongelijkheid van de structuurparameters	139
5.6.VERHOUDING TUSSEN SETHOOGTE EN SETLENGTE	140
5.7.SAMENVATTING VAN HOOFDSTUK 5	140

Hoofdstuk 6	RELATIES TUSSEN DE PARAMETERS VAN DE BODEMVORMEN EN DE PARAMETERS VAN DE WATERBEWEGING	142
6.1.	INLEIDING	142
6.2.	RELATIE TUSSEN DE RIBBELVERPLAATSING EN DE WATERBEWEGING	143
6.2.1.	Verwerking van de gegevens tot relaties	143
6.2.2.	Relatie tussen de voortplanting van de ribbel en de water- beweging	144

blz.

6.2.3.	Relatie tussen het materiaaltransport op een ribbel en de waterbeweging	150
6.2.3.1.	Algemeen schema	150
6.2.3.2.	Relatie tussen de sedimentatie en de waterbeweging	159
6.2.3.3.	Relatie tussen de erosie en de waterbeweging	159
6.3.	SAMENVATTING VAN 6.2.	164
6.4.	RELATIE TUSSEN DE RIBBELPARAMETERS EN DE WATERBEWEGING	165
6.4.1.	Verwerking van de gegevens tot relaties	165
6.4.2.	Relatie tussen de ribbelhoogte en de waterbeweging	166
6.4.2.1.	Inleiding	166
6.4.2.2.	De ribbelhoogte van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling	166
6.4.2.3.	De ribbelhoogte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling	170
6.4.2.4.	Het verloop van $H_{\max}/\bar{h}$ en $\bar{H}_{u,w2,3\max} v_l / \bar{h}$	173
6.4.3.	Relatie tussen de kamlengte van een ribbel en de waterbeweging	175
6.4.3.1.	De kamlengte van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling	175
6.4.3.2.	De kamlengte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling	179
6.4.4.	De relaties tussen zowel de ribbellengte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling als die van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling met de waterbeweging	181
6.5.	KOMMEN	184
6.5.1.	Het voorkomen van kommen bij de landstelling	184
6.5.2.	Het voorkomen van kommen bij de zeestelling	185
6.5.3.	Hypothese over het ontstaan van kommen	185
6.6.	VERGELIJKING VAN DE IN DIT ONDERZOEK GEVONDEN RESULTATEN MET DIE UIT ANDERE STROOMREGIMES	187

Hoofdstuk 7 OVERZICHT VAN DE MORFOLOGIE EN DAARAAN GEKOPPELDE STROOMREGIMES OP DE PLAAT VAN OSSENISSE

7.1.	INLEIDING	190
7.2.	WERKWIJZE	192
7.3.	INDELING VAN DE PLAAT	192

Hoofdstuk 8 SAMENVATTING

	blz.
APPENDIX A	203
A.1. Regressie-analyse	203
A.2. Gemiddelde snelheid	204
A.3. Schuifspanningssnelheid	204
A.4. Totale ruwheidswaarde	205
A.5. Sedimenttransport volgens de formule van Engelund-Hansen . .	206
APPENDIX B, FOUTENDISCUSSIE	207
APPENDIX C, SYMBOLENLIJST	211
APPENDIX D, AANBEVELINGEN VOOR TOEKOMSTIG ONDERZOEK	212
LITERATUURLIJST	213

VOORWOORD

In het kader van de doktoraal studie in de fysische geografie aan de Rijks Universiteit Utrecht werd in de periode van 14 juli tot 15 aug. 1976 een dynamisch geomorfologisch onderzoek gedaan op de Plaat van Ossenisse. Deze zandplaat ligt in de Westerschelde (zie fig.A) tussen Hansweert en Perkpolder (zie fig.B).

Het doel van het onderzoek was inzicht te krijgen in de relaties tussen enerzijds de waterbeweging en anderzijds de in- en uitwendige karaktereigenschappen van de op de zandplaat voorkomende bodemvormen, gedurende een tweetal dood-springtij cycli.

Hiertoe werden door Rijkswaterstaat op twee punten van de plaat stellingen geplaatst (zie fig. C) vanwaaruit meetinstrumenten opgesteld en de benodigde gegevens verzameld konden worden.

Dit verslag bestaat uit twee gedeelten:

Het eerste gedeelte, de hoofdstukken 1 t/m 4, bevat de beschrijving van de meetinstrumenten, de gevolgde meetmethoden, de verwerking van de gegevens en de verkregen resultaten.

Het tweede gedeelte, de hoofdstukken 5 t/m 7, bevat de gevonden relaties tussen de in het eerste gedeelte genoemde variabelen van de bodemvormen en de waterbeweging. Daarnaast is uit de voor beide stellingen gevonden relaties en de over de plaat verspreid verrichte metingen en observaties de morfodynamiek van de gehele zandplaat afgeleid.

Het onderzoek stond onder leiding van Dr. J. H. J. Terwindt, op de plaat geassisteerd door Drs. P. G. E. F. Augustinus, dhr. G. H. Ouwerkerk en Drs. H. Th. Riezebos, allen verbonden aan het Fysisch Geografisch Instituut van de R. U. Utrecht.

Veel medewerking werd verleend door dhr. W. J. Ovaa, hoofd van de Meetdienst van Rijkswaterstaat te Vlissingen. Door deze afdeling werd aanvullend materieel ter beschikking gesteld en werd het transport van en naar de plaat mogelijk gemaakt.

Met genoegen denken wij terug aan de samenwerking met en de hulp van C. Boshaert, B. de Jonge, A. Koch, J. Lucassen en H. Schillemans, allen personeelslid van Rijkswaterstaat te Vlissingen.

Drs. J. van Kuilenburg zijn we zeer erkentelijk voor de geboden hulp bij het

verwerken van de gegevens met de computer.

Ook dhr.G.H.Huygen danken wij voor het fotowerk.

Zeker niet als laatste zijn we Bea Groen,Wladyslaw Kaduk,Jan van Kerkhof,
Aad Schouten,Saskia Staatsen,Elies Straver en Theo Tijssen dankbaar
voor hun morele en fysieke steun gedurende ons onderzoek op de Plaat
van Ossenisse.

augustus 1978, Frans Berben

Marguerite Brouwer

Luc Kohsiek

Jan Kees Lemkes

Frank Steyaert.

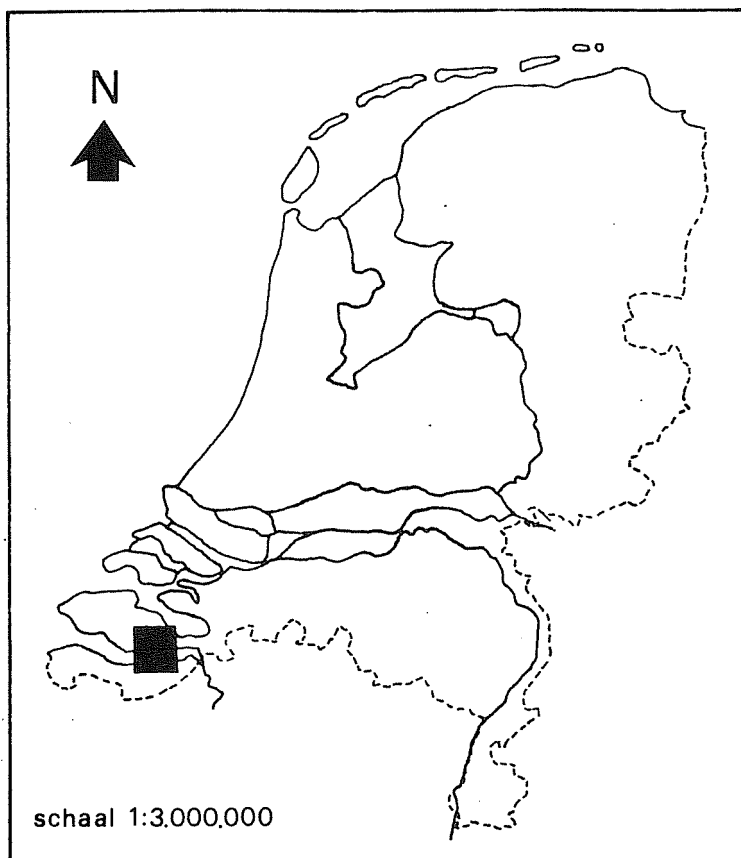


Fig.A.
Ligging van het
onderzoeksgebied.

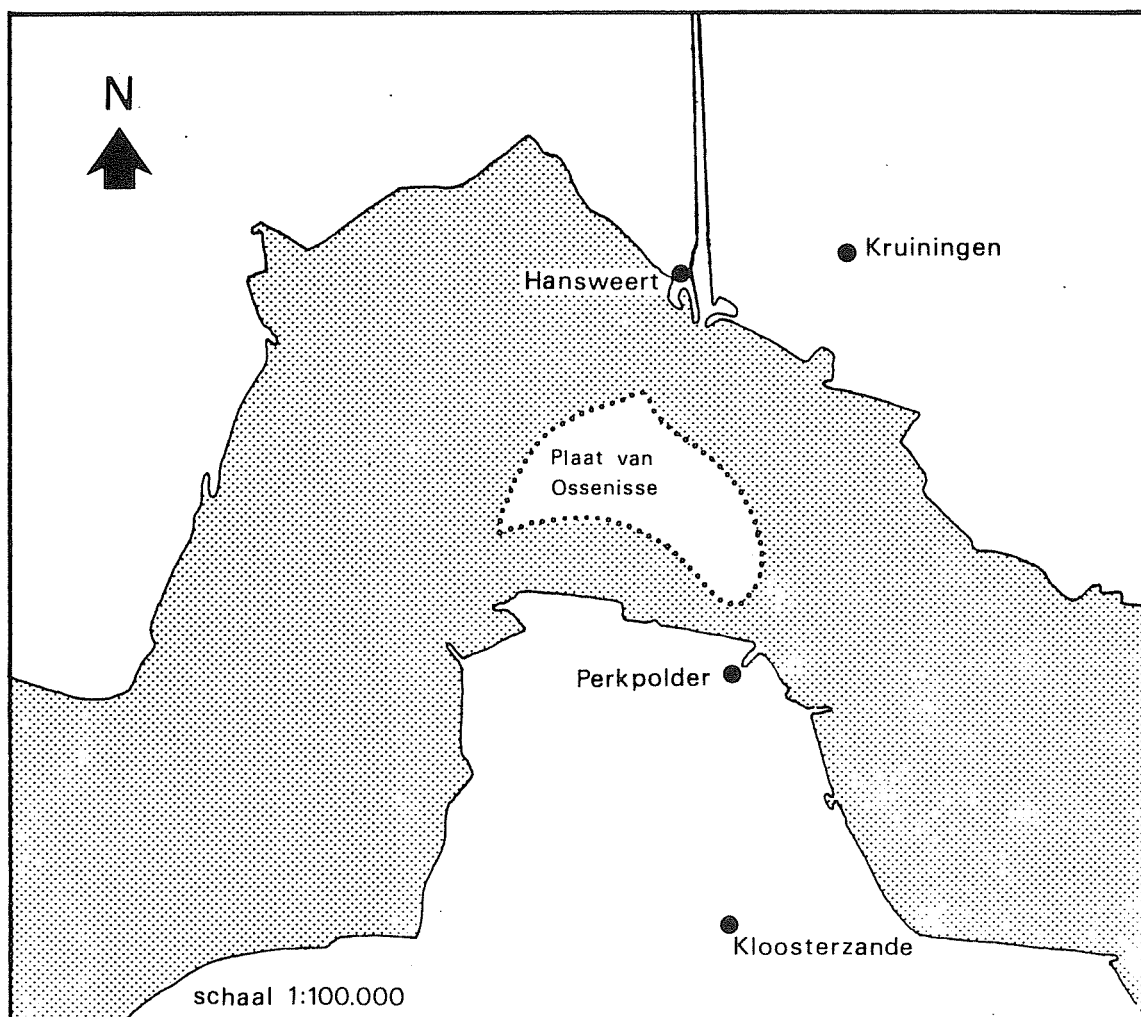


Fig.B.Ligging van de Plaat van Ossenisse in de Westerschelde.

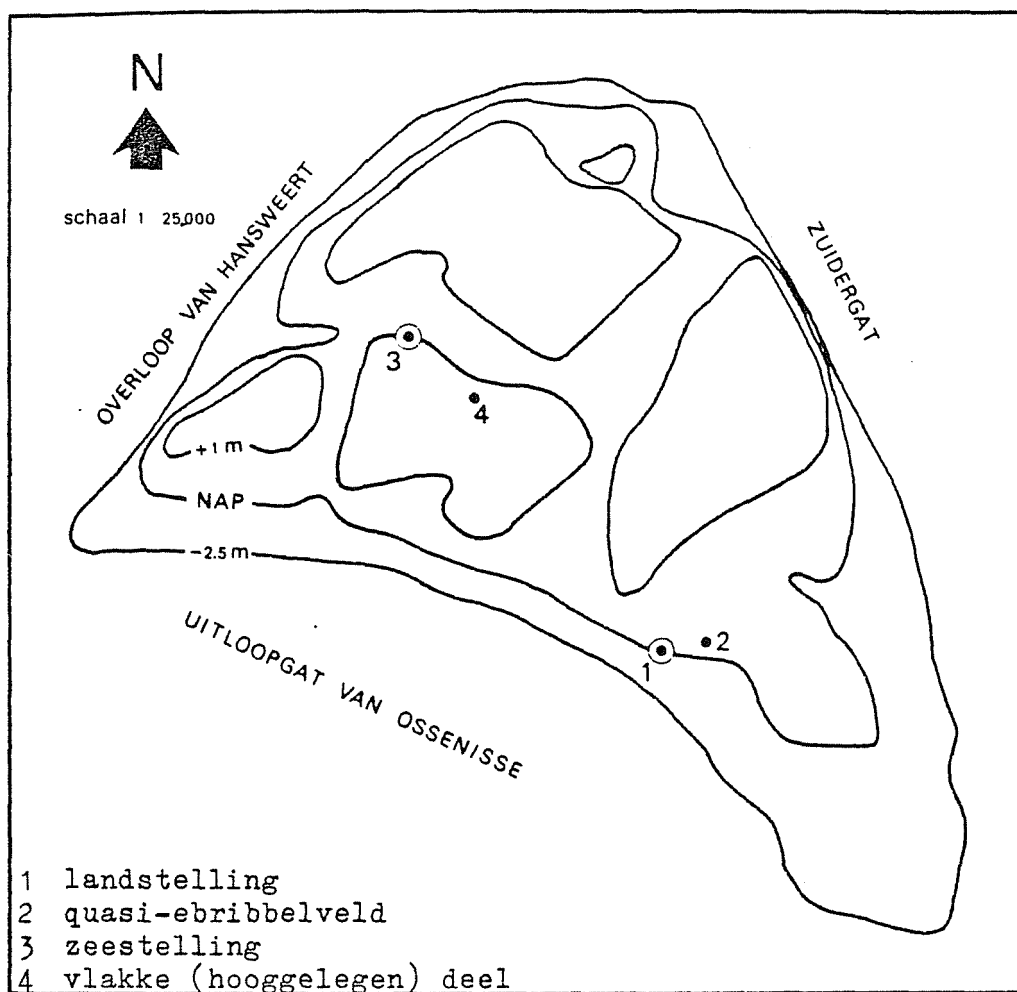


Fig.C. Meetlocaties op de Plaat van Ossenisse.

Hoofdstuk 1

ALGEMENE INLEIDING

1.1. ONTSTAANGSGESCHIEDENIS

Omstreeks de Romeinse tijd was de gehele Nederlandse kust een waddenkust met een reeks eilanden ervoor (zie fig. 1.1). In Z.W. Nederland ontstond

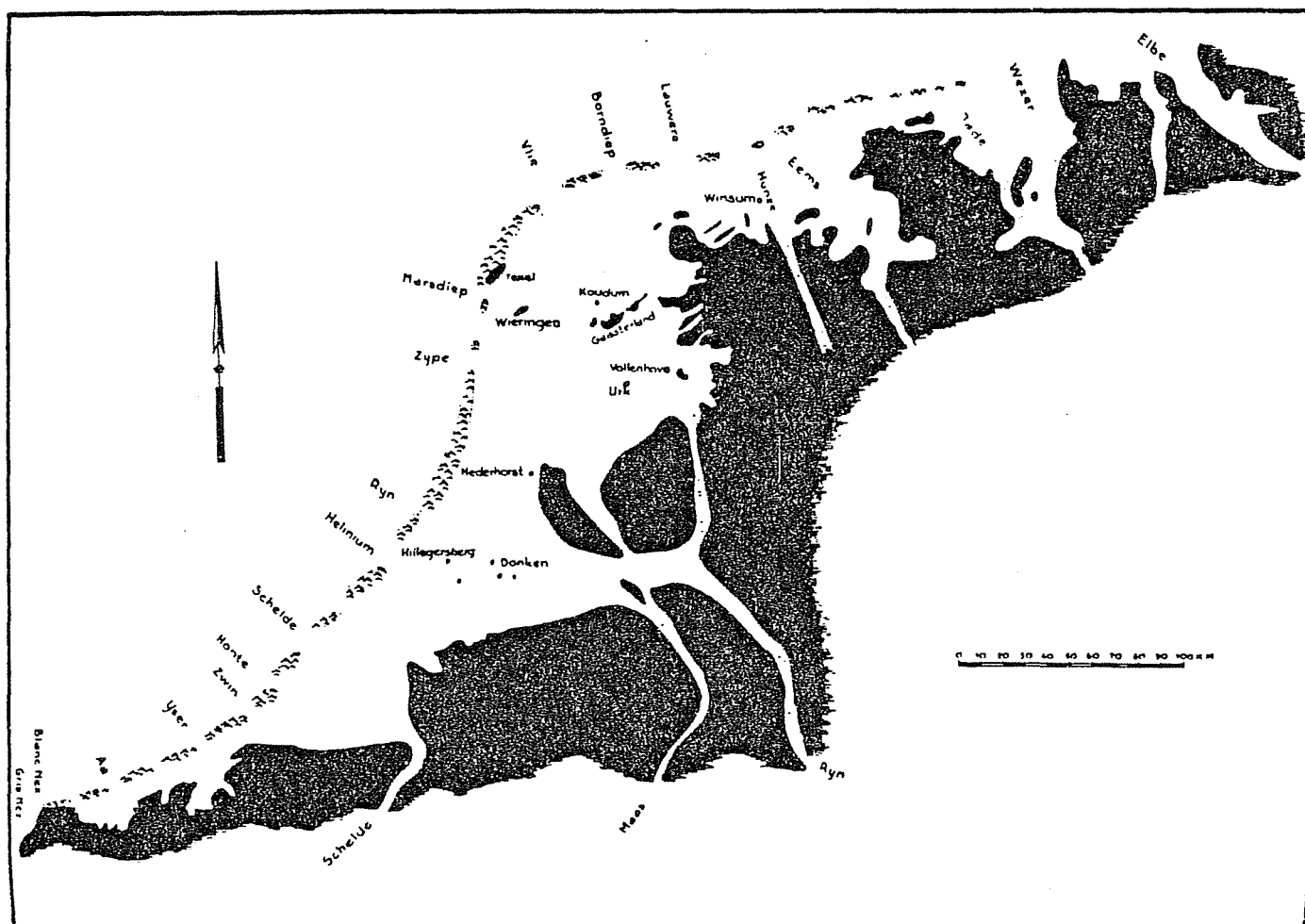


Fig. 1.1. Schematische weergave van de keten van waddeneilanden omstreeks de Romeinse tijd(?). De wadafzettingen zijn weggelaten (naar Van Veen, 1950).

op de wantijen achter de eilanden nieuw land. Deze landaanwas werd vermoedelijk mede bevorderd door de gunstige positie van de wantijen t.o.v. de overheersende westerstormen. Dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de kust van Noord-Nederland. De wantijen lagen hier nl. beschut in de luw-

te van de eilanden (zie fig.1.2).

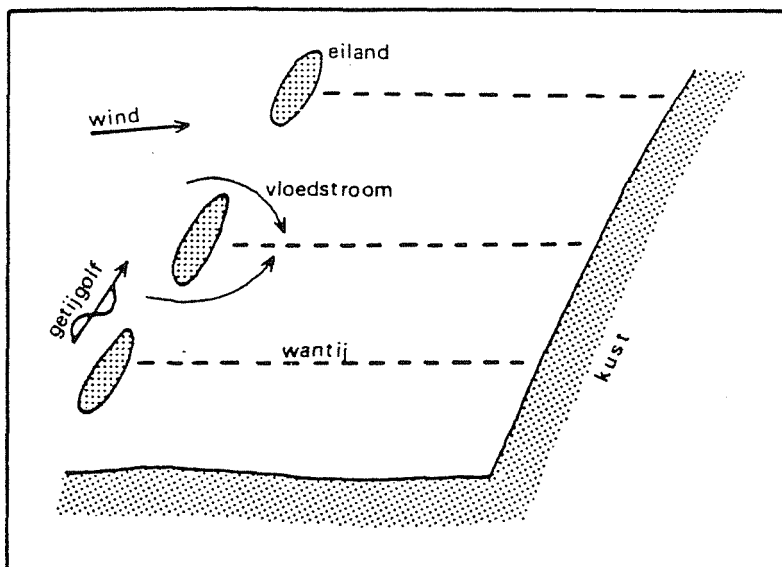


Fig.1.2.

Wantij:zone achter een eiland,waar twee vloedstromen elkaar ontmoeten en waar dientengevolge de stroomsnelheid sterk afneemt. De wantijen liggen beschut in de luwte van de eilanden.

Door het grote getijverschil werden in Z.W.Nederland diepe en brede zeegaten tussen de eilanden gevormd.Zo ontstonden,enigszins door mensenhand geholpen,de Zeeuwse eilanden met de ertussen liggende O-W lopende estuaria (Van Veen,1950).

Tijdens vloed op het aangrenzende deel van de Noordzee wordt zeewater de estuaria ingestuwd.Slingerend t.g.v.Corioliskracht en centrifugale krachten vindt de vloedstroom via hoofdgeul en vloedscharen zijn weg landinwaarts.Tijdens eb stroomt dit water,vermeerderd met de normale rivierafvoer,zeewaarts via hoofdgeul en ebscharen(zie fig. 1.3). Een eb-of vloedschaar is een naar één richting ondieper wordende getijgeul die eindigt in een drempel van sediment(zie fig.1.4).

In de Westerschelde wordt door de vloedstroom midden tot grofkorrelig marien zand landinwaarts getransporteerd.Door de rivier-de Schelde wordt overwegend fijnkorrelig materiaal zeewaarts vervoerd(Wartel 1977). Waar de stroom vertraagd wordt,bezinkt sediment en ontstaan zandplaten. Dit kan gebeuren - tussen eb- en vloedscharen

- in de binnenbocht van de hoofdgeul(zie fig.1.3)
- in gebieden buiten de stroomgeulen(b.v. bij Borselen en Hansweert,zie fig.1.3).

Door sedimentatie en erosie verleggen de geulen zich en krijgen de zandplaten een andere vorm of plaats.Zie hiervoor het in fig.1.5, weergegeven historische overzicht van de Platen van Ossenissee.De huidige situatie van de Plaat van Ossenissee wordt weergegeven in fig.C.en foto 1.

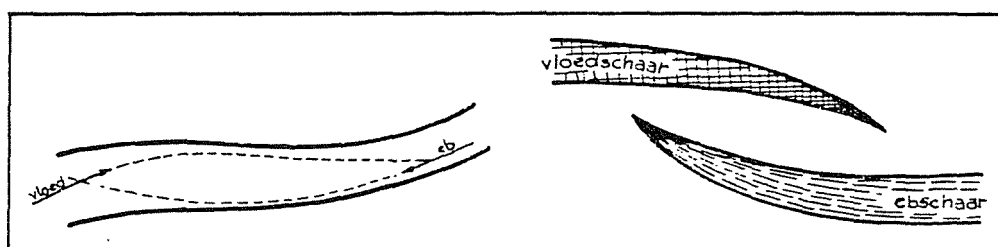


Fig.1.4. Schema van splitsing in eb-en vloedscharen door bochtwerking(naar Van Veen,1950).

Op de Plaat van Ossenisse stijgt tijdens vloed het water eerst in de geulen en overspoelt dan gelijkmatig de gehele plaat. Als de vloedstroom sterk genoeg is, worden megaribbels opgebouwd. De ebstroom wordt spoedig na de kentering sterk beïnvloed door de topografie van de plaat..

Afhankelijk van de plaatselijke sterkte van de ebstroom worden ebribbels gevormd of ondergaan de vloedribbels nog veranderingen(bijv.ebkap).

Bij lagere waterstanden wordt de afwatering voortgezet via geultjes die door de troggen van de megaribbels lopen en bijeenkomen in grotere afstromingsgeulen.

Aangezien vloed en ebstromen elkaar afwisselen en vaak niet dezelfde baan volgen ontstaat op de zandplaat een grote verscheidenheid aan morfologische elementen: megaribbelpatronen, vlakke delen, geulen, ruggen, en op kleinere schaal ebkap, kommen en kleinribbels(zie foto 1).

1.2.GETIJDEN

De Noordzee en het daarmee in verbinding staande Westerschelde estuarium hebben een dubbeldaags getij(tweemaal eb en tweemaal vloed per ca.25 uur) met een dagelijkse ongelijkheid. Dit betekent dat de twee hoogwaters(HW) en de twee laagwaters(LW) per 25 uur niet even hoog zijn(zie fig.1.6).

Dit verschijnsel is afhankelijk van de plaats die het gebied op aarde inneemt t.o.v. de lijn die de zwaartepunten verbindt van de aantrekkende krachten zon en maan. Op hogere breedten bijv. overheerst het enkeldaags getij.

Afhankelijk van de stand van zon en maan t.o.v. de aarde treedt éénmaal per twee weken een springtij op, t.w. bij volle maan(VM) en nieuwe maan(NM). Het verschil tussen HW en LW is dan groter dan de voorafgaande en komende week. Doodtij, waarbij het getijverschil minimaal is, treedt op bij het eerste kwartier(LK) en het laatste kwartier(LK). Zie fig.1.7.

Het echte springtij en doodtij treedt 2 à 3 dagen later op dan VM, NM, resp. LK, LK. Dit tijdsverschil wordt de leeftijd van het getij genoemd en wordt veroorzaakt door wrijving (Zie fig.1.6).

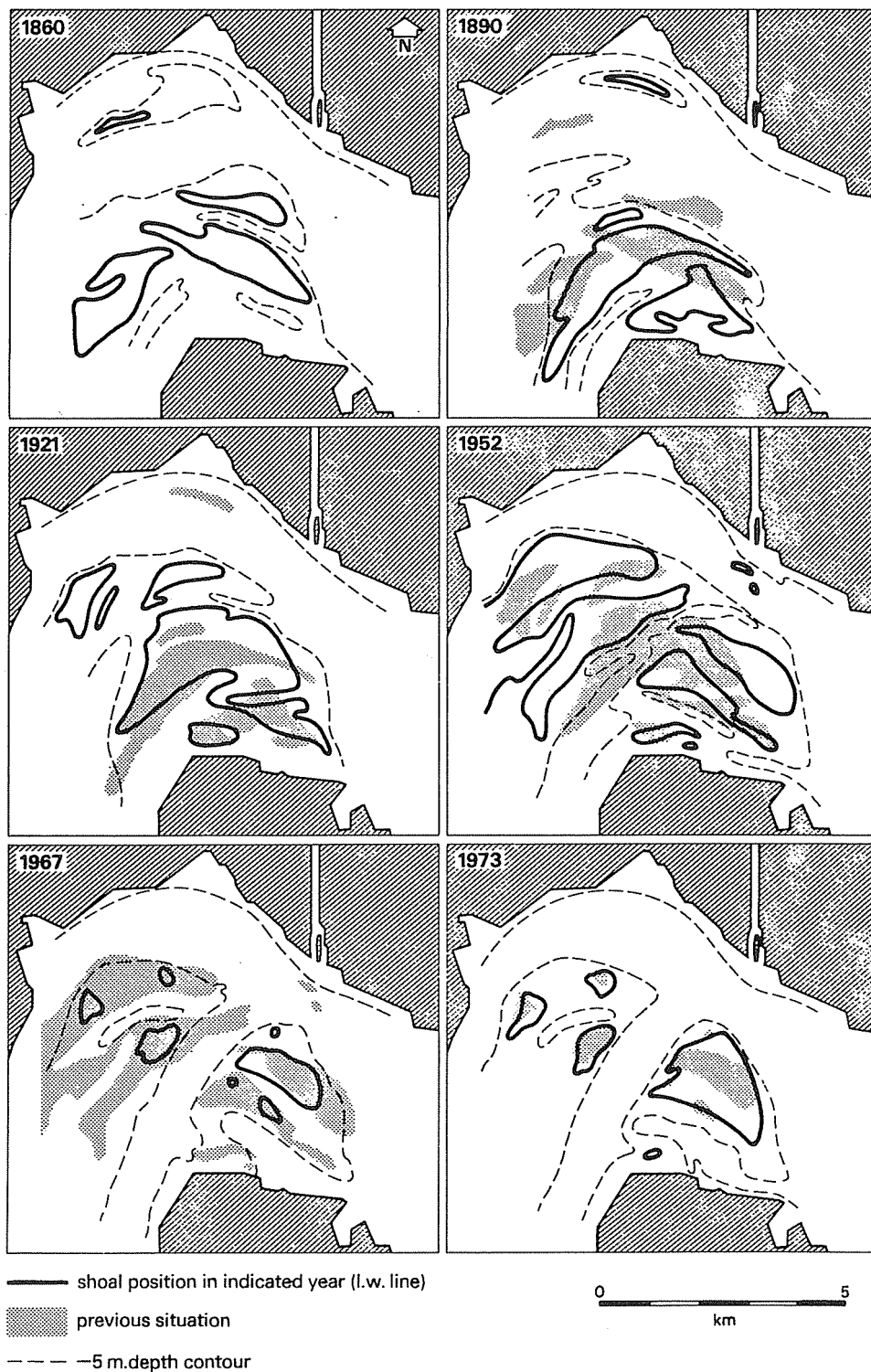


Fig.1.5. Historisch overzicht van de Platen van Ossenissee (naar Boersma & Terwindt, in voorbereiding).

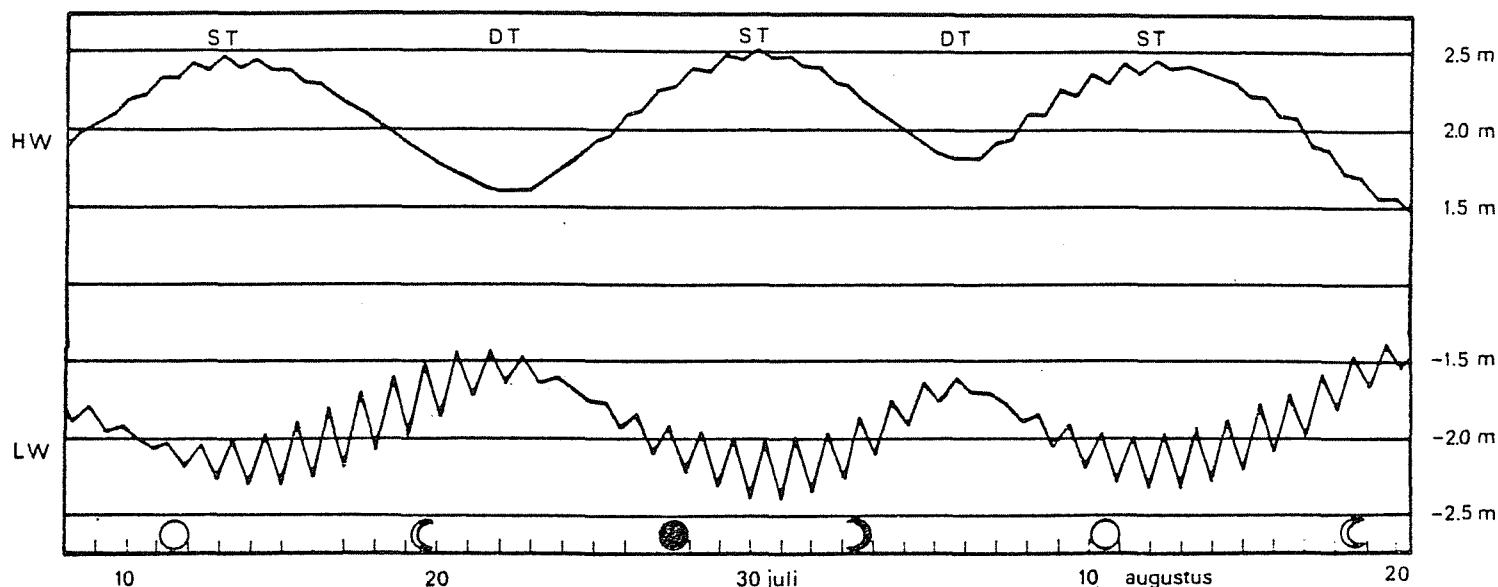


Fig.1.6. Voorspeld verloop van de getijden in de meetperiode. Tevens is de dagelijkse ongelijkheid in de hoog- en laagwaterstanden te zien.

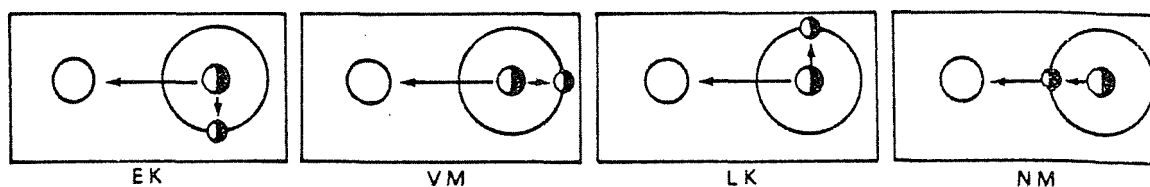


Fig.1.7. Verschillende standen van zon en maan t.o.v. de aarde.

1.3. MEETPERIODE, MEETLOCATIES EN MEETOBJEKTEN

Gedurende twee spring-doodtij cycli in de zomer van 1976 zijn metingen verricht: ST_1 (13 juli)- DT_1 (21 juli)- ST_2 (30 juli)- DT_2 (5 augustus)- ST_3 (12 augustus). Zie fig.1.8.

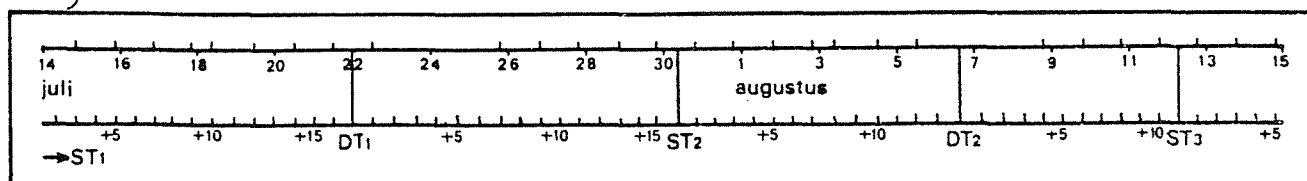


Fig.1.8. Op de onderste lijn zijn de tijdstippen van alle HW's weergegeven die in de meetperiode voorkomen. Elk HW vertegenwoordigt een vloed-ebcyclus, welke wordt aangeduid door bijv. ST_2+3 : dit is de derde vloed-ebcyclus na springtij ST_2 . Op de bovenste lijn is het tijdstip weergegeven van de HW's die de vanaf de stellingen gemeten vloed-ebcycli vertegenwoordigen. Tevens is de meetperiode van 14 juli t/m 15 augustus uitgezet.

De keuze van de twee meetlocaties, land- en zeestelling, is gebaseerd op de ervaringen uit een vorig onderzoek op de Plaat van Ossenis (Boersma en Terwindt, in voorbereiding) en een verkenning op de plaat in april '76. Beide gebieden vertegenwoordigen een karakteristiek deel van de plaat, nl.

- bij de landstelling: sinusoidale megaribbels
- bij de zeestelling: rechtekammige megaribbels.

Verder werden metingen gedaan op het quasi-ebribbenveld en het vlakke deel midden op de plaat (zie fig.C.).

De volgende objecten en hun variatie in een vloed-ebcyclus en in een doodtij-springtijcyclus werden gemeten c.q. beschouwd:

- landstelling en zeestelling: waterhoogte, stroomrichting, stroomsnelheid, richting van megaribbelkammen, megaribbelvorm en -verplaatsing, inwendige gelaagdheid ofwel de sedimentaire structuren van de megaribbels.
- quasi-ebribbenveld: stroomrichting, stroomsnelheid, richting van ribbelkammen, structuren.
- vlakke deel midden op de plaat: stroomrichting, stroomsnelheid, structuren.
- verspreid over de plaat: vorm, grootte, structuur en richting van de diverse morfologische elementen.

Hoofdstuk 2

WATERBEWEGING

2.1. INLEIDING

Om de in het voorwoord genoemde relaties te vinden, was het allereerst nodig om het verloop van de waterbeweging in de tijd te analyseren. Hiertoe werden bij de land- en zeestelling en het quasi-ebribberveld regelmatig de stroomsnelheid, waterhoogte en stroomrichting gemeten. Uit de verkregen gegevens van stroomsnelheid en waterhoogte werden onder andere de gemiddelde stroomsnelheid, de schuifspanningssnelheid en het zandtransport berekend. Voor de bij de metingen en berekeningen gemaakte fouten wordt verwezen naar de foutendiscussie in appendix B.

2.2 MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS

2.2.1. Stroomsnelheid

2.2.1.1. Meten van stroomsnelheid

De stroomsnelheden werden gemeten met twee typen schoepstroommeters, namelijk de Ottmolen en de wadstroommeter (zie foto 2.1).

Vanwege de wisselende waterstanden in het getijdengebied werden op de land- en zeestelling zes Ottmolens in één meetverticaal geplaatst. Op deze wijze wordt een betrouwbaar beeld verkregen van de stroomsnelheidsverdeling.

Gezien de geringe waterhoogte is op het quasi-ebribberveld volstaan met drie Ottmolens in de meetverticaal.

Uitgaande van een logaritmische stroomsnelheidsverdeling in de verticaal werd voor elke Ottmolen een bepaalde afstand tot de bodem ingesteld (zie fig. 2.1.) Dagelijks werden deze afstanden aangepast aan de te verwachten waterhoogte.

Over een tweetal doodtij-springtij cycli werden, gedurende één vloed-eb-cyclus per etmaal, metingen verricht. Gedurende zo'n vloed-ebcyclus treden snel veranderingen op in de stroomsnelheid en de waterhoogte. Daarom werd om de 10 minuten, gedurende 1 minuut gemeten. Dit gebeurde in de

periode dat drie of meer Ottmolens per verticaal onder water stonden. Deze voorwaarde is gesteld, omdat bij de verwerking van de snelheidsgegevens minimaal drie waarden per verticaal vereist zijn.

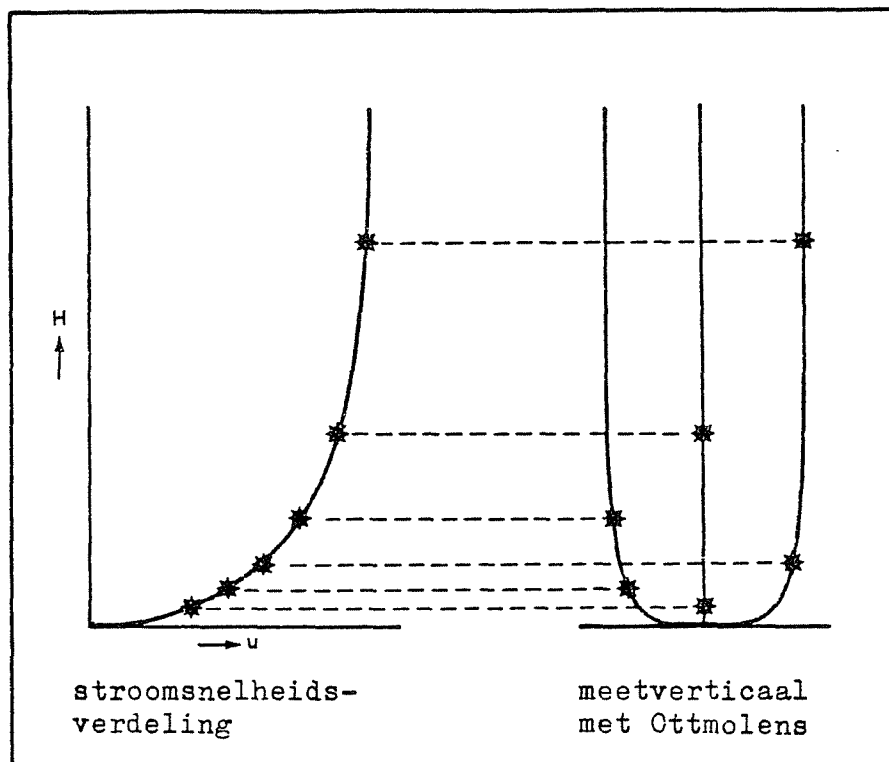


Fig.2.1. Bepaling van de hoogte van de Ottmolens in de meetverticaal aan de hand van een logaritmische stroomsnelheidsverdeling. Door de geringe onderlinge afstand tussen de onderste Ottmolens in de meetverticaal en de bedrading van deze molens kunnen storingen in de metingen optreden. Om dit te voorkomen is gekozen voor een meetverticaal met de vorm van een drietand.

De wadstroommeter verricht de metingen op één vaste N.A.P.-hoogte. Gedurende de gehele meetperiode werden op deze hoogte zowel de stroomsnelheid als de stroomrichting automatisch om de 10 minuten op filmband vastgelegd.

Eén wadstroommeter is tijdens de gehele meetperiode bij de landstelling aanwezig geweest. De andere wadstroommeter bevond zich gedurende de tweede springtij periode bij de zeestelling, waarna hij werd verplaatst naar het hooggelegen vlakke gedeelte op de plaat.

2.2.1.2. Berekening van de gemiddelde stroomsnelheid

Bij de berekening van de gemiddelde stroomsnelheid $\bar{u}$ wordt uitgegaan van een logaritmische stroomsnelheidsverdeling in de verticaal. Met behulp van een regressie-analyse van de hoogte van de meetpunten in de verti-

caal en de daarbij behorende stroomsnelheden wordt $\bar{u}$ om de 10 minuten berekend volgens de formule:

$$\bar{u} = \frac{\log 0,4H - b_3}{a_3} \quad (\text{m/s}), \quad (2.1.)$$

waarin : H=waterhoogte op het tijdstip van de meting(m),
 a_3, b_3 = statistische variabelen.

Voor de afleiding van deze formule wordt verwezen naar appendix A.

De nauwkeurigheid van $\bar{u}$ is op 10% gesteld.

2.2.1.3. Berekening van de schuifspanningssnelheid

Uit de gevonden regressielijn voor elke meting wordt niet alleen $\bar{u}$, maar ook de schuifspanningssnelheid $u_{\#}$ berekend volgens de formule (zie appendix A):

$$u_{\#} = \frac{u_{100} - u_{10}}{5,75} \quad (\text{m/s}), \quad (2.2)$$

waarin: u_{100} = de snelheid op 100 cm hoogte.

De nauwkeurigheid van $u_{\#}$ is op 20% gesteld.

2.2.1.4. Berekening van de totale ruwheidswaarde

De totale ruwheidswaarde C_t is samengesteld uit de ruwheid veroorzaakt door de -bodemvorm,

-korrelvorm en korrelgrootte van het sediment.

Deze factoren zijn niet apart onderscheiden. In één vloed-ebcyclus ondergaan deze factoren een sterke verandering, waarbij de verhouding tussen deze factoren onderling waarschijnlijk ook verandert. Aangezien dit bijzonder moeilijk meetbaar is, wordt de totale ruwheidswaarde bepaald volgens de formule:

$$C_t = \frac{\bar{u}}{u_{\#}} \sqrt{g} \quad (\sqrt{\text{m/s}}), \quad (2.3)$$

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

Een hoge C_t -waarde komt overeen met een lage waarde van de ruwheid.

Voor de afleiding van C_t wordt verwezen naar appendix A.

De nauwkeurigheid wordt op 20% gesteld.

2.2.1.5. Berekening van het sedimenttransport

In dit onderzoek wordt voor de berekening van het sedimenttransport s gebruik gemaakt van de empirische formule van Engelund-Hansen(1967).

Met behulp van stroomsnelheidsgegevens berekent deze formule de hoeveelheid bodem en suspensiemateriaal die in een stationaire stroom per seconde wordt getransporteerd over een breedte van 1 meter, loodrecht op de stroomrichting. Beide vormen van materiaaltransport komen op de Plaat van Ossenis voor.

In een getijdengebied is geen sprake van stationaire stroming. Door nu de snelheids-tijds-kromme te schematiseren tot een histogram, waarin voor elk tijdsinterval een constante snelheid geldt, kan de formule van Engelund-Hansen voor elk van deze tijdsintervallen worden toegepast.

Tevens komt de voor de plaat gevonden mediaanwaarde van de korrelgrootteverdeling goed overeen met de mediaanwaarde waarvoor de formule van Engelund-Hansen getoetst is.

White, Milli en Crabbe (1975) hebben aangetoond dat voor deze formule de uitkomsten van veld- en laboratoriummetingen goed met elkaar overeenkomen. De formule van Engelund-Hansen luidt:

$$\begin{aligned} p_s &= \text{soortelijke massa van kwartszand (kg/m}^3\text{)} \\ s &= 0 \quad p_w = \text{soortelijke massa van water (kg/m}^3\text{)} \\ \bar{u} &= \text{gemiddelde stroomsnelheid (m/s)} \end{aligned} \quad (2.4)$$

waarin: Δ = versnelling van de zwaartekracht (m/s^2)
 C_t = totale ruwheidswaarde ($\sqrt{\text{m/s}}$)

$p_s = D_{50}$ = mediaanwaarde van de korrelgrootteverdeling (m) (kg/m^3)

p_w = soortelijke massa van water (kg/m^3)

$\bar{u}$ = gemiddelde stroomsnelheid (m/s)

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

C_t = totale ruwheidswaarde ($\sqrt{\text{m/s}}$)

D_{50} = mediaanwaarde van de korrelgrootteverdeling (m).

De berekening van s voor een gehele vloed-ebperiode geschiedt als volgt: de waarde van s wordt voor elk tijdsinterval berekend voor de bijbehorende waarde van $\bar{u}$ en C_t ; s wordt dan uitgedrukt in $\text{m}^3/\text{m s}$. Voor het gehele tijdsinterval van 10 minuten dient s vermenigvuldigd te worden met 10×60 . Het totale vloed- en eb sedimenttransport wordt verkregen door de sedimenttransporten per tijdsinterval op te tellen voor de vloed- en ebperiode.

De formule van Engelund-Hansen bezit een semi-empirisch karakter en is afgeleid voor een stationaire stroom. Daarom wordt nadrukkelijk gewezen op het feit dat de geldigheid van deze formule voor een getijdengebied beperkt kan zijn! De nauwkeurigheid van de uitkomsten van de formule van Engelund-Hansen is op 50% gesteld.

2.2.1.6. Froude getal

Om de hydrodynamische condities van de stroom te karakteriseren is voor alle meetlocaties het Froude getal berekend. Dit getal geeft het verband aan tussen de waterhoogte, de stroomsnelheid en de morfologie vol-

gens de in dit verslag gehanteerde formule:

$$Fr = \frac{\bar{u}_{\max}}{\sqrt{g H_{\bar{u}_{\max}}}}, \quad (2.5)$$

waarin: $H_{\bar{u}_{\max}}$ = waterhoogte bij de maximale snelheid (m)

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

De nauwkeurigheid van het Fr-getal is op 15% gesteld.

2.2.1.7. Berekening van de stroomsnelheid, gemeten met de wadstroommeter

De door de wadstroommeter geregistreerde stroomsnelheden zijn vergeleken met de in de meetverticaal bepaalde $\bar{u}$ snelheden. Veelal komen deze snelheidswaarden niet overeen. Uit deze vergelijkingen is voor een aantal periodes een constante bepaald, waarmee de door de wadstroommeter gemeten snelheden worden gecorrigeerd.

Door middel van deze gecorrigeerde snelheidsgegevens is het toch mogelijk om van de niet met de verticaal gemeten vloed-ebcycli (nachtcycli) een snelheidsverloop te verkrijgen.

Welke de oorzaken en de gevolgen van deze correctiefactoren zijn, wordt nader in 2.3.3.3. behandeld.

2.2.2. Waterhoogte

2.2.2.1. Metten van de waterhoogte

Bij de landstelling werd de waterhoogte automatisch geregistreerd door een getijschrijver. Deze was geplaatst op een bekende hoogte t.o.v. N.A.P. Daarnaast werd voor en na elke vloed-ebcyclus de hoogte van de bodem t.o.v. N.A.P. gemeten bij beide meetverticalen en wadstroommeters. Slechts de eerste twee weken heeft de getijschrijver bij de landstelling redelijk gefunctioneerd. Voor de rest van de meetperiode wordt gebruik gemaakt van de gegevens van de getijschrijver van Hansweert.

2.2.2.2. Berekening van de waterhoogte

Vanwege de korte afstand tussen de land-en zeestelling wordt de waterstand t.o.v. N.A.P. bij de zeestelling verondersteld gelijk te zijn aan die bij de landstelling.

De vóór en ná elke vloed-ebcyclus verkregen waarden van de bodemhoogte worden gemiddeld. Verondersteld wordt dat de aldus verkregen waarde constant blijft gedurende de gehele vloed-ebcyclus.

Voor de berekening van de waterhoogte H bij een meetverticaal op het moment van een meting, worden de gegevens van de getijschrijver gecombineerd met de gemiddelde bodemhoogte, ter plekke van de meetverticaal. Bij de berekening van H uit de gegevens van de getijschrijver van Hansweert bleken nauwelijks verschillen te bestaan met de bij de landstelling geplaatste getijschrijver, nl. gemiddeld 10%.

2.2.3. Stroomrichting

2.2.3.1. Metten van de stroomrichting

Voor het bepalen van de stroomrichting werden de volgende instrumenten gebruikt: - een wadstroommeter: dit instrument registreert automatisch de stroomrichting met behulp van een vloeistofkompas,

- een Jacobsson: een ijzeren pyramide, die vanaf de stelling door een lier te water wordt gelaten en de stroomrichting aangeeft op een op het noorden gerichte schaalverdeling van 360° ,
- een Ottmolen: aan dit instrument was een richtingsmeter bevestigd.

De bepaling van de stroomrichting met de twee laatst genoemde instrumenten gebeurde gelijktijdig met de snelheidsmetingen bij de meetverticalen.

2.2.3.2. Berekening van de stroomrichting

Om tussen de gemeten vloed-ebcycli onderling een vergelijking van de stroomrichtingen mogelijk te maken, zijn de volgende handelingen verricht:

1. de tijdsduur van alle gemeten vloed-ebcycli is opgeteld en uitgedrukt in uren,
2. de stroomrichting is onderverdeeld in klassen van tien graden,
3. de tijd, gedurende een vloed-ebcyclus, dat het water in één bepaalde richting stroomde, is procentueel uitgedrukt t.o.v. de in punt 1. genoemde totale tijdsduur.

Een soortgelijke procedure is gevolgd voor het sedimenttransport, berekend volgens de formule van Engelund-Hansen.

Ten eerste is de totale hoeveelheid sediment bepaald die gedurende alle gemeten vloed-ebcycli is vervoerd.

Ten tweede is de hoeveelheid sediment die gedurende een vloed-ebcyclus

in één bepaalde richting is getransporteerd, procentueel uitgedrukt t.o.v. de totale hoeveelheid.

De aldus verkregen resultaten van zowel stroomrichting als hoeveelheid getransporteerd sediment zijn voor elke gemeten vloed-ebcyclus in een stroomroosje uitgezet. In fig. 2.2 wordt een voorbeeld behandeld.

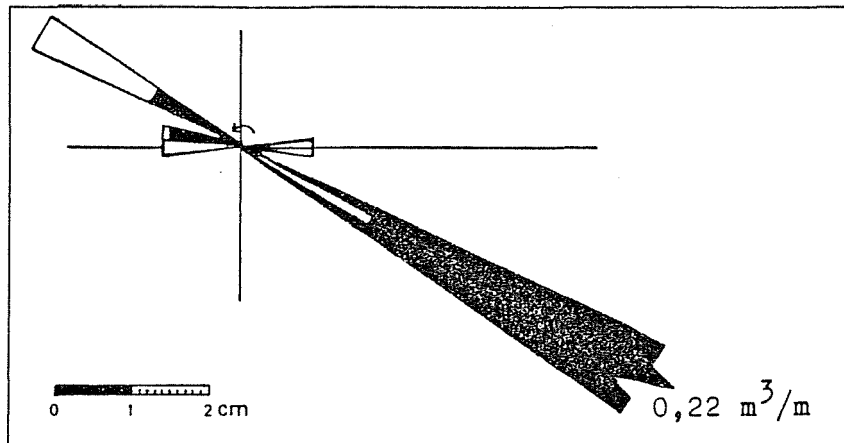


Fig. 2.2. Stroomrichting bij de zeestelling tijdens $DT_1 + 11$.

De ronde pijl geeft aan hoe de stroomrichting tijdens de kentering verandert. Het zwart gekleurde gedeelte geeft de hoeveelheid getransporteerd sediment aan volgens de formule van Engelund-Hansen. Bij de zeestelling geldt voor s dat $1 \text{ mm} = 0,0061 \text{ m}^2 = 1\%$ van de totale hoeveelheid s ; voor de tijdsduur van één bepaalde richting-klasse geldt dat $1 \text{ cm} = 20 \text{ minuten} = 1\%$ van de totale tijdsduur.

Op deze stroomroos wordt linksboven de situatie weergegeven dat de lengte van s kleiner is dan de lengte van de tijdsduur. Rechtsonder is de lengte van s groter dan de lengte van de tijdsduur: nu wordt de tijdsduur als een smalle open balk in het zwart gekleurde vak weergegeven. Als de lengte van s te groot is om weer te geven dan wordt de hoeveelheid van s vermeld.

De hierboven gevolgde procedures hebben als voordeel dat, onafhankelijk van de tijdsduur van een bepaalde vloed-ebcyclus, deze toch met andere vloed-ebcycli vergeleken kan worden.

De nauwkeurigheid van de stroomrichting is op 5% gesteld. (De Boer, 1976).

In figuur 2.3. en 2.4. wordt de exacte ligging van de diverse meetinstrumenten bij de land- en zeestelling aangegeven.

Foto 2.2. geeft een overzicht van de situatie zoals deze gedurende de eerste week van de meetperiode bij de landstelling was.

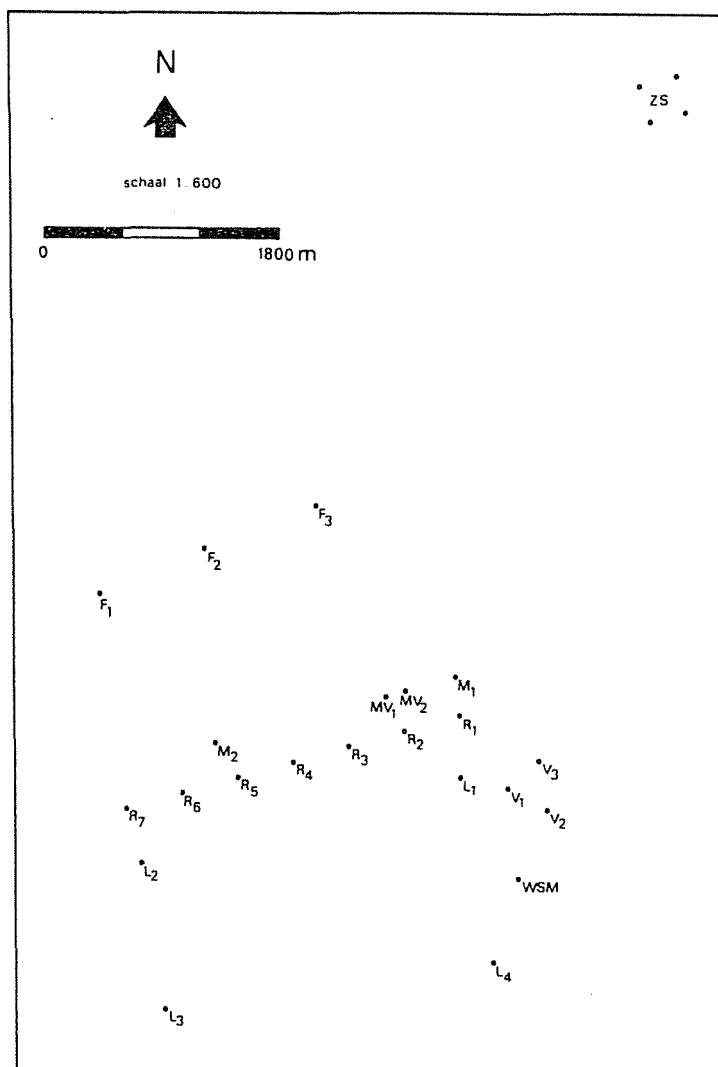


Fig.2.3. Locatie van de meetinstrumenten bij de zeestelling.

LEGENDA: ZS zeestelling

M₁-M₂ raai waarin MV is geplaatst

MV meetverticaal

R₁-R₇ raai waarin met de ribbelmeter is gemeten

L₁-L₄ veld waarin lakprofielen genomen zijn

V₁, V₂, V₃ vaste punten t.o.v. N.A.P.

WSM wadstroommeter

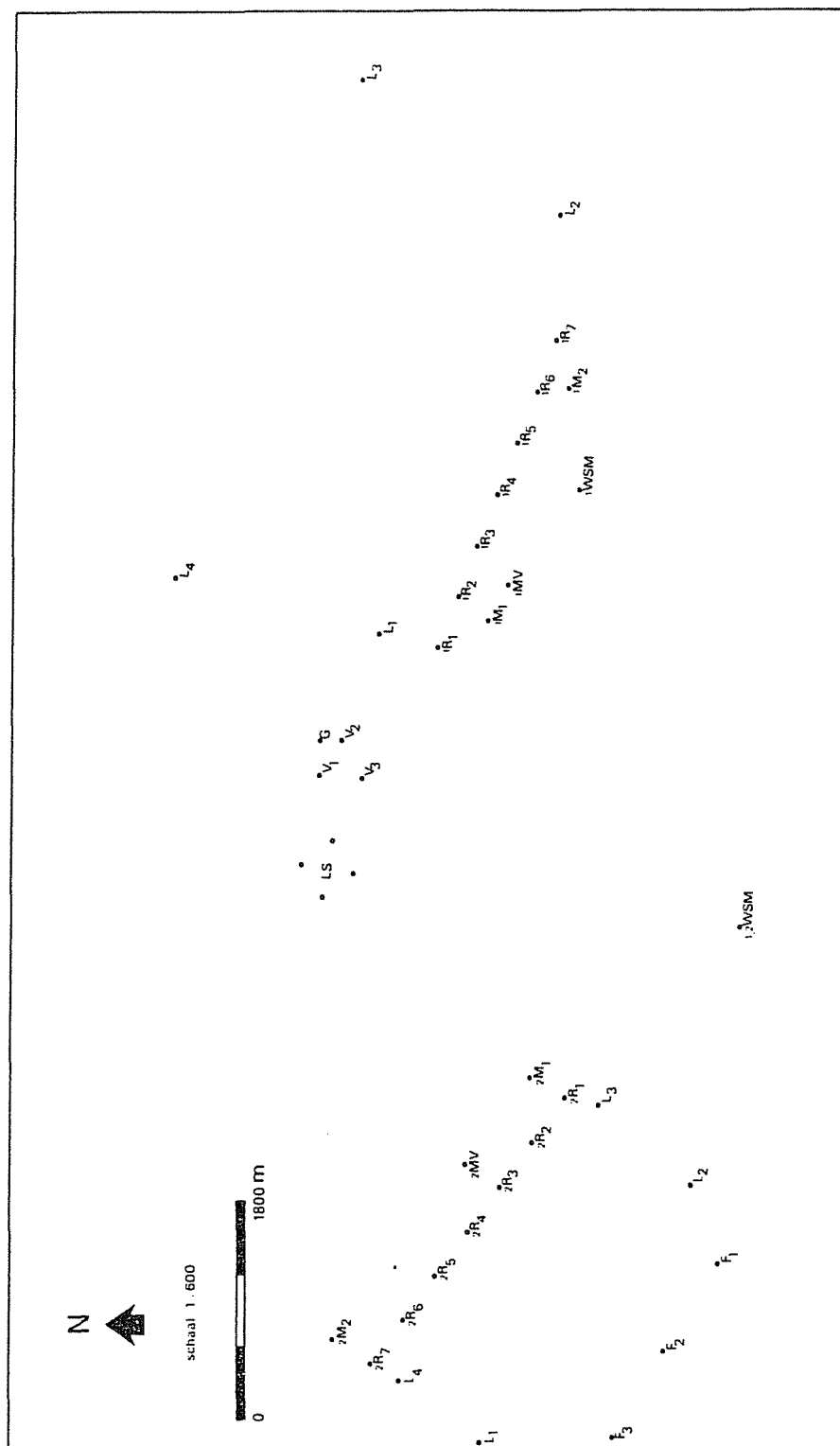


Fig.2.4. Locatie van de meet-instrumenten bij de landstelling.

De cijfers voor de afkortingen hebben betrekking op de meetperiode, nl. 1:14-21 juli en 2:21 juli - 15 augustus 1976.

LEGENDA: LS landstelling
G getijschrijver
F₁-F₃ raai vanwaaruit foto's zijn genomen
Zie ook legenda fig.2.3.

2.3. MEETRESULTATEN

2.3.1. Momentane stroomsnelheid

Gesteld kan worden dat de aanname van een logaritmische snelheidsverdeling in de verticaal gesteund wordt door de uitkomsten van de metingen. Als voorbeeld hiervan zijn in fig.2.5. twee momentane stroomsnelheidsverdelingen op semi-logaritmische schaal uitgezet. Niet alleen door berekening (zie 2.2.1.2.), maar ook grafisch kan $\bar{u}$ worden bepaald. In figuur 2.5. wordt op 0,4 van de op dat moment gemeten waterhoogte de $\bar{u}$ afgelezen. De afwijkingen van de berekende en afgelezen waarden van $\bar{u}$ zijn klein.

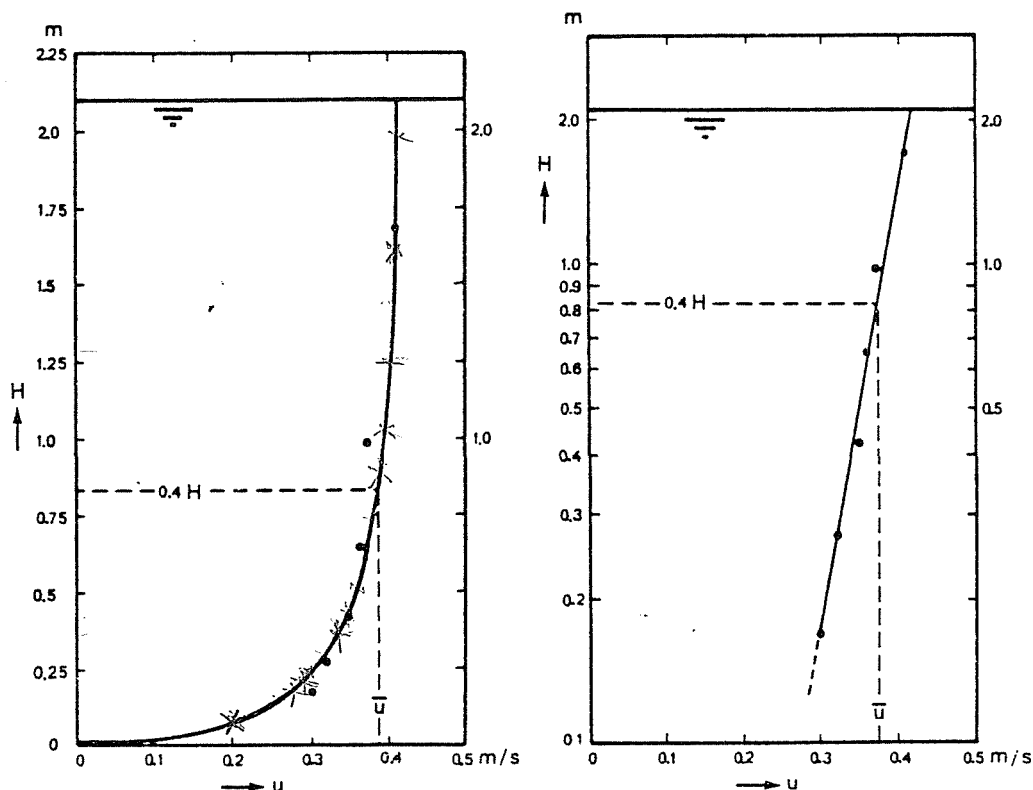


Fig.2.5.a. Snelheidsverdeling in de verticaal op ST₁+16 (doodtij) bij de landstelling als $\bar{u}_{\max vl}$ wordt bereikt.

Lineaire schaal: $\bar{u}_{\max vl} = 0,38 \text{ m/s}$
correlatiecoëfficiënt r van de gemeten waarden $= 0,97$.

Semi-logaritmische schaal: $\bar{u}_{\max vl} = 0,37 \text{ m/s}$
 $r = 0,99$.

De berekende $\bar{u}_{\max vl} = 0,37 \text{ m/s}$

2.3.2. Verloop van de variabelen tijdens een vloed-ebcyclus

2.3.2.1. Inleiding

Bij het vinden van relaties tussen de variabelen van de ribbel enerzijds en de waterbeweging anderzijds wordt aangenomen dat de maximale snelheid,

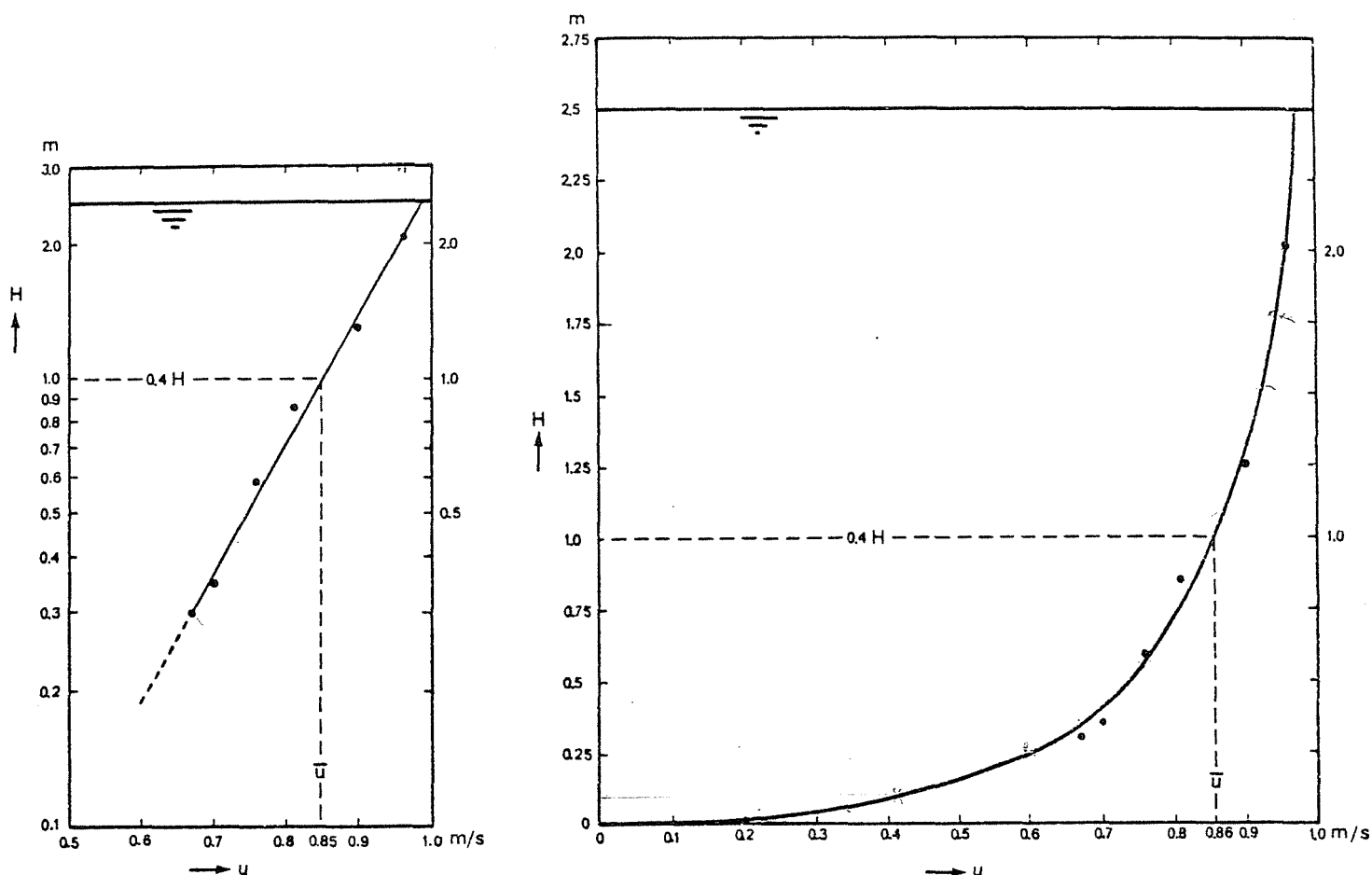


Fig.2.5.b. Snelheidsverdeling in de verticaal op ST_2+1 (springtij)

bij de landstelling als $\bar{u}_{\max vl}$ wordt bereikt.

Lineaire schaal: $\bar{u}_{\max vl} = 0,86 \text{ m/s}$

$r = 0,97$.

Semi-logaritmische schaal: $\bar{u}_{\max vl} = 0,85 \text{ m/s}$

$r = 0,99$.

De berekende $\bar{u}_{\max vl} = 0,83 \text{ m/s}$.

bereikt in een vloed-ebcyclus, maatgevend is. Verondersteld wordt dat juist dan de ribbel de meeste vormveranderingen zal ondergaan.

Het verloop van de maximale snelheden gedurende een doottij-springtijcyclus wordt in eerste instantie representatief geacht voor de waterbeweging en het effect daarvan op de ribbelkarakteristieken. Dit betekent dat de tendens van het verloop van $\bar{u}_{\max}$ overeen zou moeten komen met de tendens van het verloop van de ribbelkarakteristieken die van de waterbeweging afhangen.

Zoals gezegd, heeft de wadstroommeter continu de stroomsnelheid en stroomrichting geregistreerd. Met de meetverticaal daarentegen gebeurde dit slechts

om de andere vloed-ebcyclus. Daarom moeten de door de wadstroommeter geregistreerde gegevens worden beschouwd als een aanvulling op de met de meetverticaal verkregen gegevens van stroomsnelheid en stroomrichting. Met de gegevens van de wadstroommeter kunnen echter niet alle variabelen van de waterbeweging worden berekend.

Boven genoemde factoren hebben er toe geleid dat de met de meetverticaal en de met de wadstroommeter verkregen gegevens apart zullen worden behandeld.

2.3.2.2. Verloop van de in de meetverticaal gemeten variabelen tijdens een vloed-ebcyclus

Voor de diverse meetlocaties zijn van elke meting $\bar{u}$, $u_{\frac{x}{2}}$ en s berekend. dit gebeurde met behulp van de computer volgens de in 2.2. beschreven methoden.

Van alle metingen tijdens een vloed-ebcyclus zijn de berekende waarden van $\bar{u}$, $u_{\frac{x}{2}}$ en s , tezamen met H en de stroomrichting in grafiek uitgezet. Als voorbeeld worden in de figuren 2.6., 2.7. en 2.8. de grafieken weergegeven van een vloed-ebcyclus tijdens doottij en springtij bij de diverse meetlocaties. Deze figuren tonen een aantal karakteristieke eigenschappen van de waterbeweging bij de verschillende meetlocaties.

Voor hetgeen zich afspeelt op het hooggelegen vlakke deel van de plaat wordt verwezen naar 2.3.2.3.

— De verhouding $\frac{\bar{u}_{\max \text{ vl}}}{u_{\max \text{ eb}}}$ varieert, al naar gelang het doottij of springtij is, bij de landstelling van 1,0 tot 2,0
bij de zeestelling van 1,1 tot 1,9
op het quasi-ebribberveld van 0,5 tot 1,6.

Het verschil in spreiding dat de waarden van deze verhouding vertonen is afhankelijk van de ligging van de meetlocaties. De geul karakteristieken rondom en op de plaat beïnvloeden immers de waterbeweging bij de verschillende meetlocaties.

Uit bovenstaande verhouding blijkt dat de snelheden bij de land- en zeestelling gedurende vloed groter zijn dan tijdens eb. Beide stellingen zijn dan ook gelegen in de directe invloedssfeer van een vloedgeul.

Voor het quasi-ebribberveld geldt een meer gedifferentieerd beeld. Afhankelijk van het doottij of springtij overheerst de stroomsnelheid in resp. de eb dan wel de vloedrichting. Nu ondervindt het quasi-ebribberveld door

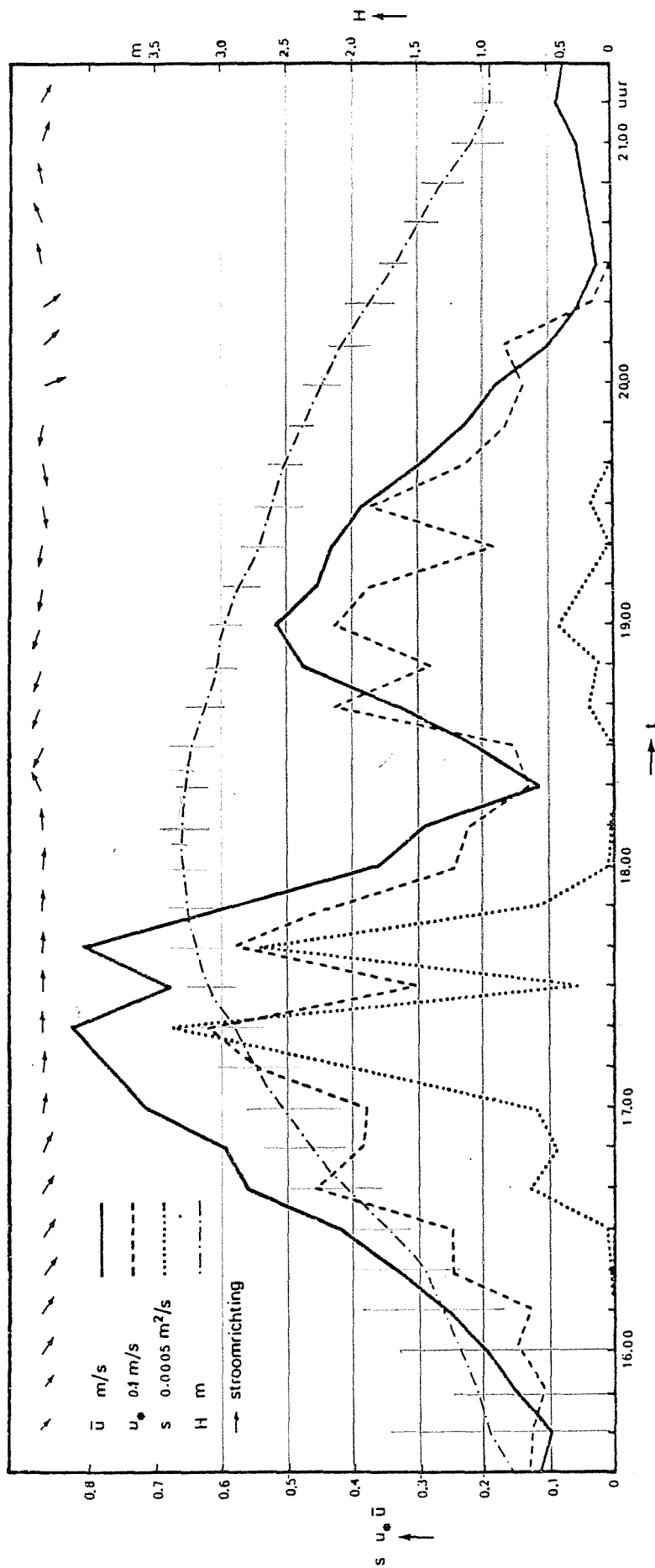


Fig.2.6.a. Verloop van $\bar{u}$, u_* , H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcycclus ST_2+3 (springtij) bij de landstelling.

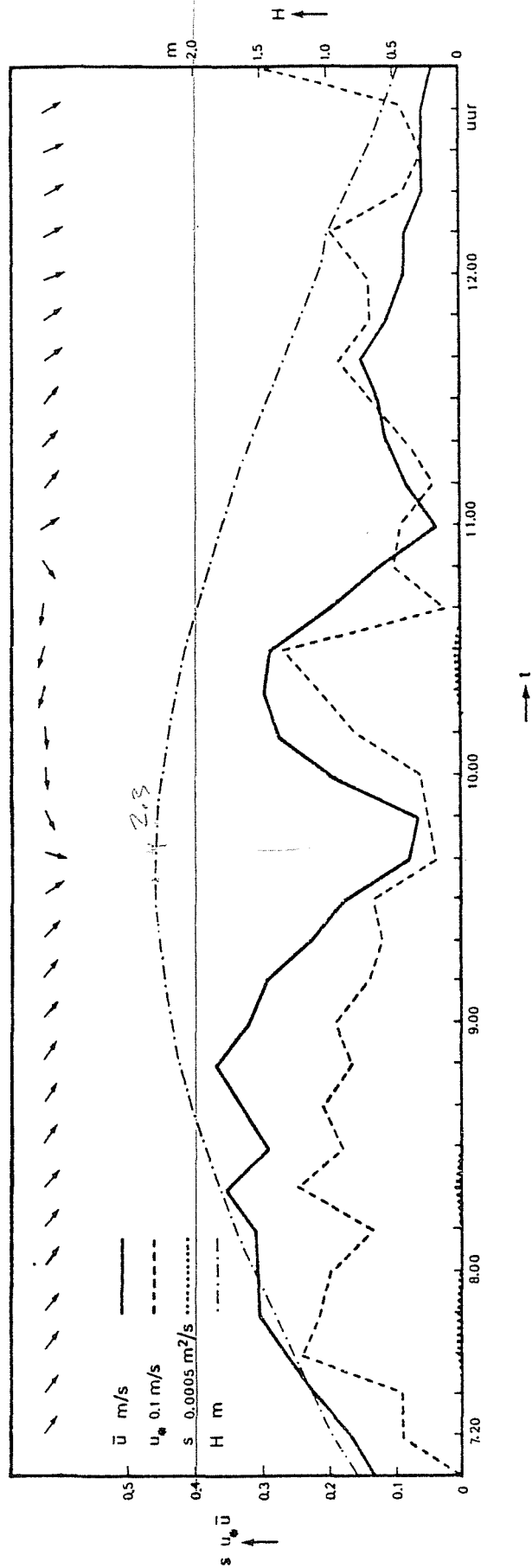


Fig.2.6.b. Verloop van u , u_0 , H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcycclus ST_1+16 (doodtij) bij de landstelling.

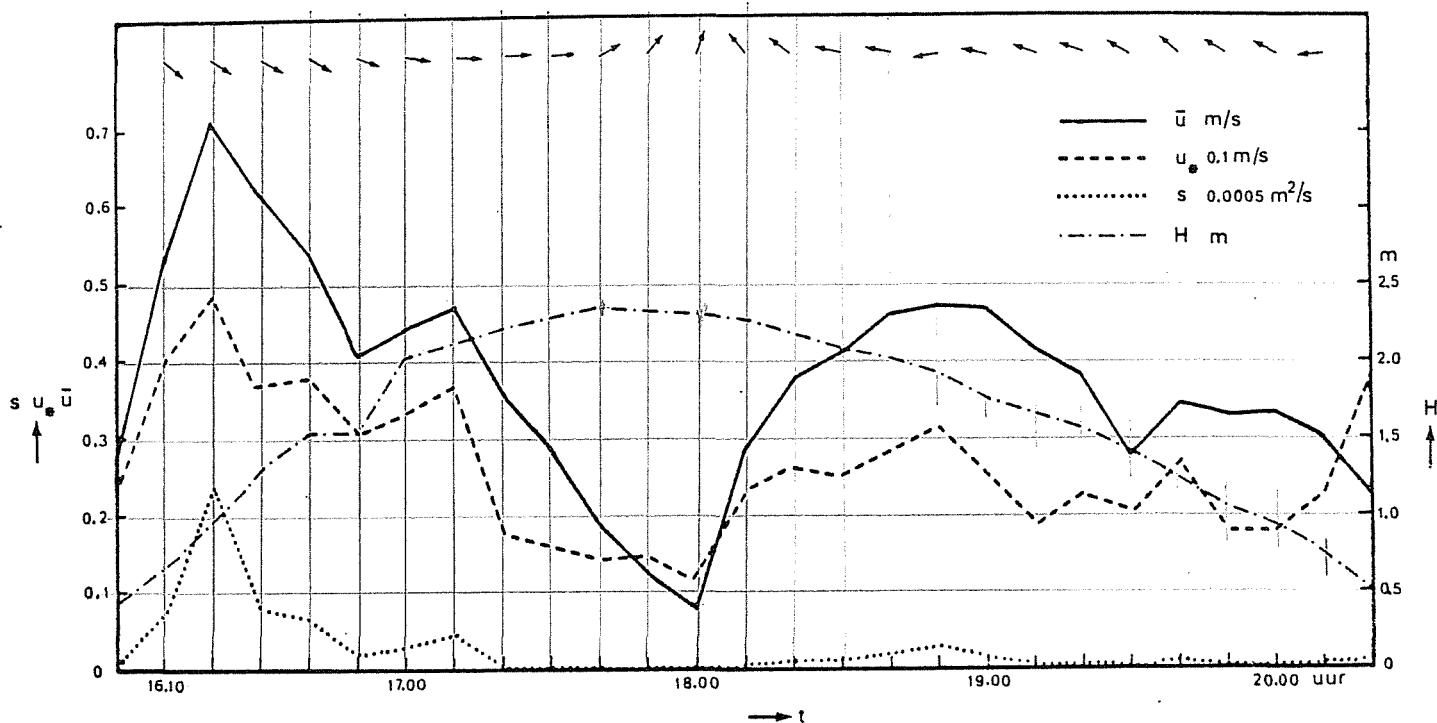


Fig.2.7.a. Verloop van $\bar{u}$, u , H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclus ST_{2+3} (springtij) bij de zeestelling.

31 juli

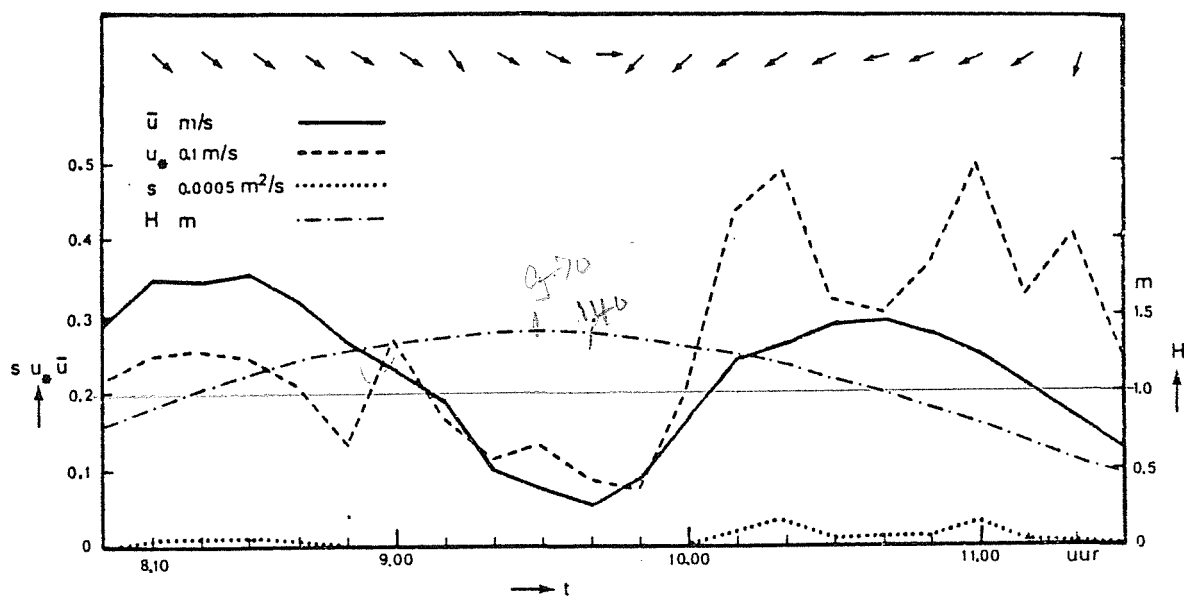


Fig.2.7.b. Verloop van $\bar{u}$, u , H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclus ST_{1+16} (doodtij) bij de zeestelling.

21 juli

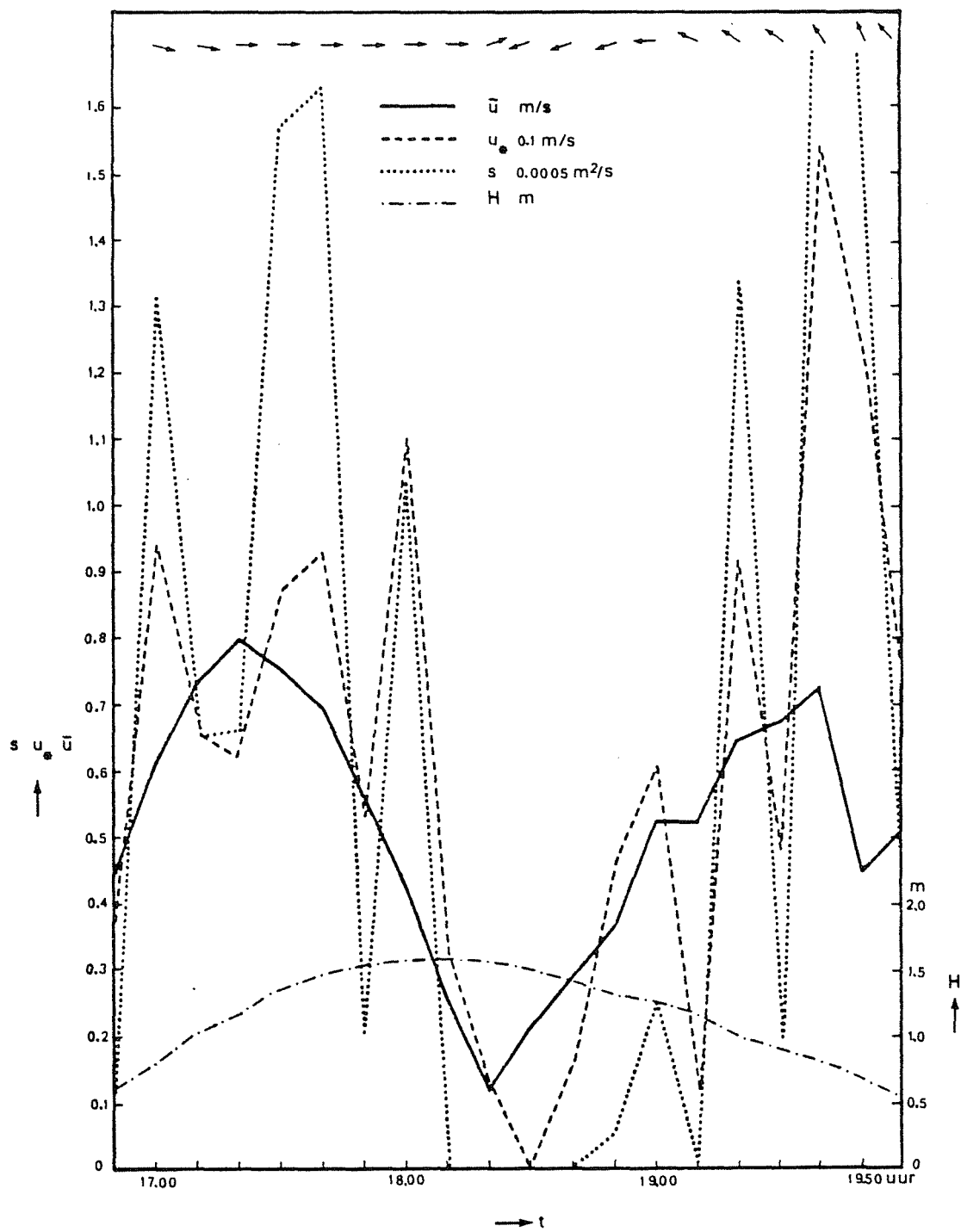


Fig.2.8.a. Verloop van $\bar{u}$, $u_{0.1}$, H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclüs ST₂+3 (springtij) op het quasi-ebribberveld.

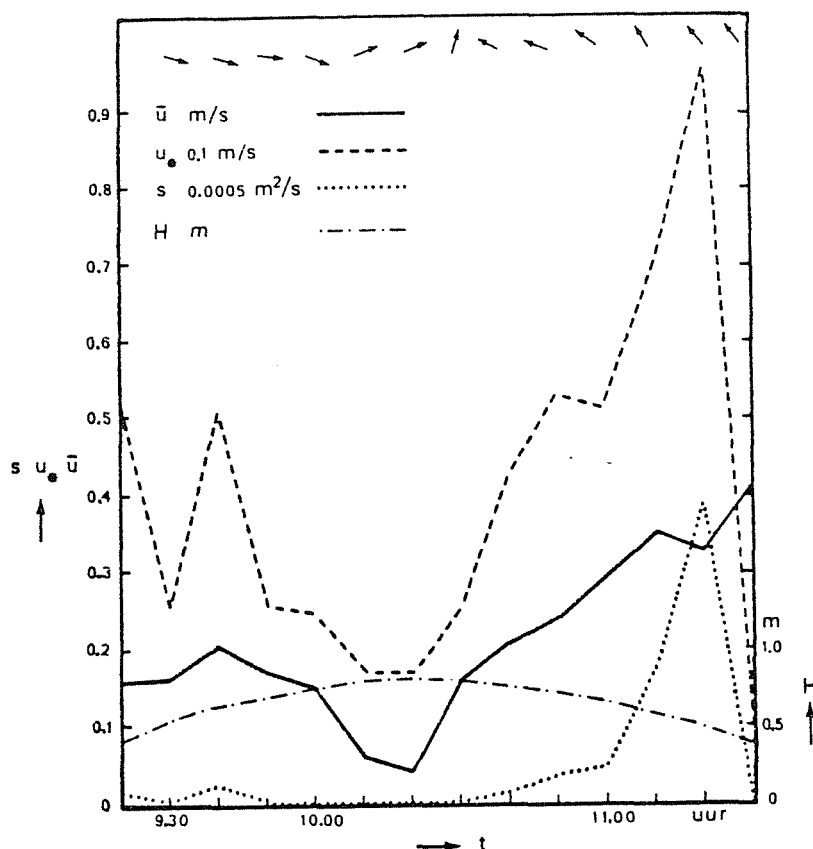


Fig.2.8.b.
Verloop van $\bar{u}$, $u_{0.1}$, H , s en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclus ST_2+12 (doodtij) op het quasi-ebribberveld.

de hoge ligging, niet zozeer de directe, dan wel de indirecte invloed van de geulen. Afhankelijk van het getij kan het volgende gesteld worden. Tijdens doodtij bereikt het water een hoogte van circa 0,8m. Dit vindt plaats in de periode dat op de plaat de algemeen voorkomende vloedrichting overheerst, ofwel in de tweede helft van de vloedperiode. Er worden lage vloodsnelheden gemeten. In de ebperiode ondervindt de stroom op het quasi-ebribberveld de indirecte invloed van de geulen in de vorm van een zeer sterke afstroming in de richting van de ebgeul. Dit gebeurt vooral in de tweede helft van de ebperiode. Figuur 2.8. toont niet alleen de richting van de afstroming, maar ook dat deze tot op het laatste moment hoge stroomsnelheden veroorzaakt.

Tijdens springtij komt het quasi-ebribberveld niet alleen eerder onder water te staan, maar stijgt het water ook tot een hoogte van circa 1.5m, waardoor beduidend hogere snelheden kunnen optreden. De ebperiode wordt nog steeds gekenmerkt door een zeer sterke afstroming.

— De waterhoogte H vertoont in de figuren 2.6., 2.7. en 2.8. veelal een enigszins asymmetrisch verloop, ofwel $\frac{dH}{dt} \gg \frac{dH}{dt}$ eb.

