

Part 4

Micro-macro

Een onderzoek naar de relatie tussen hydro- dynamische factoren en kleinschalige verspreiding van macro-benthos

P. Herman (NIOO-CEMO)

M. de Vries (WL)

P. Thoolen (WL)

M. Vonk (WL)

A. Baart (WL)

J. Boon (WL)

Inhoudsopgave

Lijst tabellen	i
Lijst figuren	ii
1 Inleiding	1 - 1
2 Doelstelling en werkzaamheden	2 - 1
3 Beschikbare data	3 - 1
3.1 Meetcampagne 'Zeekat'	3 - 1
3.2 Metingen van stroomsnelheden	3 - 1
3.2.1 Overzicht	3 - 1
3.2.2 Analyse	3 - 2
3.2.3 Dieptegemiddelde snelheden	3 - 2
3.3 Metingen van waterstanden	3 - 3
4 Scaldis model	4 - 1
4.1 Inleiding	4 - 1
4.2 Modelopzet	4 - 1
4.3 Runs t.b.v. randvoorwaarden Molenplaat model	4 - 2
4.4 Modelvalidatie	4 - 2
5 Molenplaat model	5 - 1
5.1 Inleiding	5 - 1
5.2 Modelopzet	5 - 1
5.3 Calibratie en verificatie	5 - 2
5.3.1 Inleiding	5 - 2
5.3.2 Invloed van rekentijdstap	5 - 2
5.3.3 Invloed van de ruwheidsparameter	5 - 2
5.3.4 Invloed van de wind	5 - 3
5.3.5 Invloed van de bodemligging	5 - 3
5.3.6 Verificatieruns	5 - 4
5.4 Modelvalidatie	5 - 4
5.4.1 Calibratieperiode	5 - 4
5.4.2 Verificatieperiode	5 - 5
6 Opmerkingen en conclusies hydrodynamica	6 - 1
7 Transportmodellering	7 - 1
7.1 Uitgangspunten en modelinvoer	7 - 1
7.2 Formuleringen voor sedimentatie en resuspensie	7 - 2
7.3 Modelresultaten	7 - 3
8 Verspreiding van benthische filtreerders en deposit feeders	
8.1 Inleiding	8 - 1
8.1.1 Grootschalige verspreiding van benthische filtreerders	8 - 1
8.1.2 Kleinschalige verspreiding van benthische filtreerders	8 - 1
8.1.3 Benthische deposit feeders	8 - 2
8.1.4 Opzet van het onderzoek	8 - 3
8.2 Bemonstering	
8.2.1 Macrobenthos	8 - 3

8.2.2	Sedimentsamenstelling	8 - 3
8.2.3	Chlorofylgehalte in de bovenste sedimentlaag	8 - 3
8.3	Voedingsgroepen	8 - 4
8.4	Resultaten	8 - 4
8.4.1	Korrelgrootte-verdeling / bemonstering maart	8 - 4
8.4.2	Chlorofylgehalte	8 - 4
8.5	Analyse van de macrobenthosgegevens - voedingsgroepen	8 - 4
8.6	Analyse van de macrobenthosgegevens - gemeenschapsanalyse	8 - 5
8.7	Analyse van macrobenthosgegevens - dominante soorten	8 - 5
8.8	Discussie	8 - 6
9	Biomassa modellering	
9.1	Modelopzet	9 - 1
9.2	Formuleringen	9 - 2
9.3	Modelresultaten	9 - 4
9.4	Discussie	9 - 4

Referenties

Tabellen

Figuren

Appendix A

Lijst van soorten, frequenties, gemiddelde dichtheid en gemiddeld asvrij-drooggewicht in de maart-bemonstering

Appendix B

Lijst van soorten, frequenties, gemiddelde dichtheid en gemiddeld asvrij-drooggewicht in de juni-bemonstering

Tabellen

- 3.1 Schema van meetpunten en apparatuur voor de meetperiode in Juni 1995
- 5.1 Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de calibratieperiode
- 5.2a Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de calibratieperiode
- 5.2b Verhouding hoogwaters in meetpunt 6 en Hansweert gedurende de calibratieperiode
- 5.3a Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de verificatieperiode
- 5.3b Verhouding hoogwaters in meetpunt 6 en Hansweert gedurende de verificatieperiode

Tabellen

- 3.1 Schema van meetpunten en apparatuur voor de meetperiode in Juni 1995
- 5.1 Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de calibratieperiode
- 5.2a Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de calibratieperiode
- 5.2b Verhouding hoogwaters in meetpunt 6 en Hansweert gedurende de calibratieperiode
- 5.3a Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de verificatieperiode
- 5.3b Verhouding hoogwaters in meetpunt 6 en Hansweert gedurende de verificatieperiode

Figuren

- 3.1a Ligging Molenplaat en nabij gelegen geulen en platen
- 3.1b Dieptelijnen Molenplaat en ligging meetraai
- 3.2a Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte logaritmische profiel; Meetpunt 1, 0.178 m boven de bodem
- 3.2b Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte logaritmische profiel; Meetpunt 1, 0.663 m boven de bodem
- 3.2c Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte logaritmische profiel; Meetpunt 1, 1.158 m boven de bodem
- 3.2d Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte logaritmische profiel; Meetpunt 1, 1.668 m boven de bodem
- 4.1 Gridschematisatie van het Scaldis model
- 4.2 Run T07; Stations Hansweert, Terneuzen, Vlissingen en Bath: berekende waterstanden tegen getijvoorspellingen
- 4.3 Run T09; Stations Hansweert, Terneuzen, Vlissingen en Bath: berekende waterstanden tegen getijvoorspellingen
- 5.1 Ligging van het Molenplaat model in de Westerschelde
- 5.2 Gridschematisatie Molenplaat model
- 5.3a Diepteschematisatie van het Molenplaat model
- 5.3b Diepteschematisatie van de Molenplaat in het Molenplaat model
- 5.4a Run 12a. Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5, mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6.
- 5.4b Run 12a. Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten, meetpunt 1/2 en meetpunt 3/5
- 5.4c Stations Hansweert, meetpunt6 en meetpunt 9. Berekende waterstand tegen resp. voorspelling en metingen, Runs T07 en 12a
- 5.5a Run m14. Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5, mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6.
- 5.5b Run m14. Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten, meetpunt 1/2 en meetpunt 3/5
- 5.6a Run m16. Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5, mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6.
- 5.6b Run m16. Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten, meetpunt 1/2 en meetpunt 3/5
- 5.6c Stations Hansweert, meetpunt6 en meetpunt 9. Berekende waterstand tegen resp. voorspelling en metingen, Runs T09 en m16
- 5.7a-j Snelheidsvelden voor het gebied rond de Molenplaat, om het uur gepresenteerd, run m16
- 5.8a Run m15. Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5, mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6.
- 5.8b Run m15. Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten, meetpunt 1/2 en meetpunt 3/5
- 7.1 De relatie tussen de bodem schuifspanning en de sedimentsamenstelling
- 7.2 Ruimtelijke verdeling van de maximale bodemschuifspanning
- 7.3 Ruimtelijke verdeling van de netto dagelijkse cumulatieve slib-sedimentatieflux
- 7.4 Ruimtelijke verdeling van de dagelijkse cumulatieve advectieflux van slib
- 8.1 De positie van de monsterplaatsen op de Molenplaat bij de bemonstering in:
 - a) maart
 - b) juni.
- 8.2 De gemiddelde korrelgrootte van de locaties bemonsterd in maart
- 8.3 Het gehalte slib van de locaties bemonsterd in maart
- 8.4 De ruimtelijke verdeling van het chlorofylgehalte in het oppervlakkige sediment

- 8.5 De ruimtelijke verdeling van de dominante voedingsgroepen (suspensie-eters en diepe depositie-eters) voor de bemonstering van maart
- 8.6 De ruimtelijke verdeling van de dominante voedingsgroepen (suspensie-eters en diepe depositie-eters) voor de bemonstering van juni
- 8.7 De verdeling van de fauna over de verschillende voedingsgroepen voor klassen van sedimentsamenstelling.
- 8.8a Ruimtelijke verdeling van suspensie-eters en schuifspanningen op de bodem
- 8.8b Ruimtelijke verdeling van depositie-eters en netto slib-sedimentatieflux
- 8.9 Ruimtelijke verdeling van TWINSPAN clusters en de verdeling van de verschillende voedingsgroepen binnen deze clusters
- 8.10 Ruimtelijke verdeling van TWINSPAN clusters en de gemiddelde biomassa van deze clusters
- 8.11 Hiërarchisch clusterdiagram met de indicatorsoorten van de verschillende onderverdelingen.
- 8.12 Ruimtelijke verspreiding van *Arenicola marina* in de juni-bemonstering
- 8.13 Ruimtelijke verspreiding van *Heteromastus filiformis* in de juni-bemonstering
- 8.14 Ruimtelijke verspreiding van *Cerastoderma edule* in de juni-bemonstering
- 8.15 Ruimtelijke verspreiding van *Mya arenaria* in de juni-bemonstering
- 8.16 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis diversicolor* in de juni-bemonstering
- 8.17 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis succinea* in de juni-bemonstering
- 9.1 Ruimtelijke verdeling van de groei van filtreerders (aantal individuen per m²)
- 9.2 Ruimtelijke verdeling van de groei van deposit feeders (aantal individuen per m²)

1 Inleiding

Het in dit rapport beschreven BEON MICRO-MACRO project is een onderdeel van het project 'Voorbereiding van een integrale habitatkartering van het Nederlandse deel van het Continentale plat en van de Nederlandse kustwateren, inclusief Waddenzee en Deltawerken'. Dit project is door BEON opgedragen aan IBN-DLO en samenwerkende instellingen (NIOO-CEMO, NIOZ, RIKZ, RIVM, RIVO-DLO en WL) in contract RKZ-163.

Het werkplan van het volledige project is vastgelegd in de notitie 'Werkplan voor een gezamenlijk habitat project' van IBN-DLO. De grote lijnen van het werkplan zijn tot stand gekomen tijdens een workshop gehouden in Den Haag op 4 Mei 1995, en daarna uitgewerkt en aangevuld door de verschillende deelnemers aan deze workshop. De eindredactie berustte bij prof. dr. W.J. Wolff (IBN-DLO).

Dit rapport bevat een beschrijving van de WL activiteiten, uitgevoerd in 1995, voor het onderdeel MICRO-MACRO. In hoofdstuk 2 wordt de doelstelling van het project beschreven en wordt een globaal overzicht gegeven van de werkzaamheden van zowel WL, NIOO als RIKZ. Hoofdstuk 3 bevat een overzicht van de data die beschikbaar was voor de calibratie en validatie van het te ontwikkelen hydrodynamisch model van de Molenplaat. Deze data is door Marijke Ruitenbeek, studente fysische geografie aan de universiteit van Utrecht, bewerkt en geanalyseerd (zie (Ruitenbeek, 1995)).

In hoofdstuk 4 wordt het Scaldis model beschreven: het 2D waterbewegingsmodel van de Westerschelde, ontwikkeld door RIKZ. Hoofdstuk 5 betreft het opzetten en afregelen van het gedetailleerde 2D hydrodynamisch model van de Molenplaat.

Hoofdstuk 6 bevat opmerkingen en conclusie: m.b.t. de hydrodynamische modellering. In hoofdstuk 7 wordt de transport modellering van het zwevende stof beschreven. Tevens worden hier de resultaten gegeven voor de Westerschelde, met name in en op de Molenplaat. Hoofdstuk 8 behandelt de veldwaarnemingen van het macrobenthos op de Molenplaat en de vergelijking van deze gegevens met de resultaten van het hydrodynamisch/transport model. Tot slot wordt in Hoofdstuk 9 beschreven hoe het hydrodynamisch/transport model is uitgebreid met biomassa formuleringen om de ruimtelijke verdeling van het macrobenthos op de Molenplaat te modelleren. De resultaten van dit model zijn vergeleken met de veldwaarnemingen.

2 Doelstelling en werkzaamheden

Het MICRO-MACRO project wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen NIOO, RIKZ EN WL. Doel van het project (in 1995) is het onderzoeken van de processen die de ruimtelijke verdeling van macrobenthos op een getijdeplaat bepalen, als een functie van voedselbeschikbaarheid en hydrodynamische factoren op een ruimtelijke schaal binnen een individuele plaat.

De vraag naar een dergelijk onderzoek is ontstaan doordat de verspreiding van macrobenthische organismen in estuariene systemen een sterke patchiness en grote variabiliteit in biomassa-waarden vertonen. Hierdoor is het moeilijk een goede beschrijving te geven van de functionele rol van het macro-benthos in de voedselkringloop van estuariene systemen: toevallige bemonsteringen in een beperkt aantal stations leveren tijdreeksen op waaruit zeer moeilijk algemene eigenschappen als seizoens dynamiek en gemiddelde voedselopname zijn af te leiden. Ook zijn langjarige trends in soortensamenstelling, dichtheid en biomassa van het benthos in grote delen van estuaria lastig aan te tonen. De grote variabiliteit tussen de monsterpunten vermindert de waarde van de uitkomsten van statistische testen, die eigenlijk een grotere bemonsteringsinspanning vragen dan economisch haalbaar.

In dit project wordt er van uitgegaan dat inzicht in deze problemen kan worden verkregen door een analyse van de factoren die de variabiliteit in dichtheid en biomassa bepalen. Belangrijk hierbij is de schaal waarop de diverse processen zich afspelen en hun invloed doen gelden.

Met betrekking tot grootschalige verspreiding van benthische filtreerders blijkt bijv. een relatie te bestaan tussen de systeem-gemiddelde biomassa van filtreerders en de residentietijd van het water in de estuariene systemen. Op basis hiervan en op basis van resultaten van andere onderzoeken kan hiermee de hypothese gesteld worden dat, op de schaal van het hele systeem, voedsel de bepalende factor is voor de biomassa van benthische filtreerders.

Op kleinere schaal (van een getijdeplaat) blijkt uit de ecofysiologische literatuur dat de voedselopname, en afgeleid de groei, o.a. sterk gerelateerd is aan de stroomsnelheid van water. Daarnaast beïnvloedt de stroomsnelheid ook de mogelijkheid van jonge dieren op een bepaalde plaats te vestigen. Verder is het belangrijk rekening te houden met voedselcompetitie in dichte bedden: aan de rand van een dicht bed blijken dieren sneller te groeien dan in het centrum. Ook de kwetsbaarheid voor predatie (krabben, vogels, ..) speelt een mogelijke rol in de ruimtelijke verdeling van benthische filtreerders op micro-schaal.

Het MICRO-MACRO project betreft in 1995, wegens beperkte financiële middelen, alleen het MICRO-deel: een onderzoek naar de relatie tussen hydrodynamische factoren en kleinschalige verspreiding van macro-benthos. Hiertoe wordt een twee dimensionaal hydrodynamisch model ontwikkeld van de Molenplaat, een getijdeplaat in de Westerschelde. Met de berekende waterbeweging wordt voor één getij de netto en bruto sedimentatie van voedsel en sediment berekend onder aanname van een constante concentratie verdeling in de verticaal, en een constante concentratie op de rand. Dit sedimentatiepatroon wordt vergeleken met het voorkomen van macro-benthos in het veld. Verder zal door implementatie van een filtratie formulering een evenwicht worden bepaald tussen de sedimentatie flux en de consumptie door het benthos, met en zonder resuspensie van niet gegraasd materiaal.

Voor de gemodelleerde waterbeweging is het hierbij van belang dat zowel de grootte als ook de richting van de snelheden op de plaat zo goed mogelijk worden gerepresenteerd. De grootte van de snelheden beïnvloeden de sedimentatie en resuspensie, de richting de

locaties waar voedsel en sediment op de plaat worden aangevoerd.

Deze eerste berekeningen in 1995 vormen een aanzet voor vervolgonderzoek in 1996 en 1997, waarbij er naar wordt gestreefd meer in detail procesonderzoek te doen: door de aanname van een constant concentratieprofiel in de verticaal wordt in het huidige project een vereenvoudiging van de werkelijkheid gemaakt. In de natuur kan afhankelijk van de valsnelheid en de horizontale transportsnelheid door filtratie voedseldepletie vlak boven de bodem ontstaan. Hierbij speelt ook de grootte van de verticale turbulentie, en de mogelijke invloed van golven en wind een rol. Daarnaast is de filtratiesnelheid van het benthos van groot belang, en mogelijk ook van invloed op het verticale snelheidsprofiel. Dit maakt dat drie-dimensionale modellering onontbeerlijk is.

Naast hydrodynamische factoren zijn seizoensinvloeden cruciaal voor het voorkomen van benthos op een specifieke plaats: de hoeveelheid licht die doordringt in de waterlaag, maar ook de herfststormen die het grootste deel van het voedselrijke slib in korte tijd kunnen doen eroderen.

Naast dit detail-onderzoek op MICRO-schaal wordt er naar gestreefd het onderzoek in 1996/1997 te richten op de boven beschreven verschijnselen op MACRO-schaal. Mogelijke onderwerpen zijn een onderzoek naar de toepasbaarheid op MACRO-schaal van de op MICRO-schaal gevonden relaties, en de rol van andere sturende factoren (behalve voedselaanbod).

De taken van NIOO, RIKZ en WL voor 1995 zijn als volgt verdeeld:

NIOO:

- bestuderen van de ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos, alsook de korrelgrootte verdeling over de plaat en de biomassa-verdeling van het microfytobenthos.
- onderzoek naar verbanden/relaties tussen fysische parameters en de verspreiding van macrobenthos op de plaat

RIKZ:

- verrichten van ecofysiologische metingen aan suspensie-eters
- coördinatie (via de Meetdienst) van de uitvoering van fysische metingen op de Molenplaat

WL:

- opzet en afregeling van een gedetailleerd 2Dh hydrodynamisch model van de Molenplaat
- voorspellen van de ruimtelijke verspreiding van het macro-benthos m.b.v. het hydrodynamisch Molenplaat model en een ecologisch model
- onderzoek naar verbanden/relaties tussen fysische parameters en de verspreiding van macrobenthos op de plaat
- berekenen van de voedsel balans (koolstof c.q. nutriënten fluxen) voor het macrobenthos op een fijn grid

3 Beschikbare data

3.1 Meetcampagne 'Zeekat'

Van donderdag 15 juni tot en met maandag 26 juni 1995 zijn er veldmetingen verricht op de Molenplaat ten behoeve van het MICRO-MACRO project. Tijdens deze veldperiode lag het meetponton de 'Zeekat' van Rijkswaterstaat aan de noordzijde van de plaat. Langs het ponton liep een meetraai haaks op de plaatrand, van de laagwaterlijn tot het hoogste punt van de plaat ter plaatse van de raai (zie figuren 3.1a en b).

Op 9 punten langs de raai waren snelheidsmeters en waterstandsmeters aangebracht volgens het schema in tabel 3.1.

In meetpunt 1 (laagwaterlijn) is m.b.v. vier boven elkaar bevestigde snelheidsmeters een snelheidsprofiel gemeten. De snelheidsmeters van meetpunten 2 tot en met 5 hebben zowel de grootte als de richting van de stroming gemeten, de meters in de overige meetpunten alleen de grootte.

3.2 Metingen van stroomsnelheden

3.2.1 Overzicht

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de begin- en eindtijdstippen en de periodes gedurende welke snelheidsmetingen hebben plaatsgevonden.

De metingen op *meetpunt 5* zijn voor de hele meetperiode onbetrouwbaar, dat wil zeggen dat de hoogten en het verloop van de gemeten snelheden erg onwaarschijnlijk zijn. Van 15-5-95 tot en met 17-6-95 11.00u zijn de snelheden erg hoog t.o.v. de overige metingen, ca. 50 tot 90 cm/s. Op 17-6-95 van 14.00u tot en met 22.30u is het verloop erg grillig. Op 18-8-95 loopt de snelheid af van 40 cm/s tot ongeveer 10 cm/s. Vervolgens zijn er geen meetwaarden voor de periode 18-6-95 14.00u tot en met 20-6-95 15.00u. Van 20-6-95 15.00u tot en met 25-6-95 16.00u zijn de snelheden onwaarschijnlijk laag, tussen de 5 en de 15 cm/s.

Op *meetpunt 7* is alleen voor de periode 3.00u tot en met 22.00u op 17-6-95 een meetsignaal geregistreerd. Dit signaal bestaat echter uit een serie pieken met veel nulwaarden ertussen. Van punt 7 zijn dus geen gegevens beschikbaar.

Op *meetpunt 8* is alleen voor twee korte perioden de stroomsnelheid gemeten. Namelijk van 2.00u tot en met 20.30u op 16-6-95 en van 16.15u tot en met 21.00u op 19-6-95.

Tabel 1 Overzicht van de begin- en eindtijdstippen en de periodes gedurende welke snelheidsmetingen hebben plaatsgevonden

	15/6	16/6	17/6	18/6	19/6	20/6	21/6	22/6	23/6	24/6	25/6	26/6
MP1												
ott1	11.00	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	06.00
ott2	11.00	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	06.00
ott3	11.00	XX	XX	XX	XX	16.30	----	02.00	XX	XX	XX	06.00
ott4	11.00	XX	XX	XX	XX	16.30	----	02.00	XX	XX	XX	
MP2	12.30	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	14.00	----
MP3	17.00	XX	11.00/ 23.00 ----	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	06.00
MP4	17.00	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	18.00	----
MP5	ONBETROUWBAAR (zie beschrijving)											
MP6	13.00	XX	05.40	16.00	XX	XX	XX	XX	XX	XX	XX	05.00
MP7	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
MP8	----	02.00/ 20.30	----	----	16.15- 21.00	----	----	----	----	----	----	----
MP9	----	----	03.00	10.00	----	----	----	08.00	XX	XX	XX	05.00

---- = geen metingen

XX = wel metingen

3.2.2 Analyse

De snelheidsmeters 1 t/m 9 zijn geplaatst vanaf de laagwaterlijn naar hogere delen van de plaat. Door de hogere bodemligging neemt de hydraulische weerstand toe, en de verwachting is dat de snelheid in meetpunt 1 het grootst is, langzaam afneemt en vervolgens in meetpunt 9 het kleinst is.

De metingen in meetpunt 1 vertonen gedurende de calibratieperiode (23/6-25/6) een vrij regelmatig verloop. In meetpunt 2 daarentegen varieert de grootte per getij aanzienlijk en is op 24/6 de snelheid zelfs ca. 10 cm/s kleiner dan in meetpunt 1, terwijl de punten dicht bij elkaar liggen. In meetpunt 3 zijn de waarden weer regelmatig en is de grootte (dieptegemiddeld) vergelijkbaar met die in meetpunt 1 (soms zelfs iets groter). Meetpunt 4 vertoont weer een wat grilliger patroon, en ook hier zijn de snelheden soms zelfs weer wat groter dan in meetpunt 3. In meetpunten 6 en 9 (5, 7 en 8 zijn niet bruikbaar) nemen de snelheden dan toch af en zijn ze weer vrij regelmatig.

De grillige patronen zijn grotendeels te verklaren door de aanwezigheid van kleine geultjes. Een snelheidsmeter die in of dichtbij een geultje staat zal een andere snelheid meten dan één die op een vlak, ondiep stuk staat. Omdat het Molenplaat model rekent op een rooster van minimaal 40x40 m kunnen lokale geultjes niet worden mee gemodelleerd. Bovenstaande fluctuaties zullen dus nooit exact gereproduceerd worden door het model.

Vanwege de onregelmatigheden en grilligheden van de snelheidsmetingen in meetpunten 2 en 4 is bij de calibratie de meeste aandacht geschonken aan de waarden in meetpunten 1, 3, 6 en 9.

3.2.3 Dieptegemiddelde snelheden

De snelheidsmeters zijn vrijwel allemaal geplaatst op enkele centimeters boven de bodem. Om ze te kunnen vergelijken met resultaten uit een twee-dimensionaal diepte-gemiddeld

hydrodynamisch model is het noodzakelijk ze te corrigeren naar dieptegemiddelde snelheden.

Voor de berekening van de dieptegemiddelde snelheden is een logaritmisch snelheidsprofiel aangenomen:

$$v(z,t) = \bar{v}(t) \frac{\log(32 z) - \log(k_s)}{\log(12 D(t)) - \log(k_s)} \quad (1)$$

waarin:

$D(t)$ = afstand wateroppervlakte tot de bodem (m) = $D_{NAP} + h(t)$

$h(t)$ = waterstand ten opzichte van NAP (m)

D_{NAP} = afstand NAP tot de bodem (m)

z = afstand meetinstrument tot de bodem (m)

k_s = Nikuradse ruwheidslengte. De waarde van k_s is plaatsafhankelijk en kan dus voor de diverse meetpunten verschillen.

Vergelijking (1) is afgeleid van

$$v(z,t) = \frac{v_*}{\kappa} \log \left(\frac{32z}{k_s} \right) \quad (2)$$

waaruit door middeling over de diepte volgt

$$\bar{v}(t) = \frac{v_*}{\kappa} \log \left(\frac{12 D(t)}{k_s} \right) \quad (3)$$

Deze aanname is getoetst voor meetpunt 1 waar snelheidsprofielen zijn gemeten met behulp van 4 snelheidsmeters op respectievelijk 17.8 cm (ott1), 66.3 cm (ott2), 115.8 cm (ott3) en 166.8 cm (ott4) boven de bodem. Voor deze toets is een dieptegemiddelde snelheid bepaald op basis van ott3 en formule (1) (met $z = 115.8$ cm). Vervolgens zijn met de dieptegemiddelde snelheid en opnieuw formule (1) per tijdstip snelheden bepaald voor $z = 17.8$ cm, $z = 66.3$ cm, en $z = 166.8$ cm. Deze berekende snelheden zijn vervolgens uitgezet tegen de gemeten in figuren 3.2a t/m 3.2d. Uit deze figuren blijkt dat de gemeten profielen met een spreiding van ca. 10 cm/s aan het aangenomen snelheidsprofiel voldoen.

3.3 Metingen van waterstanden

De waterstanden zijn gemeten op meetpunten 6 en 9 van de raai, en bij het meetpunt de Zeekat. De Zeekat lag op ongeveer 40 meter van de meetraai, ter hoogte van meetpunt 3. In de meetreeks gemeten bij de Zeekat is de tijdwaarneming niet altijd goed. Deze is gecorrigeerd met behulp van de meetreeksen gemeten bij meetpunt 6 en 9. Bovendien was het referentieniveau van de meting bij de Zeekat niet bekend. Aangenomen is dat de metingen t.o.v. NAP zijn.

De drie meetreeksen van de waterstanden verschillen niet in fase of vorm. Alleen de tijdstippen waarop demeters droogvallen verschillen door het verschil in hoogteligging. Naast de waterstandsmetingen verkregen uit de meetcampagne op de Zeekat is voor de afregeling van het Molenplaat model gebruik gemaakt van de hoog- en laagwaterstanden te Hansweert zoals weergegeven in de Getijtafels voor Nederland, 1995.

4 Scaldis model

4.1 Inleiding

Het Scaldis model is een tweedimensionaal hydrodynamisch model, ontwikkeld door RIKZ voor het berekenen van waterstanden en dieptegemiddelde stroomsnelheden in de Westerschelde, en gebaseerd op het programmapakket WAQUA. Het wordt in dit project gebruikt om randvoorwaarden te genereren voor het gedetailleerde Molenplaat model.

4.2 Modelopzet

Modelgrenzen

Scaldis wordt zeewaarts begrensd door de lijn Westkapelle - Vlakte van de Raan - Zeebrugge. Stroomopwaarts ligt de modelbegrenzing bij Gent.

Roosterschematisatie

Het kustgebied is gedefinieerd op een rechthoekig netwerk met een maaswijdte variërend van 100 m tot 400 m. Op de Westerschelde is de maaswijdte overal 100 x 100 m terwijl de Zeeschelde op een kromlijinig netwerk is gedefinieerd met een maaswijdte variërend van 30 tot 100 m.

Het gebied stroomopwaarts van Rupelmonde tot de stuwen bij Gent is schematisch in het model gebracht, zie figuur 4.1.

Bodemschematisatie

De oorspronkelijke bodemschematisatie van Scaldis is gebaseerd op vaklodingen uit 1988. Voor de huidige toepassing is de bodem van het gebied rond de Molenplaat opnieuw geschematiseerd met vaklodingen uit 1994.

Randvoorwaarden

De zeezijde van het model is gedefinieerd als een open rand waarop waterstanden in de vorm van getijcomponenten als randvoorwaarden worden opgelegd. In het model zijn op een aantal plaatsen bronnen opgenomen om de aanvoer van zoet water te simuleren. Opgelegd zijn de afvoeren van de Schelde te Gent en de Rupeltak, de Antwerpse dokken, het Zoommeer en het kanaal van Terneuzen naar Gent. Voor de bovenafvoer van de Schelde is het jaargemiddelde van 1992 genomen.

Saliniteit

Scaldis gebruikt bij aanvang van een modelsimulatie een niet-uniforme horizontale saliniteitsverdeling, berekend met het E-WestII model (zie (Dekker et al., 1993) en gebaseerd op een hoge of lage bovenafvoer van de Westerschelde (afhankelijk van de gekozen simulatieperiode). De kleine gevolgen van de horizontale dichtheidsverschillen op de getijbeweging worden hierdoor gedurende de simulatie in enige mate meegenomen.