Bij de land- en zeestelling wordt vooral de invloed van de vloedgeulen

ondervonden. Daarom geldt bij deze locaties, evenals in de vloedgeul zelf, dat $\frac{dH}{dt}v_l > \frac{dH}{dt}eb$, ofwel het verhang $I_{v_l} > I_{eb}$. Dit heeft tot gevolg dat $\bar{u}$ gedurende vloed hogere waarden aanneemt dan tijdens eb. Vooral tijdens springtij is de mate van asymmetrie, evenals de verhouding $\frac{\bar{u}_{\max v_l}}{\bar{u}_{\max eb}}$, het grootst.

Een zelfde redenatie kan worden gevolgd voor het quasi-ebribberveld. Door de hogere waterstanden gedurende springtij wordt de invloedssfeer van de vloedgeul, gecombineerd met de algemeen voorkomende vloedrichting, groter. Dit leidt tot de eigenschap dat $\frac{dH}{dt}v_l > \frac{dH}{dt}eb$. Het is dan ook tijdens springtij, dat de snelheden in de vloedrichting groter zijn dan de ebsnelheden, die ook nu weer worden veroorzaakt door de snelle afstroming.

— Het verloop van het sedimenttransport s vertoont meer overeenkomst met dat van $u_{\#}$ dan dat van $\bar{u}$ (zie fig. 2.6., 2.7. en 2.8.). De verklaring hiervoor wordt gevonden in appendix A, waar blijkt dat in de transportformule van Engelund-Hansen $u_{\#}$ tot de 3^e macht is verheven en $\bar{u}$ tot de 2^e macht.

Het verloop van $u_{\#}$ tijdens een vloed-ebcyclus is zeer onregelmatig. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de snelheden niet dicht genoeg bij de bodem konden worden gemeten. Het was alleen mogelijk om op meer dan 15 cm boven de bodem snelheden te meten (i.v.m. schoepen, bedrading en topografie). Doch juist in de zone net boven de bodem treden de grootste veranderingen in snelheid op en het zou van groot belang zijn het verloop van de snelheden daar te kennen. De regressielijn door de op één moment gemeten snelheden kan een geheel andere richtingscoëfficiënt rc , krijgen als juist het snelheidsverloop in de onderste zone bekend zou zijn. Wordt daar nog bijgevoegd dat de onderste Ottmolen, vanuit een preventief standpunt, veelal op een hoogte van 20 tot 30 cm werd bevestigd, dan is het duidelijk dat de onnauwkeurigheid, veroorzaakt door de gevolgde meet- en berekeningsmethode, het onregelmatige verloop van $u_{\#}$ tot gevolg heeft. Figuur 2.9. toont dat de grootte van $u_{\#} = \frac{u_{100} - u_{10}}{.5,75}$ afhankelijk is van de richtings-

coëfficiënt, rc , van de snelheidsverdeling: $u_{\#}$ kleine $rc > u_{\#}$ grote rc .

Het bovenstaande kan vooral op het quasi-ebribberveld leiden tot merkwaaardige conclusies. Uit de figuren 2.6. en 2.8. blijkt dat op het quasi-ebribberveld de $u_{\#}$ waarden bij gelijke $\bar{u}$ waarden groter zijn dan bij de landstelling. Wordt nu een vergelijking gemaakt tussen s bij de landstelling en op het quasi-ebribberveld, dan blijkt dat bij een zelfde waarde van $\bar{u}$ een

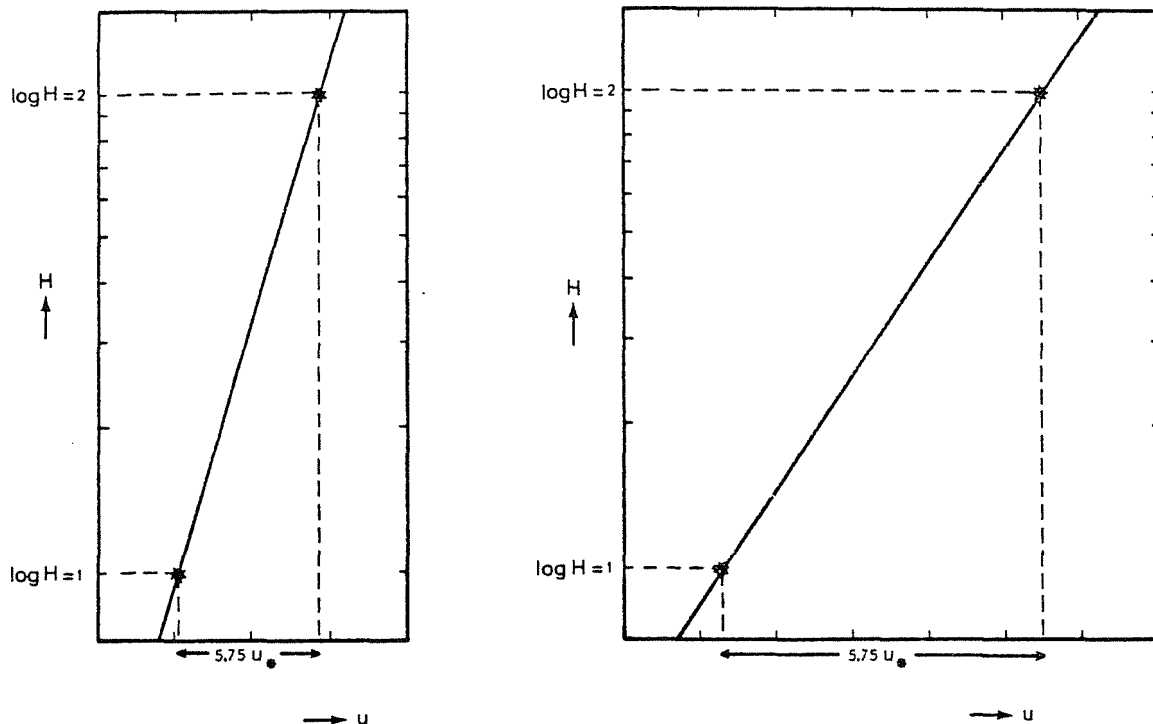


Fig.2.9. De richtingscoëfficiënt r_c van de snelheidsverdeling bepaalt de grootte van u_* .

veel groter sedimenttransport plaats vindt op het quasi-ebribbelveld dan bij de landstelling. Of deze conclusie juist is moet aangetoond worden bij de vergelijking tussen het sediment transport en de resultaten verkregen uit de lakprofielen.

— De stroomrichting wordt behandeld aan de hand van de in de figuren 2.6., 2.7. en 2.8. weergegeven pijlen. Hieronder wordt een korte beschrijving gegeven van de stroomrichtingen gedurende doottij en springtij. Deze levert reeds een tamelijk goed inzicht in het verloop van de stroomrichtingen gedurende de gehele meetperiode. In 2.3.3.5. zal dit verloop nogmaals, maar dan vollediger, worden behandeld aan de hand van de stroomroosjes, waarin tevens het sedimenttransport is verwerkt.

De behandeling van de stroomrichting vindt plaats voor de drie hier genoemde meetlocaties gedurende de vloedperiode, de kentering en de ebperiode.

Vloedperiode

Landstelling

Tijdens springtij ondervindt het water dat bij vloed de plaat overstroomt

in eerste instantie een grote invloed van de zuidoostelijk gerichte vloedstroom(120°) in het uitloopgat van Ossenissee. Een verdere stijging van het water vermindert de invloed van deze geul, en een meer oostelijke stroom(100°) gaat overheersen (zie fig.2.6.a.).

Rond doodtij, als de waterhoogte 0,8-1,0m lager ligt, blijft de stroom tijdens de gehele vloedperiode zuidoostelijk gericht (zie fig.2.6.b.).

Zeestelling

Tijdens springtij wordt de stroomrichting(120°) in de beginfase van de vloedperiode bepaald door de bij de zeestelling liggende vloedgeul. In deze beginfase bereikt het water de hoogste stroomsnelheden.

Bij hogere waterstanden wordt de invloed van de geul minder. De stroomsnelheid in de geul neemt af en de op de plaat algemeen voorkomende oostelijke stroomrichting (90°) gaat nu overheersen. De stroomsnelheid neemt in deze richting nog steeds toe en bereikt vrijwel gelijktijdig met de stroomsnelheid bij de landstelling de hoogste waarden. Voor de zeestelling zijn deze snelheden echter lager dan ^{die} welke bereikt zijn in de 120° -richting en vormen diengevolge het submaximum (op 17.10 uur, zie fig.2.7.a.). Gedurende doodtij staat het water 0,8-1,0m lager dan bij springtij, waardoor de invloed van de vloedgeul blijft overheersen in de 120° -richting.

Quasi-ebribbelveld

Zowel bij doodtij als bij springtij is de stroomrichting voortdurend $90-100^{\circ}$ (zie fig.2.8.a. en b.). Het quasi-ebribbelveld (+1,20mN.A.P.) ligt hoger dan de landstelling (-0,50mN.A.P.). Daarom wordt op het quasi-ebribbelveld geen invloed meer ondervonden van de stroom in het uitloopgat van Ossenissee, maar is slechts de algemeen voorkomende stroomrichting van $90-100^{\circ}$ aanwezig.

Kentering

Er is een verschil tussen het tijdstip waarop de maximale waterhoogte optreedt en het moment dat de stroomrichting omkeert (kentering).

$H_{\max}$ wordt gemeten op het moment dat de top van de vloedgolf het waarnemingspunt passeert. De maximale snelheid treedt reeds in een vroeger stadium op. Als $H_{\max}$ wordt bereikt, neemt u_v nog steeds af tot nul, zodat pas na enige tijd het naar zee gerichte verhang groot genoeg is om het water zeewaartste doen stromen. Het is dan eb. Het tijdsverschil tussen het moment dat $H_{\max}$ wordt bereikt en het moment dat de kentering optreedt, is voor alle drie de meetlocaties 10 à 20 minuten.

Ebperiode

Landstelling

Aanvankelijk is de stroom westwaarts gericht (280°). Na verloop van tijd keert deze stroom echter weer om in een zuidoostelijke richting (110°). Door het dalen van de waterhoogte wordt immers de invloed van de eb-stroom in het Zuidergat en van de naar het zuidoosten afhellende ondergrond steeds groter.

Vanwege de lagere waterstanden gedurende doodtij doet deze invloed en dus de afstroming in de 110° -richting zich langer gelden dan tijdens springtij (zie fig. 2.6.a. en b.).

Zeestelling

De wadstroommeter registreerde voor de ebperiode gedurende springtij stroomrichtingen van $290-320^\circ$ en gedurende doodtij richtingen van $240-270^\circ$ (zie fig. 2.7.a. en b.).

Een sluitende verklaring voor deze verandering van de stroomrichting is niet te geven.

Quasi-ebribberveld

Zowel tijdens doodtij als springtij overheerst de algemeen voorkomende ebrichting van 280° slechts korte tijd. Door de invloed van de ebstroom in het Zuidergat en de naar het (noord)oosten afhellende ondergrond loopt de stroomrichting geleidelijk van 280° naar 330° (zie fig. 2.8.a. en b.). In 2.3.3.5. en in de figuren 2.24 t/m 2.28. zal aan de hand van de stroomrichtingen bij de meetlocaties getracht worden een stroompatroon voor de gehele plaat op te stellen.

2.3.2.3. Verloop van de met de wadstroommeter gemeten variabelen tijdens een vloed-ebcyclus

Hetgeen hier behandeld wordt, zal zich beperken tot de resultaten, die verkregen zijn op het vlakke gedeelte van de plaat. Hier is uitsluitend met de wadstroommeter gemeten.

Vanaf het tweede doodtij tot aan het einde van de meetperiode stond op het vlakke gedeelte midden op de plaat een wadstroommeter opgesteld. De figuren 2.10.a. en b. tonen het verloop van de waterhoogte, de stroomsnelheid en de stroomrichting van een vloed-ebcyclus tijdens doodtij en springtij.

Opvallend is dat de maximale snelheid $u_{w \max}$ direct wordt bereikt, zodra het water aanwezig is. Het is dan ook niet mogelijk om na te gaan of de geregistreeerde $u_{w \max}$ werkelijk de allerhoogste snelheid is geweest

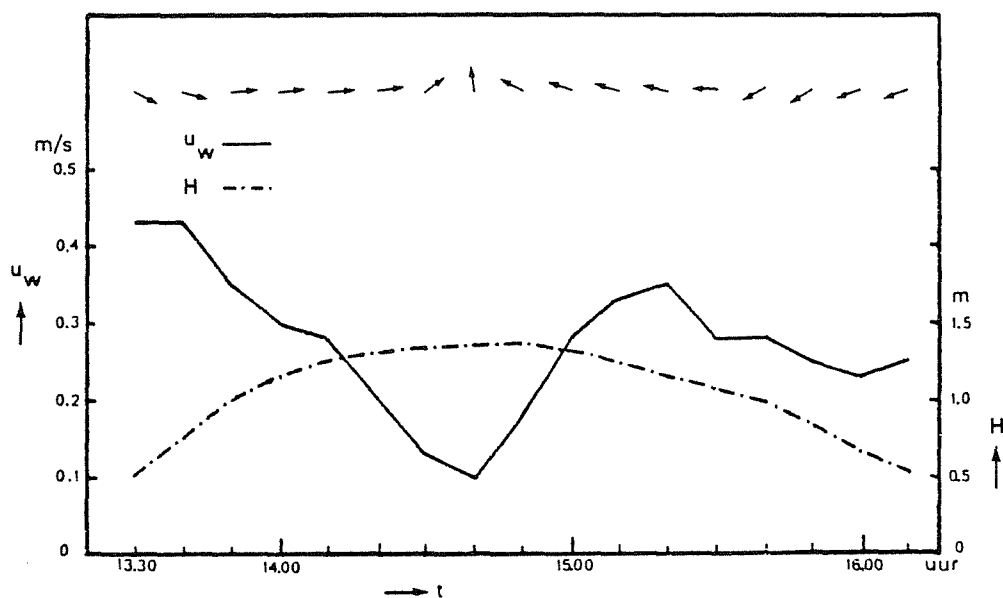


Fig.2.10.a. Verloop van u_w , H en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclus DT_2+6 (doodtij) op het vlakke deel, midden op de plaat.

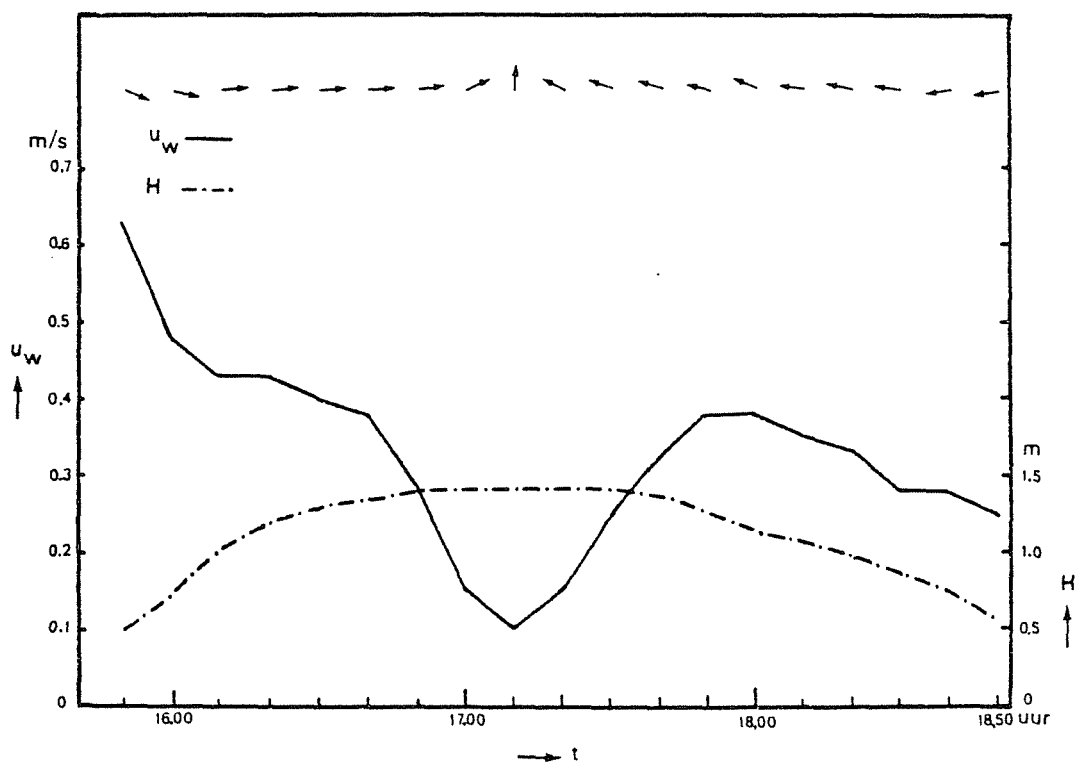


Fig.2.10.b. Verloop van u_w , H en stroomrichting gedurende de vloed-ebcyclus ST_2+3 (springtij) op het vlakke deel, midden op de plaat.

van de vloedperiode. De oorzaak van dit verschijnsel ligt in het feit dat dit gedeelte van de plaat bijzonder hoog ligt. Het is zelfs voorgekomen dat de wadstroommeter pas de snelheid begon te registreren, nadat de hoogste snelheid $u_{w \max}$ al bereikt was. Hierdoor is het mogelijk dat in zo'n vloed-ebcyclus de geregistreeerde $u_{w \max vl} < u_{w \max eb}$. Tevens moet gesteld worden dat $u_{w \max vl}$ zeker niet als een gemiddelde snelheid mag worden beschouwd. Reeds de eerste meting wordt $u_{w \max vl}$ veelal geregistreeerd. Dan staat de wadstroommeter echter pas net onder water en staat hij niet op een representatieve hoogte van ongeveer 0,4H. Dit betekent dat de gemiddelde snelheid aanzienlijk lager moet liggen gedurende het begin en het einde van een vloed-ebcyclus.

Een uitspraak omtrent de verhouding $\frac{u_{w \max vl}}{u_{w \max eb}}$ (naar analogie van $\frac{\bar{u}_{w \max vl}}{\bar{u}_{w \max eb}}$

in 2.3.2.2.) is in dit verband zinloos.

Wat betreft de stroomrichting is het duidelijk dat zowel voor doottij als voor springtij de algemeen voorkomende vloed en eb stroomrichtingen van resp. 90° en 280° voorkomen.

2.3.3. Verloop van de variabelen tijdens de gehele meetperiode

2.3.3.1. Inleiding

In dit onderdeel wordt nagegaan hoe de variabelen, maar vooral de tijdens een vloed-ebcyclus gemeten maxima van de variabelen, veranderingen ondergaan gedurende een doottij-springtijcyclus.

Vooruitlopend op de resultaten zal allereerst het begrip dagelijkse ongelijkheid van het getij (zie 1.2.) verder worden uitgewerkt.

Vervolgens wordt het verloop van de stroomsnelheid behandeld, welke is ontstaan door de combinatie van snelheidsgegevens van de wadstroommeter en de meetverticaal. Hierbij zal het begrip effectiviteit nader worden gedefinieerd.

Tenslotte wordt een overzicht gegeven van de stroomrichting gecombineerd met het sedimenttransport, gevolgd door de behandeling van een aantal variabelen die alleen met de meetverticaal te bepalen waren.

2.3.3.2. Dagelijkse ongelijkheid van het getij

Als de snelheden in twee opeenvolgende vloed-ebcycli met elkaar worden vergeleken, blijkt dat de maximale snelheden van deze twee cycli duidelijk

in grootte van elkaar verschillen. Dit wordt veroorzaakt door de dagelijkse ongelijkheid van de waterstand.

Figuur 2.11. toont dat in één etmaal twee vloed-ebcycli voorkomen. Gedurende de vloed-ebcyclus die overdag optreedt stijgt de waterstand van hoog laagwater naar laag hoogwater. Deze cyclus wordt gemakshalve de "dagcyclus" genoemd. De hierbij ontwikkelde $\bar{u}_{\max \text{ vl}}$ is aanzienlijk lager dan de $\bar{u}_{\max \text{ vl}}$ die wordt bereikt gedurende de "nachtcyclus": de waterstand stijgt dan van laag laagwater naar hoog hoogwater. Dit houdt in dat in een zelfde tijdsbestek 's nachts een groter verschil in waterstand moet worden overbrugd dan overdag, ofwel $\frac{dH}{dt} \text{ vl nachtcyclus} > \frac{dH}{dt} \text{ vl dagcyclus}$. Het gevolg is dat $\bar{u}_{\max \text{ vl nachtcyclus}} > \bar{u}_{\max \text{ vl dagcyclus}}$. Het verschil in de maximale ebsnelheden t.g.v. de dagelijkse ongelijkheid, is bij de meetlocaties minder uitgesproken dan dat van de maximale vloed-snelheden.

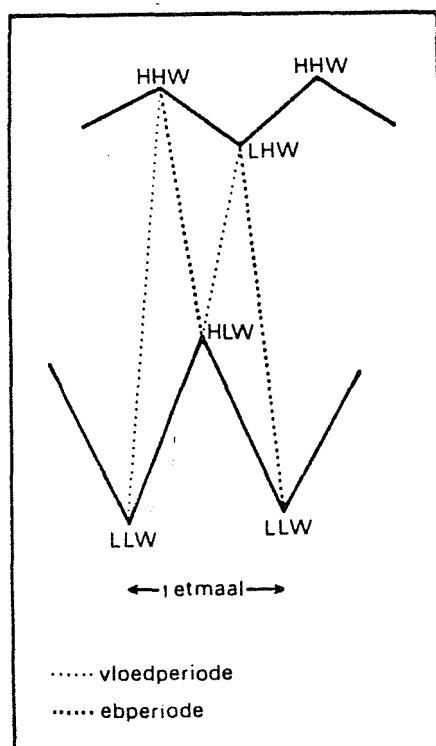


Fig. 2.11. Verloop van het getij gedurende één etmaal, waarbij de dagelijkse ongelijkheid wordt getoond. Het verloop van de nachtcyclus is: LLW-HHW-HLW. Het verloop van de dagcyclus is: HLW-LHW-LLW.

2.3.3.3. Stroomsnelheid

Gedurende elke dagcyclus zijn de stroomsnelheden zowel met de meetverticaal als met de wadstroommeter bepaald. Figuur 2.12. toont dat $\bar{u}$ en u_w duidelijk dezelfde tendens bezitten.

Tijdens de nachtcyclus daarentegen is de snelheid alleen met de wadstroommeter gemeten.

Bovenstaande heeft geleid tot een combinatie van de met beide instru-

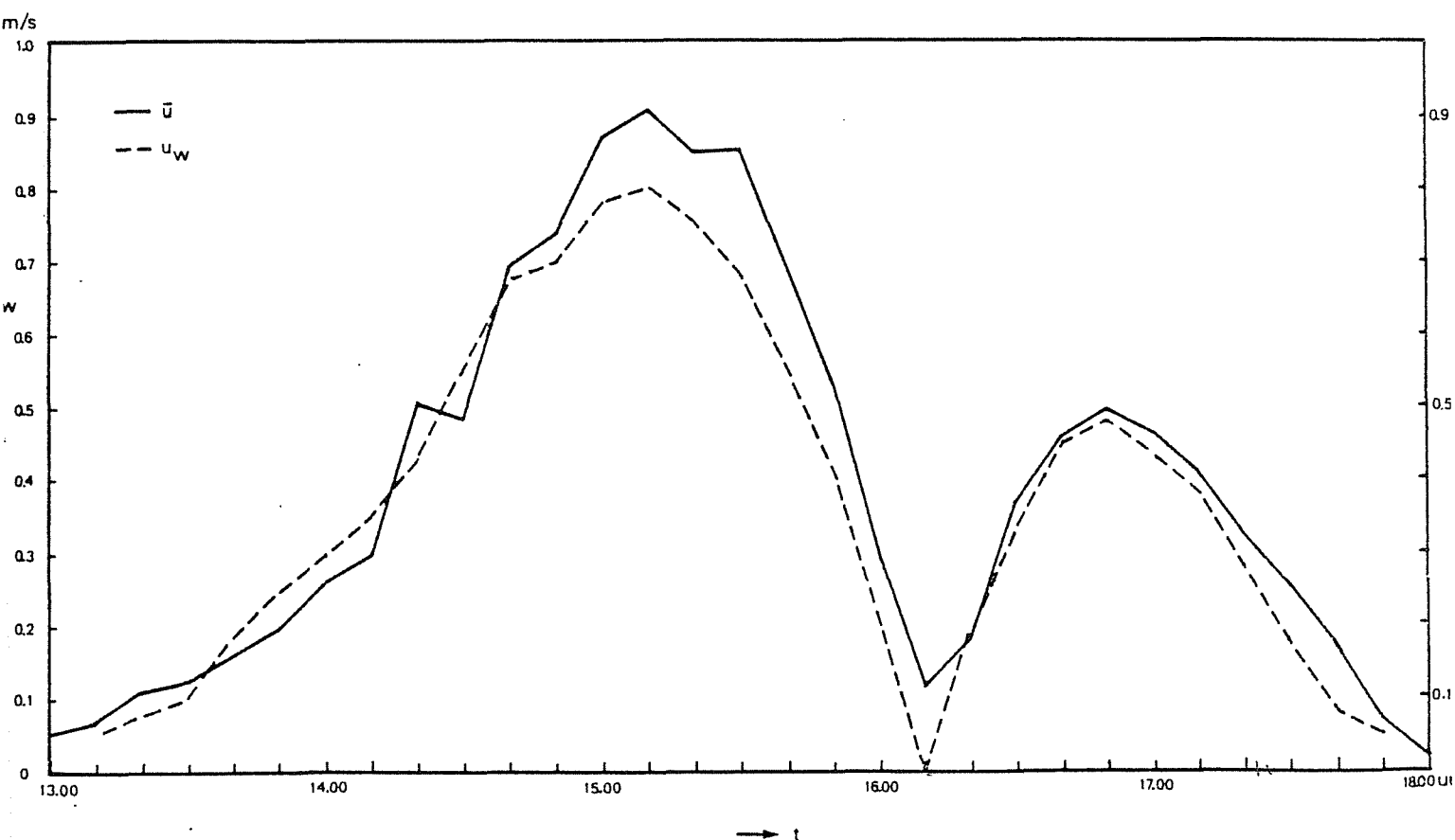


Fig.2.12.Vergelijking van het verloop van $\bar{u}$ en u_w van de vloed-
ebcyclus DT_1+13 .

menten verkregen snelheidswaarden.

Alvorens deze combinatie te maken is het van belang te weten welke de gebruiksmogelijkheden van en de verschillen tussen de beide instrumenten zijn. Daardoor kan op een verantwoorde wijze een vergelijking plaats vinden tussen de verkregen snelheidsgegevens.

$\bar{u}$	u_w
1) gemeten met de meet- verticaal en daarom alleen bekend van de dagcyclus.	1) gemeten met de wadstroommeter en daarom zowel van de dag- als van de nachtcyclus bekend.
2) een grote mate van be- trouwbaarheid door het grote aantal (5 à 6) Ott- molens per meetverticaal.	2) een minder grote mate van betrouwbaar- heid. a) De wadstroommeter meet slechts op één vast punt de stroomsnelheid. De hoogte van dit punt boven de bodem bedraagt, al naar gelang de grootte en positie van de eronder liggende ribbel, ongeveer 55 cm. Gedurende doottijd zal u_w een andere ver-

houding t.o.v. $\bar{u}$ hebben dan tijdens springtij. Uitgaande van een logaritmische snelheidsverdeling zal bij een toename van de waterhoogte u_w , gemeten op één vaste hoogte, in verhouding tot de bij deze H behorende $\bar{u}$ kleiner worden. De $\bar{u}$ wordt immers berekend op $0,4H$ (zie fig. 2.13).

- b) Een andere bron van onnauwkeurigheid lag in het **scheefzakken** van het ophangmechanisme van de wadstroommeter bij de landstelling na $ST_2 + 1$. Het gevolg was dat de wadstroommeter zich nog slechts gedeeltelijk tegen de stroom in kon richten. Hierdoor werd de snelheid ontbonden, hetgeen resulteert in lagere u_w -waarden dan in werkelijkheid aanwezig waren.

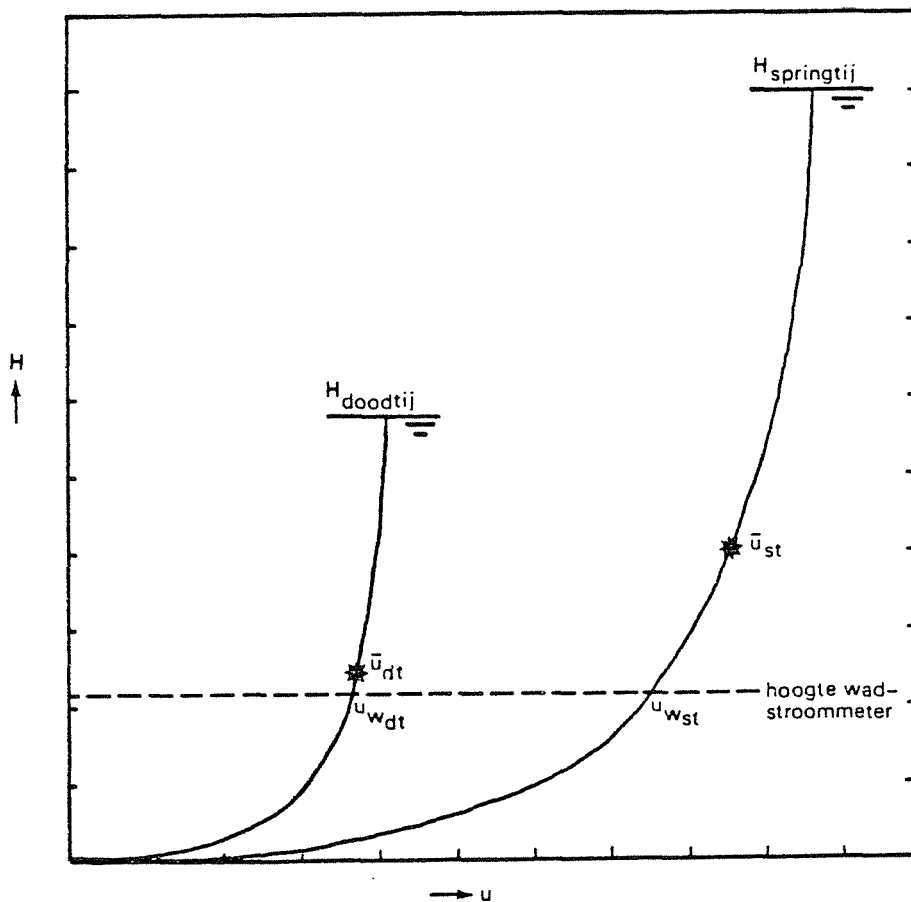


Fig. 2.13. Verschil in waarde tussen $\bar{u}$ en u_w gedurende doodtij en springtij.

Bij het vergelijken van de met beide instrumenten verkregen gegevens treden veelal verschillen op tussen de waarden van $\bar{u}$ en u_w . Omdat met name de maximale snelheden worden onderzocht, zijn in tabel 2.1. de verschillen weergegeven tussen de bij de land- en zeestelling tijdens vloed optredende $\bar{u}_{\max vl}$ en $u_{w \max vl}$.

LANDSTELLING					ZEESTELLING				
vloed- ebcyclus	$\bar{u}_{\max}$ (m/s)	$v_l u_{w\max}$ (m/s)	afwij- king tussen $u_{w\max}$ en $\bar{u}_{\max}$ (%)	gemiddel- de afwij- king van een periode (%)	vloed- ebcyclus	$\bar{u}_{\max}$ (m/s)	$v_l u_{w\max}$ (m/s)	afwij- king tussen $u_{w\max}$ en $\bar{u}_{\max}$ (%)	gemiddel- de afwij- king van een periode (%)
ST ₁ +14	0,58	0,48	+21	25	ST ₁ +12	0,46	0,53	-13	+ 1
ST ₁ +16	0,35	0,30	+17		ST ₁ +14	0,50	0,45	+11	
DT ₁ +1	0,41	0,30	+37		ST ₁ +16	0,35	0,33	+ 6	
DT ₁ +3	—	0,40	—		DT ₁ +1	0,32	0,30	+ 7	
DT ₁ +5	—	0,48	—		DT ₁ +3	—	0,40	—	
DT ₁ +7	0,68	0,68	0	7	DT ₁ +5	—	0,50	—	+10
DT ₁ +9	0,84	0,80	+ 5		DT ₁ +7	0,54	0,55	- 2	
DT ₁ +11	0,86	0,78	+10		DT ₁ +9	0,64	0,68	- 6	
DT ₁ +13	0,90	0,80	+13		DT ₁ +11	0,77	0,73	+ 5	
DT ₁ +15	0,88	0,78	+13		DT ₁ +13	0,68	0,68	0	
ST ₂ +1	0,99	0,98	+ 1	door scheef- zakken grotere afwij- kingen	DT ₁ +15	0,60	0,80	-25	+ 5
ST ₂ +3	0,83	0,78	+ 6		ST ₂ +1	0,77	0,75	+ 3	
ST ₂ +5	0,75	0,55	+36		ST ₂ +3	0,71	0,63	+13	
ST ₂ +7	0,84	0,63	+33		ST ₂ +5	0,77	0,70	+10	
ST ₂ +8	0,75	0,55	+36		ST ₂ +7	0,70	0,63	+11	
ST ₂ +10	0,50	0,40	+25	29	ST ₂ +8	0,62	0,58	+ 7	+ 5
ST ₂ +12	0,45	0,33	+36		ST ₂ +10	0,55	0,48	+15	
DT ₂	—	0,35	—		ST ₂ +12	0,48	0,43	+12	
DT ₂ +2	—	0,38	—		DT ₂	—	0,48	—	
DT ₂ +4	0,65	0,53	+23		DT ₂ +2	—	0,48	—	
DT ₂ +6	0,77	0,58	+33		DT ₂ +4	0,63	0,60	+ 5	
DT ₂ +8	0,82	0,64	+28						
DT ₂ +10	0,82	0,68	+21						
ST ₃ +1	0,74	0,65	+14						
ST ₃ +3	0,90	0,63	+33						
ST ₃ +5	0,66	0,58	+14						

Tabel 2.1. Vergelijking van de met de meetverticaal en de wadstroommeter verkregen snelheidswaarden en de daardoor ontstane afwijkingen.

Deze verschillen kunnen veroorzaakt zijn door:

- 1) de vaste hoogte van de wadstroommeter t.o.v. de verschillende Ottmolens in de meetverticaal,
- 2) het scheefzakken van de wadstroommeter bij de landstelling,
- 3) het nimmer gelijktijdige verloop van de variatie in bodemhoogte.

Doordat de afstand tussen wadstroommeter en meetverticaal 15 à 30m bedroeg, lagen onder de meetinstrumenten verschillende ribbels. Daarom kon bijvoorbeeld tijdens de metingen in een vloed-ebcyclus bij het ene instrument een trog passeren, terwijl bij het andere juist een kam voorbijkwam. Hierdoor zal de bodemhoogte, met als gevolg ook de waterhoogte, nooit dezelfde toe- of afname bij beide instrumenten vertonen.

Eén of meer van deze oorzaken leiden tot afwijkingen van $u'_{w \max vl}$ t.o.v. de meer betrouwbare $\bar{u}_{\max vl}$. Het was daarom noodzakelijk om over te gaan tot het invoeren van de gecorrigeerde $u'_{w \max vl} = u'_{w \max vl}$. Daarvoor is in tabel 2.1. de procentuele afwijking tussen $u'_{w \max vl}$ en $\bar{u}_{\max vl}$ van elke dagcyclus bepaald. Vervolgens zijn deze afwijkingen gegroepeerd in een aantal perioden. Van elke periode is de gemiddelde afwijking berekend. Met behulp van deze gemiddelde afwijking is $u'_{w \max vl}$ bepaald voor de in deze periode voorkomende nachtcycli.

De combinatie van $\bar{u}_{\max vl}$ voor de dagcycli met $u'_{w \max vl}$ voor de nachtcycli geeft als resultaat het in figuur 2.14. weergegeven verloop van de stroomsnelheid. Gemakshalve wordt in dit onderzoek alleen over $u'_{w \max vl}$ gesproken i.p.v. over de combinatie van $\bar{u}_{\max vl}$ en $u'_{w \max vl}$. De nauwkeurigheid van $u'_{w \max vl}$ is gesteld op 15%.

Tezamen met de in figuur 2.15. weergegeven $u'_{w \max eb}$ geeft figuur 2.14. voor de land- en zeestelling de volgende verschijnselen te zien:

- 1) de tendens dat tijdens springtij de maximale vloed- en ebsnelheden groter zijn dan tijdens doottij,
- 2) de maximale vloed- en ebsnelheden zijn gedurende ST_2 groter dan tijdens ST_3 ,
- 3) de dagelijkse ongelijkheid komt het beste tot uiting in de vloodsnelheden gedurende springtij (dit geldt vooral voor de landstelling),
- 4) het verschil in $u'_{w \max vl}$ tussen doottij en springtij is groter dan het verschil in $u'_{w \max eb}$ tussen beide getijden.

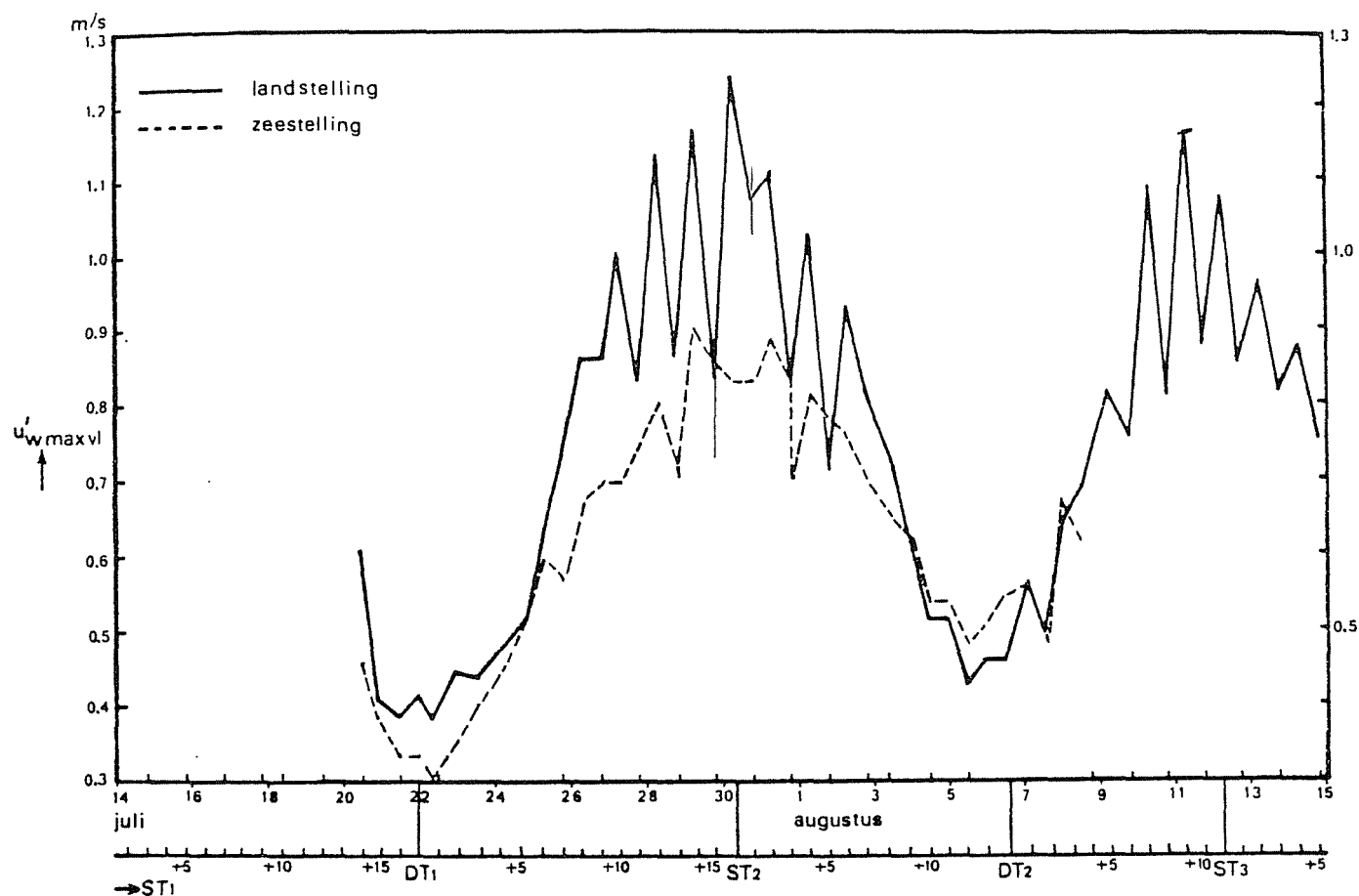


Fig.2.14. Het verloop van $u'_{w \max vl}$ gedurende de meetperiode bij de land- en zeestelling.

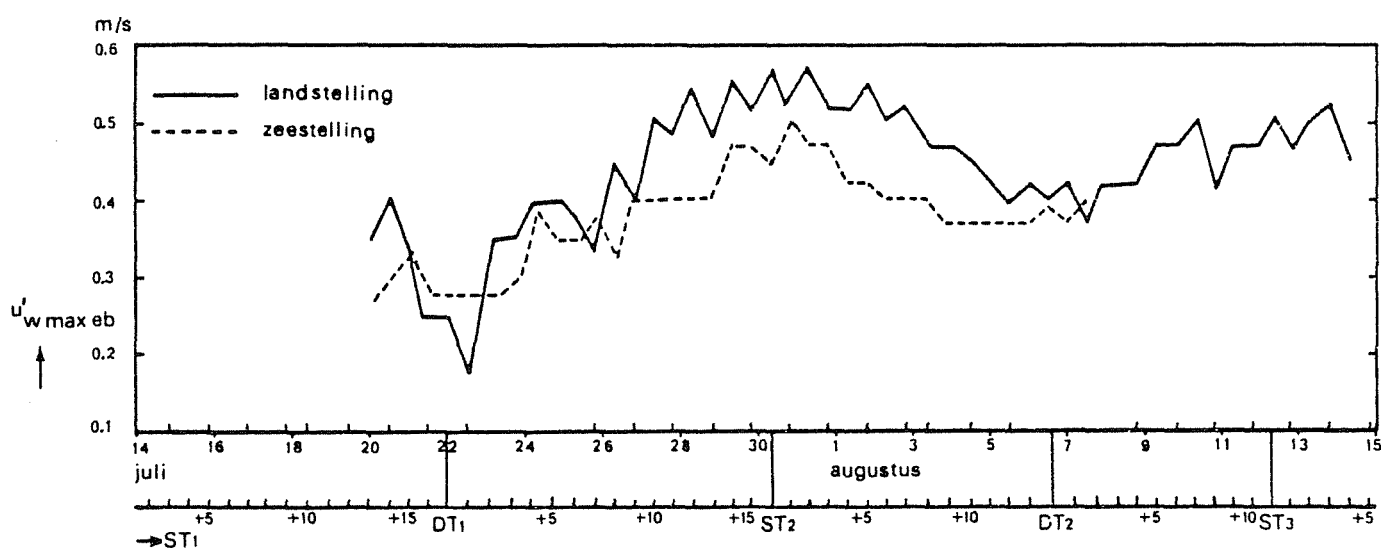


Fig.2.15. Het verloop van $u'_{w \max eb}$ gedurende de meetperiode bij de land- en zeestelling.

Van het quasi-ebribbelveld zijn $\bar{u}_{\max vl}$ en $\bar{u}_{\max eb}$ uitgezet in figuur 2.16. Het gaat hier alleen om gegevens van de dagcycli. Toch kan het volgende worden geconcludeerd:

- 1) gedurende springtij zijn de maximale vloed- en ebsnelheden groter dan tijdens doottij,
- 2) de maximale vloed- en ebsnelheden zijn gedurende ST_2 groter dan tijdens ST_3 ,
- 3) gedurende doottij geldt dat $\bar{u}_{\max eb} > \bar{u}_{\max vl}$,
- 4) het verschil in $\bar{u}_{\max vl}$ tussen doottij en springtij is groter dan het verschil in $\bar{u}_{\max eb}$ tussen beide getijden.

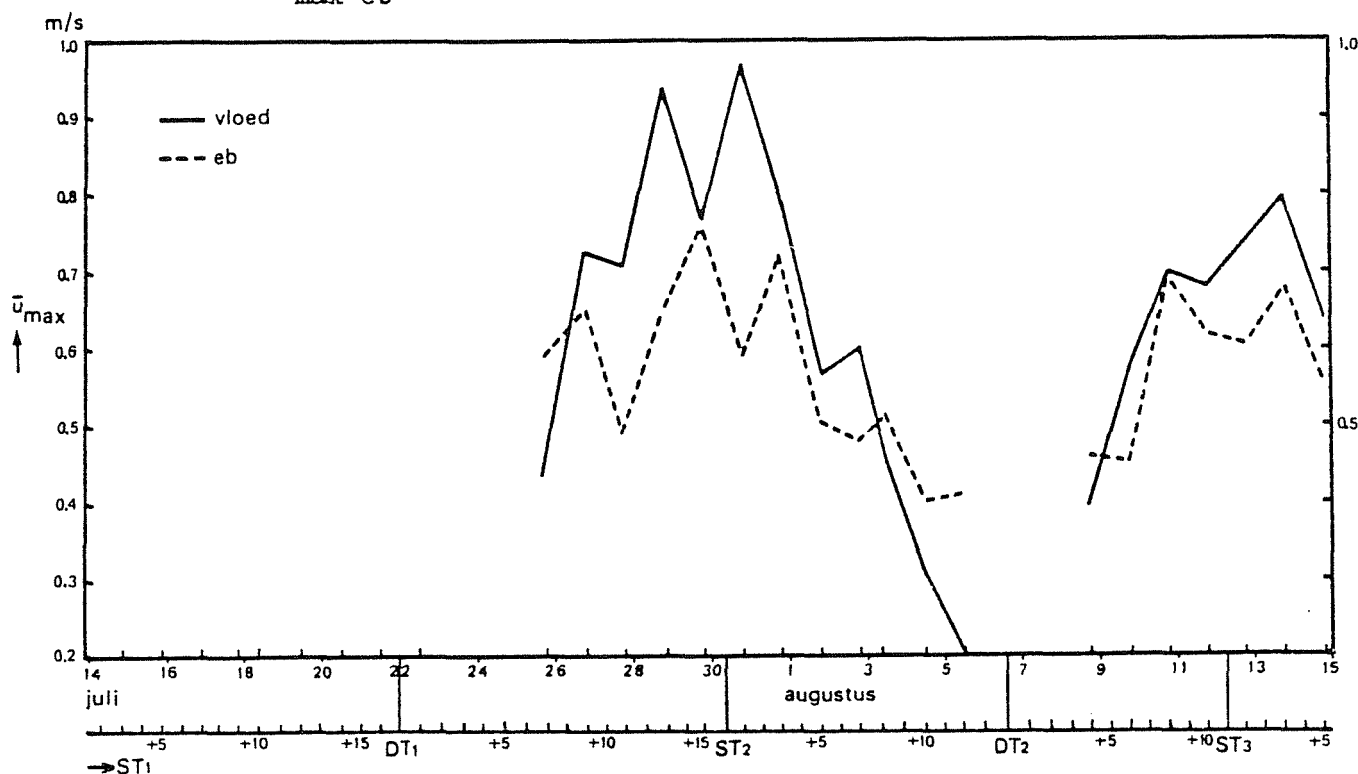


Fig. 2.16. Het verloop van $\bar{u}_{\max}$ gedurende de meetperiode op het quasi-ebribbelveld.

Figuur 2.17. toont het verloop van $u'_{w \max vl}$ en $u'_{w \max eb}$ van het vlakke deel op de plaat.

In 2.3.2.3. is reeds waargenomen dat de hoogste vloodsnelheid waarschijnlijk niet altijd is geregistreerd door de wadstroommeter. Dit verschijnsel wordt zeer duidelijk aangetoond in figuur 2.17. Juist in de oploophase naar springtij, als verwacht mag worden dat de snelheid zal toenemen, vindt een afname plaats van de vloodsnelheid. Zodra echter, om de een of andere reden, het water sneller steeg, kon de wadstroommeter een hogere, en misschien wel de hoogste vloodsnelheid registreren.

Desalniettemin kan gesteld worden dat $u'_{w \max vl} > u'_{w \max eb}$, mits het

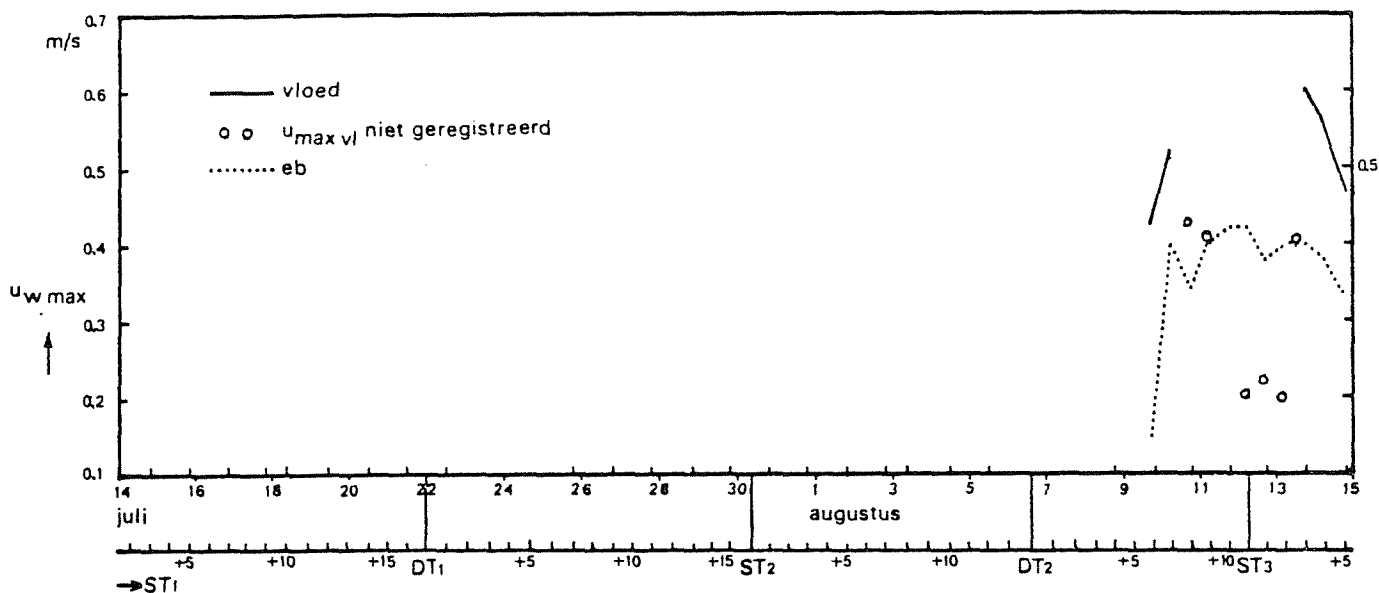


Fig. 2.17. Het verloop van $u_{w, \max}$ gedurende de meetperiode op het vlakke deel midden op de plaat.

de vloed-ebcycli betreft waarvan waarschijnlijk de hoogste vloodsnelheid is gemeten.

2.3.3.4. Effectiviteit

Tot nu toe is steeds de nadruk gelegd op de maximale snelheid. Dit is echter niet de enige snelheid die van belang is voor de dynamiek van een ribbel. Volgens Sundborg (1956), die een gewijzigde vorm van het diagram van Hjulström publiceerde, ligt de competente snelheid van het materiaaltransport tussen 0,20 en 0,50 m/s als wordt uitgegaan van de op de plaat gemeten D_{50} -waarde van 0,15 mm (zie fig. 2.18.).

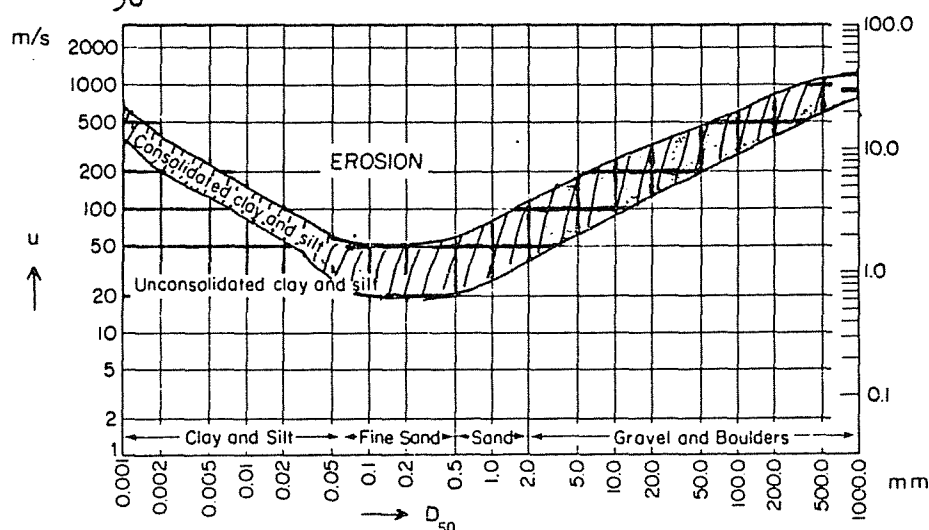


Fig. 2.18. Het Hjulström diagram. Het gearceerde gedeelte geeft de competente snelheid aan bij de desbetreffende korrelgrootte (naar Sundborg, 1956). Voor de Plaat van Ossenis is de D_{50} -waarde van 0,15 mm aangegeven, waardoor de competente snelheid tussen 0,20 en 0,50 m/s ligt.

Vooruitlopend op de in hoofdstuk 4 verkregen resultaten over de ribbelvoortplanting is voor de Plaat van Ossenisse gesteld dat de competente snelheid 0,45m/s bedraagt, ofwel: bij snelheden boven 0,45m/s begint de ribbel zich voort te planten. Dit verschijnsel geldt zowel voor de land- als voor de zeestelling (zie fig.2.19.a en b.).

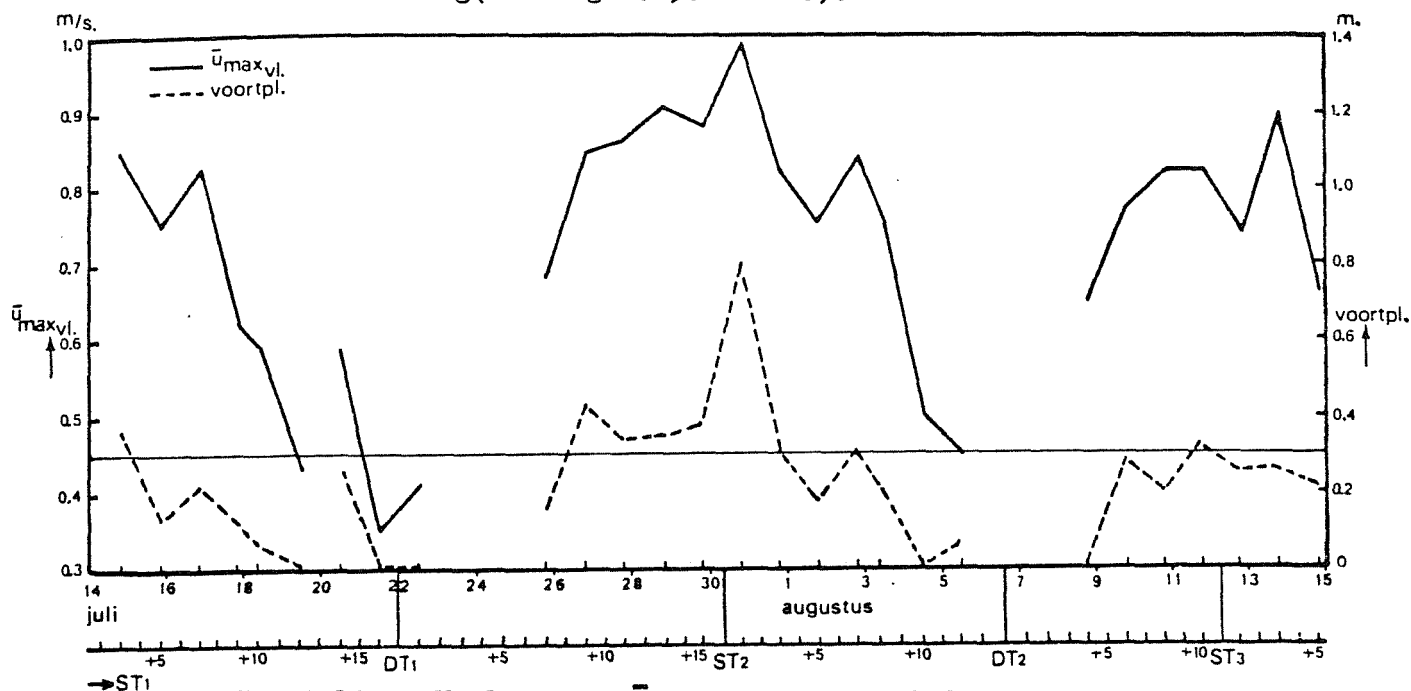


Fig.2.19.a. Verloop van $\bar{u}_{\max vl}$ en de ribbelvoortplanting bij de landstelling gedurende de meetperiode. De competente snelheid is gesteld op 0,45m/s.

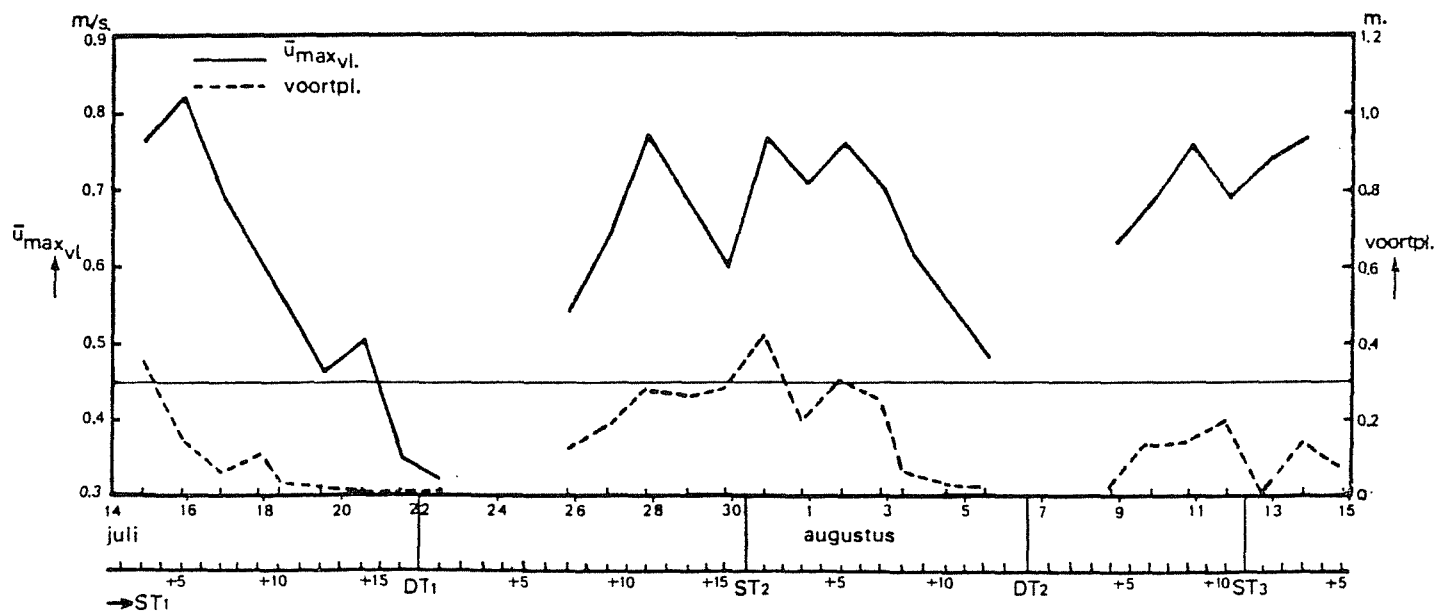


Fig.2.19.b. Verloop van $\bar{u}_{\max vl}$ en de ribbelvoortplanting bij de zeestelling gedurende de meetperiode. De competente snelheid is gesteld op 0,45m/s.

Naar aanleiding van deze drempelwaarde van 0,45m/s is het begrip "effectiviteit" ingevoerd, weergegeven door:

$$\int_{t=i}^{t=n} (\bar{u} > 0,45 \text{ m/s}) dt \quad \text{of} \quad \int_{t=i}^{t=n} (u'_w > 0,45 \text{ m/s}) dt \quad (m) \quad (2.6)$$

In deze integraal stelt het tijdstip $t=i$ het moment voor, waarop gemeten is, dat $\bar{u}$ of $u'_w > 0,45 \text{ m/s}$ en $t=n$ de meting dat $\bar{u}$ of $u'_w < 0,45 \text{ m/s}$. In dit onderzoek wordt de effectiviteit op de volgende wijze bepaald. De snelheidscurve wordt beschouwd als een histogram waarvan de x-as is onderverdeeld in tijdsintervallen van 10 minuten. Zodra in een vloed-eb-cyclus de drempelwaarde van 0,45m/s is overschreden, wordt de oppervlakte bepaald van het gebiedje tussen $t=i$ en $t=i+10$ minuten. Dit herhaalt zich tot de meting $t=n$ is bereikt (zie fig. 2.20).

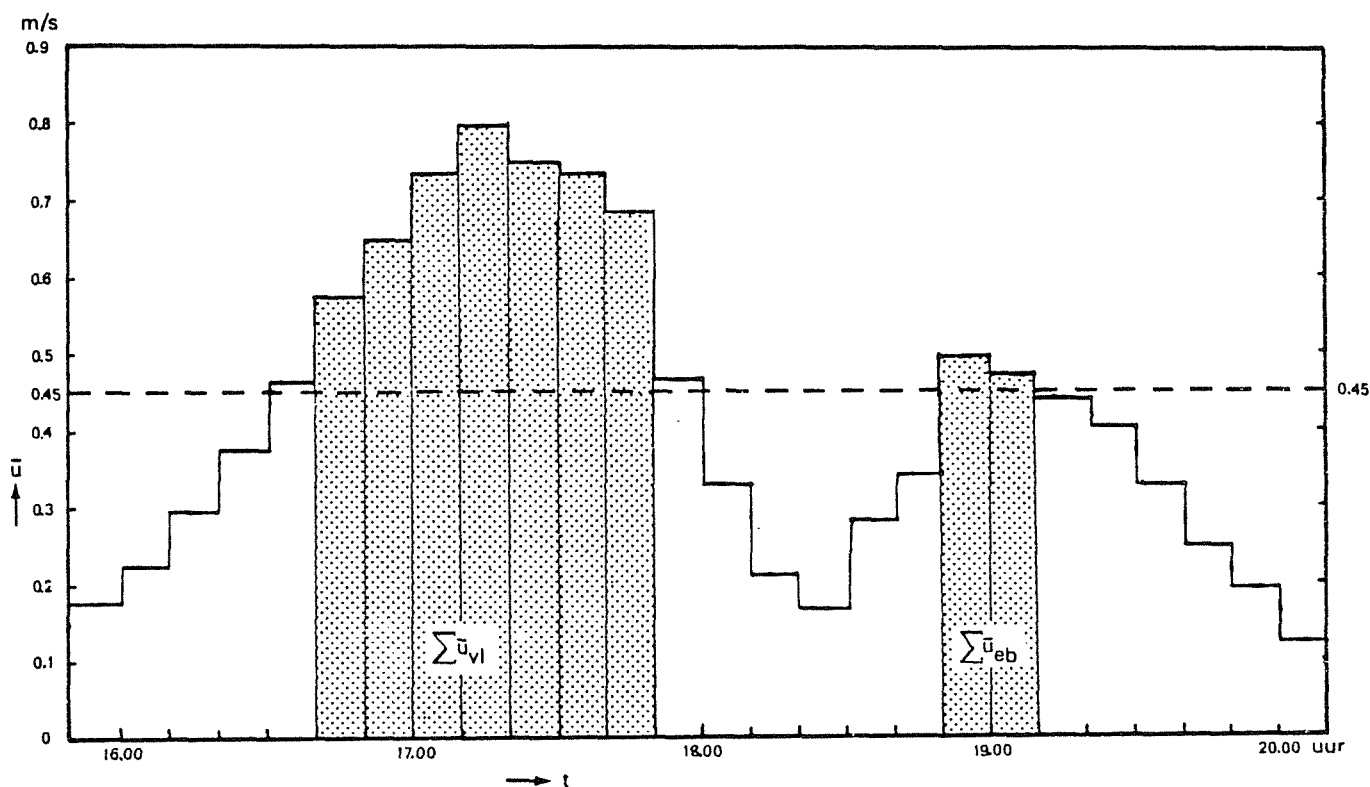


Fig. 2.20. Bepaling van de effectiviteit voor de vloed- en eb-periode op $ST_2 + 1$ bij de landstelling.

Het totaal van al deze oppervlakten vormt de grootte van de effectiviteit, welke ook wel geschreven wordt als $\sum \bar{u}$ of $\sum u'_w$.

De dimensie van de effectiviteit is meter ($\text{m/s} \cdot \text{m} = \text{m}$). Dit wordt duidelijk als de effectiviteit beschreven wordt als: de afstand die een waterdeeltje aflegt gedurende de periode dat de waterbeweging sterk genoeg is om ribbels te verplaatsen, te weten bij een snelheid groter dan 0,45 m/s.

Het zal duidelijk zijn dat de effectiviteit zowel voor de vloed- als eb-
periode kan worden bepaald.

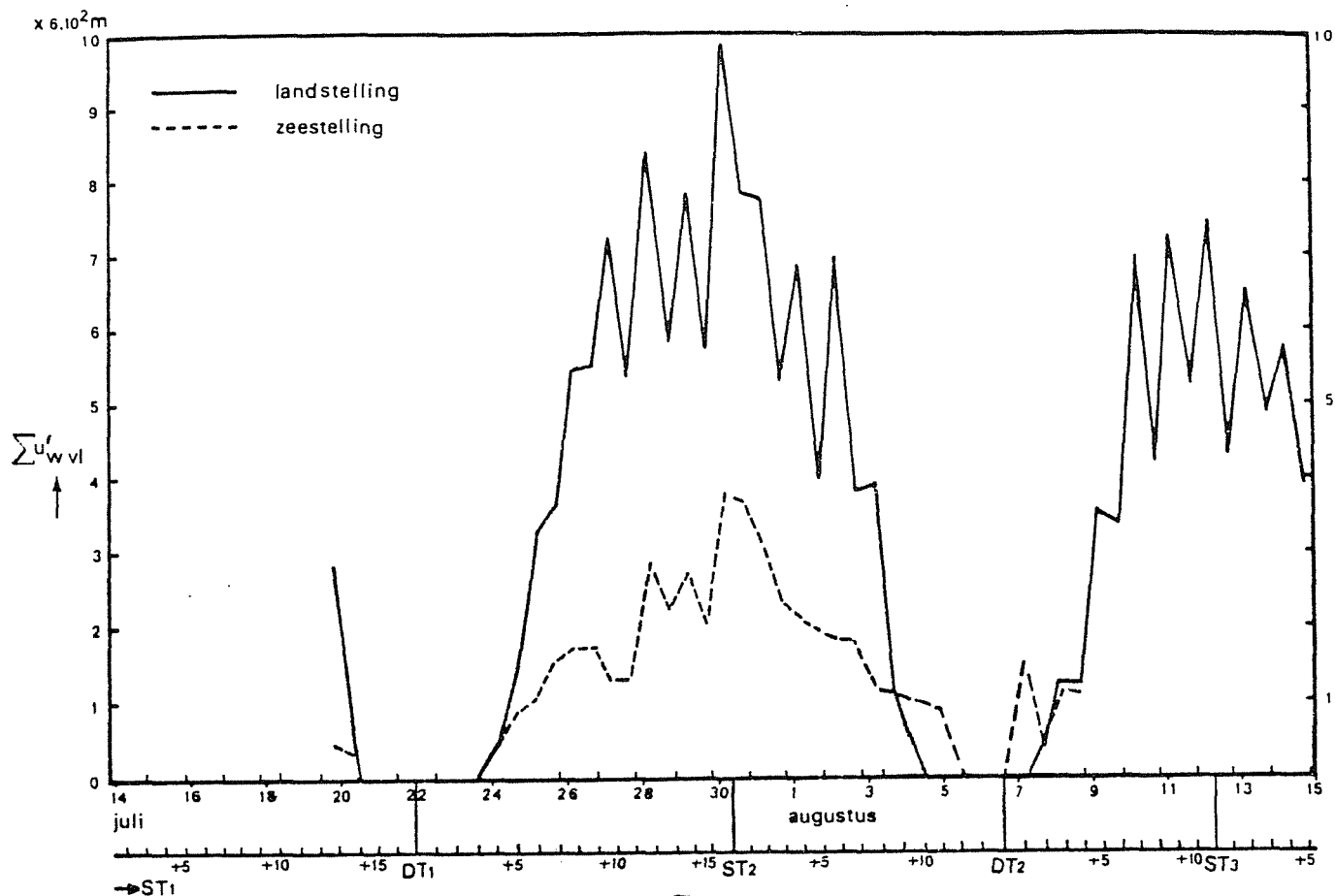


Fig. 2.21. Het verloop van $\Sigma u'_{w vl}$ gedurende de meetperiode
bij de land- en zeestelling.

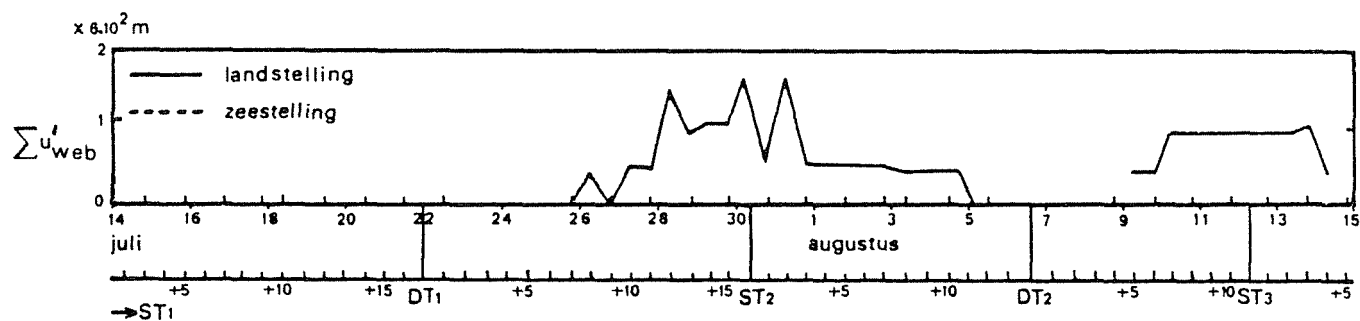


Fig. 2.22. Het verloop van $\Sigma u'_{w eb}$ gedurende de meetperiode
bij de land- en zeestelling.

In figuur 2.21. is de effectiviteit weergegeven van de vloedperiode bij
land- en zeestelling. Tezamen met de in fig. 2.22. weergegeven $\Sigma u'_{w eb}$
geeft figuur 2.21. voor de land- en zeestelling de volgende verschijn-
selen te zien:

1) de tendens dat gedurende springtij de effectiviteit van een vloed-eb-
cyclus groter is dan tijdens doortij,

- 2) de waarden van de effectiviteit zijn gedurende ST_2 groter dan tijdens ST_3 ,
- 3) de dagelijkse ongelijkheid komt het beste tot uiting in de effectiviteit van de vloedperiode gedurende springtij (dit geldt vooral bij de landstelling),
- 4) bij de zeestelling is de ebstroom altijd gering van snelheid, zodat de effectiviteit daar gelijk aan nul is.

Ook van het quasi-ebribbelsveld is de effectiviteit berekend en uitgezet in figuur 2.23.

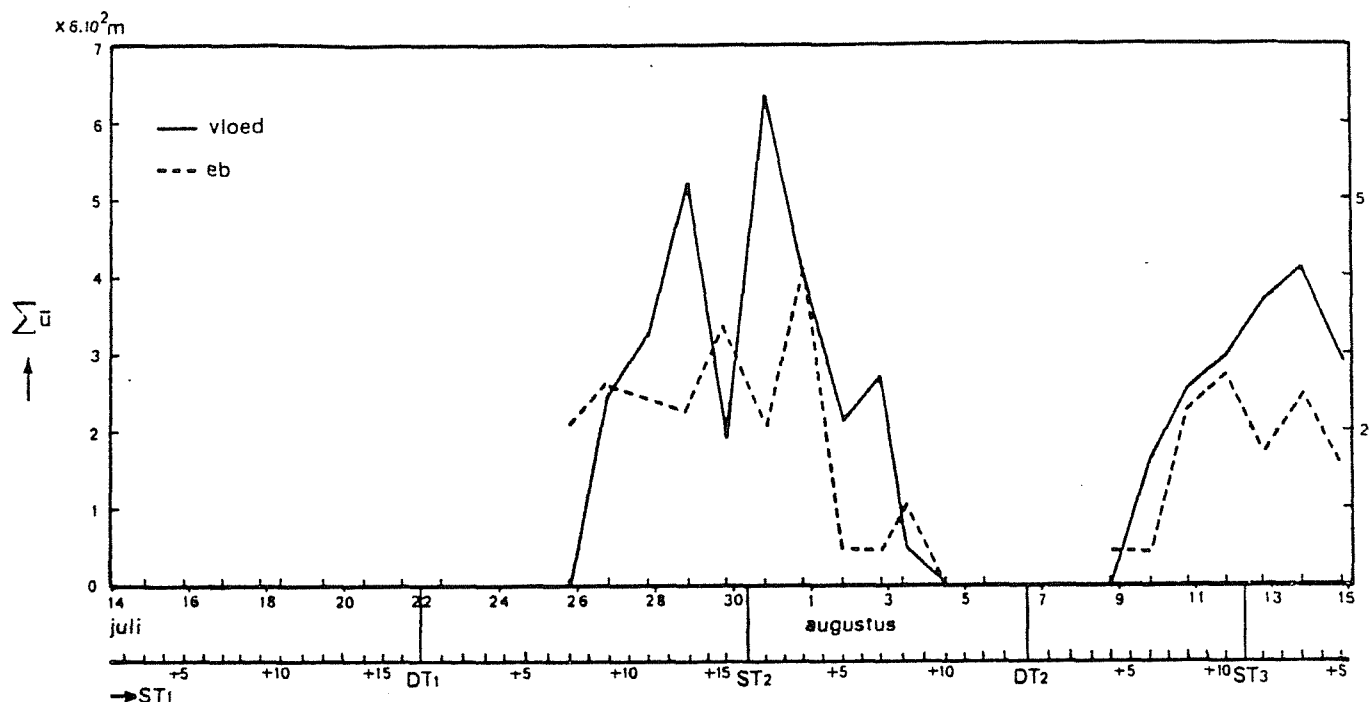


Fig.2.23. Het verloop van $\Sigma \bar{u}$ gedurende de meetperiode op het quasi-ebribbelsveld.

De hieraan gebonden conclusies luiden:

- 1) de effectiviteit is gedurende springtij groter dan tijdens doottij,
- 2) de waarden van de effectiviteit zijn tijdens ST_2 groter dan tijdens ST_3 ,
- 3) gedurende doottij geldt enkele malen dat $\Sigma \bar{u}_{eb} \gg \Sigma \bar{u}_{v1}$,
- 4) het verschil in $\Sigma \bar{u}_{v1}$ tussen doottij en springtij is groter dan het verschil in $\Sigma \bar{u}_{eb}$ tussen beide getijden.

De meest opvallende kenmerken van de waterbeweging, zoals deze door de maximale snelheid en de effectiviteit worden geuit, zijn:

- de dagelijkse ongelijkheid van het getij, die vooral duidelijk aanwezig is bij de landstelling gedurende springtij,
- het hoge en lage springtij ofwel het verschijnsel dat gedurende ST_2 (het nieuwe maan springtij; zie fig.1.6) hogere waarden voor de snelheid en de effectiviteit worden bereikt dan tijdens ST_3 (het volle maan springtij). Vanwege de hogere snelheids- en effectivi-

teitswaarden zal ST_2 voortaan het hoge springtij en ST_3 het lage springtij worden genoemd.

2.3.3.5. Stroomrichting en sedimenttransport

In de figuren 2.24., 2.25. en 2.26. zijn van de dagcycli gedurende het hoge springtij ST_2 de stroomroosjes getekend van land- en zeestelling en het quasi-ebribberveld. Voor een uitgebreide beschrijving van de legenda wordt verwezen naar figuur 2.2. In deze stroomroosjes is behalve de stroomrichting ook de hoeveelheid getransporteerd sediment weergegeven, zoals deze wordt berekend volgens de formule van Engelund-Hansen. Deze parameters zijn procentueel uitgedrukt, hetgeen als voordeel heeft dat van één bepaald meetveld de dagcycli onderling vergeleken kunnen worden.

Voor de landstelling valt op dat

- rond doodtij(ST_1+14) weinig en rond springtij(DT_1+15) veel sediment wordt vervoerd,
- rond doodtij de stroomrichting 120° is, terwijl rond springtij naast de richting van 120° ook de richting van $90-100^\circ$ aanwezig is,

Voor de zeestelling valt op dat

- rond doodtij(ST_2+12) minder sediment wordt vervoerd dan rond springtij (DT_1+13),
- rond springtij gedurende de vloedperiode een tweetal stroomrichtingen aanwezig zijn, te weten 90° en 135° .

Voor het quasi-ebribberveld valt op dat

- rond doodtij weinig en rond springtij veel sediment wordt vervoerd,
- de stroomrichtingen tijdens de ebperiode een grote variatie vertonen, die begint met 280° en eindigt met 330° .

Algemeen kan gesteld worden dat tijdens een doodtij-springtijcyclus de stroomrichtingen op de diverse meetvelden vrijwel gelijk blijven.

In tegenstelling tot de onderlinge vergelijking van de dagcycli van één bepaalde meetlocatie is het in de figuren 2.27. en 2.28. mogelijk om de stroomrichtingen van de diverse meetlocaties te vergelijken. Daartoe zijn, voor zover mogelijk, van één bepaalde vloed-ebcyclus rond springtij en rond doodtij de absolute tijdsduur van de stroomrichtingen uitgezet.

Uit de figuren 2.27. en 2.28. blijkt, behalve de reeds genoemde punten, nog -dat op het vlakke en tevens zeer hoog gelegen deel, midden op de plaat,

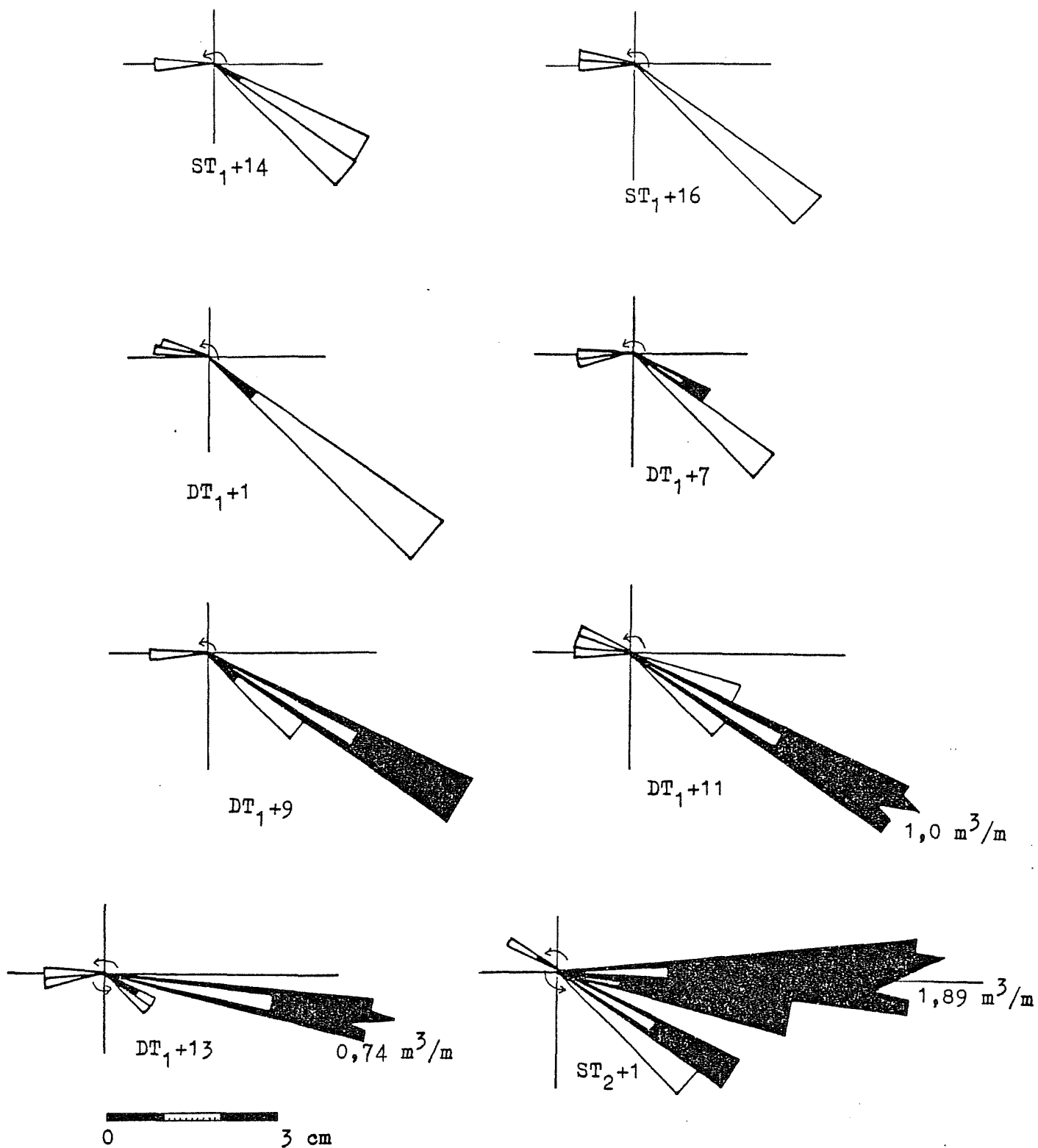


Fig.2.24. Stroomroosjes die de stroomrichting en de hoeveelheid getransporteerd sediment aangeven gedurende het eerste gedeelte van het hoge springtij ST₂ bij de landstelling.
 Schaal: stroomrichting: 1cm = 1% van de totale tijdsduur = 35 minuten
s: 1mm = 1% van het totaal = $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$.

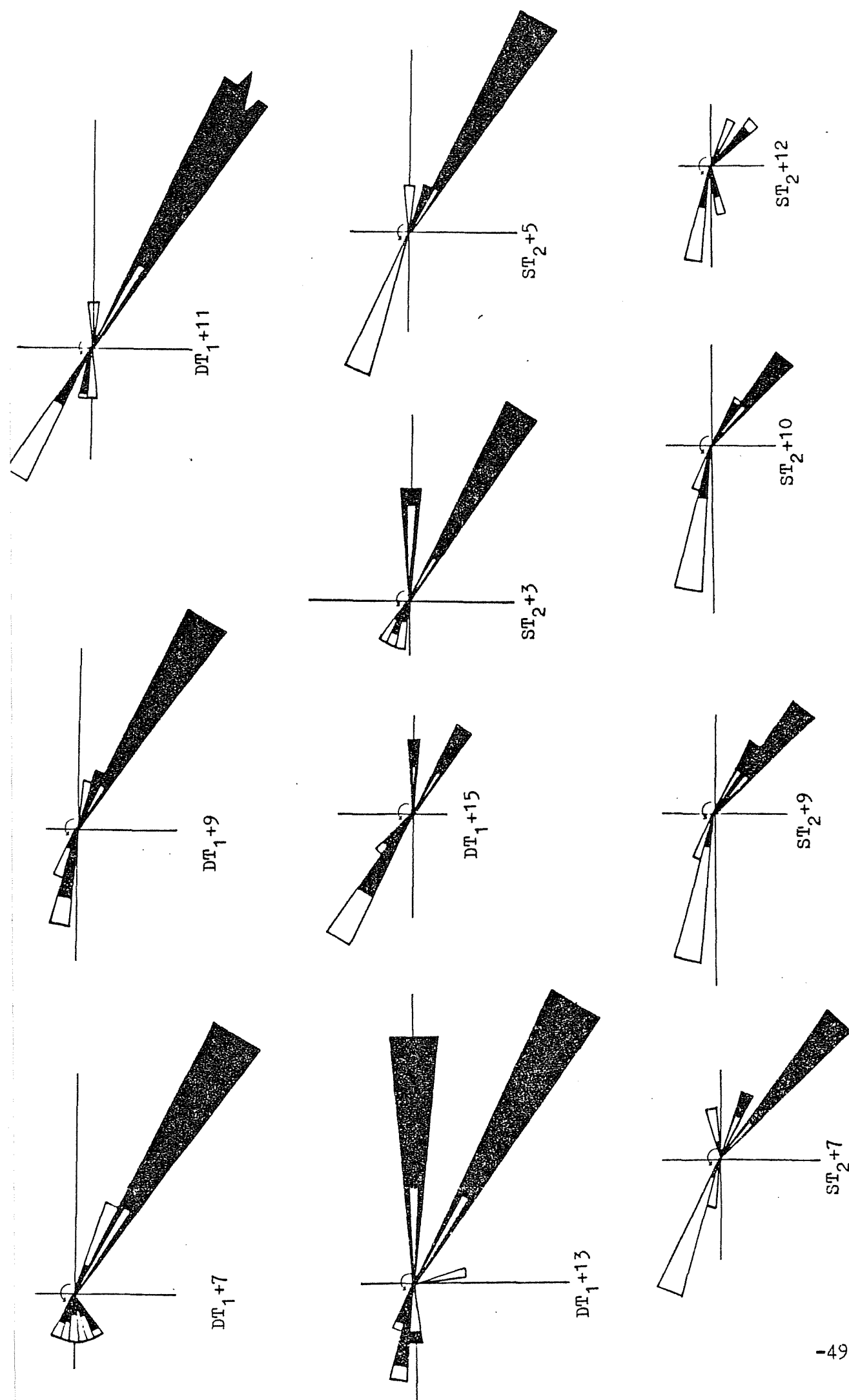


Fig.2.25. Stroomroosjes die de stroomrichting en de hoeveelheid getrans-
 porteed sediment aangeven gedurende het hoge springtij ST₂ bij
 de zeestelling.
 Schaal: stroomrichting: 1 cm = 1% van de totale tijdsduur=20 min.
s : 1 mm = 1% van het totaal=2,2.10⁻³ m.

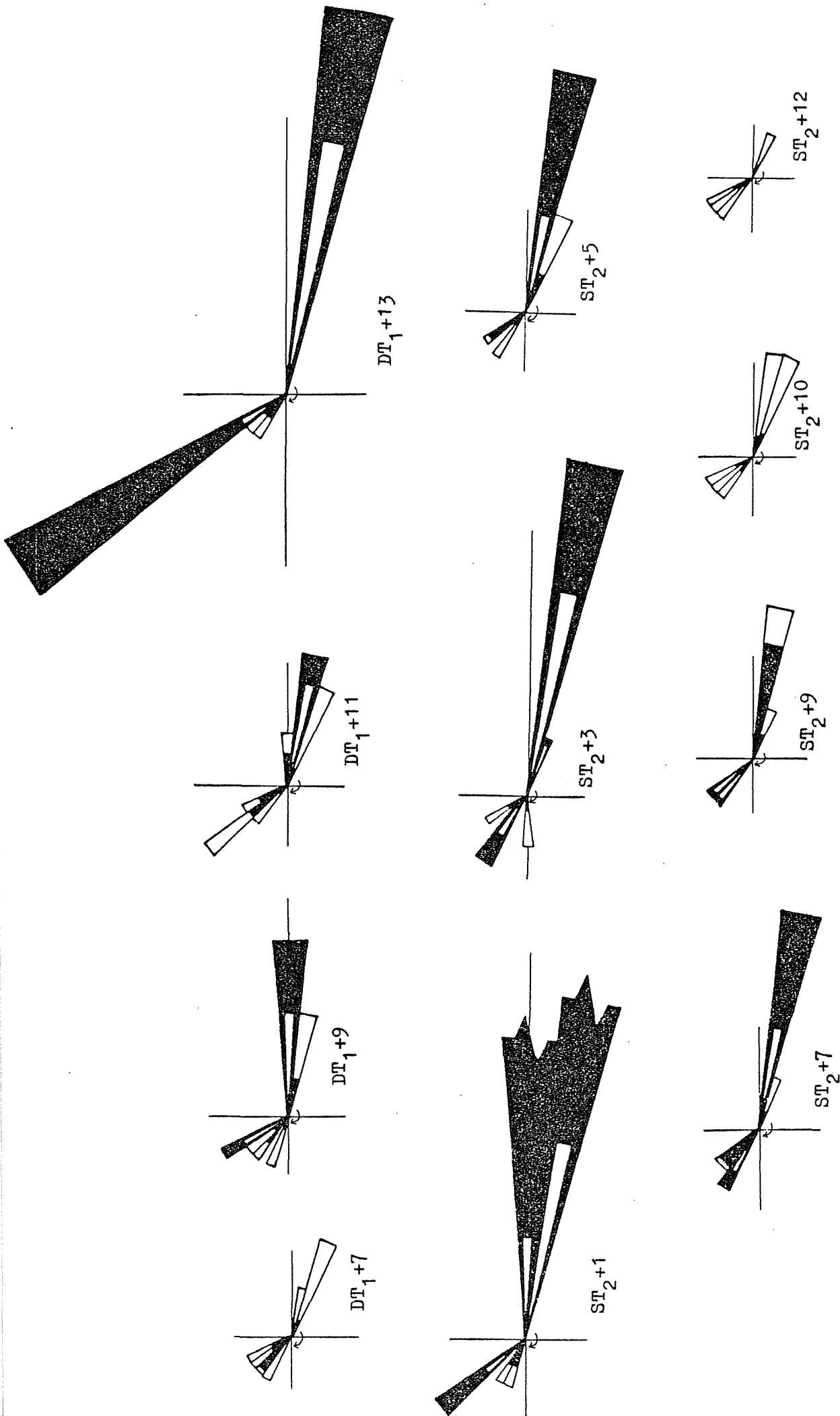


Fig.2.26. Stroomroosjes die de stroomrichting en de hoeveelheid getrans-
 porteed sediment aangeven gedurende het hoge springtij ST_2 op
 het quasi-ebribbelsveld.
 Schaal: stroomrichting: 1 cm = 1‰ van de totale tijdsduur = 17 min.,
s : 1 mm = 1‰ van het totaal = $28,9 \cdot 10^{-3}$ m.