Numerieke en fysische parameters

Rekentijdstap:	0.5 min.
Bodemwrijving:	Manning coëfficiënt = 0.022
Gravitatieconstante:	9.813 m/s ²
Viscositeitscoëfficiënt:	10 m ² /s
Waterdichtheid:	1023 kg/m ³
Luchtdichtheid:	1.205 kg/m ³

4.3 Runs t.b.v. randvoorwaarden Molenplaat model

Voor de huidige toepassing zijn alle invoerfiles van Scaldis omgezet naar een format geschikt voor Trisula, het 2D/3D programmapakket voor hydrodynamische berekeningen van WL. Daarbij is de bodemschematisatie lokaal aangepast aan de situatie van 1994 (meest recent beschikbare gegevens), en zijn de randvoorwaarden bestaande uit tijdreeksen vervangen door getijcomponenten.

Run T07 is gedraaid om randvoorwaarden voor het Molenplaat model te genereren voor de calibratie periode 23/6-25/6. Ter verificatie van de resultaten zijn de hoog- en laag waters bij Hansweert, Vlissingen, Terneuzen en Bath (afkomstig uit 'Getijtafels voor Nederland') vergeleken met de berekeningen (zie figuur 4.2). De berekeningen zijn, voor de huidige toepassingen, voldoende nauwkeurig.

Run T09 is gedraaid om randvoorwaarden voor de verificatieperiode (17/6-20/6) te bepalen. De resultaten in de 4 genoemde stations zijn een stuk minder goed dan die van run T07, met name de laagwaters worden te groot berekend (zie figuur 4.3). De oorzaak is vooralsnog onduidelijk. Van invloed kan de gemodelleerde grootte van de bovenafvoer van de Schelde zijn (jaargemiddelde 1992), die wellicht teveel afwijkt van de reële afvoer gedurende deze periode. Echter, dit alleen kan de grootte van de gevonden verschillen niet verklaren, en een gevoeligheidsonderzoek naar de invloed van diverse parameters op de berekende waterstanden is eigenlijk noodzakelijk. Dit is niet uitgevoerd omdat een fijnafregeling van het Scaldis model niet in het huidige project was inbegrepen.

4.4 Modelvalidatie

Uit berekeningen die zijn uitgevoerd door Rijkswaterstaat (Dekker et. al., 1994) blijkt dat het getij niet altijd goed wordt voorspeld door Scaldis. Het getijverschil is te klein bij springtij en te groot bij doortij. Dit wordt, volgens de auteurs, waarschijnlijk veroorzaakt doordat bij hogere stroomsnelheden de bodemwrijving in delen van het estuarium afneemt waardoor het model een kleiner getijverschil berekent dan in de natuur optreedt. De verschillen tussen de berekende waterstanden en de gemeten waterstanden bedragen 0,05 tot 0,13 meter. Uit een proef met DufLOW (Bollenbakker, 1994), waarbij het waterstandsverloop tijdens een springtij bij een lage en een hoge afvoer is vergeleken, is gebleken dat de grootte van de afvoer een forse invloed heeft op de middenstand en het getijverschil (orde centimeters).

Uit de calibratie van de stroomsnelheidsberekeningen blijkt dat de berekende stroomsnelheden over het algemeen 10-20 % afwijken van de gemeten waarden. De grootste afwijkingen zijn geconstateerd op de platen en op de geulranden en kunnen tot zo'n 100% bedragen. Voor een gedetailleerde beschrijving van het Scaldis model wordt verwezen naar (Dekker et al., 1994).

5 Molenplaat model

5.1 Inleiding

Het Molenplaat model is een tweedimensionaal hydrodynamisch model gebaseerd op Trisula, dat is genest in het Scaldis model. Het is ontwikkeld om de waterstanden en stroomsnelheden op de Molenplaat zo goed mogelijk te voorspellen. Omdat de Molenplaat omgeven wordt door andere bij eb droogvallende platen (Schaar van Ossensisse, Rug van Baarland) was het noodzakelijk om ook deze getijplaten in het Molenplaat model op te nemen. Enerzijds omdat een open rand die gedefinieerd wordt op een droogvallende plaat i.h.a. meer storingen (onnauwkeurigheden in aanstroomrichting en fases) in het model introduceert dan een rand die voortdurend nat is, en anderzijds omdat de omliggende platen een bron vormen van zwevend sediment dat o.a. op de Molenplaat kan sedimenteren. De 'juiste' sediment toevoer naar de Molenplaat wordt zodoende door het model zelf berekend, wat naar verwachting nauwkeuriger is dan op een open rand dicht bij de Molenplaat tijdsafhankelijke sedimentconcentraties te definiëren.

5.2 Modelopzet

Modelgrenzen

In het zuid-westen wordt het model begrensd door een open snelheidsrand vrijwel loodrecht op de oevers, net voorbij de rug van Baarland. In het zuid-oosten wordt het model begrensd door een open waterstandsrand vrijwel loodrecht op de oevers, net voorbij de plaat van Ossensisse (zie figuur 5.1).

Roosterschematisatie

Het model is gedefinieerd op een rechthoekig grid waarvan de x-richting evenwijdig loopt met de geul tussen de Molenplaat en de rug van Baarland. De maaswijdte varieert van ca 40x40 m op de Molenplaat tot ca 100x100 op de open randen van het model (zie figuur 5.2).

Bodemschematisatie

De bodemschematisatie is voornamelijk gebaseerd op vaklodingen (op een grid van 20x20 m) uit 1994, aan de zuid-oost rand en zuid-west rand aangevuld met diepte gegevens uit het Scaldis model (zie figuren 5.3a en b).

Randvoorwaarden

Het model wordt in het zuid-westen aangestuurd door een u-rand en in het zuid-oosten door een h-rand (tijdreeksen).

Saliniteit

In het gebied rondom de Molenplaat is de horizontale saliniteitsverdeling vrij homogeen (ca 25 ppt). In het Molenplaat model wordt daarom een uniforme dichtheidsverdeling verondersteld.

Numerieke en fysische parameters

Rekentijdstap:	0.25 min.
Bodemwrijving:	Manning coëfficiënt = 0.013, 0.022 en 0.045, zie paragraaf 5.3
Gravitatieconstante:	9.813 m/s ²
Viscositeitscoëfficiënt:	10 m ² /s
Waterdichtheid:	1017 kg/m ³
Luchtdichtheid:	1.205 kg/m ³

5.3 Calibratie en verificatie

5.3.1 Inleiding

Diverse calibratieruns zijn uitgevoerd voor de periode 23-6 t/m 25-6 (zie tabel 5.1). Gedurende deze periode was het (ongeveer) dood-tij, waren de snelheidsmetingen het meest volledig en was de windsnelheid zwak en constant van richting (ca 5 m/s, vanuit het noorden).

Ter verificatie is de periode 18-6 t/m 20-6 gekozen. Gedurende deze periode was de windsnelheid gemiddeld ca 6 m/s en vanuit westelijke richting.

5.3.2 Invloed van rekentijdstap

Als eerste zijn enkele test-runs gedraaid om de invloed van de grootte van de rekentijdstap te onderzoeken. Berekeningen van waterstanden en snelheden met tijdstappen van resp. 3, 6 en 15 sec. gaven onderling geen zichtbare verschillen. Alle simulaties zijn daarom met een tijdstap van 15 sec. uitgevoerd.

5.3.3 Invloed van de ruwheidsparameter

De grootte van de ruwheidsparameter heeft een grote invloed op de weergave van de stroomsnelheden op de bij eb droogvallende delen van de Molenplaat. Tevens is een juiste keuze van de ruwheidslengte voor het corrigeren van de snelheidsmetingen naar dieptegemiddelde waarden (zie paragraaf 3.2.3) noodzakelijk om een correcte en eerlijke vergelijking tussen rekenresultaten en metingen te kunnen maken.

Het centrale deel van de Molenplaat is erg slibrijk (in ieder geval gedurende de meetperiode) en glad, terwijl de westelijke kop juist wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van zand en ribbels.

Bij het toetsen van de metingen in meetpunt 1 aan het aangenomen logaritmisch snelheidsprofiel (zie paragraaf 3.2.3) is $k_s = 0.034$ genomen, wat bij benadering overeen komt met een Manningscoëfficiënt n ter grootte van 0.022, zoals gebruikt in het Scaldis model. Meetpunt 1 ligt aan de Noordrand van de plaat, waar de bodem uit een combinatie van zand en slib bestaat en ook wat kleinere ribbels vertoont.

Op het centrale deel van de Molenplaat is de mediane korrelgrootte ca 290 micrometer. Bij vrijwel afwezigheid van duinen en ribbels wordt hier de bodemruwheid door de korrelgrootte bepaald. Een schatting voor de ruwheidsparameter k_s is: $3 \cdot \text{korrelgrootte} = 0.00087$ m (zie (van Rijn, 1990)). Dit komt bij benadering overeen met $n = 0.013$.

Aan de westelijke kop van de Molenplaat bevinden zich megaribbels die voornamelijk de bodemruwheid bepalen. Aannemende dat de megaribbels een gemiddelde lengte van 10 m en een hoogte van ca 1 m hebben geeft dit een schatting voor k_s van 0.706 m, wat bij benadering overeenkomt met een Manning coëfficiënt n van 0.045.

In overeenstemming met de modellering van de bodemruwheid in het Scaldis model is met het Molenplaatmodel een simulatie gedaan waarbij een constante Manning coëfficiënt ter grootte van 0.022 is gebruikt (runid m04). Dit gaf behoorlijk goede resultaten wat betreft de grootte van de snelheden in meetpunten 1, maar veel te lage snelheden in de hoger gelegen meetpunten op de plaat. Gezien bovenstaande uitleg m.b.t. de ruimtelijk variërende grootte van de ruwheidslengte k_s op de plaat liggen deze resultaten in de lijn

variërende grootte van de ruwheidslengte k_s , op de plaat liggen deze resultaten in de lijn van de verwachtingen.

Na enkele testruns is uiteindelijk een simulatie gedaan (runid 12a) waarbij een ruimtelijk variërende Manningcoëfficiënt is gedefinieerd met de waarden: $n = 0.013$ op het centrale deel van de Plaat, $n = 0.045$ aan de westelijke kop (alleen in de x-richting, omdat de ribbels dwars op de stroomrichting liggen), en $n = 0.022$ op de overige delen van de plaat en in de rest van het model. De snelheidsmetingen zijn overeenkomstig gecorrigeerd naar dieptegemiddelde waarden: voor Meetpunten 1 en 2 is $k_s = 0.034$ m gebruikt, terwijl de overige metingen zijn gecorrigeerd met $k_s = 0.00087$ m. De resultaten zijn gepresenteerd in figuren 5.4a t/m 5.4c. Een beschrijving van deze figuren en run 12a wordt gegeven in paragraaf 5.4.1.

M.b.t. de bodemruwheid kan nog worden opgemerkt dat, afhankelijk van de bodemsamenstelling, de stroomsnelheden en de aanvoer van sediment, de bodemruwheid gedurende eb en vloed niet hetzelfde is. Als de ribbels en duinen aan de bodem a-symmetrisch van vorm zijn en zodanig stabiel dat de vorm niet veranderd o.i.v. veranderende getijomstandigheden (of slechts met een grote faseachterstand op het getij), dan kan het gebeuren dat bij eb de bodemruwheid groter is dan bij vloed.

Dit zou ook bij de Molenplaat het geval kunnen zijn, gezien de a-symmetrische ribbels die zich op de westelijke kop van de plaat bevinden. Het is echter momenteel niet mogelijk deze a-symmetrie in de modellering mee te nemen.

5.3.4 Invloed van de wind

Ondanks het feit dat de wind gedurende de calibratieperiode zwak was, is de invloed ervan op de rekenresultaten niet te verwaarlozen. Met name de snelheden in de meetpunten op de hoogst gelegen delen van de plaat (meetpunten 6 en 9) worden door de wind beïnvloed.

Daarom is er een simulatie gedaan (runid m14) met de ruimtelijke bodemruwheid gedefinieerd als in de vorige paragraaf, en een constante noorden wind ter grootte van 5 m/s, globaal in overeenstemming met de wind gedurende de meetperiode. De resultaten zijn gepresenteerd in figuren 5.5a - 5.5b. Een beschrijving van deze figuren en run m14 wordt gegeven in paragraaf 5.4.1.

5.3.5 Invloed van de bodemligging op de platen en in de geulen

Enkele testruns zijn uitgevoerd om de invloed van een bodemaanpassing op de plaat en in de ebgeul te onderzoeken. Dit met als doel de omkering van de u-component van de snelheid van oost naar west te bespoedigen (run m11: verdieping van de eb-geul waardoor de eb-stroom wordt vergroot, run m11; runs m09 en m10: ophoging van westpunt van de plaat, zodat de u-component wordt gedwongen eerder om te keren).

Met run m09 wordt het beoogde effect voor de u-component bereikt, maar verslechtert de v-component zodanig (qua grootte en vorm) dat de ophoging van dit deel van de Molenplaat geen substantiële verbeteringen van de modelweergave betekent. Met run m10 wordt het beoogde effect op de u-component in mindere mate bereikt en is de weergave van de v-component qua grootte en vorm toch nog slechter dan zonder de bodemaanpassing.

Uit de resultaten van run m11 blijkt dat met een verdieping van de eb-geul met 10% het beoogde effect niet bereikt wordt: de u-component wordt wel kleiner in oostelijke richting, maar keert niet eerder om.

Beide bodemaanpassingen zijn dus verder niet gebruikt voor de afregeling van het Molenplaat model.

5.3.6 Verificatieruns

Ter verificatie van de verkregen resultaten voor de calibratieperiode zijn twee simulaties uitgevoerd gedurende de periode 17-6 t/m 20-6. De eerste simulatie betreft er een zonder wind en een ruimtelijk variërende Manningcoëfficiënt (run m16), de tweede is gedefinieerd met een westen wind ter grootte van 6 m/s (run m15). De resultaten zijn gepresenteerd in respectievelijk figuren 5.6a - 5.6c en 5.8a - 5.8b. Beide runs worden beschreven in paragraaf 5.4.2.

5.4 Modelvalidatie

5.4.1 Calibratieperiode

Run 12a: periode 23/6 - 25/6, geen wind

Waterstanden: de waterstanden op de plaat worden in meetpunten 6 en 9 met behoorlijke nauwkeurigheid, en vergelijkbaar met Scaldis run T07, weergegeven. Er is nauwelijks faseverschil tussen de berekende en gemeten waarden, en de berekende en gemeten amplitudes verschillen slechts enkele centimeters, zie tabel 5.2a en figuur 5.4c.