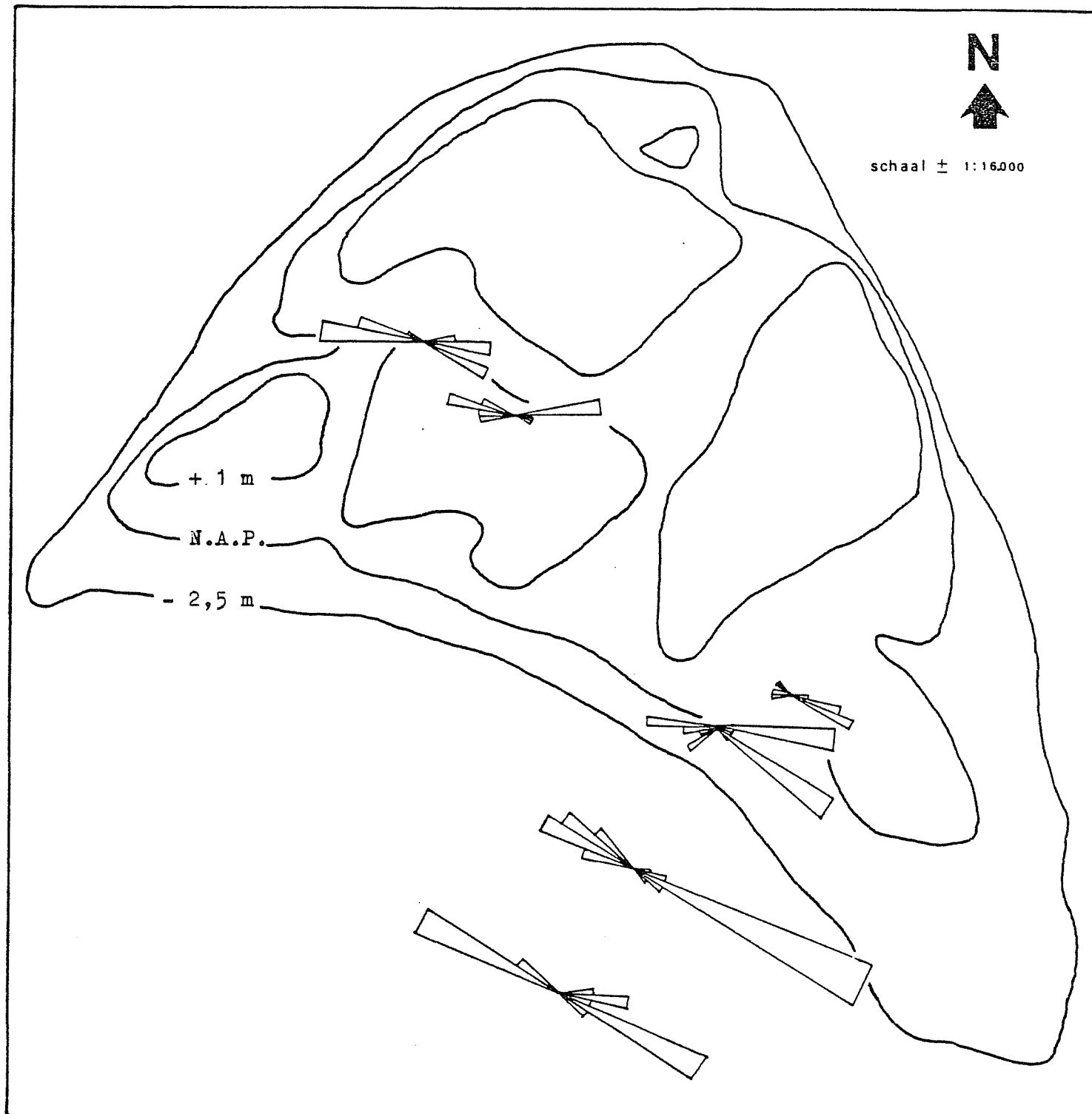


Fig.2.27. Stroomrichtingen op de Plaat van Ossenissee tijdens springtij: land-, zeestelling en de schepen Schenge en Swalinge tijdens DT_1+13 , het quasi-ebribbeld veld tijdens ST_2+3 en het vlakke deel tijdens ST_3+3 .
Schaal van de stroomroosjes: 3mm=10 minuten.

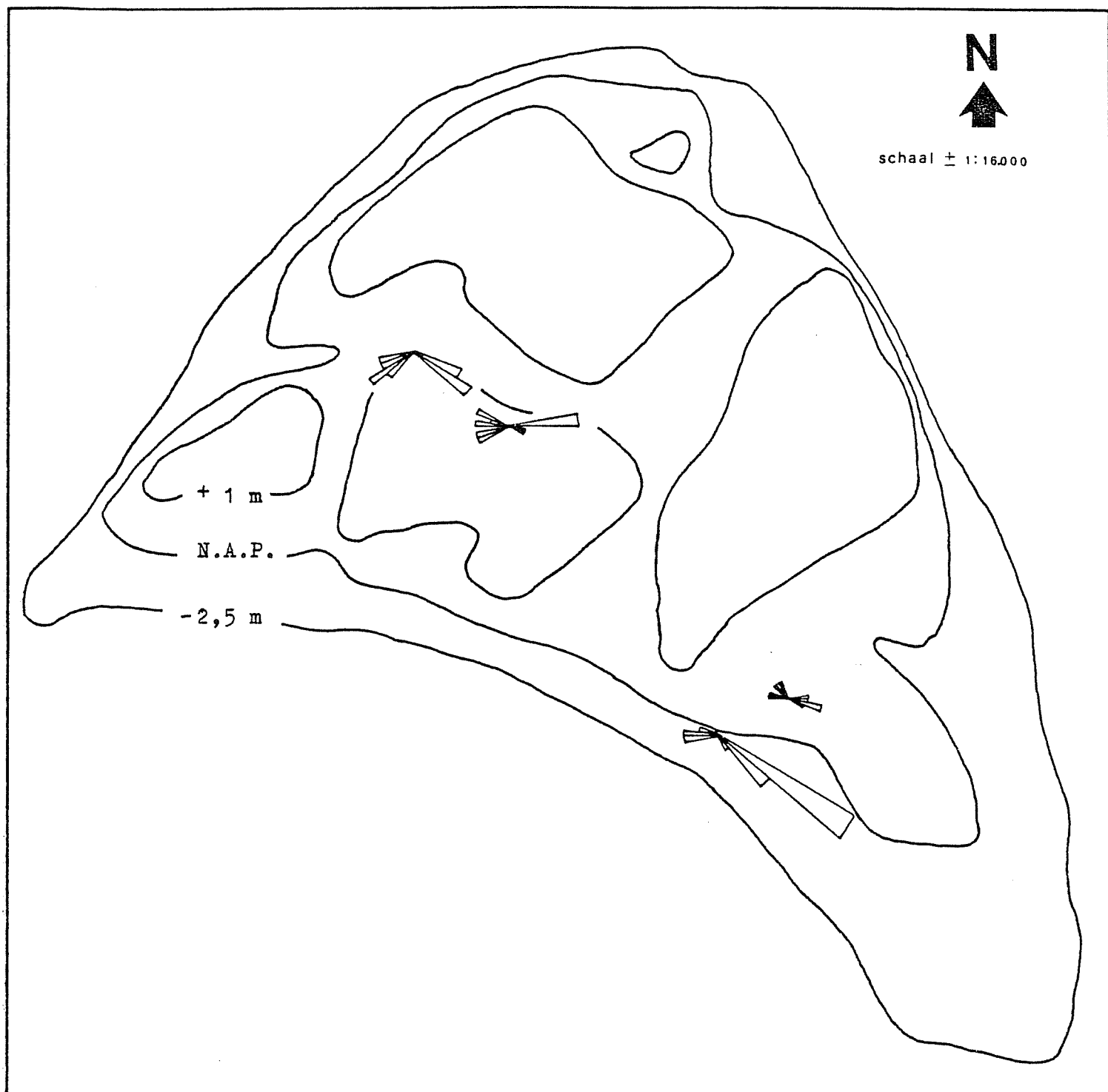


Fig.2.28. Stroomrichtingen op de Plaat van Ossenissee
 tijdens doodtij: land- en zeestelling tijdens ST_1+16 ,
 het quasi-ebribberveld tijdens ST_2+12 en het vlakke
 deel tijdens ST_3+3 .
 Schaal van de stroomroosjes: 3mm=10 minuten.

zowel tijdens springtij als tijdens doottij de vloedstroomrichting 90° is,
-dat de meetvelden tijdens springtij langer onder water staan dan tijdens doottij,
-dat er op het quasi-ebribbelveld, behalve het zojuist genoemde verschil in tijdsduur van onder water staan, geen noemenswaardige verschillen bestaan in stroomrichting tussen springtij en doottij,
-dat in het Uitloopgat van Ossenissee de ebrichting precies tegengesteld is aan de vloedrichting. Dit blijkt uit de door de R.W.S. schepen Schenge en Swalinge, tijdens springtij, verrichte metingen in deze geul.

Samenvattend geldt voor het sedimenttransport het volgende:

Bij de drie meetlocaties waar het sedimenttransport s is bepaald, vindt dit grotendeels plaats gedurende de vloedperiode (zie fig. 2.29., 2.30. en 2.31.). Dit bleek ook al uit de stroomroosjes (zie fig. 2.24., 2.25. en 2.26.).

Bij de landstelling en op het quasi-ebribbelveld treedt rond springtij het meeste transport op. Bij de zeestelling is deze tendens in veel geringere mate aanwezig.

Daarnaast toont het verloop van s bij de landstelling en op het quasi-ebribbelveld dat gedurende het hoge springtij ST_2 veel meer sediment wordt getransporteerd dan tijdens het lage springtij ST_3 .

Enige voorzichtigheid is geboden bij het hanteren van de absolute waarden van het sedimenttransport op het quasi-ebribbelveld (zie 2.3.2.2.). Dit houdt echter niet in dat de aldaar geconstateerde tendenzen niet meer geldig zouden zijn.

2.3.3.6. Waterhoogte

Op een enkele uitzondering na geldt voor alle meetlocaties dat het verloop van de waterstand t.o.v. N.A.P. uniform is met het verloop van de in Hansweert geregistreerde waterstanden (zie fig. 2.32.).

Uiteraard verschillen de meetlocaties wel in absolute waterhoogtes van elkaar; dit komt in de figuren 2.6. t/m 2.8. tot uiting.

De bovengenoemde uitzonderingen betreffen voornamelijk de landstelling, waar de meetverticaal tweemaal werd gepasseerd door een trog, direct gevolgd door de kam van een volgende ribbel. Het daardoor ontstane hoogteverschil ligt voor een vloed-ebcyclus in de orde van grootte van 0,2m. Het passeren van een trog bij de zeestelling en op het quasi-ebribbelveld leverde slechts een hoogteverschil op van maximaal 0,1m per vloed-ebcyclus.

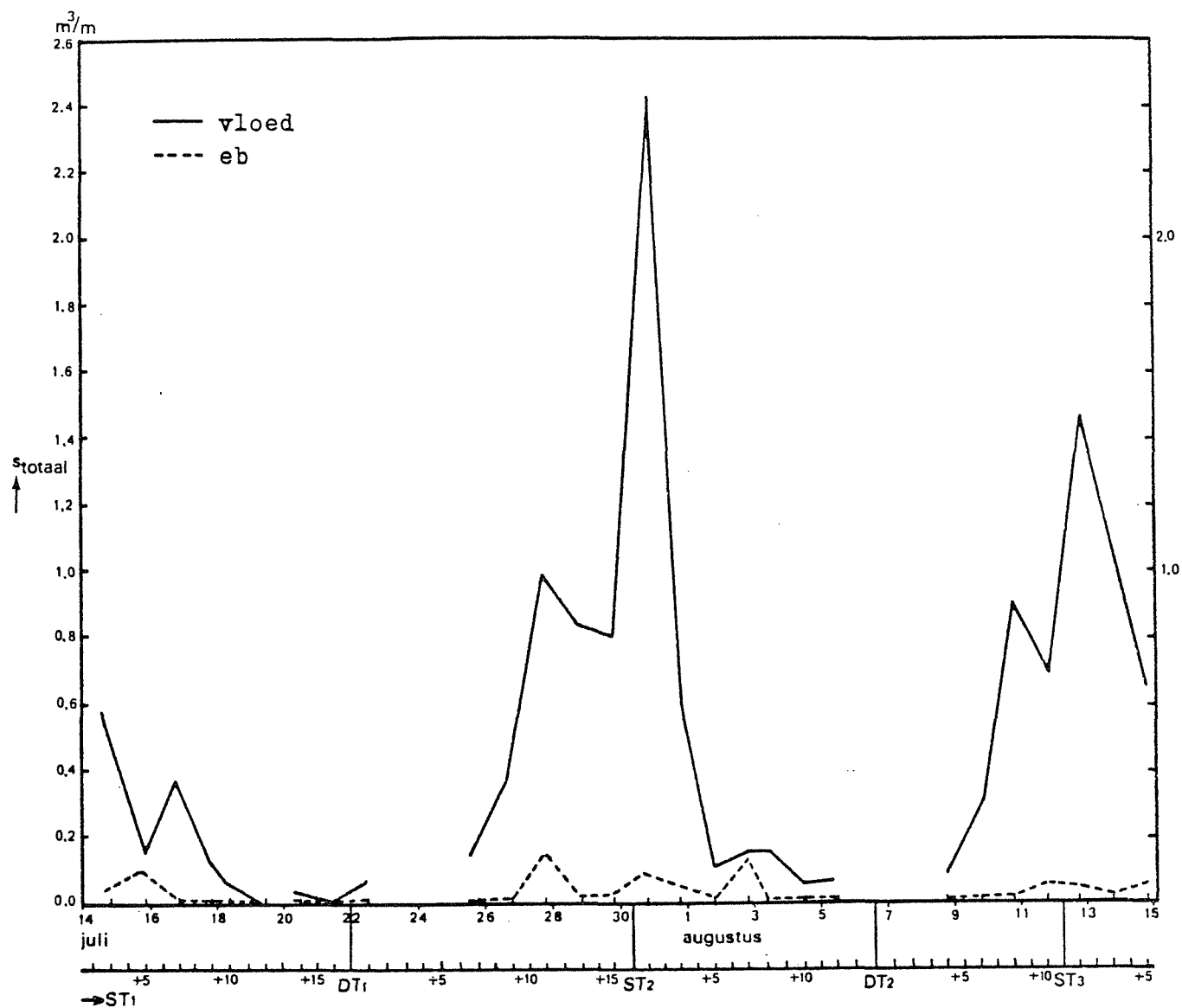


Fig.2.29. Verloop van de totale s per vloed- of ebperiode gedurende de meetperiode bij de landstelling.

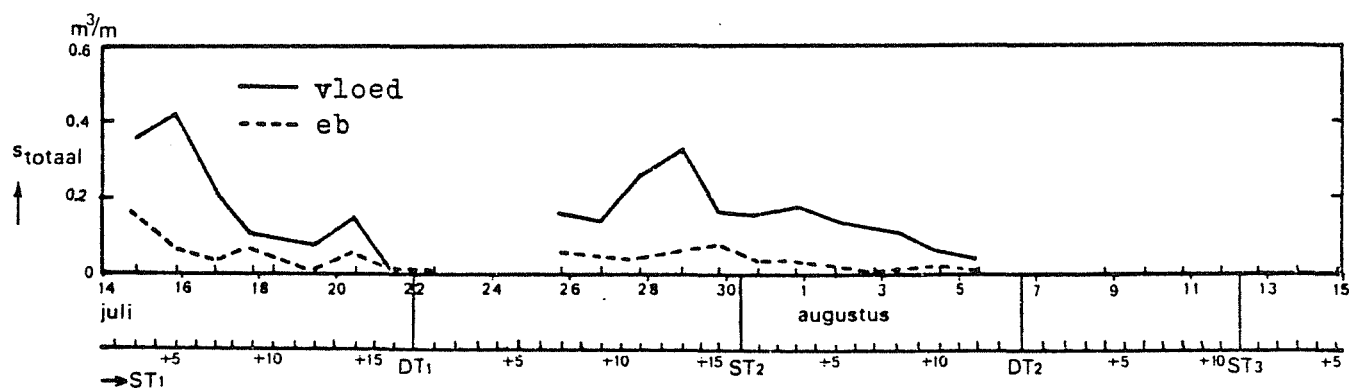


Fig.2.30. Verloop van de totale s per vloed- of ebperiode gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

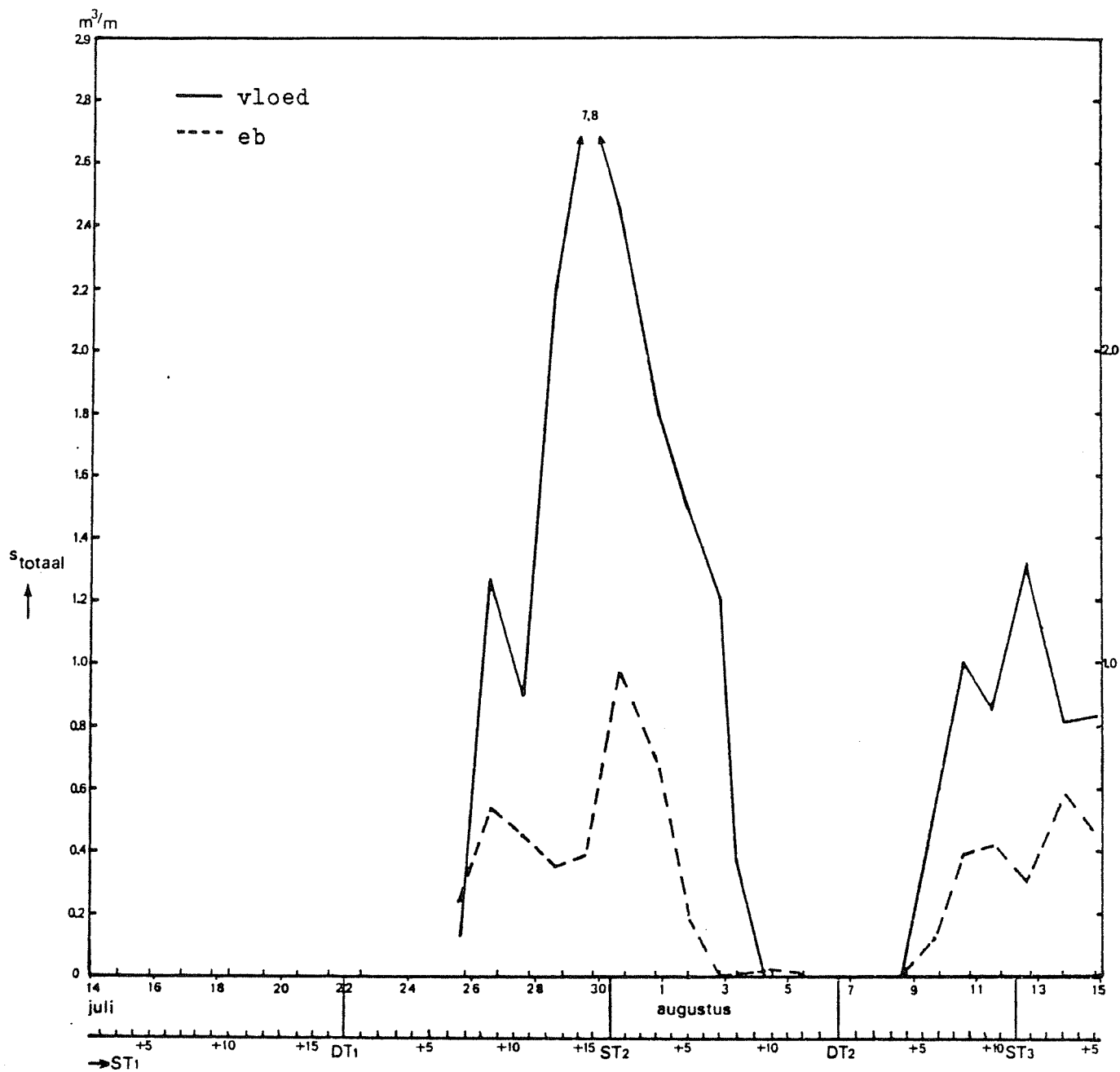


Fig.2.31. Verloop van de totale s per vloed- of ebperiode gedurende de meetperiode op het quasi-ebribbelveld.

Uitgaande van een fout in de meting en berekening van H van ongeveer 0,1m, kan gesteld worden dat figuur 2.32. representatief is voor alle meetlocaties.

In figuur 2.33. is enerzijds de absolute waarde van het verschil tussen LW en het daarop volgende HW bij Hansweert ($|LW-HW|$) uitgezet en anderzijds het snelheidsverloop bij de landstelling. Duidelijk blijkt dat beide varia-

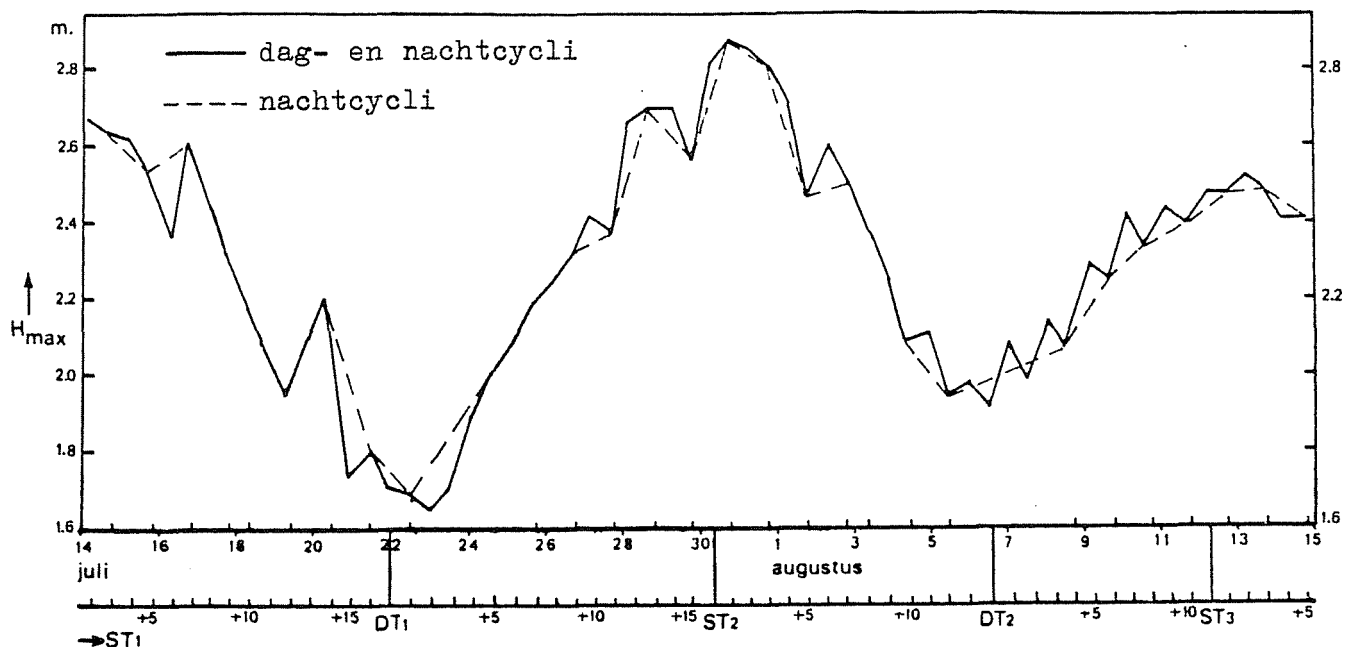


Fig.2.32. Verloop van de in Hansweert geregistreeerde maximale waterhoogten gedurende de meetperiode.

belen eenzelfde verloop vertonen. De relaties tussen deze en andere variabelen van de waterbeweging zijn weergegeven in tabel 2.2. De correlatiecoëfficiënten zijn alle hoog ($r = +0,90$). Hieruit kan geconcludeerd worden dat $u'_{w \max vl}$ wordt bepaald door het verschil tussen LW en HW.

TABEL 2.2.

LANDSTELLING	aantal getal- len paren	vergelijking $u'_{w \max vl}$ (cm/s) $\sum u'_{w vl}$ (m) $H_{\max}$ (cm)	correlatie- coëfficiënt
$ LW-HW \leftrightarrow u'_{w \max vl}$	51	$u'_{w \max vl} = 0,42 (LW-HW) - 118,5$	0,94
$H_{\max} \leftrightarrow u'_{w \max vl}$	51	$u'_{w \max vl} = 0,66 H_{\max} - 76$	0,89
$H_{\max} \leftrightarrow \bar{u}_{\max vl}$	28	$\bar{u}_{\max vl} = 0,52 H_{\max} - 50,4$	0,89
$H_{\max} \leftrightarrow \sum u'_{w vl}$	43	$\sum u'_{w vl} = 52,3 H_{\max} - 9723,6$	0,87
ZEESTELLING			
$ LW-HW \leftrightarrow u'_{w \max vl}$	38	$u'_{w \max vl} = 0,29 (LW-HW) - 66$	0,94
$H_{\max} \leftrightarrow u'_{w \max vl}$	38	$u'_{w \max vl} = 0,42 H_{\max} - 34,22$	0,93
$H_{\max} \leftrightarrow \bar{u}_{\max vl}$	28	$\bar{u}_{\max vl} = 0,38 H_{\max} - 25,3$	0,84
$H_{\max} \leftrightarrow \sum u'_{w vl}$	32	$\sum u'_{w vl} = 16,33 H_{\max} - 2848,6$	0,91

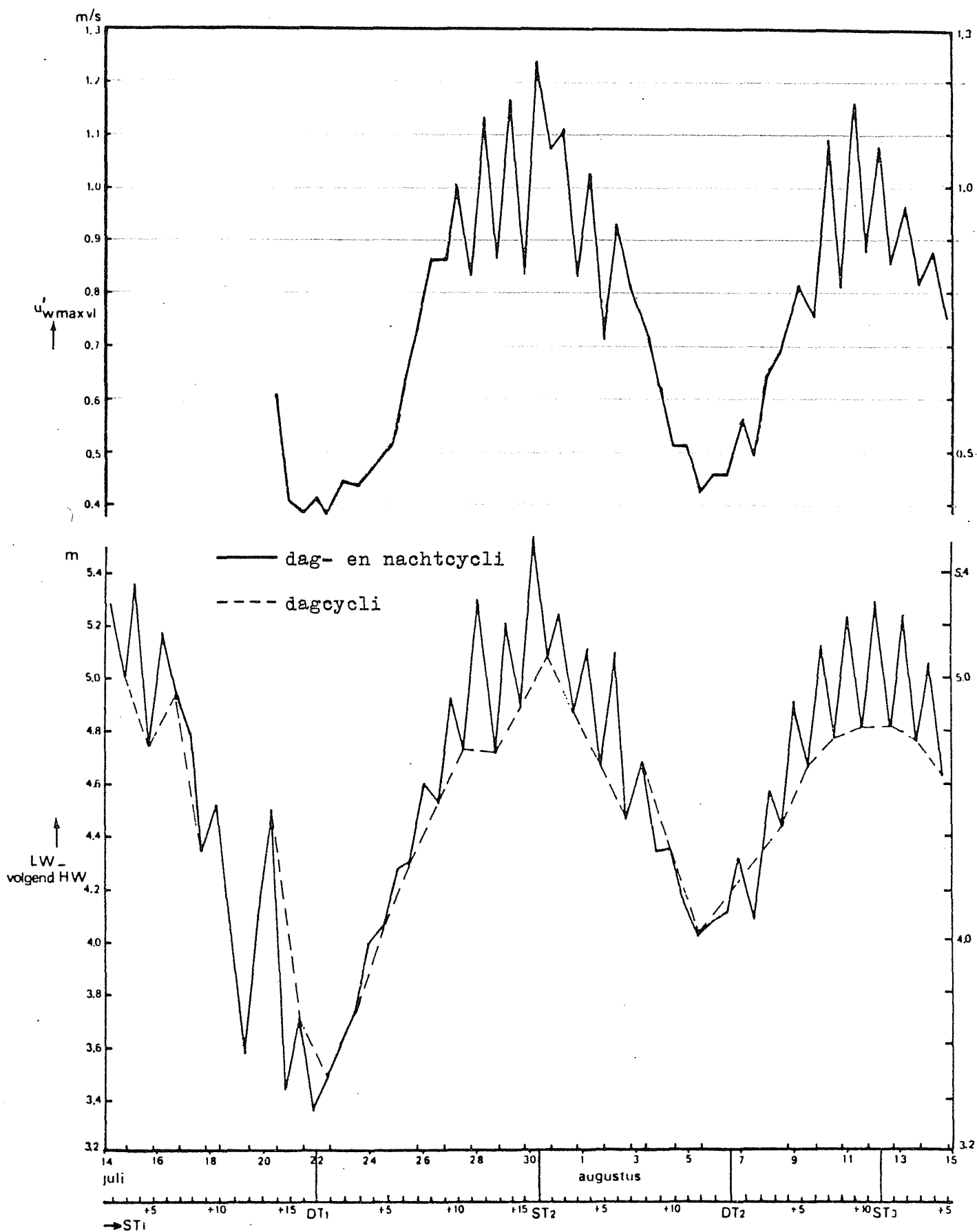


Fig.2.33. Verloop van (LW-HW) en $u'_{w \max vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

2.3.3.7. Totale ruwheidswaarde en schuifspanningssnelheid

Ct en $u_{\#}$ staan in direct verband met elkaar d.m.v. de formule $Ct = \frac{\bar{u}}{u_{\#}} \sqrt{g}$. Voor een enigszins objectieve benadering zijn daarom de waarden van deze twee variabelen genomen die bij $\bar{u}_{\max}$ behoren. De formule van Ct luidt dan aldus: $Ct_{\frac{\bar{u}_{\max}}{u_{\#_{\max}}}} = \frac{\bar{u}_{\max}}{u_{\#_{\max}}} \sqrt{g}$. (2.7)

Beide variabelen zijn voor de diverse meetlocaties uitgezet in de figuren 2.34 t/m 2.36.

Aangezien $\bar{u}_{\max}$ minder fluctueert dan de bij deze $\bar{u}_{\max}$ behorende $u_{\#}$, vertoont Ct veelal de omgekeerde tendens van $u_{\#}$.

Reeds in 2.2.1.5. is gesteld dat een hoge Ct-waarde overeenkomt met een geringe ruwheid van de bodem.

Bij de landstelling blijkt de Ct-waarde vooral gedurende het tweede gedeelte van ST₂ hoog te zijn (zie fig. 2.34.). De waterbeweging heeft de bodem dan zodanig veranderd dat deze minder ruw ofwel "gladder" is geworden. Dit alles hangt samen met de in hoofdstuk 6 te behandelen "geërfde" bodemvormen uit een vorig springtij.

In mindere mate geldt het bovenstaande voor de zeestelling. Hoewel daar totaal andere bodemvormen aanwezig zijn, heeft ook hier Ct gedurende het tweede deel van ST₂ over het algemeen hogere waarden (zie fig. 2.35.). Voor het quasi-ebribbenveld valt op dat de waarden van Ct over het algemeen laag zijn, hetgeen overeenkomt met een grote ruwheid. Een tendens zoals bij land- en zeestelling is hier niet aanwezig. Er is eerder sprake van een tegenovergelede tendens gedurende het tweede deel van ST₂. Wellicht wordt dit gebied gekenmerkt door lage Ct-waarden (zie fig. 2.36.).

2.3.3.8. Froude getal

Voor iedere meetlocatie is slechts één Froude getal per dagcyclus berekend, namelijk voor het moment dat de snelheid maximaal is. De gebruikte formule luidt dan aldus: $Fr = \frac{\bar{u}_{\max}}{\sqrt{g H_{\bar{u}_{\max}}}}$ (2.5)

In figuur 2.37. toont Vavoni (1974) de relatie tussen het Froude getal en de bodemvormen bij een bepaalde verhouding tussen H en D₅₀. Deze grafiek is samengesteld uit een groot aantal laboratorium- en veldmetingen. De metingen zijn echter uitgevoerd in stationaire stromingen.

In figuur 2.38. zijn de grenzen tussen de verschillende bodemvormen uit figuur 2.37. overgenomen. Ondanks het feit dat het in figuur 2.37. grenzen

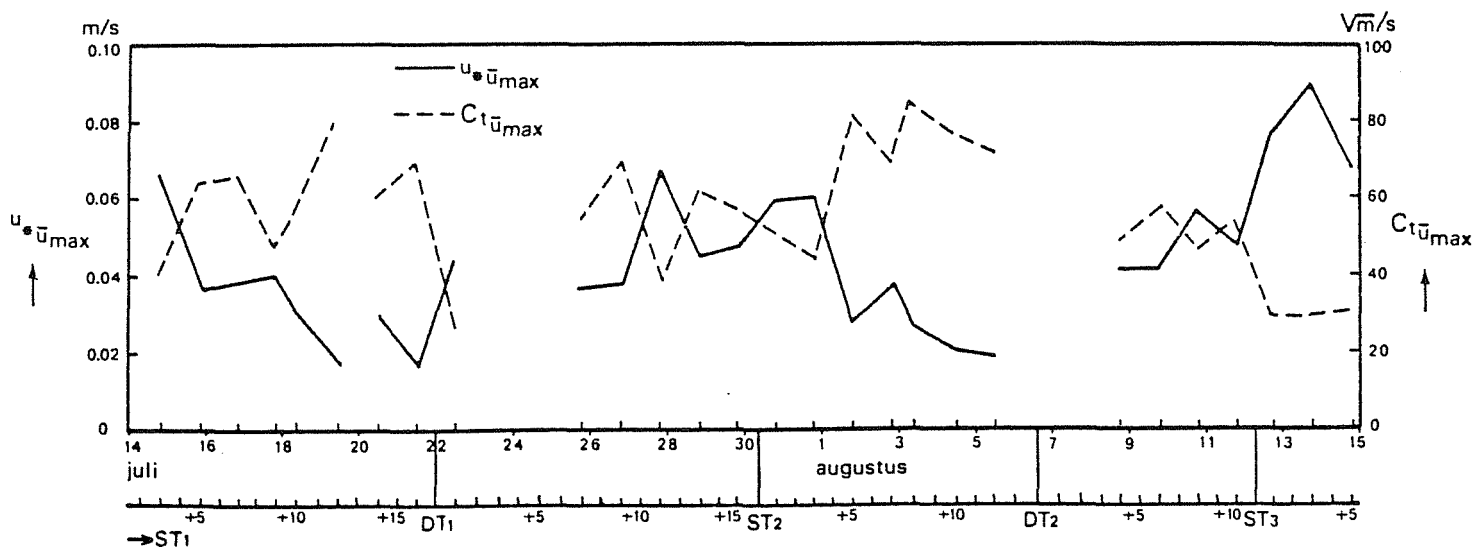


Fig.2.34. Verloop van de bij $\bar{u}_{\max}$ behorende waarden van C_t en $u_{\pm}$ gedurende de meetperiode bij de landstelling.

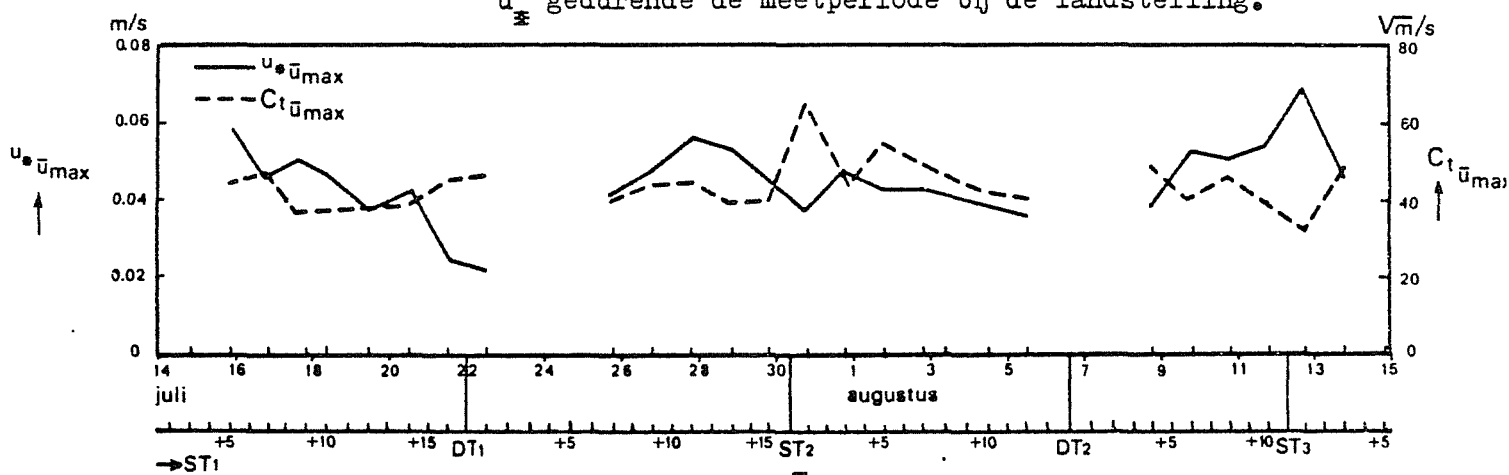


Fig.2.35. Verloop van de bij $\bar{u}_{\max}$ behorende waarden van C_t en $u_{\pm}$ gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

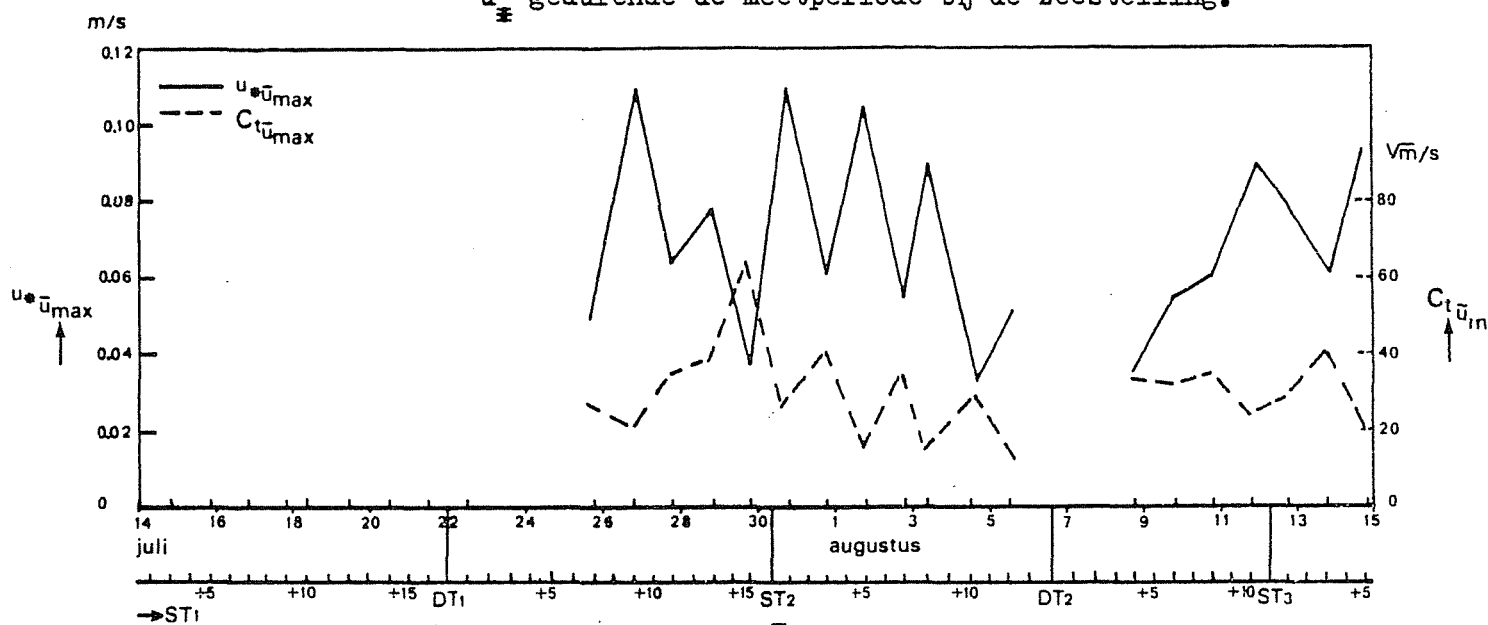


Fig.2.36. Verloop van de bij $\bar{u}_{\max}$ behorende waarden van C_t en $u_{\pm}$ gedurende de meetperiode op het quasi-ebribbelveld.

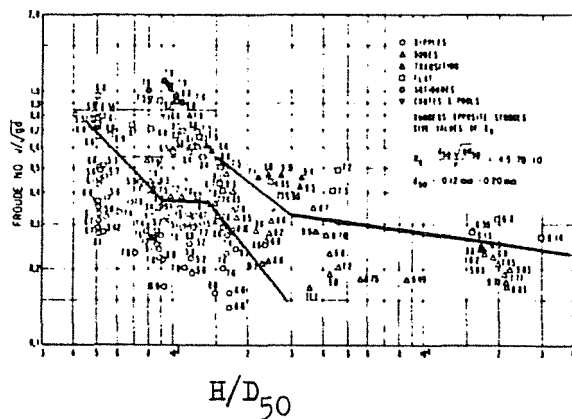


Fig.2.37.

Verhouding tussen het Froude getal en H/D_{50} . Hierdoor is het mogelijk een onderscheid te maken tussen de diverse bodemvormen. De hier getrokken grenzen gelden voor het bereik van D_{50} van 0,12 tot 0,20 mm (naar Vavoni, 1974).

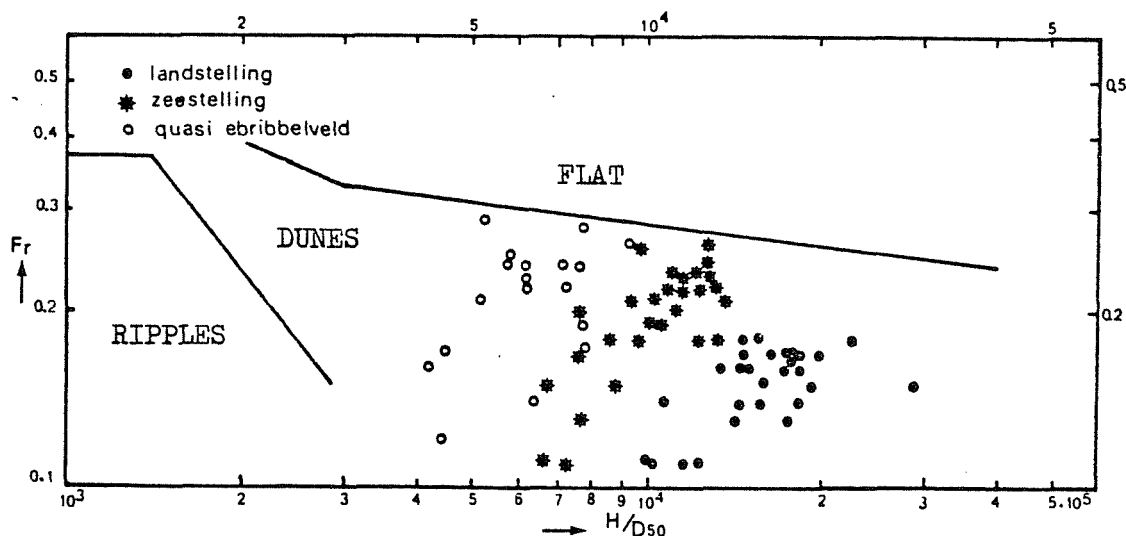


Fig.2.38. Verhouding tussen de Froude getallen en H/D_{50} voor de land- en zeestelling en het quasi-ebribbelveld gedurende de gehele meetperiode. Voor alle meetlocaties geldt dat $D_{50} = 0,15$ mm.

betreft van stationaire stromen, blijkt uit fig.2.38. dat de Froude getallen, behorende bij de megaribbels in het getijdenregime op de Plaat van Ossenis, ook binnen deze grenzen vallen.

Er is een duidelijke driedeling te zien in de waarden van de land- en zeestelling en het quasi-ebribbelveld. Dit wordt veroorzaakt door het verschil in $\bar{u}_{max}$ en $H_{u_{max}}$ bij de diverse meetlocaties.

Figuur 2.39. toont het verloop van de Fr-getallen gedurende de meetperiode bij de diverse meetlocaties.

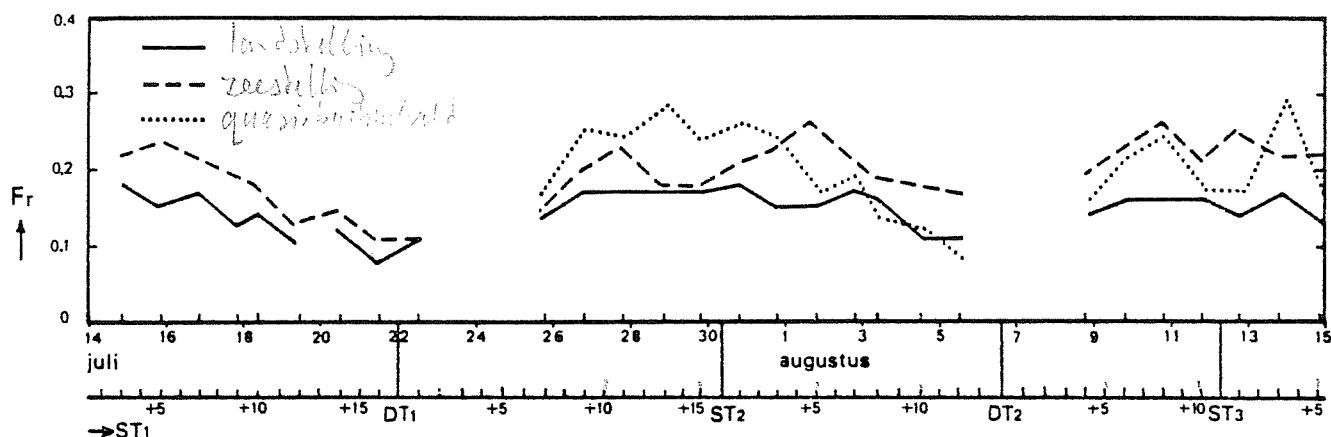


Fig.2.39. Verloop van de bij $\bar{u}_{\max}$ behorende Froude getallen gedurende de meetperiode bij de meetlocaties.

2.4.

SAMENVATTING van hoofdstuk 2

Voor alle meetlocaties - landstelling, zeestelling, vlakke deel en quasi-ebriboveld - geldt dat tijdens een vloed-ebcycclus in de vloedrichting ($\pm 270^\circ$) de hoogste waarden van u , $u_{\pm}$ en s worden bereikt.

De waterbeweging is niet alleen door $u_{\max}$ gekarakteriseerd, maar ook is het begrip effectiviteit ingevoerd.

Met behulp van de gegevens van de wadstroommeters bij de land- en zeestelling is het mogelijk een continu beeld te verkrijgen van het verloop van de snelheid en de effectiviteit. Uit beide blijkt dat de dagelijkse ongelijkheid van het getij vooral bij de landstelling tot gevolg heeft dat overdag lagere waarden voor de snelheid en de effectiviteit worden bereikt dan 's nachts.

Gedurende de gehele meetperiode geven $\bar{u}_{\max}$, $u'_{w \max}$, $\sum \bar{u}_{vl}$, $\sum u'_{w vl}$, $u_{\pm}$, s_{tot} en H alle eenzelfde tendens weer: gedurende springtij zijn deze variabelen groter dan tijdens dooftij.

Tevens blijkt dat gedurende ST_2 hogere waarden voor de snelheid en de effectiviteit worden bereikt dan tijdens ST_3 . Hierdoor wordt ST_2 als het meest dominerende of hoge springtij beschouwd en ST_3 als het lage springtij.

Hoofdstuk 3

MORFOLOGIE VAN DE RIBBELVELDEN

3.1. INLEIDING

Dit hoofdstuk valt in vier onderdelen uiteen, te weten:

- 1) een beschrijving van de morfologische elementen die op de Plaat van Ossenisse voorkomen. Als uitgangspunt voor een indeling van de op de plaat aanwezige morfologische elementen is de megaribbel genomen (zie 3.2),
- 2) een beschrijving van de gevolgde meetmethode en verwerking van de gegevens (zie 3.3),
- 3) een kwantitatieve beschrijving en interpretatie van de veranderingen van de megaribbel-parameters en -indices gedurende de gehele meetperiode bij beide stellingen (zie 3.4),
- 4) een kwalitatieve beschrijving en interpretatie van de veranderingen van de morfologische elementen bij beide stellingen gedurende de gehele meetperiode (zie 3.5).

3.2. BESCHRIJVING VAN DE MEGARIBBEL

Een uit de literatuur samengestelde definitie van de megaribbel - in het vervolg van dit verslag aangeduid als (stroom)ribbel - luidt:

een ribbel is een opeenhoping van zandkorrels die veelal asymmetrisch van vorm is. De stroomafwaartse zijde wordt gevormd door een klein steil hellend oppervlak (lijzijde), het stroomopwaartse deel door een groot flauw-hellend oppervlak (loefzijde). De grens tussen deze twee oppervlakken bestaat uit een al of niet scherpe kam. Horizontaal gezien kan de kam allerlei vormen aannemen. Als belangrijkste vormen worden de rechte, sinusoïde, catenary en lunate kamvorm onderscheiden (zie fig. 3.19).

Megaribbels variëren in hoogte van 0,06 - 1,50m en in lengte van 0,60 - 30m (Rheineck en Singh, 1973).

Figuur 3.1. toont in een driedimensionaal beeld de diverse termen die voor het beschrijven van een ribbel worden gebruikt.

Voor een nadere definiëring en beschrijving van de andere op de plaat aanwezige morfologische elementen wordt verwezen naar 3.5.

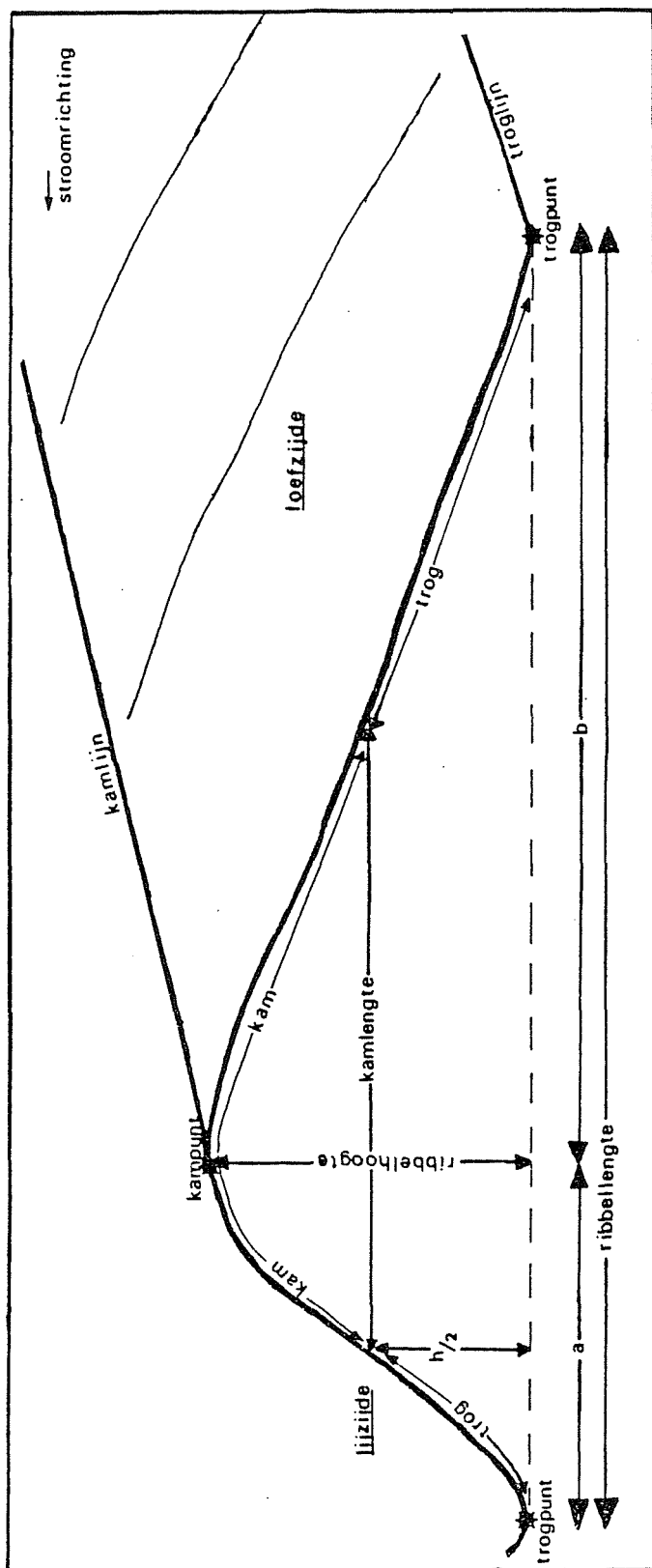


Fig. 3.1. Schematische weergave van een stroomribbel, waarbij de dwarsdoorsnede evenwijdig loopt aan de stroomrichting.

- ribbellengte l : de afstand tussen twee opeenvolgende troglijnen,
- ribbelhoogte h : de verticale afstand tussen trog- en kamlijn,
- ribbelkamlengte kl : de horizontale afstand tussen de op lij- en loefzijde gelegen punten $h/2$,
- lijzijde: in het verticale vlak, het korte en steilhellende ribbelopp.
- loefzijde: ,, ,, ,, ,, het lange en flauwhellende ribbelopp.
- kam: ,, ,, ,, ,, het hoger dan $h/2$ gelegen ribbelopp.
- trog: ,, ,, ,, ,, het lager dan $h/2$ gelegen ribbelopp.
- kampunt: hoogst gelegen punt in een verticaal profiel,
- kamlijn: verbindingslijn van alle kampunten,
- trogpunt: laagst gelegen punt in een verticaal profiel,
- troglijn: verbindingslijn van alle trogpunten,
- a : de projectie van de lijzijde op l,
- b : de projectie van de loefzijde op l.

3.3. MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS

3.3.1. Ribbelvorm

3.3.1.1. Meten van de ribbelvorm

Voor het kwantitatief vastleggen van de vormveranderingen die de ribbels bij beide stellingen ondergaan gedurende de gehele meetperiode werd gebruik gemaakt van de ribbelmeter (zie fig.3.2.).

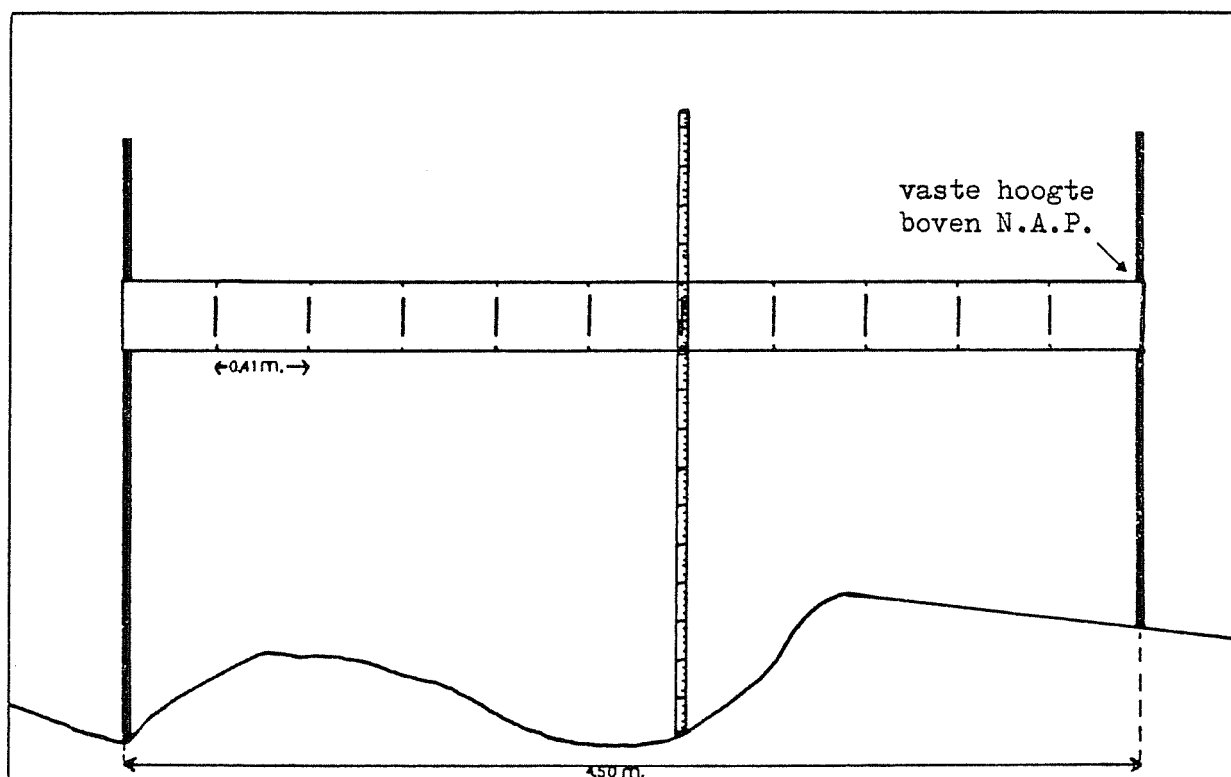


Fig.3.2. Schets van de ribbelmeter.

Dit instrument werkt snel, eenvoudig en nauwkeurig genoeg voor deze metingen. Voor de foutendiscussie wordt verwezen naar appendix B.

De ribbelmeter bestaat uit een 4,5 meter lange metalen balk, waarop merktekens zijn aangebracht met een onderlinge afstand van 0,41 m. Deze balk werd opgehangen aan betonijzers, die zich in een 27 meter lange raai bevonden, loodrecht op de strekking van de kamlijnen. Op elk van de betonijzers was hiertoe, op gelijke hoogte t.o.v. N.A.P., een referentie punt aangebracht, waaraan de balk werd opgehangen. In de meetraai (zie fig.3.3.) vormde de balk zo gedurende de gehele meetperiode een horizontale referentie lijn, waarvan voor en na elke vloed-ebcyclus op ieder merkteken de afstand tot de bodem werd gemeten (zie fig.3.2. en 3.3.).

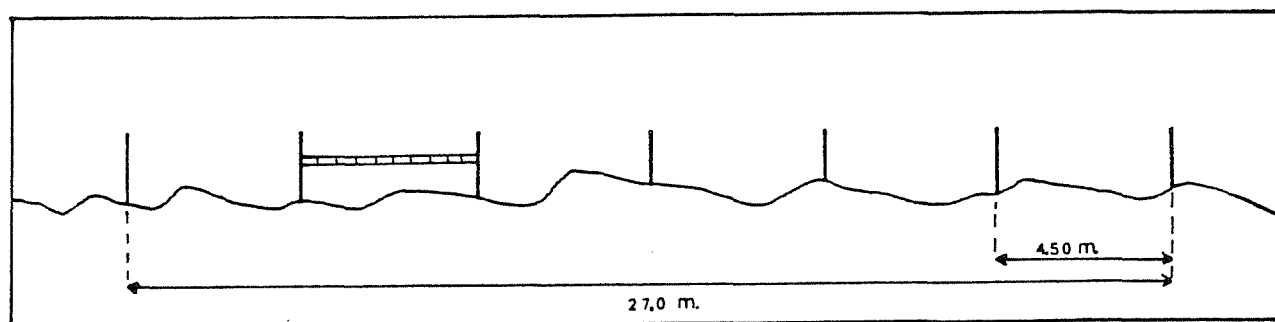


Fig.3.3.Ligging van de 27m lange ribbelraai.

3.3.1.2. Verwerking van de ribbelmetingen

De uit een ribbelmeting verkregen waarden voor de afstand tussen de bodem en de door de meetbalk gevormde referentie lijn zijn m.b.v. de computer voor elke vloed-ebcyclus in profiel uitgezet. Hierdoor wordt een tweedimensionaal beeld verkregen, waarin 3 of 4 ribbels zijn afgebeeld. Uit dit beeld kunnen de ribbel parameters h , kl , l en de ribbelindices l/h , kl/h en b/a voor elk van deze ribbels worden bepaald.

Tevens zijn voor beide stellingen al de waarden van één parameter in een aantal klassen onderverdeeld en vervolgens in procentuele frequentie diagrammen weergegeven.

De nauwkeurigheid voor h en l is gesteld op 10%, voor kl op 5% en voor l/h , kl/h en b/a op 15%.

3.3.2. Ribbelrichting

Gelijktijdig met elke ribbelmeting werd met behulp van een geologisch kompas de strekking van de kamlijnen bij beide stellingen bepaald.

De nauwkeurigheid van deze richtingsmetingen is op 5° gesteld.

3.3.3. Ribbelpatroon

Eveneens zijn voor en na elke vloed-ebcyclus foto's genomen vanaf een aantal vaste standplaatsen. Daardoor wordt een kwalitatief beeld verkregen van de vormveranderingen die het ribbelpatroon en de andere morfologische elementen ondergaan.

3.4. RESULTATEN

3.4.1. Inleiding

Bij de behandeling van de parameters wordt het verloop van een parameter tijdens een meetperiode op twee manieren weergegeven.

Ten eerste door van elk van de 3 of 4 ribbels afzonderlijk het verloop te tekenen en ten tweede door het gemiddelde van deze 3 of 4 ribbels in grafiek uit te zetten.

Bij de behandeling van de indices daarentegen wordt uitsluitend het verloop van het gemiddelde over 3 of 4 ribbels weergegeven.

Het is de vraag of bovengenoemd gemiddelde een voldoende representatief beeld geeft voor het trekken van conclusies. Het betreft immers een gemiddelde over slechts 3 of 4 ribbels, die bovendien afkomstig zijn uit een een ribbenveld waarin sterke variaties kunnen optreden.

De vraag kan dan ook slechts ten dele worden beantwoord:

een lange termijn tendens (doodtij-springtijcyclus) zal wel tot uiting komen, terwijl een korte termijn tendens (dagelijkse ongelijkheid) meestal niet direct kan worden waargenomen.

Daarnaast komen in het verloop van het gemiddelde van de parameters en indices sprongen voor, die geen natuurlijke oorzaak hebben, maar verklaard kunnen worden door het verschijnsel dat de ribbels de meetraai in of uit migreren.

De figuren 3.4. en 3.5. geven de verblijftijd van de ribbels in de meetraaien aan bij de land- en zeestelling.

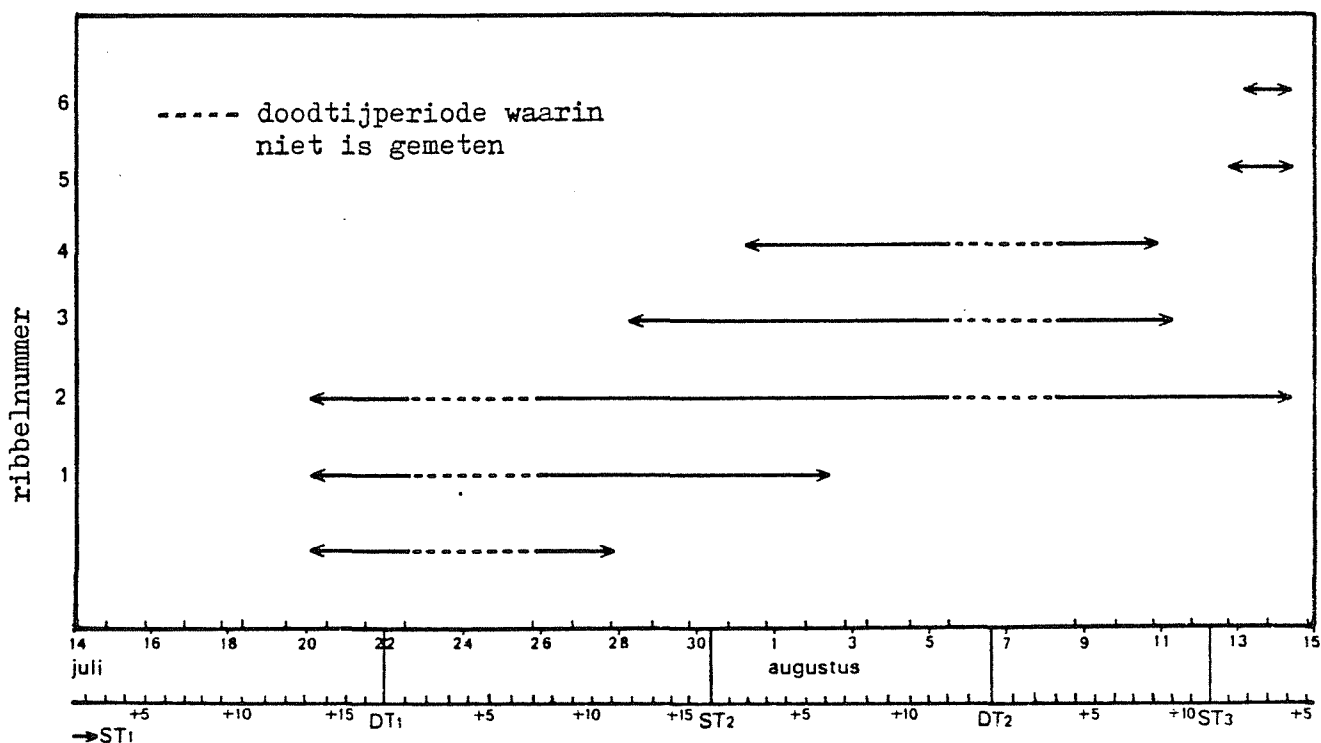


Fig.3.4. Verblijftijd van de ribbels in de meetraai bij de landstelling.

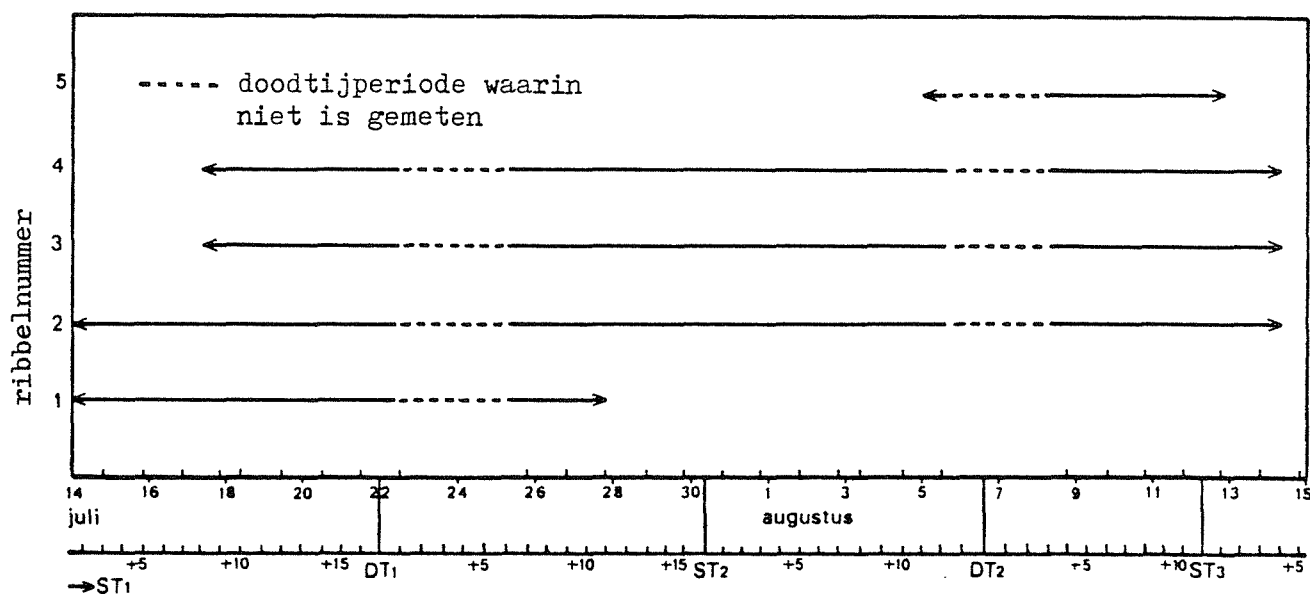


Fig.3.5.Verblijftijd van de ribbels in de meestraai bij de zeestelling.

Steeds zullen in dit hoofdstuk de begrippen "tendensgevoeligheid" en "dagelijkse ongelijkheid" terugkeren, die gebaseerd zijn op de getijbeweging. Vertaald voor de ribbelvariabelen wordt:

- onder "tendensgevoeligheid" verstaan dat de ribbelvariabelen een verloop vertonen waarin gedurende doodtij de waarden laag zijn en gedurende springtij hoog zijn of andersom,
- onder "dagelijkse ongelijkheid" verstaan dat de waarden van de ribbelvariabelen van een nachtcyclus altijd groter zijn dan van de voorafgaande en van de eerst volgende dagcyclus.

In het onderstaande worden de grafieken en diagrammen geanalyseerd en worden mits dit past in het kader van dit hoofdstuk de waargenomen verschijnselen verklaard. Vaak zal echter voor de verklaring van het verschijnsel een relatie met de waterbeweging moeten worden gezocht, hetgeen in hoofdstuk 6 wordt behandeld.

3.4.2. Ribbelparameters

3.4.2.1. Benaderingswijze

Voor elk van de drie parameters h , kl , l is dezelfde procedure gevolgd:

- allereerst wordt het verloop van de individuele ribbels onderzocht naar tendensgevoeligheid en dagelijkse ongelijkheid,
- vervolgens wordt bekeken in hoeverre de tendensgevoeligheid en de dagelijkse ongelijkheid van het gemiddelde van de ribbelparameters berust op het verloop van de individuele ribbelparameter waarden,
- tenslotte worden de verschillen tussen de ribbelparameters van land- en zeestelling voor wat betreft de orde van grootte en de verdeling beschouwd.

3.4.2.2. Verloop van de ribbelhoogte ($\bar{h}$) gedurende de meetperiode

Figuur 3.6. toont voor het verloop van de individuele ribbelhoogtes bij de landstelling de volgende verschijnselen:

- gedurende het hoge springtij(ST_2) zijn de hoogtes van de ribbels 1,2 en 3 tendensgevoelig. Bij ribbel 2 is dit na ST_2+2 minder duidelijk,
- gedurende het lage springtij(ST_3) blijft alleen ribbel 2 continu aanwezig. De andere ribbels (3 en 4) ondergaan zodanige vormveranderingen dat niet meer voldaan wordt aan de definitie van een ribbel,
- gedurende ST_3 is voor de hoogte van ribbel 2 een zeer duidelijke dagelijkse ongelijkheid aanwezig,
- na DT_1+15 tonen alle ribbels een aantal malen een tegengestelde dagelijkse ongelijkheid.

Ten aanzien van $\bar{h}$ mag worden gesteld dat deze parameter gedurende ST_2 een representatief beeld van het verloop van de individuele ribbelhoogtes weergeeft. Bij ST_3 is dit niet het geval.

In het vervolg (hoofdstuk 6) wordt daarom voor de springtijperiode ST_3 alleen met de waarden van ribbel 2 gewerkt i.p.v. met het gemiddelde van de ribbels 2,3,4,5 en 6.

Het verloop van de individuele ribbelhoogtes bij de zeestelling (zie fig.3.7.) laat zien dat:

- tijdens ST_2 alleen ribbelhoogte 4 tendensgevoelig is, ..
- tijdens ST_3 de ribbelhoogtes 4 en 5 tendensgevoelig zijn, terwijl ribbelhoogte 3 tegengesteld reageert,
- de dagelijkse ongelijkheid van ribbelhoogte 2 tegengesteld is.

Voor een meer representatieve $\bar{h}$ zouden in vergelijking met de landstelling (nog) meer ribbels opgemeten moeten worden, omdat het verloop van de individuele ribbelhoogtes minder eenduidig is dan bij de landstelling.

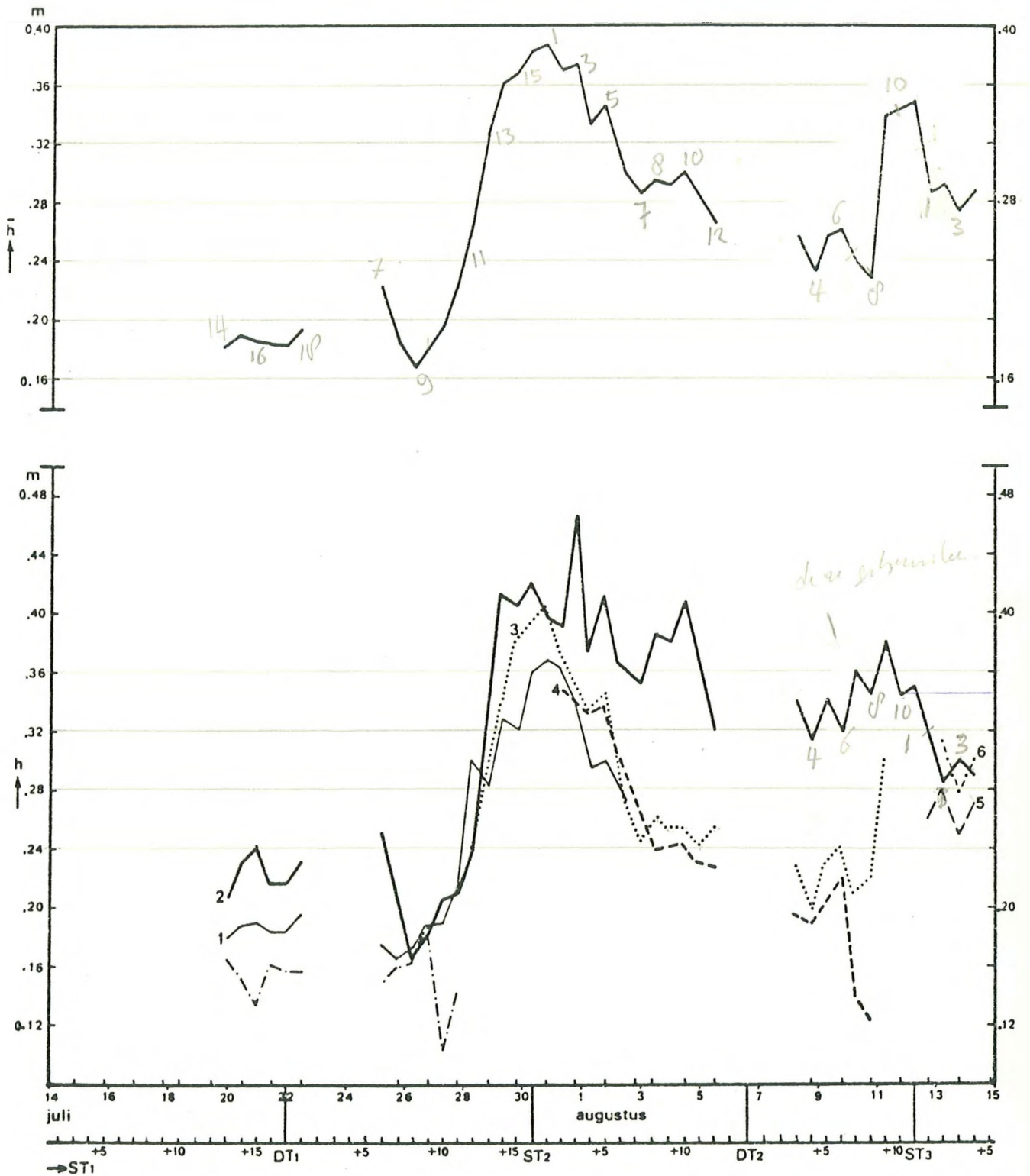


Fig.3.6. Verloop van de individuele en gemiddelde ribbelhoogtes gedurende de meetperiode bij de landstelling.

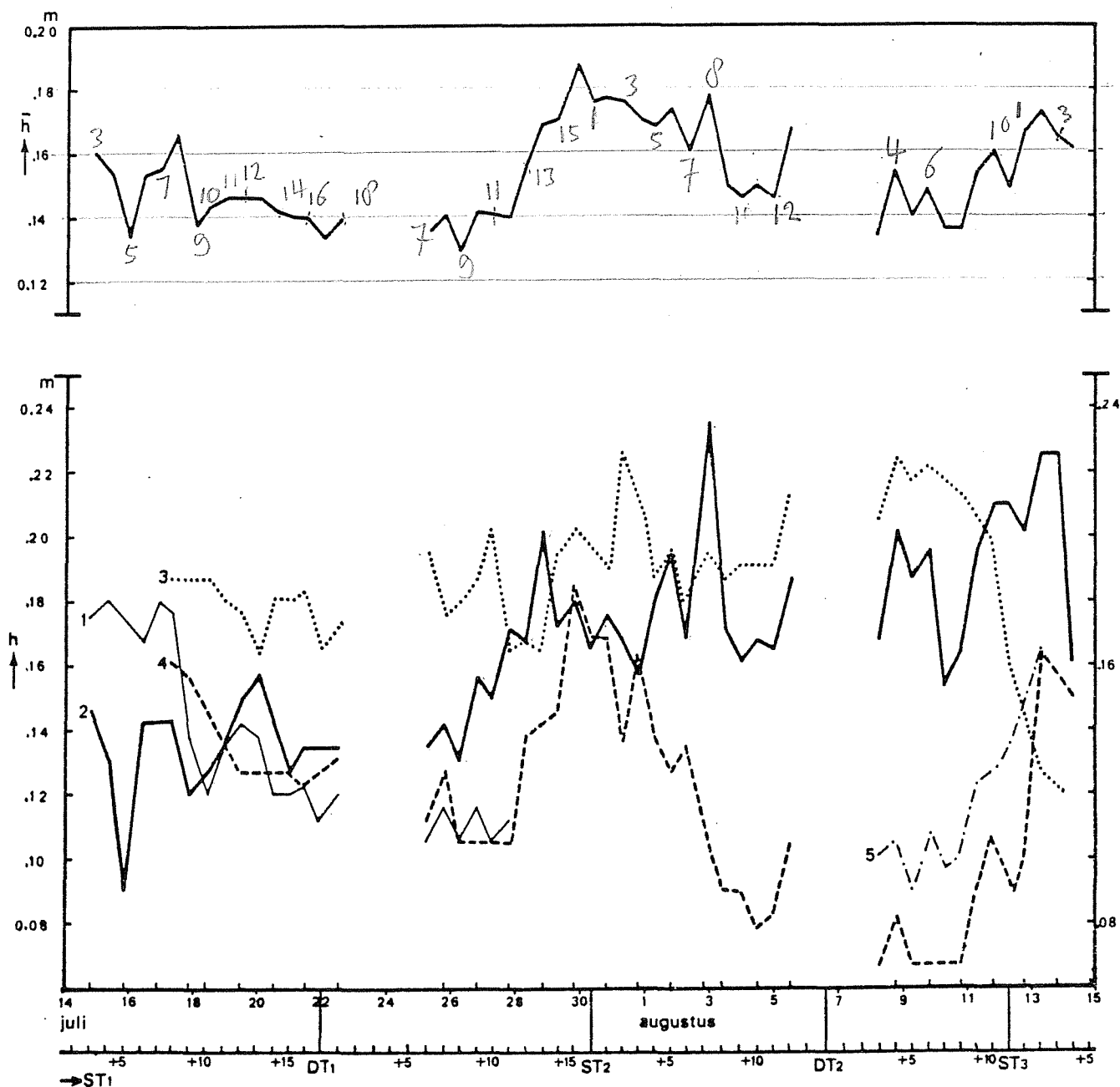


Fig.3.7. Verloop van de individuele en gemiddelde ribbelhoogtes gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

Vragen zoals bijvoorbeeld:

- Zijn plotselinge vormveranderingen van ribbels bij de landstelling gedurende laag springtij karakteristiek?
- Is slechts één ribbel op een x-aantal ribbels bij de zeestelling tendensgevoelig?

kunnen meestal niet beantwoord worden. Het aantal gemeten ribbels is daarvoor immers te klein. Dit geldt uiteraard ook voor de parameters kamlengte en ribbellengte.

In het algemeen is de ribbelhoogte bij de zeestelling kleiner en vertoont deze een geringere spreiding van de waarden dan bij de landstelling (zie fig.3.8.a. en 3.8.b.).

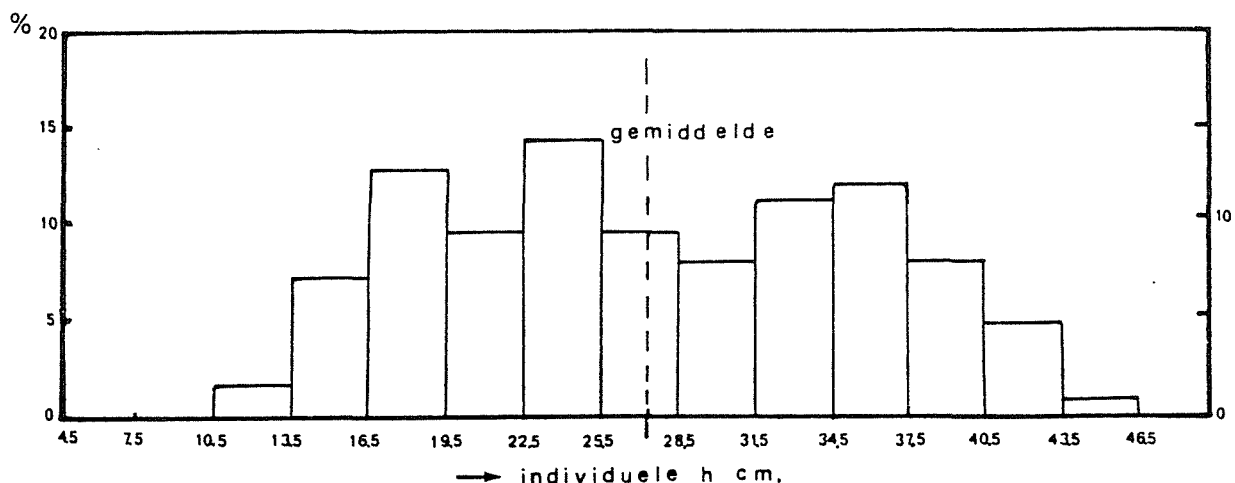


Fig.3.8.a.Procentueel frequentie-diagram van de individuele ribbelhoogte, gemeten bij de landstelling gedurende de gehele meetperiode.

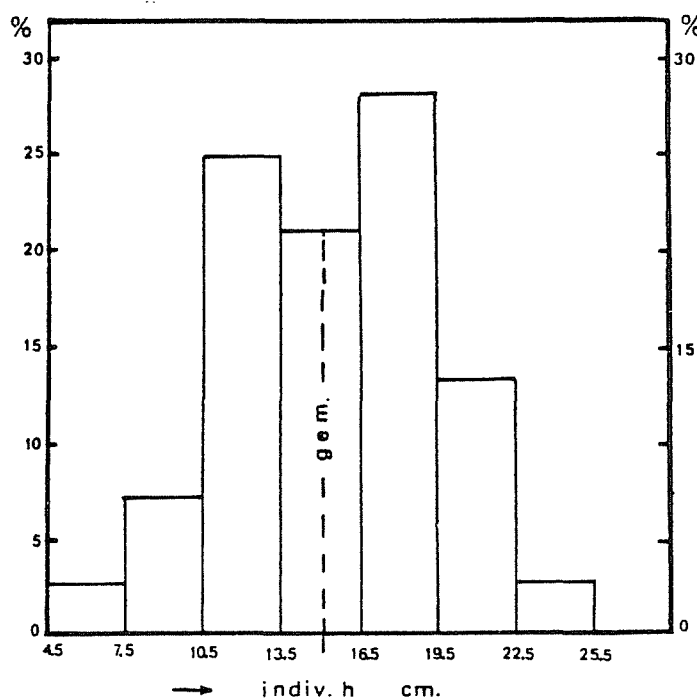


Fig.3.8.b.Procentueel frequentie-diagram van de individuele ribbelhoogte, gemeten bij de zeestelling gedurende de gehele meetperiode.

De grotere spreiding van de ribbelhoogtes bij de landstelling geeft aan dat de periodieke verandering, die de ribbelhoogte aldaar ondergaat gedu-

rende een doodtij-springtijcyclus groter is dan bij de zeestelling (zie fig. 3.6. en 3.7.).

De bimodale verdeling in de figuren 3.8.a.en b. wordt veroorzaakt door het voorkomen van een aantal lage waarden van h gedurende doodtij en een aantal hoge waarden van h tijdens springtij. Dit verschijnsel is ook bij andere tendensgevoelige parameters aanwezig.

3.4.2.3. Verloop van de kamlengte (k_l) gedurende de meetperiode

Het verloop van de individuele kamlengtes bij de landstelling toont het volgende (zie fig. 3.9.):

- tijdens ST_2 zijn de kamlengtes van de ribbels 1 en 2 tendensgevoelig. Ribbel 3 blijft tamelijk constant, terwijl ribbel 4 gedurende ST_2 te kort in de meetraai verblijft om daaraan enige conclusies te verbinden,
- tijdens ST_3 is de kamlengte, evenals de hoogte, van ribbel 2 tendensgevoelig. Daarnaast toont de kamlengte van deze ribbel na DT_2+7 een dagelijkse ongelijkheid,
- van DT_1+15 t/m ST_2+7 hebben de kamlengtes van ribbel 1 en 2 een dagelijkse ongelijkheid.

De $\overline{k_l}$ geeft, vergeleken met dat van $\overline{h}$, een minder representatief beeld van het verloop van de individuele kamlengtes. Het kleiner worden van $\overline{k_l}$ na ST_2 wordt mede bepaald door het uit de meetraai treden van de "grote" kamlengte 1 en het er in komen van de "kleine" kamlengte 4.

Gedurende ST_2 zijn bij de zeestelling alle kamlengtes tendensgevoelig (zie fig. 3.10.). Dit in tegenstelling tot ST_3 waar alleen kamlengte 5 op de doodtij-springtijcyclus reageert. De kamlengtes reageren nauwelijks op de dagelijkse ongelijkheid. Een uitzondering hierop vormt de kamlengte van ribbel 4 gedurende de periode ST_2+1 t/m ST_2+7 .

Ten aanzien van $\overline{k_l}$ kan gesteld worden dat:

- voor ST_2 $\overline{k_l}$ een meer representatief beeld van de individuele kamlengtes geeft, in vergelijking met $\overline{h}$,
- voor ST_3 in ieder geval meer ribbels moeten worden gemeten om een enigszins representatief verloop van $\overline{k_l}$ te krijgen.

Opmerkelijk is het verschil tussen land- en zeestelling voor wat betreft het begin van toename van $\overline{k_l}$ na DT_1 . Deze begint bij de landstelling op DT_1+8 en bij de zeestelling op DT_1+12 .

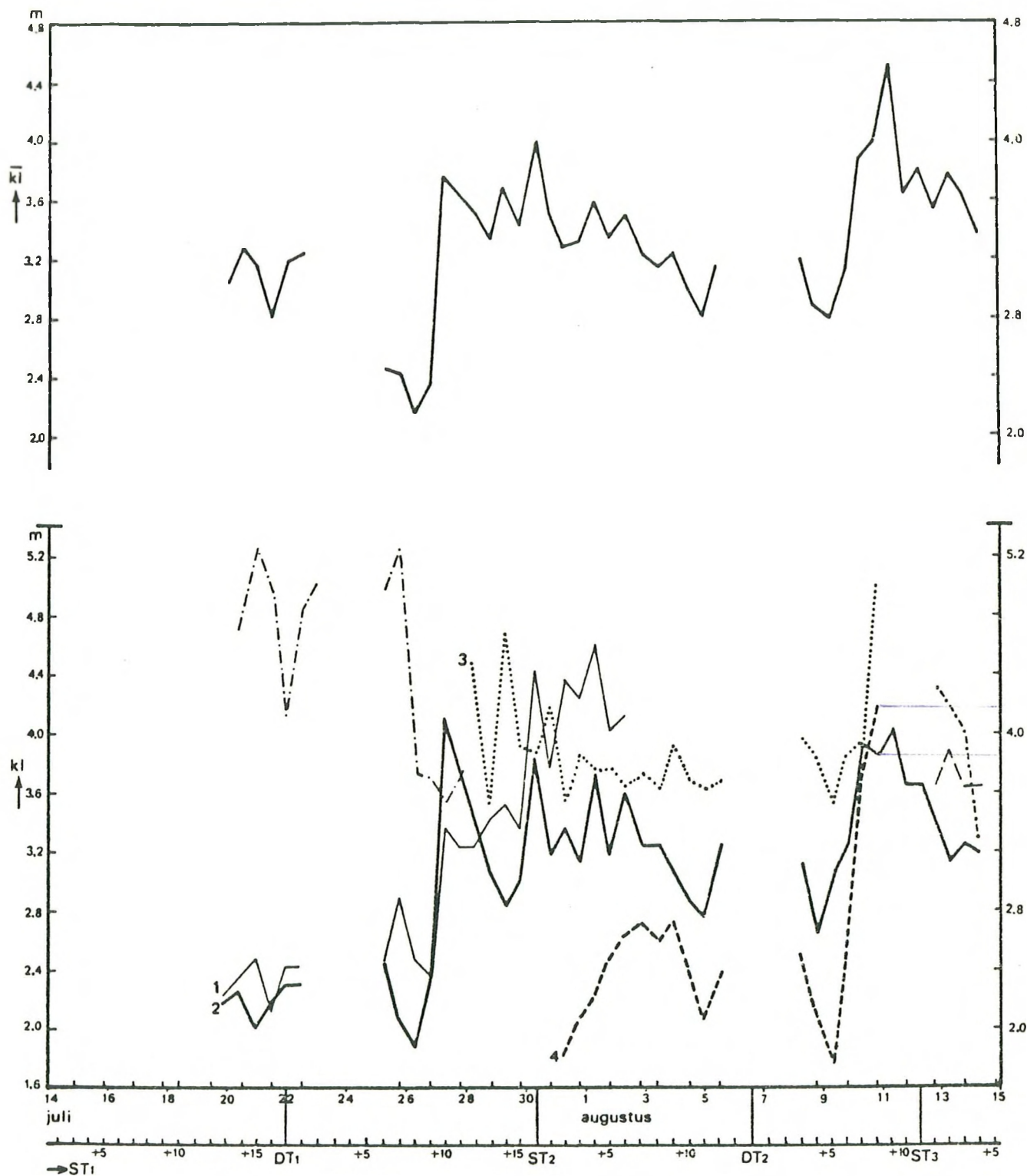


Fig.3.9. Verloop van de individuele en de gemiddelde kamlengtes gedurende de meetperiode bij de landstelling.

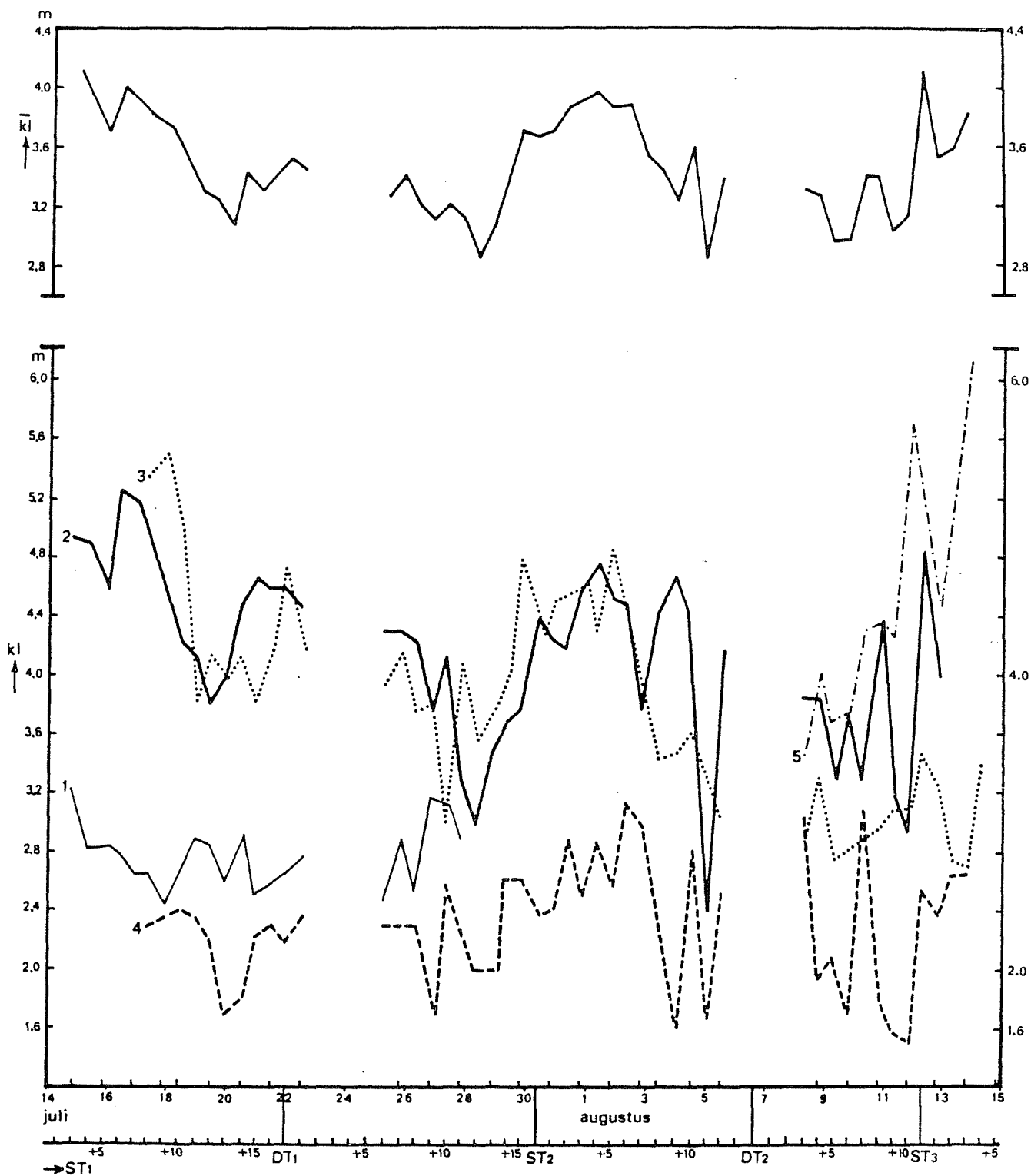


Fig.3.10. Verloop van de individuele en gemiddelde kamlengtes gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

De procentuele frequentie-diagrammen van kl van land- en zeestelling zijn evenals die van h bimodaal (zie fig.3.11.a. en b.).