In station Hansweert zien we hetzelfde verschijnsel. Hier bedragen de grootste verschillen ca. 11 - 13 cm. Deze onnauwkeurigheid zit al in het Scaldis model en wordt doorgegeven via de randvoorwaarden (zie figuur 5.4c, eerste grafiek). De verschillen zijn echter acceptabel t.o.v. de getijamplitude: het model berekent een afwijking van minder dan 10%.

De waterstandsmetingen in meetpunten 6 en 9 verschillen onderling nauwelijks, door de geringe afstand tussen beide stations. De verhouding tussen de hoogwaters van meetpunt 6 en Hansweert bedraagt gedurende deze periode gemiddeld ca. 0.95 voor de metingen, tegen 0.99 voor de berekening (zie tabel 5.2b). Dit betekent dat ook het horizontale verloop van de waterstand binnen acceptabele nauwkeurigheid wordt gesimuleerd.

Snelheden: de grootte van de berekende snelheden in meetpunten 1, 3, 6 en 9 zijn behoorlijk goed, afgezien van de grootte van de eerste snelheidspiek tijdens opkomend en hoogwater (zie figuur 5.4a).

Deze piek in de grootte van de snelheid valt samen met een piek in de v-component van de snelheid in noordelijke richting, en een omkering van de u-component van Oost naar Zuid (zie figuur 5.4b). Deze omkering wordt door het model ca. 1 uur te laat berekend. Bovendien wordt de piek in de v-component iets te laag en ook iets te vroeg berekend.

Het verschil tussen de grootte van berekende en gemeten snelheden ligt in de orde van 10 - 15 cm/s, overeenkomstig de spreiding die ontstaan is bij de omzetting van de snelheden naar dieptegemiddelde waarden (zie paragraaf 3.2.3).

Uit de modelweergave van watertsanden en snelheden kunnen we concluderen dat het model acceptabel en bruikbaar is (binnen de genoemde nauwkeurigheidsmarges) voor het analyseren van voedsel- en sediment transporten op de Molenplaat.

Run m14: periode 23/6 - 25/6, wind 5 m/s, uit het noorden

Waterstanden: De opgelegde wind heeft geen zichtbare invloed op de waterstanden op de plaat. Tabellen 5.2a en b gelden dus ook voor deze run.

Snelheden: De wind beïnvloedt met name de grootte van de snelheden op de ondiepst gelegen meetpunten, meetpunten 6 en 9, maar ook de grootte van de eerste snelheidspiek bij hoogwater in de overige meetpunten (zie figuur 5.5a).

Door de noordenwind neemt de v-component van de snelheid af in noordelijke richting, en toe in oostelijke richting. Daarnaast beïnvloedt de wind de fasering: de u-component keert iets eerder van richting om, en de v-component bereikt iets later zijn maximum (zie figuur 5.5b). De resultaten van m14 t.o.v. 12a zijn niet duidelijk beter of slechter. De verschillen tussen beide runs liggen binnen de nauwkeurigheidsmarge. Gezien de invloed van de wind op de stroomsnelheden en stroomrichting en het effect van deze veranderingen op sedimentatie en erosie van voedsel en sediment, is het wel van belang dat de wind zo goed mogelijk in de berekeningen wordt meegenomen.

5.4.2 Verificatieperiode

Run m16: periode 17/6 - 20/6, geen wind

Waterstanden: de waterstanden op de plaat in meetpunten 6 en 9 en bij Hansweert worden minder goed weergegeven dan gedurende de calibratieperiode (zie tabel 5.3a). De modelrepresentatie van de waterstanden van run m16 en Scaldis run T09 zijn in deze punten gelijkwaardig (zie figuur 5.6c).

Opvallend in tabel 5.3a is dat in meetpunt 6 de berekende hoogwaters i.h.a. tussen de 10 en 20 cm te klein zijn, met een uitschieter van 32 cm. Bij Hansweert daarentegen worden de hoogwaters met een vergelijkbare nauwkeurigheid weergegeven als tijdens de calibratie periode, maar worden de laagwaters steeds te groot berekend. In relatie tot de getijamplitude zijn de berekeningen, afgezien van de uitschieters van 32 en 34 cm, binnen 10% nauwkeurig.

De berekende en gemeten verhoudingen tussen de hoogwaters in meetpunt 6 en Hansweert zijn weergegeven in tabel 5.3b. De gemiddelde verhouding ligt voor deze periode voor de metingen op ca. 1.03 tegen 0.99 voor de berekening. In het model worden dus dezelfde verhoudingen gevonden als gedurende de calibratieperiode. De metingen laten daarentegen gedurende de verificatieperiode op de Molenplaat hogere waterstanden zien dan bij Hansweert.

Omdat zowel de waterstanden in meetpunten 6 en 9 als ook de waterstanden bij de Zeekaat hetzelfde verschijnsel vertonen (hogere waterstanden dan bij Hansweert) spelen hier mogelijk weersinvloeden een rol: een windopzet aan de rand die in de modelsimulatie niet is meegegeven, en die ook niet in de getijvoorspelling van Hansweert is meegenomen.

Snelheden: de representatie van de grootte van de snelheden is vergelijkbaar met run 12a. De snelheidspiek bij hoogwater wordt bij deze run iets beter weergegeven dan bij 12a (zie figuur 5.6a). Dit komt met name omdat de grootte van de v-component beter wordt berekend dan bij 12a, en ook de fasering van de u-component iets beter wordt gesimuleerd (zie figuur 5.6b).

Vectorvelden van de berekende snelheden zijn om het uur gepresenteerd in figuren 5.7a - 5.7j, voor het interessegebied rond en op de Molenplaat.

De modelresultaten gedurende de verificatieperiode bevestigen de conclusie van run 12a: met de huidige beschikbare metingen lijkt het model bruikbaar voor het berekenen van netto aanvoer van voedsel en sediment op de getijplaat.

Run m15: periode 17/6 - 20/6, westen wind, 6 m/s

Waterstanden: De opgelegde wind heeft geen zichtbare invloed op de waterstanden op de plaat. Tabel 5.3 geldt dus ook voor deze run.

In de simulatierun is geen rekening gehouden met een mogelijke windopzet aan de randen van het model (er waren geen metingen in de omgeving van de randen beschikbaar die hierover uitsluitel konden geven).

Snelheden: Ook hier heeft de wind een forse invloed op de grootte van de snelheden. De westelijke richting maakt de u-component in oostelijke richting groter, en in westelijke richting kleiner. De v-component neemt wat toe in noordelijke richting. M.b.t. het verschil met run m16 gelden dezelfde opmerkingen als bij de bespreking van run 14 t.o.v. run 12a. De resultaten zijn gepresenteerd in figuren 5.8a en 5.8b.

6 Opmerkingen en conclusies hydrodynamica

- De meetinstrumenten die de snelheden hebben gemeten gedurende de meetcampagne in juni 1995 waren geplaatst op enkele centimeters boven de bodem. Door omzetting naar dieptegemiddelde snelheden is een onzekerheid van ca 10 cm/s geïntroduceerd.
- Het Scaldis model is gedraaid met getijrandvoorwaarden en een jaargemiddelde bovenafvoer van de Schelde van 1992. Het Scaldis model is gecalibreerd op een springtij in 1987, aangestuurd door een meetreeks van waterstanden aan de open zee rand, en gebruikmakend van een decade gemiddelde Schelde afvoer.
Een herijking van het model voor de calibratie periode in juni 1995 met een representatieve Schelde afvoer, een aanpassing van de gehele bodemschematisatie voor 1995, en met een sturing door getijrandvoorwaarden is niet gedaan. Gezien de huidige afwijkingen in de representatie van de waterstanden t.o.v. de calibratieresultaten van RIKZ in (Dekker et al., 1994) is een herijking eigenlijk wel nodig.
- Gedurende de calibratie- en verificatieperiode worden de grootte en fasering van de snelheden door het Molenplaat model voldoende nauwkeurig berekend. Gedurende de calibratie periode worden de waterstanden zeer nauwkeurig berekend, zowel op de plaat als bij Hansweert. Ook de verhouding tussen de hoogwaters op de Molenplaat en bij Hansweert wordt acceptabel weergegeven.
Gedurende de verificatieperiode zijn de simulaties van de waterstanden minder goed, maar afgezien van een uitzondering nog wel binnen de nauwkeurigheidsmarge van 10%. Er is een onzekerheid m.b.t. de berekende verhouding tussen de hoogwaters op de Molenplaat en bij Hansweert: mogelijk spelen windinvloeden een rol. Dit maakt het beoordelen van de modelweergave van de waterstanden gedurende de verificatieperiode moeilijk.
- De modellering van de bodemruwheid is erg belangrijk (de belangrijkste calibratieparameter) voor de grootte van de snelheid op ondiepe stukken van de plaat. Mogelijk speelt een getijafhankelijke bodemruwheid een rol. Deze afhankelijkheid kan echter niet in het model worden weergegeven.
- Een windsnelheid van 5 m/s is voldoende om de grootte en richting van de snelheden op de plaat belangrijk te wijzigen. In deze studie is alleen gerekend met een constante wind en zonder de invloed van een evt. windopzet aan de randen mee te nemen. In een volgende studie zou een onderzoek gedaan kunnen worden naar het effect van een windopzet en een tijdsafhankelijke wind.
- De lokale waterstanden en de verhouding tussen de hoogwaters worden op basis van de huidige beschikbare metingen acceptabel door het model gereproduceerd. Ook de grootte van de snelheden op de Molenplaat wordt binnen de (meet)nauwkeurigheidsmarge weergegeven. Hierdoor is het model bruikbaar voor eerste berekeningen van voedsel- en sedimenttransport, inclusief erosie en sedimentatie.
- Indien het Molenplaatmodel in een vervolg onderzoek gebruikt zal gaan worden is het gewenst dat er enkele stroom- en waterstandsmetingen in de buurt van de open randen beschikbaar komen, ter verificatie van de randvoorwaarden gegenereerd door het Scaldis model en de modelresultaten buiten de Molenplaat.

7 Transportmodellering

7.1 Uitgangspunten en modelinvoer

Voor de berekening van het transport van zwevende stof in en op de Molenplaat in de Westerschelde is gebruikt gemaakt van het DELWAQ model.

Het DELWAQ model berekent dynamisch in twee dimensies de verspreiding van zwevend materiaal in de Westerschelde in de waterfase en in de toplaag van het sediment. De concentratiepatronen worden berekend op basis van transportprocessen en stofspecifieke waterkwaliteitsprocessen zoals deze in de procesbibliotheek van DELWAQ zijn gedefinieerd (WL, 1995).

Met behulp van het in voorgaande hoofdstukken beschreven Molenplaat model is voor een gemiddelde windconditie een cyclische getijwaterbeweging op de Westerschelde berekend. Dit berekende stromingspatroon vormt de basis voor de berekening van het transport van opgeloste en gesuspendeerde stoffen.

De berekening van stofverspreiding is uitgevoerd door het modelgebied te verdelen in meer dan 19.000 gridcellen. Deze gridcellen hebben een bepaalde geometrie (bijvoorbeeld 50 m x 50 m) en representeren een gebied waarin de concentratiegradiënten verwaarloosd mogen worden (homogeen gemengd). Er wordt uitgegaan van volledige menging in de verticale richting. Deze aanname is gebaseerd op een aantal praktische overwegingen. In de eerste plaats geeft een 2-D benadering voor dit modelgebied een goede indicatie van de te verwachten grootte van de slib transport fluxen. Door de geringe diepte in het modelgebied levert een 3-D schematisatie relatief weinig extra informatie op met betrekking tot de grootte orde van de fluxen. De inspanning die gemoeid is met het 3-D schematiseren van de hydrodynamica en het daaraan gekoppelde slibtransport staat in deze oriënterende fase van het onderzoek niet in de juiste verhouding tot de verwachte extra informatie.

Tussen de rekenelementen is het (advectieve en dispersieve) transport van water en van in water opgeloste en gesuspendeerde stoffen gedefinieerd.

Door uitwisseling met de bodem (sedimentatie/resuspensie) zal het transport van slib afwijken van dat van water en de daarin opgeloste stoffen.

Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste factoren en de manier waarop die bij de huidige opzet van de dynamische slibmodellering in beschouwing zijn genomen.

1. Slib wordt gemodelleerd als één fractie in de waterkolom (IM1) en één in de bodem (IM1S1).
2. Er wordt één bodemlaag in beschouwing genomen, die afhankelijk van sedimentatie/resuspensie processen een variabele dikte in de tijd heeft.
3. De toevoer van zwevend materiaal over de systeemranden van het model zijn gesteld op 50 mg-ds/l.
4. Er vindt in het modelsysteem geen emissies van zwevend materiaal plaats.
5. De standaard procesbibliotheek van DELWAQ4 met de processen sedimentatie en resuspensie volgens Partheniades-Krone (WL, 1995c).

7.2 Formuleringen voor sedimentatie en resuspensie

Aangezien slibdeeltjes zwaarder zijn dan water, kan bezinking optreden. Of de deeltjes daadwerkelijk op de bodem terecht komen en daar blijven liggen, hangt af van de grootte van turbulente menging in het water. Resuspensie is het proces waarbij deeltjes van de bodemlaag worden losgemaakt en in de waterfase komen. Ten gevolge hiervan kan, door de door getij-beweging en golven opgewekte turbulenties, met name in ondiepe gebieden een lokale (tijdelijke) verhoging van zwevend materiaal ontstaan.

Voor de beschrijving van de sedimentatie en erosie van zwevende stof wordt gebruik gemaakt van de processen van sedimentatie en resuspensie van zwevend materiaal, in de procesbibliotheek van DELWAQ4 beschreven op basis van de vergelijkingen van Partheniades-Krone (Partheniades; Krone, 1962).

Centraal hierin staan de volgende formuleringen:

Bodemschuifspanning:

$$\tau = \tau_{golf} + \tau_{stroom}$$

$$\tau_{stroom} = (\rho_w \cdot g \cdot U^2) / C^2$$

waarin:

τ	= bodemschuifspanning	(Pa)
C	= Chezy	(m ^{0.5} /s)
g	= gravitatie	(m/s ²)
ρ_w	= dichtheid water	(kg/m ³)
U	= getijstroomsnelheid nabij bodem	(m/s)
τ_{golf}	= f (strijklengte, wind)	(Pa)

Sedimentatie:

$$w_s = w_{smax} \cdot \text{MAX} [(0,1 - \tau/\tau_{crsed})]$$

waarin:

w_s	= sedimentatiesnelheid van zwevend materiaal	(m/s)
w_{smax}	= maximale sedimentatiesnelheid	(m/s)
τ_{crsed}	= kritische schuifspanning voor sedimentatie	(Pa)

$$F_{sed} = w_s \cdot C$$

waarin:

F_{sed}	= sedimentatieflux	(g/m ² s)
C	= concentratie zwevende stof in water	(g/m ³)

Resuspensie:

$$F_{res} = E_0 \cdot \text{MAX} [(0, \tau/\tau_{cres} - 1)]$$

waarin:

$$\begin{aligned} F_{res} &= \text{resuspensieflux} && (\text{g/m}^2\text{s}) \\ E_0 &= \text{maximale resuspensieflux slib} && (\text{g/m}^2\text{s}) \\ \tau_{cres} &= \text{kritische schuifspanning voor resuspensie} && (\text{Pa}) \end{aligned}$$

Getijgemiddelde resuspensie (E) en sedimentatie (S) fluxen:

$$E = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T F_{res}(t) dt$$

$$S = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T F_{sed}(t) dt$$

waarin :

$$T = \text{getijperiode (12.5 h)}$$

Gehanteerde procesparameter waarden

De volgende procesparameters zijn gekozen op basis van vergelijking van de berekende maximale bodem-schuifspanning en gemeten slibgehalten in de bodem (Postma 1984). De relatie tussen de bodem schuifspanning en de sedimentsamenstelling wordt gegeven in figuur 7.1. Bij lage maximale schuifspanning bestaat het sediment voor ca. 40 % uit slib en erg fijn zand (zie 8.2.2). Bij hogere waarden voor de maximale schuifspanning daalt dit tot onder de 10 %.

Tabel 7.1 Proces parameters voor sedimentatie en resuspensie

Kritische schuifspanning sedimentatie	0,1 Pa
Kritische schuifspanning resuspensie	1,0 Pa
Sedimentatie snelheid	8,46 m.dag ⁻¹

7.3 Modelresultaten

Uit veldmetingen blijkt dat de benthische deposit en suspension feeders zich op specifieke plaatsen in het gebied bevinden. Mogelijk worden deze lokaties bepaald door het voedsel aanbod. Een mogelijke maat voor de beschikbare hoeveelheid voedsel kan de zwevend stof transport flux zijn. Voor deposit feeders is de neerwaartse flux (netto sedimentatie) van belang, voor suspension feeders de flux in de horizontale richting (advectieve flux).

Belangrijk voor het transport van slib is het optreden van sedimentatie en resuspensie. Of een van deze processen optreedt hangt af van de turbulente diffusie in het water. Een

maat hiervoor is de bodem schuifspanning. Deze waarde hangt onder meer af van de stroomsnelheid en de bodem-ruwheid. Sedimentatie treedt op als de bodemschuifspanning (τ) onder een bepaalde minimum waarde daalt (kritische schuifspanning voor sedimentatie). Resuspensie treedt op bij waarden hoger dan de kritische schuifspanning voor resuspensie. In figuur 7.2 wordt de geografische verdeling van de maximale bodem schuifspanning in het modelgebied weergegeven (een groot deel van de Westerschelde is te zien, de Molenplaat is aangegeven met zwarte contourlijnen). Dit betreft de maximale waarde die binnen een getijcyclus wordt bereikt. Zoals te verwachten is vinden we de gebieden waar geen resuspensie optreedt ($\tau < 1,0$) bij de ondiepe gedeelten: de randen en de zandplaten. Op grond van vergelijking van de ruimtelijke verdeling van de maximale schuifspanning met veldmetingen van slib zijn de precieze waarden voor de kritische schuifspanning voor sedimentatie en resuspensie vastgesteld (zie tabel 7.1).

De hoeveelheid slib die sedimenteert hangt niet alleen af van de schuifspanning maar ook van de aanvoer en aanwezigheid van slib.

In de figuren 7.3 en 7.4 worden respectievelijk cumulatieve netto sedimentatie en advectie slib fluxen weergegeven. Figuur 7.3 toont de netto sedimentatie flux, cumulatief over 24 uur. De netto sedimentatie flux is mogelijk een maat voor de beschikbaarheid van voedsel voor benthische deposit feeders. De netto sedimentatie ligt in het grootste gedeelte van het model gebied tussen de 0,25 en 2,5 kg.m⁻².dag⁻¹. Waarden boven de 2,5 kg.m⁻².dag⁻¹ worden aangetroffen aan de kantwal en aan de randen van de zandplaten. Duidelijk herkenbaar zijn de stroomgeulen, waar door de relatief hoge stroomsnelheden de netto sedimentatie zeer gering is.

In figuur 7.4 zien we de cumulatieve advectie flux van slib, uitgedrukt in ton.m⁻².dag⁻¹. Let wel, deze waarde is uitgedrukt per m² bodem oppervlak. Het is dus een maat voor de hoeveelheid slib die in een etmaal over 1 m² bodem wordt getransporteerd. Deze waarde is vanzelfsprekend afhankelijk van de stroomsnelheid en de slib concentratie in het water. De advectie flux is een maat voor de voedselbeschikbaarheid voor benthische filtratie-feeders.

In figuur 7.4 is in de ruimtelijke verdeling duidelijk een relatie met de waterdiepte te herkennen. Door de 2 dimensionale schematisatie (aannee van volledige verticale menging) wordt de advectieflux over een bodemoppervlak groter met toenemende diepte. Vergeleken met de netto sedimentatieflux is de advectie flux drie orden groter (factor 1000).

8 Verspreiding van benthische filtreerders en deposit feeders

8.1 Inleiding

8.1.1 Grootschalige verspreiding van benthische filtreerders

Uit een overzicht van de literatuur over de biomassa van benthische filtreerders in verschillende estuariene systemen (Heip et al., in press) blijkt een merkwaardig goede relatie tussen de systeem-gemiddelde biomassa van de filtreerders, en de residentie-tijd van het water in de estuariene systemen. Deze relatie kan zeer goed verklaard worden met een eenvoudig model, dat aanneemt dat, *op de schaal van het systeem*, de produktiviteit van het pelagische systeem bepalend is voor de biomassa van het macrobenthos. Slechts in die estuaria waar de lokale produktie wordt verhoogd met import, zal de biomassa van het macrobenthos per eenheid volume van het estuarium een drempelwaarde overschrijden. Deze stelling wordt verder ondersteund door de relatie, beschreven door Smaal & van Stralen (1990) tussen primaire produktie in de waterkolom en secundaire produktie van de filtreerders in de Oosterschelde. Deze auteurs bestudeerden klimaat-afhankelijke variatie in produktiecijfers tussen verschillende jaren. Blanton et al. (1987) toonden voor een elfjarige tijd serie in de Ria de Arosa een sterke correlatie aan tussen de jaarlijkse upwelling-index (upwelling bepaalt de primaire produktie in dit systeem) en de produktie van de mosselen in de Ria. De afhankelijkheid tussen stock van oesters en mosselen, en individuele groei, beschreven voor het bassin van Marennes-Oléron (bv. Héral, 1993) wijst eveneens in de richting van een systeem-brede bepaling van de biomassa door de produktiviteit van het pelagische systeem. Dit is, tenslotte, ook wat kan verwacht worden als de koppeling tussen primaire producenten en benthische filtreerders zo hecht is, als wordt gesuggereerd door ecosysteemmodellen (Herman & Scholten, 1990).

Samenvattend kan de hypothese gesteld worden dat, op de schaal van het gehele systeem, voedsel de bepalende factor is voor de biomassa van benthische filtreerders. 'Voedsel' is wellicht niet uitsluitend, maar toch in belangrijke mate bepaald door de concentratie fytoplankton in het water.

8.1.2 Kleinschalige verspreiding van benthische filtreerders

Als men kan aannemen dat de totale biomassa aan filtreerders in een estuarien systeem wordt bepaald door het voedsel, dan blijft het probleem om te verklaren waarom deze organismen op een kleinere schaal (binnen een platensysteem, en in beperkte mate ook tussen plaatsystemen met vergelijkbare positie in het estuarium) een zeer grote variabiliteit in dichtheid en biomassa vertonen. In dit project wordt de hypothese naar voren gebracht dat deze (kleinschalige) verspreiding in de eerste plaats wordt bepaald door hydrodynamische factoren. In tweede instantie kan ook de kwetsbaarheid voor predatoren een rol spelen. Opgemerkt dient te worden dat de rol van de sediment-samenstelling in de verspreiding van macrobenthos sterk gecorreleerd is aan de hydrodynamische factoren, door de grote onderlinge correlatie van stromingspatronen en sedimentsamenstelling.

Uit de ecofysiologische literatuur over benthische filtreerders blijkt dat de voedselopname, en afgeleid de groei, sterk bepaald wordt door de stroomsnelheid van het water. Typisch vertonen deze organismen een fysiologische optimumcurve als functie van

stroomsnelheid. Bij te lage stroomsnelheden is de verversing van voedsel in het water onvoldoende; bij te hoge stroomsnelheden treedt een vorm van stress op die eveneens de voedselopname hindert (Wildish et al., 1992; Wildish & Kristmanson, 1993). Deze laatste auteurs wijzen erop dat dieren in het veld maximale biomassa-waarden realiseren bij hogere snelheden dan het optimum dat wordt bepaald in laboratoriumproeven. Dit kan te wijten zijn aan de structuur van de benthische grenslaag, die door de dieren zelf wordt beïnvloed (Musschenheim, 1987a; 1987b). Daarnaast is het echter ook belangrijk rekening te houden met de voedselcompetitie in dichte bedden van filtreerders. Lokale uitputting van de voedselconcentraties in het water dat deze bedden overstroomt is herhaaldelijk vastgesteld; dit fenomeen is ondersteund door theoretische modellen en experimenten in stroomgoten (Fréchette & Grant, 1991; Fréchette et al., 1989; Monismith et al., 1990). De voorspelling dat dieren aan de rand van een dicht bed sneller groeien dan de dieren in het centrum van het bed, is ook in het veld bevestigd (Newell, 1990; Musschenheim & Newell, 1992). Smaal et al. (1986) beschrijven een model dat voedseldepletie voorspelt als een functie van waterdiepte en stromingssnelheid.

Hydrodynamische factoren zijn niet alleen belangrijk voor hun invloed op de fysiologie van volwassen dieren. Beïnvloeding van de jonge stadia, en met name beïnvloeding van de mogelijkheid op een bepaalde plaats te settlen, kan bepalend zijn voor de overlevingskansen van een populatie.

Naast hydrodynamische factoren speelt ook kwetsbaarheid voor predatie een mogelijke rol in de ruimtelijke verdeling van benthisch filtreerders (Meire, 1993; Seed, 1993). Predatiedruk is vooral afkomstig van vogels, krabben en vissen. Deze drie groepen predatoren hebben een sterk verschillende toegankelijkheid tot verschillende sub-habitaten.

Gezien de grote lokale variaties in hydrodynamische factoren en toegankelijkheid voor predatoren, typisch voor een getijdenplaat in een estuarium, kan men dus vooropstellen dat binnen een dergelijke plaat sommige lokaties veel gunstiger zijn voor benthische filtreerders dan andere. Concentratie van de biomassa op deze gunstige plaatsen kan worden verwacht. Anderzijds zal interferentie tussen de individuen op de gunstige plaatsen leiden tot een vermindering van groei en voedselopname, waardoor het relatief gunstiger kan zijn om sub-optimale habitaten op de plaat, met minder interferentiecompetitie te verkiezen.

8.1.3 Benthische deposit feeders

De problemen bij het verklaren van de dichtheidsvariaties bij benthische deposit feeders zijn anders dan bij filtreerders, voornamelijk omdat het voedsel van de eerste groep veel slechter gedefinieerd is. Andere studies worden uitgevoerd of zijn gepland om dieper in te gaan op de verspreiding en dynamiek van deposit feeders. Toch kan een studie van filtreerders ook relevant zijn voor de verspreiding van deposit feeders. Uit de analyse van een groot aantal monsters in de Westerschelde bleek een duidelijke correlatie tussen de biomassa-waarden van beide groepen. Het is mogelijk dat de transfer van organisch materiaal van het pelagisch systeem naar het benthos, veroorzaakt door het filtreren door filtreerders, ook van belang is voor de voedselvoorziening van deposit feeders. Een gedeeltelijke verklaring voor variabiliteit in biomassa van deposit feeders zou dus een zijdelings resultaat kunnen zijn van het huidige project.

8.1.4 Opzet van het onderzoek

Het huidige onderzoek heeft zich toegespitst op de relatie tussen hydrodynamica en ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos op de schaal van een enkele plaat. Daarvoor werd de Molenplaat gekozen. Deze plaat van enkele km² ligt in de Westerschelde, ter hoogte van Hansweert (zie figuur 3.1a).

Op deze plaat werd het macrobenthos bemonsterd met een regelmatig, en vrij dicht grid (orde 100 m). De resultaten van de bemonstering werden vergeleken met de resultaten van de hydrodynamische- en transport modellering (beschreven in de voorgaande hoofdstukken). Daarbij werd vooral onderzocht of de ruimtelijke distributie van de suspensieeters, en meerdere soorten in de groep van depositie-eters, kon worden verklaard aan de hand van de ruimtelijke variatie in de hydrodynamische factoren.

8.2 Bemonstering

8.2.1 Macrobenthos

Het macrobenthos van de Molenplaat werd tweemaal bemonsterd: in de laatste week van maart 1995 en in de laatste week van juni 1985. Telkens werd in een periode van drie aaneengesloten dagen gemonsterd. De positie van de monsterplaatsen op de plaat wordt aangegeven in figuur 8.1a (bemonstering maart) en in figuur 8.1b (bemonstering juni). In maart werd het westelijke deel van de plaat niet bemonsterd, in juni werd een volledige bemonstering van de plaat gerealiseerd. Monsterplaatsen werden gelocaliseerd m.b.v. een draagbaar DGPS systeem, tot op ongeveer 5 m nauwkeurig. Op iedere monsterplaats werd een steekbuis van 0.01766 m² tot 30 cm diepte genomen. Het monster werd ter plaatse levend uitgezeefd op een 1 mm zeef. De gezeefde monsters werden op het eind van de dag in 4 % (eindconcentratie) gebufferde formaline gefixeerd. In het lab werden alle dieren uitgezocht en op soort gedetermineerd. Mollusken werden gemeten, en het asvrij drooggewicht van ieder individu berekend aan de hand van een lengte-drooggewicht relatie opgesteld per soort uit monsters van de Westerschelde. Alle andere dieren werden per soort en per locatie verzameld en gezamenlijk gedroogd, gewogen en verast. Per locatie en per soort is aldus het asvrijdrooggewicht bekend. De gegevens zijn opgeslagen in een Paradox data base bij het NIOO.

8.2.2 Sedimentsamenstelling

Op iedere locatie werd een monster genomen van de bovenste cm van het sediment. Na vriesdrogen werd de korrelgrootte-verdeling in deze monsters bepaald m.b.v. een Malvern particle sizer. Mediane korrelgrootte, gemiddelde korrelgrootte, sortering, skewness en kurtosis van de verdeling werden bepaald. Tevens beschikbaar zijn het % grof zand (260-560 µm), fijn zand (112-260 µm), zeer fijn zand (50-112 µm) en slib (<50 µm). Monsters van juni werden op het apparaat bepaald, maar de gegevens zijn door een storing in het apparaat nog niet beschikbaar.