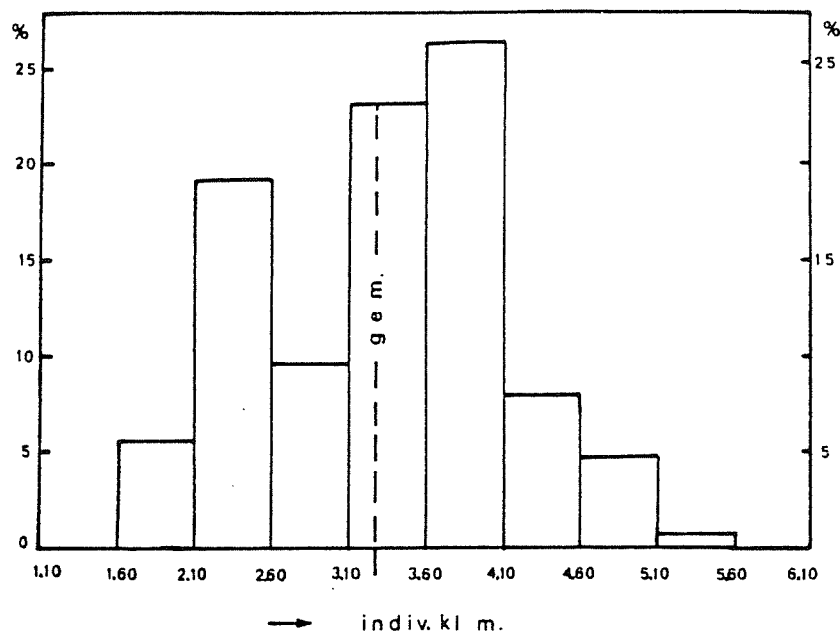


Fig.3.11.a. Procentueel frequentie-diagram van de individuele kamlengte, gemeten bij de landstelling gedurende de gehele meetperiode.

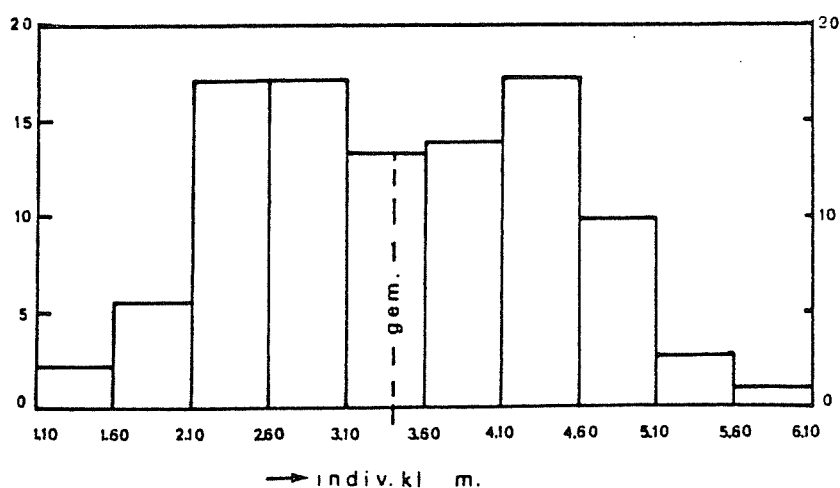


Fig.3.11.b. Procentueel frequentie-diagram van de individuele kamlengte, gemeten bij de zeestelling gedurende de gehele meetperiode.

3.4.2.4. Verloop van de ribbellengte (l) gedurende de meetperiode

Opmerkelijk in het verloop van de individuele ribbellengtes bij de land-
stelling is (zie fig.3.12.):

-de grote variatie in ribbellengte tussen twee opeen volgende vloed-
ebcycli. Deze variatie overschrijdt af en toe de twee meter. Dit kan ver-
oorzaakt worden door het feit dat het laagste punt in een trog vaak

moeilijk is te bepalen. In figuur 3.12. komt dit tot uiting, wanneer van twee aaneengrenzende ribbels, de ene ribbel met een bepaalde lengte toeneemt, terwijl de andere met dezelfde lengte afneemt. Vergelijk de lengtes van ribbel 2 en 3 van $DT_1 + 15 \text{ t/m } ST_2 + 1$. Daarnaast kan ook "spacing" van invloed zijn,

- het toenemen van de ribbellengtes 1 en 2 tijdens ST_2 ; na springtij gaat dit echter niet over in een afname,
- het afwezig zijn van de tendensgevoeligheid van ribbellengte 2 gedurende ST_3 ,
- dat de grote variatie in ribbellengte per vloed-ebcyclus niet overeenkomt met de dagelijkse ongelijkheid. Alleen voor ribbellengte 1 is gedurende ST_2 sprake van een dagelijkse ongelijkheid.

Het verloop van $\bar{I}$ (zie fig. 3.12.) suggereert gedurende ST_2 een tendensgevoeligheid. Dit is juist voor wat betreft het groter worden van $\bar{I}$ tijdens ST_2 , maar het kleiner worden van $\bar{I}$ na ST_2 is geheel toe te schrijven aan het verdwijnen van ribbel 1 uit de meetraai en het erin komen van ribbel 4.

Zowel tijdens ST_2 als ST_3 toont geen van de ribbellengtes op de zeestelling tendensgevoeligheid of dagelijkse ongelijkheid (zie fig. 3.13.).

De orde van grootte die $\bar{I}$ weergeeft is gezien de zeer grote verschillen van de individuele ribbellengtes weinig representatief.

Omdat $\bar{I}$ bij de landstelling nauwelijks en bij de zeestelling in het geheel niet tendensgevoelig is, is een eventueel bimodaal zijn van de procentuele frequentie-diagrammen hier niet meer van afhankelijk.

De verdeling van de ribbellengtes bij de zeestelling is wel bimodaal, ondanks het ontbreken van elke tendensgevoeligheid.

Wat de landstelling betreft is de verdeling van de ribbellengtes, zoals te verwachten was, wel nagenoeg unimodaal.

Bij vergelijking van figuur 3.14.a. en b. met figuur 3.11.a. en b. valt op dat de kamlangtes groter zijn dan de halve ribbellengtes. Dit rechtvaardigt het gebruik van de afstand tussen twee opeenvolgende trogpunten (en niet kampunten) om de ribbellengte te definiëren. De kromming van de trog geschiedt nu immers over een kortere afstand dan de kromming over de kam, zodat het trogpunt nauwkeuriger te bepalen is dan het kampunt. Het feit dat de kromming van de kam flauwer wordt door de vorming van een ebkap heeft mede geleid tot de keuze van de trogpunten als basis voor de ribbellengte bepaling.

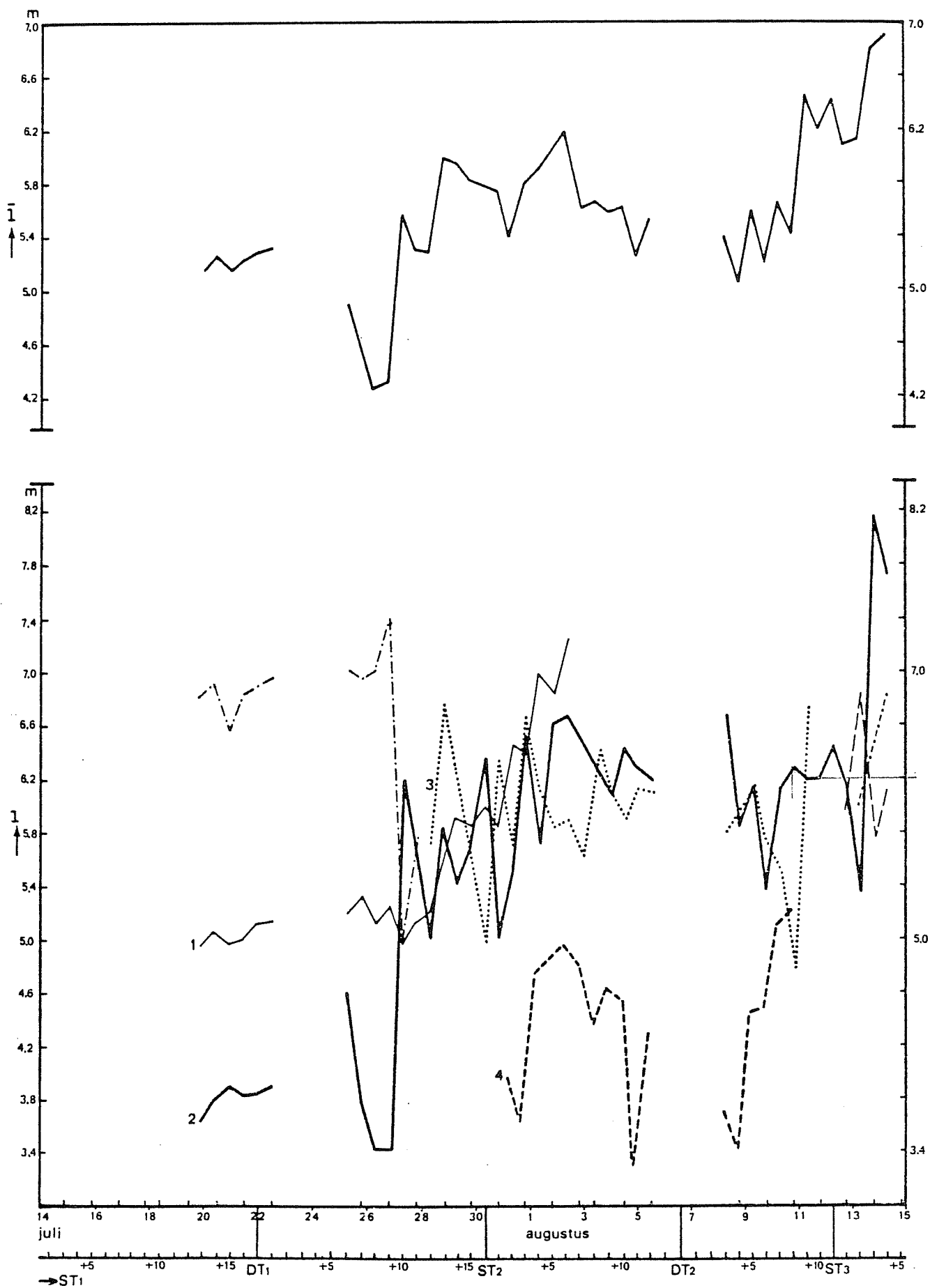


Fig.3.12. Verloop van de individuele en gemiddelde ribbellengtes gedurende de meetperiode bij de landstelling.

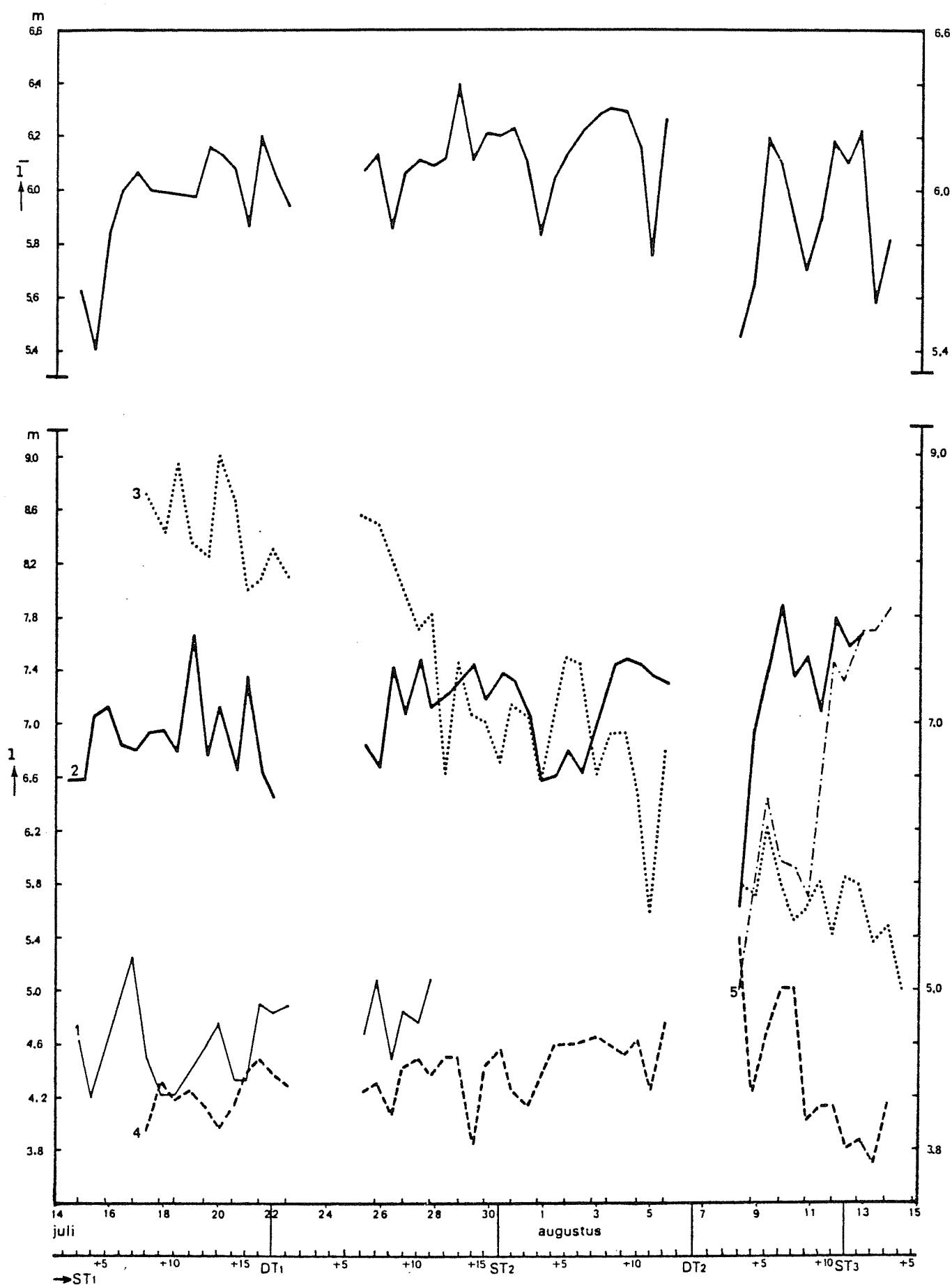


Fig.3.13. Verloop van de individuele en gemiddelde ribbellengtes gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

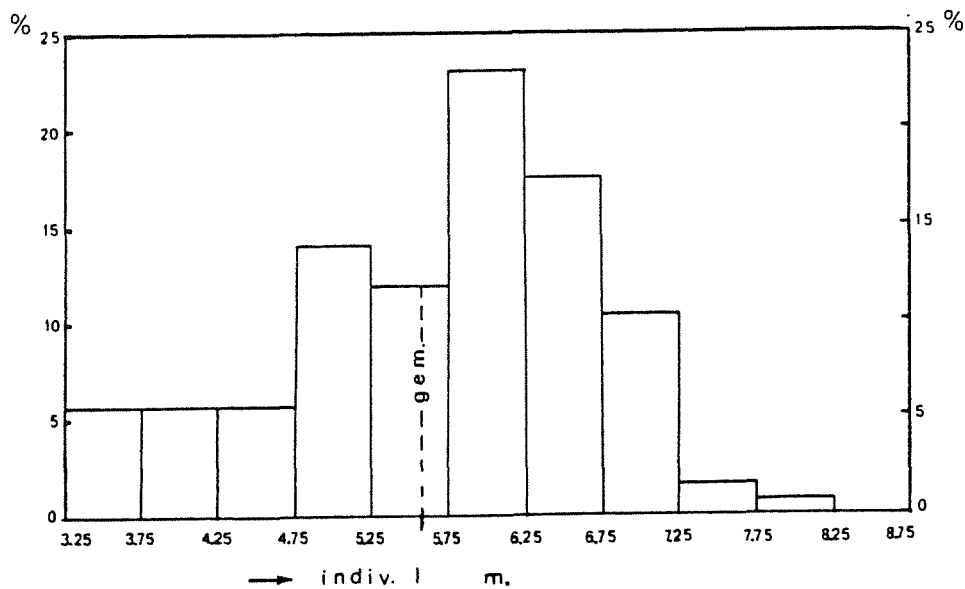


Fig. 3.14.a. Procentueel frequentie-diagram van de individuele ribbellengte, gemeten gedurende de meetperiode bij de landstelling.

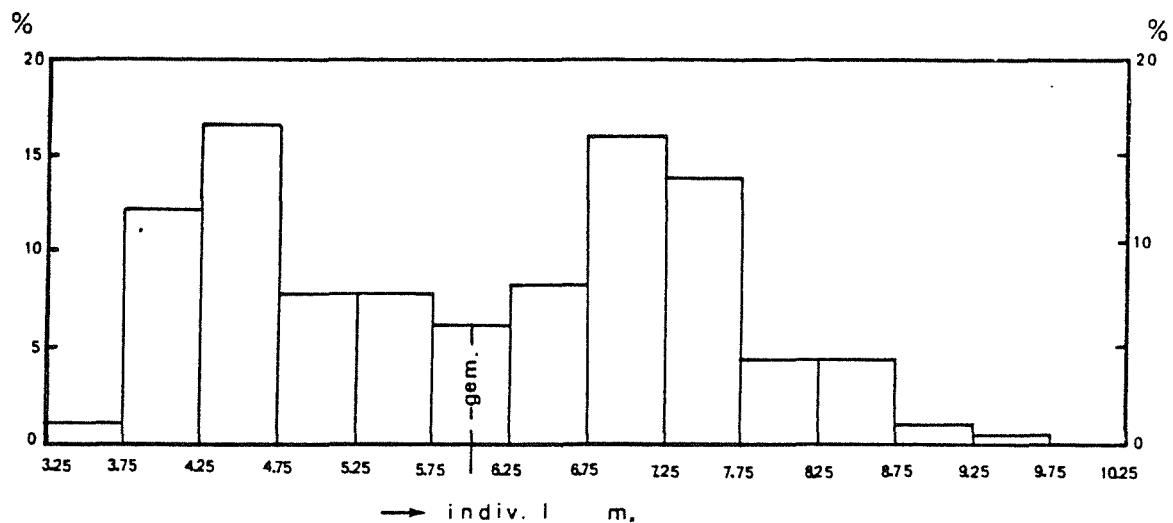


Fig. 3.14.b. Procentueel frequentie-diagram van de individuele ribbellengte, gemeten gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

3.4.3. Ribbelindices

3.4.3.1. Verloop van de $\bar{l}/\bar{h}$ - index gedurende de meetperiode

Door veel auteurs wordt de l/h -index gebruikt om een onderscheid te maken tussen stroom- en golfribbels, maar ook voor een verdere onderverdeling van bijv. de stroomribbels.

Rheineck en Singh (1973) geven de volgende normen:

- $l/h < 4$: golfribbels,
- $4 < l/h < 15$: zowel golf- als stroomribbels,
- $l/h > 15$: stroomribbels.

Bij het hanteren van deze normen blijkt dat bij de zeestelling alle $\bar{l}/\bar{h}$ waarden groter zijn dan 15; bij de landstelling geldt dit voor 90% van de waarden (zie fig. 3.15.a.).

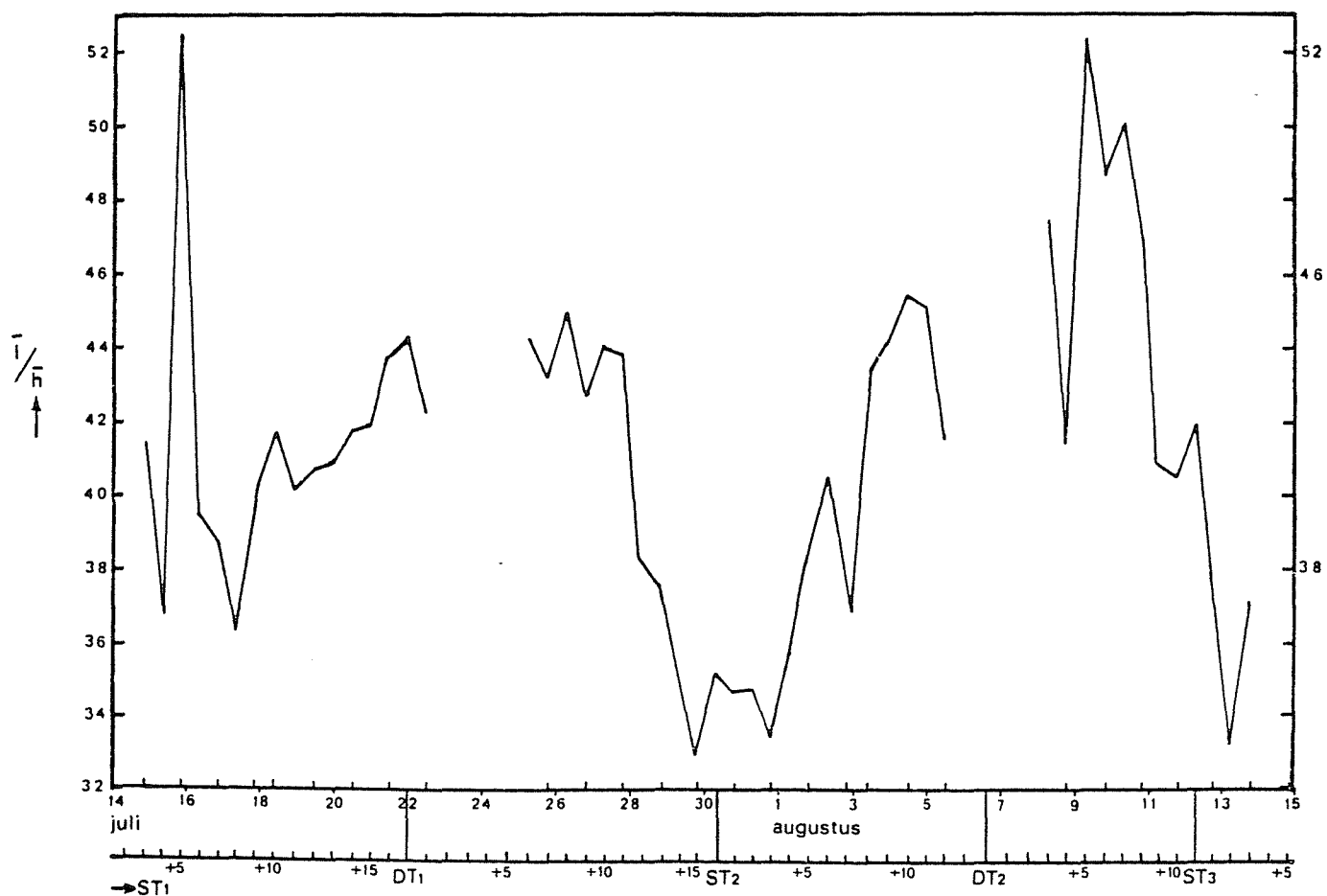
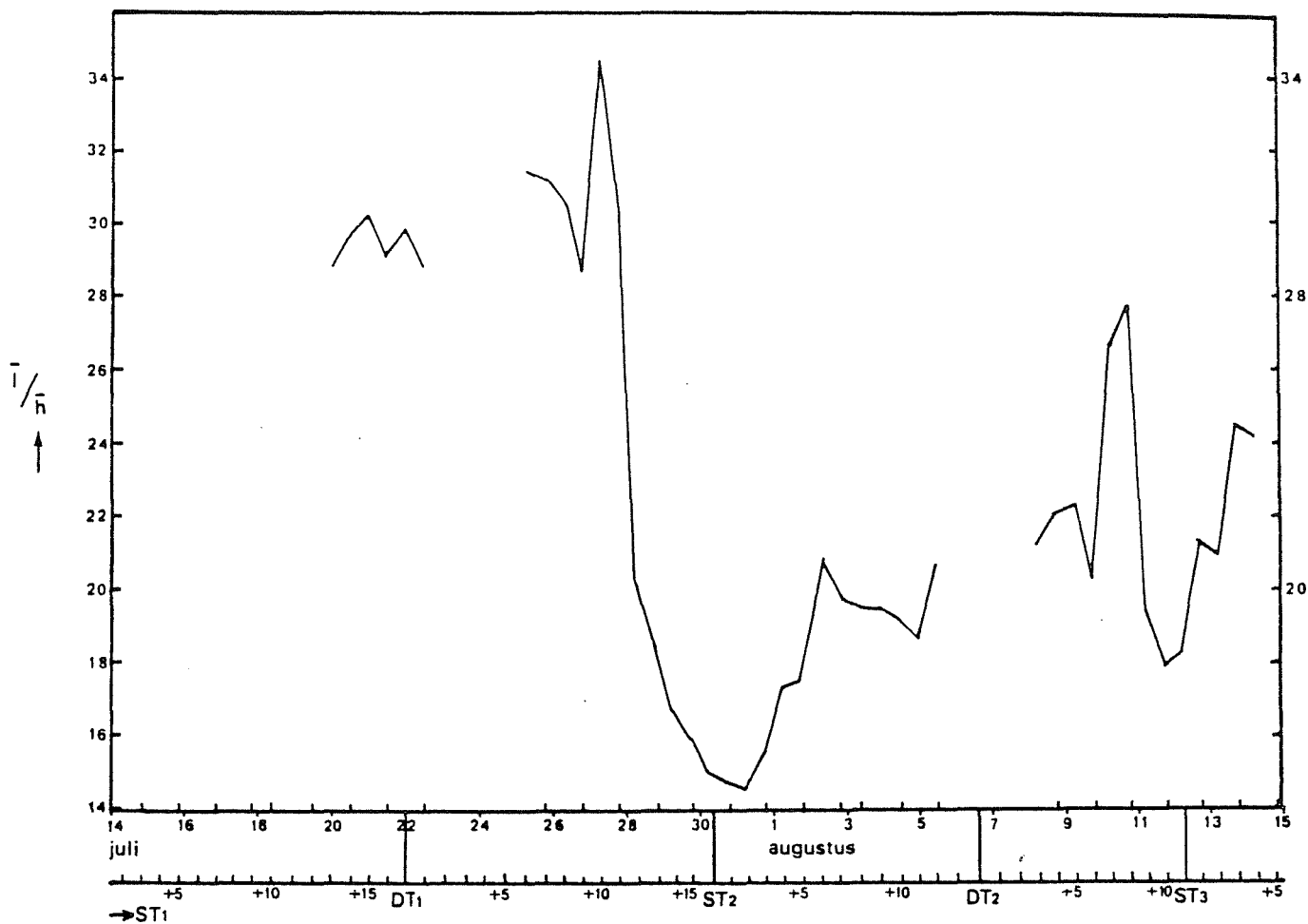


Fig.3.15.a. Verloop van de $\bar{I}/\bar{h}$ -index gedurende de meetperiode bij de landstelling (boven) en de zeestelling (onder).

In dit onderzoek kan geen gebruik gemaakt worden van de $\bar{l}/\bar{h}$ -index voor het onderscheiden van de verschillende typen stroomribbels, omdat in het getijdengebied, t.g.v. de periodieke veranderingen die de ribbelhoogte en de ribbellengte ondergaan, geen gemiddelde waarde voor de $\bar{l}/\bar{h}$ -index te bepalen is.

Allen(1968) heeft voor een rivierregime een logaritmisch verband aangetoond tussen de ribbelhoogte en ribbellengte.

Voor de land- en zeestelling zijn tussen $\bar{l}$ en $\bar{h}$ lineaire verbanden gevonden, te weten (zie fig.3.15.b.):

$$\underline{\text{landstelling}} : \bar{l} = 6,15 \bar{h} + 3,81 \quad (3.1)$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} : \underline{r=0,73}.$$

$$\underline{\text{zeestelling}} : \bar{l} = 0,94 \bar{h} + 5,89 \quad (3.2)$$

$$\underline{\hspace{1.5cm}} : \underline{r=0,88}.$$

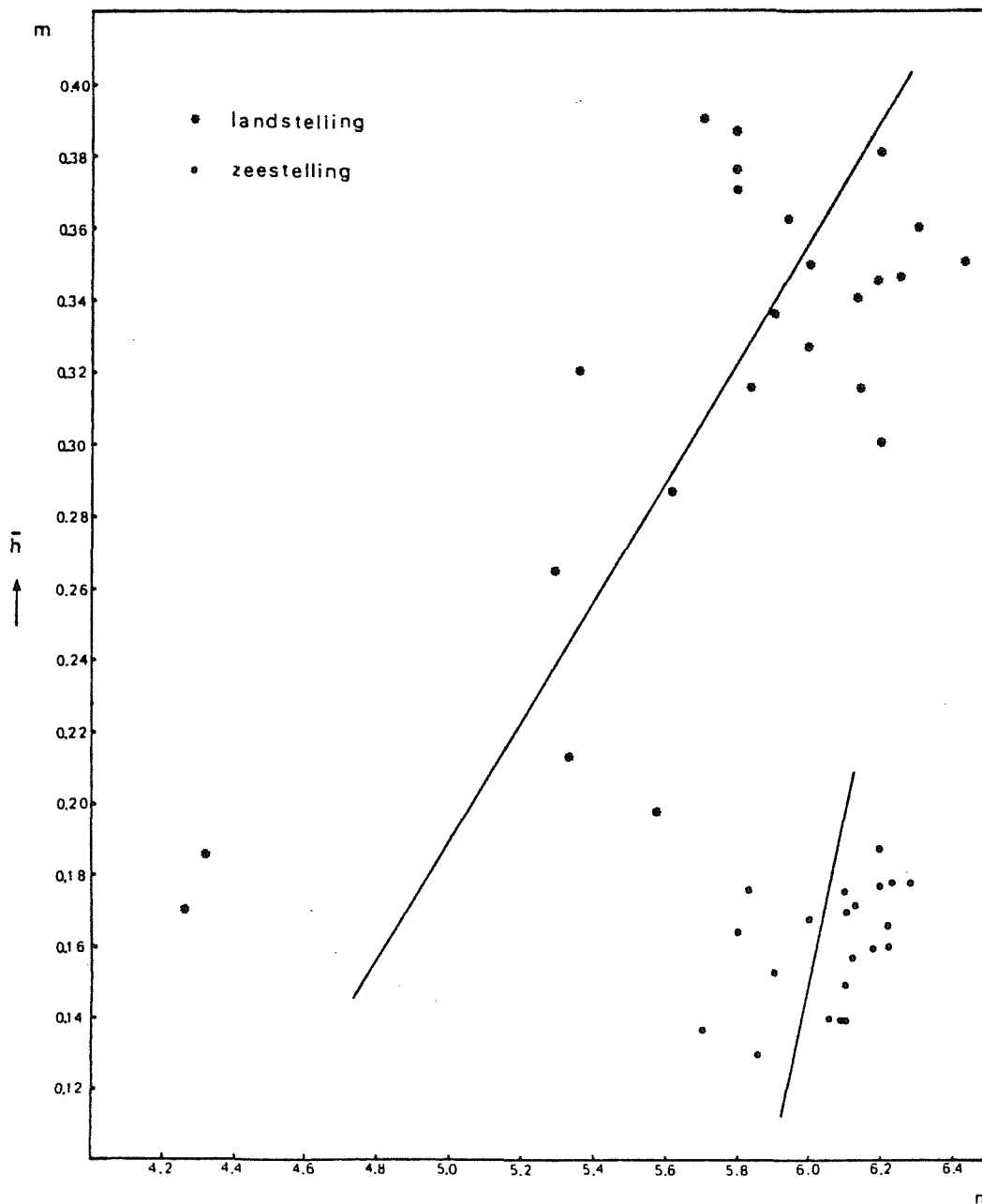


Fig.3.15.b. Relatie tussen $\bar{h}$ en $\bar{l}$ bij de land- en zeestelling gedurende de "actieve" periode.

Deze vergelijkingen zijn geldig als $\bar{h}$ en de bijbehorende waarden van $\bar{I}$ gedurende de "actieve" periode worden beschouwd.

Onder "actieve" periode wordt verstaan :de tijd vanaf het moment dat een parameter in de oploophase naar springtij begint toe te nemen tot het moment in de afloophase dat de waarde van deze parameter niet verder meer afneemt en zich dus stabiliseert.

Wanneer nu de gegevens berekend volgens de vergelijkingen 3.1 en 3.2 geploot worden in figuur 3.15.c. blijkt dat de l- tegen h-waarden van land- en zeestelling binnen het door Allen (1968) gegeven bereik vallen.

Worden daarentegen alle waarden van $\bar{h}$ met de bijbehorende $\bar{I}$ -waarden gebruikt, dan voldoen de volgende vergelijkingen:

$$\text{landstelling: } \bar{I} = 5,46 \bar{h} + 4,15 \quad (3.3)$$

$$\underline{r=0,43.}$$

$$\text{zeestelling: } \bar{I} = 6,02 \bar{h} + 5,11 \quad (3.4)$$

$$\underline{r=0,44.}$$

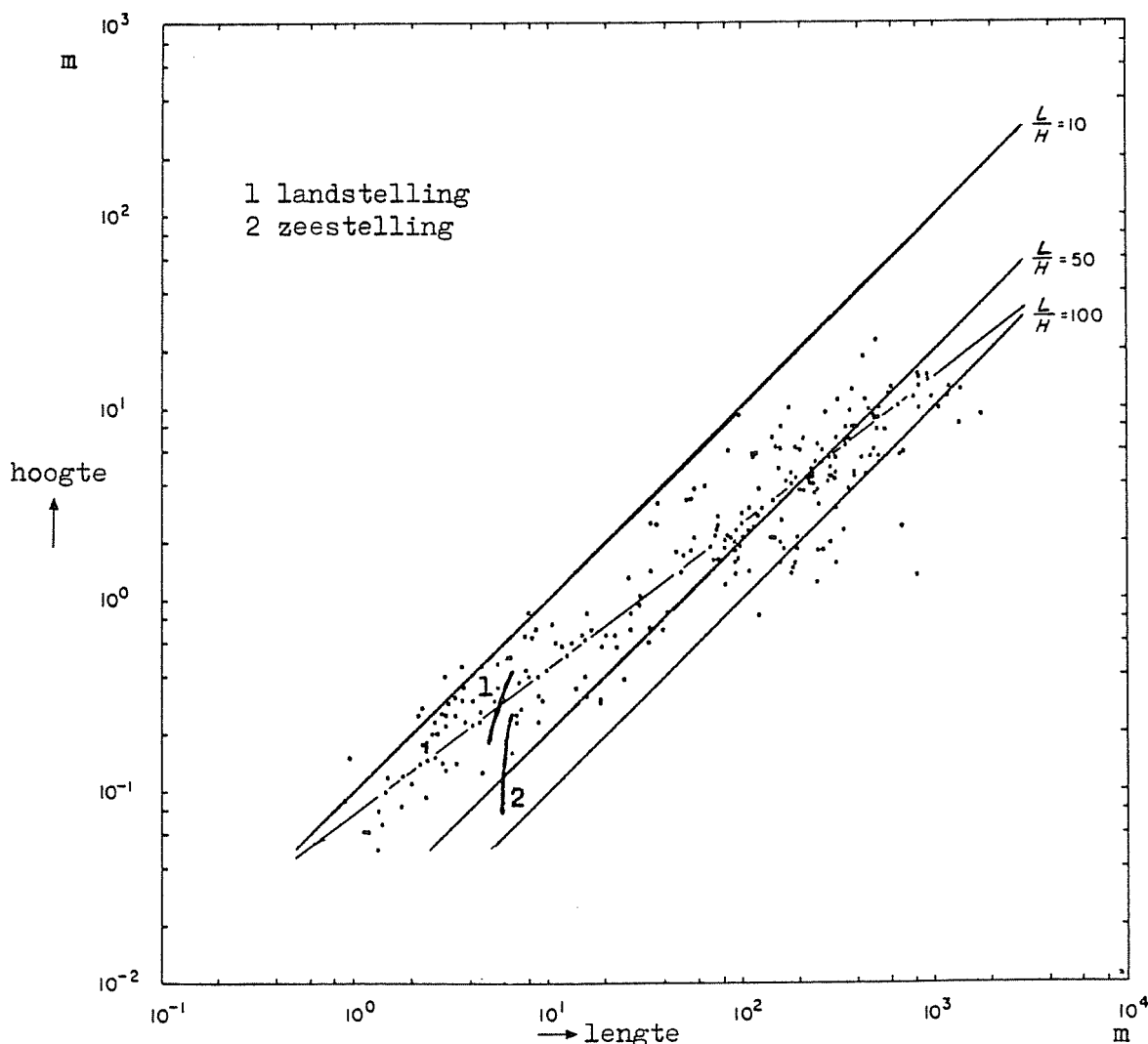


Fig.3.15.c. Ribbelhoogte uitgezet tegen ribbellengte geldend voor megaribbels (Allen, 1968). De bij de land- en zeestelling gevonden relaties tussen h en l vallen binnen het door Allen gestelde bereik.

3.4.3.2. Verloop van de $\overline{kl}/\overline{h}$ -index gedurende de meetperiode

Wanneer de veranderingen van $\overline{kl}$ en $\overline{h}$ gelijktijdig beginnen en de waarden van deze parameters gedurende enige tijd steeds met een bepaald percentage toe- of afnemen, dan geeft dit een lineair verband tussen deze parameters.

In grote trekken doet dit verschijnsel zich voor bij de landstelling van DT_1+13 t/m ST_2+12 en bij de zeestelling van DT_1+11 t/m ST_2+6 (zie fig. 3.16). De richtingscoëfficiënt van de lijn bij de landstelling is kleiner dan die bij de zeestelling. Dit betekent dat het verschil in procentuele verandering tussen $\overline{kl}$ en $\overline{h}$ bij de landstelling kleiner is dan bij de zeestelling.

Gebruikmakend van alle waarden van $\overline{h}$ en $\overline{kl}$ luiden de vergelijkingen:

$$\begin{array}{ll} \text{landstelling: } \overline{kl} = 4,4 \overline{h} + 1,96 & (3.5) \\ \quad \quad \quad \underline{r=0,59.} & \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{zeestelling: } \overline{kl} = 12,9 \overline{h} + 1,42 & (3.6) \\ \quad \quad \quad \underline{r=0,60.} & \end{array}$$

3.4.3.3. Verloop van de $\overline{b}/\overline{a}$ -index gedurende de meetperiode

De $\overline{b}/\overline{a}$ -index is niet direct afhankelijk van de ribbelparameters en daardoor een index die vergelijkbaar is met een ribbelparameter. Slechts een horizontale verplaatsing van het kampunt t.o.v. het trogpunt geeft een verandering in de b/a -verhouding.

Rheineck en Singh (1973) stellen dat de b/a -index samen met de l/h -index de belangrijkste ribbelindices zijn. Voor de b/a -index geven zij de volgende normen:

- $b/a < 2,5$: golfribbels,
- $2,5 < b/a < 3$: golfribbels en stroomribbels,
- $b/a > 3$: stroomribbels.

Bij het hanteren van deze normen voor de land- en zeestelling zou een groot percentage van de ribbels daar tot de golfribbels behoren i.p.v. tot de stroomribbels (zie fig. 3.17. en 3.18.). Het blijkt dat de door Rheineck en Singh (1973) gestelde normen voor de b/a -index niet overeenkomen met de in dit onderzoek gevonden waarden ontstaan in een estuarium met getijwerking.

Tenslotte dient nog opgemerkt te worden dat de ribbels bij de landstelling in de oploophase naar ST_2 symmetrischer worden om na ST_2 ook zo te blijven. Bovendien zijn deze in het algemeen symmetrischer dan de ribbels bij de zeestelling (zie fig. 3.18.).

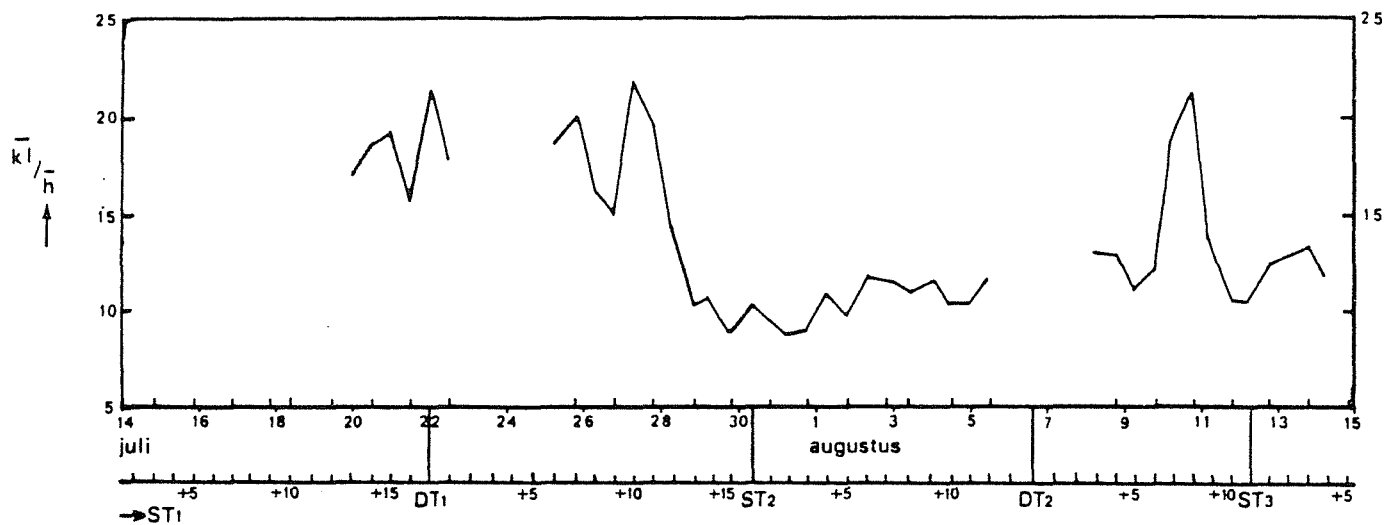


Fig.3.16.a.Verloop van de $\bar{k}_l/\bar{h}$ -index gedurende de meetperiode bij de landstelling.

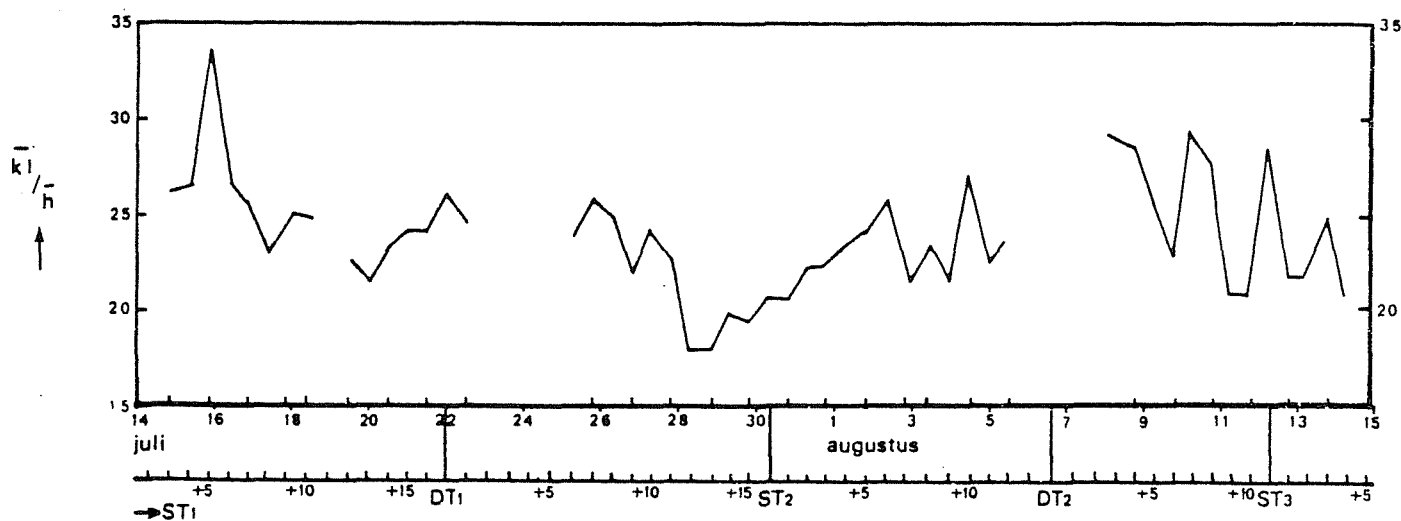


Fig.3.16.b.Verloop van de $\bar{k}_l/\bar{h}$ -index gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

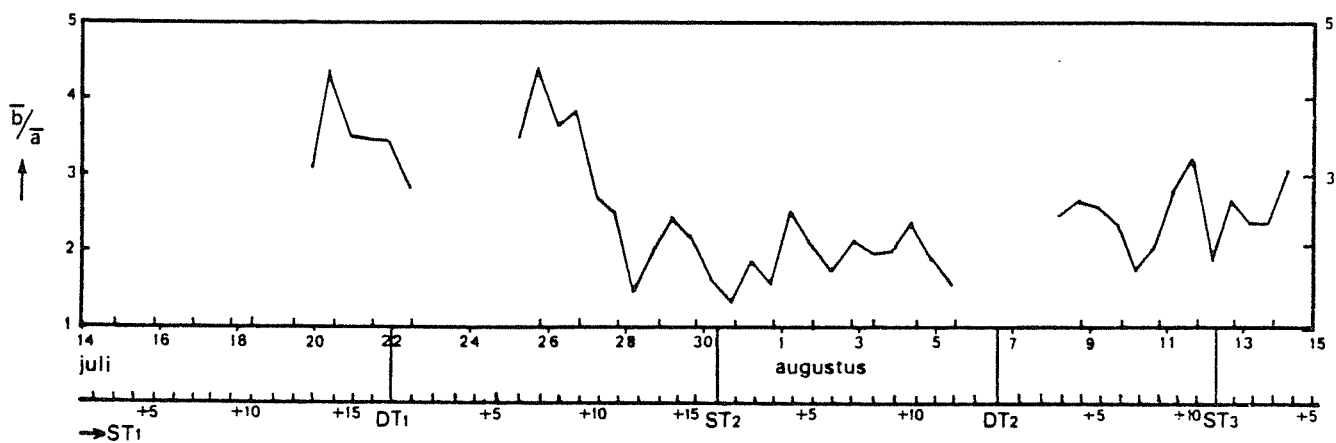


Fig.3.17.a.Verloop van de $\bar{b}/\bar{a}$ -index gedurende de meetperiode bij de landstelling.

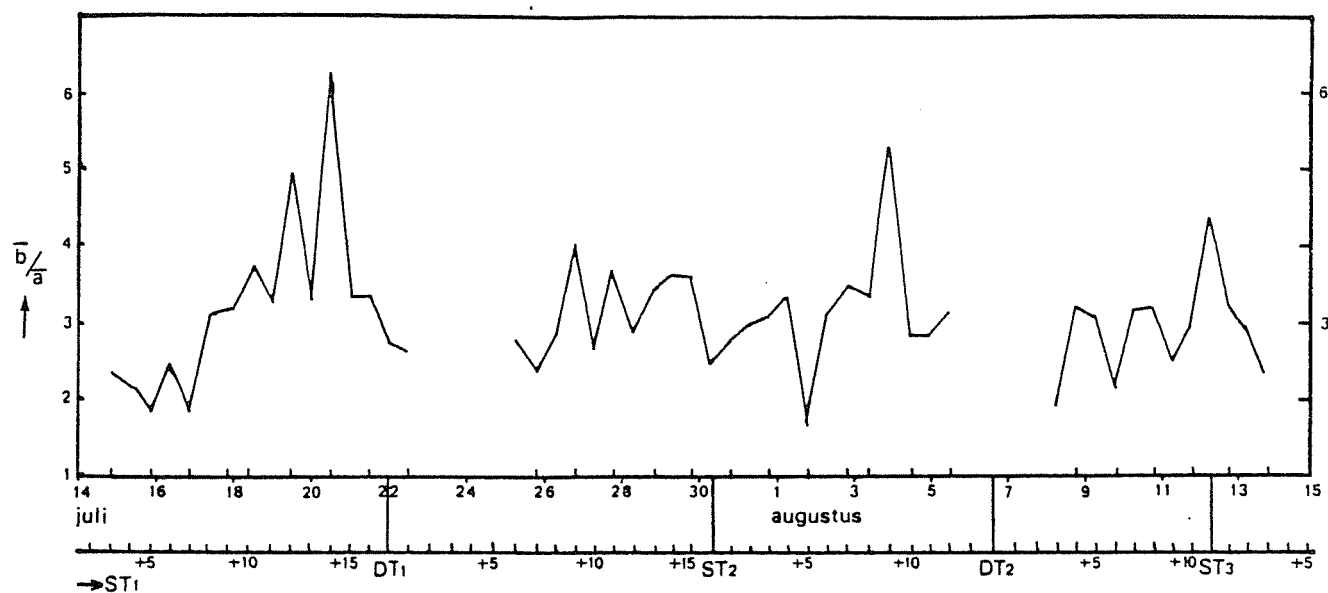


Fig.3.17.b.Verloop van de $\bar{b}/\bar{a}$ -index gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

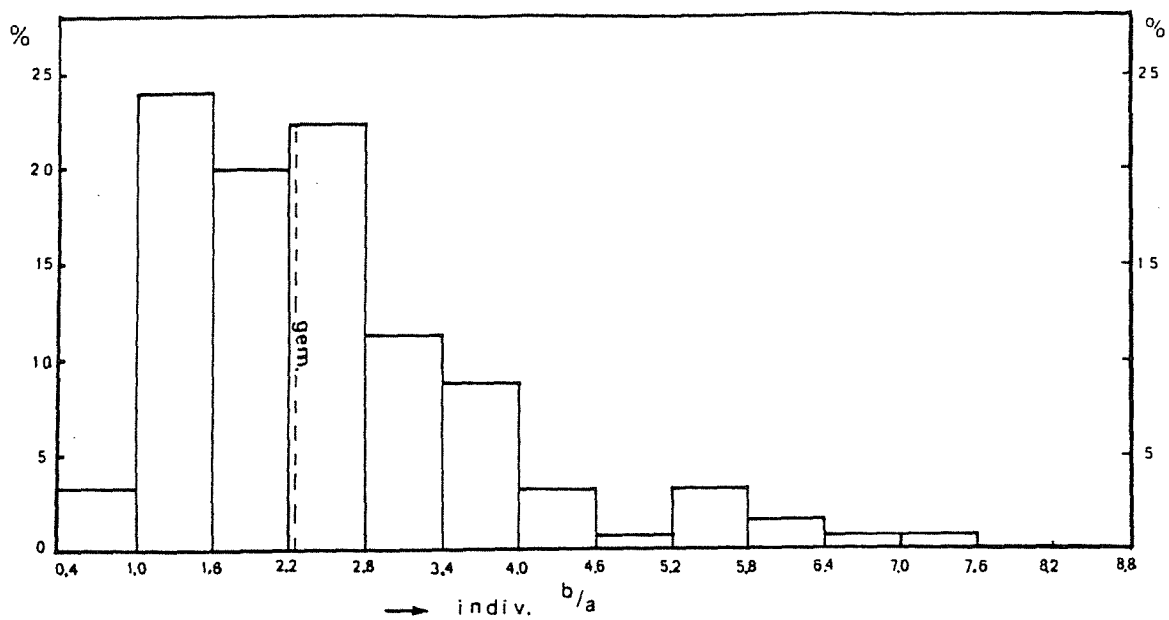


Fig.3.18.a.Procentueel frequentie-diagram van de individuele b/a -index,gemeten bij de landstelling gedurende de gehele meetperiode.

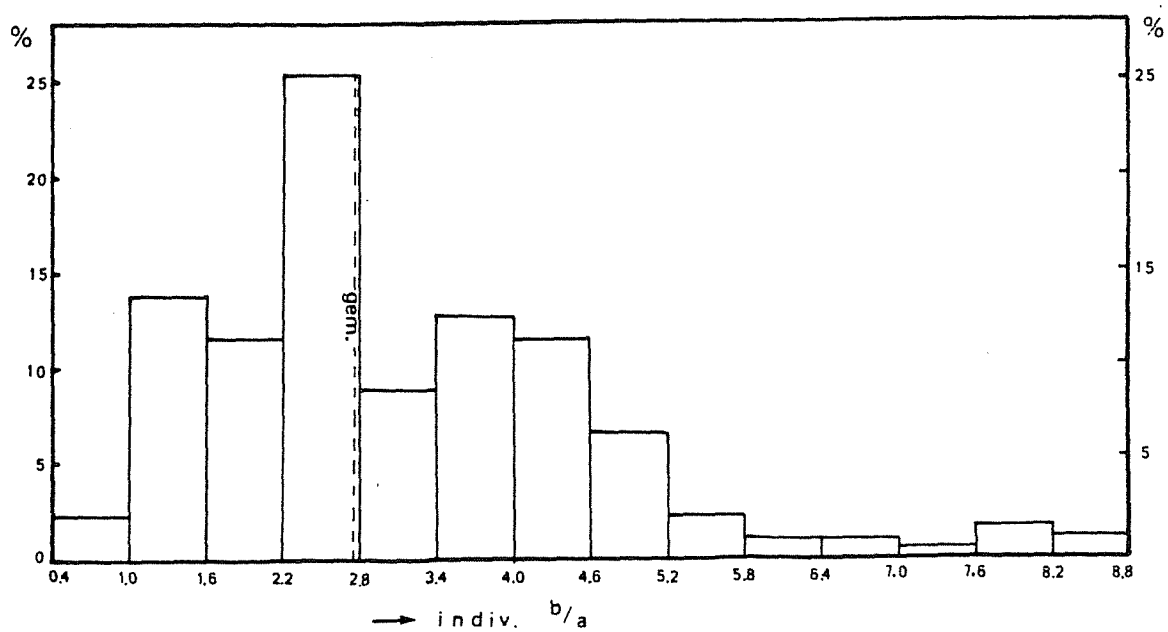


Fig.3.18.b.Procentueel frequentie-diagram van de individuele b/a -index,gemeten bij de zeestelling gedurende de gehele meetperiode.

3.5. HET DRIEDIMENSIONALE BEELD VAN DE BESCHOUWDE RIBBELVELDEN

3.5.1. Inleiding

In dit gedeelte worden de ribbelpatronen bij de land- en zeestelling en op het quasi-ebribbenveld behandeld, benevens andere op de plaat waargenomen morfologische elementen, te weten de kom, ebkap en kleinribbels.

Hiertoe zijn tijdens het onderzoek foto's genomen van de ribbelpatronen en de morfologische elementen. Dit gebeurde, voor zover het daglicht het toeliet, vóór en na iedere gemeten dagcyclus vanaf:

- de grond, vanwaar de meetraai werd gefotografeerd, evenwijdig aan de strekking van de ribbels,
- de beide stellingen, vanwaar het mogelijk was overzichtsfoto's te maken van de meetvelden.

Door de op deze wijze verkregen fotoreeksen met elkaar te vergelijken, gecombineerd met waarnemingen en metingen, kunnen veranderingen in de tijd van de ribbelpatronen en de morfologische elementen kwalitatief worden vastgelegd.

3.5.2. De ontwikkeling van het ribbelpatroon bij de landstelling gedurende de meetperiode

Een ribbenveld is een gebied, waar het kamlijnenpatroon en de hoogtes van de ribbels een grote mate van overeenkomst vertonen.

Onder natuurlijke omstandigheden is slechts 20-40% van het kamlijnenpatroon te identificeren. Allen (1968) vindt dit percentage al voldoende om ribbenvelden te klassificeren. Het is duidelijk dat onder deze omstandigheden de klassificatie veelal arbitrair zal zijn.

Wanneer de in figuur 3.19. getoonde ribbelklassificatie van Allen (1968) wordt gehanteerd, kunnen voor de landstelling gedurende de meetperiode de volgende typen van ribbelpatronen worden onderscheiden:

- van ST_1+13 t/m DT_1+11 een sinusoidale ribbelpatroon (zie foto 3.1).

Gaande naar DT_1+11 worden de kamlijnen grilliger van vorm door het optreden van kommen.

- van DT_1+12 t/m ST_2+5 is een overgangstype aanwezig tussen het sinusoidale en catenary ribbelpatroon; beide patronen zijn niet in fase (zie foto 3.2. en verg. fig. 3.19.). Vanaf DT_1+12 komen ook "spurs" voor (zie 3.5.8.), een morfologisch element dat typerend is voor het catenary ribbelpatroon.

- van ST_2+6 t/m DT_2+6 ondergaat bovengenoemd overgangstype enige verandering. Het sinusoidale karakter overheerst nu meer dan in de vorige periode (zie foto 3.3.).



Foto 3.1. Overzichtsfoto van het sinusoidale ribbelveld bij de landstelling.
 De stroomrichting bij vloed is van rechtsboven naar linksonder op de foto (zie pijl).
 De ribbels zijn ongeveer 25cm hoog en 7,5m lang.
 De foto is genomen na DT_1 .



Foto 3.2. Overzichtsfoto van het sinusoidale-catenary ribbelpatroon bij de landstelling. De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan. De foto is genomen na ST_2+4 .



Foto 3.3. Overzichtsfoto van het sinusolde-achtige ribbelpatroon bij de landstelling. De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan. De foto is genomen na $DT_2 + 4$.



Foto 3.4. Overzichtsfoto van het sinusoidale catenary ribbelpatroon bij de landstelling. De pijl geeft de stroomrichting aan tijdens vloed. De foto is genomen na DT_2+9 .

-van DT_2+6 t/m ST_3+6 is weer sprake van een catenary ribbelpatroon (zie foto 3.4.). Vanaf DT_2+11 ontstaat een onregelmatiger kamlijnenpatroon door het optreden van kommen.

De strekking van de ribbelfronten is $0-10^\circ$, min of meer loodrecht op de vloedstroomrichting (90°).

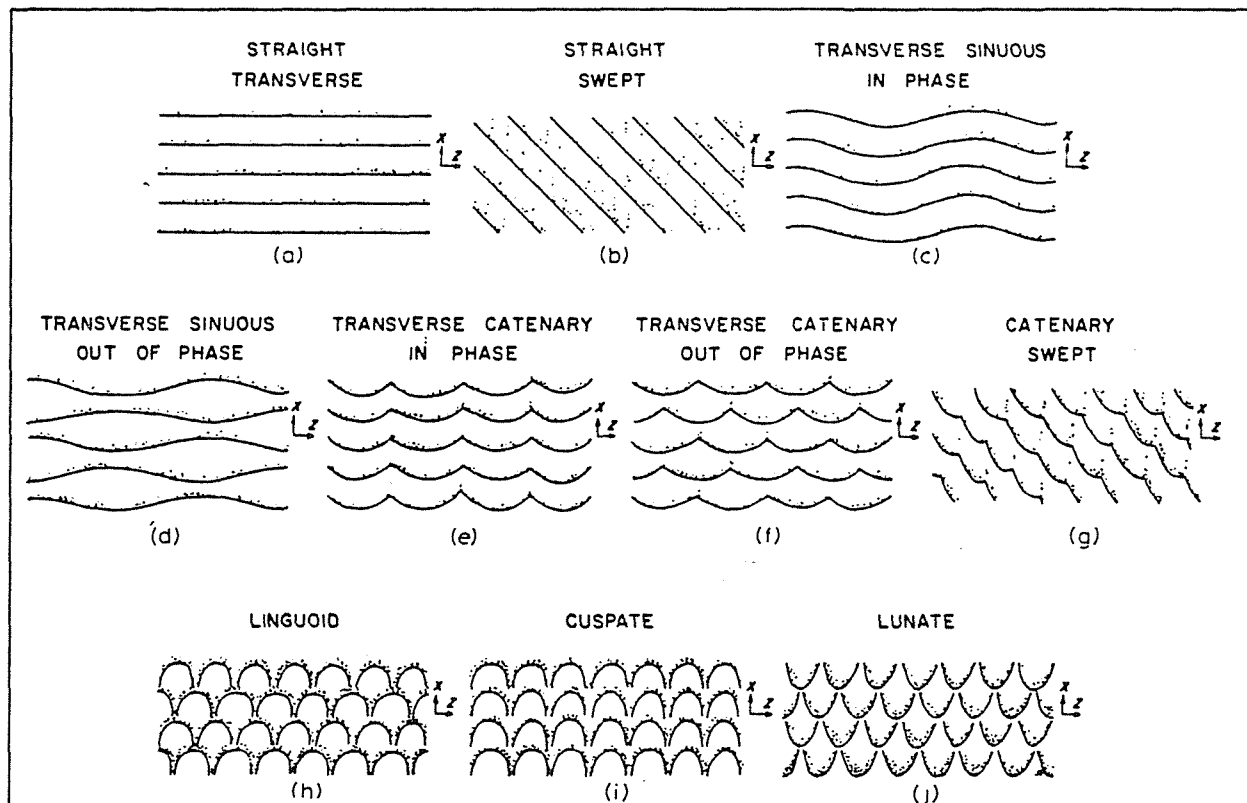


Fig.3.19. Ribbelklassificatie volgens Allen (1968).

Het x-z coördinaten-stelsel ligt in het vlak van tekening. De x-richting geeft de stroomrichting aan (naar Allen, 1968).

3.5.3. De ontwikkeling van het ribbelpatroon bij de zeestelling gedurende de meetperiode

Het ribbelpatroon bij de zeestelling is gedurende de gehele meetperiode recht. Toch is er sprake van een doodtij-springtijcyclus, nl:

- van ST_1+1 t/m ST_1+3 komen in drechte kamlijn "flauwe inhammetjes" voor, waardoor de rechte kamlijn enigszins onregelmatig wordt,
- van ST_1+4 t/m DT_1+9 zijn bovenstaande inhammetjes niet aanwezig (zie foto 3.5.),
- van DT_1+10 t/m ST_2+7 : als a) (zie foto 3.6.),
- van ST_2+8 t/m DT_2+9 : als b),
- van DT_2+10 t/m ST_3+4 : als a).



Foto 3.5. Foto van een rechte kamlijn bij de zeestelling. De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan. De foto is genomen na ST_1+14 .



Foto 3.6. Rechte kamlijn met kleine "inhammetjes" aan de lijzijde (zeestelling). De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan. De foto is genomen na DT_1+13 . De verplaatsing van de ribbel is, bij vergelijking met foto 3.5., duidelijk zichtbaar.

Foto 3.7. toont aan dat er in de geul bij de zeestelling een kruisend patroon van ribbels aanwezig is. Op de foto zijn de twee richtingen van de kamlijnen aangegeven (richting a en b). Deze richtingen maken een hoek van 35° met elkaar. Het ontstaan van dit kruisend patroon is als volgt: aanvankelijk wordt de richting van de vloedstroom bepaald door de stroom in de geul. De stroomrichting is dan 120° . Loodrecht hierop ontstaan ribbels met een strekking van 30° . Dit zijn de ribbels waarvan op de foto de kamlijnen aangegeven zijn met a. Als het water de gehele plaat bedekt, verandert de stroomrichting van 120° naar 90° (zie 2.3.2.2.). De richting van de kamlijnen, loodrecht op deze 90° -stroomrichting, wordt weergegeven door richting b. Deze richting b komt overeen met de in het meetveld liggende ribbels. Beide hebben een strekking van 0° . Het kruisend patroon verandert niet tijdens een doottij-springtijcyclus.

3.5.4. De ontwikkeling van het ribbelpatroon op het quasi-ebribberveld gedurende de meetperiode

Het quasi-ebribberveld kan beschouwd worden als een overgangsgebied van vloedribbels naar ebribbels. Quasi-ebribbels zijn ribbels die morfologisch gezien ebribbels zijn, maar sedimentair structureel gezien vloedribbels.

Rond doottij komt op het quasi-ebribberveld een recht ribbelpatroon voor met een zeer geringe ribbelhoogte van circa 10 cm (zie foto 3.8.). Dit rechte ribbelpatroon verandert in de oplooffase naar en tijdens springtij in een patroon dat enigszins lijkt op het catenary ribbelpatroon (zie foto 3.9.).

Op het quasi-ebribberveld is eveneens een kruisend patroon van ribbels aanwezig (zie foto 3.9.). De richting van de vloedstroom is 90° ; loodrecht hierop staan de ribbels, die primaire ribbels genoemd zijn. De strekking van de ribbelfronten is 0° . Gedurende de oplooffase naar springtij worden secundaire ribbels gevormd op de loefzijde van de primaire ribbels (zie foto 3.9., pijltjes op de voorgrond). De fronten van deze secundaire ribbels hebben een strekking van 245° . De ribbels ontstaan onder invloed van een sterke afstroming gedurende de periode dat dit gedeelte nog net onder water staat. De richting van de afstroming is 330° (zie fig. 2.8.a. en b.). Dit is loodrecht op de strekking van de secundaire ribbels.

3.5.5. Kommen

De definitie van een kom luidt: een ovaalvormige depressie, ongeveer hal-



Foto 3.7. Kruisend ribbelpatroon bij de zeestelling.

De stroomrichting tijdens vloed wordt aangegeven door de pijlen.

De kamlijnen a en b maken een hoek van 35° met elkaar.

De gestippelde lijn geeft de overgang tussen het meetveld en de geul aan.

De foto is genomen na ST_2+10 .



Foto 3.8. Het rechte kamlijnenpatroon op het quasi-ebribbelsveld.

De ribbelhoogte is gering.

De ribbels zijn, zoals uit de inwendige structuren blijkt, gevormd door de vloedstroom (zie lange pijl), en gemodificeerd tot quasi-ebribbels door de ebstroom (zie korte pijl).

De foto is genomen na DT_2+6 .

verwege de loefzijde van een megaribbel (zie foto's 3.10. en 3.11.). Aan de hand van waarnemingen is bepaald dat het voorkomen van kommen gebonden is aan bepaalde fasen van een doortij-springtijcyclus. Figuur 3.20. geeft die fasen voor de land- en zeestelling aan.

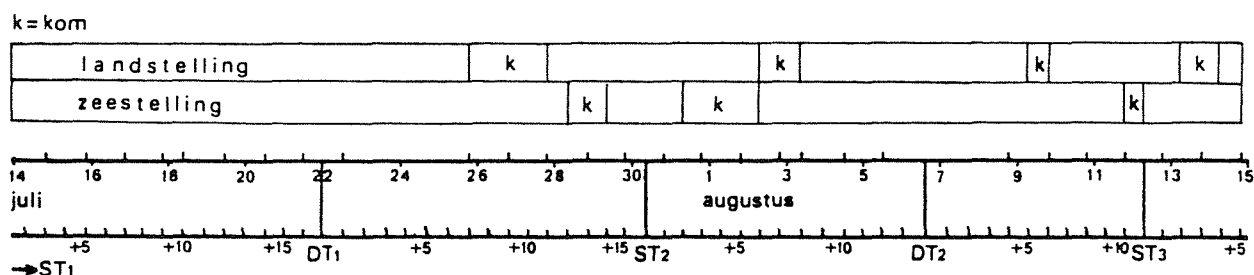


Fig. 3.20. Perioden waarin kommen aanwezig zijn bij de land- en zeestelling.

Opvallend is dat deze kommen zich vormen op hoge en grote ribbels. Het aantal kommen op één ribbel nam tijdens hun bestaansperiode toe van één of twee tot zes of zeven (zie foto 3.11.), kriskras verspreid over de ribbel. Geprobeerd is de plaats van de kommen op de loefzijde van de ribbels in verband te brengen met de hydrodynamische omstandigheden (snelheid, effectiviteit), maar dit onderzoek gaf geen resultaat.

De kommen bij de zeestelling zijn geringer in aantal, kleiner en minder diep dan bij de landstelling.

Het ontstaan van kommen zal worden behandeld in hoofdstuk 6.

3.5.6. Ebkap

In een getijdengebied kan de ebkap (zie foto 3.12.) een extra kenmerk van een ribbel zijn. De ribbel zal zich in een gebied waar de vloed dominant is, aanpassen aan deze stroom (zie fig. 3.21.a.). Na de kentering is de ribbel blootgesteld aan de ebstroom. Afhankelijk van de snelheid van de ebstroom kan een deel van de ribbel aangepast worden aan deze verandering van stroomrichting. Dit gebeurt door erosie van een deel van de kam, gevolgd door sedimentatie die tot de vorming van de ebkap leidt (zie fig. 3.21.b.). De ligging van het kampunt, zoals dat bij een vloedstroom ontstaan is, wordt door de vorming van een ebkap in de richting van de ebstroom verplaatst.

Figuur 3.22. toont de mate van aanwezigheid van de ebkap bij land- en zeestelling.



Foto 3.9. Het recht tot catenary ribbelpatroon op het quasi-
ebribberveld. De pijl geeft de stroomrichting tijdens
eb aan.
De kleine pijltjes geven de secundaire ribbels aan.
De foto is genomen na DT_2+9 .



Foto 3.10. Ovaalvormige kom bij de landstelling.
De meetlat is 1 meter.
De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan.
De foto is genomen na DT_2+7 .

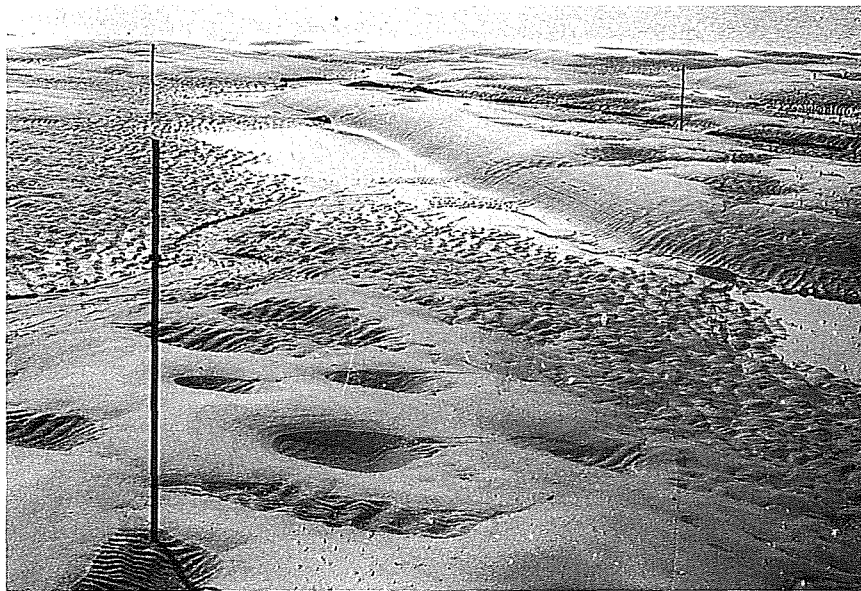


Foto 3.11. Kommen bij de landstelling.
De pijl geeft de stroomrichting tijdens vloed aan.
De foto is genomen na DT_2+7 .



Foto 3.12. Op de voorgrond een ribbel bij de landstelling met
(omlijnd) een ebkap. Tussen de twee sterren is de kam-
lijn te zien. Rondom de ebkap liggen kleinribbels:
deze liggen lager.
De foto is genomen na ST_2+4 .

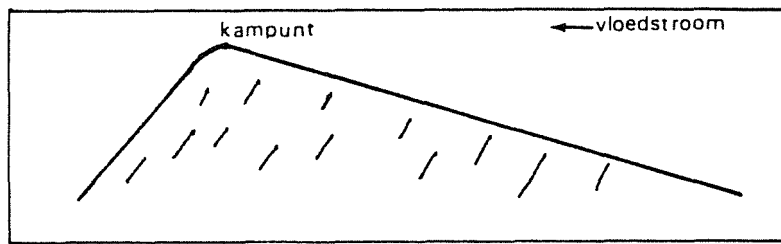


Fig. 3.21.a. Dwarsdoorsnede door een ribbel tijdens de vloedstroom.

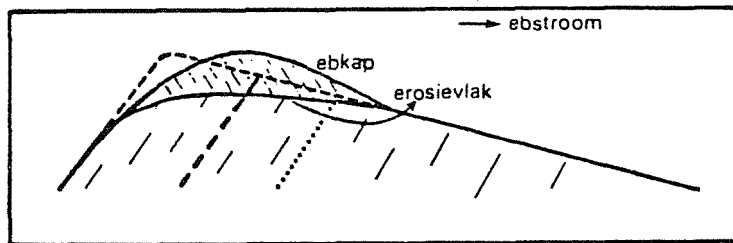


Fig. 3.21.b. Ontstaan van de ebkap tijdens de ebstroom.

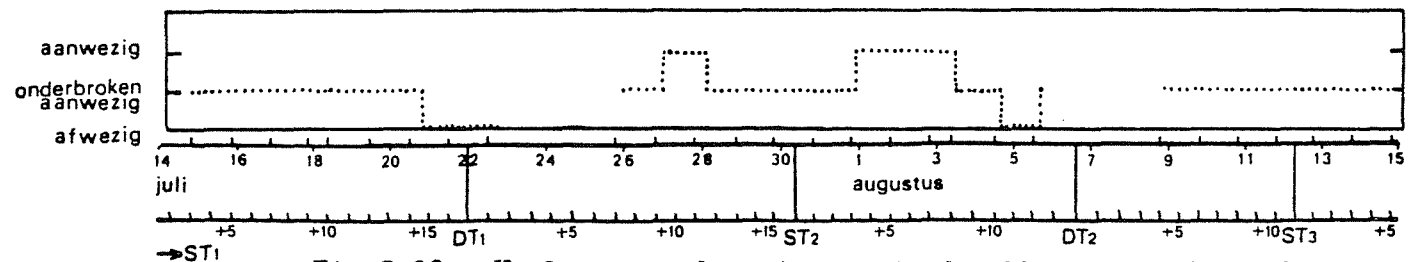


Fig. 3.22.a. Verloop van de mate waarin de ebkap aanwezig is bij de landstelling gedurende de meetperiode.

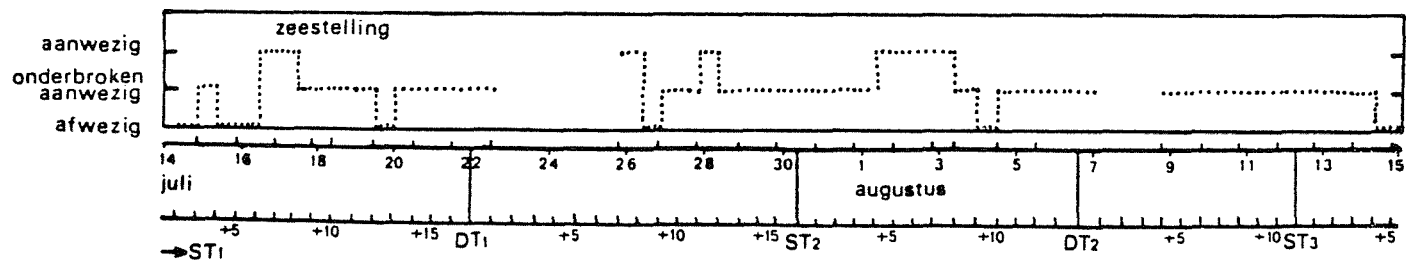


Fig. 3.22.b. Verloop van de mate waarin de ebkap aanwezig is bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

Voor de landstelling geldt dat rond springtij ST_2 de ebkap zich uitbreidt ofwel volledig aanwezig is en dat de ebkap dan ook de grootste dikte heeft. Dit was te verwachten aangezien ook de snelheid van de ebstroom rond springtij zo hoog is dat de competente snelheid voor het bodemmateriaal wordt bereikt (zie fig. 2.15).

Voor de zeestelling geldt ook dat rond het hoge springtij ST_2 de ebkap

volledig aanwezig is. Vergelijken met de landstelling komt de ebkap bij de zeestelling minder geprononceerd tot uiting.

3.5.7. Kleinribbels

Op grond van afmetingen wordt onderscheid gemaakt tussen een kleinribbel en een megaribbel. Zowel Allen (1968) als Rheineck en Singh (1973) hanteren voor een kleinribbel een maximale lengte van 0,6m. Voor de maximale hoogte van een kleinribbel wordt door Allen (1968) 0,04m en door Rheineck en Singh (1973) 0,06m aangenomen.

De waarde van Rheineck en Singh bleek voor de kleinribbels op de Plaat van Ossensisse de beste waarde te zijn.

Het is moeilijk vast te stellen of de kleinribbels, die op de Plaat van Ossensisse voorkomen (zie foto 3.13.), stroomribbels of golfribbels zijn. Daarvoor is het noodzakelijk om de inwendige structuur ervan te bestuderen hetgeen in dit onderzoek niet is gebeurd.

De vorming van golfribbels vindt plaats in relatief ondiep water.

Bij golven in ondiep water gaat de cirkelvormige baan die de waterdeeltjes aan het oppervlak beschrijven over in een oscillerende (heen en weer gaande) beweging bij de bodem. Hierdoor worden de sedimentkorrels vanuit de golf-trog naar weerskanten vervoerd. In principe zijn golfribbels symmetrisch, maar door de bijkomende (in dit geval eb-)stroming kunnen ze asymmetrisch worden en meer op stroomribbels gaan lijken.

3.5.8. Spurs

Een spur is een recht of licht gebogen rug, die voor de lijzijde van de ribbel ligt en de trogzone in twee laagtes opdeelt (zie foto 3.14.). De lengterichting van de rug is evenwijdig aan de stroomrichting (Allen, 1968). Bij de landstelling komen tijdens een drietal perioden spurs voor (zie fig. 3.23.). De aanwezigheid van spurs valt samen met het dan bij de landstelling voorkomende catenary-ribbelpatroon.

Bij de zeestelling zijn geen spurs waargenomen tijdens de meetperiode.

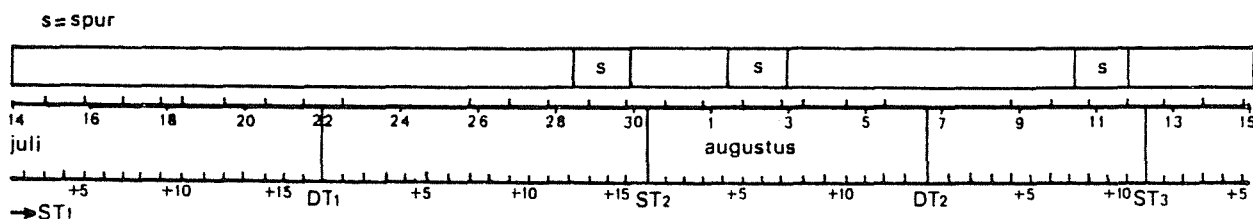


Fig. 3.23. Perioden waarin spurs aanwezig zijn bij de landstelling.



Foto 3.13. Kleinribbels, ongeveer 30cm lang en 6cm hoog.
 De stroomrichting bij vloed is volgens de lange pijl,
 de stroomrichting bij eb volgens de korte pijl.
 De foto is genomen na ST_3 .



Foto 3.14. Spurs, gelegen bij de landstelling, aangegeven door
 korte pijltjes. De stroomrichting tijdens vloed is
 volgens de pijl.
 De foto is genomen na ST_2+4 .

Voor het bepalen van de ribbelparameters en -indices is in het veld gebruik gemaakt van de ribbelmeter.

Bij de analyse van de parameters h , kl en l zijn niet alleen de waarden van deze parameters voor elke gemeten ribbel afzonderlijk bekeken, maar is ook het gemiddelde bepaald van alle ribbels die zich op het moment van meting in de meetraai bevonden. De indices zijn berekend uit deze gemiddelde waarden voor h , kl en l .

Sprongen in het verloop van het gemiddelde van een parameter of een index worden veroorzaakt door het in of uit de meetraai lopen van de ribbels. Uit de verkregen gegevens bleek dat over het algemeen de lengte van het meetveld (27m) te kort was om een representatief en consistent beeld van de ribbelvelden te vormen.

Niet alle ribbels in één meetveld vertonen gedurende een doodtij-springtij-cyclus dezelfde tendenzen. Dit kan voor elke parameter verschillend tot uiting komen. Bij de landstelling vertoont de hoogte van alle ribbels dezelfde tendens: rond springtij hoge waarden en rond doodtij lagere waarden. Het verloop van de afzonderlijke kamlengtes en ribbellengtes daarentegen is bij de landstelling minder eenduidig.

Het verloop van de parameters geeft aan dat de ribbels van de beide meetvelden zich verschillend ontwikkelen.

De $I/\bar{h}$ -index toont volgens de literatuur aan dat zowel bij de land- als bij de zeestelling de megaribbels tot de klasse van de stroomribbels behoren ($I/\bar{h} > 15$).

De $\bar{b}/\bar{a}$ -index is gedeeltelijk met het bovenstaande in tegenspraak. Dat niet alle waarden van de $\bar{b}/\bar{a}$ -index groter dan 3 zijn (stroomribbels) wordt veroorzaakt door de vorming van een ebkap, waardoor de ribbels symmetrischer worden.

Naast de ebkap zijn de kommen, spurs en kleinribbels veel voorkomende morfologische elementen op de ribbelvelden.

Bij de landstelling heeft het ribbelveld een sinusoïde tot catenary ribbelpatroon: rond springtij is dit voornamelijk catenary en rond doodtij meestal sinusoïde. Bij de zeestelling zijn de ribbels gedurende de gehele meetperiode recht. Op het quasi-ebribbelveld is een recht ribbelpatroon aanwezig, dat gedurende springtij enigszins catenary is.

Op het quasi-ebribbelveld en in de geul bij de zeestelling komt een kruisend patroon van ribbelkammen voor, dat gekoppeld is aan de "kruisende" stroomrichtingen aldaar.

Hoofdstuk 4

RIBBELVERPLAATSING

4.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt de verplaatsing van een megaribbel nader belicht. Daarvoor is bij de land- en zeestelling gebruik gemaakt van twee verschillende meetmethoden.

Voor de bij deze metingen en berekeningen gemaakte fouten wordt verwezen naar appendix B.

Het ontstaans- en verplaatsingsmechanisme wordt hier niet behandeld.

4.2. MEETMETHODE EN VERWERKING VAN DE GEGEVENS

Het bepalen van de grootte van de ribbelverplaatsing is enerzijds gebaseerd op ribbelmetingen (zie 3.3.1.) en anderzijds op metingen uit lakprofielen. Met behulp van deze twee methoden kan het in dit onderzoek gebruikte begrip ribbelverplaatsing nader worden gedefinieerd.

Het is namelijk mogelijk de ribbelverplaatsing één- en driedimensionaal uit te drukken, waardoor de volgende tweedeling ontstaat:

- voortplanting van de ribbel: een ééndimensionaal begrip, dat de horizontale verplaatsing van de ribbel voorstelt.
- materiaaltransport van een ribbel: een driedimensionaal begrip, dat aangeeft hoeveel materiaal per strekkende meter op de loefzijde van de ribbel is geërodeerd en hoeveel er aan de lijzijde is gesedimenteerd.

4.2.1. Voortplanting uit de lakprofielen

Op een karakteristiek deel van een ribbelfront werd enkele dagen achtereen tracermateriaal neergelegd. Het voor dit onderzoek gebruikte tracer-materiaal bestond uit geverfd zand in de kleuren oranje, blauw en zwart. Per dag werd één kleur gebruikt. Het gemiddelde van de korrelgrootteverdeling van het tracerzand (0,50mm) lag hoger dan het gemiddelde van het op de plaat voorkomende zand (0,15mm). Daardoor werd voorkomen dat het tracerzand even snel geërodeerd werd als het zand van de plaat.

Na enige dagen werd, als de ribbel zich 1 à 2 meter had verplaatst, een

lakprofiel gestoken van het getraceerde deel van de ribbel (zie fig.4.1.). Vervolgens werd voor het front van een andere ribbel dezelfde werkwijze herhaald.

Op diverse plaatsen is in de lakprofielen de horizontale afstand tussen twee tracerlagen gemeten, waaruit het gemiddelde is berekend.

De nauwkeurigheid van de voortplanting uit de lakprofielen is op 5 % gesteld (zie ook hoofdstuk 5).

4.2.2. Voortplanting uit de ribbelmetingen

De profielen van twee opeenvolgende ribbelmetingen zijn in één grafiek getekend. Omdat deze profielen door elkaar lopen, kunnen erosie- en sedimentatiegebieden worden onderscheiden. In een sedimentatie wordt voortplanting voorgesteld door de afstand tussen het oude en het nieuwe ribbelfront (zie fig.4.2.).

In de beide meetraaien (landstelling en zeestelling) bevonden zich een aantal gehele ribbels. Uit de gemeten voortplanting van deze gehele ribbels is het gemiddelde bepaald.

De nauwkeurigheid van de voortplanting uit de ribbelmetingen is op 5% gesteld.

4.2.3. Materiaaltransport uit de lakprofielen

In de lakprofielen werd de oppervlakte tussen twee tracerlagen bepaald. Omdat per strekkende meter wordt gerekend zijn de resultaten in m^3 uitgedrukt.

De nauwkeurigheid van het materiaaltransport uit de lakprofielen is gesteld op 5%.

4.2.4. Materiaaltransport uit de ribbelmetingen

Uit de door elkaar getekende profielen van de ribbelmetingen zijn de oppervlaktes bepaald van de erosie- en sedimentatiegebieden (zie fig.4.2.). Van elke gehele ribbel, die zich in de meetraai bevond, zijn de totale erosie- plus de sedimentatie-oppervlakten bepaald. Deze waarden zijn vervolgens gemiddeld voor het aantal gehele ribbels.

Deze methode overlapt weliswaar gedeeltelijk de ribbelvoortplanting-methode, maar geeft daarentegen een vollediger beeld van wat er gebeurt als de ribbel zich verplaatst. Daarbij wordt vooral gedacht aan het gebied waar erosie plaats vindt, ofwel aan de loefzijde. Daar is het namelijk zeer moeilijk een gemiddelde horizontale verplaatsing te bepalen vanwege de

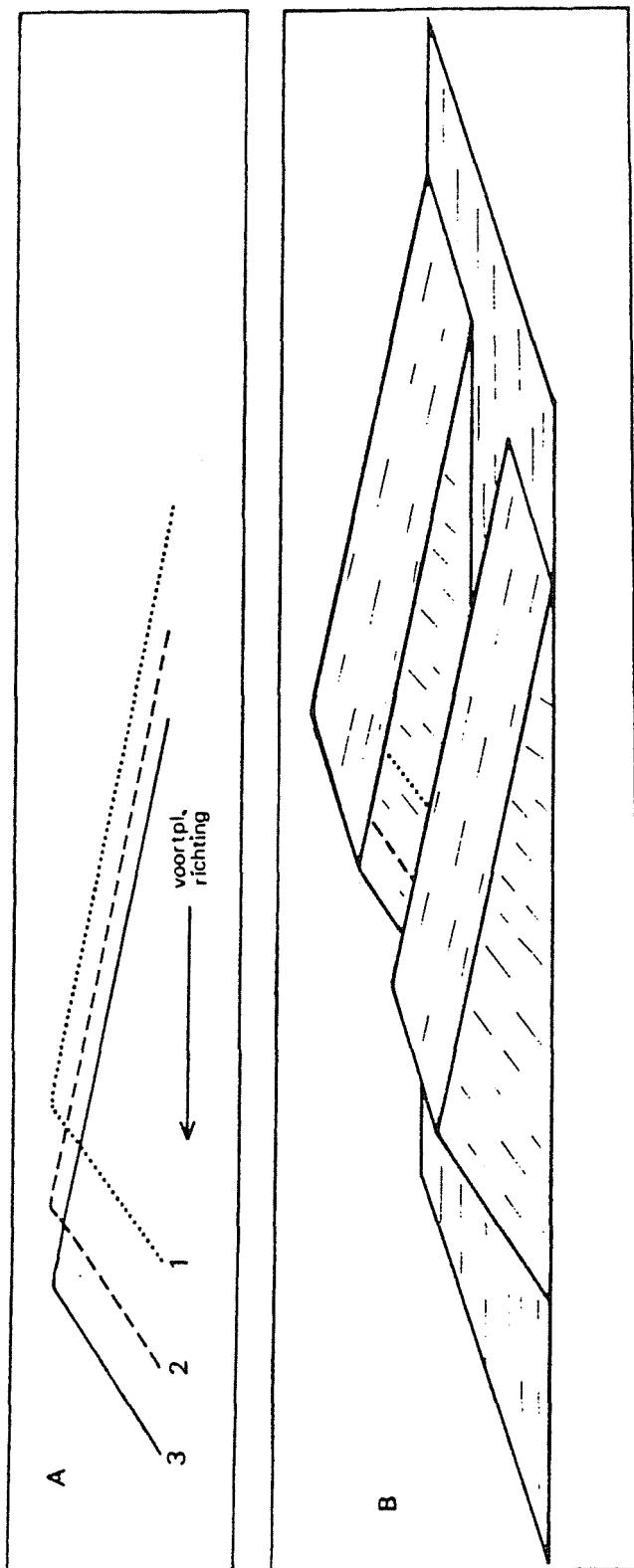


Fig.4.1.

A. Het zich verplaatsende ribbelfront.

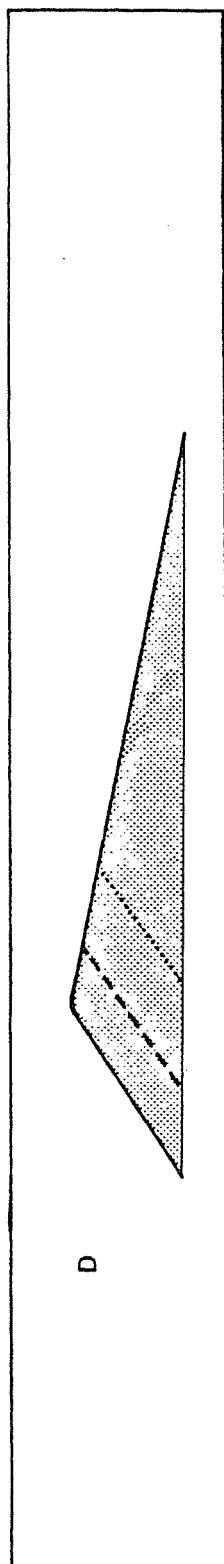
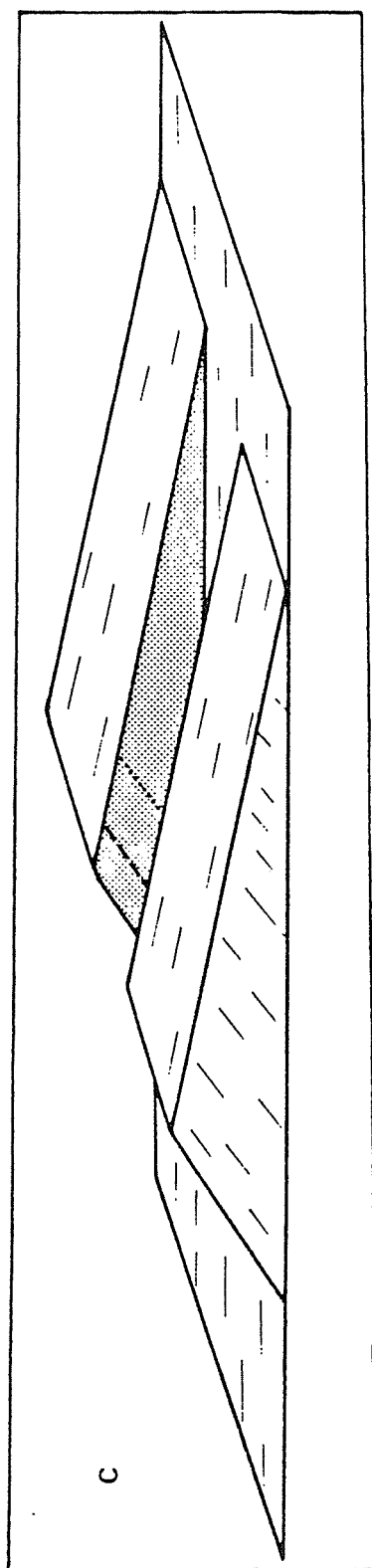
Situatie 1: ligging van het ribbelfront als voor de eerste maal tracermateriaal wordt neergelegd.

Situatie 2: ligging van het ribbelfront na twee vloed-ebcycli. Opnieuw wordt tracermateriaal neergelegd.

Situatie 3: ligging van het ribbelfront na vier vloed-ebcycli. Nu wordt een lakprofiel gestoken.

B. Na ongeveer drie dagen (afhankelijk van de voortplantingssnelheid van de ribbel) wordt een sleuf loodrecht op het ribbelfront gegraven. Op de zo ontstane verticale wand wordt een mengsel van lak en aceton gegoten. Na enige tijd is dit mengsel geïmpregneerd in het zand en hard geworden.

Vervolg op pagina 105.



Vervolg fig.4.1.

C. Over de harde wand wordt een gaas gelegd dat met lak wordt ingesmeerd, zodat het zich aan de geïmpregneerde wand hecht.

D. Het gaas met hierop een laagje van de geïmpregneerde wand wordt weggenomen en op een houten plaat gelegd.
In het aldus vervaardigde lakprofiel zijn de sedimentstructuren en het tracer materiaal te zien.