8.2.3 Chlorofylgehalte in de bovenste sedimentlaag

Op iedere locatie werd in juni een monster genomen van de bovenste cm van het sediment m.b.v. een kleine steekbuis. Na vriesdroging werd dit monster geëxtraheerd in aceton, en het chlorofylgehalte bepaald met HPLC.

Aan de hand van literatuurgegevens werd iedere soort ondergebracht in een van de volgende voedingsgroepen:

- suspensie-eters (suspension feeders)
- diepe depositie-eters (deposit feeders)
- oppervlakkige depositie-eters (surface deposit feeders)
- omnivoren
- predatoren
- onbekend

De volledige lijst van soorten en hun voedingsgroepen wordt gegeven in de appendices A en B. bij dit rapport.

8.4 Resultaten

8.4.1 Korrelgrootte-verdeling / bemonstering maart

De gemiddelde korrelgrootte van de locaties bemonsterd in maart wordt weergegeven in figuur 8.2. Het gehalte slib wordt weergegeven in figuur 8.3. Het centrale gedeelte van de plaat wordt gekenmerkt door het fijnste sediment. In min of meer concentrische ringen daarrond wordt het sediment geleidelijk grover, met een afnemend percentage slib.

8.4.2 Chlorofylgehalte

De ruimtelijke verdeling van het chlorofylgehalte in het oppervlakkige sediment correleert slecht zeer gedeeltelijk met de korrelgrootte-verdeling in het sediment (figuur 8.4). Opvallend is dat een hoge concentratie chlorofyl wordt gevonden in de zandige sedimenten aan de noord-oost kant van de plaat. De factoren die verantwoordelijk zijn voor deze ruimtelijke verdeling worden momenteel nader onderzocht.

8.5 Analyse van de macrobenthosgegevens - voedingsgroepen

De ruimtelijke verdeling van de dominante voedingsgroepen (suspensie-eters en diepe depositie-eters) wordt weergegeven in contourgrafieken voor de bemonstering van maart (figuur 8.5) en juni (figuur 8.6). Er blijkt uit deze grafieken een goede overeenkomst tussen de resultaten van de twee bemonsteringen. Globaal kan men stellen dat het centrale gedeelte van de plaat wordt gedomineerd door suspensie-eters, en dat een ring rond deze vlek wordt gedomineerd door diepe depositie-eters. De samenstelling van de fauna in termen van voedingsgroepen is duidelijk gerelateerd aan de sedimentsamenstelling op de monsterplaatsen. Figuur 8.7 geeft voor klassen van sedimentsamenstelling (% slib, maar vergelijkbare patronen worden verkregen met gemiddelde korrelgrootte) de verdeling van de fauna over de verschillende voedingsgroepen.

Er is een goede ruimtelijke correlatie tussen het voorkomen van suspensie-eters en de resultaten van de hydrodynamische modelberekeningen. Met name de schuifspanningen op de bodem correleren uitstekend met het voorkomen van suspensie-eters (figuur 8.8a). Overduidelijk correleren de suspensie-eters uitstekend met lage schuifspanningen, en dus met lage stroomsnelheden. Dit is in scherpe tegenspraak met de oorspronkelijk geformuleerde hypothese, dat met name intermediaire stroomsnelheden een optimum zouden vormen voor de suspensie-etende gemeenschap.

Figuur 8.8b toont in superpositie de biomassa van de depositie-eters in juni, vergeleken

met de netto sedimentatie snelheden berekend uit het transport model. Over het algemeen correleren beide variabelen zwak tot niet. Bij de depositie-eters moet rekening worden gehouden met de verschillende soorten die tot die groep behoren, en die een zeer verschillende verspreiding kennen. Wat betreft de netto sedimentatie valt op, dat deze een patroon vertoont dat veel slechter correleert met de biologische gegevens dan de bodemschuifspanning (of de maximale watersnelheid). Een mogelijke verklaring kan zijn dat in de modelberekeningen slechts rekening wordt gehouden met een type gesuspenseerd materiaal, terwijl in het veld materiaal met verschillende samenstelling wellicht op verschillende plaatsen sedimenteert.

8.6 Analyse van de macrobenthosgegevens - gemeenschapsanalyse

Een goede samenvatting van de samenstelling van de macrobenthosgemeenschappen wordt gegeven door een TWINSPAN-analyse, gebaseerd op de biomassa-getallen per soort. Deze analyse is het meest volledig uitgevoerd voor de bemonstering van juni. Resultaten van maart komen sterk overeen met de resultaten in juni. Er worden 5 clusters onderscheiden in de TWINSPAN-analyse. Deze clusters zijn in een duidelijk patroon over de ruimte verdeeld (figuur 8.9), hebben een duidelijk verschillende verdeling van de verschillende voedingsgroepen, en hebben grote verschillen in gemiddelde biomassa (figuur 8.10). Een eerste cluster bevindt zich op het centrale gedeelte van de plaat. Deze cluster wordt gedomineerd door suspensie-eters (maar met een aanzienlijk aandeel van diepe depositie-eters), en heeft een hoge gemiddelde biomassa (35 g AFDW m⁻²). Een tweede cluster bevindt zich concentrisch rond de eerste. De biomassa is lager (25 g AFDW m⁻²), wordt gedomineerd door diepe depositie-eters, met daarnaast gelijke aandelen voor oppervlakkige depositie-eters en suspensie-eters. Cluster drie heeft lage biomassa's (3 g AFDW m⁻²), en wordt gedomineerd door oppervlakkige depositie-eters. Cluster vier (13 g AFDW m⁻²) bestaat vrijwel volledig uit diepe depositie-eters. Zeer arme stations worden gegroepeerd in cluster vijf (< 1 g AFDW m⁻²). Deze worden gevonden op de zeer mobiele zanden op de zuid- en noordpunten van de plaat. Figuur 8.11 geeft het hiërarchische clusterdiagram, met de indicatorsoorten van de verschillende onderverdelingen.

8.7 Analyse van macrobenthosgegevens - dominante soorten

De dominante soorten (in termen van biomassa) in de juni-bemonstering op de Molenplaat waren: *Arenicola marina*, *Heteromastus filiformis*, *Cerastoderma edule*, *Mya arenaria*, *Nereis diversicolor* en *Nereis succinea*. Voor deze individuele soorten zijn verspreidingskaartjes opgenomen (figuren 8.12 tot 8.17). Uit deze kaartjes blijken enkele relevante patronen.

De diepe depositie-eters (althans volgens onze classificatie) *Arenicola marina* en *Heteromastus filiformis* hebben een zeer verschillende ruimtelijke verdeling. Deze verschillen zijn verantwoordelijk voor het onduidelijke beeld dat ontstaat wanneer de ruimtelijke verdeling van de totale groep van diepe depositie-eters wordt bestudeerd. *H. filiformis* is sterk gecorreleerd met de suspensie-eters, en heeft een verspreiding op het centrale, meest slibbige gedeelte van de plaat. *A. marina* is verdeeld in een zone die concentrisch rond dit centrale gedeelte is gesitueerd. Uit de vergelijking van de ruimtelijke verdeling van deze soort met de bodemschuifspanningen zoals ze door het model worden berekend, kan worden geconcludeerd dat *A. marina* beperkt is tot de zone waarin de schuifspanning grofweg tussen 1 en 2 Pa ligt. De enige afwijking van deze regel

wordt gevonden in een locatie langs de zuidrand van de plaat, waar de berekende schuifspanning lager is. Het dient te worden opgemerkt dat precies op deze plaats de suspensie-eters ook minder abundant zijn dan uit de schuifspanning kan worden verwacht.

Nereis succinea correleert ruimtelijk goed met *Heteromastus filiformis*, met suspensie-eters, met slibgehalte van de bodem en met lage schuifspanningen. De congenerische soort *N. diversicolor* heeft een heel andere verspreiding. Pieken van deze soort liggen ruimtelijk precies in het midden tussen pieken van *Arenicola marina* (die op zandiger plaatsen met wat hogere schuifspanningen te vinden is) en van *Heteromastus filiformis*, *N. succinea* en andere gecorreleerde soorten (die in het meer slibbige sediment zijn te vinden).

Binnen de dominante suspensie-eters is de afwisselende verdeling tussen *Cerastoderma edule* en *Mya arenaria* opvallend. In de zone waarin suspensie-eters dominant zijn wordt de zuidelijke helft gedomineerd door *C. edule*, terwijl *M. arenaria* vooral in het meer noordelijke gedeelte van deze zone dominant is. *C. edule* lijkt beperkt tot de meest slibrijke zone op de plaat, terwijl *M. arenaria* in iets meer zanderige sedimenten voorkomt.

8.8 Discussie

Op een algemeen niveau, tonen de resultaten van deze studie een duidelijk verband aan tussen de verspreiding van de macrobenthische soorten enerzijds, en de fysische factoren in de omgeving anderzijds. De samenstelling van het sediment is een duidelijke weerspiegeling van deze fysische factoren. Uit de resultaten van het hydrodynamische model correleert vooral maximale schuifspanning aan de bodem tijdens de getijcyclus goed met de sedimentsamenstelling en met de samenstelling van de bodemfauna.

In onze hypothese gingen wij ervan uit dat er een optimum zou moeten bestaan in stroomsnelheid, waar het voorkomen van suspensie-eters wordt gemaximaliseerd. Wij veronderstelden dat bij hogere stroomsnelheden fysiologische stress zou optreden, terwijl bij lagere stroomsnelheden depletie van het voedsel vlak bij de bodem een beperking aan de biomassa zou opleggen. De gevonden relatie tussen stroomsnelheden (feitelijk: maximale schuifspanningen) en biomassa van suspensie-eters toont aan dat er op de Molenplaat geen locaties kunnen worden gevonden waar de stroomsnelheid te traag is voor optimale ontwikkeling van de suspensie-eters. De vorm van de relatie tussen stroomsnelheid en biomassa van suspensie-eters is geen optimum-curve, maar een monotoon dalende curve: hoe lager de stroomsnelheden, hoe hoger de biomassa. Het veronderstelde effect van voedseldepletie bij lage stroomsnelheden is afwezig, of niet sterk genoeg om een vermindering van de biomassa te veroorzaken. Wellicht neemt bij lage stroomsnelheden een ander fenomeen de overhand, dat bij het opstellen van de hypothese werd verwaarloosd: het uitzakken van het gesuspenseerd materiaal bij lage stroomsnelheid. Valsnelheden van gesuspenseerd materiaal in estuaria zijn relatief hoog, orde 0.1-1 mm/s. Bij dergelijke valsnelheden, en een verticale dispersiecoëfficiënt die afhangt van de horizontale snelheid van het water, verwacht men een sterke verticale concentratiegradient in het water als de stroomsnelheid laag wordt. Verhagen (1986) rapporteert geobserveerde verticale gradienten (orde 25 % en meer) in ondiepe waterkolommen in de Oosterschelde, en verklaart deze aan de hand van valsnelheden van 0.5 mm/s en verticale dispersiecoëfficiënten geschat uit literatuur. De sterkte van de concentratiegradient is omgekeerd evenredig met de horizontale stroomsnelheid. Zeer sterke uitzakking van het gesuspenseerde materiaal wordt bereikt bij snelheden onder 10-20 cm/s. Dit leidt tot verhoogde concentraties van gesuspenseerd materiaal dicht bij de bodem, wellicht een gunstige situatie voor filtrerende organismen. Het hele fenomeen is

ongeveer lineair afhankelijk van de valsnelheid. Als water wordt aangevoerd over een plaat, waarbij de snelheden progressief verminderen, kan dus worden verwacht dat grovere partikels eerst worden verloren, en dat een aanrijking van de fijnere partikels (met wellicht de hoogste voedingswaarde) in de onderste waterlagen zich zal voordoen in de gebieden met de traagste stromingssnelheden.

Onder steady state zou de situatie geobserveerd op de Molenplaat aanleiding kunnen geven tot locale uitputting van het voedsel. In een dergelijke steady-state situatie, waarin een waterhoogte van 1 m wordt aangenomen, een stroomsnelheid van 10 cm s^{-1} , een biomassa van 30 g AFDW m^{-2} , een filtratiesnelheid van $2 \text{ l (g AFDW)}^{-1} \text{ h}^{-1}$, een horizontale lengte van het bed van 1 km, wordt ongeveer een zesde van het water gefilterd tijdens het langsstromen over het bed, wat in ongeveer drie uur kan plaatsvinden. Als een dergelijke situatie zou worden geëxtrapoleerd over een afstand van meerdere kilometers (en dus een tijdsschaal van orde 10 uur) zou depletie van het voedsel erg waarschijnlijk worden, zeker wanneer door uitzakking het gesuspendeerde materiaal zich sterk zou aanrijken in de onderste waterlagen. Op een plaat in de getijdenzone wordt dit echter vermeden, omdat de overspoeling van de plaat slechts enkele uren duurt, waarna het water weer wordt vermengd. Toch kan worden opgemerkt dat de geobserveerde biomassa op de plaat zich op een soort grens bevindt: ernstige voedseldepletie zou zeer waarschijnlijk worden wanneer de biomassa enkele malen groter zou zijn.

Het bleek niet mogelijk te zijn in de huidige studie om de geobserveerde verdeling van het macrobenthos te verklaren aan de hand van een eenvoudig model, waarin de groei van het macrobenthos afhangt van de diepte-gemiddelde voedselconcentratie. Een verfijnder modellering, met inachtneming van de derde dimensie, lijkt hiervoor noodzakelijk te zijn. Het model zal de evolutie in tijd en ruimte van verschillende klassen gesuspendeerd materiaal (met verschillende valsnelheid, verschillende kritische erosiesnelheid, verschillende voedingswaarde) moeten beschrijven. Dit kan tot relatief ingewikkeld en langdurig rekenwerk leiden. Gezien de systematische trends in de gegevens van de Molenplaat, valt het echter te verwachten dat een dergelijk model uitstekend in staat zou moeten zijn de gegevens te verklaren.

9 Biomassa modellering

De transport formuleringen zijn uitgebreid met biomassa formuleringen voor zowel filtreerders als deposit feeders. De hypothese is dat de ruimtelijke verspreiding van macrobenthos ontleent kan worden aan de ruimtelijke verspreiding van slib (waarvan de organische fractie voedsel is voor het benthos).