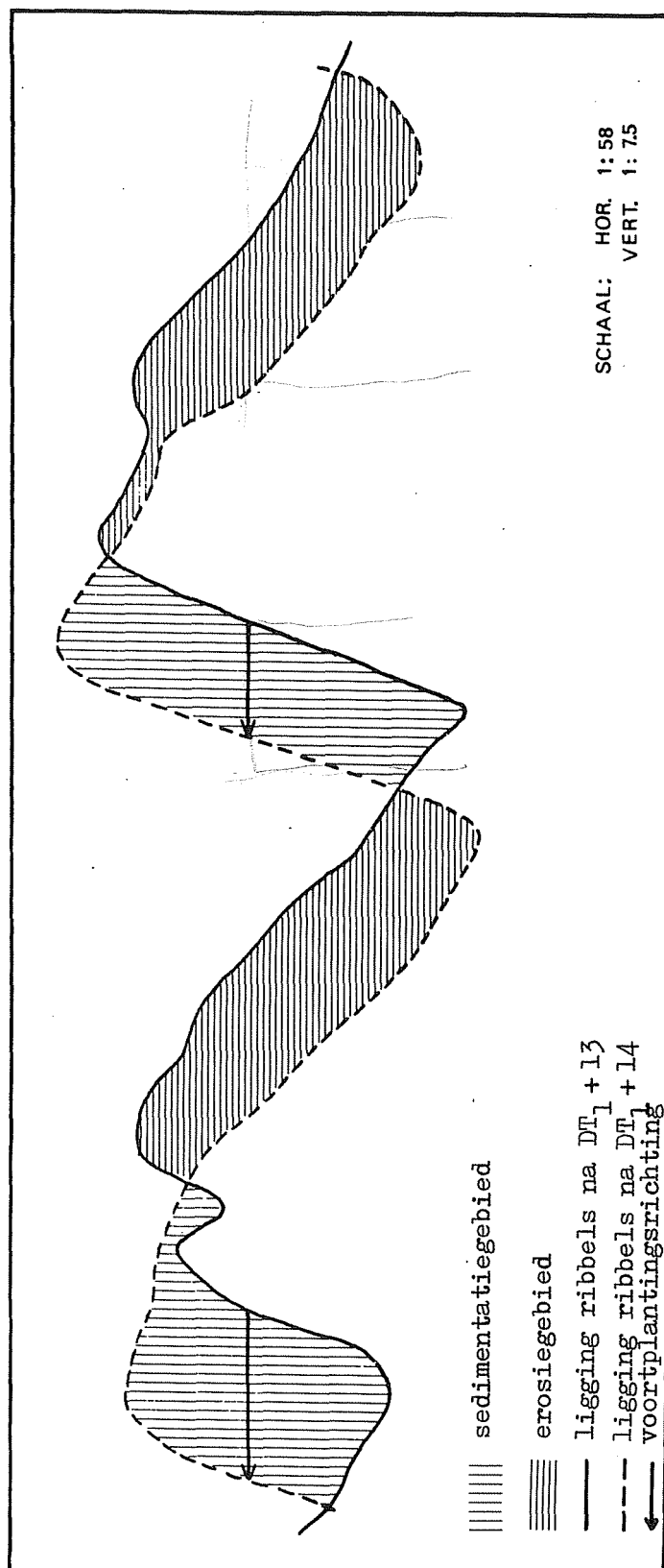


Fig.4.2. Weergave van de voortplanting, de sedimentatie- en erosiegebieden van een tweetal ribbels bij de landstelling rond springtij ST_2 .

verstoringen op deze geringer hellende zijde. Met de bepaling van de oppervlakte wordt hier geen hinder van ondervonden.

Ook nu weer worden de resultaten in m^3 uitgedrukt.

De nauwkeurigheid van het materiaaltransport uit de ribbelmetingen is op 15% gesteld.

4.3. RESULTATEN

4.3.1. Voortplanting per vloed-ebcyclus gedurende de meetperiode

Zowel voor land- als zeestelling geldt dat rond springtij de ribbel zich meer verplaatst dan tijdens doottij.

Bij de landstelling toont de ribbelvoortplanting per dag een afwisseling van een hoge en een lage waarde, die overeenkomt met de dagelijkse ongelijkheid van het getij (zie fig. 4.3.).

Voor de ribbelvoortplanting bij de zeestelling is dit verband slecht of niet aantoonbaar (zie fig. 4.4.).

Daarnaast geldt vooral bij de landstelling, en in mindere mate bij de zeestelling, dat de ribbels zich gedurende het hoge springtij ST_2 sneller voortplanten dan tijdens het lage springtij ST_3 .

4.3.2. Voortplanting per etmaal gedurende de meetperiode

Om een vergelijking mogelijk te maken tussen de gegevens verkregen uit lakprofielen en uit ribbelmetingen is de voortplanting per etmaal berekend (de ribbelmetingen waren weliswaar voor iedere vloed-ebcyclus gedaan, doch bij het neerleggen van tracermateriaal werd telkens een vloed-ebcyclus overgeslagen, zodat uit de lakprofielen voortplanting en materiaaltransport slechts per etmaal bekend zijn).

Zowel bij de land- als zeestelling geldt dat de resultaten van beide methoden goed overeenkomen (zie fig. 4.5. en 4.6.).

Ook nu is de tendens weer duidelijk: een grotere voortplanting rond springtij dan tijdens doottij en een grotere voortplanting tijdens ST_2 dan tijdens ST_3 .

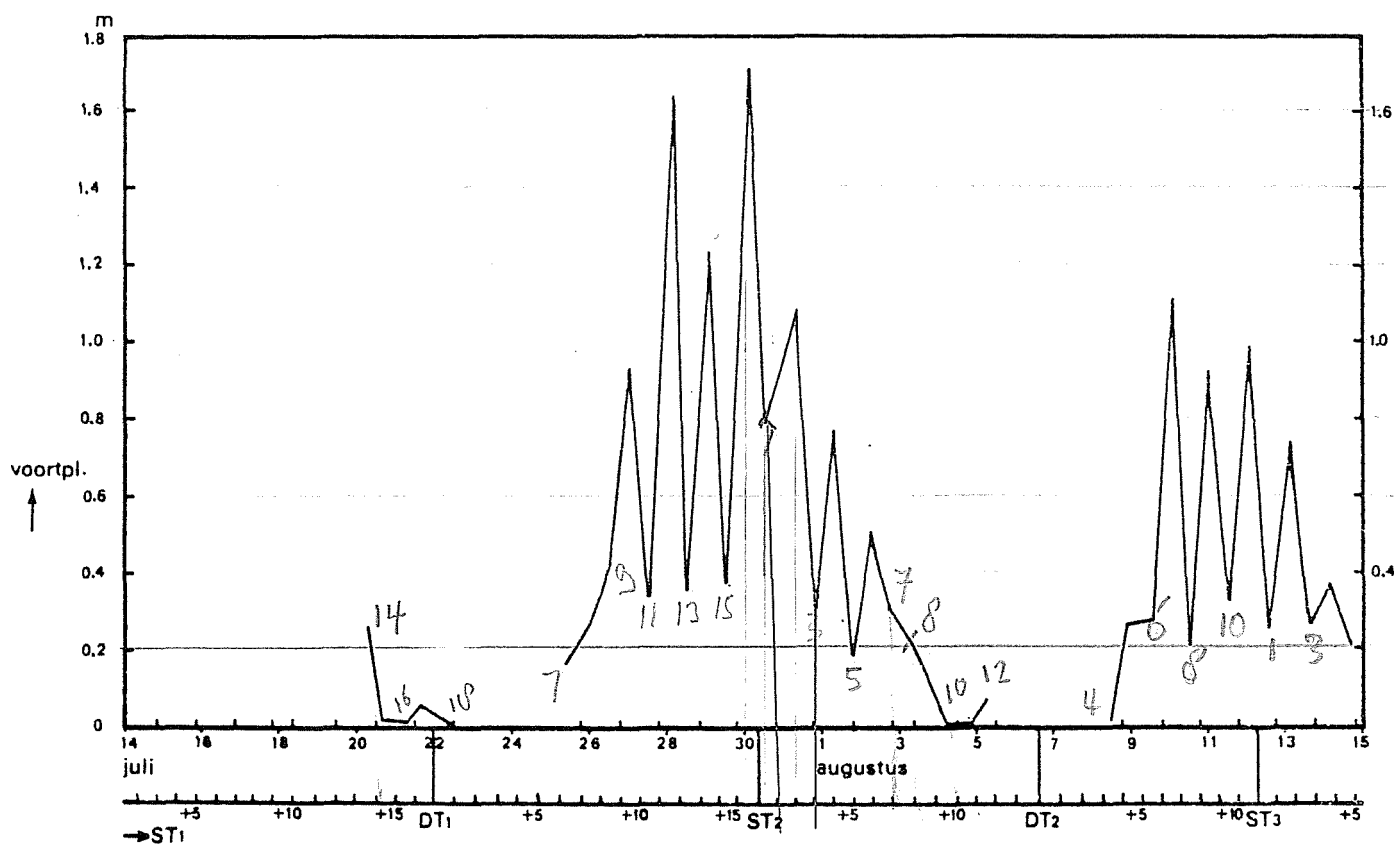


Fig.4.3. Verloop van de ribbelvoortplanting per vloed-ebcyclus bij de landstelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen.

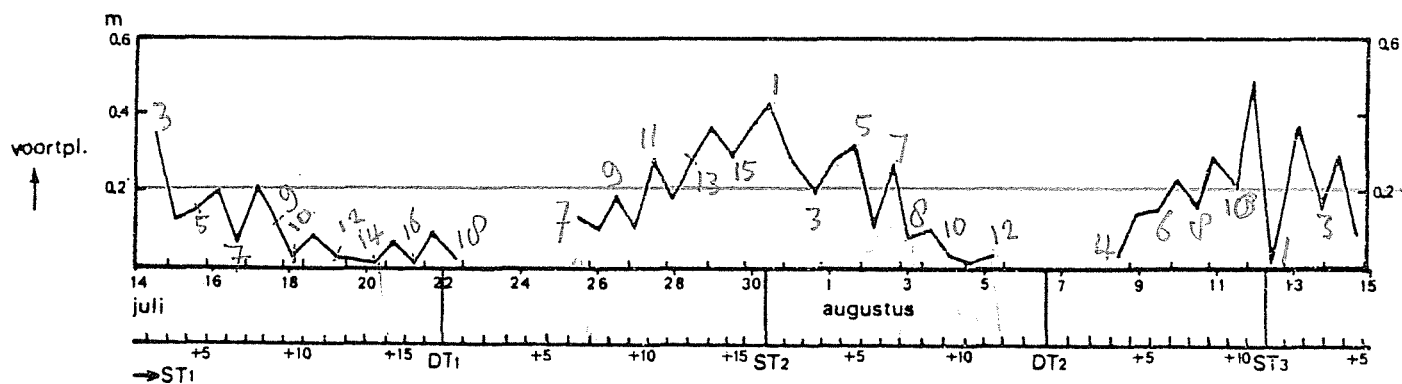


Fig.4.4. Verloop van de ribbelvoortplanting per vloed-ebcyclus bij de zeestelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen.

De ribbelmetingen zijn vrijwel voortdurend bij meerdere ribbels verricht, waaruit gemiddelden zijn berekend voor de voortplanting. Dit waren in de loop van de tijd praktisch steeds dezelfde ribbels. Lakprofielen echter zijn steeds van andere ribbels genomen met mogelijk verschillende voortplantingssnelheden. Voor de vergelijking van de waarden van de voortplanting uit de ribbelmetingen met die uit de lakprofielen heeft dit tot gevolg dat deze wel dezelfde tendenzen vertonen, maar soms niet dezelfde grootte hebben. Bij de landstelling is dit duidelijk waarneembaar; bij de zeestelling geldt dit in veel mindere mate (zie fig. 4.5. en 4.6.).

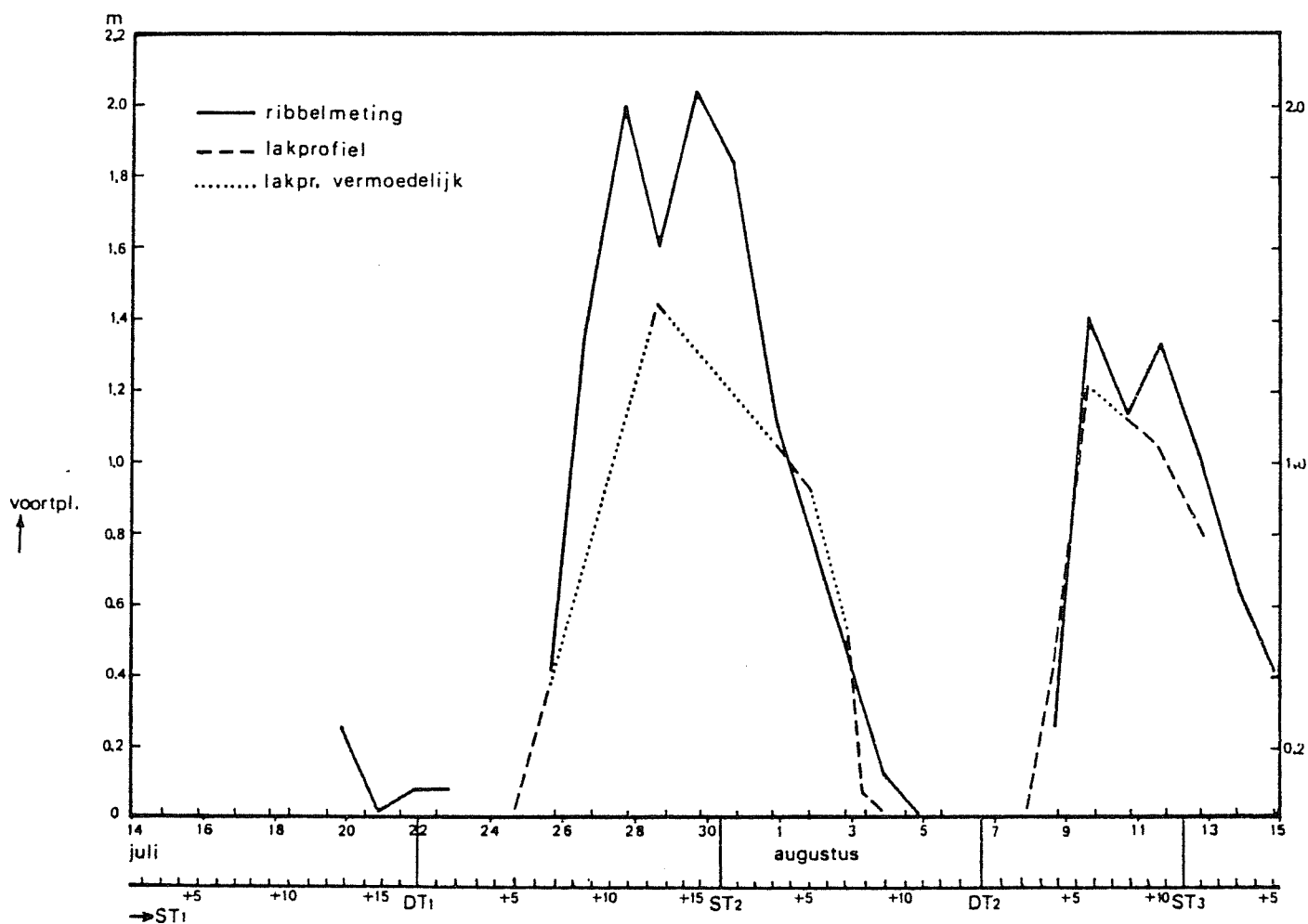


Fig. 4.5. Verloop van de ribbelvoortplanting per etmaal bij de landstelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen en lakprofielen.

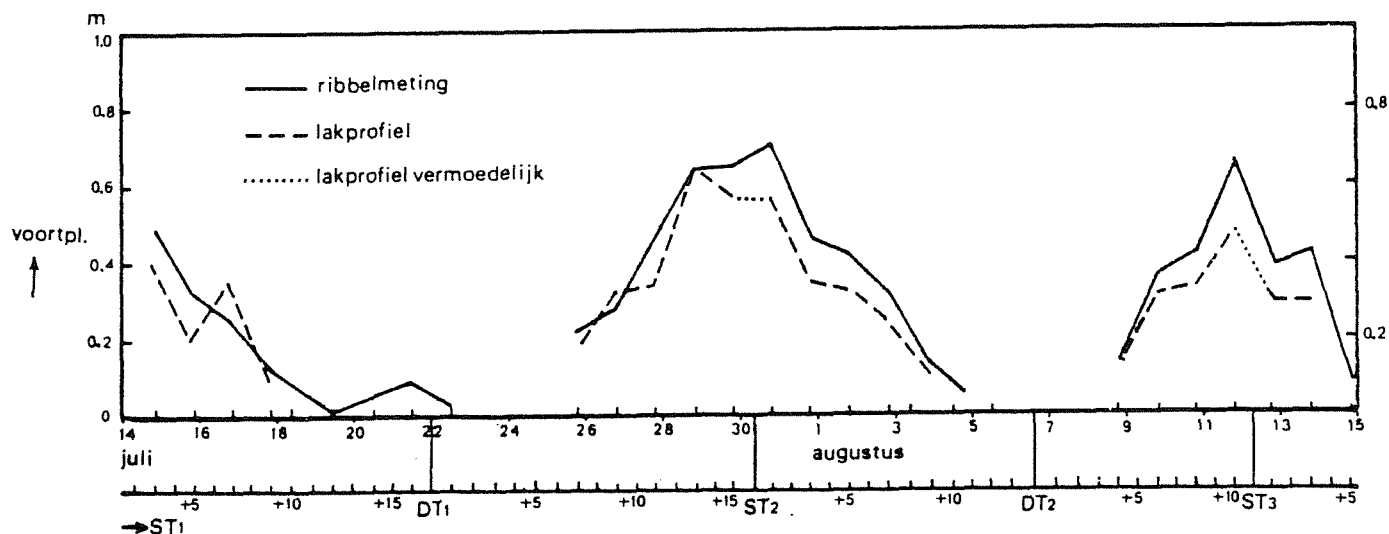


Fig.4.6. Verloop van de ribbelvoortplanting per etmaal bij de zeestelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen en lakprofielen.

4.3.3. Materiaaltransport per vloed-ebcyclus gedurende de meetperiode

Evenals bij de voortplanting komt de dagelijkse ongelijkheid van het getij bij het materiaaltransport bij de landstelling wel tot uiting, maar niet bij de zeestelling (zie fig.4.7. en 4.8.).

Bij de landstelling bereiken zowel de erosie- als de sedimentatiewaarden in de springtijfase hogere waarden dan in de dooftijfase. Ook nu weer geldt dat het materiaaltransport tijdens het hoge springtij ST_2 groter is dan gedurende het lage springtij ST_3 . Daarnaast is het opmerkelijk dat tijdens ST_2 de erosie- en sedimentatiewaarden elkaar weinig ontlopen, terwijl tijdens ST_3 een groot verschil tussen beide waarden aanwezig is. Hier wordt in hoofdstuk 6 nader op ingegaan.

Rond dooftij treedt meer erosie op dan sedimentatie.

Bij de zeestelling is het verloop van de erosie en sedimentatie tamelijk onregelmatig. Gedurende ST_2 zijn de erosiewaarden groter dan die van de sedimentatie, hetgeen (van DT_1+12 tot ST_2+3) resulteert in een netto verlies van ongeveer $0,7 \cdot 10^{-3} m^3$ per ribbel.

4.3.4. Materiaaltransport per etmaal gedurende de meetperiode

Bij de landstelling zijn voor de periode DT_1+8 t/m ST_2+4 geen betrouwbare gegevens aanwezig van het materiaaltransport uit de lakprofielen (zie fig. 4.9.). De oorzaak hiervan is dat, tussen het moment dat de eerste tracerlaag gelegd is en het moment dat het lakprofiel gemaakt werd, de sedimentatiegebieden reeds voor een groot gedeelte veranderd waren in erosiegebieden.

De overige periodes vertonen de gegevens van ribbelmetingen en lakprofielen van de landstelling goede overeenkomsten (zie fig.4.9.).

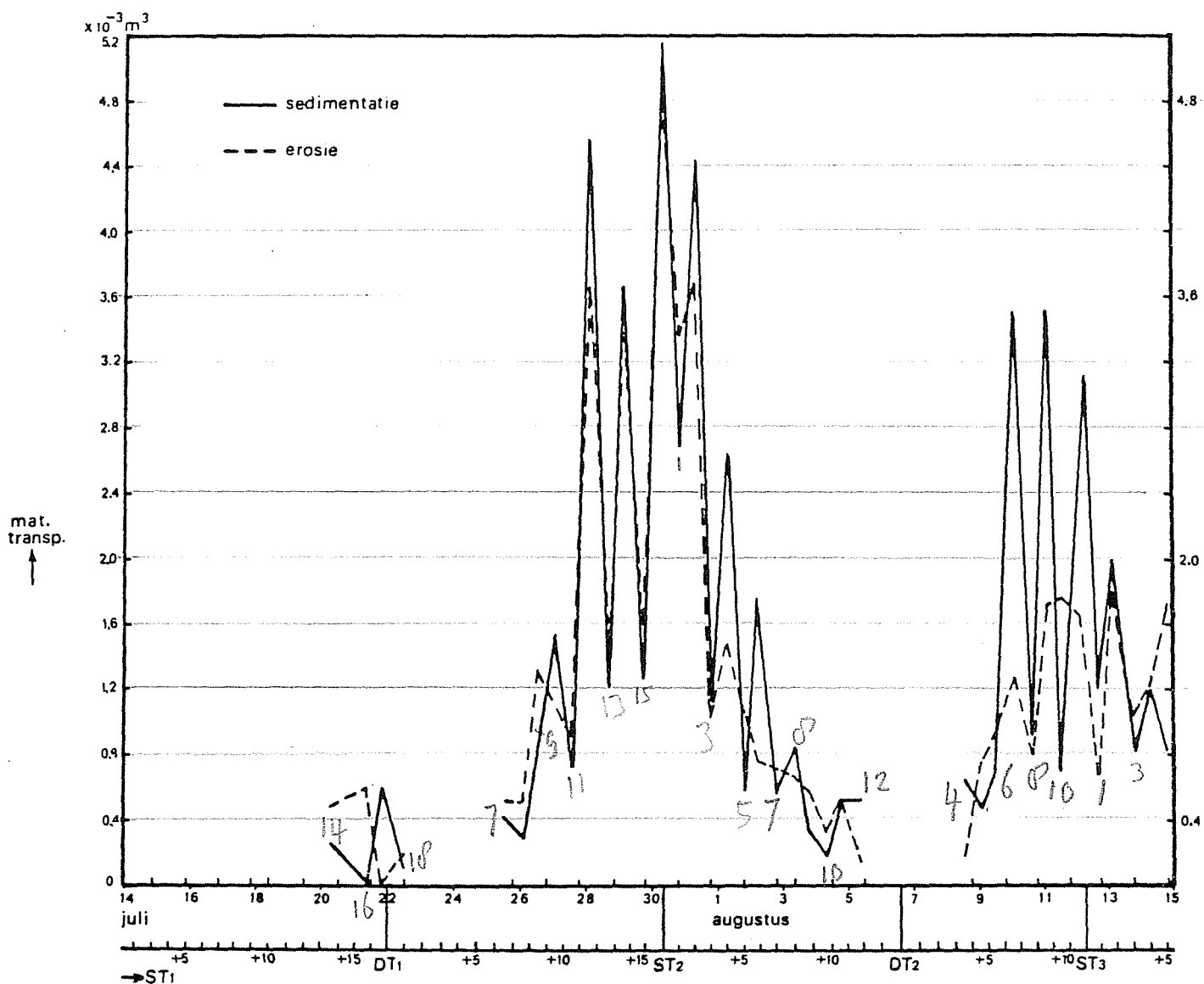


Fig4.7. Verloop van het materiaaltransport per vloed-ebcyclus bij de landstelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen.

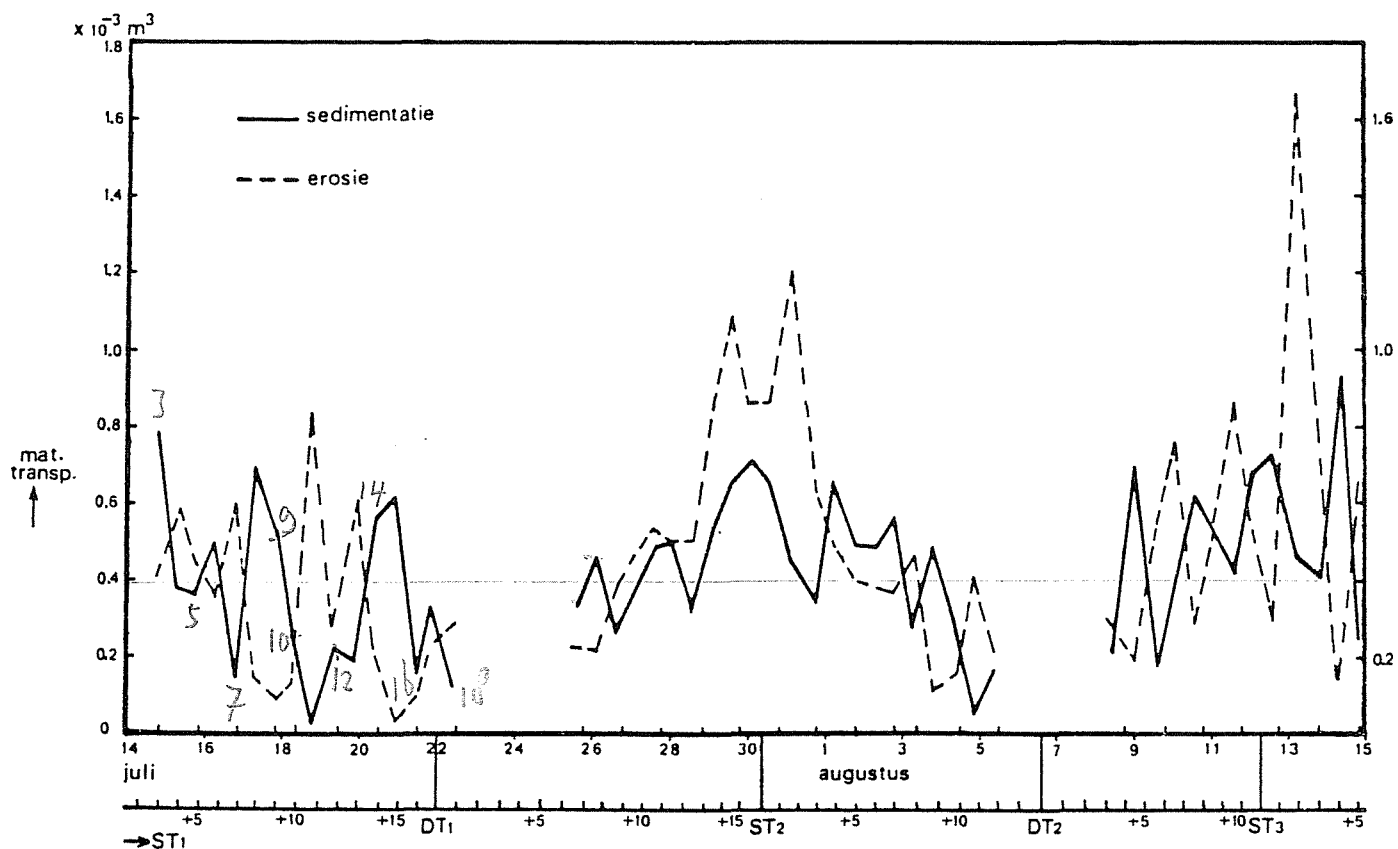


Fig.4.8. Verloop van het materiaaltransport per vloed-ebcyclus bij de zee-
stelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen.

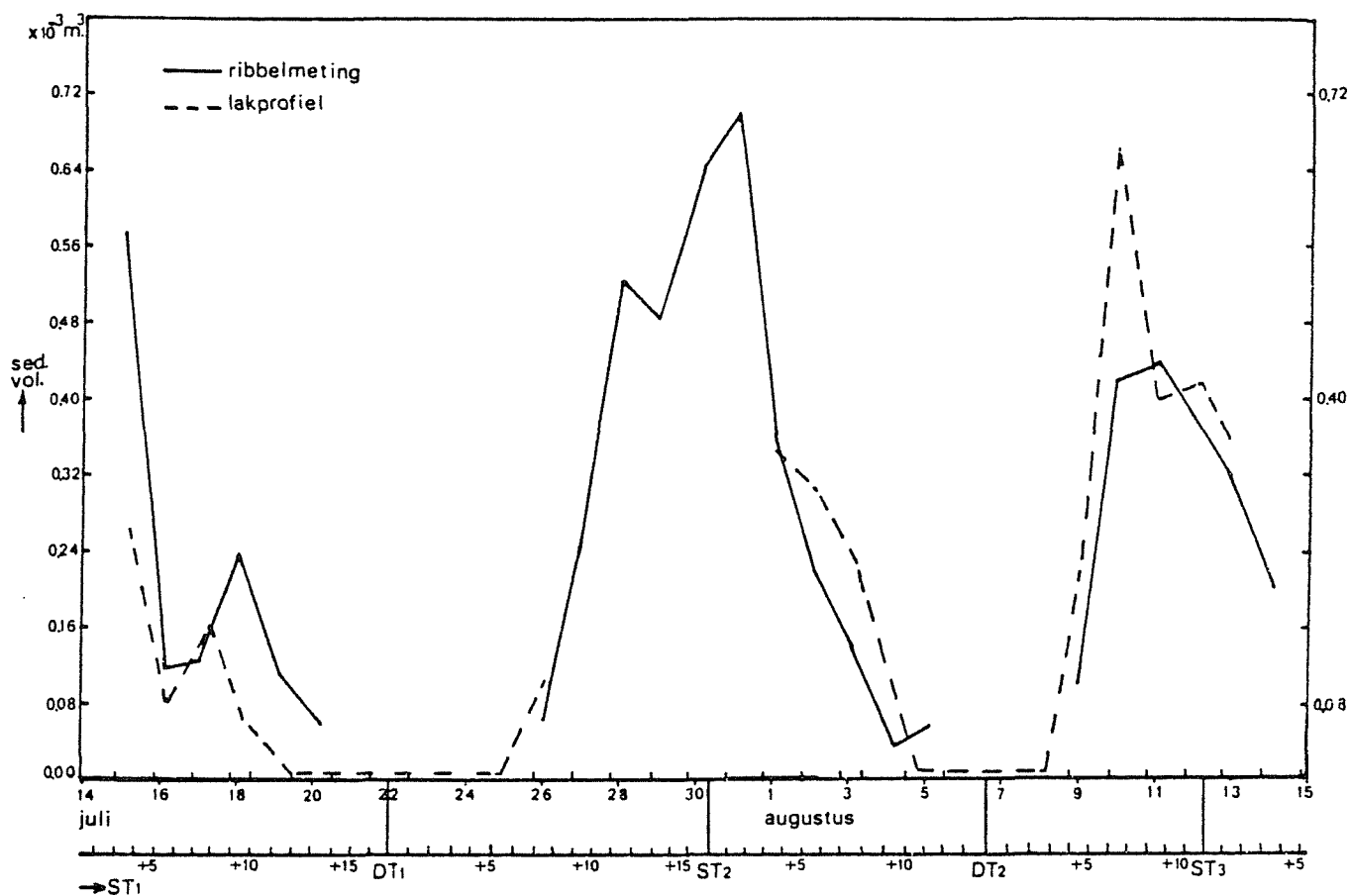


Fig.4.9. Verloop van het sedimentatie-volume per etmaal bij
de landstelling gedurende de meetperiode, bepaald uit
ribbelmetingen en lakprofielen.

Bij de zeestelling levert de vergelijking van de sedimentatie-volumes uit lakprofielen en ribbelmetingen eveneens redelijke tot goede overeenkomsten (zie fig. 4.10.). Dat de waarden niet geheel overeenkomen, kan worden veroorzaakt door het feit dat de lakprofielen van verschillende ribbels gemaakt zijn, waardoor een verschil in grootte kan optreden, en door het feit dat de lakprofielen niet in of dicht genoeg bij de ribbelmeettraai zijn genomen.

Voor beide meetlocaties geldt dat de vorming van een ebkap het beeld eveneens vertroebeld. Bij de ribbelmetingen wordt deze ebkap meegerekend tot het sedimentatiegebied. In de lakprofielen daarentegen heeft vóór de vorming van de ebkap eerst erosie plaats gevonden van het tijdens vloed gevormde sedimentatiegebied met daarin een deel van de tracerlaag. Daardoor wordt dan ook minder gemeten dan in werkelijkheid aanwezig was (zie fig.4.11.).

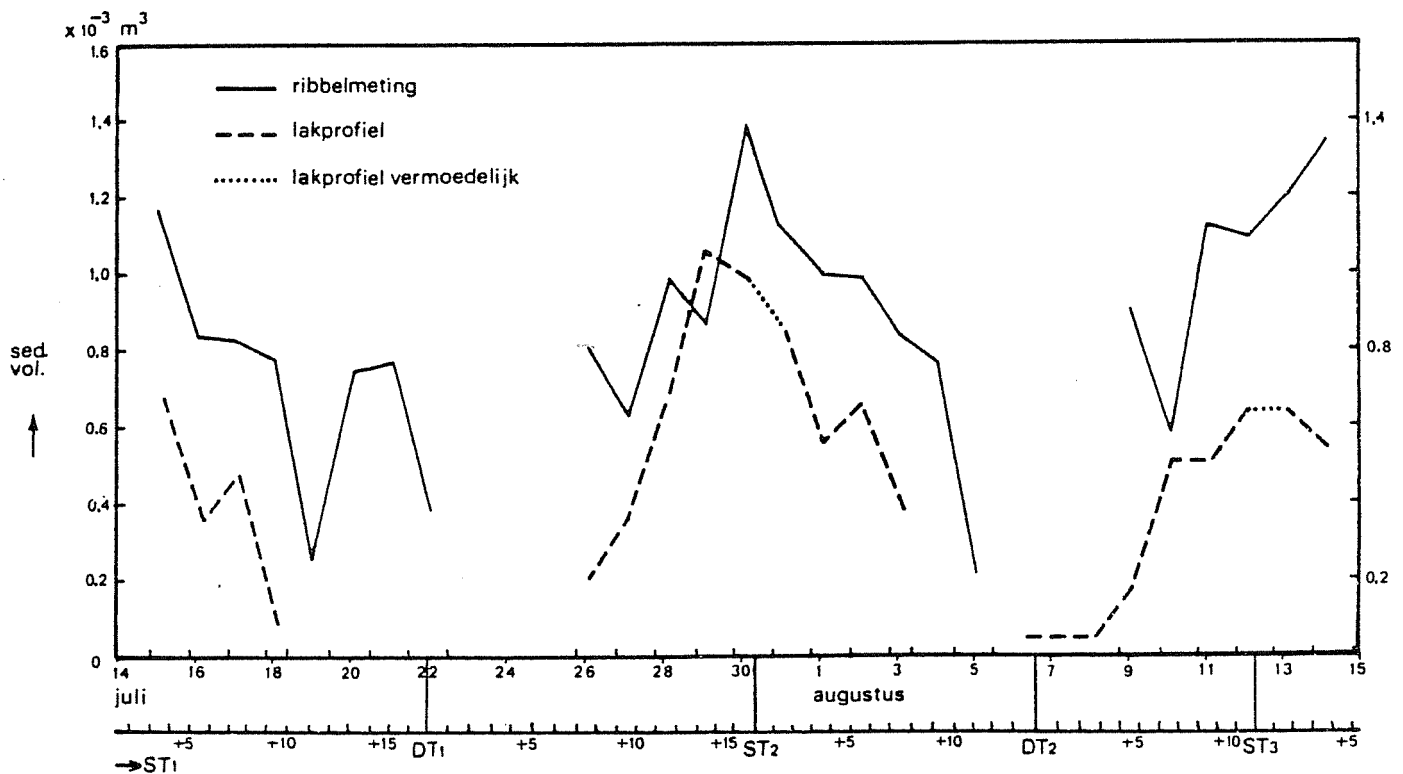


Fig.4.10. Verloop van het sedimentatie-volume per etmaal bij de zeestelling gedurende de meetperiode, bepaald uit ribbelmetingen en lakprofielen.

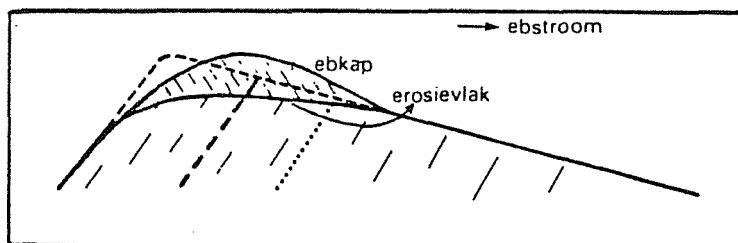


Fig.4.11. Erosie door de ebstroom van een gedeelte van het bij vloed gesedimenteerde materiaal en van de tracerlaag; vorming van een ebkap.

4.3.5. Vergelijking van de transportformule van Engelund-Hansen met het materiaaltransport, bepaald uit de ribbelmetingen

De ribbelmetingen geven waarden aan voor de hoeveelheid geërodeerd en gesedimenteerd bodemmateriaal, terwijl de formule van Engelund-Hansen waarden aangeeft voor de hoeveelheid bodem- en suspensiemateriaal. In beide gevallen wordt het getransporteerde materiaal beschouwd over één strekkende meter, loodrecht op de stroomrichting.

De uit de formule van Engelund-Hansen verkregen waarden zijn gebaseerd op de gemiddelde waarden van de stroomsnelheden ($\bar{u}$) die tijdens de dagcycli om de 10 minuten gemeten zijn. Voor de nachtcycli zou gebruik gemaakt moeten worden van de onnauwkeurige u'_w waarden. Hierdoor zouden in de uitkomsten onaanvaardbare fouten verkregen worden, vanwege de hoge machten van de snelheidswaarden in de formule van Engelund-Hansen. In figuur 4.12. zijn alleen voor de dagcycli van de landstelling de waarden weergegeven van s_{totaal} (uit form. E.-H.), afzonderlijk voor vloed- en ebperiode. Tevens is in deze figuur het met de ribbelmeter bepaalde volume, dat aan de lijzijde van de ribbel gesedimenteerd is, uitgezet.

Het verloop van s_{totaal} tijdens de vloedperiode en dat van het sedimentatievolume tonen een zelfde tendens: rond springtij worden de hoogste waarden bereikt, waarbij de waarden gedurende ST_2 hoger liggen dan tijdens ST_3 .

De relatie tussen laatstgenoemde variabelen wordt weergegeven in de volgende lineaire vergelijking:

$$y = 0,76x + 0,41 \quad (4.1)$$

$$r = 0,88$$

waarin: $y = s_{\text{totaal}}$ tijdens vloed,

$x = \text{sedimentatievolume.}$

Ondanks de hoge correlatiecoëfficiënt van deze vergelijking, wordt gewezen op het feit dat het hier slechts dagcycli betreft. Indien ook de waarden van s voor de nachtcycli beschikbaar waren, zou een volledig beeld zijn ontstaan. Immers, 's nachts is de ribbel, dynamisch gezien, het meest actief. Hiertegenover staat een veel geringere dynamiek van de ribbel tijdens de dagcycli.

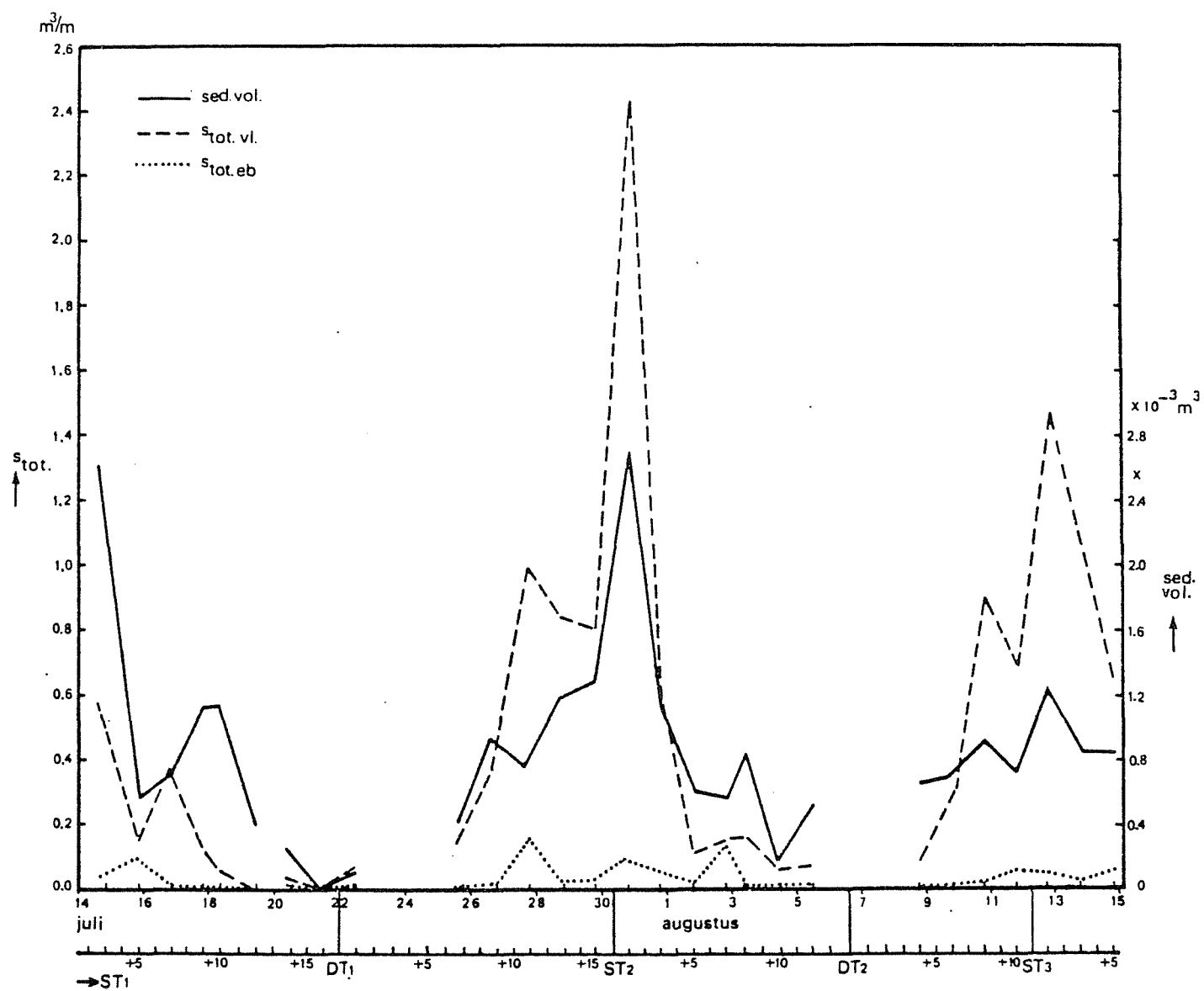


Fig.4.12. Vergelijking voor de landstelling van het verloop van s_{totaal} met dat van het sedimentatievolume bepaald uit de ribbelmetingen.

Wat betreft de vergelijking tussen s en het sedimentatie-volume bij de zeestelling valt weinig overeenkomst te ontdekken (zie fig.4.13). Dit komt ook tot uiting in de vergelijking:

$$y = 0,0026x + 0,1549 \quad (4.2)$$

$$r = 0,43$$

waarin: $y = s_{\text{totaal}}$ tijdens vloed,
 $x = \text{sedimentatievolume}.$

Gesteld kan worden dat ook nu weer het ontbreken van gegevens over de nachtcycli het inzicht bemoeilijkt. Tevens gaat het bij de zeestelling om zeer kleine waarden; dit heeft tot gevolg dat kleine meet- of rekenfouten kunnen leiden tot grote afwijkingen in de aanwezige tendenzen.

Als eindconclusie kan gesteld worden dat een vergelijking tussen de uitkomsten van de transportformule van Engelund-Hansen en het uit de ribbelmetingen bepaalde materiaaltransport (en wel in het bijzonder het sedimentatie-volume) slechts van kwalitatieve aard kan zijn. Beide variabelen tonen dan veelal dezelfde tendens.

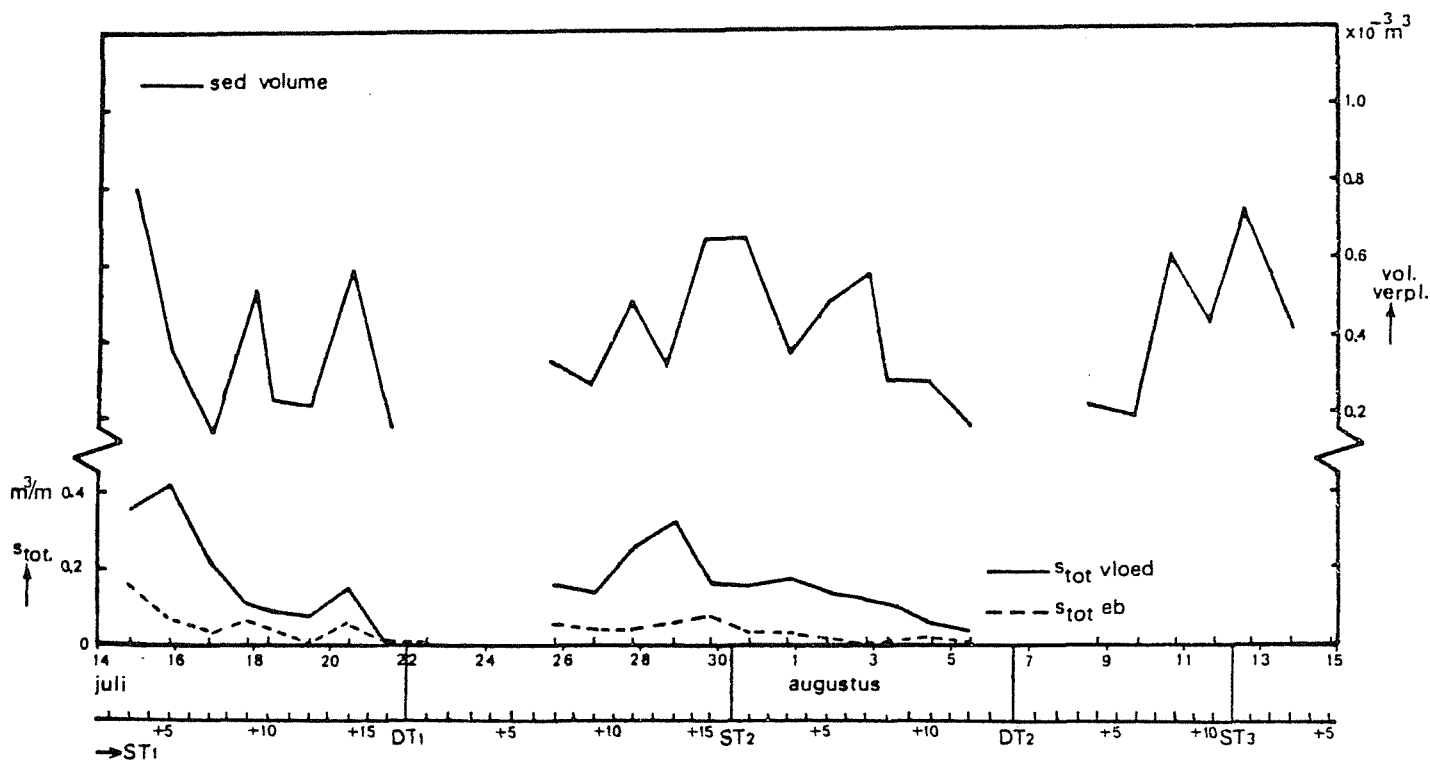


Fig.4.13. Vergelijking voor de zeestelling van het verloop van s_{totaal} met dat van het sedimentatievolume bepaald uit de ribbelmetingen.

SAMENVATTING van hoofdstuk 4

De ribbelverplaatsing wordt uitgedrukt in de ribbelvoortplanting en het materiaaltransport op de ribbel, in de vorm van erosie op de loefzijde en sedimentatie op de lijzijde.

Deze variabelen zijn bepaald uit ribbelmetingen en lakprofielen.

Uit de ribbelmetingen kan worden waargenomen dat zowel de voortplanting als het materiaaltransport de dagelijkse ongelijkheid van het getij weerspiegelt. Dit geldt voornamelijk voor de landstelling.

Uit de ribbelmetingen en uit de lakprofielen bleek dat gedurende het hoge springtij ST_2 de ribbel zich sneller voortplantte en het materiaaltransport groter was dan tijdens het lage springtij ST_3 . Dit geldt in mindere mate voor de zeestelling.

Een vergelijking tussen de uitkomsten van de transportformule van Engelund-Hansen en het gemeten materiaaltransport kan slechts een kwalitatief karakter dragen: alleen de tendens van beide variabelen is hetzelfde.

Hoofdstuk 5

RELATIES TUSSEN DE PARAMETERS VAN DE SEDIMENTSTRUCTUREN EN DE PARAMETERS VAN DE WATERBEWEGING

5.1. INLEIDING

In dit hoofdstuk worden zeer beknopt de sedimentstructuren van de megaribbels bij de land- en zeestelling beschreven (Kohsiek, 1978). Vervolgens wordt getracht het verloop van de structuren gedurende de meetperiode te relateren aan een aantal bijbehorende hydrodynamische parameters.

5.2. STRUCTUUR VAN DE MEGARIBBELS

De megaribbels uit de twee meetvelden bestaan globaal gezien uit een aantal naast en boven elkaar liggende "dikbuikige" structuurbundels (sets), die opgebouwd zijn tijdens de vloedfases (zie fig.5.1.).

Vaak worden de topsetlaminae onder invloed van snelle stroming in een volgende eb- of vloedfase weer weggevaagd. De megaribbels bestaan dan ook voornamelijk uit de overblijvende sets van high-angled foresetlaminae die tangentieel overgaan in low-angled bottomsetlaminae (zie fig.5.1.). Bij een aantal grote, gedurende springtij gevormde megaribbels bij de landstelling ontbreken deze bottomsetlaminae in de lakprofielen. Dit komt omdat de bottomsetlaminae van deze grote ribbels dieper t.o.v. het grondwater niveau lagen, waardoor ze niet voldoende ontwaterd konden worden om in het lakprofiel op te nemen.

De ebstructuren zijn gering en worden in dit hoofdstuk buiten beschouwing gelaten.

5.3. DATERING VAN SETS, METING VAN STRUCTUURPARAMETERS EN NAUWKEURIGHEID

5.3.1. Datering

Uit de lakprofielen werd getracht de omtrek van het per vloed gesedimenteerde zandlichaam vast te stellen en de sets te dateren.

De tracers vormden hierbij een onmisbare indicator, bijv. omdat vaak midden in ogenschijnlijk één homogene set het niet verspoelde tracer lag. Op grond

van de aanwezigheid van het gekleurde tracermateriaal bleek dan dat er sprake was van twee sets uit twee opeenvolgende vloedperiodes. Aangezien er bij dit onderzoek doorgaans slechts éénmaal per etmaal tracer werd uitgestrooid, gaf de datering toch nog problemen. Soms werden namelijk tussen twee tracerdata, waartussen het niet meer dan tweemaal vloed was geweest, toch drie scherp begrensde sets gevonden. Alleen bottomset-indicaties (low-angled laminae in bundels) konden dan uitkomst brengen (zie fig.5.2.).

Voor eventueel toekomstig gedetailleerd onderzoek is het aan te bevelen om voor iedere vloed-ebcyclus te traceren.

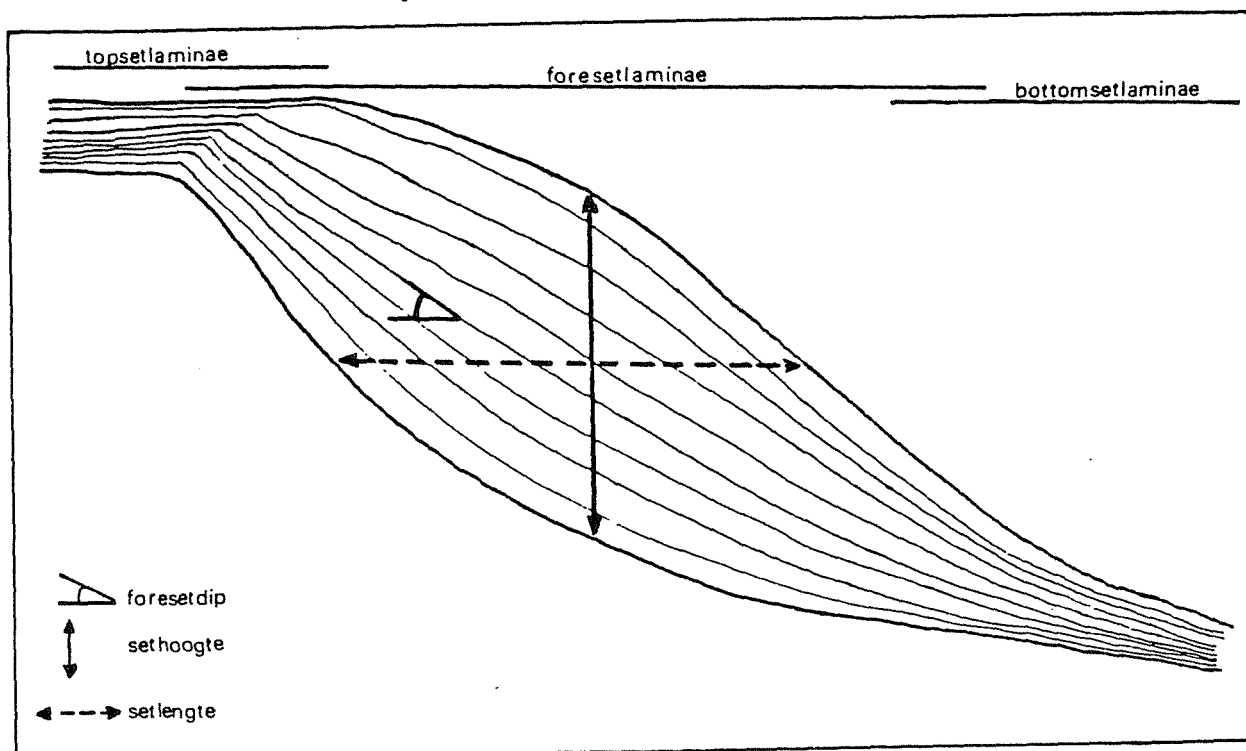


Fig.5.1. Onderverdeling van de "dikbuikige" structuurbundels in topset-, foreset- en bottomsetlaminae. Ter hoogte van de foreset worden de dip, sethoogte en setlengte bepaald.

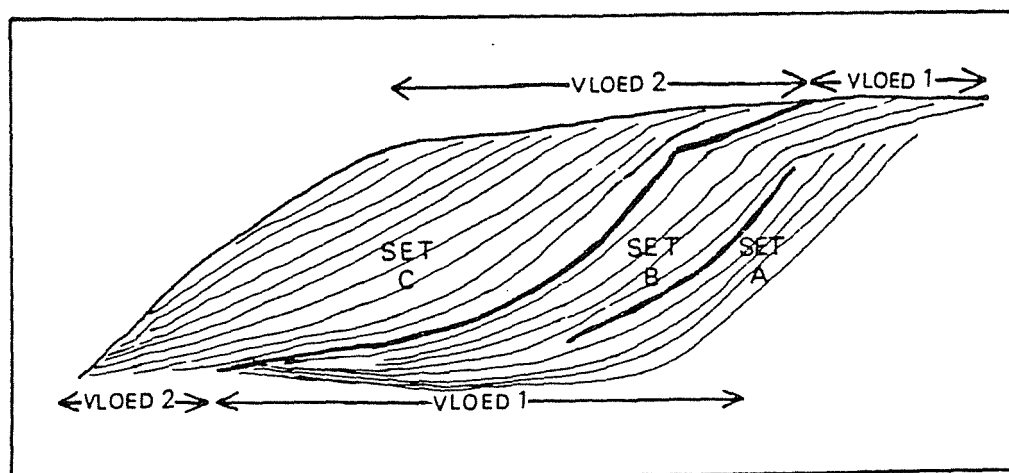


Fig.5.2. Onderscheid tussen twee vloedperiodes bij aanwezigheid van drie sets: uit het verloop van de bottomsetlaminae (bundels) blijkt dat set A en B tijdens de eerste vloed afgezet zijn en set C bij de tweede vloed.

5.3.2. Meting van de structuurparameters

Vanwege het veelvuldig ontbreken van top- en bottomsetlaminae in de lakprofielen zijn voor de relaties in dit hoofdstuk de structuurparameters alleen "ter hoogte van" de foresets beschouwd. Van de foresets zijn de maximum helling van de foresetlaminae (dip), de maximum sethoogte (seth) en de maximum setlengte (setl) gemeten (zie fig. 5.1.).

Voor een eventuele vergelijking van dit hoofdstuk met de hoofdstukken 3 en 4 wordt erop gewezen dat:

- de lakprofielen niet afkomstig zijn van de megaribbels die in de 27m lange ribbelmeetraai lagen,
- de sethoogte niet overeenkomt met de ribbelhoogte: de sethoogte is namelijk de ribbelhoogte verminderd met de hoogte van de topset en eventuele ebkap.

5.3.3. Nauwkeurigheid

Genoemde problemen bij de datering en het feit dat de "maximum" sethoogte (i.v.m. verlaging door latere erosie (zie 5.2.)) nog groter geweest kan zijn, kunnen de uitkomsten van de berekende correlatie-coëfficiënten enigszins beïnvloeden, doch zeker niet de tendenzen.

Echte twijfelgevallen zijn overigens niet in de relatie-berekeningen verwerkt en worden in de figuren weergegeven door een stersymbool.

5.4. VERWERKING VAN DE GEGEVENS

5.4.1. Inleiding

Voor het verkrijgen van de relaties die gedurende de meetperiode aanwezig waren tussen de structuurparameters enerzijds en de hydrodynamische parameters anderzijds, zijn een aantal statistische verwerkingen uitgevoerd tussen de hieronder vermelde parameters.

5.4.2. Overzicht van de beschouwde parameters

Voor zover de parameters nog niet in vorige hoofdstukken gebruikt zijn, worden ze hier nader omschreven.

De beschouwde parameters zijn:

structuurparameters:

- dip=maximale helling van de foresetlaminae (graden),
- seth=maximale sethoogte (m),
- setl=maximale setlengte (m).

hydrodynamische parameters:

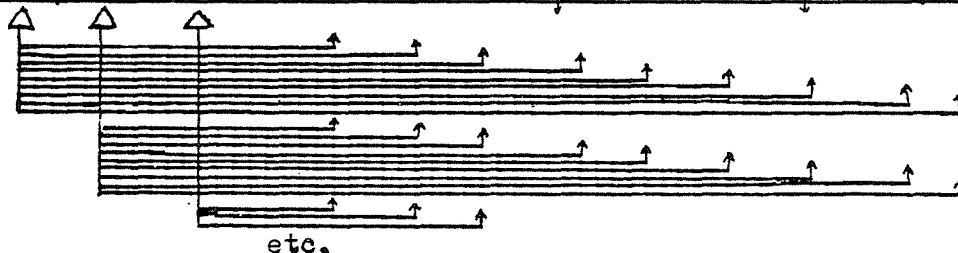
- $H_{\max}$ (uit getijschrijver Hansweert) (m),
- $|LW-HW|$ " " " (m),
- $\bar{u}_{\max vl}$ (m/s),
- $u'_{w \max vl}$ (m/s),
- $\sum \bar{u}_{vl}$ (m),
- $\sum u_b vl$ = de effectiviteit van de vloodsnelheden in het laagste punt van de meetverticaal, ofwel de effectiviteit bij de dichtst bij de bodem gelegen snelheidsmeter (m),
- $\sum u'_{w vl}$ (m),
- $u_{\# \max}$ (m/s),
- Froude getal.

Het zal duidelijk zijn dat bewust is gekozen voor hydrodynamische parameters die betrekking hebben op de vloodstroom. Deze hebben immers bij de opbouw van de ribbels bij de land- en zeestelling de grootste invloed.

5.4.3. Statistische verwerking

Per meetveld zijn voor ruim dertig verschillende combinaties van reeksen getallenparen de correlatie-coëfficiënten voor een lineair verband bepaald (zie tabel 5.1.).

	structuurpar.			hydrodynamische parameters.								Fr.
	dip	seth	setl	$H_{\max}$	$ LW-HW $	$\bar{u}_{\max}$	$u'_{w \max vl}$	$\sum \bar{u}_{vl}$	$\sum u_b vl$	$\sum u'_{w vl}$	$u_{\# \max}$	
ST ₁	28°	0,169	?	2,67	5,27							
ST ₁ +1	30°	0,141	0,341	2,64	5,00	0,85		2974	2022		0,66	0,18
ST ₁ +2	28°	0,223	0,792	2,62	5,34							
ST ₁ +3	26°	0,078	0,137	2,53	4,74	0,75		2613	1584		0,37	0,16
ST ₁ +4	26°	0,090	0,196	2,36	5,16							
ST ₁ +5	25°	0,216	0,627	2,60	4,93	0,82		3608	2148		0,55	0,17
ST ₁ +6	25°	0,137	0,263	2,43	4,79		bekend vand ST ₁ +3					
ST ₁ +7	25°	0,055	0,118	2,32	4,33	0,62		2678	1134		0,42	0,13



Tabel 5.1. Combinaties van parameters waarvan de correlatie-coëfficiënten voor lineaire verbanden zijn berekend.

In de tabellen 5.2. en 5.3. zijn voor land en zeestelling de correlatie-coëfficiënten weergegeven tussen de hydrodynamische en structuur parameters.

Is bij een gevonden relatie de overschrijdingskans kleiner dan of gelijk aan 2,5% (d.w.z. niet meer dan 2,5% kans dat het verband niet geldt), dan is de bij deze relatie behorende regressielijn vermeld.

Genoemde overschrijdingskansen zijn afhankelijk van de waarde van de correlatiecoëfficiënt en het aantal getallenparen waarop de relatie gebaseerd is (Spiegel, 1961; Wijvekate, 1974).

Het aantal gebruikte getallenparen is afhankelijk van het aantal beschikbare en betrouwbare hydrodynamische en structuurparameters.

In de meetperiode is het 60 maal hoogwater ($H_{\max}$) geweest en zijn 28 vloed-ebcycli gemeten. Er zijn dus 60 waarden voor $H_{\max}$ en $|LW-HW|$ en maximaal 28 (meestal dagcyclus-)waarden per meetveld voor $\bar{u}_{\max}$, $\sum \bar{u}_{vl}$, $\sum u_{b\ vl}$, $u_{\max}$ en Fr beschikbaar.

Voor de landstelling zijn 51 en voor de zeestelling 39 dag- en nacht-cyclus waarden berekend voor $u'_{w\ \max\ vl}$ en $\sum u'_{w\ vl}$.

De lakprofielen leveren 30 à 40 betrouwbare dag- en nachtcyclus waarden per structuur-parameter per meetveld.

Uit de combinaties van al deze series waarden resulteren reeksen van 12 tot 51 bruikbare getallenparen, waarvan de correlatie-coëfficiënten en (eventueel) de regressielijnen zijn bepaald. (Zie voorbeeld tabel 5.1. en de tabellen 5.2. en 5.3.).

5.5.RELATIES TUSSEN DE STRUCTUURPARAMETERS EN DE HYDRODYNAMISCHE-PARAMETERS

5.5.1. Verloop van de foresetdip in twee ST-DT-ST perioden, relaties tussen de forsetdip en de hydrodynamische parameters, nauwkeurigheid.

5.5.1.1. Verloop van de foresetdip

Uit figuur 5.3. blijkt dat bij de landstelling de dips naar springtij groter worden en naar doodtij afnemen.

Bij de zeestelling is deze tendens niet aanwezig of neigt hij naar het tegenovergestelde (zie fig. 5.4.).

5.5.1.2. Relaties tussen de forsetdip en de hydrodynamische parameters

De dips vertonen geen duidelijk lineair verband met de hydrodynamische parameters (zie tabel 5.2. en 5.3.).

hydrodyn. par.	struct. par.	corr. coëff.	aantal getallen- paren	regressielijn	overschrijding- kans minder dan ...%.
$H_{\max}$	dip	-0,13	18		
$H_{\max}$	seth	0,19	26		
$H_{\max}$	setl	0,26	25		
$ LW-HW $	dip	-0,08	32		
$ LW-HW $	seth	0,39	26		
$ LW-HW $	setl	0,42	25		
$\bar{u}_{\max vl}$	dip	0,15	18		
$\bar{u}_{\max vl}$	seth	0,70	13	seth=0,66 $\bar{u}_{\max vl}$ -0,38	0,5%
$\bar{u}_{\max vl}$	setl	0,55	16	setl=1,98 $\bar{u}_{\max vl}$ -0,12	2,5%
$u'_{w \max vl}$	dip	0,07	27		
$u'_{w \max vl}$	seth	0,71	19	seth=0,64 $u'_{w \max vl}$ -0,36	0,5%
$u'_{w \max vl}$	setl	0,66	18	setl=1,53 $u'_{w \max vl}$ -0,80	0,5%
$\sum \bar{u}_{vl} > 0,45 \frac{m}{s}$	dip	0,30	17		
$\sum \bar{u}_{vl} > 0,45$	seth	0,85	13	seth=0,00016 $\sum \bar{u}_{vl}$ -0,35	0,5%
$\sum \bar{u}_{vl} > 0,45$	setl	0,65	15	setl=0,00038 $\sum \bar{u}_{vl}$ -0,80	0,5%
$\sum u_b vl > 0,45$	dip	0,33	18		
$\sum u_b vl > 0,45$	seth	0,61	13	seth=0,001 $\sum u_b vl$ -0,04	2,5%
$\sum u_b vl > 0,45$	setl	0,46	15		
$\sum u'_{w vl} > 0,45$	seth	0,66	18	seth=0,000069 $\sum u'_{w vl}$ -0,01	0,5%
$\sum u'_{w vl} > 0,45$	setl	0,75	18	setl=0,000238 $\sum u'_{w vl}$ -0,21	0,5%
$u_{\# \max}$	dip	0,17	18		
$u_{\# \max}$	seth	0,06	13		
$u_{\# \max}$	setl	0,14	14		
Fr	dip	0,16	18		
Fr	seth	0,61	13	seth=2,87 Fr-0,32	2,5%
Fr	setl	0,50	13		

Tabel 5.2. Statistische berekeningen tussen hydrodynamische parameters en structuurparameters van de landstelling, gedurende de gehele meetperiode.

Als de kans dat het verband niet geldt kleiner is dan 2,5%, is ook de regressielijn opgesteld.

hydrodyn. par.	struct. par.	corr. coëff.	aantal getallen- paren	regressielijn	overschrijdings- kans minder dan ...%.
H_{max}	dip	-0,16	45		
$\dot{H}_{max}$	seth	0,59	42	seth=0,056 H_{max} -0,07	0,5%
H_{max}	setl	0,63	38	setl=0,211 H_{max} -0,36	0,5%
$ LW-HW $	dip	-0,03	45		
$ LW-HW $	seth	0,50	41	seth=0,032 $LW-HW$ -0,08	0,5%
$ LW-HW $	setl	0,52	37	setl=0,113 $LW-HW$ -0,39	0,5%
$\bar{u}_{max\ v1}$	dip	-0,18	21		
$\bar{u}_{max\ v1}$	seth	0,12	17		
$\bar{u}_{max\ v1}$	setl	0,15	16		
$u'_{w\ max\ v1}$	dip	-0,19	26		
$u'_{w\ max\ v1}$	seth	0,59	19	seth=0,105 $u'_{w\ max\ v1}$ -0,00	0,5%
$u'_{w\ max\ v1}$	setl	0,66	15	setl=0,585 $u'_{w\ max\ v1}$ -0,23	0,5%
$\sum \bar{u}_{v1>0,45\frac{m}{s}}$	dip	-0,19	16		
$\sum \bar{u}_{v1>0,45}$	seth	0,08	15		
$\sum \bar{u}_{v1>0,45}$	setl	0,49	12		
$\sum u_{b\ v1>0,45}$	dip	-0,12	17		
$\sum u_{b\ v1>0,45}$	seth	0,14	16		
$\sum u_{b\ v1>0,45}$	setl	-0,25	14		
$\sum u'_{w\ v1\ 0,45}$	seth	0,64	19	seth=0,0000245 $\sum u'_{w\ v1}$ -0,04	0,5%
$\sum u'_{w\ v1\ 0,45}$	setl	0,57	15	setl=0,000130 $\sum u'_{w\ v1}$ +0,04	2,5%
$u_{\# max}$	dip	-0,24	20		
$u_{\# max}$	seth	-0,07	18		
$u_{\# max}$	setl	0,20	17		
Fr	dip	-0,20	20		
Fr	seth	0,16	18		
Fr	setl	0,06	16		

Tabel 5.3. Statistische berekeningen tussen hydrodynamische parameters en structuurparameters van de zeestelling, gedurende de gehele meetperiode.
 Als de kans dat het verband niet geldt kleiner is dan 2,5%, is ook de regressielijn opgesteld.

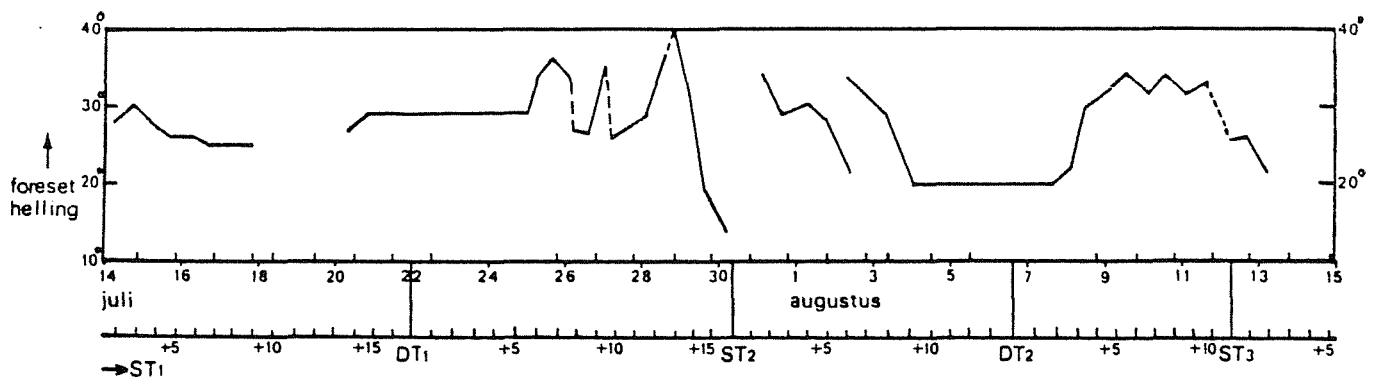


Fig.5.3. Verloop van de foresetdip bij de landstelling gedurende de meetperiode.

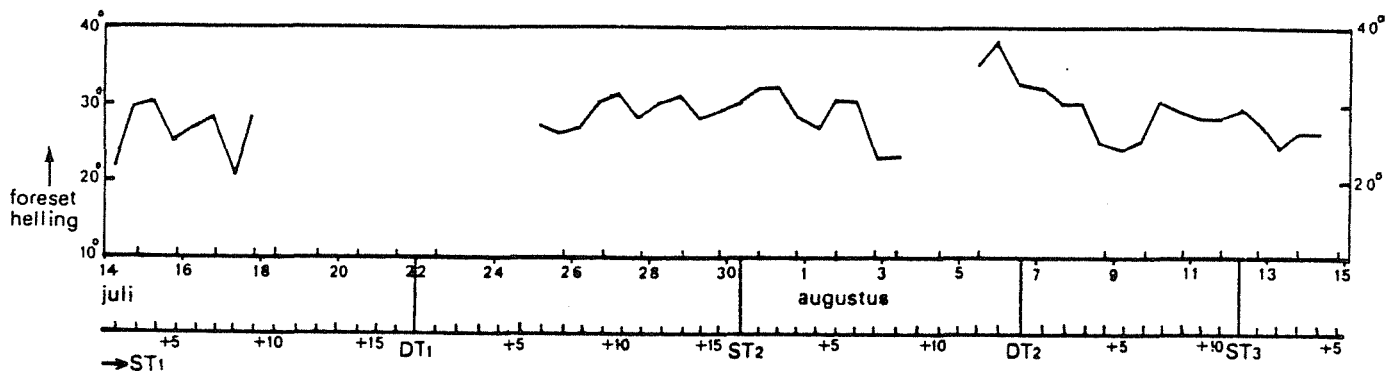


Fig.5.4. Verloop van de foresetdip bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

5.5.1.3. Nauwkeurigheid

Dat bovengenoemde relaties lage correlatie-coëfficiënten hebben, kan een gevolg zijn van het feit dat:

- een duidelijk horizontaal referentieniveau op de lakprofielen ontbreekt. Hierdoor was binnen één profiel wel het verloop van de dips na te gaan, maar bleven twijfels bestaan over de aansluiting met dips uit andere profielen. Het aanbrengen van een horizontaal referentie niveau tijdens het maken van een lakprofiel wordt dan ook aanbevolen,
- de lakprofielen van verschillende ribbels zijn gemaakt, die vooral bij de landstelling nogal in grootte (en vorm) uit een kunnen lopen.

5.5.2. Verloop van de sethoogte en setlengte in twee ST-DT-ST perioden, relaties tussen de sethoogte en setlengte en de hydrodynamische parameters; nauwkeurigheid.

5.5.2.1. Verloop van de sethoogte en de setlengte

Bij de landstelling worden de sethoogte en setlengte gaande naar springtij duidelijk groter en gaande naar doortij kleiner. Ook zijn de setlengtes gedurende het hoge springtij ST_2 groter dan tijdens het lage springtij ST_3 (zie fig. 5.5., 5.6. en 5.7.).

Bij de zeestelling zijn deze beide tendenzen ook evident voor de setlengte (zie fig. 5.8.). Het verloop van de sethoogte is hier echter minder duidelijk (zie fig. 5.9.).

Zowel bij land- als zeestelling zijn de sethoogtes bij ST_2 niet duidelijk groter dan bij ST_3 . Dit is blijkens de lakprofielen vooral het gevolg van de erosie rond ST_2 van de toppen van de foresets (gevolgd door de vorming van een ebkap).

5.5.2.2. Relaties tussen sethoogte en setlengte enerzijds en $\frac{H}{H_{max}}$ en $|LW-HW|$ anderzijds

De sethoogtes en setlengtes bij de zeestelling vertonen redelijk hoge relaties met de parameters $\frac{H}{H_{max}}$ en $|LW-HW|$ uit de getijschrijver van Hansweert (zie tabel 5.3. en fig. 5.8.).

Voor de landstelling is dit niet het geval (zie tabel 5.2.).

Dit betekent dat uit de gegevens van deze getijschrijver vrij goede schattingen gedaan kunnen worden van de per vloed gevormde sethoogte en setlengte van de rechtekammige ribbels bij de zeestelling, en wel met behulp van de volgende vergelijkingen:

$$\begin{aligned} \text{seth} &= 0,056 \frac{H}{H_{max}} - 0,07 \\ \underline{r} &= 0,59. \end{aligned} \quad (5.1)$$

$$\begin{aligned} \text{setl} &= 0,211 \frac{H}{H_{max}} - 0,36 \\ \underline{r} &= 0,63. \end{aligned} \quad (5.2)$$

$$\begin{aligned} \text{seth} &= 0,032 |LW-HW| - 0,09 \\ \underline{r} &= 0,50. \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} \text{setl} &= 0,113 |LW-HW| - 0,39 \\ \underline{r} &= 0,52. \end{aligned} \quad (5.4)$$

De verg. (5.1) t/m (5.4) hebben een overschrijdingskans van 0,5%.

5.5.2.3. Relaties tussen sethoogte, setlengte en $\bar{u}_{max}$

Uit tabel 5.2. blijkt dat er bij de landstelling een redelijk verband aan-

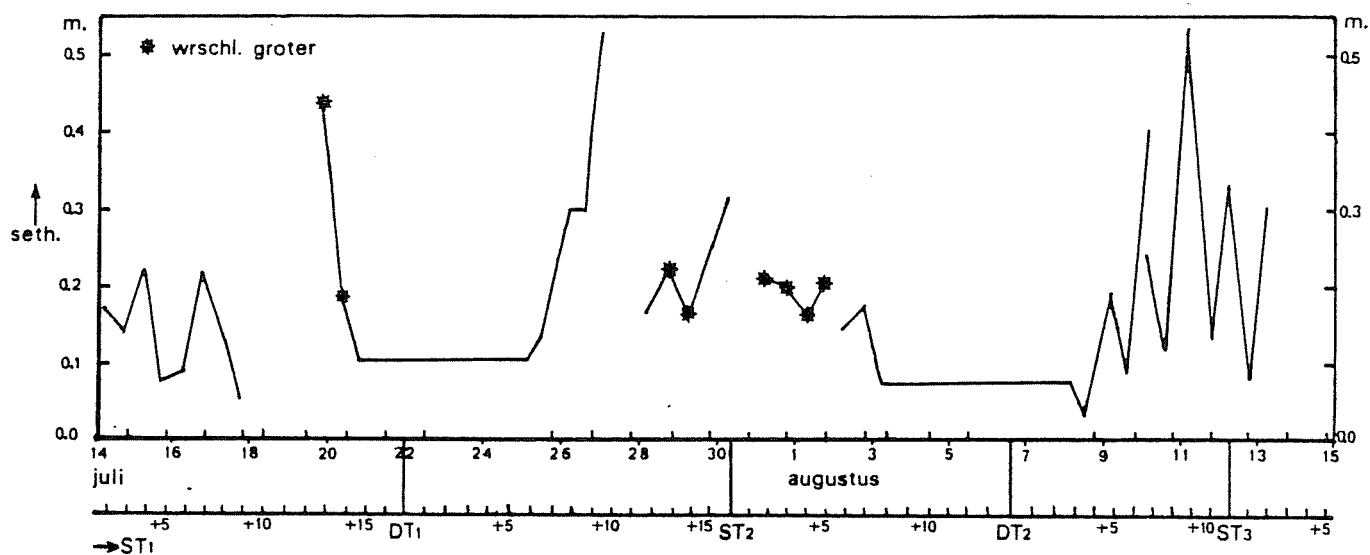


Fig. 5.5. Verloop van de sethoogte bij de landstelling gedurende de meetperiode.

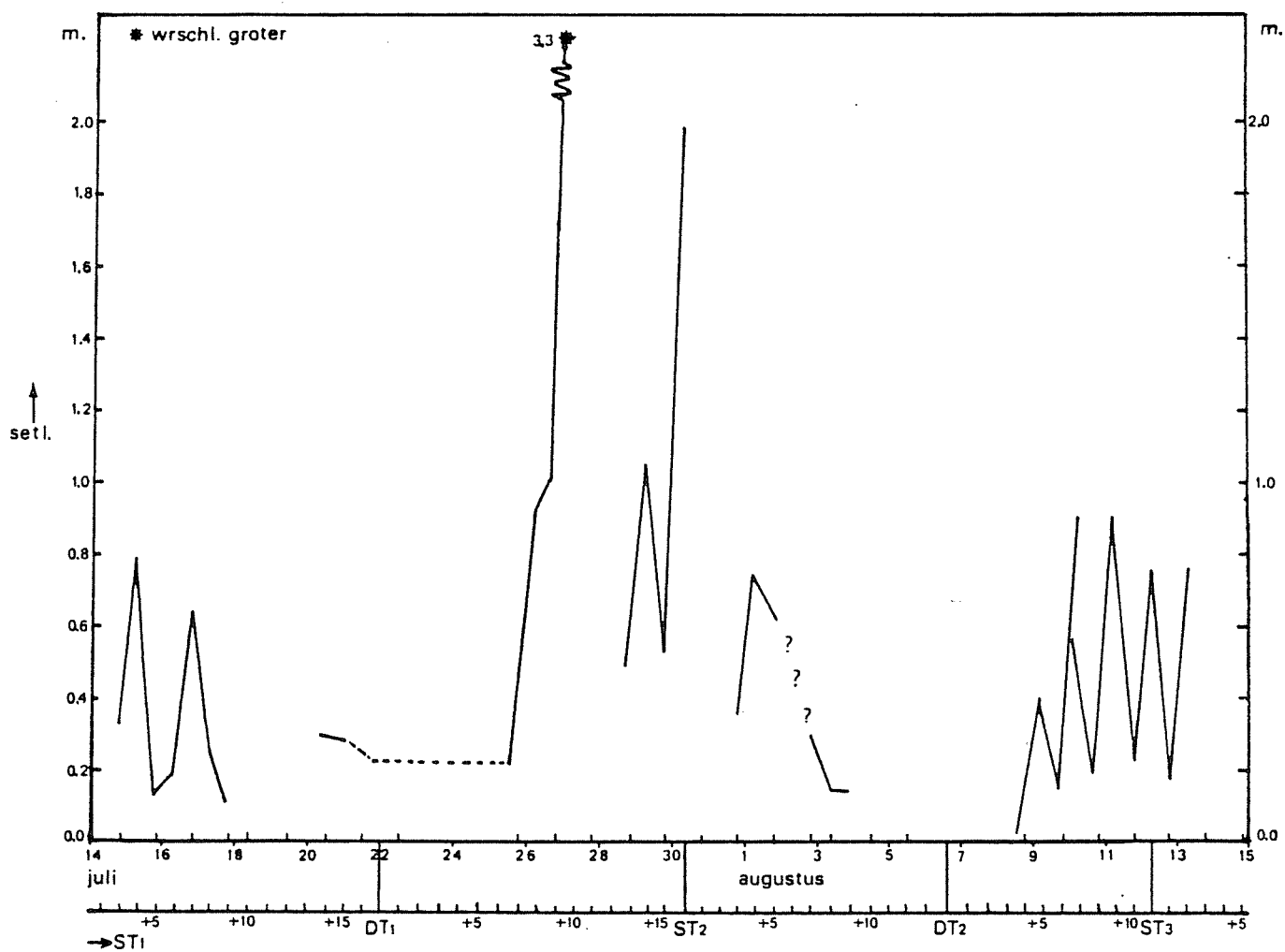


Fig. 5.6. Verloop van de setlengte bij de landstelling gedurende de meetperiode.

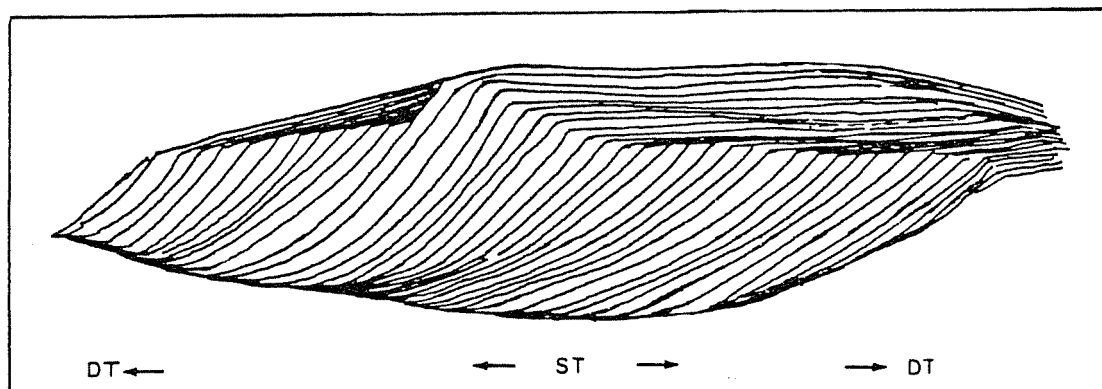


Fig.5.7. Toename van de sethoogte rond springtij. Door de snelheids-
toename wordt niet alleen de ribbel hoger, maar wordt
ook de vortex groter, waardoor de ribbel ook dieper wordt.

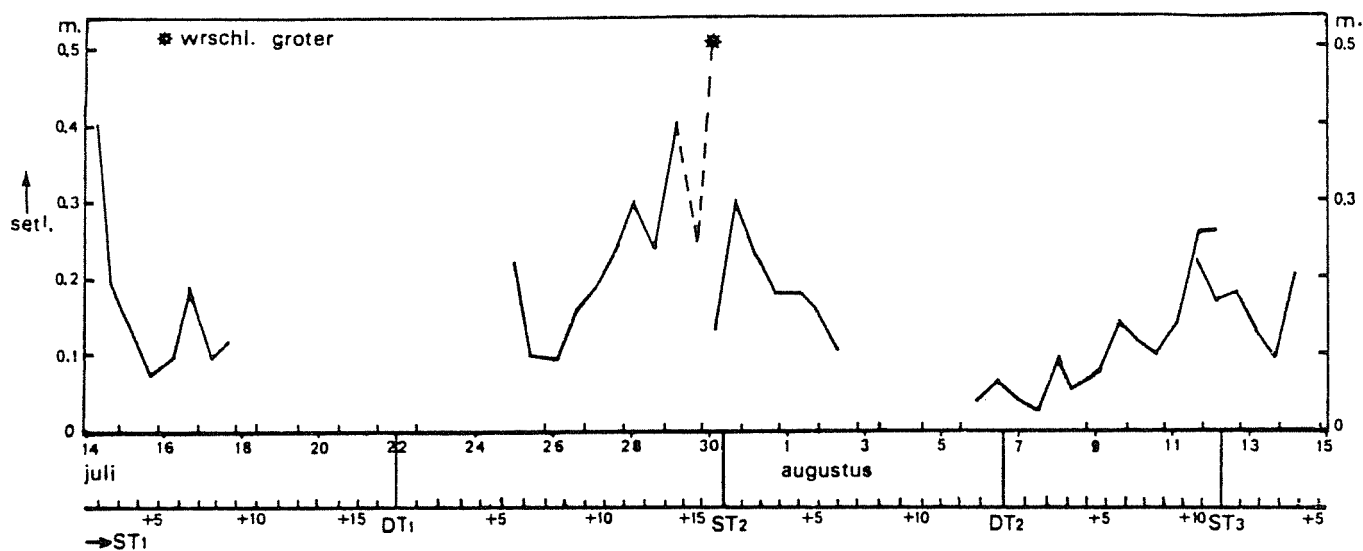


Fig.5.8. Verloop van de setlengte bij de zeestelling gedurende
de meetperiode, vergeleken met het verloop van H_{max} te
Hansweert.

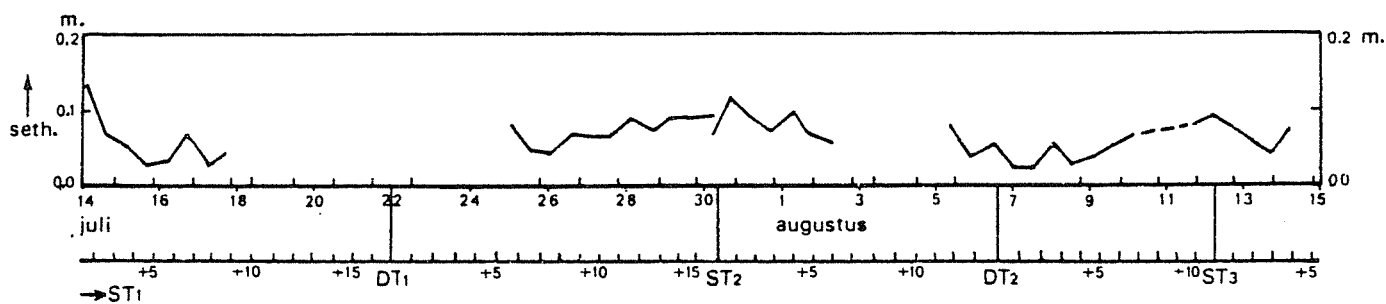


Fig.5.9. Verloop van de sethoogte bij de zeestelling gedurende
de meetperiode.

wezig is tussen $\bar{u}_{\max}$ en de sethoogte en setlengte, nl:

$$\text{seth} = 0,66 \bar{u}_{\max} - 0,38 \quad (5.5)$$

$r = 0,70$
overschrijdingskans is 0,5%.

$$\text{setl} = 1,98 \bar{u}_{\max} - 0,12 \quad (5.6)$$

$r = 0,55$
overschrijdingskans is 2,5%.

Dit verband komt ook tot uiting in de grafieken, als het verloop van de seth- en setl- waarden, behorend bij de vloed waarvan ook de waterbeweging geregistreerd is, vergeleken wordt met de $\bar{u}_{\max}$ waarden (zie fig.5.10). Voor de zeestelling blijken deze verbanden noch uit de statistische gegevens, noch uit de grafische weergave (zie fig.5.11).

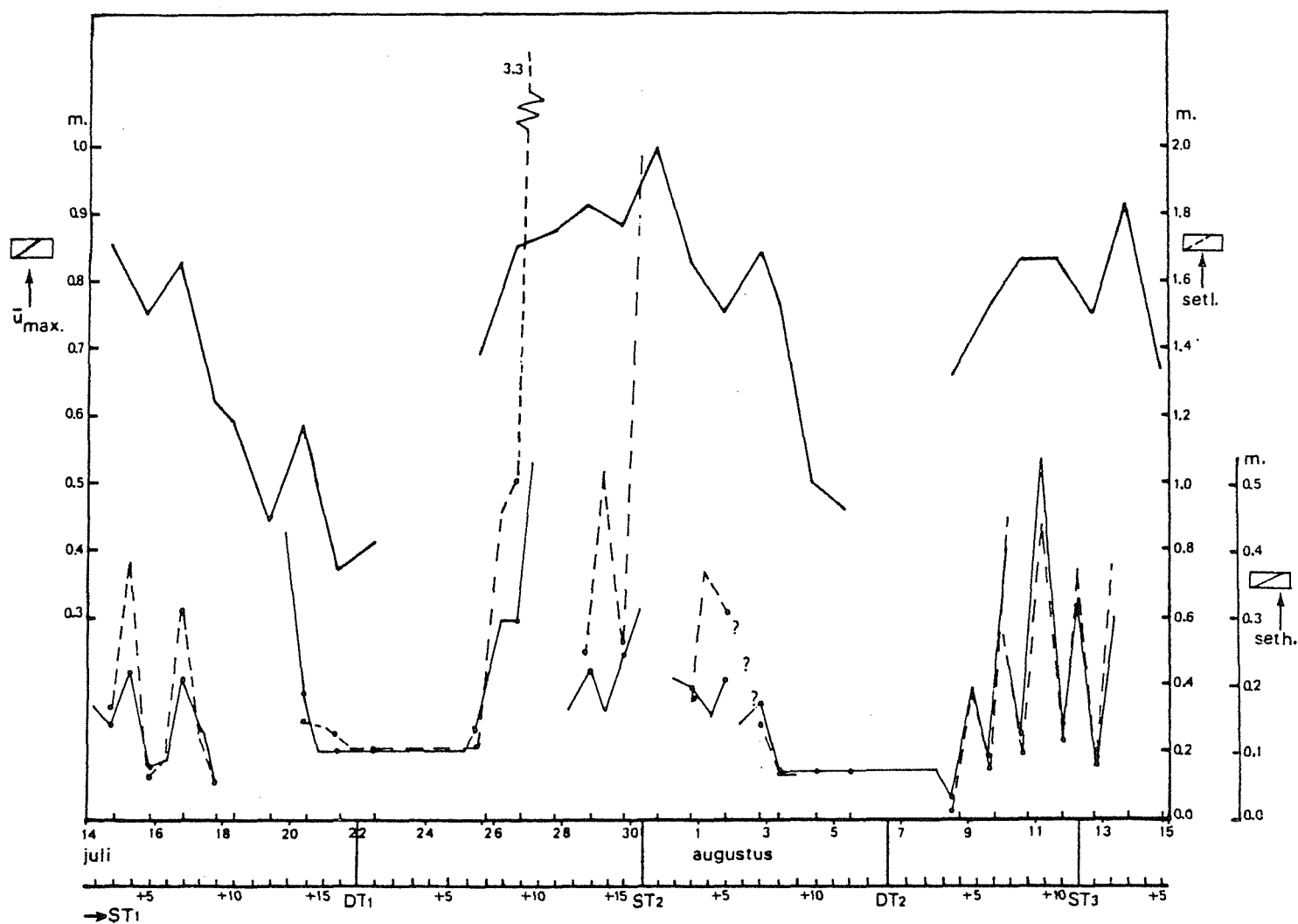


Fig.5.10. Vergelijking tussen het verloop van $\bar{u}_{\max}$, sethoogte en setlengte bij de landstelling, gedurende de meetperiode.

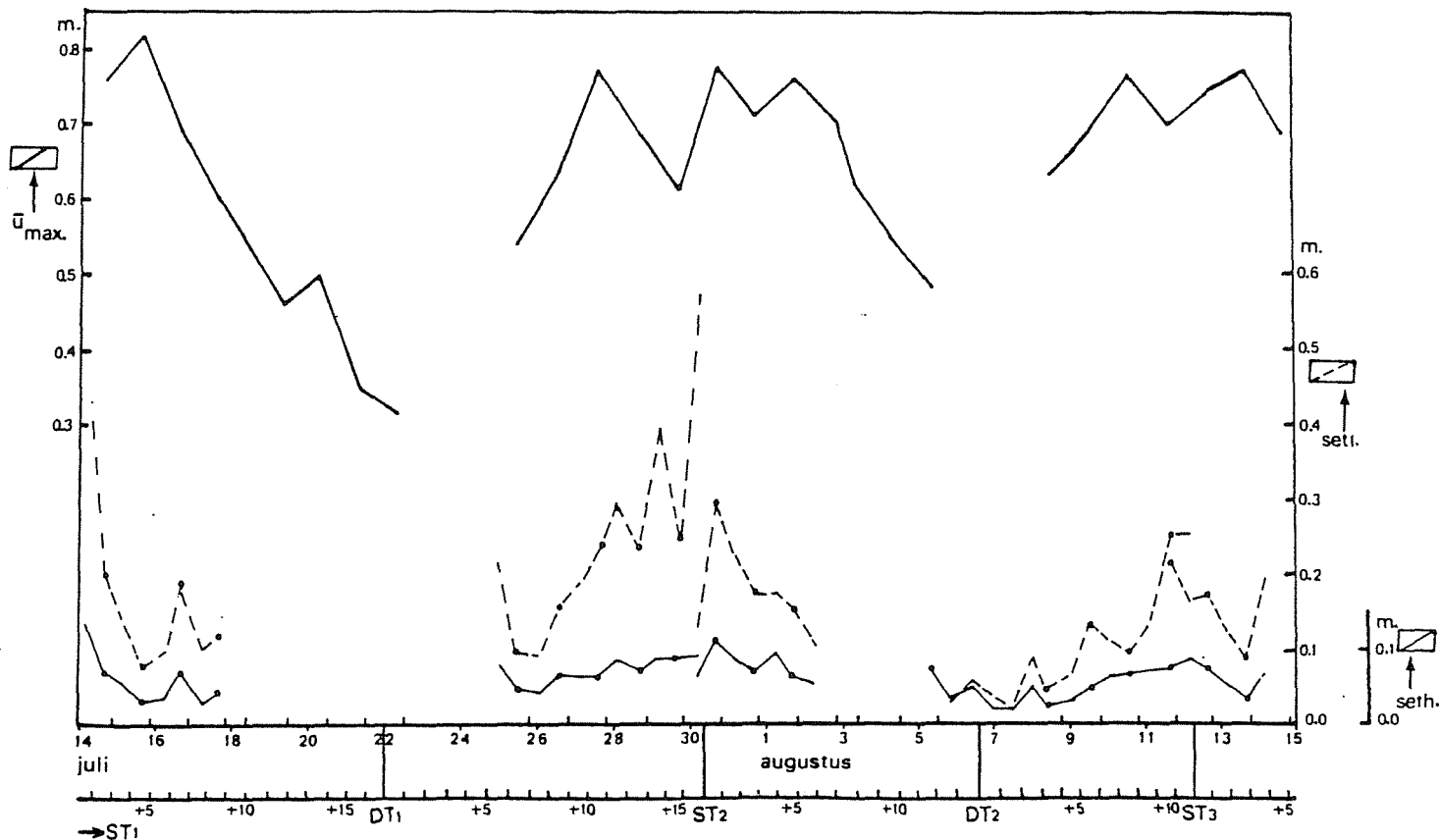


Fig.5.11. Vergelijking tussen het verloop van $\bar{u}_{\max}$, sethoogte en setlengte bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

5.5.2.4. Relaties tussen de sethoogte, setlengte en $u'_{w \max vl}$

Om niet alleen de dag-, maar ook de nachtcyclus waarden van de structuurparameters bij de berekeningen te kunnen betrekken, werd gebruik gemaakt van de $u'_{w \max vl}$ -waarden.

De correlatie-coëfficiënten van de vergelijkingen met $u'_{w \max vl}$ zijn hoger dan die van de overeenkomstige relaties met de $\bar{u}_{\max vl}$ waarden (zie tabel 5.2. en 5.3. en fig.5.12. en 5.13.).

Bij de landstelling valt op dat vergelijking (5.5) vrijwel identiek is met:

$$\begin{aligned} \text{seth} &= 0,642 u'_{w \max vl} - 0,36 & (5.7) \\ r &= 0,71 \\ \text{overschrijdingskans} & 0,5\%. \end{aligned}$$

Hieruit blijkt dat met vrij grote zekerheid gesteld mag worden, dat voor de sinusvormige megaribbels bij de landstelling geldt:

$$\text{seth} = 0,65 \bar{u}_{\max} - 0,37. \quad (5.8)$$

Uit de grafieken blijkt dat bij de landstelling de sethoogte en setlengte veel groter zijn dan bij de zeestelling. De vergelijkingen voor beide meetvelden (tabel 5.2 en 5.3) maken duidelijk dat één bepaalde stroomsnelheid

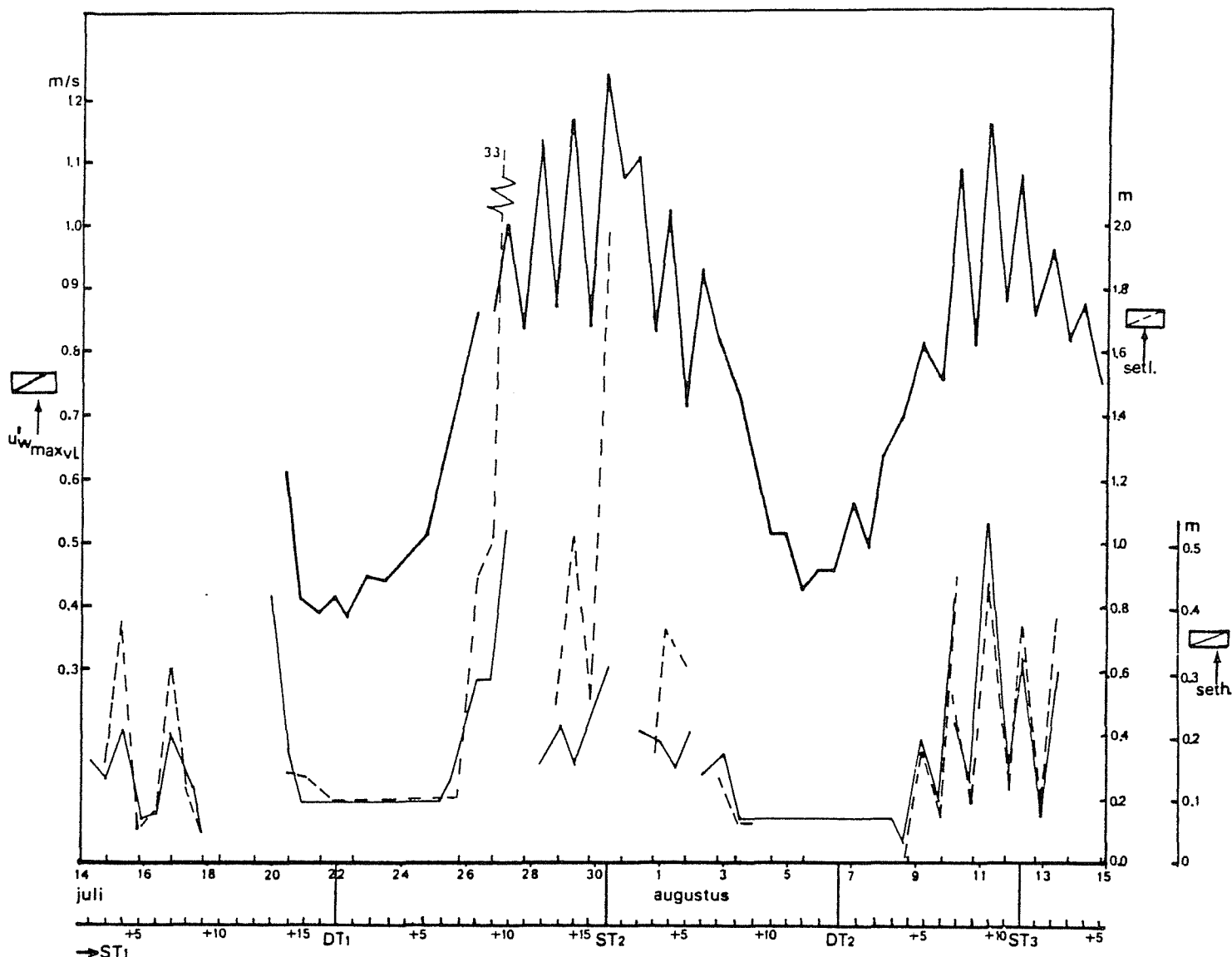


Fig.5.12. Vergelijking tussen het verloop van $u'_{w max v_l}$ en de seth en setl bij de landstelling tijdens de meetperiode.

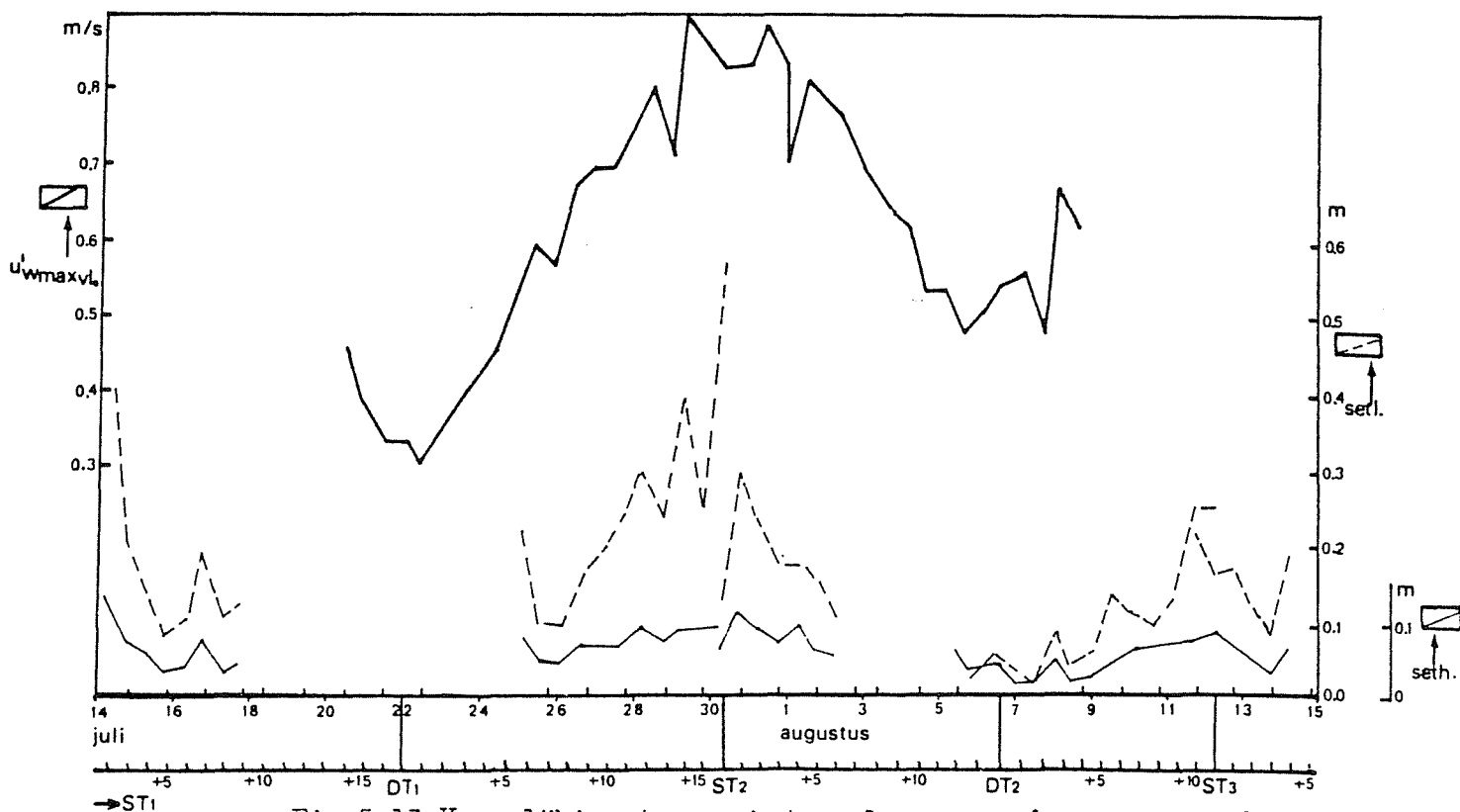


Fig.5.13. Vergelijking tussen het verloop van $u'_{w max v_l}$ en de seth en setl bij de zeestelling tijdens de meetperiode.

bij de landstelling in een grotere sethoogte en setlengte resulteert dan bij de zeestelling. Hieruit blijkt dat er behalve de stroomsnelheid nog een andere factor in het spel is, nl. de effectiviteit.

5.5.2.5. Relaties tussen seth, setl en de effectiviteit $\sum \bar{u}_{v1}$

Bij de landstelling blijkt een zeer goede relatie te bestaan tussen seth en setl enerzijds en de effectiviteit anderzijds, nl:

$$\begin{aligned} \text{seth} &= 0,000162 \sum \bar{u}_{v1} - 0,35 & (5.8) \\ r &= 0,85 \\ \text{overschrijdingskans} & 0,5\%. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{setl} &= 0,000384 \sum \bar{u}_{v1} - 0,80 & (5.9) \\ r &= 0,65 \\ \text{overschrijdingskans} & 0,5\%. \end{aligned}$$

Voor de grafische weergave wordt verwezen naar figuur 5.14.

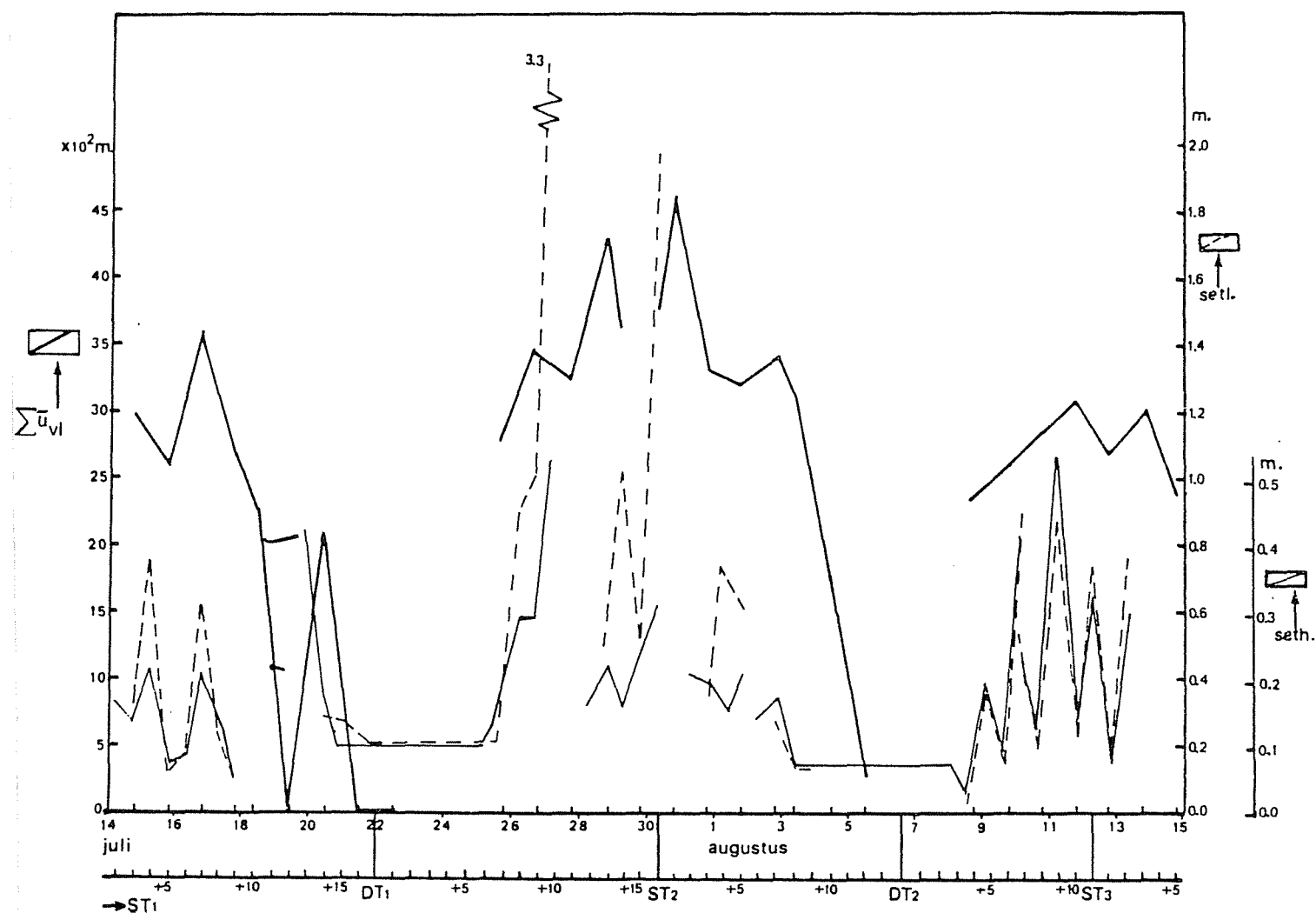


Fig.5.14. Vergelijking tussen het verloop van $\sum \bar{u}_{v1}$ en de seth en setl bij de landstelling gedurende de meetperiode.

Bij de zeestelling blijkt geen noemenswaardig verband te bestaan tussen deze parameters (zie fig.5.15.).

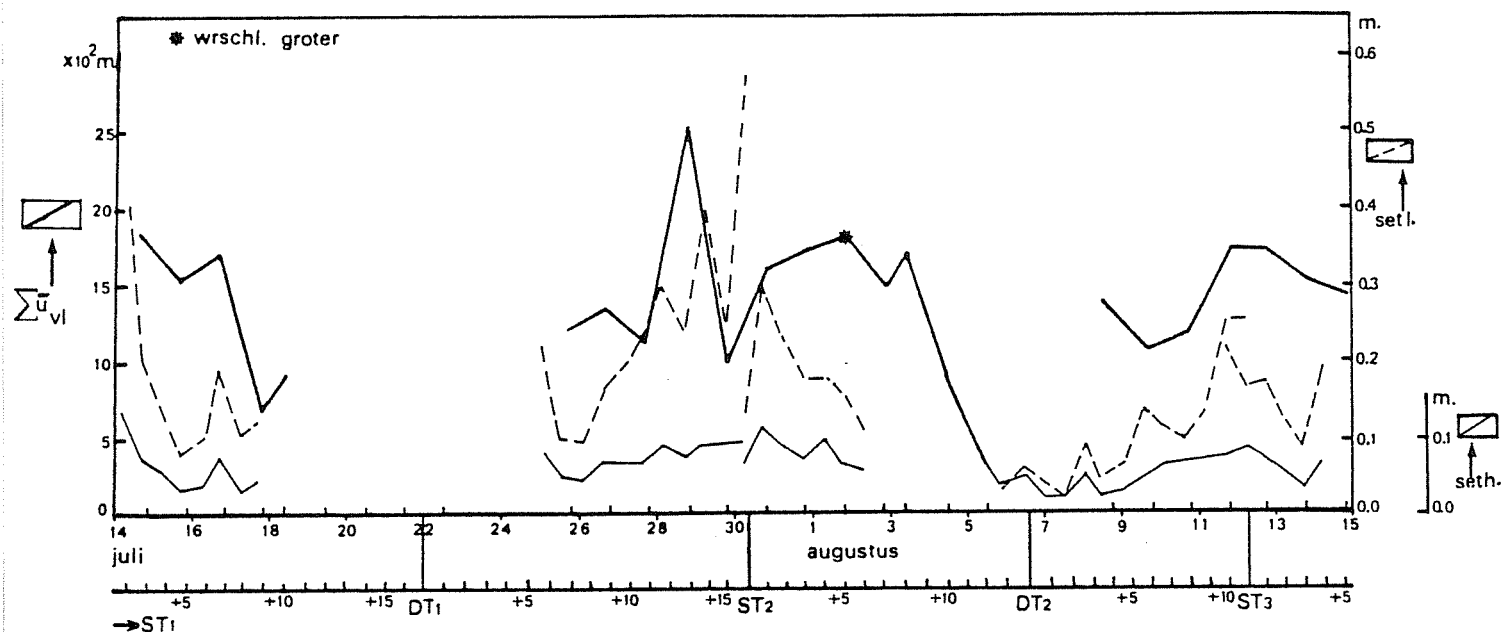


Fig.5.15. Vergelijking tussen het verloop van $\Sigma \bar{u}_{vl}$ en de seth en setl bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

5.5.2.6. Relaties tussen seth, setl en de effectiviteit $\Sigma u_{b\ vl}$

Alleen de sethoogtes van de landstelling tonen verband te hebben met de effectiviteit van het dichtst bij de bodem gelegen meetpunt (zie tabel 5.2. en fig.5.16.).

In tegenstelling tot de relaties van seth en setl met $\Sigma \bar{u}_{vl}$ zijn de relaties van deze parameters met $\Sigma u_{b\ vl}$ gering. Dit verschil is waarschijnlijk een gevolg van het feit dat de bodemsnelheden doorgaans lager zijn dan de over de verticaal gemiddelde snelheden. Hierdoor zal de effectiviteitsgrens voor u_{bodem} niet bij 0,45m/s, maar bij lagere waarden liggen.

Bij de zeestelling bestaat geen lineair verband tussen deze parameters (zie tabel 5.3. en fig.5.17.).

5.5.2.7. Relaties tussen seth, setl en de effectiviteit $\Sigma u'_{w\ vl}$

Voor zowel de land- als zeestelling blijkt duidelijk verband te bestaan tussen sethoogte en setlengte enerzijds en de effectiviteit $\Sigma u'_{w\ vl}$ anderzijds (zie tabel 5.2. en 5.3. en fig.5.18. en 5.19.).

5.5.2.8. Relaties tussen seth, setl en $u_{\# \max}$

Voor land- noch zeestelling blijkt tussen deze parameters enige relatie te bestaan (zie tabel 5.2 en 5.3).

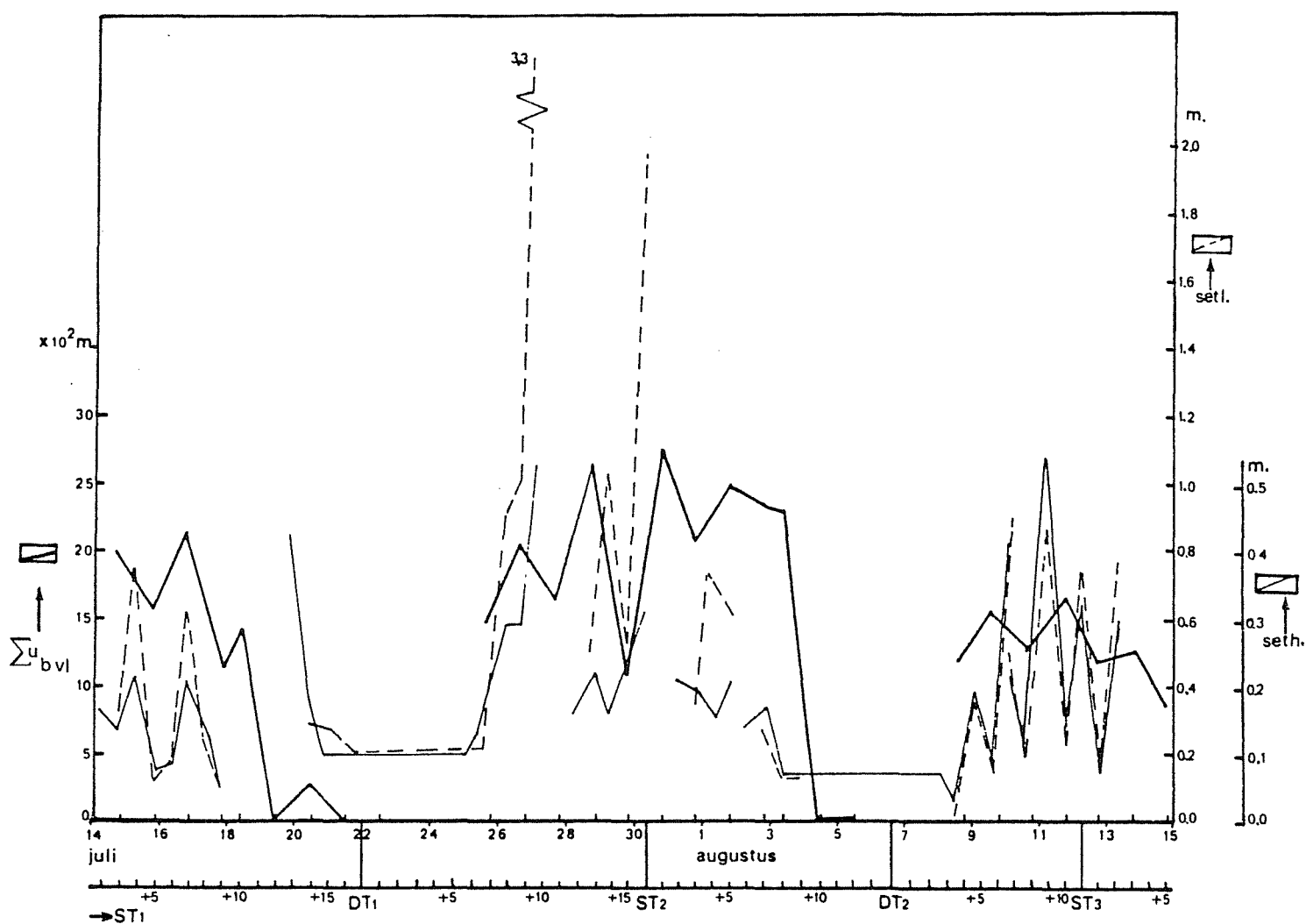


Fig.5.16. Vergelijking tussen het verloop van $\sum u_{b\,vl}$ en de seth en setl bij de landstelling gedurende de meetperiode.

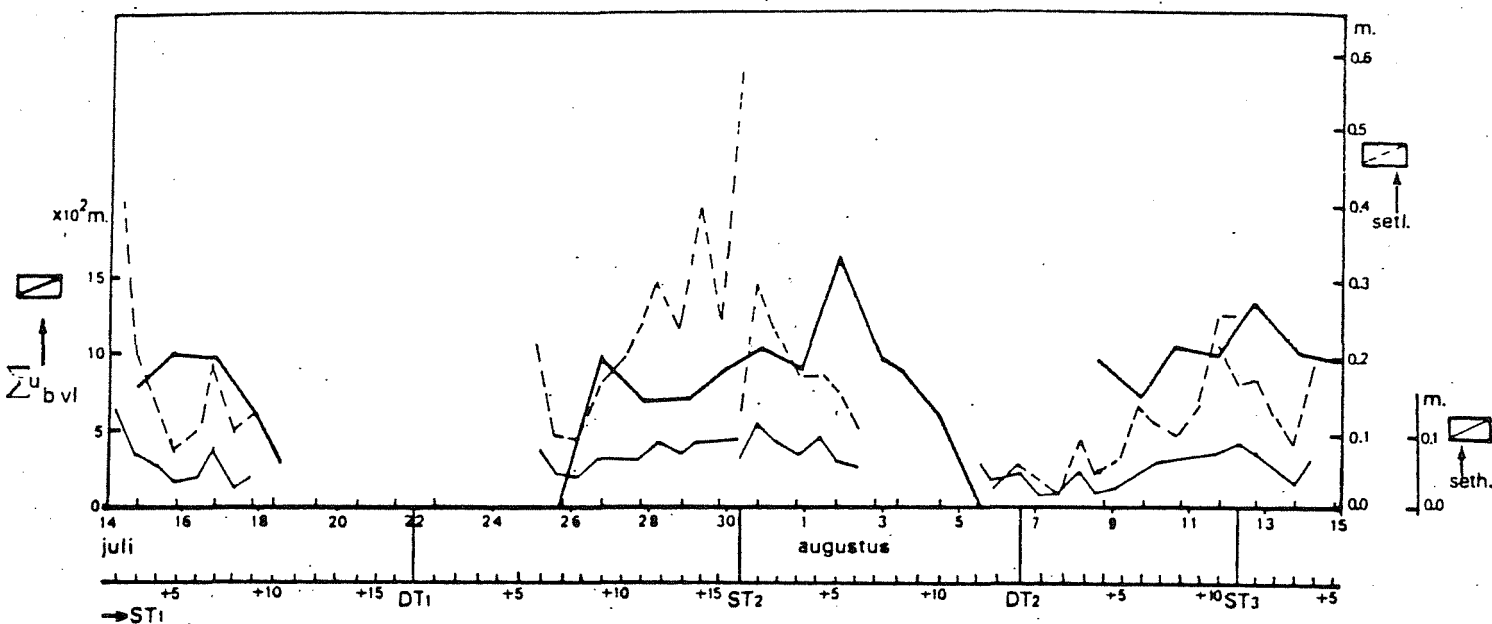


Fig.5.17. Vergelijking tussen het verloop van $\sum u_{bv1}$ en de seth en setl bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

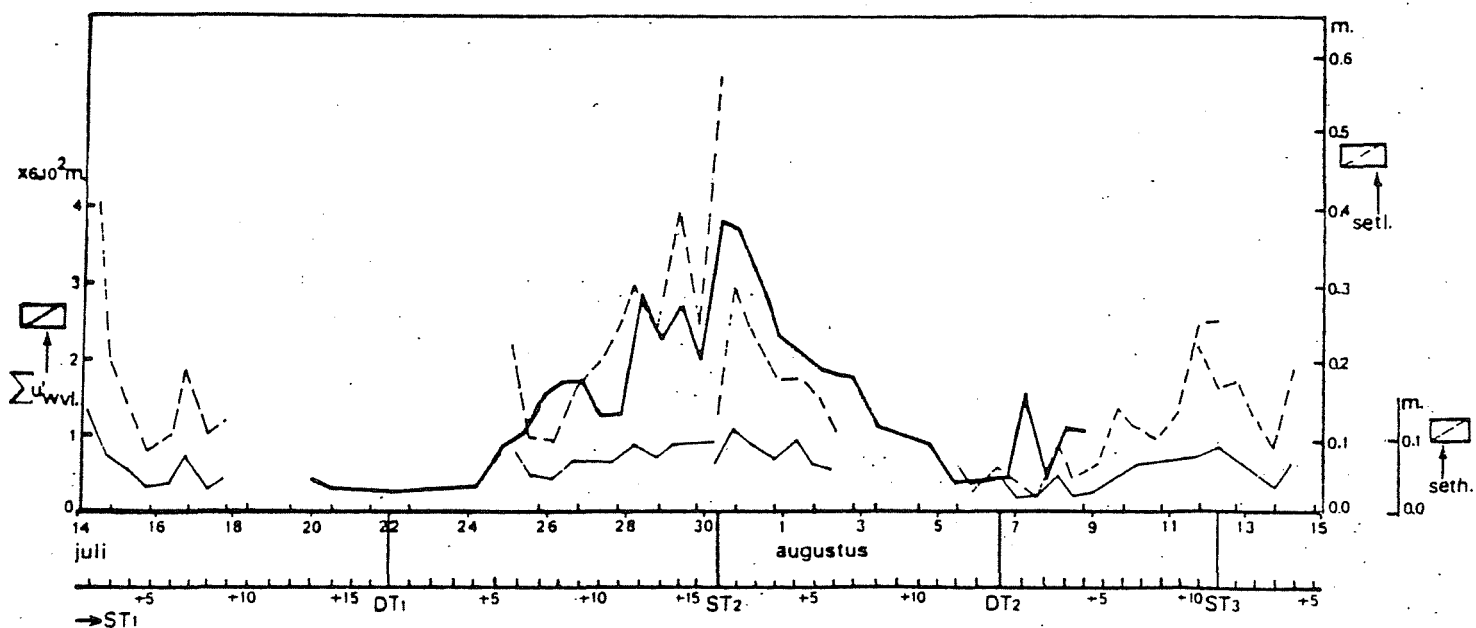


Fig.5.19. Vergelijking tussen het verloop van $\sum u'_{wv1}$ en de seth en setl bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

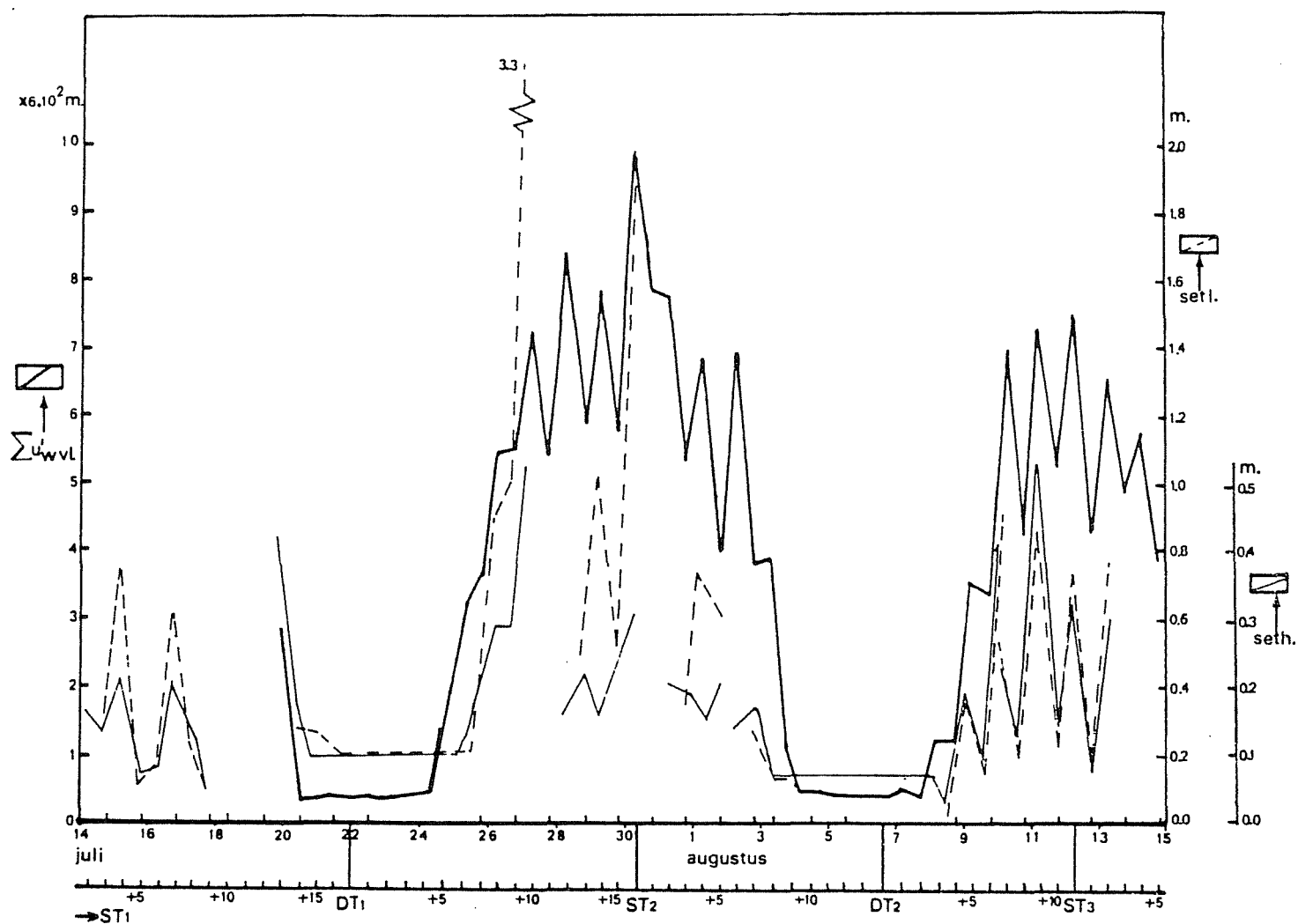


Fig.5.18 Vergelijking tussen het verloop van $\Sigma u'_{wvl}$ en de seth en setl bij de landstelling gedurende de meetperiode.

5.5.2.9. Relaties tussen seth, setl en het Froudegetal

Alleen de sethoogtes van de landstelling vertonen enige relatie met de Froude getallen (zie tabel 5.2).

De setlengte bij de landstelling en de sethoogte en setlengte bij de zee-
stelling tonen geen verband met het Froude getal (zie fig. 5.20. en 5.21.;
bij de beschouwing van deze figuren moet er rekening mee gehouden worden
dat in de regressie-analyse alleen de dagcyclus-waarden voor seth en setl
meetelden omdat de Froude getallen ook alleen maar van de dagcyclus bekend
waren).

5.5.2.10. Enkele aantekeningen betreffende de nauwkeurigheid van de relaties

Bij de beschouwing van de tabellen 5.2. en 5.3. moet rekening gehouden wor-
den met het feit dat het hier uitkomsten betreft van berekeningen met
ongecorrigeerde waarden van de structuurparameters.

Een eerste correctie zou nodig zijn omdat de lakprofielen op enige afstand
(10 à 20 meter) van de meetverticaal werden genomen. Tussen beide plaatsen
kan een verschil bestaan in hydrodynamische condities.

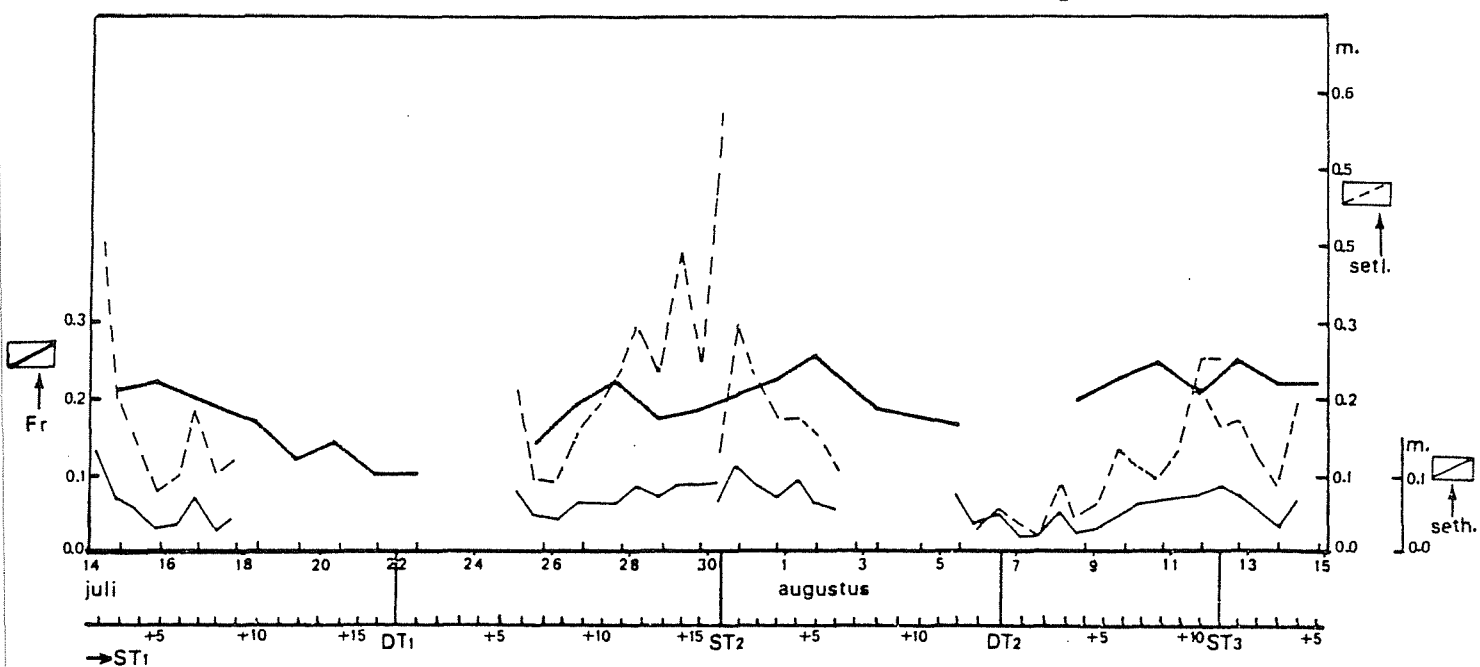
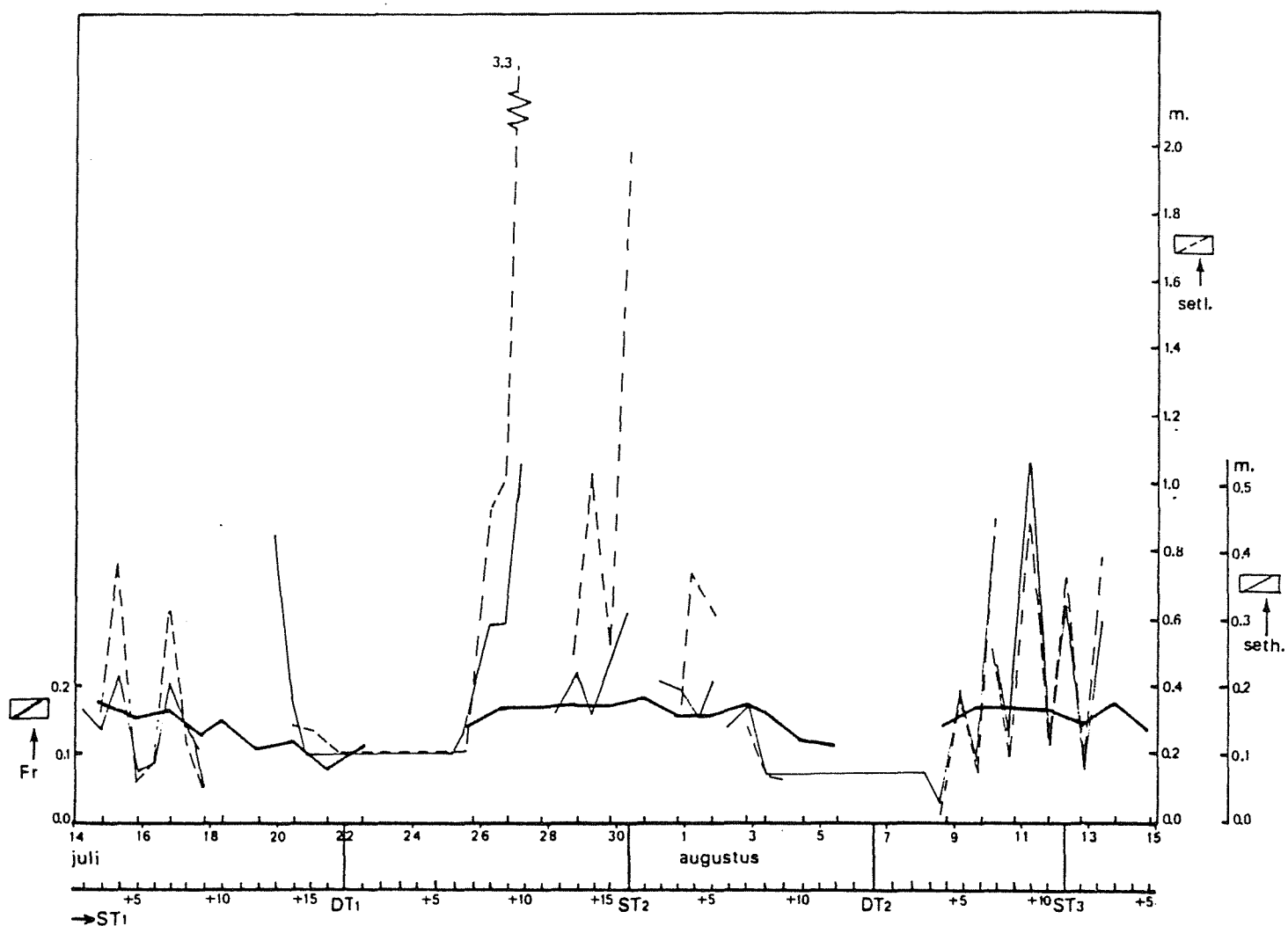
Voor deze correctie zijn echter geen gegevens beschikbaar. Bovendien lijkt
voor de zeestelling, door het uniforme karakter van de ribbels aldaar,
een dergelijke correctie overbodig.

Een tweede correctie is nodig omdat de lakprofielen van verschillende
ribbels gemaakt zijn. Omdat de ribbels zich tijdens springtij snel voort-
plantten, moest telkens reeds na enkele dagen een profiel gestoken worden.
Hierna was de betreffende ribbel niet meer bruikbaar en moest een andere
ribbel gekozen worden voor een volgend lakprofiel. Zodoende werden, vooral
bij de landstelling waar meer variatie in ribbelgrootte optrad dan bij de
zeestelling, profielen gemaakt van megaribbels van verschillende grootte.
Dit heeft natuurlijk invloed op het gevonden verloop van de sethoogte en
setlengte in een springtij-doodtijcyclus.

Alleen bij de profielen die elkaar in tijd gedeeltelijk overlaptten, kon een
correctie worden toegepast.

Dit is als proef (niet bij de gegevens die resulteerden in de tabellen
5.2. en 5.3.) gedaan met twee profielen bij de landstelling uit de periode
 $ST_2 + 6$ t/m $ST_3 + 2$. Deze profielen overlappen elkaar op $DT_2 + 7$.

De sethoogtes (lengtes) van het tweede profiel werden vermenigvuldigd
met de verhouding $\frac{\text{sethoogte(lengte) 1}^{\text{e}} \text{ profiel op } DT_2 + 7}{\text{sethoogte(lengte) 2}^{\text{e}} \text{ profiel op } DT_2 + 7}$.



De relaties van de hydrodynamische parameters met de gecorrigeerde structuurparameters en de bijbehorende correlatie-coëfficiënten uit de periode ST_2+6 t/m ST_3+2 zijn weergegeven in tabel 5.4.

Of de toegepaste correctie juist is valt echter te betwijfelen, omdat de relaties van de hydrodynamische parameters met de ongecorrigeerde structuur parameters uit dezelfde periode hogere correlatie-coëfficiënten geven (zie tabel 5.5).

hydrodyn. par.	struct. par.	corr. coëff.	aantal getallen-paren.	regressielijn	overschrijdingskans.
$\bar{u}_{max}$	seth	0,77	7	$seth=1,08\bar{u}_{max}-0,69$	2,5%
$\bar{u}_{max}$	setl	0,88	7	$setl=1,34\bar{u}_{max}-0,86$	0,5%
$\sum \bar{u}_{vl}$	seth	0,49	7		
$\sum \bar{u}_{vl}$	setl	0,74	7		

Tabel 5.4. Voorbeeld van een onjuiste(?) correctie van de structuur parameters in de periode ST_2+6 t/m ST_3+2 , als twee lakprofielen bij de landstelling elkaar overlappen op DT_2+7 .
Als de overschrijdingskans kleiner dan 2,5% is, dan is ook de regressielijn weergegeven.

hydrodyn. par.	struct. par.	corr. coëff.	aantal getallen-paren.	regressielijn	overschrijdingskans.
$\bar{u}_{max}$	seth	0,93	7	$seth=0,67\bar{u}_{max}-0,42$	0,5%
$\bar{u}_{max}$	setl	0,93	7	$setl=1,17\bar{u}_{max}-0,73$	0,5%
$\sum \bar{u}_{vl}/100$	seth	0,82	7	$seth=0,01\sum \bar{u}_{vl}-0,21$	2,5%
$\sum \bar{u}_{vl}/100$	setl	0,85	7	$setl=0,02\sum \bar{u}_{vl}-0,38$	1,0%

Tabel 5.5. Relaties tussen de hydrodynamische parameters en de ongecorrigeerde structuur parameters uit de periode ST_2+6 t/m ST_3+2 .
De correlatie-coëfficiënten zijn hier hoger dan in tabel 5.4.

5.5.3. Dagelijkse ongelijkheid van de structuur parameters

In het verloop van de structuurparameters van de landstelling komt de dagelijkse ongelijkheid van het getij duidelijk tot uiting. Bij de zeestelling is dit niet het geval (zie fig. 5.3., 5.5., 5.6. tegenover fig. 5.4., 5.8. en 5.9.). Bij de landstelling is ook de spreiding van de structuurparameters veel groter dan bij de zeestelling. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de rechthoekige ribbels bij de zeestelling een stabiel systeem vormen dan de sinusvormige ribbels bij de landstelling.

5.6. Verhouding tussen sethoogte en setlengte

Uit een vergelijking van de figuren 5.5., 5.6. en 5.8., 5.9. blijkt dat bij de landstelling de verhouding $\frac{\text{setlengte}}{\text{sethoogte}}$ doorgaans kleiner is dan 2, terwijl deze verhouding bij de zeestelling altijd groter dan 2 is.

5.7. SAMENVATTING van hoofdstuk 5

De uit de lakprofielen gemeten structuurparameters (foresetdip, sethoogte en setlengte) zijn vergeleken met de hydrodynamische parameters.

Het verloop van de dip toont geen duidelijk lineair verband met dat van de hydrodynamische parameters. Bij de landstelling zijn de dips rond springtij groter dan rond doottij.

De sethoogte en setlengte hebben betere relaties met de parameters van de waterbeweging.

Het sinusvormige ribbelpatroon bij de landstelling toont het volgende:

- de sethoogte en setlengte worden naar springtij groter en naar doottij kleiner,
- de setlengte is tijdens het hoge springtij ST_2 groter dan tijdens het lage springtij ST_3 ; dit geldt niet voor de sethoogte, vanwege de erosie van de foresets bij ST_2 , voorafgaande aan de vorming van de ebkap.
- zowel de sethoogte als de setlengte variëren beide sterk in grootte, hetgeen veroorzaakt wordt door de dagelijkse ongelijkheid van het getij,
- de verhouding $\frac{\text{setlengte}}{\text{sethoogte}}$ is doorgaans kleiner dan 2,
- de relaties tussen de sethoogte en setlengte enerzijds en $\bar{u}_{\max vl}$, $u'_{w \max vl}$, $\sum \bar{u}_{vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ anderzijds zijn vrij hoog (zie tabel 5.2).

Het rechte ribbelpatroon bij de zeestelling geeft het volgende te zien:

- de setlengte en, in mindere mate, de sethoogte worden naar springtij groter en naar doottij kleiner,
- de setlengte is gedurende het hoge springtij ST_2 groter dan tijdens het lage springtij ST_3 ; dit geldt niet voor de sethoogte vanwege de erosie van de foresets tijdens het hoge springtij,

- de dagelijkse ongelijkheid van het getij wordt niet weerspiegeld in het verloop van de structuurparameters,
- de verhouding $\frac{\text{setlengte}}{\text{sethoogte}}$ is doorgaans groter dan 2,
- de sethoogte en setlengte hebben tamelijk hoge relaties met H_{max} en $[LW-HW]$. Hierdoor kan uit de gegevens van de waterstanden te Hansweert een vrij goede schatting gemaakt worden voor het verloop van de sethoogte en de setlengte van de ribbels bij de zeestelling,
- de sethoogte en setlengte vertonen een redelijk verband met $u'_{w \text{ max vl}}$ en $\sum u'_{w \text{ vl}}$.

Door de hogere stroomsnelheid, maar vooral door de hogere effectiviteitswaarden zijn de sethoogtes en setlengtes bij de landstelling groter dan bij de zeestelling.

De structuurparameters van de zeestelling variëren minder in grootte dan bij de landstelling, hetgeen duidt op een stabiel rechtekammig ribbelpatroon en een iets minder stabiel sinusoïde ribbelpatroon.

RELATIES TUSSEN DE PARAMETERS VAN DE BODEMVORMEN EN
DE PARAMETERS VAN DE WATERBEWEGING

6.1. INLEIDING

In theoretische beschouwingen worden bepaalde kenmerken van de megaribbels toegeschreven aan één of meer parameters van de waterbeweging, zoals $\bar{u}$, u_{*} , H , Fr en stroomrichting (zie fig. 6.1). Deze wetmatigheden zijn voornamelijk gedestilleerd uit proeven met stroomribbels in laboratoria of uit waarnemingen in rivieren, kortom onder geschematiseerde condities (steady uniform flow).

In dit onderzoek wordt getracht de vraag te beantwoorden of in een getijdengebied met een zeer sterk wisselend stroomregime dezelfde wetmatigheden gelden als voor de hierboven genoemde stationaire stroomregimes. In hoofdstuk 5 is hiermee reeds een begin gemaakt voor wat betreft de relaties tussen de structuurparameters en de parameters van de waterbeweging.

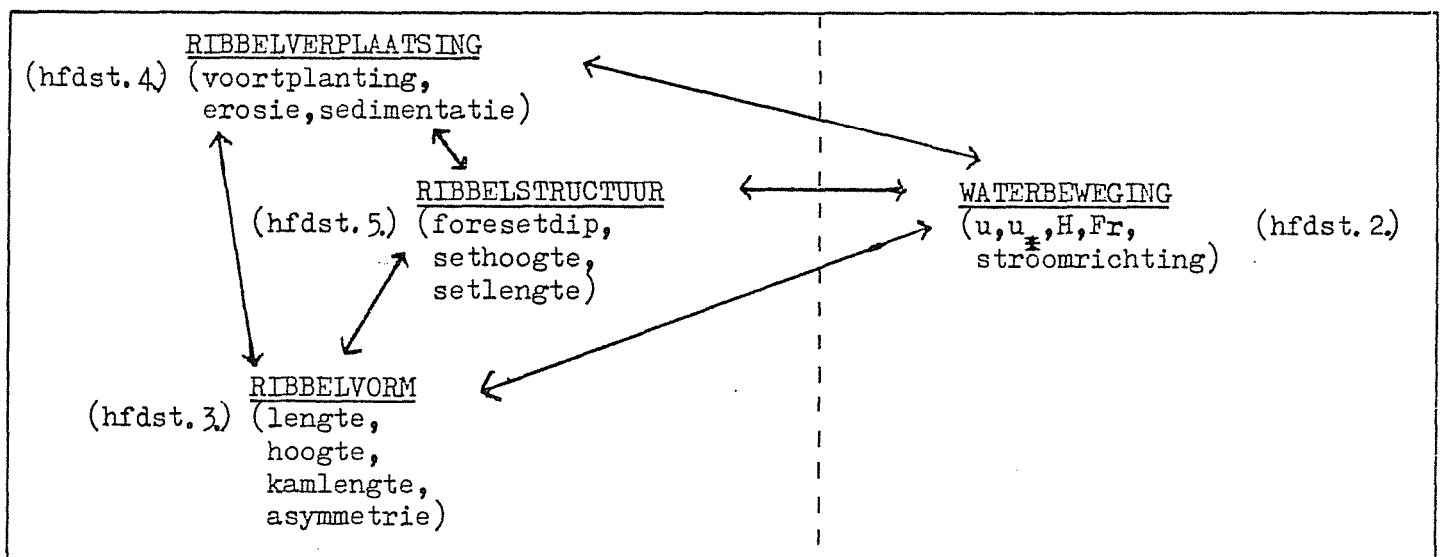


Fig. 6.1. Schema van de relaties tussen de ribbelkenmerken en de waterbeweging.

6.2.RELATIE TUSSEN DE RIBBELVERPLAATSING EN DE WATERBEWEGING

6.2.1.Verwerking van de gegevens tot relaties

In de hoofdstukken 3 en 4 is voor de landstelling duidelijk naar voren gekomen dat de ribbelparameters en de ribbelverplaatsing (voortplanting en materiaaltransport)aldaar, sterk reageren op:

- enerzijds de dagelijkse ongelijkheid van het getij en
- anderzijds de ongelijkheid tussen het hoge en het lage springtij.

Deze ongelijkheden zijn als uitgangspunt gekozen voor de diverse relaties tussen de waterbeweging en de ribbelverplaatsing en ribbelparameters.

Bij de zeestelling zijn de bovengenoemde ongelijkheden vrijwel niet aanwezig. Slechts de hogere snelheids- en effectiviteitswaarden rond springtij veroorzaken hier een toename in waarde van de ribbelvariabelen.

Om relaties aan te duiden tussen de diverse ribbelvariabelen en de waterbeweging-hier voorgesteld door de maximale snelheid en de effectiviteit-zijn regressie analyses uitgevoerd.

Hierbij dient opgemerkt te worden, dat vanwege de dagelijkse ongelijkheid in de snelheid en de effectiviteit bij de landstelling een onderscheid gemaakt is tussen de waarden die tijdens een nacht- en een dagcyclus gemeten zijn.

Bij de landstelling ontstaan dus voor de gehele periode vier relaties tussen de ribbelvariabelen en de waterbeweging, nl. twee van de nachtcycli en twee van de dagcycli, resp. voor de $u_{\max}$ en de effectiviteit.

Daarentegen wordt er bij de zeestelling geen onderscheid gemaakt tussen de dag- en nachtcycli, waardoor twee relaties ontstaan.

Bij de regressie analyses kwam naar voren dat er weinig tot geen verschil bestaat in de waarden van de correlatie-coëfficiënten die bij de lineaire en de logaritmische relaties behoren. De verschillen die toch nog optreden zijn afwisselend in het voordeel van de lineaire of de logaritmische relaties. Om deze reden is dan ook gekozen voor de meest simpele ofwel lineaire weergave van de relaties.

Bovenstaande procedure is voor alle relaties gevolgd. Veelal geldt dit echter niet voor de in sommige onderdelen speciaal toegevoegde relaties. Steeds zal in de hierna volgende onderdelen achtereenvolgens de land- en zeestelling worden behandeld, eventueel gevolgd door een onderlinge vergelijking.

Voor het quasi-ebribbenveld en het vlakke deel is het niet mogelijk een zelfde behandeling te geven, omdat de gegevens daarvoor ontbreken.

6.2.2. Relatie tussen de voortplanting van de ribbel en de waterbeweging

Voor al voor de nachtcycli bij de landstelling bestaat een opmerkelijk goede relatie tussen de ribbelvoortplanting en de waterbeweging (zie fig. 6.2). Dit geldt zeker als wordt bedacht dat het hier gecorrigeerde snelheids- en effectiviteitswaarden betreft.

De relaties voor de zeestelling (zie fig. 6.3) en voor de dagcycli van de landstelling hebben veelal een lagere correlatie-coëfficiënt dan die van de nachtcycli van de landstelling.

Voor een vergelijking van deze relaties met de bijbehorende correlatie-coëfficiënten wordt verwezen naar tabel 6.1. en 6.2.

De relaties zijn grafisch weergegeven in de figuren 6.4. en 6.5.

In deze grafieken snijden de regressielijnen van de dag- en nachtcycli van de landstelling elkaar. In figuur 6.4.a. treedt dit op bij $u'_w \max v_l \approx 0,90 \text{ m/s}$ en in figuur 6.4.b. bij $\sum u'_w v_l \approx 5,5.6.10^2 \text{ m}$.

Voor al de boven dit snijpunt gelegen waarden van de nachtcycli vertonen een duidelijk lineair verband, hetgeen ook al tot uiting komt in de hoge correlatie-coëfficiënten van de vergelijkingen van de nachtcycli.

Slechts één maal doet zich een uitzondering voor op het hierboven geschetste, en wel gedurende de dagcyclus ST_2+1 . De dan verkregen waarde ligt boven het snijpunt en wordt, voor alle duidelijkheid, niet langer als een dagcycluswaarde beschouwd. Door deze waarde niet in de berekeningen te betrekken, wordt voorkomen dat de richtingscoëfficiënt van de regressielijn van de dagcycli een vertekend beeld zal geven.

Naast het onderscheid tussen dag- en nachtcycli bij de landstelling zijn ook de relaties bepaald tussen de ribbelvoortplanting en de dag- en nachtcycli waarden tezamen. Op deze wijze komt het verband tussen de dagelijkse ongelijkheid van het getij en de ribbelvoortplanting tot uiting. Het beste resultaat wordt dan verkregen door in deze relatie de voortplanting logaritmisch weer te geven. De grafiek van deze logaritmische relatie lijkt immers het meeste op die van de twee snijdende lineaire vergelijkingen van de dag- en nachtcycli.

De aldus verkregen relaties staan eveneens weergegeven in tabel 6.1., terwijl de grafische weergave zich in figuur 6.5.a. en b. bevindt.

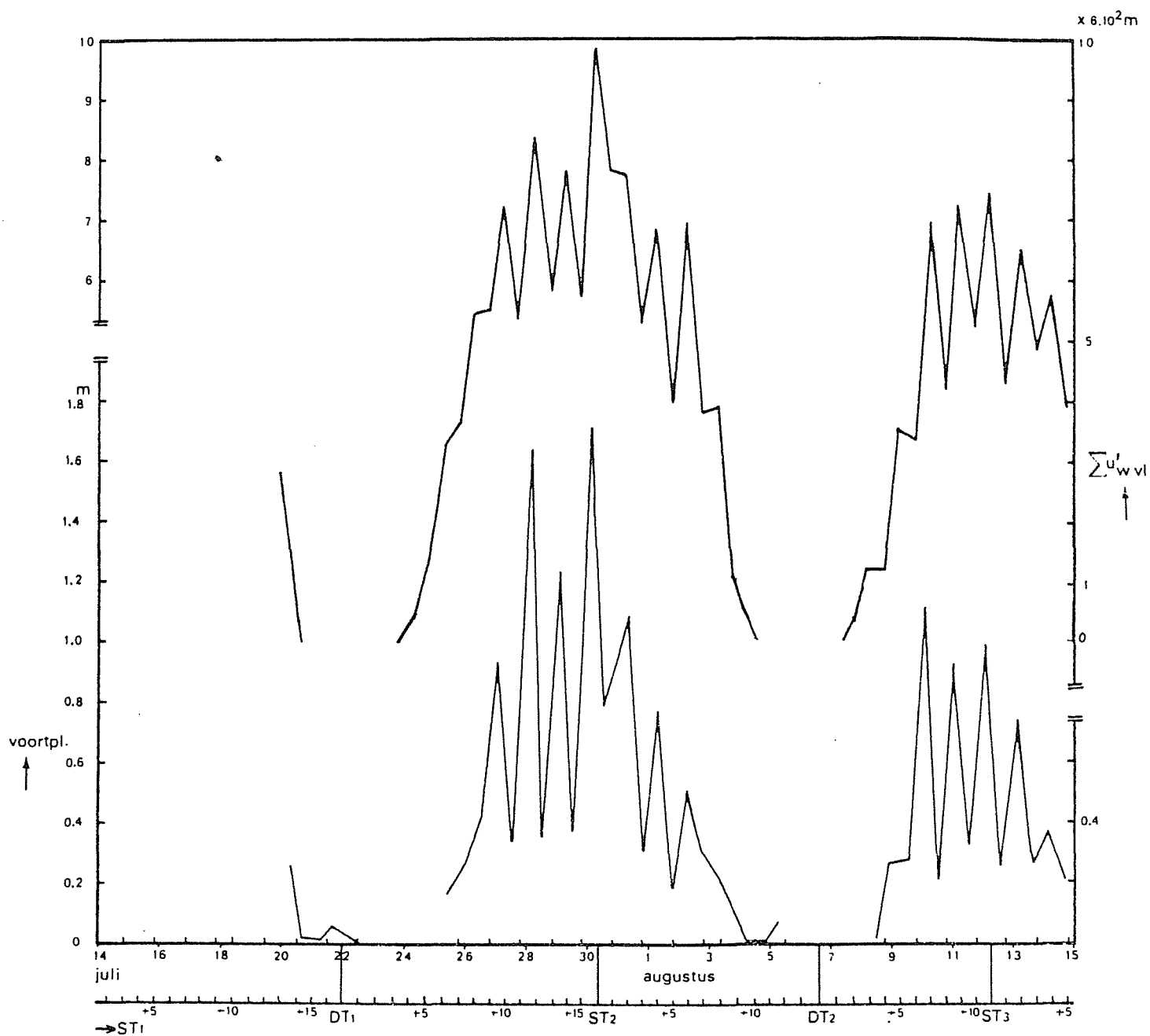


Fig.6.2. Verloop van de ribbelvoortplanting en $\Sigma u'w vl$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

LANDSTELLING	voortplanting van de ribbel (m)	sedimentatie aan lij- zijde van ribbel (10^{-6} m^3)	erosie op loefzijde van ribbel (10^{-6} m^3)
$u'_w \text{ max vl}$ (dagcycli)	$x = 0,90y + 0,54$ $r = 0,87$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{voortplanting}$	$x = 0,0003y + 0,5$ $r = 0,71$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{sedimentatie}$	$x = 0,0002y + 0,57$ $r = 0,68$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{erosie}$
$u'_w \text{ max vl}$ (nachtcycli)	$x = 0,25y + 0,8$ $r = 0,92$	$x = 0,00008y + 0,81$ $r = 0,95$	$x = 0,00007y + 0,88$ $r = 0,79$
$\sum u'_w \text{ vl} / 600$ (dagcycli)	$x = 12,85y + 0,82$ $r = 0,86$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \text{voortplanting}$	$x = 0,004y + 0,66$ $r = 0,63$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \text{sedimentatie}$	$x = 0,003y + 0,96$ $r = 0,77$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \text{erosie}$
$\sum u'_w \text{ vl} / 600$ (nachtcycli)	$x = 2,8y + 4,48$ $r = 0,90$	$x = 0,0008y + 4,77$ $r = 0,88$	$x = 0,0008y + 5,34$ $r = 0,80$
$u'_w \text{ max vl}$ (dag- en nachtcycli)	$x = 0,34y + 1,03$ $r = 0,89$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \log(\text{voortpl.})$	$x = 0,46y - 0,53$ $r = 0,89$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \log(\text{sed.})$	$x = 0,47y - 0,58$ $r = 0,83$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \log(\text{erosie})$
$\sum u'_w \text{ vl} / 600$ (dag- en nachtcycli)	$x = 4,22y + 7,23$ $r = 0,90$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \log(\text{voortpl.})$	$x = 5,24y - 10,84$ $r = 0,83$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \log(\text{sed.})$	$x = 5,95y - 12,92$ $r = 0,85$ $x = \sum u'_w \text{ vl} / 600$ $y = \log(\text{erosie})$

Tabel 6.1. Relaties tussen de waterbeweging en de verplaatsing van de ribbels bij de landstelling.

ZEESTELLING	voortplanting van de ribbel (m)	sedimentatie aan lij- zijde van ribbel (10^{-6} m^3)	erosie op loefzijde van ribbel (10^{-6} m^3)
$u'_w \text{ max vl}$ (dag- en nachcycli)	$x = 1,15y + 0,48$ $r = 0,85$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{voortplanting}$	$x = 0,0005y + 0,47$ $r = 0,71$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{sedimentatie}$	$x = 0,0003y + 0,54$ $r = 0,80$ $x = u'_w \text{ max vl}$ $y = \text{erosie}$
$\Sigma u'_w \text{ vl}/600$ (dag- en nachcycli)	$x = 5,76y + 0,87$ $r = 0,81$ $x = \Sigma u'_w \text{ vl}/600$ $y = \text{voortplanting}$	$x = 0,003y + 0,44$ $r = 0,63$ $x = \Sigma u'_w \text{ vl}/600$ $y = \text{sedimentatie}$	$x = 0,002y + 0,85$ $r = 0,73$ $x = \Sigma u'_w \text{ vl}/600$ $y = \text{erosie}$

Tabel 6.2. Relaties tussen de waterbeweging en de verplaatsing van de ribbels bij de zeestelling.

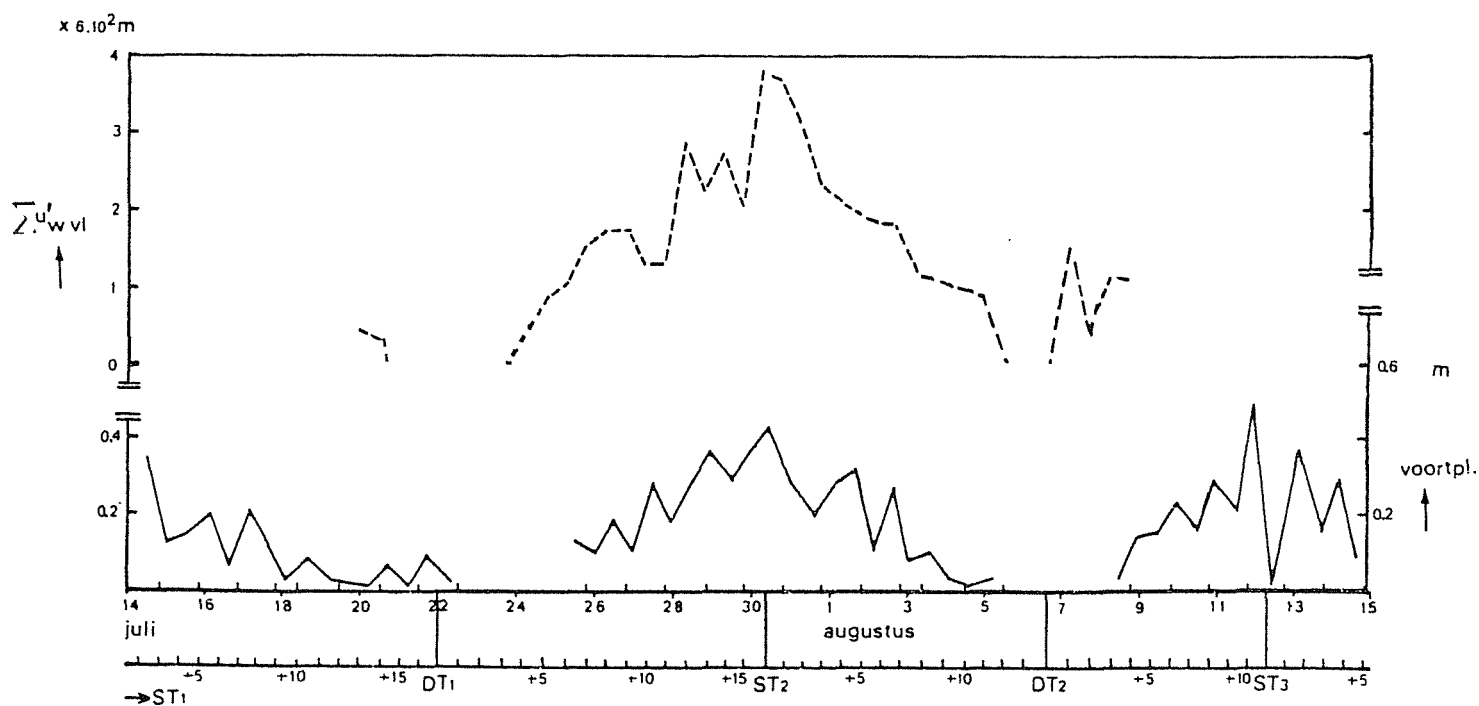


Fig.6.3. Verloop van de ribbelvoortplanting en $\Sigma u'_w \text{ vl}$ bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

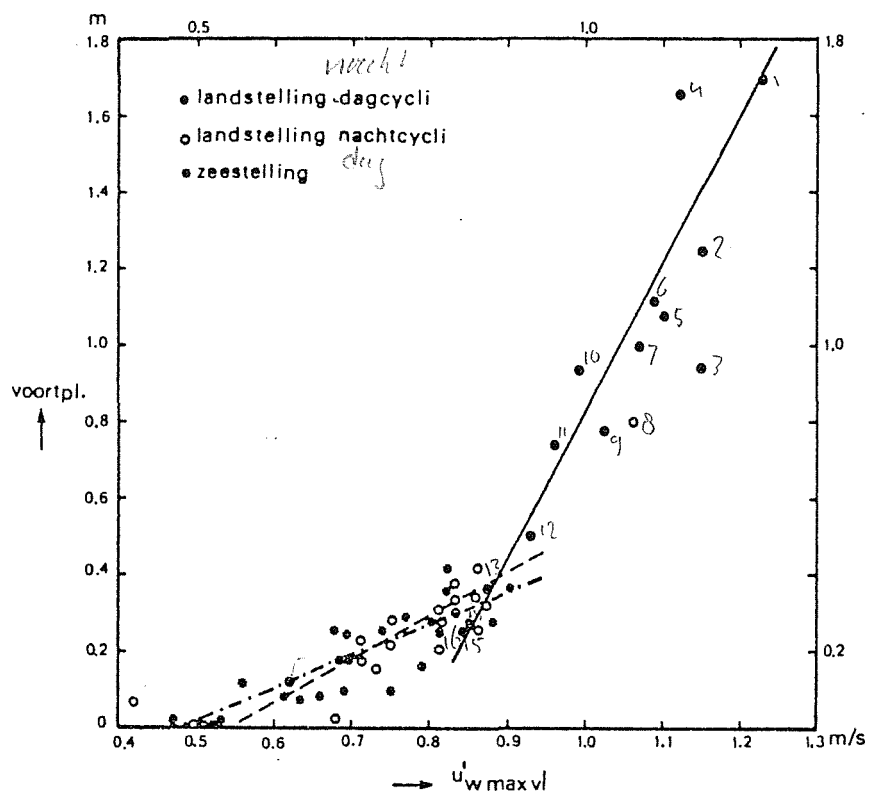


Fig.6.4.a. Weergave van het verband tussen de ribbelvoortplanting en $u'_{w \max vl}$ voor de landstelling (opgesplitst in dag- en nachtcycli) en de zeestelling gedurende de meetperiode.

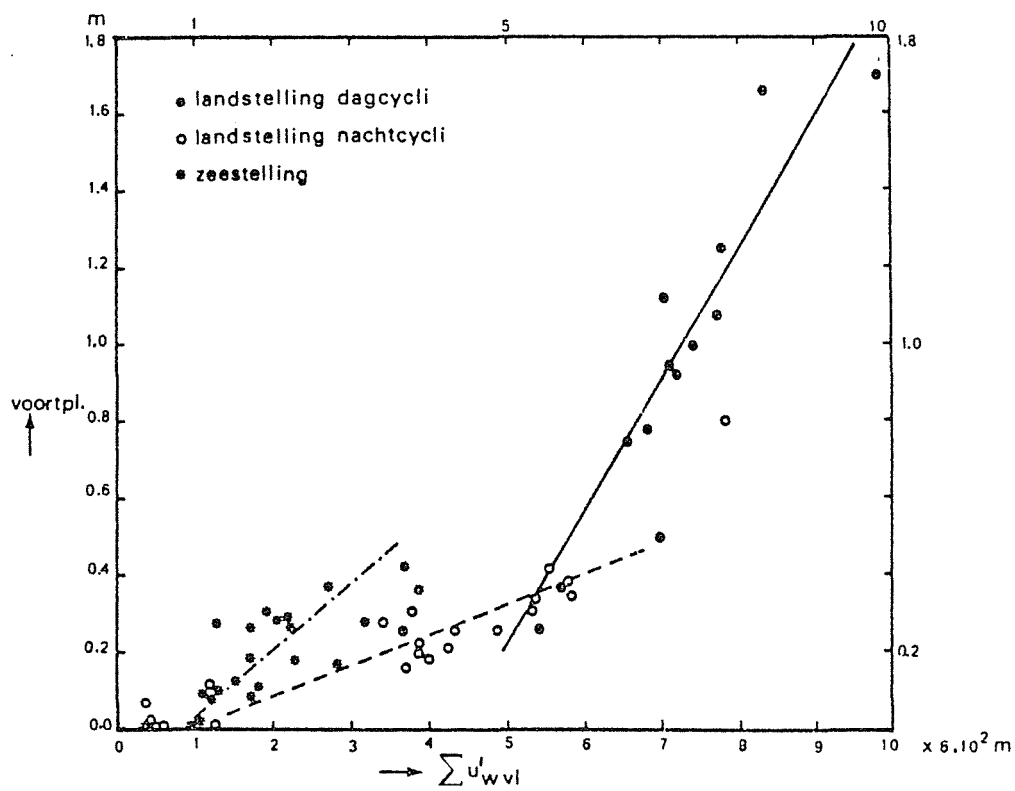


Fig.6.4.b. Weergave van het verband tussen de ribbelvoortplanting en $\sum u'_{w vl}$ voor de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

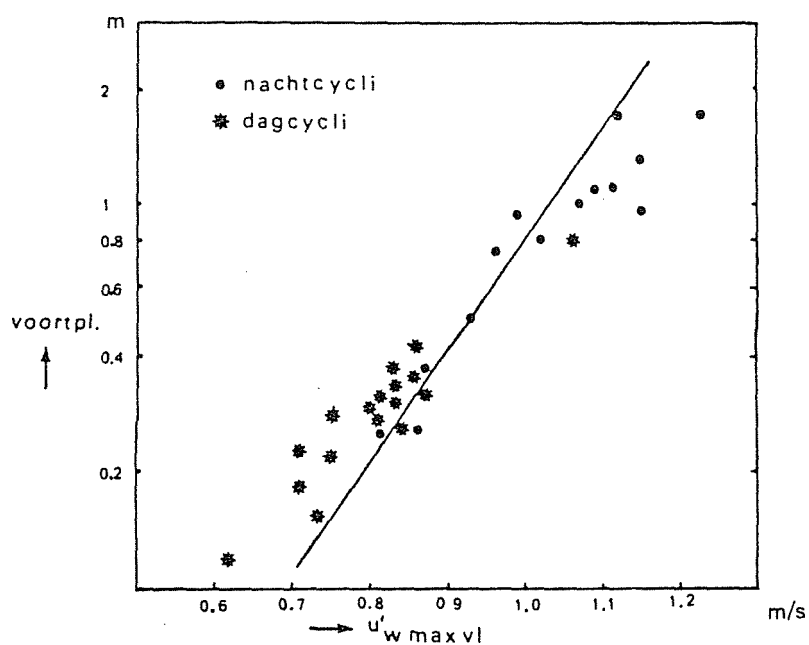


Fig.6.5.a. Weergave van het logaritmische verband tussen de ribbelvoortplanting en $u'_{w \max vl}$ voor de landstelling, opgesplitst in dag- en nachtcycli.

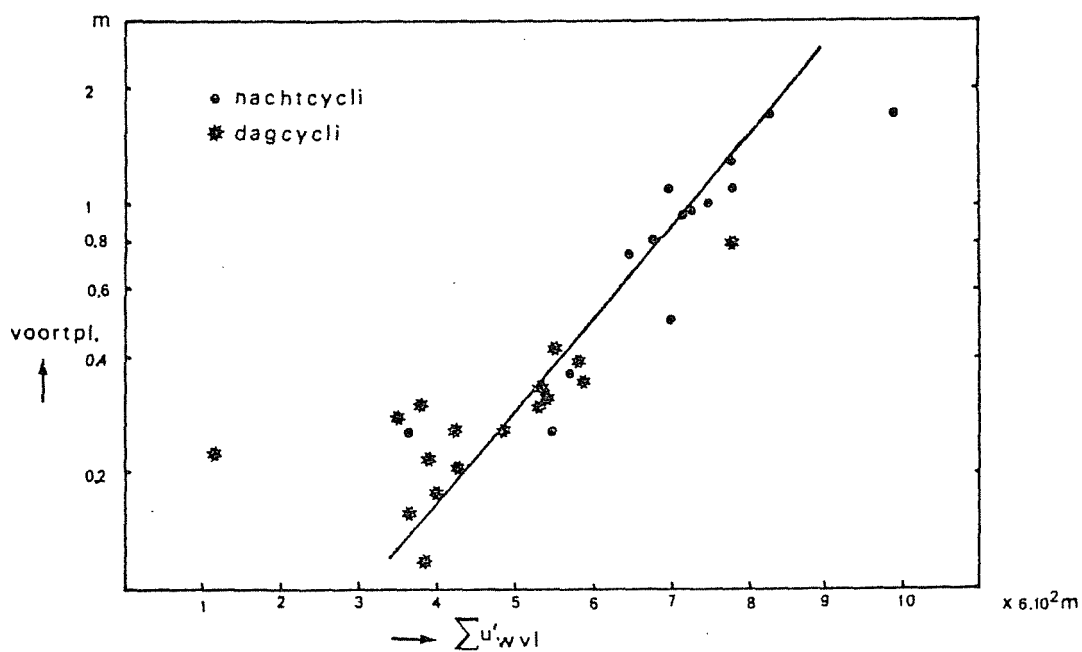


Fig.6.5.b. Weergave van het logaritmische verband tussen de ribbelvoortplanting en $\Sigma u'_{w vl}$ voor de landstelling.

Dat hier en in de volgende onderdelen slechts sprake zal zijn van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$, en niet van bijv. $u_{\neq}$ wordt veroorzaakt door het ontbreken van de nachtcycli waarden bepaald met de meetverticaal. Alleen met behulp van deze waarden is $u_{\neq}$, volgens de in hoofdstuk 2 beschreven methode ook voor de nachtcycli te bepalen.

Geconcludeerd kan worden dat voor dit onderzoek $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ zeer goed bruikbare en indicatieve parameters zijn.

6.2.3. Relatie tussen het materiaaltransport op een ribbel en de waterbeweging

6.2.3.1. Algemeen schema

In hoofdstuk 4 is reeds gezegd dat het materiaaltransport op een ribbel uitgedrukt kan worden in sedimentatie aan de lijzijde en erosie op de loefzijde.

Door het verloop van deze twee variabelen ten opzichte van elkaar en ten opzichte van de waterbeweging gedurende de gehele meetperiode nader te bekijken, kunnen een aantal bijzonderheden in het materiaaltransport worden gesignaleerd.

Om een duidelijk overzicht te verschaffen van hetgeen er bij de landstelling is voorgevallen tijdens de meetperiode is door combinatie van gedeeltelijk reeds eerder getoonde figuren het hieronder staande schema tot stand gekomen (zie fig. 6.6. en 6.7.).

DT₁ en oplooffase naar hoge springtij tot DT₁+10

De stroomsnelheid en de effectiviteit zijn in de periode rond DT₁ zo laag, dat niet voldoende energie geleverd kan worden om veel materiaal te transporteren. Voor zover er materiaaltransport optreedt, blijkt dit vooral uit de erosie op de loefzijde van de ribbel.

Gedurende de nachtcycli DT₁+10 is de snelheid, maar vooral de effectiviteit echter zodanig gestegen (zie fig. 6.2.), dat de ribbel duidelijke veranderingen ondergaat in zowel vorm, verplaatsing als sedimentaire structuren. Deze veranderingen vormen een aanpassing van de ribbel aan de dan heersende waterbeweging. Daardoor is het te verklaren, dat tijdens DT₁+10 de ribbels bij de landstelling zich voor het eerst, na DT, over een behoorlijke afstand (0,95m, zie fig. 6.2.) verplaatsen en een redelijke sedimentatie ($1,5 \cdot 10^{-3} m^3$, zie fig. 6.6.) plaats vindt.

Vanaf DT₁+7 is weliswaar de eerste aanzet aanwezig tot een verhoging van de waterbeweging, maar de voortplanting en het materiaaltransport van de

ribbels zijn dan nog slechts gering.

Hoge_springtij_vanaf DT₁+10_tot ST₂+4

Vanaf DT₁+10 gaande naar ST₂ treden alleen nog maar hogere snelheids- en effectiviteitswaarden op gedurende de nachtcycli.

In deze periode doet zich het verschijnsel voor dat de sedimentatie (S) en erosie(E) zulke waarden aannemen, dat zij onderling minder dan 20% verschillen (zie fig.6.7.). Deze situatie doet zich 9 vloed-ebcycli aaneengesloten voor en beslaat daardoor de ,dynamisch gezien, belangrijke tijdsspanne rond het hoge springtij ST₂.

Het verschijnsel dat E=S, gedurende de periode van DT₁+11 t/m ST₂+3, blijkt op te treden als gedurende de nachtcycli de volgende drempelwaarden worden bereikt en overschreden (zie fig.6.6.):

voor $u'_w \max v_l \pm 1 \text{ m/s}$,
voor $\sum u'_w v_l \pm 7.6.10^2 \text{ m}$.

Uiteraard betreft het hier alleen drempelwaarden voor de landstelling. Wel moeten deze drempelwaarden met enige terughoudendheid worden benaderd, aangezien het hier om gecorrigeerde snelheids- en effectiviteitswaarden gaat. Dit leidt tot een enigszins grove indicatie van de drempelwaarden. Tevens dient in acht genomen te worden dat deze E=S periode slechts één maal is waargenomen, waardoor het nog steeds een open vraag is of dit fenomeen zich bij een volgend hoog springtij weer zal voordoen.

Nu bereiken de waarden van de dagcycli in deze E=S periode bij lange na niet de gestelde drempelwaarden. Dat er dan toch een evenwicht is tussen erosie en sedimentatie, valt in eerste instantie niet te verklaren. Wel kan gezegd worden dat dit evenwicht overdag een indifferent evenwicht is, waarmee bedoeld wordt dat het van de op de dagcyclus volgende nachtcyclus afhangt of het evenwicht tussen sedimentatie en erosie gehandhaafd blijft. Op ST₂+4 is dit namelijk niet meer het geval. De effectiviteit bereikt in deze nachtcyclus niet meer de gestelde drempelwaarde van $\pm 7.6.10^2 \text{ m}$. Met deze vloed-ebcyclus is de E=S periode ten einde gekomen.

Hydrodynamisch vertaald komt het erop neer dat gedurende ST₂+3 en ST₂+4 de vortex in de ribbeltroggen onvoldoende sterk wordt om de diepte van de trog te behouden. Hierdoor treedt invulling van deze troggen op.

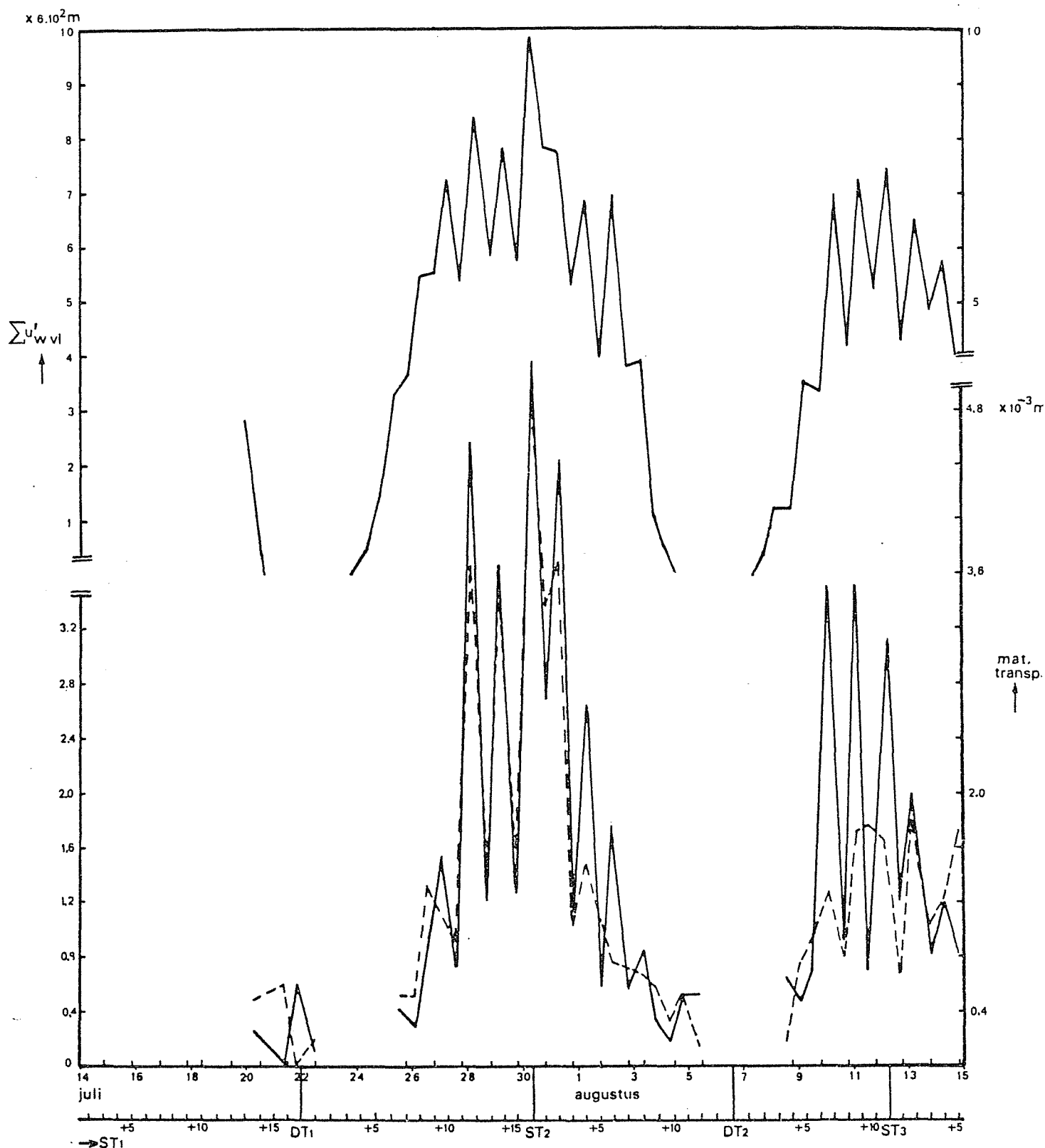


Fig. 6.6. Verloop van het materiaaltransport en $\Sigma u'_{w vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

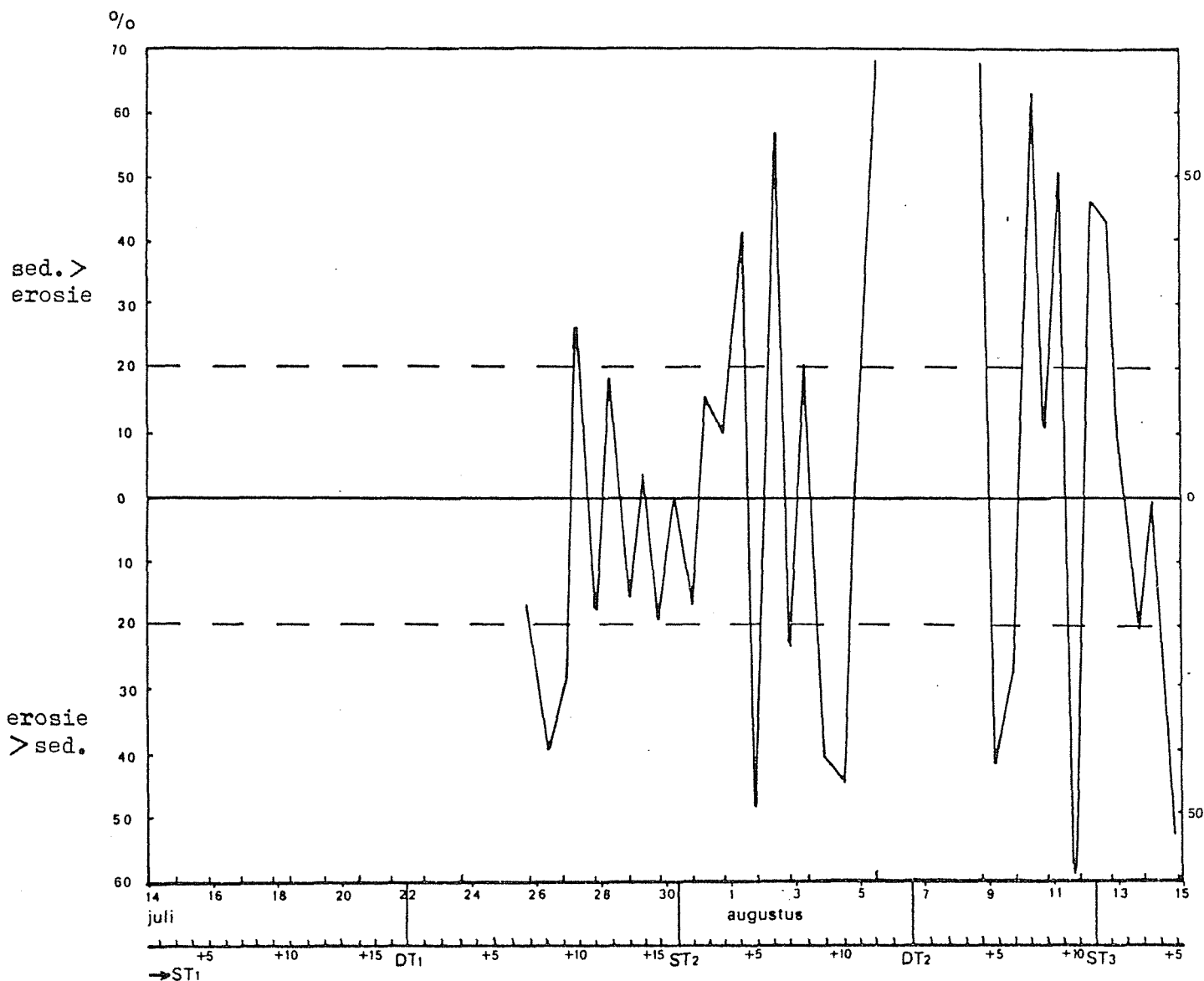


Fig.6.7. Verloop van het verschil (in %) tussen de sedimentatie en de erosie bij de landstelling gedurende de meetperiode.