9.1 Modelopzet

Per gridcel (zie 7.1) is de groei van de biomassa van beide groepen benthos berekend. Dit levert de ruimtelijke verspreiding van de groei van filtreerders en deposit feeders. Omdat de nadruk in het onderzoek ligt op de ruimtelijke verspreiding van de groei en niet op de absolute groei, zijn de benthos groei formuleringen eenvoudig van opzet. Alleen de belangrijkste processen met betrekking tot de voedselopname en de omzetting van voedsel in biomassa zijn opgenomen. De veranderingen in biomassa van filtreerders en deposit feeders en de veranderingen van de voedselconcentratie in het water en in de bodem zijn weergegeven in onderstaand schema.

De filtreerders filteren het slib uit het water. Al de droge stof die niet wordt omgezet in biomassa komt in de bodem terecht. Voor de deposit feeders geldt hetzelfde, zij het dat zij hun voedsel opnemen uit de bodem. Het verlies aan biomassa door respiratie (standaard en routine) komt niet in de bodem en is verder niet in de formuleringen opgenomen.

De populaties worden niet opgedeeld in leeftijdsklassen en er wordt geen rekening gehouden met mortaliteit, reproductie, immigratie en migratie.

De processen zijn onafhankelijk van de temperatuur en de beschikbaarheid van zuurstof. Voor coëfficiënten die afhankelijk zijn van de temperatuur is steeds de waarde bij een 'zomer' temperatuur gekozen (temperatuur > 8°C). De assimilatie efficiëntie is onafhankelijk van de hoeveelheid opgenomen voedsel.

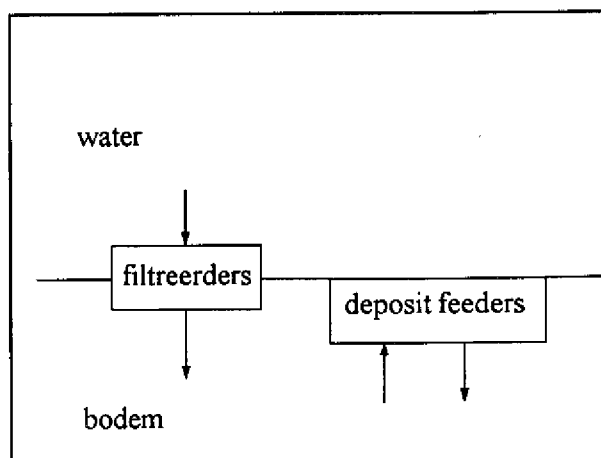
De formuleringen voor de voedselopname en de omzetting in biomassa zijn verschillend voor filtreerders en deposit feeders, de respiratie berekeningen zijn voor beide hetzelfde.

De algemene formulering voor zowel filtreerders als deposit feeders is als volgt:

$$D_{\text{biomassa}}/dt = \text{'groei'} - (\text{routine respiratie} + \text{standaard respiratie})$$

$$DW/dt = RIA - (RR + SR)$$

Bij het model voor de filtreerders (in formuleringen suspension feeders genoemd) is gebruik gemaakt van het model van Verhagen 1976, voor dat van de deposit feeders Baretta 1988.



9.2 Formuleringsen

Initiële situatie:

De gekozen formuleringen zijn gebaseerd op de groei van een individu. In de initiële situatie bevinden zich in elke gridcel $INIT_{sf}$ individuen/m² suspension feeder en $INIT_{df}$ individuen/m² deposit feeder. Het individuele 'standaard' gewicht van een suspension feeder is 1 gram, dat van een deposit feeder is 0.1 gram. De groei van benthos wordt uitgedrukt in het aantal individuen van het standaard gewicht per m². Na een tijdstap wordt de berekende groei per individu omgerekend in groei in aantal individuen van het standaard gewicht.

Groei Filtreerders:

De formuleringen van de processen zijn uit Verhagen 1976. Hierin wordt een model beschreven van de populatie dynamica van de mossel *Mytilus edulis*. De mossel is als voorbeeld gebruikt voor formuleringen van filtreerders. De formuleringen zijn gebaseerd op de groei van een individu.

De totale droge stof gefilterd per dag (DMFPD) is een functie van concentratie van deeltjes in het water (FA_{sf}) en de filtersnelheid (FR_{sf}). De filtersnelheid is een functie van het droog gewicht van een individuele filtreerder (DW_{sf}). Wanneer de concentratie van slib in het water hoger is dan een drempel (RECJOF), wordt een deel van het gefiltreerde materiaal verwijderd als pseudofaeces. Bij concentraties onder RECJOF is de voedselopname snelheid (INR) één. Bij concentraties boven RECJOF is INR, $RECJOF/FA_{sf}$ d.w.z. kleiner dan één. RECJOF is afhankelijk van droge stof gewicht van een filtreerder (WMG). De hoeveelheid droge stof die wordt opgenomen, is maar voor een deel (PPNOM) organisch materiaal. Een deel van het opgenomen voedsel ($FOODUP_{sf}$) wordt omgezet in biomassa filtreerder (RIA_{sf}) met assimilatie efficiëntie $ASEF_{sf}$.

$$\begin{aligned}
 DMFPD &= FA_{sf} * FR_{sf} \\
 FR_{sf} &= \frac{1.25 * DW_{sf}^{0.80}}{1 + (DWSF/5)^{0.30}} \\
 INR &= \min(1, RECJOF/FA) \\
 RECJOF &= 5.4 * WMG^{0.20} \\
 FOODUP_{sf} &= PPNOM * DMFPD * INR \\
 RIA_{sf} &= ASEF_{sf} * FOODUP_{sf}
 \end{aligned}$$

Groei Deposit feeders:

De deposit feeders zijn een erg heterogene groep. Er is toch gepoogd een formuleringen te vinden voor 'de' deposit feeder. Hier zijn de formuleringen gebruikt uit Baretta 1988.

De totale droge stof opgenomen per dag ($FOODUP_{df}$) is een functie van concentratie van organische deeltjes in de bodem ($FA_{df} * PPNOM$) en de voedselopnamesnelheid (FR_{df}). De voedselopname snelheid wordt per mg deposit feeder gegeven en moet dus nog vermenigvuldigt worden met het droge stof gewicht van de deposit feeder. Een deel van het opgenomen voedsel wordt omgezet in biomassa (RIA_{df}) met een efficiëntie $ASEF_{df}$.

$$\text{FOODUP}_{df} = \text{FA}_{df} * \text{PPNOM} * (\text{FR}_{df} * \text{DW}_{df})$$

$$\text{RIA}_{df} = \text{ASEF}_{df} * \text{FOODUP}_{df}$$

Respiratie filtreerders en deposit feeders

Om de formuleringen zo simpel mogelijk te houden is de respiratie voor deposit feeders gelijk genomen aan die van filtreerders (Verhagen 1976).

De standaard respiratie (SR) en routine respiratie (RR) worden berekend door de standaardsnelheid van zuurstof consumptie om te rekenen naar een equivalent in droge stof gewicht per dag. RR is afhankelijk van de hoeveelheid droge stof die opgenomen is die dag (RRATS). Voor RRATS geeft Verhagen een tabel. De waarden van RRATS zijn verschillend in zomer en winter en van afhankelijk DMFPD (zie ook Bayne 1976). Deze 'relatie' zou ook beschreven kunnen worden met:

$$\text{RRATS} = \text{MIN}(0.04, \text{DMFPD} * 0.003)$$

$$\text{RR} = 0.96 * \text{RRATS} * \text{DW}^{0.70}$$

$$\text{SR} = 0.96 * 0.041 * \text{DW}^{0.70}$$

Concentratie van het slib

De concentratie van het slib in het water en op de bodem verandert als gevolg van sedimentatie en resuspensie en door de opname en afgifte van het organisch materiaal door de suspension feeders en deposit feeders. De veranderingen in de concentratie slib t.g.v. deze laatste processen zijn als volgt gemodelleerd:

De deposit feeders nemen voedsel op van de bodem (FOODUP_{df}). Het deel van het gefilterde slib wat niet wordt omgezet in groei (voor beide groepen benthos) komt ook op de bodem terecht.

$$d\text{slib}_{\text{bodem}}/dt = (\text{FR}_{sf} * \text{FA}_{sf} * (1 - \text{INR} * \text{ASEF}_{sf} * \text{PPNOM})) - \text{FOODUP}_{df}$$

De produkten van onderhouds- (SR) en groeirespiratie (RR) komen in water, maar die worden verder niet meegenomen in de formuleringen. Suspension feeders filteren slib uit het water:

$$d\text{slib}_{\text{water}}/dt = - \text{FA}_{sf} * \text{FR}_{sf}$$

Uitleg van symbolen en eenheden:

DW_{sf}	mg	droog gewicht individu suspension feeder	1000
DW_{df}	mg	droog gewicht individu deposit feeder	100
NINIT	1/m ²	initieel aantal individuen	200
RIA	mg/dag	opnamesnelheid omgezette droge stof	
SR	mg/dag	zuurstof consumptie snelheid als gevolg van standaard respiratie omgezet in een equivalent droge stof gewicht	
RR	mg/dag	zuurstof consumptie snelheid als gevolg van routine respiratie omgezet in een equivalent droge stof gewicht	
DMFPD	mg/dag	hoeveelheid droge stof gefilterd per dag	
ASEF_{sf}	[-]	assimilatie efficiëntie suspension feeder	0.68
FR_{sf}	l/dag	filteringsnelheid suspension feeder	
FA_{sf}	mg/l	concentratie van slibdeeltjes in water	
ASEF_{df}	[-]	assimilatie efficiëntie deposit feeder	0.75

FR _{df}	(mg m ⁻²) ⁻¹ d ⁻¹	voedselopname snelheid	
FA _{df}	mgm ² /cm	concentratie slibdeeltjes in de bodem	
FOODUP	mg/dag	voedselopname per dag	
INR	[-]	voedselopname snelheid	
PPNOM	[-]	fractie organisch materiaal in slib	0.40
REJCOF	mg/l	drempelwaarde concentratie	
WMG	g	droge stof gewicht	

9.3 Modelresultaten

In de figuren 9.1 en 9.2 worden respectievelijk de ruimtelijke verspreiding van het aantal individuen per m² filtreerder (mossel) en deposit feeders (worm) weergegeven na 24 uur (een groot deel van de Westerschelde is te zien, de Molenplaat is aangegeven met zwarte contourlijnen). Voor benthische filtreerders werd als maat voor het voedselaanbod de cumulatieve advectie flux van slib (g/m²dag) gekozen. Het gaat hierbij om de totale hoeveelheid gesuspendeerd slib dat in een dag over een bodemoppervlak van één m² stroomt. De netto sedimentatie flux in g/m² cumulatief over een dag, is als maat voor het voedselaanbod voor deposit feeders genomen.

Filtreerders:

Het valt op dat de groei klein is op de Molenplaat en groot in de diepe geulen. Aan de randen van de plaat is de groei groter dan op het midden van de plaat. De ruimtelijke verspreiding van filtreerders (figuur 9.1) komt dan ook sterk overeen met de ruimtelijke verspreiding van het aangeboden voedsel (figuur 7.4) (correlatie coëfficiënt 0.85 voor de punten op de molenplaat).

Het voedselaanbod op een plaats wordt sterk bepaald door de tijd dat deze plaats onder water staat. De relatie van de groei met de diepte is duidelijk te herkennen. De hoger gelegen delen van de Molenplaat (met een geringe maximale diepte) staan langer droog dan de randen waardoor de biomassa toename van filtreerders daar kleiner is.

Deposit feeders:

De filtreerders filteren slib, alles wat niet wordt omgezet in biomassa komt in de bodem terecht. De ruimtelijke verspreiding van filtreerders beïnvloedt dus ook de ruimtelijke verspreiding van deposit feeders. Omdat de ruimtelijke verspreiding van filtreerders niet overeenkomt met de veldwaarnemingen is de groei van de deposit feeders berekend in een situatie waar geen filtreerders aanwezig waren.

Echter voor de deposit feeders geldt hetzelfde als voor de filtreerders: de groei is sterk gecorreleerd met het gemodelleerde voedselaanbod (zie figuur 7.3)(correlatie coëfficiënt 0.78 voor de waarnemingspunten op de Molenplaat). Bij de deposit feeders is de groei het grootst aan de randen van de plaat en de kantwal waar de netto sedimentatie hoog zijn.

9.4 Discussie

De veldgegevens laten een totaal ander beeld zien dan de modelresultaten. Het blijkt dat de deposit feeders en filtreerders zich juist op het midden van de plaat bevinden en niet aan de randen zoals het model voorspelt. De stroomsnelheid blijkt een betere voorspeller voor de ruimtelijke verspreiding van benthos dan de voedselbeschikbaarheid (zie 8.5).

Het is niet mogelijk met de beschreven simpele groei formuleringen en deze aannames op grond van het gemodelleerde voedselaanbod de ruimtelijke verspreiding van het macro-

benthos te voorspellen. Om de ruimtelijke verspreiding van benthos te kunnen voorspellen zou de relatie tussen stroomsnelheid en voedselaanbod beter onderzocht moeten worden. Het voedselaanbod zou gedetailleerd gemodelleerd kunnen worden door bijv. rekening houden met verschillende valsnelheden van verschillende vormen voedsel, verschil in concentratie door toenemende uitzakking enz. Verder onderzoek zou antwoord kunnen geven op de vraag welke factoren de ruimtelijke verspreiding van benthos bepalen op plaatsen met geringe stroomsnelheid (zoals bijvoorbeeld predatie). Eventueel zou het model uitgebreid moeten worden met een 'kritische stroomsnelheid'. Op plaatsen waar de stroomsnelheid boven deze waarde uitkomt kunnen zich geen filtreerders en deposit feeders vestigen.