Afloopfase van het hoge springtij vanaf ST_2+4 — DT_2 — oploophase naar lage springtij tot DT_2+7

Vanaf ST_2+4 is het evenwicht tussen sedimentatie en erosie verbroken. De waarden van beide variabelen dalen door de afnemende snelheid en effectiviteit. Er vindt nog slechts invulling van de troggen plaats.

De meest opvallende tendens in de afloopfase is dat de sedimentatiewaarden van de nachtcycli aanzienlijk hoger liggen dan die van de erosie. Op ST_2+4 bijvoorbeeld bedraagt dit verschil 1100cm^3 .

Geconcludeerd moet worden dat vooral gedurende de nachtcycli materiaal van buiten het gebied bij de landstelling wordt aangevoerd.

Materiaal dat op de plaat wordt afgezet is afkomstig uit de rondom de plaat gelegen geulen. Voor de landstelling betekent dit dat het meeste materiaal uit het Uitloopgat van Ossensisse afkomstig is.

Naarmate DT_2 nadert, wordt het materiaaltransport steeds geringer, zodat er nauwelijks meer sprake kan zijn van een netto sedimentatie gedurende de nachtcycli. Het verloop van de sedimentatie- en erosie-waarden wordt hier mede bepaald door kleinribbels en meetfouten.

De in de afloophase van ST_2 begonnen invulling van de troggen wordt gecontinueerd tijdens doodtij DT_2 .

De oploophase van het lage springtij ST_3 is zeer kort en wordt afgesloten op DT_2+7 als de snelheids- en effectiviteitswaarden weer sterk stijgen (zie fig. 6.6).

Lage springtij vanaf DT_2+7 tot het einde van de meetperiode op ST_3+5

In tegenstelling tot het vorige springtij ST_2 treedt er nu geen evenwicht op tussen sedimentatie en erosie. De waarden van de erosie blijven duidelijk achter bij die van de sedimentatie.

Tijdens de periode DT_2+7 t/m ST_3+2 wordt het lage springtij ST_3 vooral weerspiegeld door het verloop van de sedimentatie-waarden. Daarnaast geven de sedimentatie-waarden ook de dagelijkse ongelijkheid weer.

Het achterwege blijven van een evenwicht tussen sedimentatie en erosie kan de volgende oorzaken hebben:

1) de waterbeweging heeft te lage effectiviteitswaarden (zie fig. 6.6).

Dit houdt in dat de waterbeweging geen doorgaand materiaaltransport (erosie=sedimentatie) kan bewerkstelligen,

2) de vorm, die de ribbel gedurende ST_2 heeft gekregen, is nog zodanig be waard gebleven, dat tijdens ST_3 de waterbeweging hier nog invloed van ondervindt.

Uiteraard hebben de ribbelvormen tijdens de afloophase van ST_2 en tijdens DT_2 enige modificatie ondergaan. Morfologisch gezien, betekent dit een vermindering van de accidentatie van het ribbelreliëf.

Toch hebben enkele ribbelparameters, waaronder de ribbelhoogte, gedurende DT_2 niet dezelfde waarden aangenomen welke zij tijdens DT_1 bezaten. (zie fig. 3.6.). Er is voor het lage springtij dan ook sprake van het erven van de ribbelvormen uit het vorige hoge springtij. Dit aangeboden reliëf of relict is tijdens ST_3 aanvankelijk ongunstig ofwel ruw van karakter voor de waterbeweging. Dit blijkt ook wel uit de lage Ct -waarden, die overeenko-

men met een hoge ruwheid van de bodem.

Het bovenstaande betekent niets anders dan dat gedurende het lage springtij ST_3 ook nog energie verloren gaat aan een verdere en meer volledige modificatie van de ribbelvormen uit het hoge springtij ST_2 .

Geconcludeerd kan worden dat gedurende ST_3 een continu evenwicht in het materiaaltransport achterwege blijft door twee oorzaken:

- de effectiviteit is laag, hetgeen een gering materiaaltransport betekent,
- de bodemvormen zijn niet aangepast, maar een relict van omstandigheden uit een voorgaand hoog springtij.

Het blijkt dus duidelijk dat de waterbeweging tijdens het hoge springtij ST_2 maatgevend is voor de diverse ribbeleigenschappen, zoals de voortplanting en het materiaaltransport. De waterbeweging tijdens het lage springtij ST_3 speelt voor de ribbelkarakteristieken een ondergeschikte rol.

Allen en Friend (1976) geven ongeveer gelijklopende conclusies.

Bovenstaand uitgebreid beschreven schema is kort samengevat in tabel 6.3.

Voor de zeestelling is het niet mogelijk eenzelfde redenering als hierboven te houden.

De figuren 6.8. en 6.9. tonen dat er bij de zeestelling geen evenwicht bestaat tussen erosie en sedimentatie, ook niet in de periode dat dit wel het geval is bij de landstelling. Slechts voor de vloed-ebcycli DT_1+15 en ST_1 kan een uitzondering worden gemaakt: het verschil tussen erosie en sedimentatie bedraagt dan minder dan 20% (zie fig. 6.9.).

Geconcludeerd kan worden dat gedurende vrijwel de gehele meetperiode het ribbelpatroon bij de zeestelling zich niet volledig heeft kunnen aanpassen aan de stromingscondities.

Figuur 6.8. toont tevens dat er voor het materiaaltransport geen duidelijk onderscheid is te maken tussen dag- en nachtcycli. Dit is een logisch gevolg van het feit dat bij de zeestelling de dagelijkse ongelijkheid van het getij minder tot uiting komt, hetgeen ook al duidelijk blijkt uit het verloop van $u'_w \max v_l$ en $\sum u'_w v_l$.

Wel is het opmerkelijk dat de waarden van sedimentatie en erosie vaak tegenovergesteld zijn aan elkaar: is de sedimentatie gering, dan heeft er veel erosie plaatsgevonden; en andersom.

Vooralsnog is hier geen verklaring voor te geven.

Het is echter wel duidelijk dat dit scherp onderscheiden perioden van aanpassing zijn, waarin:

- veel erosie en weinig sedimentatie duidt op afvlakking van de ribbels,
- veel sedimentatie en weinig erosie duidt op een opbouw van de ribbels.

DT ₁ en oploophase naar hoge springtij tot DT ₁ +10.	-lage snelheden waardoor een gering materiaaltransport optreedt, -erosie op de loefzijde is groter dan sedimentatie op de lijzijde.
hoge springtij van DT ₁ +10 tot ST ₂ +4.	-9 vloed-ebcycli achtereenvolgens is een evenwicht aanwezig tussen sedimentatie en erosie (E=S-periode), -drempelwaarde voor $u'_{w \max vl} \approx 1 \text{ m/s}$. -drempelwaarde voor $u'_{w vl} \approx 7.6 \cdot 10^2 \text{ m}$.
afloophase van hoge springtij vanaf ST ₂ +4 tot DT ₂ , oploophase naar lage springtij tot DT ₂ +7.	-E=S-periode ten einde op ST₂+4 tengevolge van lagere snelheid en effectiviteit, -invulling van troggen, -sedimentatie is groter dan erosie, -sedimentatiemateriaal afkomstig uit het Uitloopgat van Ossensisse.
lage springtij vanaf DT ₂ +7 tot einde van de meetperiode op ST ₃ +5.	-sedimentatie is groter dan de erosie, -sedimentatiewaarden variëren met de dagelijkse ongelijkheid en weerspiegelen het springtij, -oorzaken van de afwezigheid van een evenwicht tussen sedimentatie en erosie; -drempelwaarden worden minder en minder lang overschreden, ofwel een geringer materiaaltransport, -het geërfde ribbelreliëf uit het vorige hoge springtij ST₂ moet eerst gemodificeerd worden, ofwel een extra energieverlies.

Tabel 6.3. Schematisch overzicht van het verloop van het materiaaltransport bij de landstelling gedurende de gehele meetperiode.

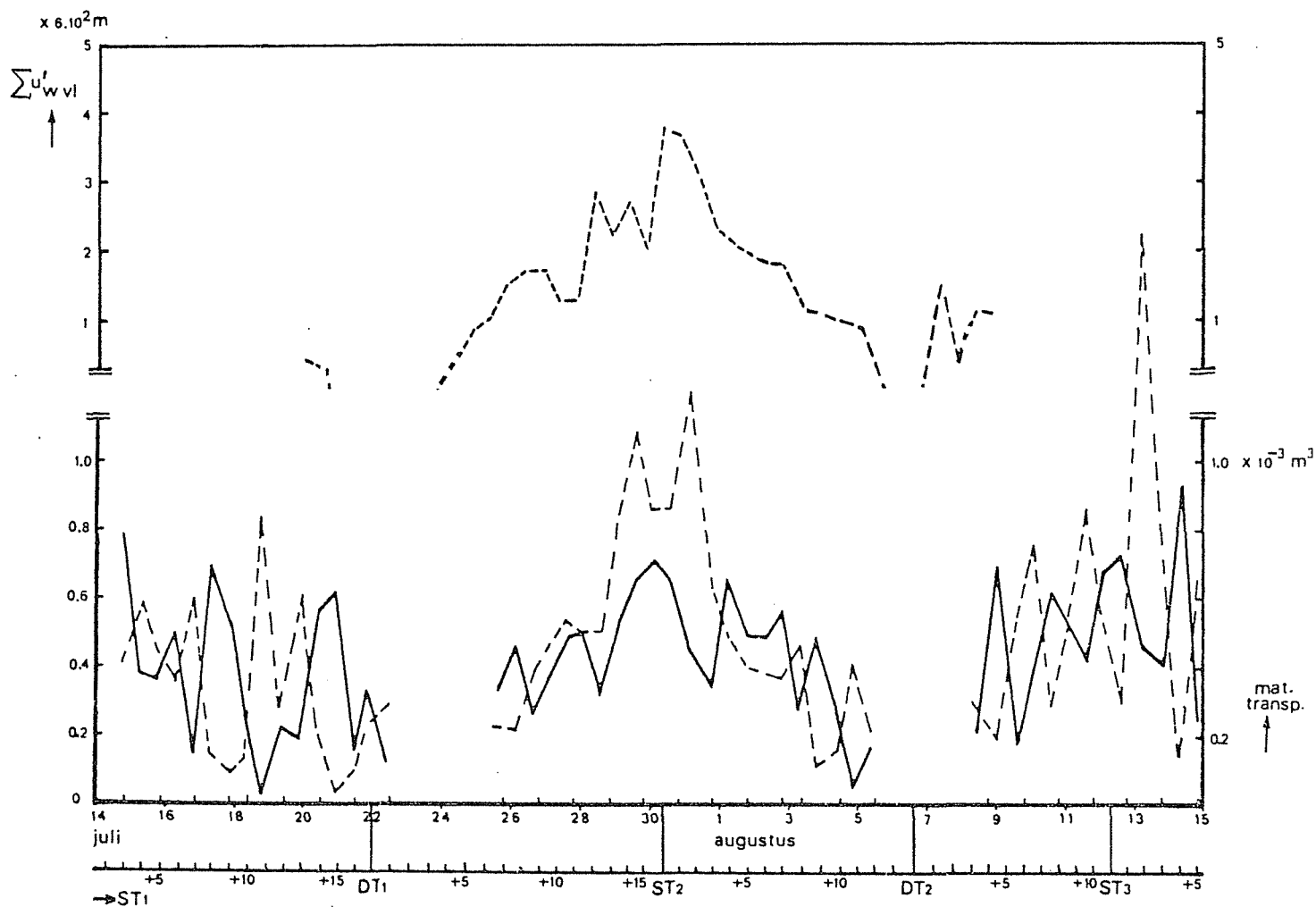


Fig.6.8. Verloop van het materiaaltransport en $\Sigma u'_{wv1}$ bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

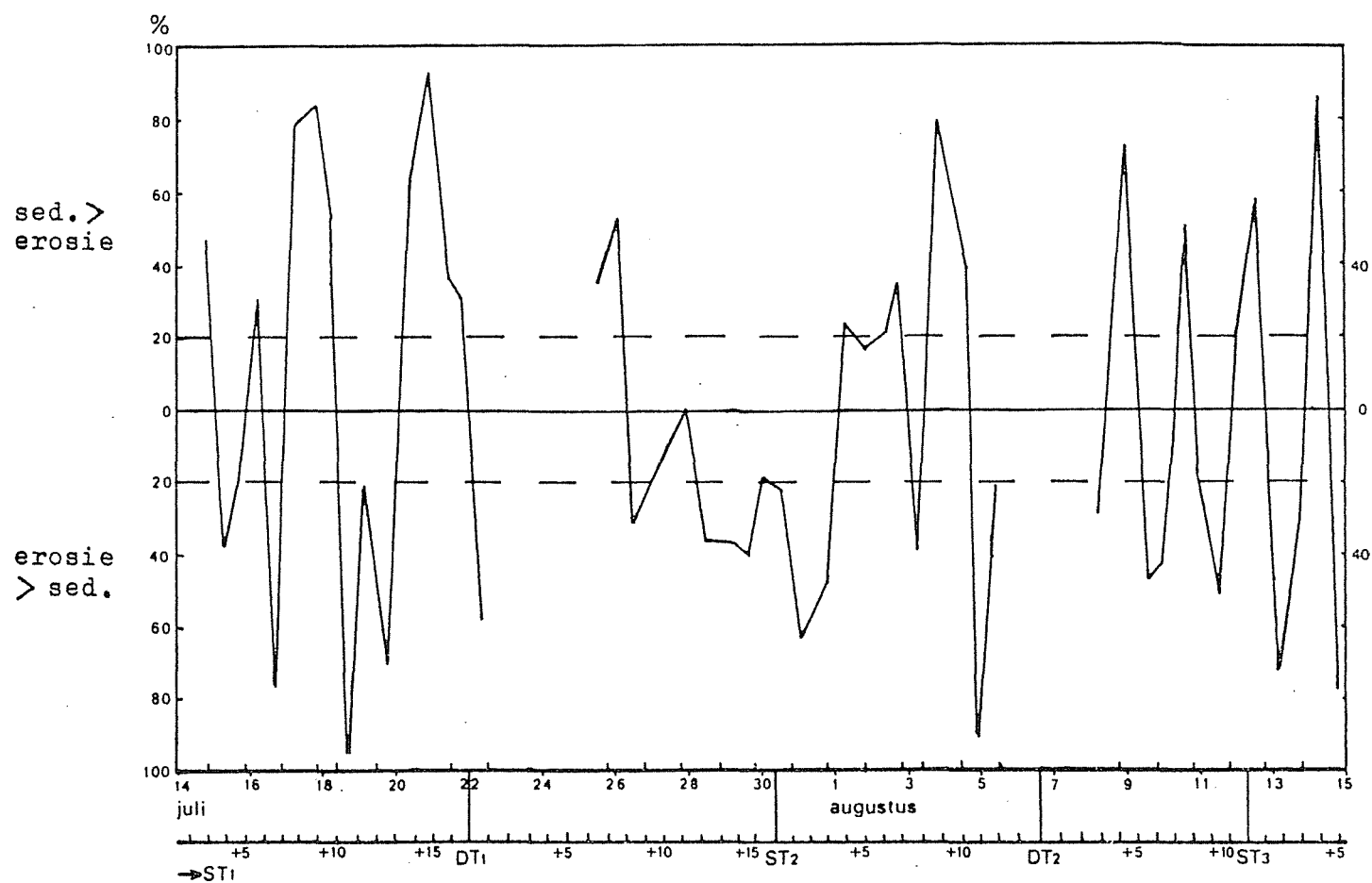


Fig.6.9. Verloop van het verschil (in %) tussen de sedimentatie en de erosie bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

6.2.3.2. Relatie tussen de sedimentatie en de waterbeweging

Aansluitend op de in 6.2.2. gekozen weergave van de relaties, wordt ook hier de lineaire weergave gehanteerd tussen de sedimentatie enerzijds en de waterbeweging anderzijds.

De tabellen 6.1 en 6.2 geven de diverse relaties met de desbetreffende correlatie-coëfficiënten weer. Hieruit blijkt dat bij de landstelling vooral de waarden van de nachtcycli de hoogste correlatie-coëfficiënten hebben, welke hoger zijn dan die voor de zeestelling en voor de dagcycli van de landstelling.

Daarnaast zijn ook weer de (logaritmische) relaties bepaald tussen alle sedimentatiewaarden van de landstelling en de waterbeweging (zie fig. 6.10). In figuur 6.11. snijden de regressielijnen van de dag- en nachtcycli elkaar ook nu weer. Dit gebeurt bij $u'_{w \max vl} \approx 0,92 \text{ m/s}$ en bij $\sum u'_{w vl} \approx 6.6 \cdot 10^2 \text{ m}$. De waarden van deze snijpunten vertonen een duidelijke overeenkomst met die van de snijpunten in de relatie tussen de ribbelvoortplanting en de waterbeweging (zie fig. 6.2.2. en fig. 6.4.).

Eveneens blijkt dat de waarden van deze snijpunten ongeveer overeen komen met de in 6.2.3. gevonden drempelwaarden van $u'_{w \max vl} \approx 1 \text{ m/s}$ en $\sum u'_{w vl} \approx 7.6 \cdot 10^2 \text{ m}$. Dat deze drempelwaarden iets hoger zijn dan de snijpuntswaarden wordt veroorzaakt door het feit dat in de figuren 6.4, 6.11. en 6.13. ook de waarden van de dag- en nachtcycli rond ST_3 zijn gebruikt. Hierdoor is vooral het verloop van de regressielijn van de nachtcycli veranderd. Beide waarden vertonen echter wel dezelfde orde van grootte, hetgeen indicatief genoeg is om in dit verslag vermeld te worden. Via beide wegen wordt uiteindelijk hetzelfde resultaat verkregen: de nachtcycli zijn van het grootste belang in de dynamiek van de ribbels.

6.2.3.3. Relatie tussen de erosie en de waterbeweging

Voor de weergave van de relaties wordt weer verwezen naar de tabellen 6.1 en 6.2; voor de grafische weergave naar de figuren 6.12. en 6.13. Wat betreft de correlatie-coëfficiënten van de diverse vergelijkingen kan gesteld worden dat deze op hetzelfde niveau liggen als die voor de sedimentatie. Alleen de correlatie-coëfficiënten voor de nachtcycli maken hierop een uitzondering. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door de afwezigheid van de dagelijkse ongelijkheid in het verloop van de erosie gedurende ST_3 .

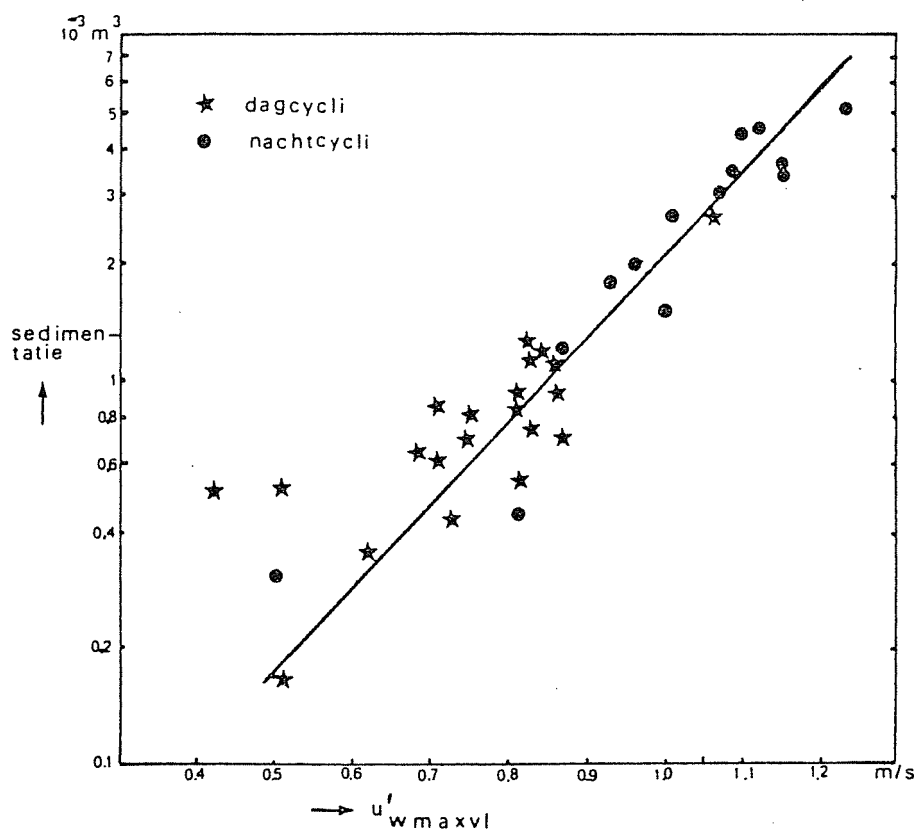


Fig.6.10.a. Weergave van het logaritmische verband tussen de sedimentatie en $u'_{w \max vl}$ voor de landstelling, opgesplitst in dag- en nachtcycli.

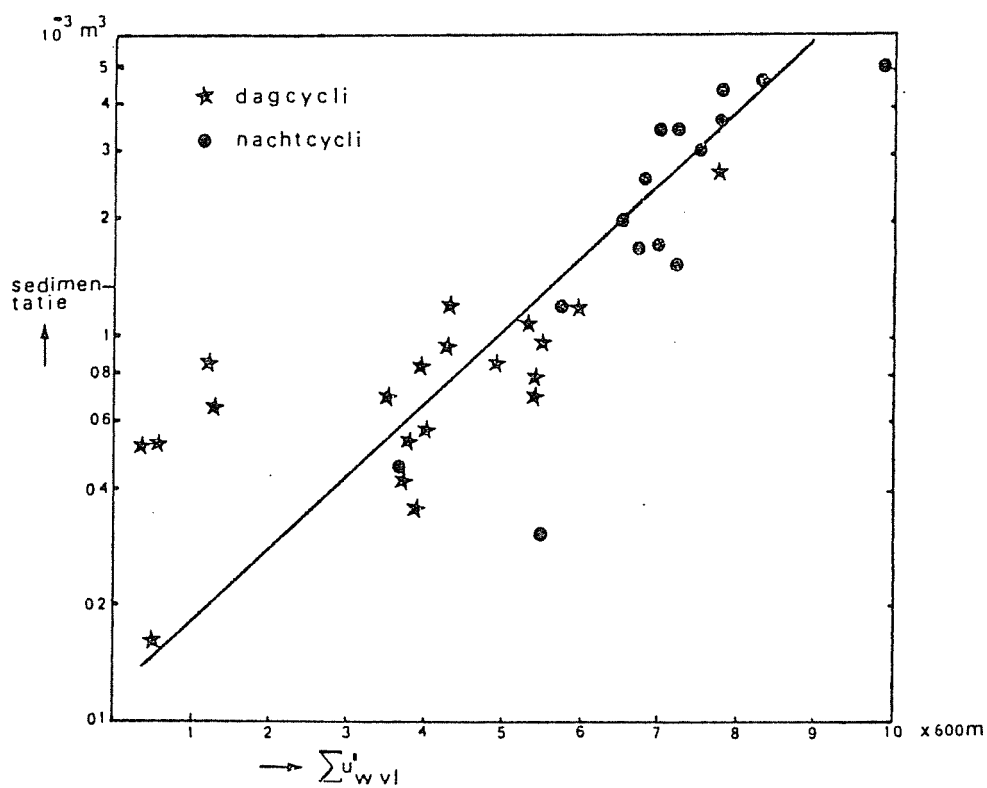


Fig.6.10.b. Weergave van het logaritmische verband tussen de sedimentatie en $\sum u'_{w vl}$ voor de landstelling.

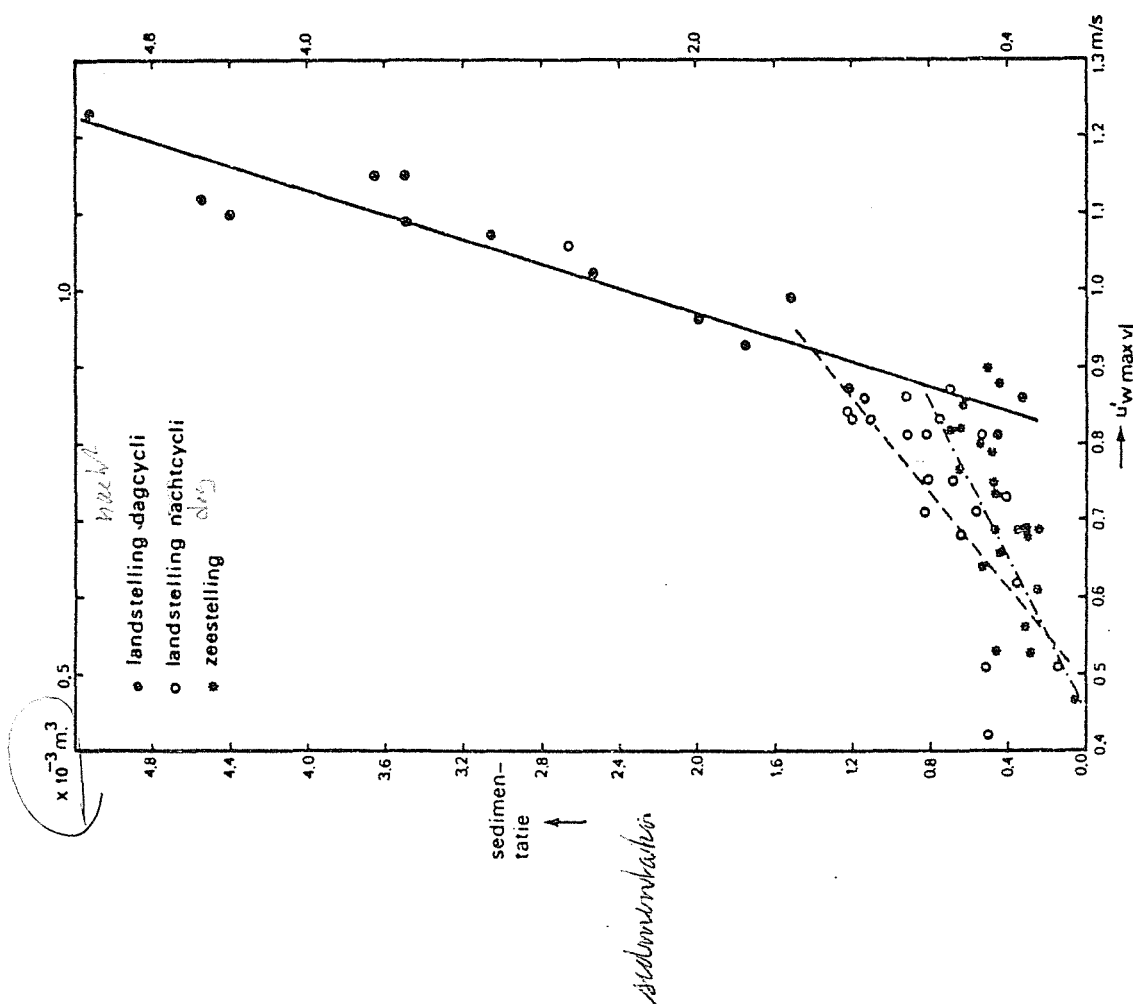


Fig. 6.11.a. Weergave van het verband tussen de sedimentatie en $u_w^{\text{max vl}}$ voor de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

maximum current velocity during dominant tide

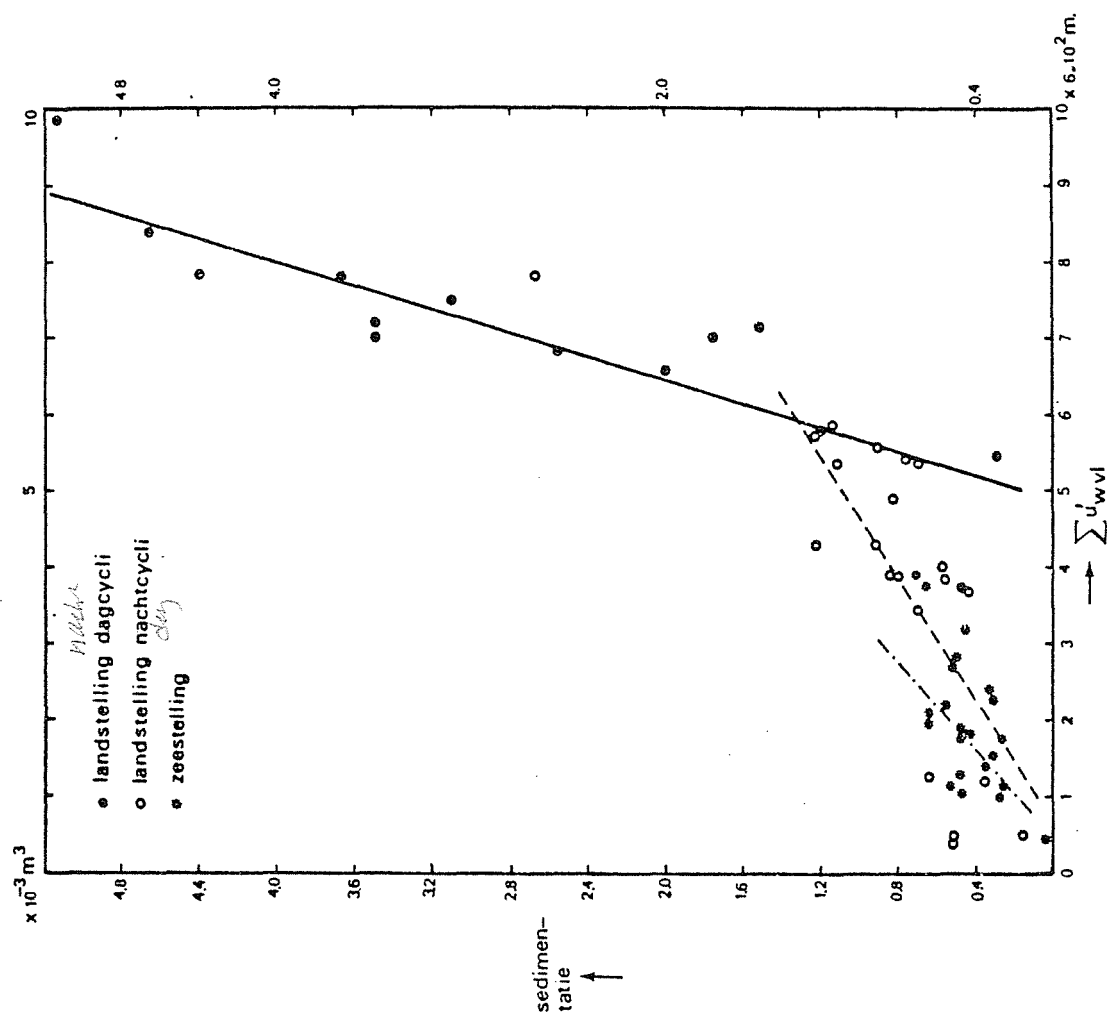


Fig. 6.11.b. Weergave van het verband tussen de sedimentatie en $\sum u_w^2 \text{vl}$ voor de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

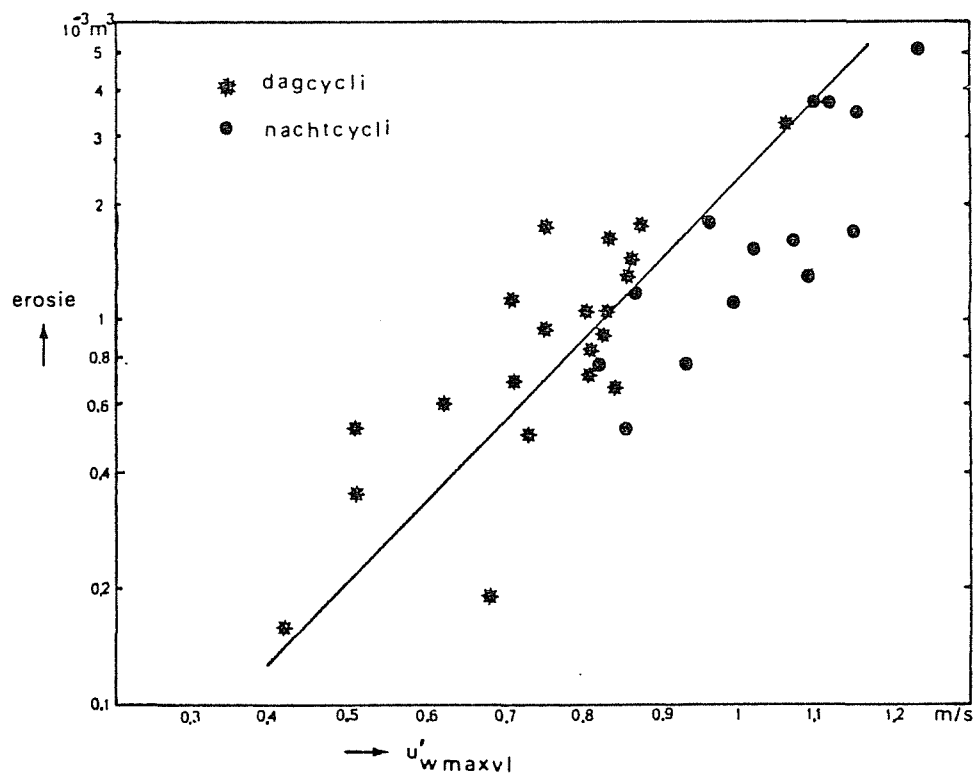


Fig.6.12.a. Weergave van het logaritmische verband tussen de erosie en $u'_{w \max vl}$ voor de landstelling, opgesplitst in dag- en nachtcycli.

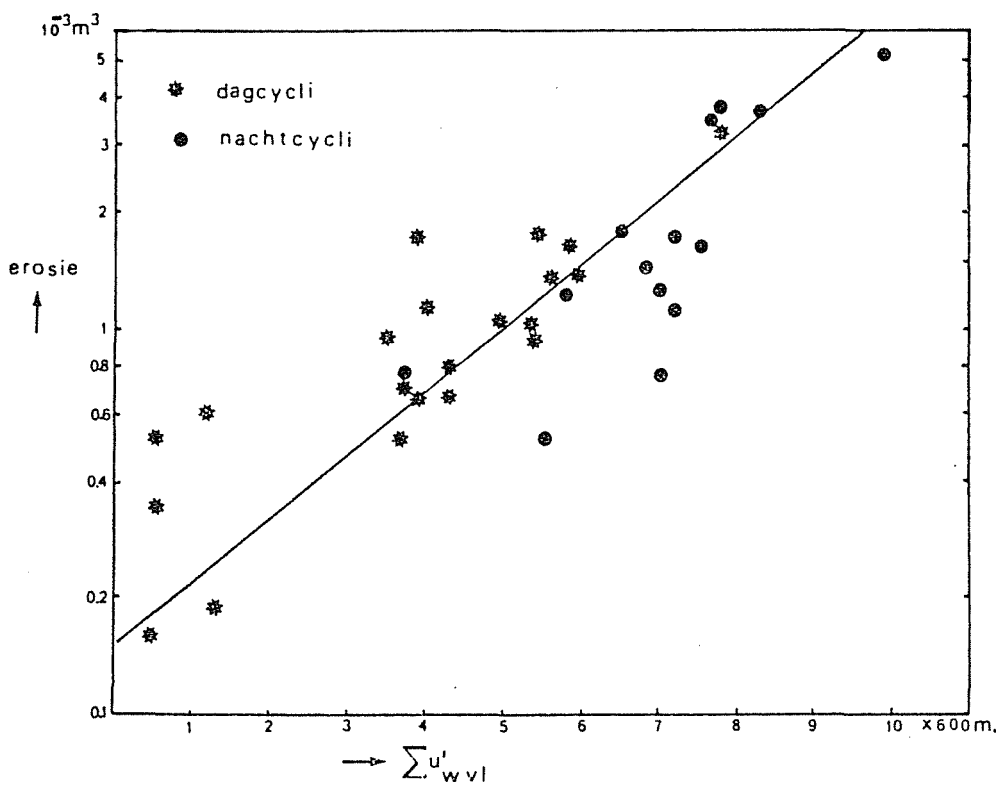


Fig.6.12.b. Weergave van het logaritmische verband tussen de erosie en $\sum u'_{w vl}$ voor de landstelling.

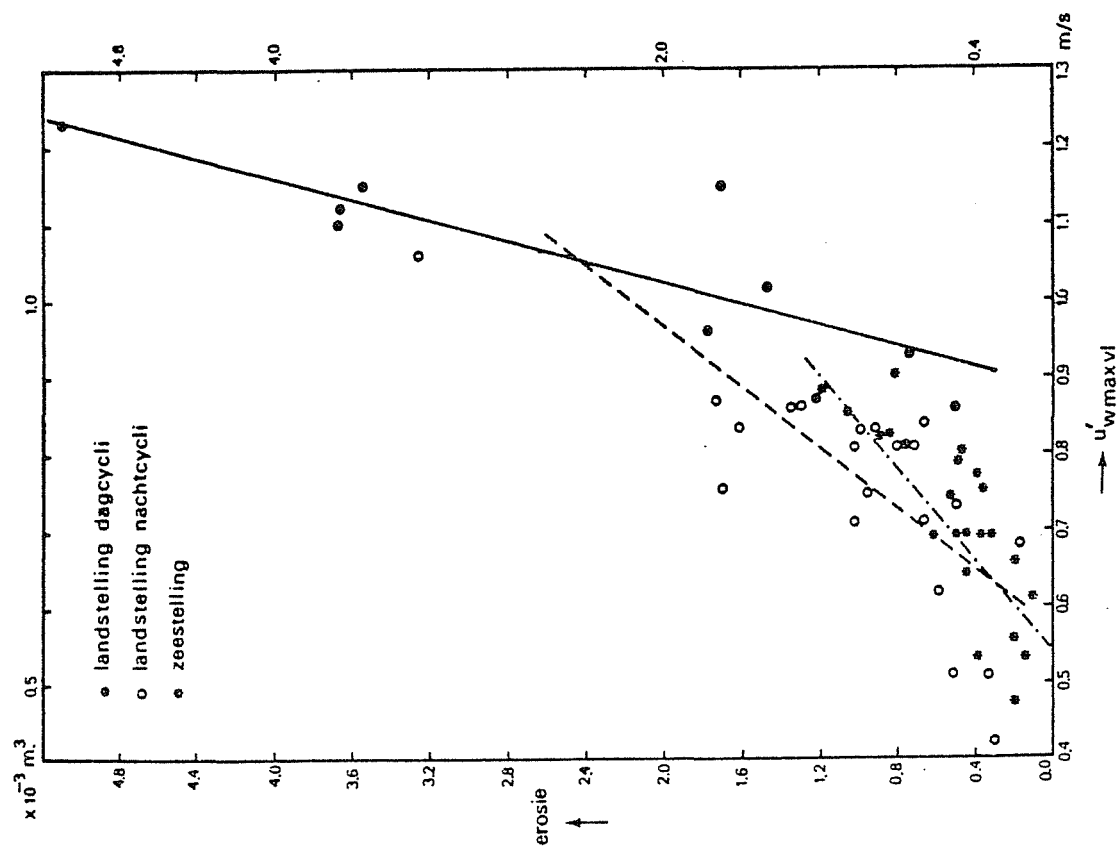


Fig. 6.13.a. Weergave van het verband tussen de erosie en $u'_{wmax\ vl}$ voor de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

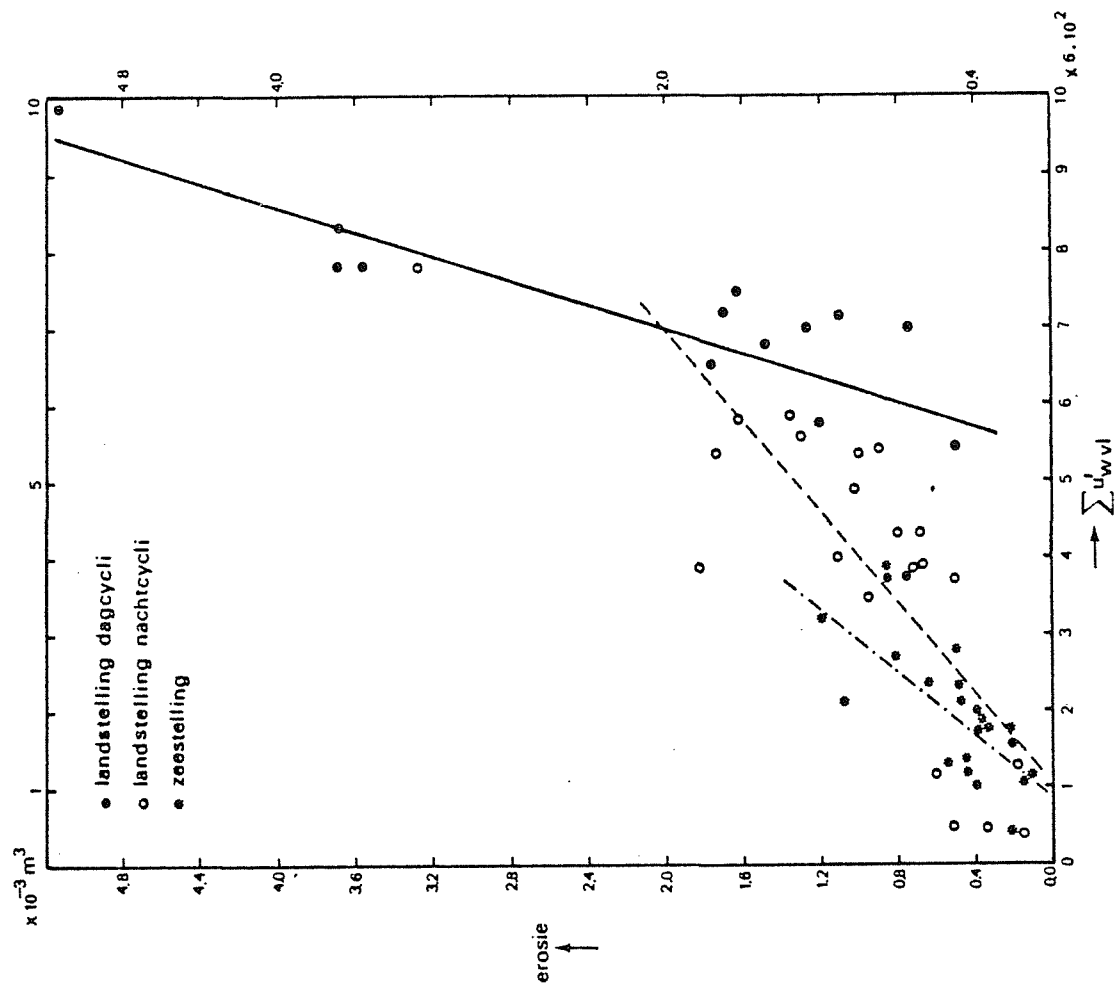


Fig. 6.13.b. Weergave van het verband tussen de erosie en $\Sigma u'_{w\ vl}$ voor de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

Bij een vergelijking voor de landstelling tussen de lineaire vergelijkingen voor de dag- en nachtcycli en de logaritmische vergelijking voor de beide vloed-ebcycli tezamen, blijkt laatstgenoemde vergelijking het best te voldoen.

Desalniettemin komen de snijpuntswaarden van de lineaire regressielijnen weer duidelijk overeen met de reeds eerder genoemde waarden bij de voortplanting en sedimentatie. Figuur 6.12.a toont voor $u'_w \max v_l$ een waarde van $\pm 1,05 \text{ m/s}$ en in figuur 6.12.b geldt dit bij $\sum u'_w v_l \approx 7,1 \cdot 6 \cdot 10^2 \text{ m}$.

6.3 Samenvatting van 6.2

De relaties tussen de ribbelverplaatsing en de waterbeweging zijn veelal vastgelegd in de vorm van lineaire en logaritmische functies.

Bij zowel de land- als de zeestelling blijkt een hoge relatie te bestaan tussen de ribbelvoortplanting en een tweetal parameters ($u'_w \max v_l$ en $\sum u'_w v_l$) van de waterbeweging. De relaties voor de nachtcycli bij de landstelling geven de hoogste correlatie-coëfficiënten.

Uit de relatie tussen het materiaaltransport op een ribbel en de waterbeweging bij de landstelling zijn de volgende verschijnselen geconcludeerd:

- in de oploophase van ST_2 is de erosie op de loefzijde groter dan de sedimentatie aan de lijzijde,
- rond ST_2 geldt dat erosie=sedimentatie (E=S periode),
- in de afloophase van ST_2 is de erosie kleiner dan de sedimentatie,
- in de lage springtijfase ST_3 vindt netto sedimentatie plaats,
- evenwicht tussen erosie en sedimentatie blijkt op te treden als gedurende de nachtcycli $u'_w \max v_l \gg 1 \text{ m/s}$ is en $\sum u'_w v_l \gg 7.6 \cdot 10^2 \text{ m}$,
- uit een vergelijk van het hoge springtij ST_2 met het lage springtij ST_3 blijkt dat het hoge springtij maatgevend is voor de algehele ribbelverplaatsing en het bereiken van een ribbelpatroon dat aangepast is aan de stromingscondities.

Uit de relatie tussen het materiaaltransport op een ribbel en de waterbeweging voor de zeestelling bleek het volgende:

- er is geen evenwicht tussen erosie en sedimentatie aanwezig,
- er is geen onderscheid tussen het hoge en het lage springtij te maken,
- bij hoge sedimentatiewaarden treden lage erosiewaarden op en omgekeerd.

6.4.RELATIE TUSSEN DE RIBBELPARAMETERS EN DE WATERBEWEGING

6.4.1.Verwerking van de gegevens tot relaties

Het groter of kleiner worden van de ribbelparameters hangt nauw samen met het materiaaltransport: zonder materiaaltransport kunnen de ribbelparameters in het geheel niet veranderen. Voor het aangeven van de relaties tussen de ribbelparameters en de waterbeweging zijn evenals in 6.2. een aantal lineaire vergelijkingen opgesteld. Deze relaties worden negatief beïnvloed doordat:

- het een gemiddelde van h , kl en l betreft. De niet tendensgevoelige en de aan de algehele trend tegengesteld verlopende ribbels beïnvloeden het verloop van de gemiddelde ribbelparameter (zie hoofdstuk 3.4.),
- de verblijftijd van een ribbel verstreken is of een nieuwe ribbel verschijnt in de meetraai, waardoor de gemiddelden van de parameters sprongen vertonen. Hierdoor kunnen individuele ribbels wel parameters hebben die een bepaalde tendens vertonen, maar het gemiddelde van 3 of 4 gemeten ribbels niet,
- sommige parameters niet nauwkeurig te bepalen waren doordat ribbelkammen niet altijd loodrecht op de meetraai lagen.

Binnen de groep ribbelparameters is de volgende onderverdeling aangehouden:

- a) de gemiddelde ribbelparameterwaarden* vanaf het moment dat deze in de oploophase naar springtij gaan toenemen tot het moment in de afloophase, waarop deze niet verder afnemen en zich vervolgens stabiliseren. Deze periode wordt in het vervolg de "aktieve periode" genoemd,
 - b) alle gemeten gemiddelde ribbelparameterwaarden,
 - c1) de gemiddelde ribbelparameterwaarden voor de dag- en
 - c2) de nachtcycli van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling,
 - d) de parameterwaarden van de meest tendensgevoelige individuele ribbel.
- Daarbij moet opgemerkt worden, dat deze ribbel niet representatief hoeft te zijn voor het verloop van de andere ribbels, zodat de verkregen relatie eerder illustratief dan functioneel is.

*

Voor de sinusoïde/catenary ribbels van de landstelling geldt (zie hoofdstuk 3.4.) genoemde uitzondering, dat vanaf DT_2+3 niet de gemiddelde ribbelparameterwaarden, maar de waarden van ribbel 2 worden gehanteerd.

6.4.2. Relatie tussen de ribbelhoogte en de waterbeweging.

6.4.2.1. Inleiding

In hoofdstuk 5.2. is bij de sethoogte reeds vermeld, dat erosie van de top van de ribbel, gevolgd door de vorming van een ebkap het hoger worden van de ribbels tegenhoudt. Uiteraard geldt dit ook voor de ribbelhoogte, waardoor de r -waarden van de relaties tussen $\bar{h}$ en de waterbeweging laag zijn. Als de r -waarden hoger dan 0,75 zijn, is de relatie ook grafisch weergegeven.

6.4.2.2. De ribbelhoogte van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling.

Uit tabel 6.4. blijkt dat $\bar{h}$ gaat toenemen en stopt met afnemen wanneer $u'_{w \max vl}$ ongeveer 0,80 m/s is. De keuze van 0,80 m/s is een vrij grove keuze, daar de aangeboden relicthoogte van invloed kan zijn. Hoe hoger de relictvorm, des te eerder zal de hoogte verder toenemen. Bij ongeveer gelijkblijvende waterdiepte (zie tabel 6.4.) zal voor het ribbelveld op de landstelling met kleine ribbelhoogtes gedurende DT_1 meer energie of effectiviteit moeten worden toegevoerd dan voor hetzelfde ribbelveld gedurende DT_2 met 2 keer zo grote ribbelhoogtes om materiaaltransport en dus een toename van h te bewerkstelligen.

Uit de relaties tussen de verschillende variabelen (zie tabel 6.5. en fig. 6.14.) kan het volgende worden geconcludeerd:

—zowel de tendensgevoeligheid van $\bar{h}$ als de kleinere waarde van $\bar{h}$ tijdens het lage doodtij DT_1 en het lage springtij ST_3 ten opzichte van het hoge doodtij DT_2 en het hoge springtij ST_2 worden bepaald door $u'_{w \max vl}$, $\sum u'_{w vl}$ en $H_{\max}$. De in tabel 6.5. weergegeven relatie tussen $\bar{h}_{\text{actief}}$ en $H_{\max}$ heeft een r -waarde van 0,51. Nu zijn er ook relaties opgesteld tussen deze twee parameters voor het hoge en het lage springtij. Het blijkt dat voor het hoge springtij ST_2 een zeer goede relatie aanwezig is, te weten (zie fig. 6.15.):

$$\begin{aligned}\bar{h} &= 0,34 H_{\max} - 0,74 \\ r &= 0,87.\end{aligned}\tag{6.3}$$

Voor het lage springtij is geen relatie aanwezig ($r = 0,07$).

—de relaties tussen $\bar{h}_{\text{dagcycli}}$ en $\bar{h}_{\text{nachtcycli}}$ enerzijds en $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ anderzijds hebben hogere r -waarden dan de relaties waarbij de dag- en nachtcycli elkaar opvolgen ($= \bar{h}$ of $\bar{h}_{\text{actief}}$). Dit wordt veroorzaakt doordat in het laatste geval de dagelijkse ongelijkheid van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ wordt meeberekend terwijl de $\bar{h}$ daar niet op reageert,

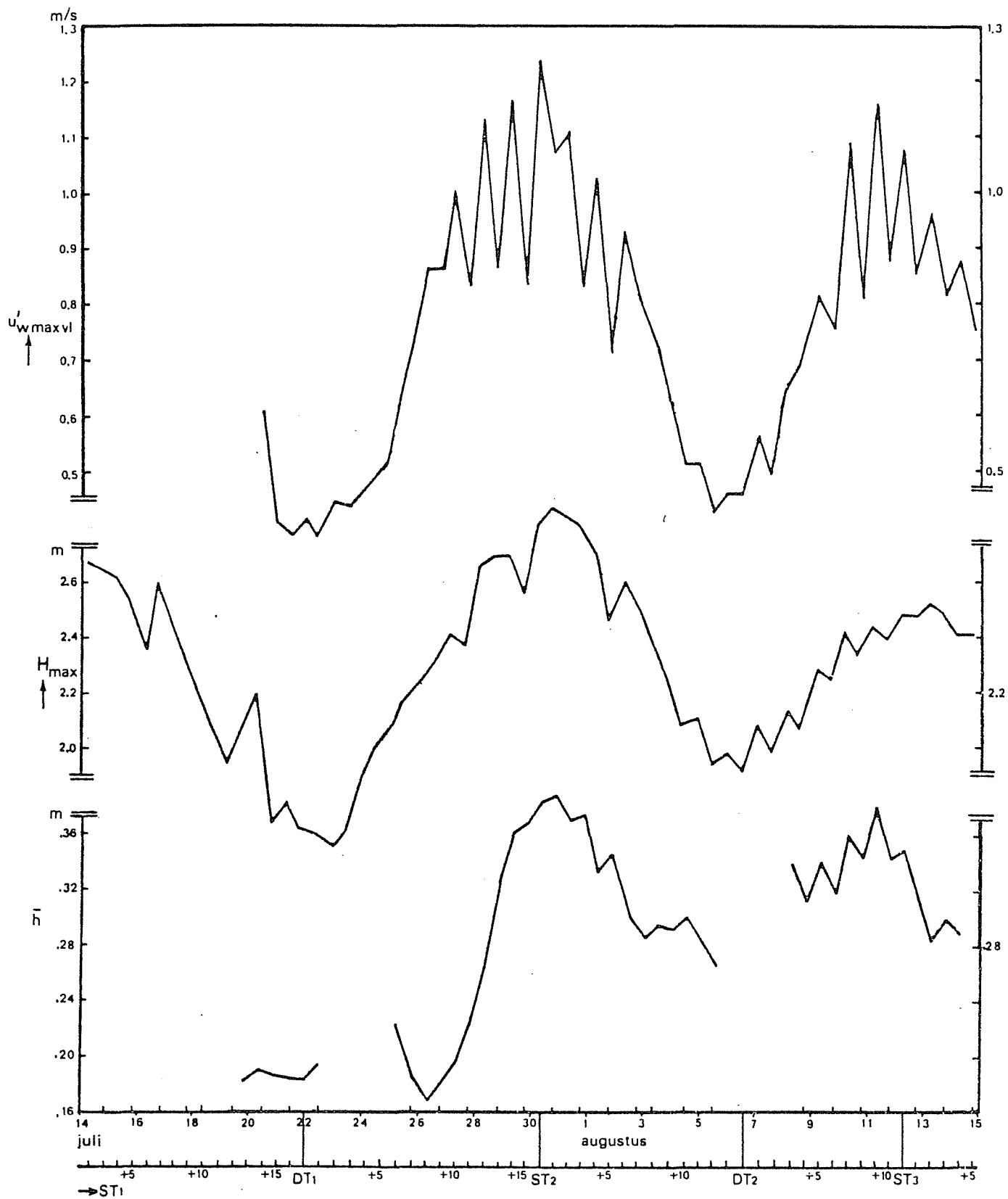


Fig.6.14. Het verloop van $\bar{h}$, H_{max} en $u'_{w max vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

	begin toename ST_2	einde afname ST_2	begin toename ST_3
	DT_1+8	ST_2+7	DT_2+6
$\bar{h}$	0,17 m. 2,74 m.N.A.P.	0,28 m. 2,99 m.N.A.P.	0,32 m. 2,68 m.N.A.P.
H_{max}			
$u'_{w \max vl}$	0,85 m/s.	0,82 m/s.	0,75 m/s.
$u'_{w vl}$	5,4 x 600 m.	3,8 x 600 m.	3,4 x 600 m.

Tabel 6.4. Waarden van enkele hydrodynamische parameters bij de landstelling op de data dat $\bar{h}$ in grootte toe- of afneemt.

→ y-as

	$\bar{h}_{actief}(m)$	$\bar{h} \quad (m)$	$\bar{h}_{dagcycli} \quad (m)$	$\bar{h}_{nachtcycli}$	$\bar{h}_{tendensgevoelig}$
$u'_{w \max vl}$	$y = 1,49x - 1,07$ $r = 0,28$	$y = 0,88x - 0,4$ $r = 0,33$		$y = 0,33x - 0,04$ $r = 0,62$	$y = 0,26x + 0,03$ $r = 0,61$
$u'_{w vl}/600$	$y = 0,19x - 0,79$ $r = 0,18$	$y = 0,1x - 0,23$ $r = 0,23$	$y = 0,09x + 0,26$ $r = 0,33$	$y = 0,03x + 0,12$ $r = 0,55$	$y = 0,03x + 0,11$ $r = 0,61$
H_{max}	$y = 0,62x - 1,24$ $r = 0,51$				

x-as
↑

Tabel 6.5. Relaties tussen de ribbelhoogte en enkele parameters van de waterbeweging bij de landstelling.

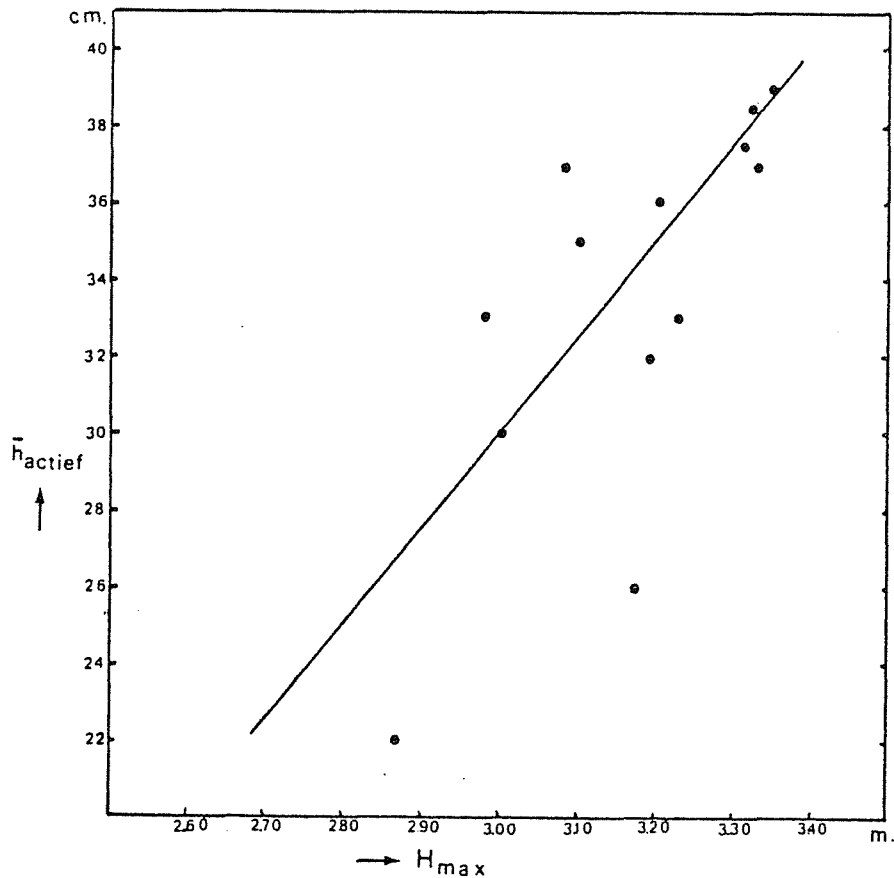


Fig.6.15. Weergave van het verband tussen $\bar{h}_{actief}$ en H_{max} gedurende het hoge springtij ST_2 bij de landstelling.

- de waarden van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ van de nachtcycli bepalen in grote mate het verloop van $\bar{h}$. Immers de relaties opgesteld voor de nachtcycli hebben 2x zo grote r-waarden dan die voor de dagcycli,
- het ontbreken van dagelijkse ongelijkheid in het verloop van $\bar{h}$ hangt vermoedelijk samen met de grote invloed van de nachtcycliwaarden van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$, die dominant is over hetgeen zich tijdens de dagcycli voordoet. Deze situatie komt overeen met het materiaaltransport (zie 6.2.3.).

6.4.2.3. De ribbelhoogte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling.

Bij vergelijking van het verloop van $\bar{h}$ met $u'_{w \max vl}$, $\sum u'_{w vl}$ en $H_{\max}$ (zie fig. 6.16) is duidelijk dat het verloop van $\bar{h}$, evenals op de landstelling, conform is met deze waterbewegingsparameters. Uit tabel 6.6. blijkt dat de waarde van $u'_{w \max vl}$ voor het begin van toename van $\bar{h}$ ongeveer 0,70 m/s bedraagt, bij een $H_{\max}$ van ca. 1,30 m. In figuur 6.17. is het verloop van de hoogte van ribbel 4 uitgezet tegen $\sum u'_{w vl}$, hetgeen aantoont dat deze ribbel tendensgevoelig is voor de waterbeweging.

	begin toename ST_2	einde afname ST_2	begin toename ST_3
	DT_1+8	ST_2+8	DT_2+8
$\bar{h}$	0,13 m.	0,15 m.	0,14 m.
$H_{\max}$	1,24 m.	1,30 m.	1,33 m.
$u'_{w \max vl}$	0,66 m/s.	0,64 m/s	0,75 m/s.
$\sum u'_{w vl}$	1,24 x 600 m.	1,3 x 600 m.	

Tabel 6.6. Waarden van enkele hydrodynamische parameters bij de zeestelling op de data dat $\bar{h}$ in grootte toe- of afneemt.

→ y-as

	$\bar{h}_{\text{actief}}$ (m)	$\bar{h}$ (m)	$h_{\text{tendensgevoelig}}$ (m)
$u'_{w \max vl}$	$y = 0,28x - 0,04$ $r = 0,60$	$y = 0,08x + 0,11$ $r = 0,54$	$y = 0,18x - 0,003$ $r = 0,72$
$\sum u'_{w vl}/600$	$y = 0,03x - 0,09$ $r = 0,64$	$y = 0,01x + 0,15$ $r = 0,57$	$y = 0,027x + 0,07$ $r = 0,79$
$H_{\max}$	$y = 0,05x + 0,04$ $r = 0,63$		

x-as
↑

Tabel 6.7. Relaties tussen de ribbelhoogte en enkele parameters van de waterbeweging bij de zeestelling.

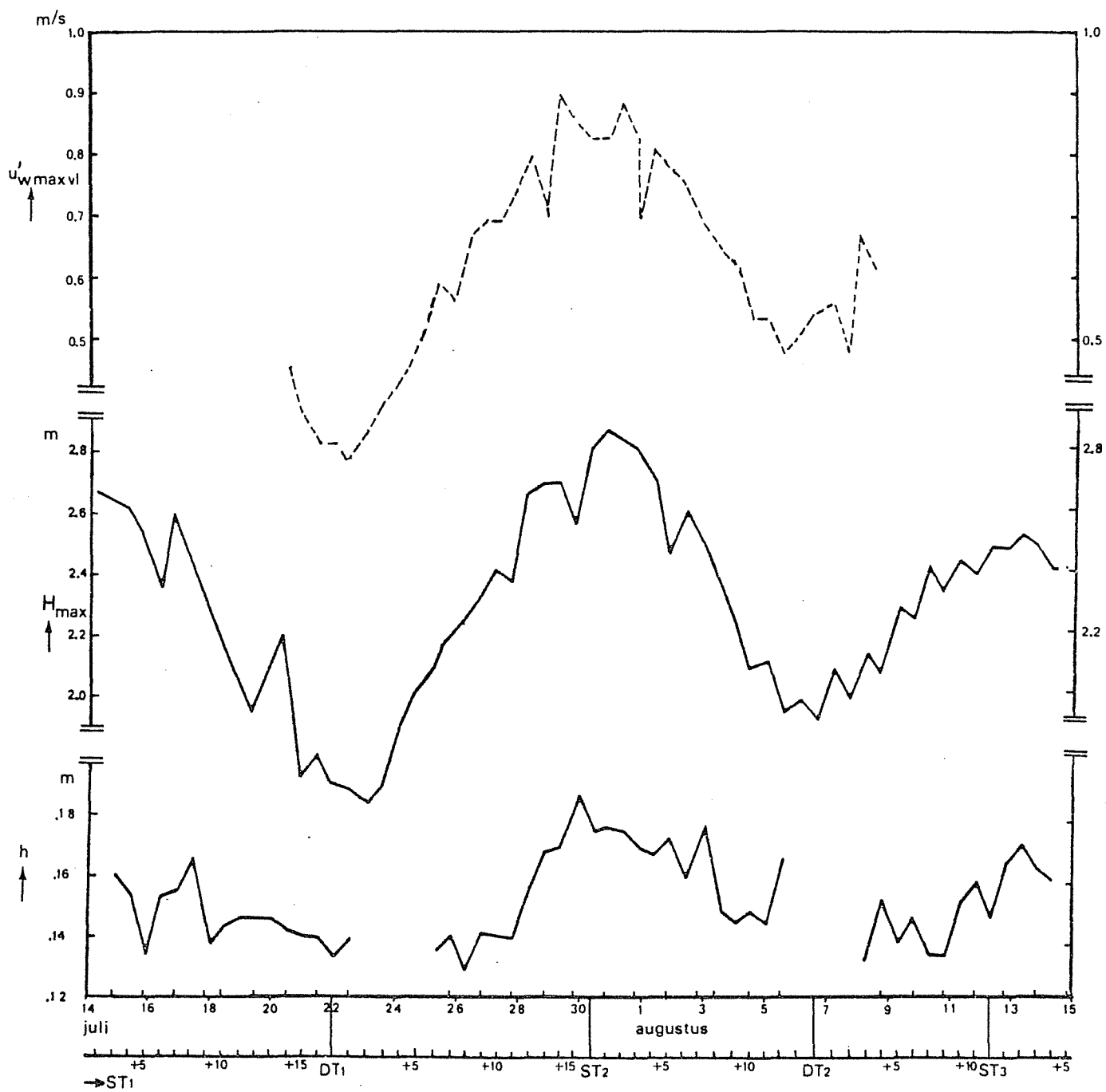


Fig.6.16. Het verloop $\bar{h}$, $H_{\max}$ en $u'_{w \max vl}$ bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

In vergelijking tot de landstelling zijn de r-waarden van de relaties tussen $\bar{h}_{\text{actief}}$ en $\bar{h}$ met $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ bij de zeestelling 2x zo groot (vergelijk tabel 6.5. met tabel 6.7.). Dit is te verklaren door het afwezig zijn van de dagelijkse ongelijkheid in het verloop van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$. Geconcludeerd kan worden dat bij de zeestelling minder grote verschillen in dag- en nachtcycli en lagere stroomsnelheden bij geringere waterdiepten een ribbelveld veroorzaken met ribbelhoogtes, die direct afhankelijk zijn van deze waterbeweging.

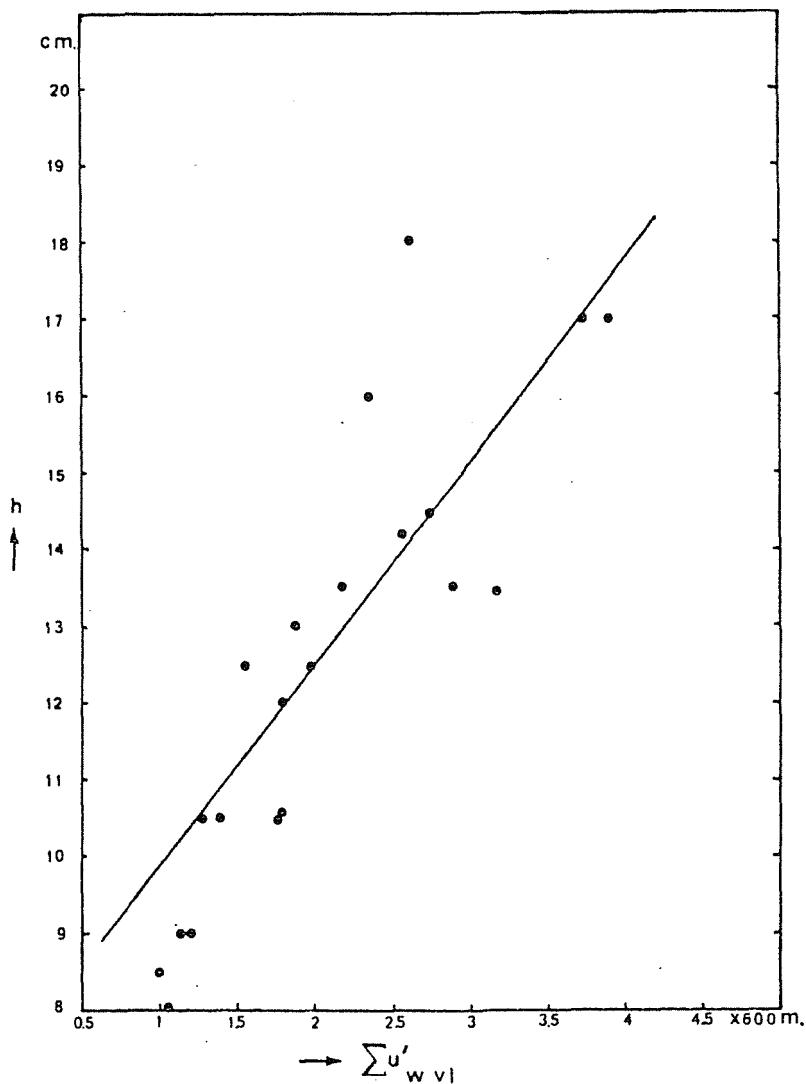


Fig. 6.17. Weergave van het verband tussen de hoogte van ribbel 4 (tendensgevoelig) en $\sum u'_{w vl}$ gedurende de meetperiode bij de zeestelling.

6.4.2.4. Het verloop van $\frac{H_{\max}}{\bar{h}}$ en $\frac{\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}}}{\bar{h}}$.

Gellatly (1969) toonde voor een estuarium de betrekking aan tussen de maximale waterdiepte $H_{\max}$ en de gemiddelde ribbelhoogte $\bar{h}$, volgens de verhouding $H_{\max} / \bar{h} = \text{ca.} 7$.

Naast de verhouding $H_{\max} / \bar{h}$ wordt in dit onderzoek ook de gemiddelde waterdiepte behorende bij de 2 of 3 hoogste vloodsnelheden gebruikt in de verhouding met $\bar{h}$, dus $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}} / \bar{h}$.

Als $H_{\max}$ optreedt is de snelheid al belangrijk afgenomen en vermoedelijk niet meer maatgevend voor de bodenvormen. Daar staat tegenover dat als de snelheid maximaal is, H nog stijgt. Dit betekent dat de maatgevende situatie

voor de ribbels zal optreden vlak na $u_{\max}$. Daarom is de parameter

$\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}}$ gekozen als vermoedelijk beste maatgevende parameter. Het feit, dat niet H bij $u'_{w \max vl}$, maar H behorende bij de 2 of 3 hoogste vloodsnelheden is genomen, wordt vooral veroorzaakt door de waterhoogte bij de zeestelling, die een zeer sterke stijging (tot 0,3 m. per 10 minuten) vertoont tijdens de hoogste snelheden. In een voorbeeld hieronder wordt dit duidelijk gemaakt.

a)	H	$u'_{w \max vl}$	b)	H	$u'_{w \max vl}$
10 min.	0,55 (m)	0,55 (m/s)		1,88 (m)	0,65 (m/s)
	0,70 "	0,75 "		2,03 "	0,80 "
10 min.	0,98 "	0,75 "		2,21 "	0,83 "
	1,13 "	0,65 "		2,33 "	0,81 "
				2,40 "	0,68 "

In geval a is het gemiddelde genomen van 0,70 m. en 0,98 m. hetgeen beter met de werkelijkheid overeenstemt dan wanneer of 0,70 m. of 0,98 m. wordt genomen. In geval b heeft de bepaling van het gemiddelde minder moeilijkheden opgeleverd: 2,03 m, 2,21 m. en 2,33 m. geven een gemiddelde van 2,19 m. De waarden van $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}}$ zijn alleen bekend voor de dagcycli.

Het verloop van $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}} / \bar{h}$ toont (zie fig. 6.18):

-voor beide stellingen een daling van $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}} / \bar{h}$ tussen DT_1+11 en DT_1+13 , het gevolg van de sterke stijging van $\bar{h}$ (zie fig. 6.14. en 6.16.)

ten opzichte van $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max vl}}$,

-van DT_1+13 tot ST_2+10 een constante verhouding tussen beide stellingen,

-rond ST_3 geen duidelijk verloop voor beide stellingen.

Het verloop van $H_{\max} / \bar{h}$ toont voor de landstelling van DT_1+9 tot DT_1+15 een daling als gevolg van de sterke stijging van $\bar{h}$. Voor de zeestelling toont $H_{\max} / \bar{h}$ een directe relatie met de waterbeweging gaande van dood- naar springtij (zie fig.6.19).

Zowel de waarden van $H_{\max} / \bar{h}$ als die van $\bar{H}_{u'w 2,3\max vl} / \bar{h}$ tonen voor beide ribbelvelden een grote variatie in de tijd, zoals in onderstaande tabel wordt aangegeven.

	$\bar{H}_{u'w 2,3\max vl} / \bar{h}$	$H_{\max} / \bar{h}$
landstelling	6,5 - 13,5	8 - 16
zeestelling	4 - 8,5	9 - 14

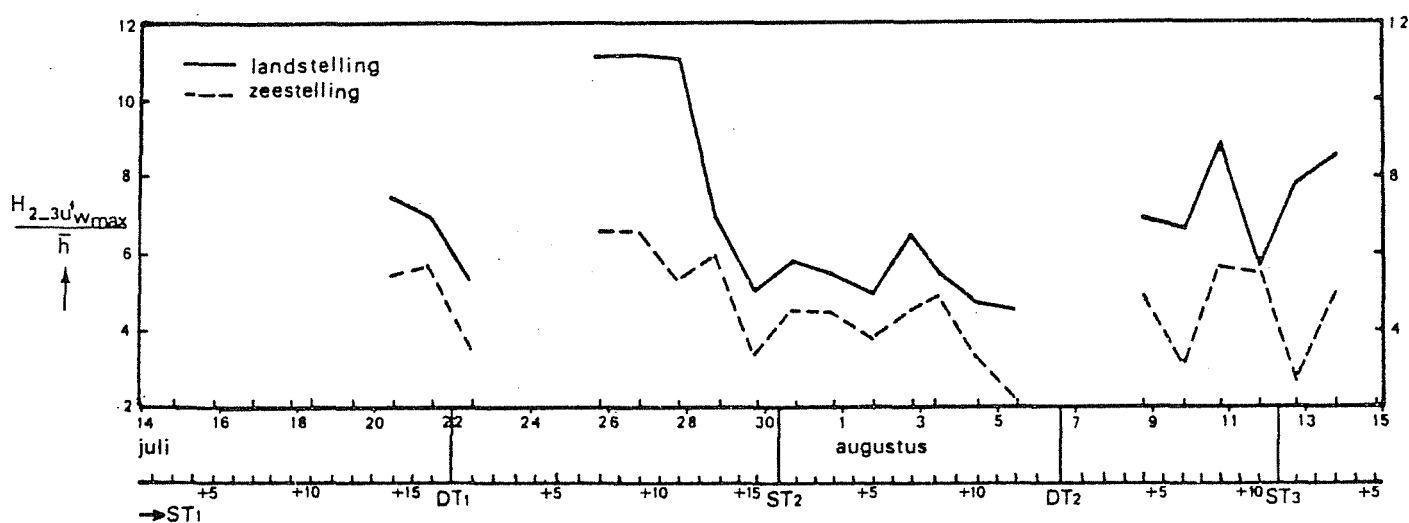


Fig.6.18. Het verloop van $H_{u'w 2,3\max vl} / \bar{h}$ bij de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

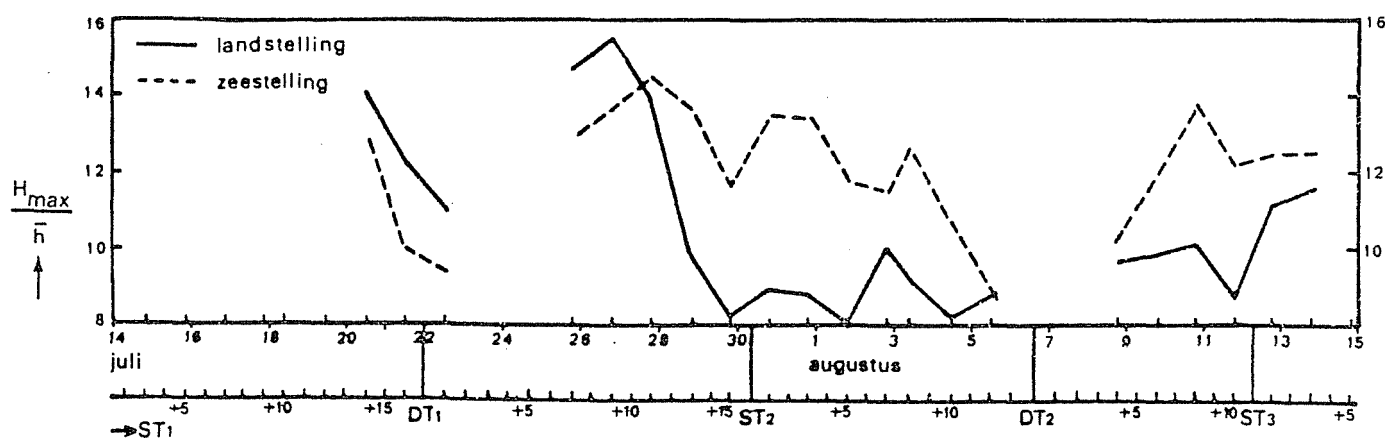


Fig.6.19. Het verloop van $H_{\max} / \bar{h}$ bij de land- en zeestelling gedurende de meetperiode.

Samenvattend kan worden gesteld dat:

- $\bar{h}$ een grotere fluctuatie te zien geeft gaande van dood- naar springtij dan $H_{\max}$, resp. $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max} vl}$, welke een meer constant verloop hebben,
- de procentuele toe- en afname van $\bar{h}$ bij de zeestelling meer overeenkomt met die van $H_{\max}$ en $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max} vl}$ dan de procentuele toe- en afname van $\bar{h}$ bij de landstelling,
- van DT_1+13 t/m ST_2+10 (rond hoge springtij) de procentuele veranderingen van $\bar{h}$ en $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max} vl}$ van rechte en sinusoïde/catenary ribbels identiek zijn,
- de verhouding tussen $\bar{H}_{u'w \overline{2,3\max} vl}$ en $\bar{h}$ voor de zeestelling lagere waarden heeft dan voor de landstelling.

6.4.3. Relatie tussen de kamlengte van een ribbel en de waterbeweging.

6.4.3.1. De kamlengte van het sinusoïde/catenary ribbelveld bij de landstelling.

In tabel 6.8. wordt de actieve periode weergegeven waarvoor in tabel 6.9. relaties zijn opgesteld.

Bij vergelijking van het verloop van $\bar{kl}$, het materiaaltransport en $u'_{w \max vl}$ (zie fig. 6.20.) kan worden gesteld, dat:

- de dagelijkse ongelijkheid van $\bar{kl}$ gedurende ST_2 en ST_3 voor een belangrijk deel overeenkomt met die van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$. Dit gaat op voor die gevallen, waarin de sedimentatie- en/of erosiewaarden van de nachtcycli groter zijn dan $1,2 \times 10^{-3} m^3$. Uitzonderingen op deze dagelijkse ongelijkheid vormen DT_1+12 en ST_2+2 , hetgeen voornamelijk bepaald wordt door resp. het verloop en de verblijftijd van de individuele ribbels (zie hoofdstuk 3.4.2.3.),
- de tendensgevoeligheid van $\bar{kl}$ gedurende ST_2 slechts globaal overeenkomt met die van $u'_{w \max vl}$.

Figuur 6.21. toont de grafische weergave van de relatie tussen de nachtcycliwaarden van $\bar{kl}$ bij de landstelling en $u'_{w \max vl}$.

Ten opzichte van $\bar{h}$ valt op dat gedurende ST_2 $\bar{kl}$ op DT_1+10 al ongeveer zijn maximale grootte heeft bereikt, terwijl $\bar{h}$ pas op ST_2+1 zijn grootste waarde kent. Ook gedurende ST_3 neemt $\bar{kl}$ veel sneller toe dan $\bar{h}$. Hieruit mag geconcludeerd worden dat gedurende springtij voor een sinusoïde/catenary ribbelveld eerst de kamlengte moet toenemen voordat de ribbelhoogte kan toenemen. Bij een toename van het materiaaltransport blijkt dus eerst de kamlengte groter te worden en daarna pas de ribbelhoogte.

De lage r-waarden van de relaties tussen $\bar{kl}$ en de sedimentatie en tussen

	begin toename ST_2		einde afname ST_2		begin toename ST_3	
	DT_1+8		ST_2+8		DT_2+4	
kl	2,14 m.		3,14 m.		2,65 m.	
u'_{wmaxvl}	0,85 m/s		0,71 m/s		0,69 m/s.	
$\sum u'_{wvl}$	5,4 x 600 m.		3,9 x 600 m.		1,29 x 600 m.	

Tabel 6.8. Waarden van enkele hydrodynamische parameters bij de landstelling op de data dat kl in grootte toe- of afneemt.

→ y-as

	kl_{actief} (m)	kl (m)	$kl_{dagcycli}$ (m)	$kl_{nachtcycli}$ (m)	$kl_{tendensgevoelig}$
u'_{wmaxvl}	$y = 5,26x - 1,47$ $r = 0,57$	$y = 3,68x + 0,13$ $r = 0,59$	$y = 1,2x + 2,3$ $r = 0,43$	$y = 3,16x + 0,33$ $r = 0,72$	$y = 0,93x + 2,32$ $r = 0,38$
$\sum u'_{wvl}/600$	$y = 0,44x + 0,8$ $r = 0,54$	$y = 0,31x + 1,7$ $r = 0,56$	$y = 0,08x + 2,9$ $r = 0,44$	$y = 0,24x + 1,87$ $r = 0,63$	$y = 0,08x + 2,71$ $r = 0,39$

x-as
↑

Tabel 6.9. Relaties tussen de kamlengte en enkele parameters van de waterbeweging bij de landstelling.

sedimentatie ($10^{-6} m^3$)	$y = 0,0008x + 2,08$ $r = 0,45$	$y = 0,007x + 2,31$ $r = 0,50$
erosie ($10^{-6} m^3$)	$y = 0,0008x + 2,06$ $r = 0,46$	$y = 0,0007x + 2,27$ $r = 0,49$

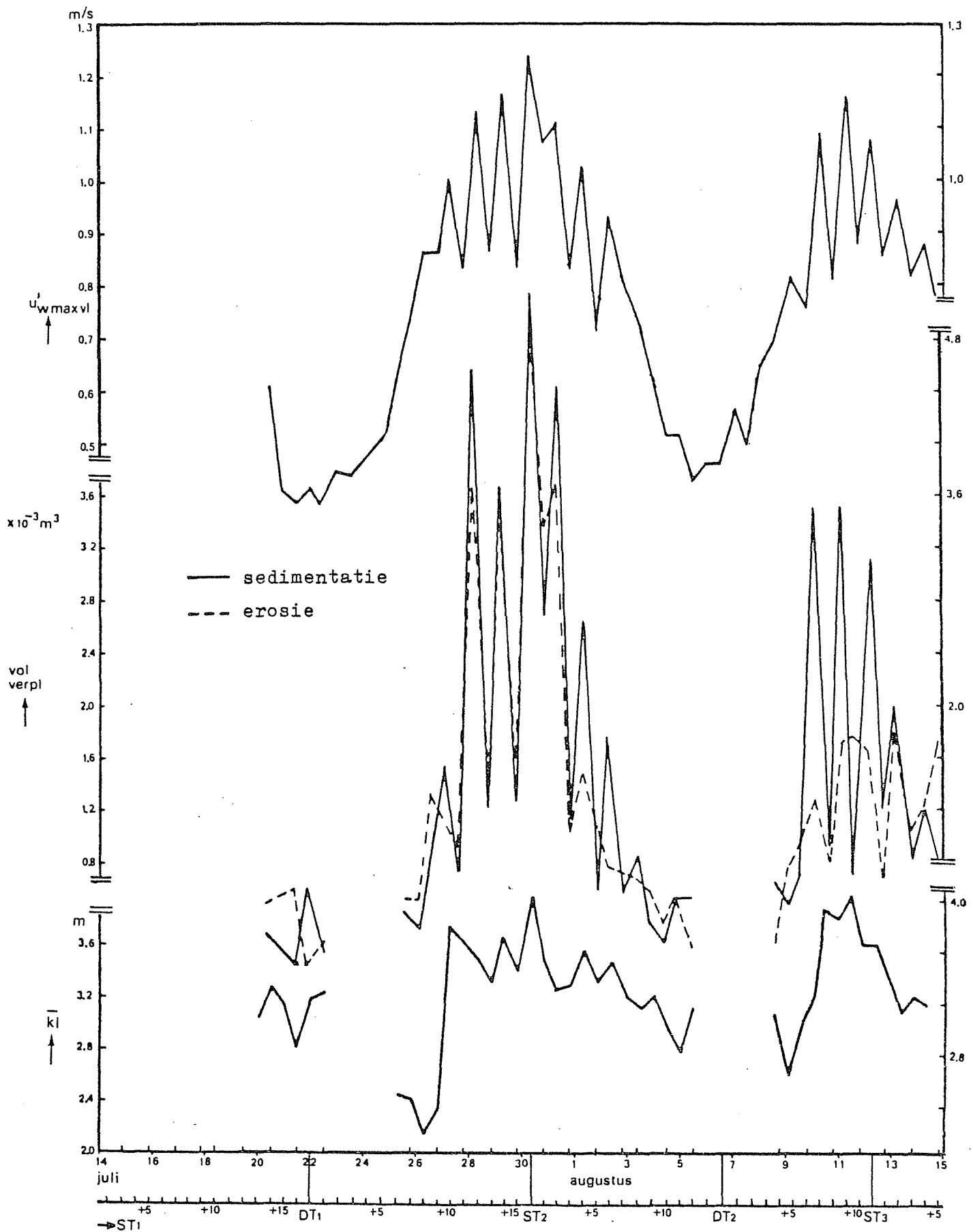


Fig.6.20. Het verloop van $\bar{kl}$, het materiaaltransport en $u'_{w \max vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

$\overline{kl}$ en de erosie (zie tabel 6.9.) zijn te wijten aan het feit dat $\overline{kl}$ van zowel sedimentatie als erosie afhankelijk is en niet van één van beide. De eveneens lage r-waarden van de relaties tussen $\overline{kl}$ en $u'_{w \max vl}$ en tussen $\overline{kl}$ en $\sum u'_{w vl}$ in vergelijking tot die van de relaties tussen de voortplanting en $u'_{w \max vl}$ en tussen de voortplanting en $\sum u'_{w vl}$ (zie tabel 6.1. en 6.2.) heeft de volgende oorzaak: De voortplanting geeft de gemiddelde afstand aan tussen de oude en de nieuwe lijzijde. Daarentegen is de kamlengte een waarde die altijd op $h/2$ wordt bepaald. Ook als bovengenoemde relaties logaritmisch worden weergegeven, blijkt een duidelijk verschil te bestaan in de r-waarde, nl:

$$u'_{w \max vl} = 4,0 \log(\overline{kl}) + 14,8 \quad (6.4)$$

$$r = 0,48$$

$$\text{en } u'_{w \max vl} = 0,34 \log(\text{voortplanting}) + 1,03 \quad (6.5)$$

$$r = 0,89 \text{ (zie fig. 6.5.a.)}$$

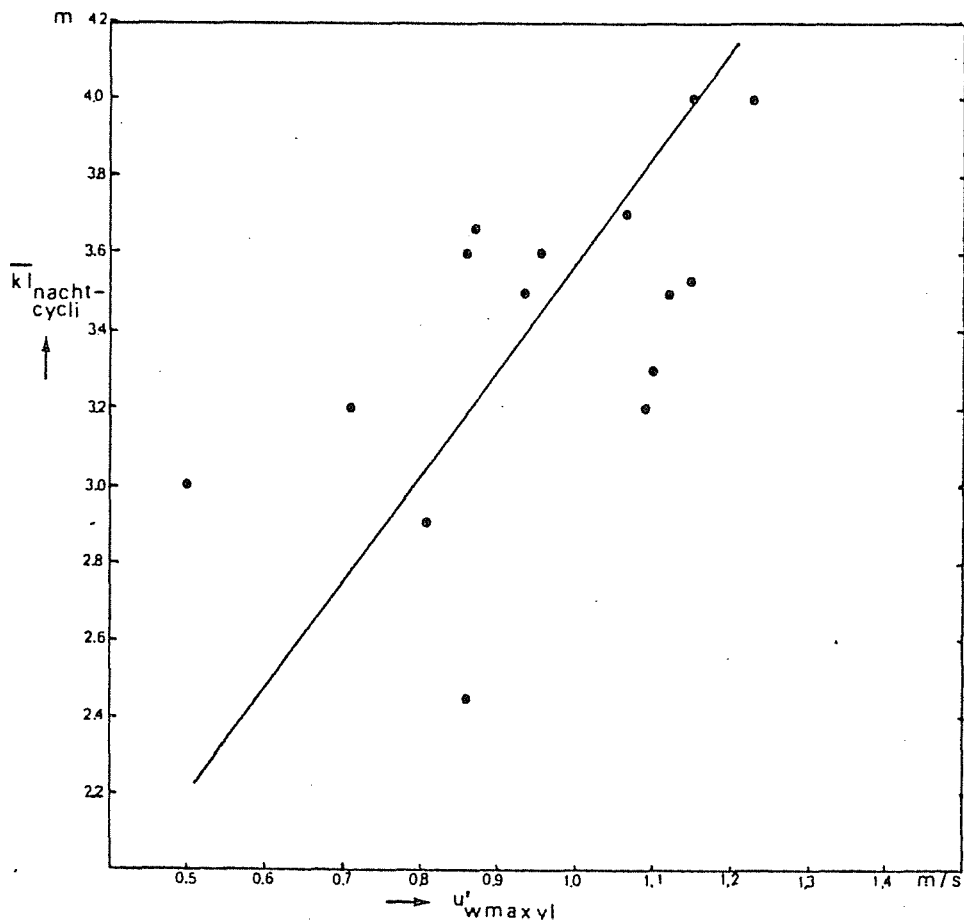


Fig. 6.21. Weergave van het verband tussen $\overline{kl}$ van de nacht-cycli en $u'_{w \max vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

6.4.3.2. De kamlengte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling.

Opvallend is dat $\bar{k}l$ in de vloed-ebcycli later begint toe- en af te nemen dan $\bar{h}$ (zie tabel 6.6. en 6.10. en fig. 6.22.). Hieruit is het tegenovergestelde als bij de landstelling te concluderen. Duidelijk is dat om deze reden de r -waarden van de relaties tussen $\bar{k}l$ en $u'_{w \max vl}$ en tussen $\bar{k}l$ en $u'_{w vl}$ lager zijn dan die van de relaties tussen $\bar{h}$ en $u'_{w \max vl}$ en tussen $\bar{h}$ en $u'_{w vl}$ (zie tabel 6.7. en 6.11.).

	begin toename ST_2	einde afname ST_2	begin toename ST_3
	$DT_1 + 12$	$ST_2 + 9$	$DT_2 + 9$
$\bar{k}l$	2,86 m.	3,24 m.	
$u'_{w \max vl}$	0,79 m/s	0,61 m/s	
$\sum u'_{w vl}$	2,83 x 600 m.	1,22 x 600 m.	

Tabel 6.10. Waarden van enkele hydrodynamische parameters bij de zeestelling op de data dat $\bar{k}l$ in grootte toe- of afneemt.

→ y-as

x-as ↑	$\bar{k}l_{\text{actief}}$ (m)	$\bar{k}l$ (m)	$\bar{k}l_{\text{tendensgevoelige}}$ ribbel 3.
$u'_{w \max vl}$	$y = 11,89x - 5,26$ $r = 0,31$	$y = 1,46 + 2,4$ $r = 0,42$	$y = 2,88 + 1,93$ $r = 0,65$
$\sum u'_{w vl} / 600$	$y = 1,68x - 0,06$ $r = 0,26$	$y = 0,2x + 3,1$ $r = 0,37$	$y = 0,36x + 3,25$ $r = 0,60$

Tabel 6.11. Relaties tussen de kamlengte en enkele parameters van de waterbeweging bij de zeestelling.

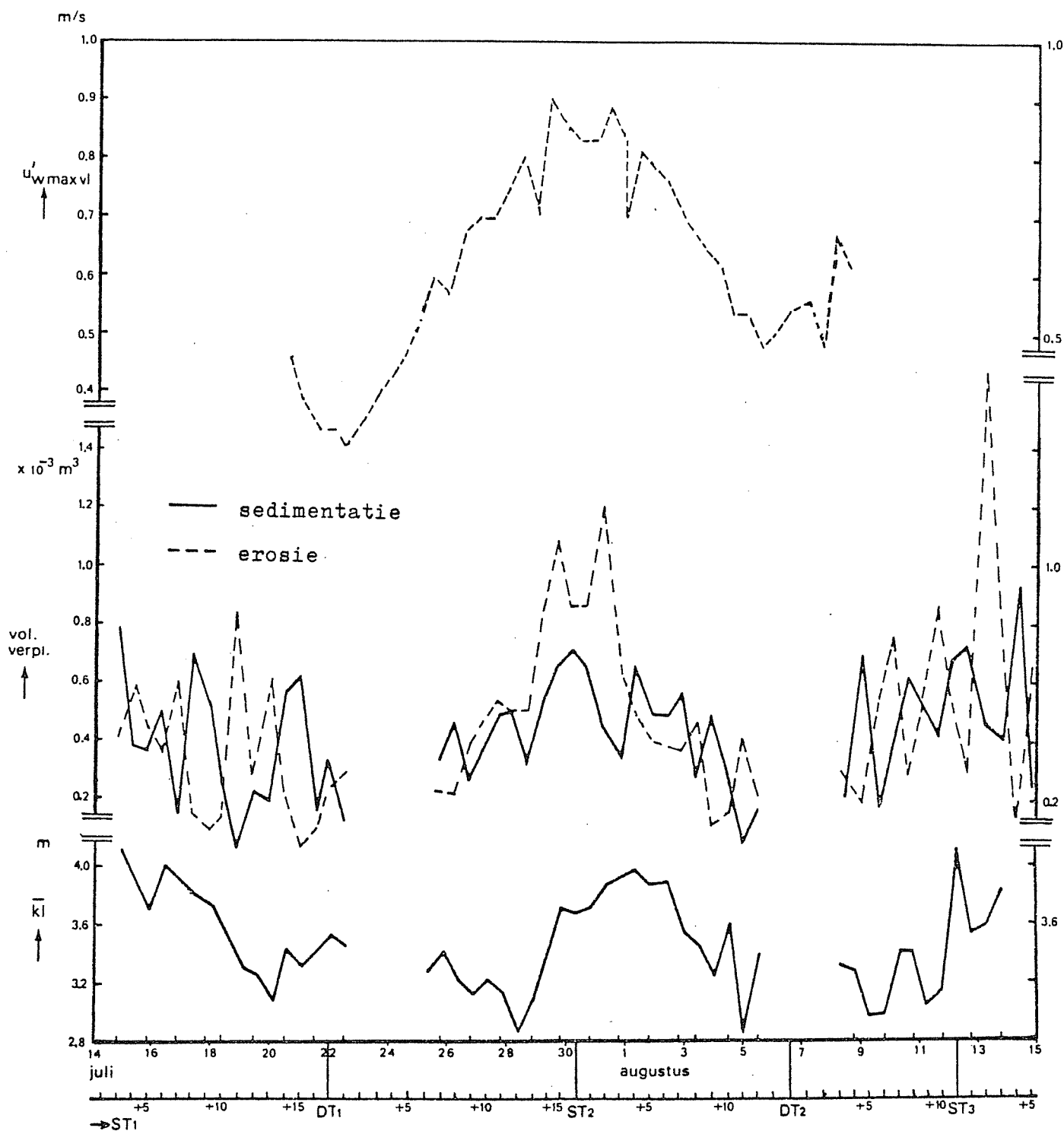


Fig.6.22. Het verloop van $\overline{kl}$, het materiaaltransport en $u'w_{max\ vl}$ bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

6.4.4. De relaties tussen zowel de ribbellengte van het rechte ribbelveld bij de zeestelling als die van het sinusolde/catenary ribbelveld bij de landstelling met de waterbeweging.

De ribbellengte bij de landstelling is weinig tendensgevoelig, hetgeen tot uiting komt in de r -waarden van de relaties tussen $\bar{l}$ en de $u'_{w \max vl}$ en $u'_{w vl}$. Waarom de ribbellengte niet tendensgevoelig is, is niet duidelijk (zie fig.6.23. en tabel 6.12.).

Evenals bij de kamlengte is de datum dat $\bar{l}$ begint toe te nemen DT_1+8 met een waarde van $u'_{w \max vl}$ van 0,85 m/s.

Voor de rechte ribbels van de zeestelling is geen tijdstip aan te geven waarop de ribbellengte begint toe te nemen, temeer daar slechts van ST_2 de snelheidswaarden bekend zijn (zie fig.6.24. en tabel 6.12.).

	landstelling				zeestelling	
	$\bar{l}_{actief}$	$\bar{l}$	$\bar{l}_{dag}$	$\bar{l}_{nacht}$	$\bar{l}_{actief}$	$\bar{l}$
$u'_{w \max vl}$	$r = 0,12$	$r = 0,1$	$r = 0,2$	$r = 0,1$	$r = -0,04$	$r = 0,02$
$\sum u'_{w vl}$	$r = 0,008$	$r = 0,096$	$r = 0,21$	$r = 0,09$	$r = 0,009$	$r = 0,03$

Tabel 6.12. Waarden van enkele hydrodynamische parameters bij de land- en zeestelling op de data dat $\bar{l}$ in grootte toe- of afneemt.

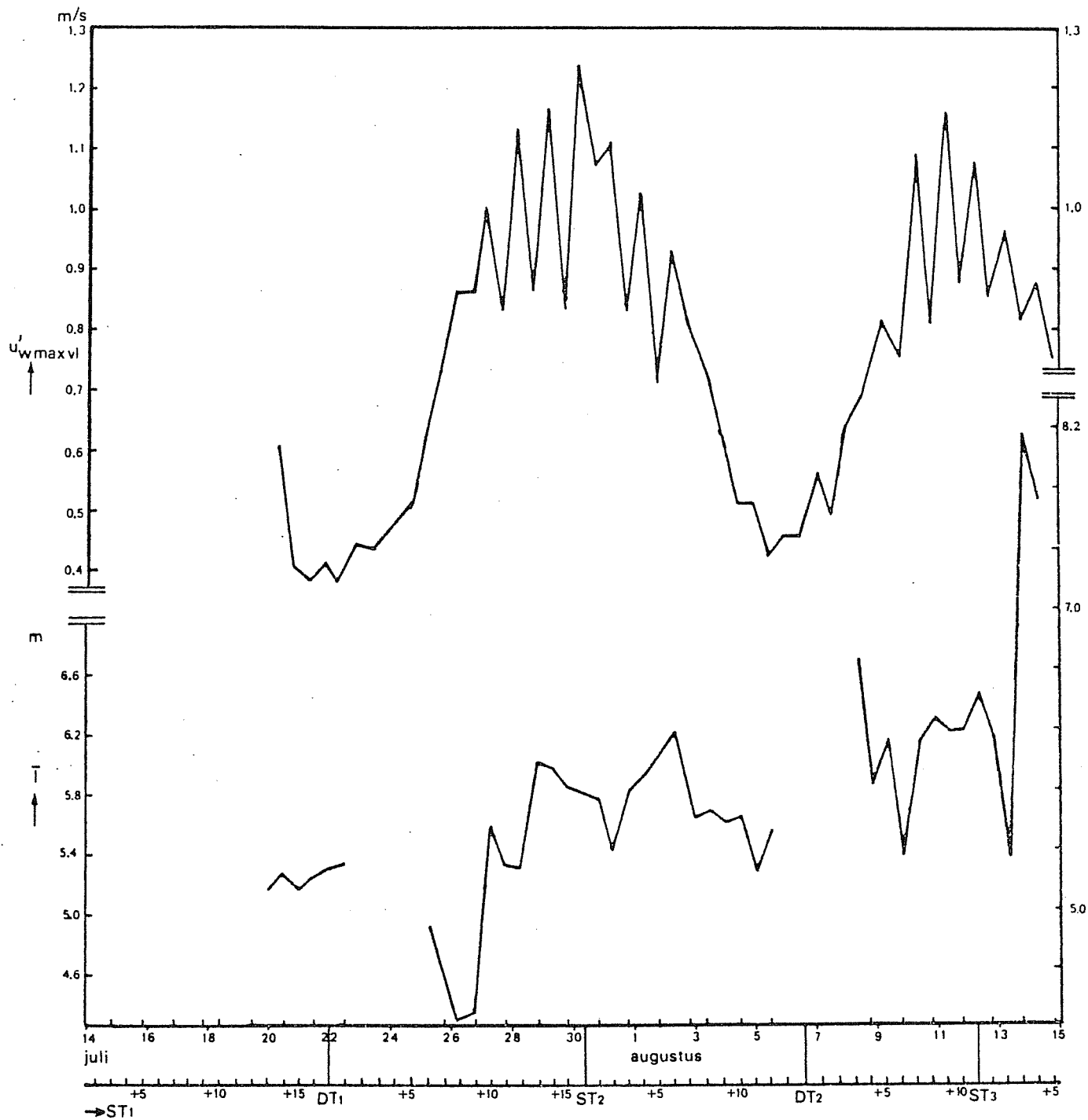


Fig.6.23. Het verloop van $\bar{l}$ en $u'_{w \max vl}$ bij de landstelling gedurende de meetperiode.

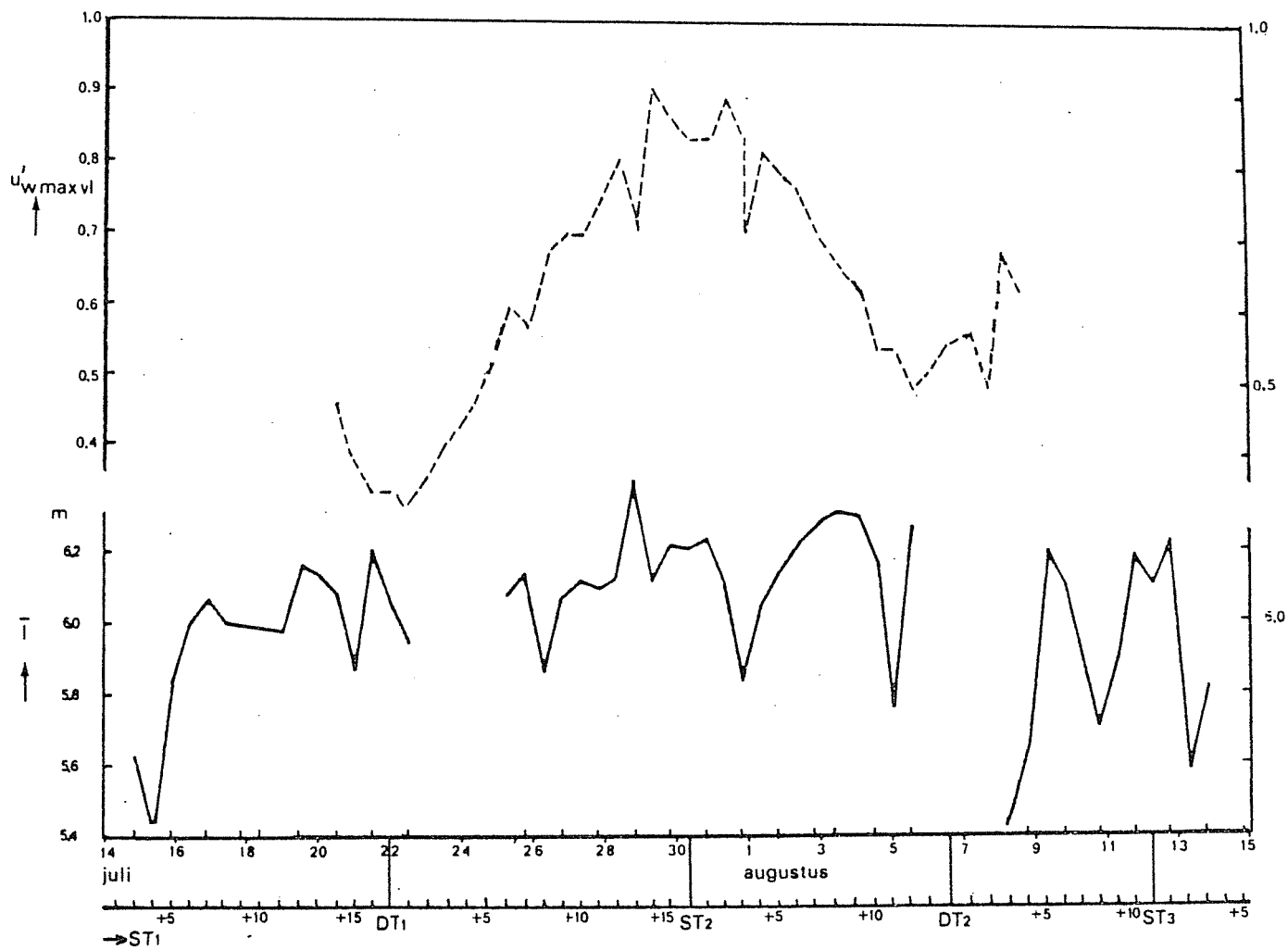


Fig.6.24. Het verloop van $\bar{l}$ en $u'_w \max vl$ bij de zeestelling gedurende de meetperiode.

6.5. KOMMEN

6.5.1. Het voorkomen van kommen bij de landstelling.

Onder bepaalde condities bleken op de loefzijde van de megaribbels depressies aanwezig te zijn (zie hoofdstuk 3.5.5.). Om het voorkomen van kommen te begrijpen, wordt de meetperiode in een aantal fasen onderverdeeld (zie fig. 6.25.).

De periode van $DT_1 + 11$ t/m $ST_2 + 5$ wordt fase 1 genoemd, welke gekenmerkt wordt door het vrijwel afwezig zijn van kommen. Opvallend is dat deze periode overeenkomt met de E=S-periode, zoals deze in 6.2.3. is beschreven. In deze E=S-periode bestaat er gedurende de nachtcycli een evenwicht tussen de bodemvormen en de waterbeweging, hetgeen betekent dat de bodemvormen waren aangepast aan de hydrodynamische condities. De waterbeweging gedurende de dagcycli was zodanig minder intensief dat de bodemvormen slechts in geringe mate werden vervormd en in hoofdzaak gelijk bleven.

Fase 1 wordt gekenmerkt door de volgende hydrodynamische karakteristieken: $u'_w \max v_l \geq 1$ m/s. en $\sum u'_w v_l \geq 4200$ m. Deze condities worden bereikt rond springtij.

De kommen blijken op te treden in een periode voorafgaande aan en in een periode volgend op fase 1. In deze periode, fase 2, zijn de hydrodynamische karakteristieken: $0,75 \leq u'_w \max v_l \leq 0,95$ m/s. en $2100 \leq \sum u'_w v_l \leq 4200$ m. De kommen zijn afwezig in fase 3 wanneer $u'_w \max v_l \leq 0,75$ m/s is en $\sum u'_w v_l \leq 2100$ m.

Het blijkt dus dat de kommen optreden tijdens de aanloophase naar springtij als de waterbeweging en het materiaaltransport intensiever worden, maar beide nog te gering zijn om een intensieve verplaatsing en hermodellering van de ribbels te bewerkstelligen. In de afloophase van springtij geldt het omgekeerde.

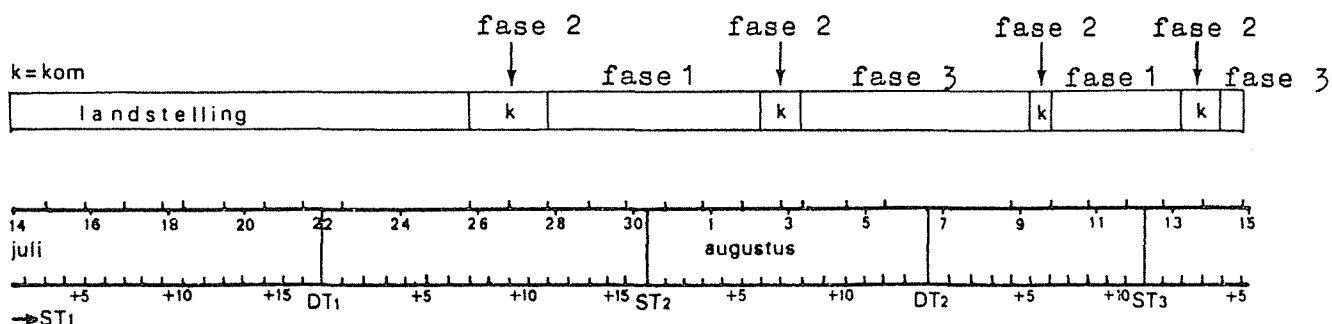


Fig. 6.25. Splitsing van de dood-springtijcycli in een drietal fasen, waarmee de aan-of afwezigheid van kommen wordt weergegeven bij de landstelling.

6.5.2. Het voorkomen van kommen bij de zeestelling.

Evenals bij de landstelling is ook bij de zeestelling de meetperiode in fasen opgedeeld (zie fig.6.26.).

De kommen zijn aanwezig gedurende fase 2 als de hydrodynamische omstandigheden zijn: $0,75 \leq u'_{w \max v1} \leq 0,90$ m/s en $1200 \leq \sum u'_{w v1} \leq 1500$ m. Het verdwijnen van kommen gedurende fase 3 van $DT_1 + 15$ tot $ST_2 + 1$ houdt in dat de ribbels aangepast zijn aan de hydrodynamische karakteristieken van $u'_{w \max v1} \geq 0,90$ m/s en $\sum u'_{w v1} \geq 1500$ m.

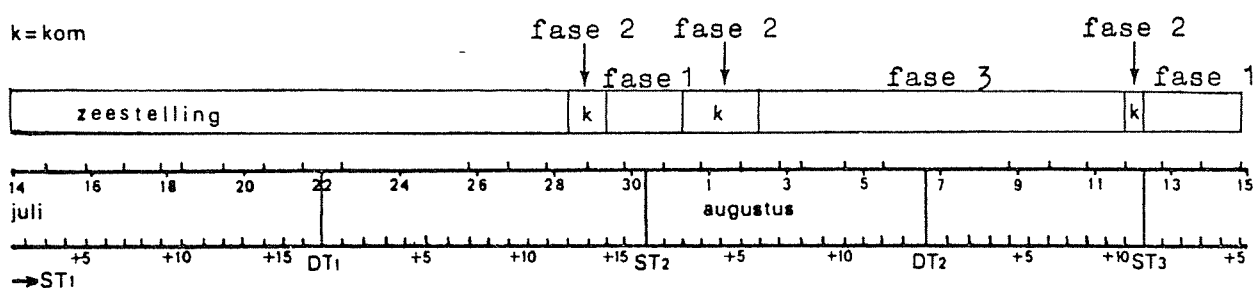


Fig.6.26. Splitsing van de dood-springtjicycli in een drietal fasen, waa mee de aan- of afwezigheid van kommen wordt weergegeven bij de zeestelling.

6.5.3. Hypothese over het ontstaan van kommen^{≠)}

Uit het voorgaande is gebleken dat het ontstaan van krommen in verband gebracht kan worden met de toe- en afname van $u'_w \max v_l$ en $\sum u'_w v_l$ gedurende een dood-springtijcyclus.

Figuur 6.27.a. geeft het stroomlijnenbeeld boven de ribbel rond doodtij, fase 3, weer: In stroomafwaartse richting vormt zich direct achter het ribbelfront een neer. De vorm van de ribbel tijdens fase 3 is afkomstig uit het vorige springtij en is niet aangepast aan de heersende hydrodynamische omstandigheden. Dit komt omdat in de afloophase van springtij het materiaaltransport te gering is om aanpassing te bewerkstelligen. De waterbeweging over de ribbel is niet gestroomlijnd.

■) Argumenten, die deze hypothese steunen, kunnen helaas niet worden genoemd. Deze hypothese dient dan ook als een mogelijke onstaanswijze gezien te worden.

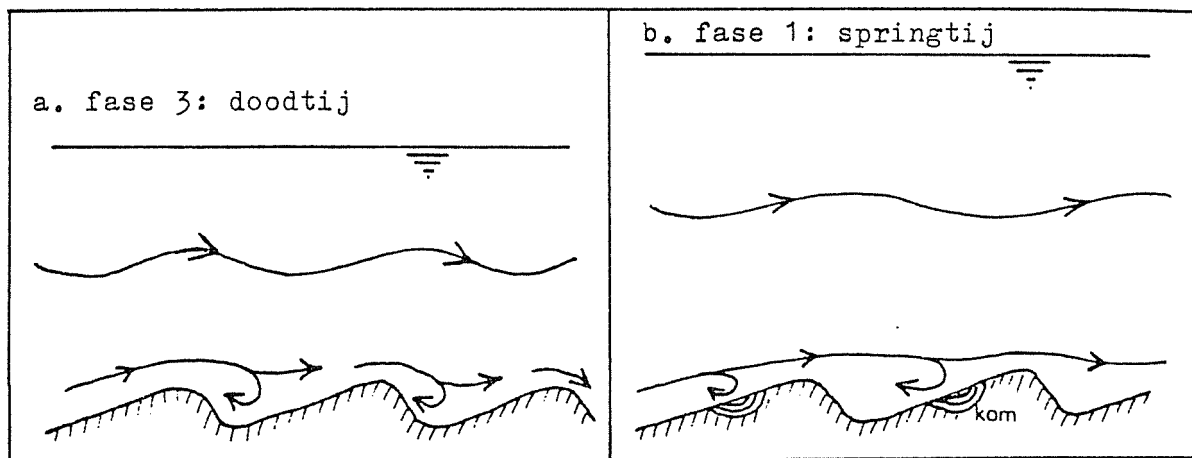


Fig.6.27.a. Stroomlijnenbeeld rond doodtij: direct achter het ribbelfront vormt zich een neer.

Fig.6.27.b. Stroomlijnenbeeld rond springtij: de neer achter het ribbelfront breidt zich uit en vormt op de loefzijde van de volgende ribbel een kom.

Figuur 6.27.b. geeft het stroomlijnenbeeld weer tijdens een vloed-ebcyclus in fase 2. De vloodsnelheid bevindt zich dan tussen 0,75 en 0,95 m/s. De neer achter het ribbelfront breidt zich in horizontale zin uit, waardoor de stroomlijnen de loefzijde van de volgende ribbel raken. Op deze plaats ontstaan door erosie de komvormige depressies.

Tijdens fase 1 worden in het begin van een vloed-ebcyclus als het ware de fasen 3 en 2 doorlopen. De waarden van $u'_w \max v_l$ ($\geq 0,95$ m/s) zijn zo hoog, dat een groot materiaaltransport plaatsvindt en aanpassing van de ribbel aan de waterbeweging optreedt. De waterbeweging over de ribbel is dan gestroomlijnd en de kommen verdwijnen.

Gedurende de aflooffase van springtij doet bovenstaande zich in omgekeerde volgorde voor.

6.6. VERGELIJKING VAN DE IN DIT ONDERZOEK GEVONDEN RESULTATEN MET DIE UIT ANDERE STROOMREGIMES.

Allen (1968) geeft in figuur 6.28. aan dat bij een toename van de snelheid en/of afname van de waterdiepte een onregelmatiger ribbelpatroon ontstaat. Dit verschijnsel is ook op de Plaat van Ossenisse waargenomen.

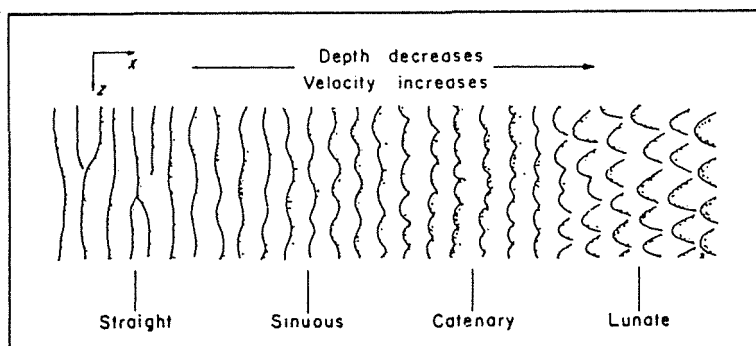


Fig.6.28. Schematische opeenvolging van megaribbeltypen bij een veranderende stroomsnelheid en/of diepte (naar Allen, 1968).

Boothroyd en Hubbard (1972) geven in een waterhoogte-snelheidsdiagram de regressielijnen aan voor ripples en dunes. In figuur 6.29. zijn deze regressielijnen en de uit dit onderzoek verkregen waarden voor land- en zeestelling getekend. Deze punten komen slechts gedeeltelijk overeen met de door Boothroyd en Hubbard gevonden regressielijnen. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat bovengenoemde auteurs uitgegaan zijn van een korrelgrootte van 0,35 - 0,40 mm, terwijl op de Plaat van Ossenisse de korrelgrootte gemiddeld 0,15 mm. is. Geconcludeerd kan worden dat de omstandigheden in een getijdegebied veelal overeenkomen met die in een steady uniform stroomregime. Daarbij geldt echter wel dat de korrelgrootte een zodanig belangrijke parameter is, dat deze niet mag worden verwaarloosd bij het relateren van ribbelvormen aan stromingsomstandigheden.

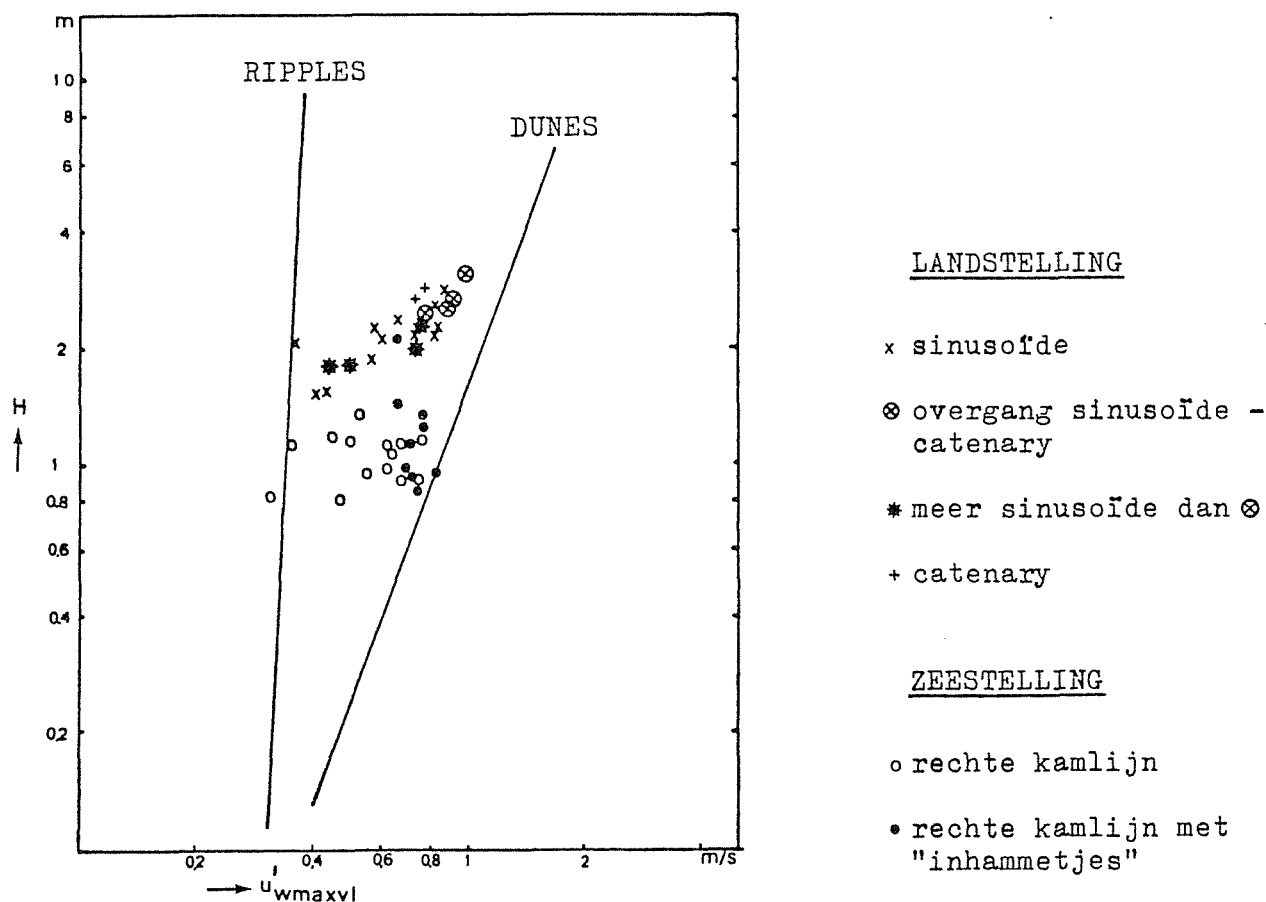


Fig.6.29. Waterhoogte - snelheidsdiagram met daarin de door Boothroyd en Hubbard (1972) gevonden regressielijnen voor ripples en dunes. De op de Plaat van Ossenissee waargenomen ribbelvormen zijn in dit diagram weer-gegeven.

In figuur 6.30. toont Middleton (1978) welke morfologische vorm is te verwachten bij een bepaalde korrelgrootte en u_{*} .

Als de uit dit onderzoek verkregen resultaten voor de land- en zeestelling in deze figuur worden getekend dan blijkt dat deze waarden in het bereik van ripples en dunes vallen. Voor de land- en zeestelling blijkt tevens dat gedurende springtij de u_{*} -waarden groter zijn dan 0,035 m/s. Dan kan geconcludeerd worden dat gedurende de dynamisch gezien belangrijke springtij-fase er voor zowel land- als zeestelling een duidelijk verband bestaat tussen ribbelvorm, korrelgrootte en u_{*} .

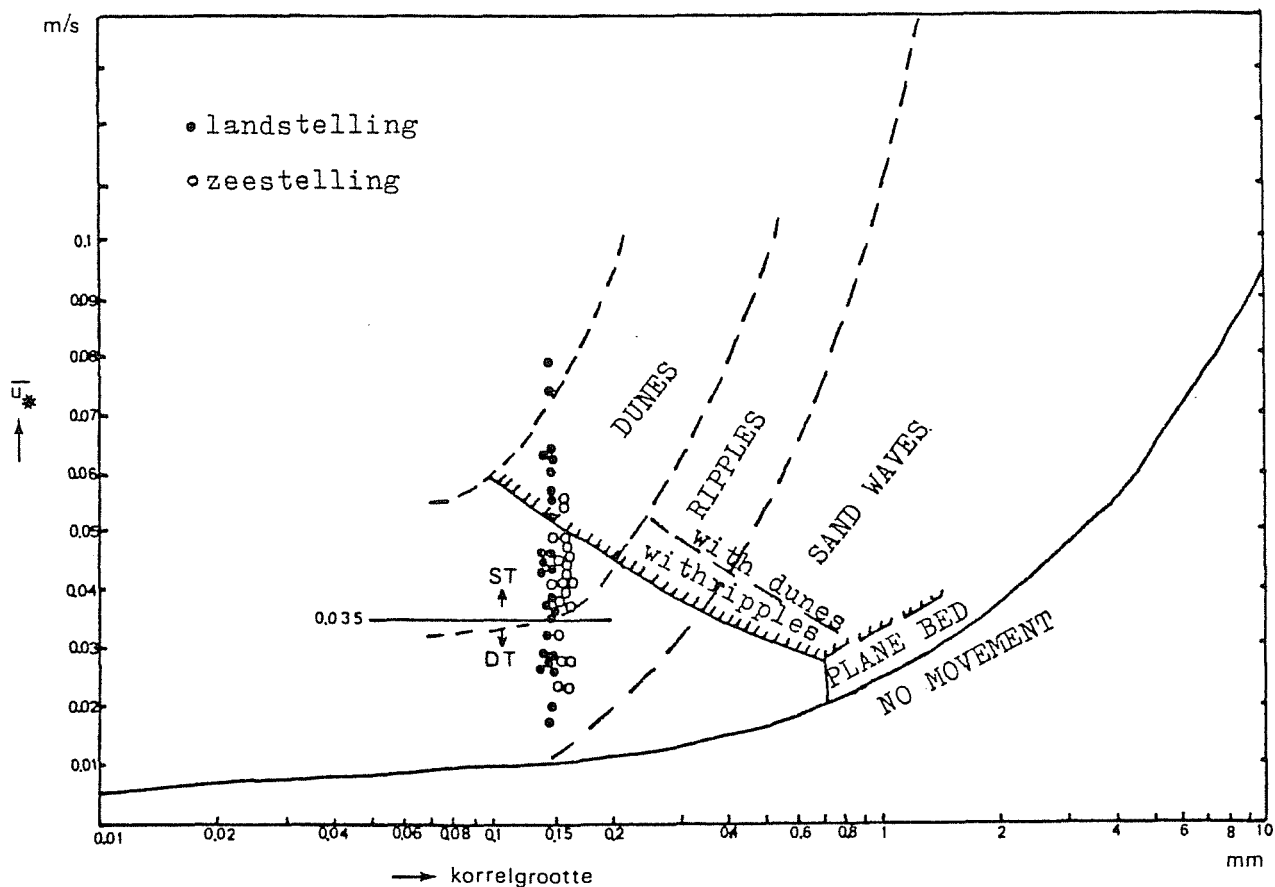


Fig.6.30. Korrelgrootte - u_* diagram volgens Middleton (1978).
 Op de y-as is het $\bar{u}_*$ gemiddelde uitgezet van de u_* -waarden, behorende bij de 3 hoogste waarden van $u'_{w \max}$ vl.
 Gedurende springtij vallen de waarden van zowel de land- als zeestelling binnen het bereik van de dunes.

Een tweetal andere auteurs zijn reeds in voorafgaande hoofdstukken behandeld.

Vavoni (1974) stelde in de verhouding tussen het Froudegetal en H/D_{50} waarbij D_{50} in het korrelgroottebereik van 0,12 - 0,20 mm valt, een aantal grenzen op tussen de verschillende bodemvormen. De resultaten voor land- en zeestelling voldoen geheel aan de gestelde grenzen (zie 2.3.3.8. en fig.2.38.).

Allen (1968) stelde voor megaribbels een verhouding vast tussen de ribbelhoogte en de ribbellengte. De resultaten van zowel de landstelling als van de zeestelling vallen binnen dit bereik (zie 3.4.4.1. en fig.3.15.c.).

OVERZICHT VAN DE MORFOLOGIE EN DAARAAN GEKOPPELDE
STROOMREGIMES OP DE PLAAT VAN OSSENISSE

7.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de Plaat van Ossenissee voor wat betreft de morfologie en de daaraan gekoppelde stroomregimes.

7.2. WERKWIJZE

Met behulp van een luchtmozaïek van de plaat, gevlogen op 12 juli 1976, is een indeling gemaakt van gebieden met verschillende ribbelpatronen (zie hoofdstuk 3.5.). Er werd een dynamiekkaart opgesteld door gebruik te maken van deze indeling en door gebruik te maken van de hoogteligging van de gebieden ten opzichte van N.A.P. aan de hand van een dieptelijnenkaart van Rijkswaterstaat uit 1975.

De toe- of afname van de ribbeldynamiek in de onderscheiden gebieden is afhankelijk gesteld van de toe- of afname van de onregelmatigheid van het ribbelpatroon en de toe- of afname van de hoogteligging, hetgeen overeenkomt met een toe- of afname van de waterhoogte (zie fig.7.1.).

Aldus zijn een viertal dynamiekklassen onderscheiden, die elk zijn onderverdeeld in drie subklassen (zie legenda van fig.7.2.).

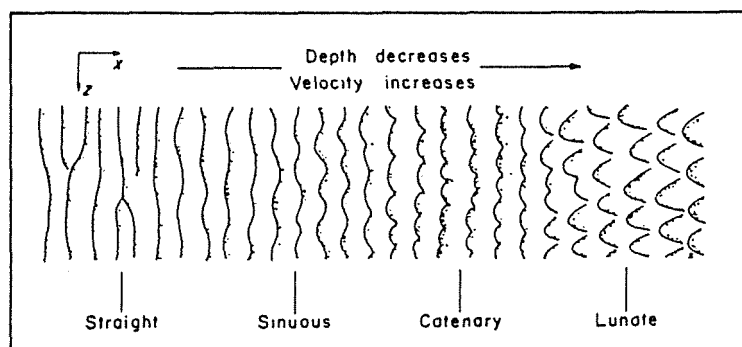
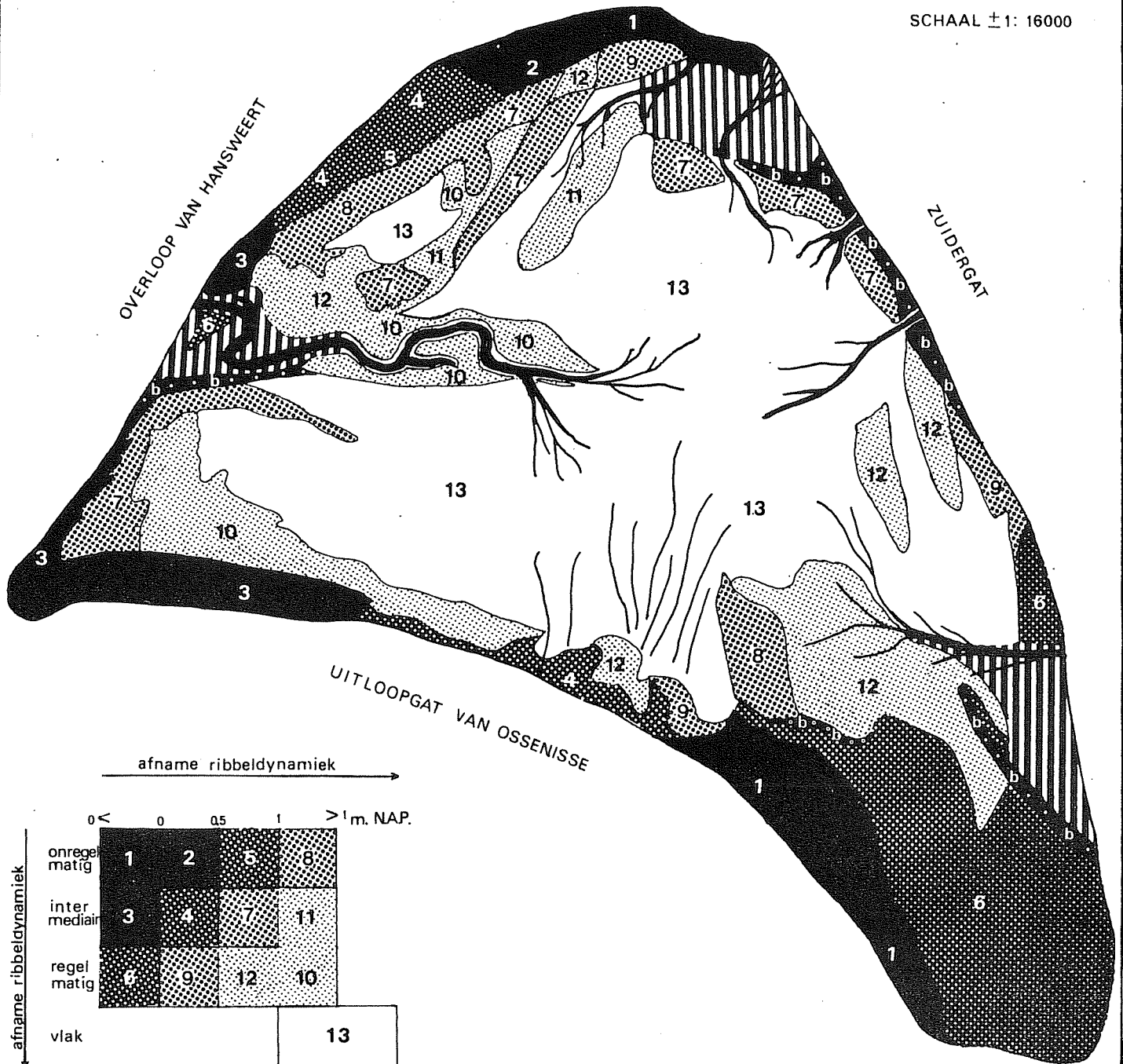


Fig.7.1. Schematische opeenvolging van megaribbeltypen bij een veranderende stroomsnelheid en/of waterdiepte (naar Allen, 1968).

DYNAMIEKKAART
PLAAT VAN OSSENISSE



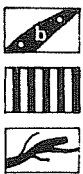
SCHAAL $\pm 1: 16000$



afname ribbeldynamiek →

0 < 0 0.5 1 > 1 m. NAP.

afname ribbeldynamiek	0 <	0	0.5	1	> 1 m. NAP.
onregelmatig	1	2	5	8	
intermediair	3	4	7	11	
regelmatig	6	9	12	10	
vlak					13



berm

deltaachtige geulomgeving

geulpatroon

Fig.7.2. Dynamiekkkaart van de Plaat van Ossenisse.

Naast de dynamiekaart is een kaart gemaakt, die de overheersende stroomrichtingen op de diverse plaatgedeeltes weergeeft (fig. 7.3.). Hierbij is er van uitgegaan dat de overheersende richting van de stroom loodrecht staat op de richting van de kamlijnen. De pijlen op de kaart geven alleen een richting aan en geen grootte van de stroomsnelheden.

7.3. INDELING VAN DE PLAAT

Over het grootste gedeelte van de plaat is de vloedstroom dominant. Alleen in het zuid-oostelijke deel ligt een gebied met een dominante ebstroming. Hier komen dan ook ebribbels voor. Ten westen van bovengenoemd gebied ligt een overgangsstrook van eb- naar vloeddominantie. Hier komen symmetrische ribbels voor zonder een duidelijk ontwikkelde loef en/of lijzijde.

Het grote vloeddominante deel van de plaat is onder te verdelen in twee gebieden:

a) Het noord-noordwestelijk en westelijk deel.

De stroming wordt hier bepaald door de vloedstroom in de Overloop van Hansweert (zie fig. 7.2.). Er is een afname in ribbeldynamiek vanaf de randen van de plaat naar het hoge gedeelte.

b) Het zuid-westelijk deel.

De voornaamste stroming wordt bepaald door de vloedstroom in het Gat van Ossensisse (zie fig. 7.2.). Ook hier geldt de afname in ribbeldynamiek gaande van de randen naar de hogere delen van de plaat.

Bovengenoemde gebieden worden gescheiden door een geul, waarin de zeestelling stond. De vormen aan weerszijden van deze geul worden bepaald door de stroming in deze geul.

De vlakke gedeeltes beslaan voornamelijk het centrale hoogst gelegen gebied van de plaat. De waterdiepte is hier gering. Bij springtij is de maximale waterdiepte ongeveer 1,30 m. Het maximale verhang dat boven de vlakke gedeeltes kan worden opgebouwd is veel kleiner dan boven de lager gelegen gedeeltes. Tevens komen de vlakke gedeeltes pas kort voor de kentering onder water te staan. De stroomsnelheden die hier voorkomen, zijn dan ook gering. De vormen die hier voorkomen, beperken zich tot kleine ribbels. Dit wijst op lage stroomsnelheden (Rheieck & Singh, 1973).

HOOFDSTROOMRICHTINGSKAART
PLAAT VAN OSSENISSE

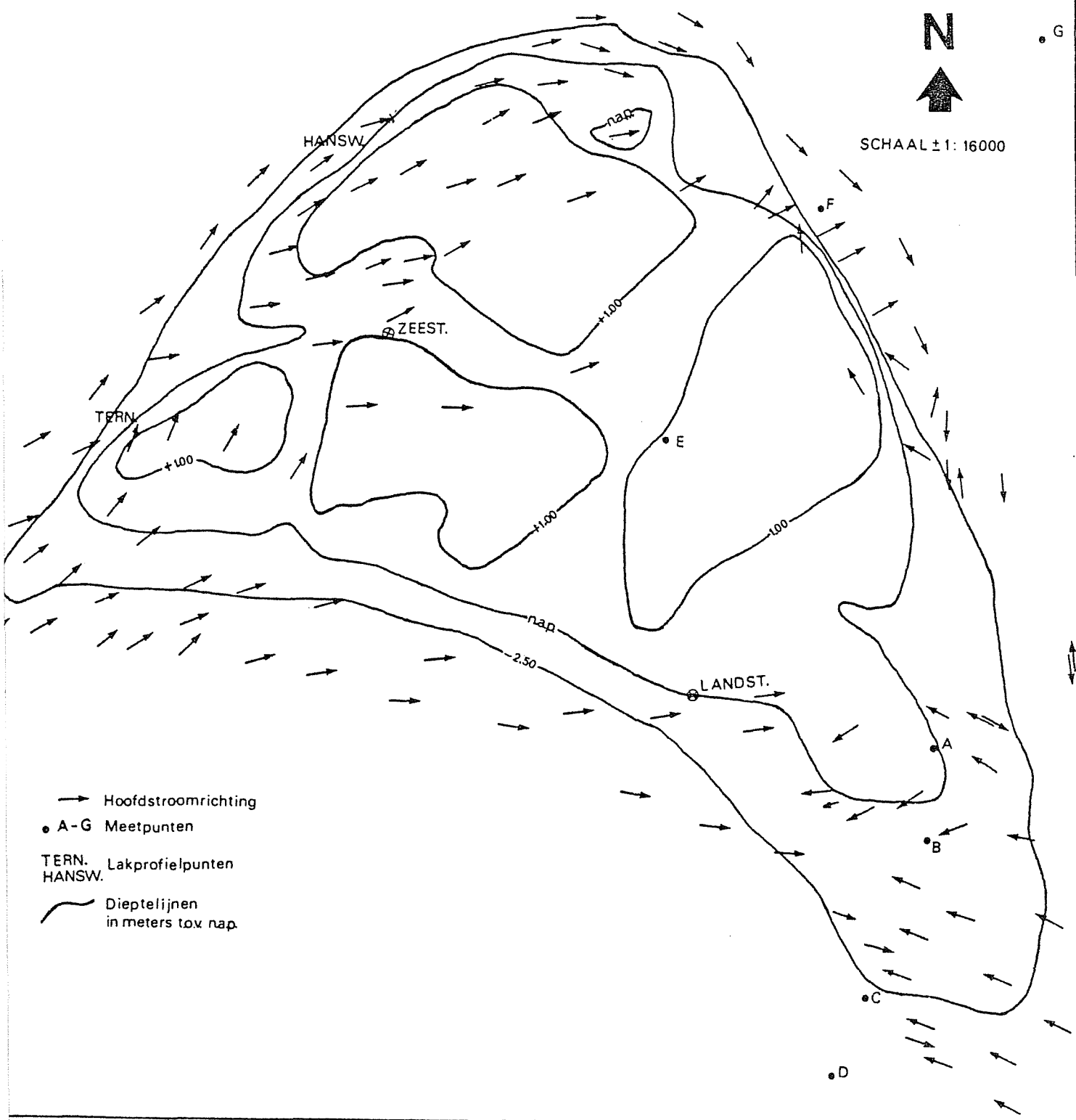


Fig.7.3. Stroomrichtingen op de Plaat van Ossenisse.

Het materiaal dat op de vlakke gedeeltes wordt afgezet, is slibrijk. Dit wordt o.a. afgezet in poelen, waarin het water tijdens de afstroming stagneert. De dierlijke activiteit is, tengevolge van het voedselrijk slib, groot. Er komen veelvuldig de kenmerkende sliertvormige hoopjes zand voor (excrementen van wormen, Arenicola).

Samenvattend zijn de kenmerken van de vlakke gedeeltes op de plaat:

- grootste hoogte boven N.A.P.,
- de minste dynamiek en dus het hoogste preservatiepotentiaal,
- groter aandeel van de siltfractie en de fractie van 75 - 105 μ .

Bermen ontstaan op die randgedeeltes van de plaat, welke bloot staan aan een onder een grote hoek invallende stroom. Deze stroom wordt vervolgens gedwongen een stromingsrichting langs de plaat aan te nemen, hetgeen te vergelijken is met een helicoïdale beweging in de buitenbocht van een meanderende rivier. Dergelijke gebieden worden dan ook sterk ondergraven, waardoor de bermen ontstaan (bijvoorbeeld de berm in het zuidwesten door de vloedstroom en de berm in het noordwesten door de ebstroom).

Dat deze langsstroming tot vlak vóór en ook weer vlak na de kentering aanwezig is, blijkt uit het feit dat de richting van de kamlijnen van de megaribbels, gelegen op de bovenzijde van de berm, loodrecht staan op de lengterichting van de berm.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen een drietal geultypen, die een verschillende orde van grootte hebben:

- a) Hoofdgeulen. Deze omgeven de plaat (Zuidergat, Uitloopgat van Ossenis en de Overloop van Hansweert). In deze geulen kunnen vloodsnelheden voorkomen die groter zijn dan 1,6 m/s (metingen in 1969). Metingen, die uitgevoerd zijn door Rijkswaterstaat in het Uitloopgat van Ossenis op DT₁+13, tonen maximum (vloed) snelheden van 1,18 m/s,
- b) Prielen. Een drietal op de plaat voorkomende geulen, die voornamelijk dienst doen als hoofdafwateringsgeulen voor het vlakke middengedeelte van de plaat. De geul, waarin de zeestelling gelegen is, bepaalt in de eerste fase van opkomend water ook de plaatselijke richting van de vloedstroom.
- c) Kleine afwateringsgeulen. Deze hebben dezelfde functie als bovengenoemde prielen. De volgende typen kunnen worden onderscheiden:
 - afwateringsgeulen die de hoofdafwateringsgeulen voeden. Deze geultjes liggen meestal niet in de trogzone van een megaribbel,
 - afwateringsgeultjes die direct naar de hoofdgeulen afwateren. Deze zijn meestal wel gelegen in de trogzone van een megaribbel.

Om een idee te krijgen van de verschillende stroomregimes in een aantal gebieden, zijn een aantal maximumstroomsnelheden in tabelvorm weergegeven. Deze stroomsnelheden zijn gemeten op verschillende plaatsen (zie fig.7.3.) tijdens een sedimentologisch veldwerk op de Plaat van Ossenis in 1969. De indeling in de diverse klassen is echter wel gebeurd met de in dit onderzoek aangehouden normen.

Ter illustratie zijn eveneens de maximale snelheden van land- en zeestelling gegeven. Met behulp van lakprofielen zijn tevens maximale vloedstroomsnelheden voor de punten, aangegeven met de plaatsnamen Terneuzen en Hansweert, bepaald (zie fig.7.2. en 7.3.).

	plaats	max.vloedsnelheid	max.ebsnelheid	klasse
ebdominantie	A	0,60	0,80	12
	B	0,80	0,95	6
vloed- dominantie	C	1,00	0,80	1
	D	1,45	0,85	?
	E	1,75	1,10	?
	F	0,70	0,50	?
	G	0,50	0,25	13
	landstelling	1,23	0,57	1
	zeestelling	0,90	0,50	10
	Terneuzen ^{*)}	1,06	-	7
	Hansweert ^{**)}	1,17	-	4

^{*)}Lakprofiel genomen op ST₁+17.

^{**)}Lakprofiel genomen op DT₁+14.

Hoofdstuk 8

SAMENVATTING

In dit hoofdstuk wordt een korte samenvatting gegeven van hetgeen in voorgaande hoofdstukken is behandeld.

Op de Plaat van Ossenisse zijn metingen en observaties verricht aan enerzijds de waterbeweging, weergegeven door de stroomsnelheid, -richting en waterhoogte (hoofdstuk 2) en anderzijds aan de bodemvormen, in het bijzonder de megaribbels bij de land- en zeestelling. De uitwendige vorm van de megaribbel wordt weergegeven door ribbelhoogte, -lengte, kamlengte en asymetrie (hoofdstuk 3), terwijl de sedimentaire structuren van de megaribbel gekarakteriseerd worden door sethoogte, -lengte en dip (hoofdstuk 5). Tevens zijn de voortplanting en het materiaaltransport op de megaribbels gemeten (hoofdstuk 4).

Met behulp van bovengenoemde metingen zijn in hoofdstuk 5 de relaties tussen de structuurparameters en de waterbeweging en in hoofdstuk 6 tussen de ribbelparameters en de waterbeweging behandeld.

Daarnaast is in hoofdstuk 6 nagegaan of deze voor een getijdegebied geldende relaties overeenkomen met de relaties, die gevonden zijn in het steady uniform stroomregime van een rivier of in een laboratorium.

Uit hoofdstuk 2 blijkt dat bij de landstelling de waterbeweging grote verschillen tussen de dag- en nachtcycli vertoont. Dit verschijnsel is ook duidelijk waar te nemen bij de voortplanting en het materiaaltransport van een ribbel (hoofdstuk 4), de structuurparameters (hoofdstuk 5) en in mindere mate bij de ribbelparameters (hoofdstuk 3).

Het blijkt dat $u'_w \max v_l$ en $\sum u'_w v_l$ zeer bruikbare parameters van de stroomsnelheid zijn. Vooral met behulp van deze twee parameters, het materiaaltransport en de voortplanting van een ribbel, aangevuld met kwalitatieve observaties (foto's) kan een beschrijving worden gegeven van de morfologie van de ribbels, en op welke wijze en onder welke hydrodynamische omstandigheden deze morfologie in de loop van een doodspringtijcyclus verandert bij de diverse meetlocaties.

In het onderstaande wordt voor beide stellingen een korte beschrijving gegeven van de verschillende perioden, welke zich gedurende een doodspringtijcyclus voordoen. Schematisch wordt dit in de figuren 8.1. en 8.2. weergegeven.

Landstelling.

Periode 1

In deze dooftijfase is een sinusoïde ribbelpatroon aanwezig. De ribbels hebben een egaal (glad) oppervlak en een geringe hoogte.

De morfologie uit deze periode kan beschouwd worden als een geërfd reliëf uit de vorige springtijperiode. Tijdens dooftij vindt er geen modellering plaats van het reliëf, wegens de lage waarden van $u'_{w \max vl} (\leq 0,75 \text{ m/s})$ en $\sum u'_{w vl} (\leq 2100 \text{ m.})$ en het daardoor veroorzaakte geringe sedimenttransport.

Periode 2

Gedurende deze oplooffase naar springtij verandert het sinusoïde ribbelpatroon in een overgangstype tussen de sinusoïde en de catenary vorm. Dit wordt veroorzaakt door het intensiever worden van de waterbeweging en daardoor ook van de sedimentbeweging.

De hydrodynamische karakteristieken zijn nu: $0,75 \leq u'_{w \max vl} \leq 0,95 \text{ m/s}$ en $2100 \leq \sum u'_{w vl} \leq 4200 \text{ m.}$

Een tweede verandering, die wordt veroorzaakt door de toename van de stroomsnelheid en de effectiviteit, is het verschijnen van komvormige depressies op de loefzijde van de ribbels. Samenhangend hiermee is het verschijnsel dat in deze periode de erosie op de loefzijde groter is dan de sedimentatie aan de lijzijde.

Van de ribbelparameters nemen in deze periode de ribbelhoogte en kamlengte toe en van de structuurparameters de sethoogte en setlengte. Samengevat kan gesteld worden dat de ribbels nog niet volledig zijn aangepast aan de waterbeweging.

Periode 3

In deze fase rond springtij bestaat het ribbelpatroon voornamelijk uit catenary ribbels.

Deze periode wordt gekarakteriseerd door het feit dat gedurende een negental dag- en nachtcycli achtereenvolgens de erosie op de loefzijde van de ribbel gelijk is aan de sedimentatie op de lijzijde (E-S-periode).

De hydrodynamische omstandigheden zijn: $u'_{w \max vl} \geq 1 \text{ m/s}$ en $\sum u'_{w vl} \geq 4200 \text{ m.}$ Onder deze condities hebben ook alle ribbelparameters hun hoogste waarden bereikt, evenals de structuurparameters, materiaaltransport en voortplanting. Tevens zijn in deze periode de kommen afwezig.

Tabel 8.1. Schematische weergave van morfologische veranderingen en hydrodynamische omstandigheden gedurende één vloed-ebcycclus (y-as) en gedurende één dood-springtijcycclus (x-as) bij de landstelling.

m/s		m	
↑	0.95	↑	4200
↑	0.75	↑	2100

Bovengenoemde waarnemingen wijzen alle op de in deze periode volledig aangepaste vorm van de bodem aan de waterbeweging. Dit betekent dat de ribbels zich onveranderend van vorm verplaatsen, zonder dat daarbij enige verstoringen (komen) optreden.

Gedurende de aflooffase van het springtij doet zich, op één uitzondering na, het omgekeerde voor als tijdens de oplooffase. (periode 2): $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$ nemen af (resp. $\leq 0,95$ m/s en ≤ 4200 m.) en daarmee ook het materiaaltransport; de ribbelparameters en structuurparameters nemen af in grootte. Er verschijnen weer kommen.

De uitzondering bestaat hieruit dat tijdens deze aflooffase de sedimentatie groter is dan de erosie, waardoor invulling van de troggen plaatsvindt. Op de aflooffase volgt de doottijfase met dezelfde karakteristieken als periode 1.

Bovenstaande indeling is opgesteld voor het hoge springtij ST_2 . Voor het lage springtij ST_3 blijkt periode 3 niet identiek te zijn met die van ST_2 . Tijdens ST_3 vindt namelijk meer sedimentatie plaats dan erosie. De waarden van $u'_{w \max vl}$ en $\sum u'_{w vl}$, waarboven de erosie gelijk is aan de sedimentatie worden zelden overschreden. De vorm van de bodem is rond het lage springtij ST_3 dan ook niet volledig aangepast aan de waterbeweging.

ZEESTELLING

Analoog aan de landstelling kunnen voor de zeestelling ook een drietal perioden worden onderscheiden. De verschillen in morfologie tussen deze 3 perioden zijn echter minder duidelijk dan bij de landstelling. Dit wordt mede veroorzaakt doordat de dagelijkse ongelijkheid van het getij zich niet weerspiegelt in de snelheid en effectiviteit.

Periode 1

In deze doottijfase is een recht ribbelpatroon aanwezig.

Tijdens het eerste deel van de vloed is de stroomrichting 120° , vanwege de aanwezigheid van de geul. Als het water hoog genoeg is gestegen (± 1.20 m) overheerst de algemeen voorkomende stroomrichting van 90° .

De strekking van de ribbels staat loodrecht op deze hoofdstroomrichting. Vanwege de lage waarden van $u'_w \max v_l$ ($\leq 0,75$ m/s) en $\sum u'_w v_l$ (≤ 1200 m) treedt er weinig materiaaltransport op.

Periode 2

De hydrodynamische karakteristieken zijn nu: $0,75 \leq u'_w \max v_l \leq 0,90$ m/s en $1200 \leq \sum u'_w v_l \leq 1500$ m.

Als gevolg hiervan nemen de ribbelparameters in waarde toe, hoewel dit minder duidelijk is dan bij de landstelling.

Door het intensiever worden van de waterbeweging ontstaan er ook weer komvormige depressies in deze periode. Deze kommen zijn minder diep dan die bij de landstelling en zijn gedurende een veel kortere periode aanwezig. Het ribbelpatroon blijft recht. Er ontstaan echter wel kleine "inhammetjes" in het ribbelfront.

Periode 3

Ondanks dat in deze springtijfase $u'_w \max v_l \geq 0,90$ m/s en $\sum u'_w v_l \geq 1500$ m, treedt er geen evenwicht op tussen de erosie en de sedimentatie, zoals dat het geval was bij de landstelling. Wel bereiken de erosie en de sedimentatie de hoogste waarden evenals de andere ribbelparameters.

De kommen zijn in deze periode verdwenen, hetgeen duidt op een begin van aanpassing van de bodemvormen aan de waterbeweging. Van een volledige aanpassing is nog geen sprake door het achterwege blijven van een E=S-periode. Nog steeds is het ribbelpatroon recht.

De afloophase van springtij is het omgekeerde van de oploophase.

Uit de metingen blijkt dat er bij de zeestelling geen onderscheid valt te maken tussen het hoge springtij ST_2 en het lage springtij ST_3 , zoals bij de landstelling.

Een vergelijking van de resultaten uit dit onderzoek met die uit andere onderzoeken leidt tot de conclusie dat megaribbels steeds voorkomen binnen eenzelfde bereik, onafhankelijk van het soort stroomregimes (rivier dan wel getijdengebied).

Tabel 8.2. Schematische weergave van morfologische veranderingen en hydrodynamische omstandigheden gedurende één vloed-ebcyclus (y-as) en gedurende één dood-springtijcyclus (x-as) bij de zeestelling.

m	m/s	PERIODE 1		PERIODE 2		PERIODE 3		PERIODE 2		PERIODE 1	
		DT ₁	DT ₁ +12	DT ₁ +15	ST ₂ +	ST ₂ +	ST ₂ +	ST ₂ +	ST ₂ +	DT ₂ +10	DT ₂ +10
↑	0,75	doodtij, u'wmaxv1 < 0,75 m/s, $\sum u'wv1 < 1200$ m, weinig of geen sedimenttransport, ribbelpatroon volkomen recht	oplooffase naar springtij, 0,75 < u'wmaxv1 < 0,90 m/s, $\sum u'wv1 < 1500$ m, water- en sedimentbeweging intensiever, begin toename ribbelpar., voortpl. en structuurpar. inhammetjes in ribbelfront, verschijnen van kommen	springtij, u'wmaxv1 > 0,90 m/s, $\sum u'wv1 > 1500$ m, hoogste snelh., hoogste waarden voor sed. transp. evenals voor ribbelpar., voortplanting en structuurpar. inhammetjes in ribbelfront, kommen verdwijnen							
↑	0,90										
↑	1,200										
↑	1,500										
↑	1,800										
↑	2,100										
↑	2,400										
↑	2,700										
↑	3,000										
↑	3,300										
↑	3,600										
↑	3,900										
↑	4,200										
↑	4,500										
↑	4,800										
↑	5,100										
↑	5,400										
↑	5,700										
↑	6,000										
↑	6,300										
↑	6,600										
↑	6,900										
↑	7,200										
↑	7,500										
↑	7,800										
↑	8,100										
↑	8,400										
↑	8,700										
↑	9,000										
↑	9,300										
↑	9,600										
↑	9,900										
↑	10,200										
↑	10,500										
↑	10,800										
↑	11,100										
↑	11,400										
↑	11,700										
↑	12,000										
↑	12,300										
↑	12,600										
↑	12,900										
↑	13,200										
↑	13,500										
↑	13,800										
↑	14,100										
↑	14,400										
↑	14,700										
↑	15,000										
↑	15,300										
↑	15,600										
↑	15,900										
↑	16,200										
↑	16,500										
↑	16,800										
↑	17,100										
↑	17,400										
↑	17,700										
↑	18,000										
↑	18,300										
↑	18,600										
↑	18,900										
↑	19,200										
↑	19,500										
↑	19,800										
↑	20,100										
↑	20,400										
↑	20,700										
↑	21,000										
↑	21,300										
↑	21,600										
↑	21,900										
↑	22,200										
↑	22,500										
↑	22,800										
↑	23,100										
↑	23,400										
↑	23,700										
↑	24,000										
↑	24,300										
↑	24,600										
↑	24,900										
↑	25,200										
↑	25,500										
↑	25,800										
↑	26,100										
↑	26,400										
↑	26,700										
↑	27,000										
↑	27,300										
↑	27,600										
↑	27,900										
↑	28,200										
↑	28,500										
↑	28,800										
↑	29,100										
↑	29,400										
↑	29,700										
↑	30,000										
↑	30,300										
↑	30,600										
↑	30,900										
↑	31,200										
↑	31,500										
↑	31,800										
↑	32,100										
↑	32,400										
↑	32,700										
↑	33,000										
↑	33,300										
↑	33,600										
↑	33,900										
↑	34,200										
↑	34,500										
↑	34,800										
↑	35,100										
↑	35,400										
↑	35,700										
↑	36,000										
↑	36,300										
↑	36,600										
↑	36,900										
↑	37,200										
↑	37,500										
↑	37,800										
↑	38,100										
↑	38,400										
↑	38,700										
↑	39,000										
↑	39,300										
↑	39,600										
↑	39,900										
↑	40,200										
↑	40,500										
↑	40,800										
↑	41,100										
↑	41,400										
↑	41,700										
↑	42,000										
↑	42,300										
↑	42,600										
↑	42,900										
↑	43,200										
↑	43,500										
↑	43,800										
↑	44,100										
↑	44,400										
↑	44,700										
↑	45,000										
↑	45,300										
↑	45,600										
↑	45,900										
↑	46,200										
↑	46,500										
↑	46,800										
↑	47,100										
↑	47,400										
↑	47,700										
↑	48,000										
↑	48,300										
↑	48,600										
↑	48,900										
↑	49,200										
↑	49,500										
↑	49,800										
↑	50,100										
↑	50,400										
↑	50,700										
↑	51,000										
↑	51,300										
↑	51,600										
↑	51,900										
↑	52,200										
↑	52,500										
↑	52,800										
↑	53,100										
↑	53,400										
↑	53,700										
↑	54,000										
↑	54,300										
↑	54,600										
↑	54,900										
↑	55,200										
↑	55,500										
↑	55,800										
↑	56,100										

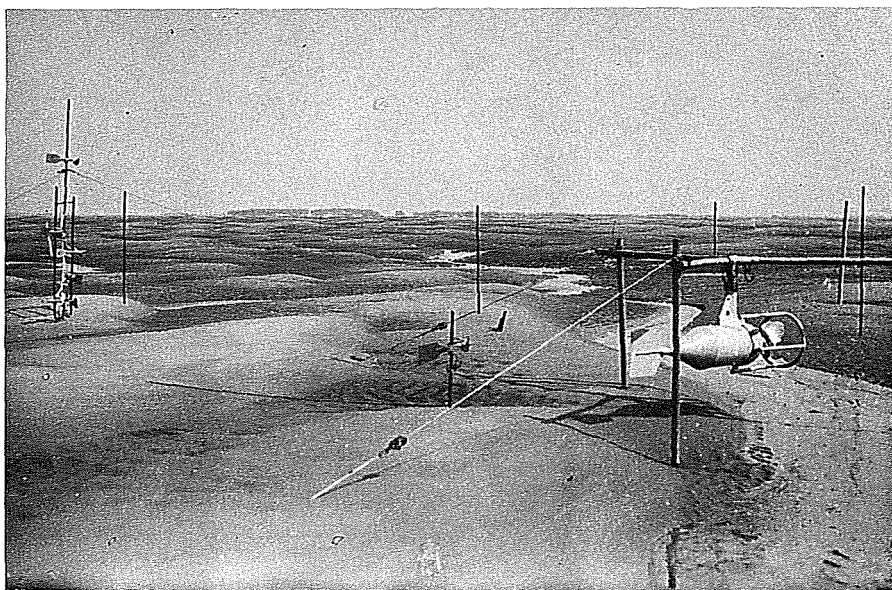


Foto 2.1. De twee gebruikte typen schoepstroommeters:
de wadstroommeteter (rechts) en de meetvertikaal
met een zestal Ottmolens (links).

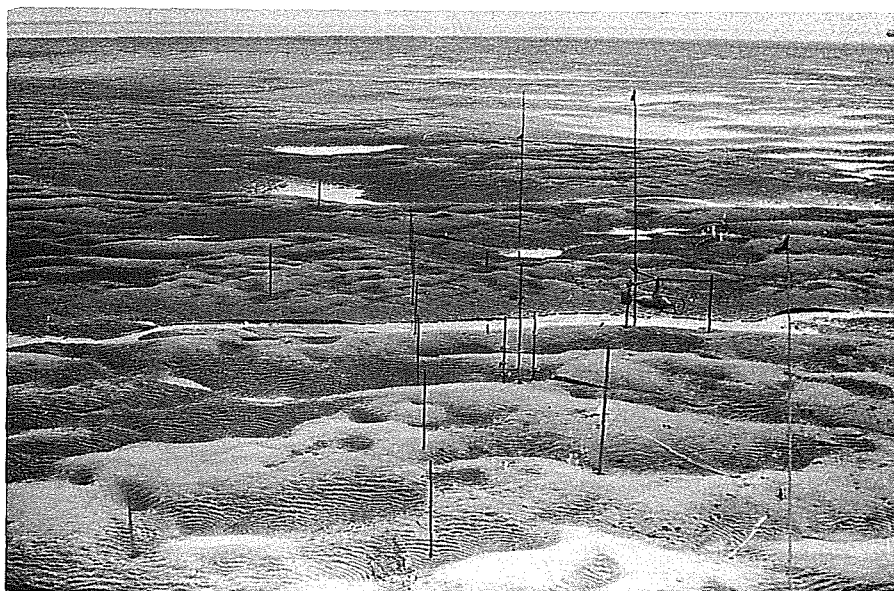


Foto 2.2. Overzicht van de diverse gebruikte meetinstrumenten
bij de landstelling gedurende de eerste week:
MV = meetvertikaal
WSM = wadstroommeter
 $R_1 - R_7$ = raai, waarin de ribbels werden opgemeten.

APPENDIX A

A.1. Regressie-analyse

Uit de hoogten H_1 t/m H_n van de meetpunten 1 t/m n in een meetverticaal met de bijbehorende stroomsnelheden u_1 t/m u_n worden twee regressielijnen, p en q , bepaald, namelijk $\log H$ op u en u op $\log H$ (zie fig. A.1.).

Regressielijn p van $\log H$ op u is:

$$\log H = a_1 u + b_1, \quad (\text{A.1})$$

$$\text{met richtingscoëfficiënt } a_1 = \frac{n \sum (u \log H) - \sum u \sum \log H}{n \sum u^2 - (\sum u)^2}$$

$$\text{en } b_1 = \frac{\sum \log H - a_1 \sum u}{n}$$

Regressielijn q van u op $\log H$ is:

$$u = a_2 \log H + b_2 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{met richtingscoëfficiënt } a_2 = \frac{n \sum (u \log H) - \sum \log H \sum u}{n \sum (\log H)^2 - (\sum \log H)^2}$$

$$\text{en } b_2 = \frac{\sum u - a_2 \sum \log H}{n}$$

De correlatiecoëfficiënt r bij deze regressie-analyse luidt:

$$r = \frac{n \sum (u \log H) - \sum u \sum \log H}{\sqrt{n \sum u^2 - (\sum u)^2} \sqrt{n \sum (\log H)^2 - (\sum \log H)^2}} \quad (\text{A.3})$$

De bissectrice m van de regressielijnen p en q is:

$$\log H = a_3 u + b_3 \quad (\text{A.4})$$

$$\text{met richtingscoëfficiënt } a_3 = \tan \frac{1}{2} (\arctg a_1 + \arctg \frac{1}{a_2})$$

$$\text{en } b_3 = \frac{1}{2} (b_1 - \frac{b_2}{a_2})$$

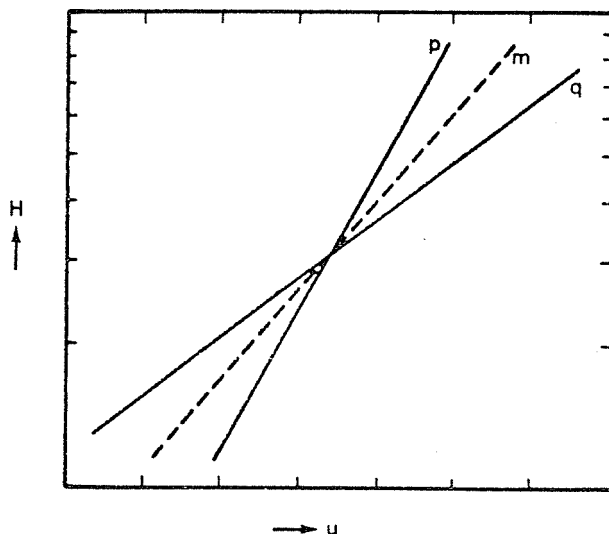


Fig. A.1.

De regressielijnen p en q , en de bissectrice van deze twee regressielijnen.

A.2. Gemiddelde snelheid

De waarde van $\bar{u}$ ligt op de bissectrice m en wel op 0,4 van de waterhoogte.
Vergelijking A.4 wordt nu:

$$\log 0,4H = a_3 \bar{u} + b_3 \quad (\text{A.5})$$

Hieruit volgt dat: $\bar{u} = \frac{\log 0,4H - b_3}{a_3} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{A.6})$

A.3. Schuifspanningssnelheid

In een turbulente stroom geldt voor $u_{\#}$:

$$u_{\#} = \sqrt{gRI} \quad (\text{m/s}), \quad (\text{A.7})$$

waarin: R = hydraulische straal. Omdat de breedte van de Westerschelde veel groter is dan de waterhoogte, geldt hier: $R = H \quad (\text{m})$,

I = verhang van het wateroppervlak.

Met de in A.1. gevolgde berekeningsmethode, kan $u_{\#}$ ook gemakkelijk worden berekend.

Uitgangspunt is de formule van Prandtl - Von Karmann in een turbulente stroom met een logaritmische snelheidsverdeling:

$$u_z = 5,75 u_{\#} \log \frac{30z}{K} \quad (\text{m/s}), \quad (\text{A.8})$$

waarin: z = hoogte boven de bodem (m),

K = constante ^{viscositeit} van Von Karmann, die de bodemruwheid aangeeft (m).

Voor een tweede hoogte z' boven de bodem geldt eveneens A.8:

$$u_{z'} = 5,75 u_{\#} \log \frac{30z'}{K} \quad (\text{m/s}).$$

Dan geldt ook: $u_z - u_{z'} = 5,75 u_{\#} \left(\log \frac{30z}{K} - \log \frac{30z'}{K} \right) \quad (\text{m/s}),$

ofwel: $\Delta u_z = 5,75 u_{\#} \log \frac{z}{z'} \quad (\text{m/s}), \quad (\text{A.9})$

en: $u_{\#} = \frac{\Delta u_z \log \frac{z}{z'}}{5,75} \quad (\text{m/s}). \quad (\text{A.10})$

Nu is $u_{\#}$ eenvoudig te berekenen door te zorgen dat $\log \frac{z}{z'} = 1$, ofwel $\log z - \log z' = 1$.

Voor z en z' worden meestal de waterhoogtes $H = 1 \text{ m}$ en $H = 0,1 \text{ m}$ genomen, waardoor geldt (zie fig. A.2.):

$$u_{\#} = \frac{u_{1\text{m}} - u_{0,1\text{m}}}{5,75} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{A.11})$$

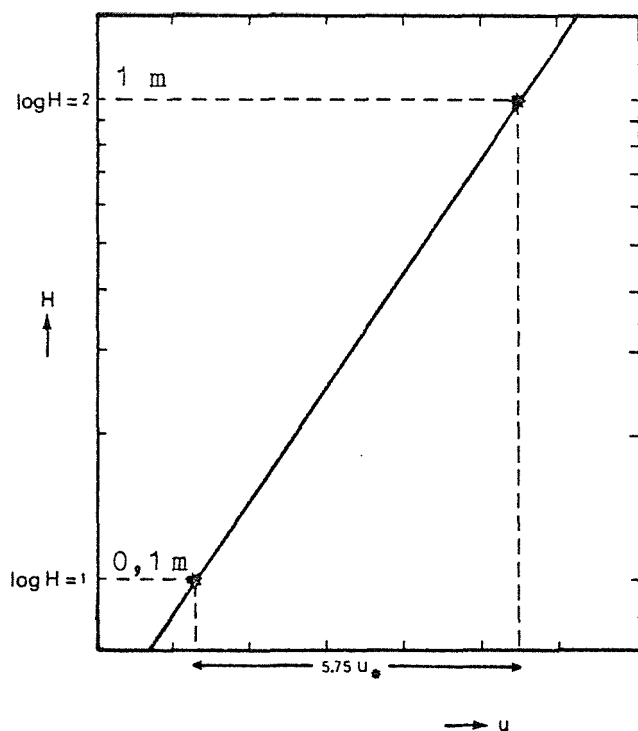


Fig. A.2.

Bepaling van $u_{\#}$.

A.4. Totale ruwheidswaarde

De formule van Chézy luidt: $\bar{u} = C \sqrt{RI}$ (m/s), (A.12)
terwijl $u_{\#} = \sqrt{gRI}$.

Substitutie van $\frac{u_{\#}}{\sqrt{g}} = \sqrt{RI}$ in $C = \frac{\bar{u}}{\sqrt{RI}}$ levert:
 $C = \frac{\bar{u}}{u_{\#}} \sqrt{g}$ (V m/s). (A.13)

Omdat het hier handelt om de totale ruwheid, wordt geschreven:

$$C_t = \frac{\bar{u}}{u_{\#}} \sqrt{g} \quad (\text{V m/s}). \quad (\text{A.14})$$

A.5. Sedimenttransport volgens de formule van Engelund-Hansen

De formule luidt: $s = 0,084 \left(\frac{g}{C_t^2} \right)^{3/2} \frac{\bar{u}^5}{(\Delta g)^2 D_{50}} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (\text{A.15})$

Substitutie van $C_t = \frac{\bar{u}}{u_*} \sqrt{g}$ in s geeft:

$$\begin{aligned} s &= 0,084 \left(\frac{g u_*^2}{\bar{u}^2 g} \right)^{3/2} \cdot \frac{\bar{u}^5}{(\Delta g)^2 D_{50}} \\ &= 0,084 \frac{u_*^3}{\bar{u}^3} \cdot \frac{\bar{u}^5}{(\Delta g)^2 D_{50}} \\ &= 0,084 \frac{u_*^3 \cdot \bar{u}^2}{(\Delta g)^2 D_{50}}, \end{aligned} \quad (\text{A.16})$$

waarin: $\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = \frac{2650 - 1000}{1000} = 1,65$

ρ_s = soortelijke massa van kwartszand = 2650 kg/m³,

ρ_w = soortelijke massa van water = 1000 kg/m³,

g = versnelling van de zwaartekracht = 9,81 m/s²,

D_{50} = mediaanwaarde van de korrelgrootteverdeling = 0,00015 m.

APPENDIX B

FOUTENDISCUSSIE

Fouten gemaakt bij de bepaling van:

De waterdiepte H: Bij interpolatie van meetgegevens van de getijschrijver van Hansweert naar de Plaat van Ossenis, is de fout gesteld op gemiddeld 20 cm. Deze fout is vastgesteld aan de hand van het volgende:

• Er bestaat een tijdsverschil in het bereiken van bepaalde waterhoogtes tussen Hansweert en de Plaat van Ossenis. Dit tijdsverschil is vastgesteld m.b.v. enkele getijkrommen van de op de plaat geplaatste getijschrijver. Dit tijdsverschil is gemiddeld 10 minuten. Dit komt bij maximale stroomsnelheden en maximale toename van de waterhoogte overeen met een hoogteverschil van ± 20 cm.

• Tijdens een vloedebcycclus verandert de hoogte van de Ottemolens t.o.v. de bodem voortdurend door sedimentatie en erosie. De bodemhoogte is voor én na elke vloed-ebcycclus gemeten. Bij de berekening van $\bar{u}$, is voor de bodemhoogte het gemiddelde van deze twee waarden genomen. Bij het passeren van een ribbelfront gedurende een vloed-ebcycclus kan een verschil in bodemhoogte ontstaan van maximaal 40 cm bij de landstelling en maximaal 20 cm bij de zeestelling. De fout in de bepaling van de bodemhoogte en dus ook in de bepaling van de waterhoogte bedraagt dan maximaal 20 cm bij de landstelling en 10 cm bij de zeestelling.

Aan de hand van bovenstaande foutenbronnen is een totale maximale fout van H_{umax} en H_{max} vastgesteld van 40 cm bij de landstelling en 30 cm bij de zeestelling. Procentueel wordt de fout van H_{umax} $\pm 20\%$ voor de land- en zeestelling, terwijl de fout van H_{max} $\pm 10\%$ bedraagt voor de land- en zeestelling.

Voor H wordt een gemiddelde fout aangenomen, die gelijk is aan de fout van H_{max} , dus $\pm 10\%$.

De gemiddelde stroomsnelheid $\bar{u}$: De gemiddelde stroomsnelheid wordt bepaald uit de meetverticaal op 0,4H. Aangezien voor H een gemiddelde fout van 10% is aangehouden, heeft de gemiddelde stroomsnelheid een fout van 6%. Deze fout is bepaald met behulp van enkele logaritmische snelheidsprofielen.

Uit enkele voorbeelden is gebleken dat de fout tussen de berekende en

gemeten waarde van $\bar{u}$ niet meer dan 2% bedraagt. De totale fout bij de bepaling van $\bar{u}$ wordt 10%.

De stroomsnelheid $u'_{w \max vl}$: Voor de berekening van $u'_{w \max vl}$ uit de gegevens van $\bar{u}$ is gebruik gemaakt van een correctiefactor. Deze is voor elke dagcyclus bepaald en vervolgens gemiddeld voor een aantal perioden (zie hoofdstuk 2.3.3.3.). De fout in deze middeling bedraagt 7%. Aangezien bij de berekening van $u'_{w \max vl}$ de fout van $\bar{u}$ (10%) en de fout in de correctiefactor (7%) een rol spelen, wordt de uiteindelijke fout van $u'_{w \max vl}$ gesteld op 13% ($\approx 15\%$).

De stroomrichting: De fout gemaakt door de wadstroommeter wordt gesteld op 4° (De Boer, 1976). Bij de verwerking van de gegevens worden de gemeten waarden naar tientallen graden afgerond. Deze afronding en de meetfout van de wadstroommeter geven een maximale fout van 10° .

De fout gemaakt door de Ottmolen op het quasi-ebribbelveld bedraagt 2° . Ook nu zijn de meetgegevens weer afgerond. Evenals bij de wadstroommeter geldt een maximale fout van 10° .

De Jacobson heeft een nauwkeurigheid van 10° , waardoor de maximale fout dus ook 10° bedraagt.

Bij het gebruik van het geologische kompas is de nauwkeurigheid gesteld op 5° .

Schuifspanningssnelheid $u_{\pm}$: De formule voor $u_{\pm}$ is: $u_{\pm} = \frac{u_{1m} - u_{0,1m}}{5,75}$ (m/s).

Aangezien de vorm van de grafiek van de snelheidsverdeling tot 20-30 cm boven de bodem niet bekend is, kunnen grote fouten - hier gesteld op 25% - worden gemaakt bij de bepaling van de snelheid op 10 cm boven de bodem. De fout gemaakt bij de bepaling van u_{1m} is 10% (hetzelfde als $\bar{u}$). Beide foutenbronnen geven voor $u_{\pm}$ een fout van 20%.

Totale ruwheidswaarde C_t : De formule van C_t luidt: $C_t = \frac{\bar{u}}{u_{\pm}} \sqrt{g}$ (m/sec). Bij een fout van u van 10% en van $u_{\pm}$ van 20% is voor C_t een fout berekend van 22% ($\approx 20\%$).

Het Froudegetal Fr : De formule van Fr luidt: $Fr = \frac{\bar{u}_{\max}}{\sqrt{g H_{\max}}}$

Bij een fout van $\bar{u}$ van 10% en van $H_{\max}$ van 20% is voor Fr een fout berekend van 14% ($\approx 15\%$). De versnelling van de zwaartekracht is als een constante beschouwd.

Het sedimenttransport volgens de formule van Engelund-Hansen:

De formule luidt: $s = 0,084 \frac{\bar{u}^2 \cdot u_*^3}{(\Delta g)^2 D_{50}} \quad (m^3/msec).$

Alleen de parameters $\bar{u}$ en u_* worden in de berekening van de fout opgenomen. De fout van s is dan 53% ($\approx 50\%$).

De fouten gemaakt bij de bepaling van de parameters erosie, sedimentatie, voortplanting, ribbellengte, kamlengte en ribbelhoogte worden bepaald door de volgende foutenbronnen:

- a) Het wegzakken van de meetlat in het zand (± 2 cm.),
- b) De afstanden van de meetpunten in de meetraai bedragen 41 cm. Hierdoor zijn niet altijd de hoogste en de laagste plaatsen gemeten,
- c) Verstoring van de trog voor het ribbelfront door erosie of sedimentatie tijdens de laatste fase van de ebstroming,
- d) Fouten kunnen ook ontstaan als het d.m.v. de ribbelmeetraai vastgestelde ribbelprofiel niet loodrecht op de kamlijnen is genomen maar onder een hoek. De aangenomen waarde van de parameter is groter dan de werkelijke waarde. De vergrotingsfactor is afhankelijk van de hoek. Bij een gemiddelde hoek van 10° (uit foto's gemeten) bedraagt de vergrotingsfactor: $\frac{1}{\cos 10^\circ} = 1,02$. Dus de gemiddelde fout is 2%.

Erosie: De fout is afhankelijk van foutenbronnen a (berekend op max. 10%), b (?), c (?) en d (2%). De totale fout bij de bepaling van de erosie wordt geschat op $\pm 15\%$.

Sedimentatie: De fout is afhankelijk van foutenbronnen a (berekend op max. 4%), b (?), c (?) en d (2%). De totale fout bij de bepaling van de sedimentatie wordt geschat op $\pm 10\%$.

Voortplanting: De fout is afhankelijk van foutenbronnen a (berekend op 2%) en d (2%). De totale fout bij de bepaling van de voortplanting is 4%.

Ribbellengte l : De fout is afhankelijk van de foutenbronnen b (?), c (?) en d (2%). De totale fout bij de bepaling van de ribbellengte wordt geschat op $\pm 10\%$. Deze fout geldt ook voor $\bar{l}$.

Ribbelhoogte h : De fout is afhankelijk van foutenbronnen a (berekend op 4% maximaal), b (?) en c (?). De totale fout bij de bepaling van de ribbelhoogte wordt geschat op $\pm 10\%$. Deze fout geldt ook voor $\bar{h}$.

Kamlengte kl: De fout is afhankelijk van foutenbronnen b en c (alleen in verticale zin) en van foutenbron d (2%). De totale fout bij de bepaling van de kamlengte wordt geschat op $\pm 5\%$. Deze fout geldt ook voor $\overline{kl}$.

Fouten gemaakt bij de bepaling van de ribbelindices:

$\frac{\overline{l}}{\overline{h}}$: De fouten van $\overline{l}$ en $\overline{h}$ zijn geschat op 10%. Dit geeft een fout van $\frac{\overline{l}}{\overline{h}}$ van 15%.

$\frac{\overline{kl}}{\overline{h}}$: De fout van $\overline{kl}$ is 5%, de fout van $\overline{h}$ 10%. Voor de index $\frac{\overline{kl}}{\overline{h}}$ geeft dit een fout van $\pm 10\%$.

$\frac{\overline{b}}{\overline{a}}$: Aangenomen wordt dat zowel $\overline{b}$ als $\overline{a}$ een fout van 10% hebben. Dan betekent dit een fout van 10% voor de index $\frac{\overline{b}}{\overline{a}}$.

Voor de berekening van een aantal van bovengenoemde fouten is gebruik gemaakt van de voor dit doel opgestelde standaardformules (Berendsen en Meijer, 1971).

APPENDIX C

SYMBOLENLIJST

b/a	asymmetrie-index van de ribbels	(-)
C _t	totale ruheidswaarde (Chézy)	(m/s)
D50	mediaanwaarde van de korrelgrootte-verdeling	(m)
Δ	$\frac{e_s - e_w}{e_w}$	(-)
Fr	Froudegetal	(-)
g	versnelling van de zwaartekracht	(m/s ²)
H	waterhoogte	(m)
h	ribbelhoogte	(m)
I	verhang	(-)
K	constante van Von Karmann	(m)
kl	kamlengte	(m)
l	ribbellengte	(m)
R	hydraulische schaal	(m)
r	correlatiecoëfficiënt	(-)
e _{s/w}	soortelijke massa van kwartszand (s) of van water (w)	(kg/m ³)
s	sedimenttransport volgens Engelund-Hansen	(m ² /s)
$\bar{u}$	gemiddelde stroomsnelheid, bepaald m.b.v. meetverticaal	(m/s)
u _#	schuifspanningssnelheid	(m/s)
u' _w	gecorrigeerde snelheid bepaald m.b.v. de wadstroommeter	(m/s)
z, z'	waterhoogte in formule van Prandtl - Von Karmann	(m)
Σu	effectiviteit	(m)

APPENDIX D

AANBEVELINGEN VOOR TOEKOMSTIG ONDERZOEK

- a) Aanbevolen wordt om het verloop van de stroomsnelheid ook voor nachtcycli te bepalen, aangezien nachtcycli voor de dynamiek op de plaat van het grootste belang zijn.
- b) De ribbelmeetraai dient langer te zijn om de gegevens, betreffende de gemiddelde ribbelparameters en indices betrouwbaarder te maken.
- c) Door middel van meerdere ribbelmeetraaien naast elkaar kan een driedimensionaal van de opgemeten ribbels worden verkregen. Dit om een driedimensionale indruk van de sedimentatie, erosie, voortplanting, h , kl en l te verkrijgen en om veranderingen in het ribbelpatroon nauwkeurig vast te leggen (i.p.v. met foto's).
- d) Lakprofielen dieper nemen zodat ook trogzones bestudeerd kunnen worden.
- e) De meetlat dient van een voetje te worden voorzien om wegzakken in het zand te voorkomen.
- f) Aanbevolen wordt om het begin en het eind van een veldwerkperiode in een doodtij - fase te laten vallen, zodat de dynamisch belangrijke springtijperiode in het geheel opgemeten kan worden. Tijdens een veldwerk dienen zowel een lage springtij als een hoge springtij te worden gemeten.

LITERATUURLIJST

- ALLEN, J.R.L., 1968.
Current ripples, their relation to patterns of water and sediment motion, North - Holland Publishing Company, Amsterdam, 433 p.
- ALLEN, J.R.L., 1969.
The paths of grains through wave - like bed forms, Geologie en Mijnbouw, Vol 48 (1), pp. 3 - 8.
- ALLEN, J.R.L., FREIND, P.F., 1976.
Changes in intertidal dunes during two spring - neap cycles, Lifeboat Station Bank, Wells - next - the - Sea, Norfolk (England). Sedimentology, Vol 23, pp. 329 - 346.
- BERENDSEN, H.J.A., MEIJER, M.H.P., 1971.
Inleiding tot de nauwkeurighedsrekening, Geogr.Inst.Utrecht, 29 p.
- BLATT, H., MIDDLETON, G., MURRAY, R., 1972.
Origin of sedimentary rocks, Prentice - Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 79 - 110.
- BOER, de, M., 1976.
Beschrijving wadstroommeter, verwerking meetgegevens, Memorandum 76.7, Rijkswaterstaat, Studiedienst Hoorn.
- BOOTHROYD, J.C., HUBBARD, D.K., 1974.
Bedform development and distribution pattern, Parker and Essex Estuaries, Massachusetts, CERC Misc. Paper U.S. Army Corps Engss 1 - 74, 45 p.
- COSTELLO, W.R., 1974.
Development of bed configurations in coarse sands, Thesis Mass.Inst. Technology Report 74 - 1, 117 p.
- GELLATLY, D.C., 1970.
Cross - bedded tidal megaripples from King Sound (Northwestern Australia), Sedimentary Geology, 4 (1970), pp. 185 - 191.
- KALKWIJK, J.P.Th., 1975.
De analyse van getijden, TH Delft, afd.Civiele Techniek, januari 1975, 89 p.
- KOHSIEK, L.H.M., 1978.
Morfogenese van ribbelstructuren voorkomend op de platen van Osse- nisse (gedeeltelijk voorzien van een kwantitatieve benadering), R.U. Utrecht, afdeling fysische geografie, intern rapport, pp. 45.

- MIDDLETON, G.V., 1978,
Hydraulic interpretation of sediment textures and bed forms,
Abstracts, I.A.S., Jerusalem, Israël, 10^e international congress on
sedimentology.
- REINECK, H.-E., SINGH, I.B., 1973.
Depositional Sedimentary Environments, Springer - Verlag Berlin,
Heidelberg, New York, 439 p.
- SUNDBORG, A., 1956.
The river Klarälven, a study of Fluvial Processes, Geografiska Analer,
Vol 38, pp. 125 - 316.
- SPIEGEL, M.R., 1961.
Theory and problems of statistics, Schaum's outline series, New York,
359 p.
- TRENHAILE, A.S., 1973.
Near - shore ripples: Some hydraulic relationships, Journal of Sedimen-
tary Petrology, Vol 43, Nr. 2, pp. 558 - 568.
- VAVONI, V.A., 1974.
Factors Determining Bed Forms of Alluvial Streams, Journal of the
Hydraulics Division, Vol 100, nr. HY 3, pp. 363 - 377.
- VEEN, van, J., 1950
Eb- en vloodschaarsystemen in de Nederlandse getijwateren, T.A.G. 67,
nr. 3, 1950.
- VRIES - KLEIN, de, G., 1970.
Depositional and dispersal dynamics of intertidal sandbars, Journal
of Sedimentary Petrology, Vol 40, nr. 3, december 1970.
- WARTEL, S., 1977.
Composition, transport and origin of sediments in the Schelde estuary,
Geologie en Mijnbouw, Vol 56, nr. 3, 1977.
- WHITE, W.R., MILLI, H., CRABBE, A.D., 1975.
Sediment transport theories: a review, Proc. Inst. Civ. Engrs., Part 2, 59,
pp. 265 - 292.
- WIJVEKATE, M.L., 1972.
Verklarende statistiek, Aula 39, Het Spectrum, Utrecht, 1972.