Referenties

- Baretta J. and Ruardij P., 1988. Tidal Flat Estuaries, Simulation of the Ems Estuary Ecological studies, Vol. 71.
- Bayne B.L., 1976. Marine mussels their ecology and physiology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Blanton JO, Tenore KR, Castillejo F, Atkinson LP, Schwing FB, Lavin A (1987) The relationship of upwelling to mussel production in the rias on the western coast of Spain. *J mar Res* 45:497-511
- Bollenbakker G.P., 1994. Invloed van bovenafvoer Schelde op de waterstanden op de Zeeschelde. Concept werkdocument RIKZ/ABD-94.???x, Rijkswaterstaat RIKZ Middelburg
- DELFT HYDRAULICS 1995. Delwaq Technical Reference Manual Version 4.0
- Dekker L. et al., 1994. Het Schelde estuarium: calibratie en verificatie Scaldis100. Werkdocument RIKZ/AB-94.839x, Rijkswaterstaat RIKZ Middelburg.
- Dekker L., 1993. Scaldis: modeloriëntatie, randvoorwaarden, beginvoorwaarden en metingen, Rijkswaterstaat, RIKZ Middelburg.
- Fréchette M, Grant J (1991) An in situ estimation of the effect of wind-driven resuspension on the growth of the mussel *Mytilus edulis*. *J exp mar Biol Ecol* 148:201-213
- Fréchette M, Butman CA, Geyer WR (1989) The importance of boundary-layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. *Limnol Oceanogr* 34:19-36
- Heip C, Goosen N, Herman PMJ, Kromkamp JC, Middelburg J, Soetaert K (in prep.) Production and consumption of biological particles in temperate macrotidal estuaries. *Ocean mar Biol Ann Rev*.
- Herman PMJ (1993) A set of models to investigate the role of benthic suspension feeders in estuarine ecosystems. In: Dame RF (ed) Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes, NATO ASI Series. Series G: Ecological sciences edn, vol 33. Springer, Berlin
- Herman PMJ, Scholten H (1990) Can suspensio-feeders stabilise estuarine ecosystems? In: Barnes M, Gibson RN (eds) Trophic relationships in the marine environment. Aberdeen University Press, Aberdeen
- Krone R.B., 1962. Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling processes, Final report, University of California, Hydraulic Engineering and Sanitary Engineering Laboratory, Berkeley, California, USA.
- Meire P (1993) The impact of bird predation on marine and estuarine bivalve populations: a selective review of patterns and underlying causes. In: Dame RF (ed) Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes, NATO ASI Series. Series G: Ecological Sciences edn, vol 33. Springer, Berlin
- Monismith SG, Koseff JR, Thompson JK, O'Riordan CA, Nepf HM (1990) A study of model bivalve siphonal currents. *Limnol Oceanogr* 35:680-696
- Muschenheim DK (1987a) The dynamics of near-bed seston flux and suspension-feeding benthos. *J mar Res* 45:473-496
- Muschenheim DK (1987b) The role of hydrodynamic sorting of seston in the nutrition of a benthic suspension feeder, *Spio setosa* (Polychaeta: Spionidae). *Biological Oceanography* 4:265-288
- Muschenheim DK, Newell CR (1992) Utilization of seston flux over a mussel bed. *Mar Ecol Prog Ser* 85:131-136
- Newell CR (1990) The effects of mussel (*Mytilus edulis* Linnaeus 1758) position in seeded bootm patches on growth at subtidal lease sites in Maine. *J Shellfish Res* 9:113-118
- Partheniades E., 1962. A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water. PhD dissertation, University of California, USA
- Postma L. 1984. A two dimensional water quality model application for Hong Kong coastal waters. Presented at the Symposium: Integration of Ecological Aspects in Coastal Engineering Projects, Rotterdam, 6-10 June 1983. Water Science and Technology, 16.
- van Rijn L., 1990. Principles of sedimenttransport in rivers, estuaries and coastal seas
- Ruitenbeek M., 1995. Het opzetten en testen van een gedetailleerd stromingsmodel voor de Molenplaat. Stageverslag, Waterloopkundiglaboratorium.
- Seed R (1993) Invertebrate predators and their role in structuring coastal and estuarine populations of filter feeding bivalves. In: Dame RF (ed) Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes, NATO ASI Series. Series G: Ecological Sciences edn, vol 33. Springer, Berlin
- Smaal AC, Verhagen JHG, Coosen J, Haas HA (1986). Interaction between seston quantity and quality and benthic suspension feeders in the Oosterschelde, The Netherlands. *Ophelia* 26: 385-399.
- Smaal AC, van Stralen MR (1990) Average annual growth and condition of mussels as a function of food source. *Hydrobiol* 195:179-188
- Soetaert K, Herman PMJ (in press) Carbon flows in the Westerschelde estuary (the Netherlands) evaluated by means of an ecosystem model (MOSES). *Hydrobiol*
- Verhagen J.H.G., 1982. A distribution and population model of the mussel *Mytilus Edulis* in Lake Grevelingen. Waterloopkundig Laboratorium no. 279.
- Wildish DJ, Kristmanson DD (1993) Hydrodynamic control of bivalve filter feeders: a conceptual view. In: Dame RF (ed) Bivalve filter feeders in estuarine and coastal ecosystem processes, NATO ASI Series. Series G: Ecological sciences edn, vol 33. Springer, Berlin
- Wildish DJ, Kristmanson DD, Saulnier AM (1992) Interactive effect of velocity and seston concentration on giant scallop feeding inhibition. *J exp mar Biol Ecol* 155:161-168

Tabellen

Schema meetpunten en apparatuur						
meetpunt	datalogger	lokatie	snelheidsmeter	water-standsmeter	x-coördinaat	y-coördinaat
MP1	Zeekat	laagwater lijn	4 x OTT	-	55363.60	384785.44
MP2	5	plaatrand	MMB	-	55369.96	384755.64
MP3	5	plaatrand	NSW-MD	(drukdoos)	55370.87	384742.64
MP4	5	plaatrand	NSW-VL	-	55370.61	384729.66
MP5	5	plaatrand	COLNBOOK	-	55371.59	384720.37
MP6	6	plaat	OTT	drukdoos	55386.16	384575.27
MP7	6	plaat	OTT	-	55399.04	384465.73
MP8	9	plaat	OTT	-	55406.75	384385.83
MP9	9	hoogste punt	OTT	drukdoos	55418.43	384272.46

Tabel 3.1: Schema van meetpunten en apparatuur voor de meetperiode in Juni 1995

M01 M02 M03	Runs met variërende tijdstap
M04	Uniforme Manning Coëfficiënt
M05	Produktierun voor transportmodel (test)
M06	ruimtelijk variërende Chezycoëfficiënt (gevoeligheidsonderzoek)
M07	Minimale waterstand bij droogval: 1 cm i.p.v. 15 cm
M08	Als M04 met Manning $n = 0.022$ en op de platen $n = 0.013$
M09	Als M04; hoogste deel van de plaat (ZW kant) 1 m ondieper: t.b.v. vergroten v-component van de snelheid
M10	Als M04; hoogste deel van de plaat (ZW kant) 0.5 m ondieper: t.b.v. vergroten v-component van de snelheid (minder sterk dan M10)
M11	Als M04; Verdiepen eb-geul met 10% t.b.v. vergroten eb-stroom
12A	Als M04 en M07 met variabele Manning coëfficiënt (uiteindelijke calibratierun)
M13	Als M08 voor verificatieperiode
M14	Als 12A met noordenwind, 5 m/s
M15	Als 12A voor verificatieperiode en westenwind, 6 m/s
M16	Als 12A voor verificatieperiode

Tabel 5.1 Overzicht calibratie- en verificatieruns

hoogwater gemeten in Juni '95, locatie Meetpunt 6		hoogwater berekend m.b.v. Molenplaat model (run 12a), locatie Meetpunt 6 (resultaten met een tijdstap van 20 min. weggeschreven)		
Datum tijd	Waterstand [m]	Datum tijd	Waterstand [m]	Verskil (voorspeld - berekend) [cm]
19950623 114000	2.09	19950623 114000	2.05	4
19950624 000000	2.02	19950624 000000	2.12	-10
19950624 123500	2.18	19950624 124000	2.16	2
19950625 005000	2.16	19950625 010000	2.25	-9
19950625 133500	2.19	19950625 132000	2.25	-6

hoog- en laagwaters uit 'Getijtafels voor Nederland', locatie Hansweert		hoog- en laagwaters berekend m.b.v. Molenplaat model (run 12a), locatie Hansweert (resultaten met een tijdstap van 20 min. weggeschreven)		
Datum tijd	Waterstand [m]	Datum tijd	Waterstand [m]	Verskil (voorspeld - berekend) [cm]
19950623 051400	-1.98	19950623 052000	-1.90	-8
19950623 114600	2.20	19950623 114000	2.07	13
19950623 175000	-1.75	19950623 180000	-1.75	0
19950624 000600	2.12	19950624 002000	2.15	-3
19950624 063600	-1.97	19950624 062000	-1.95	-2
19950624 124000	2.29	19950624 124000	2.18	11
19950624 185600	-1.85	19950624 184000	-1.87	2
19950625 005900	2.23	19950625 010000	2.27	-4
19950625 072100	-1.99	19950625 072000	-1.97	-2
19950625 133200	2.37	19950625 134000	2.28	11

Tabel 5.2a: Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de calibratieperiode

HW Meetpunt 6/ HW Hansweert Meting	HW Meetpunt 6/ HW Hans- weert Berekening
0.95	0.99
0.95	0.99
0.95	0.99
0.97	0.99
0.92	0.99

Tabel 5.2b Verhouding tussen de hoogwaters gemeten bij meetpunt 6 en voorspeld bij Hansweert, en tussen de hoogwaters berekend bij meetpunt 6 en Hansweert, gedurende de calibratieperiode

hoogwater gemeten in Juni '95, locatie Meetpunt 6		hoogwater berekend m.b.v. Molenplaat mo- del (run m16), locatie Meetpunt 6 (resultaten met een tijdstap van 20 min. weggeschreven)		
Datum tijd	Waterstand [m]	Datum tijd	Water- stand [m]	Vershil (voorspeld - berekend) [cm]
19950617 055500	3.03	19950617 054000	2.89	14
19950617 180500	2.83	19950617 180000	2.71	12
19950618 063500	3.03	19950618 064000	2.71	32
19950618 185500	2.73	19950618 190000	2.54	19
19950619 073000	2.66	19950619 072000	2.49	17
19950619 195000	2.39	19950619 194000	2.34	5

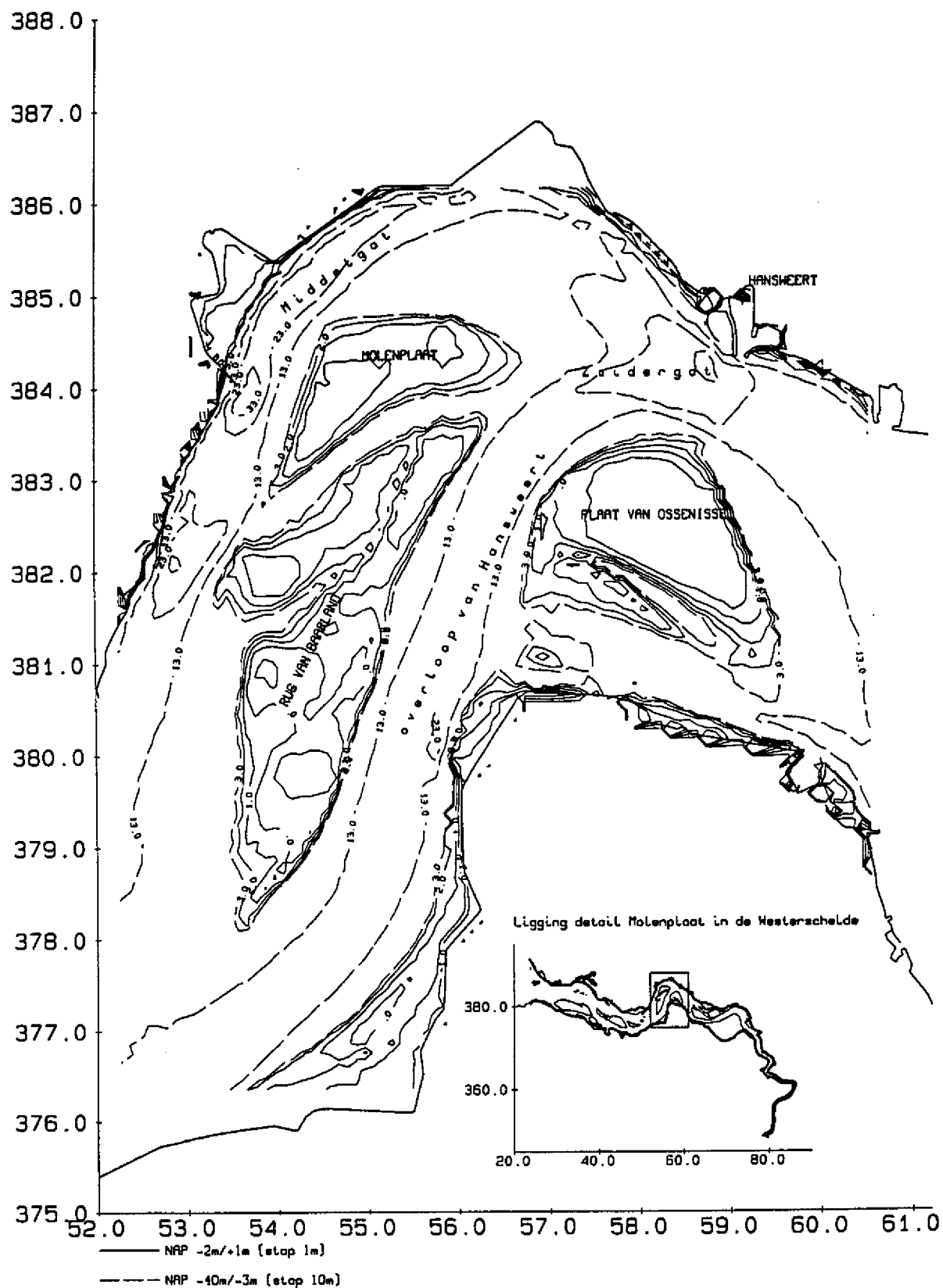
hoog- en laagwaters uit 'Getijta- fels voor Nederland', locatie Hansweert		hoog- en laagwaters berekend m.b.v. Molen- plaat model (m16), locatie Hansweert (resul- taten om de 20 min. weggeschreven)		
Datum tijd	Waterstand [m]	Datum tijd	Water- stand [m]	Vershil (voorspeld - berekend) [cm]
19950617 053600	2.90	19950617 060000	2.91	-1
19950617 115700	-2.17	19950617 120000	-2.09	-8
19950617 180500	2.66	19950617 180000	2.73	-7
19950618 003500	-2.61	19950618 020000	-2.34	-27
19950618 063600	2.84	19950618 064000	2.75	9
19950618 124600	-2.08	19950618 124000	-1.93	-15
19950618 185800	2.60	19950618 190000	2.57	3
19950619 012200	-2.54	19950618 012000	-2.20	-34
19950619 073100	2.73	19950619 072000	2.51	22
19950619 133100	-1.99	19950619 134000	-1.76	-13
19950619 194900	2.48	19950619 194000	2.36	12

Tabel 5.3a Vergelijking van gemeten en berekende hoogwaters gedurende de verificatie-
periode

HW Meetpunt 6/ HW Hansweert Meting	HW Meetpunt 6/ HW Hansweert Berekening
1.04	0.99
1.06	0.99
1.07	0.99
1.05	0.99
0.97	0.99
0.96	0.99

Tabel 5.3b Verhouding tussen de hoogwaters gemeten bij meetpunt 6 en voorspeld
bij Hansweert, en tussen de hoogwaters berekend bij meetpunt 6 en
Hansweert, gedurende de verificatieperiode

Figuren



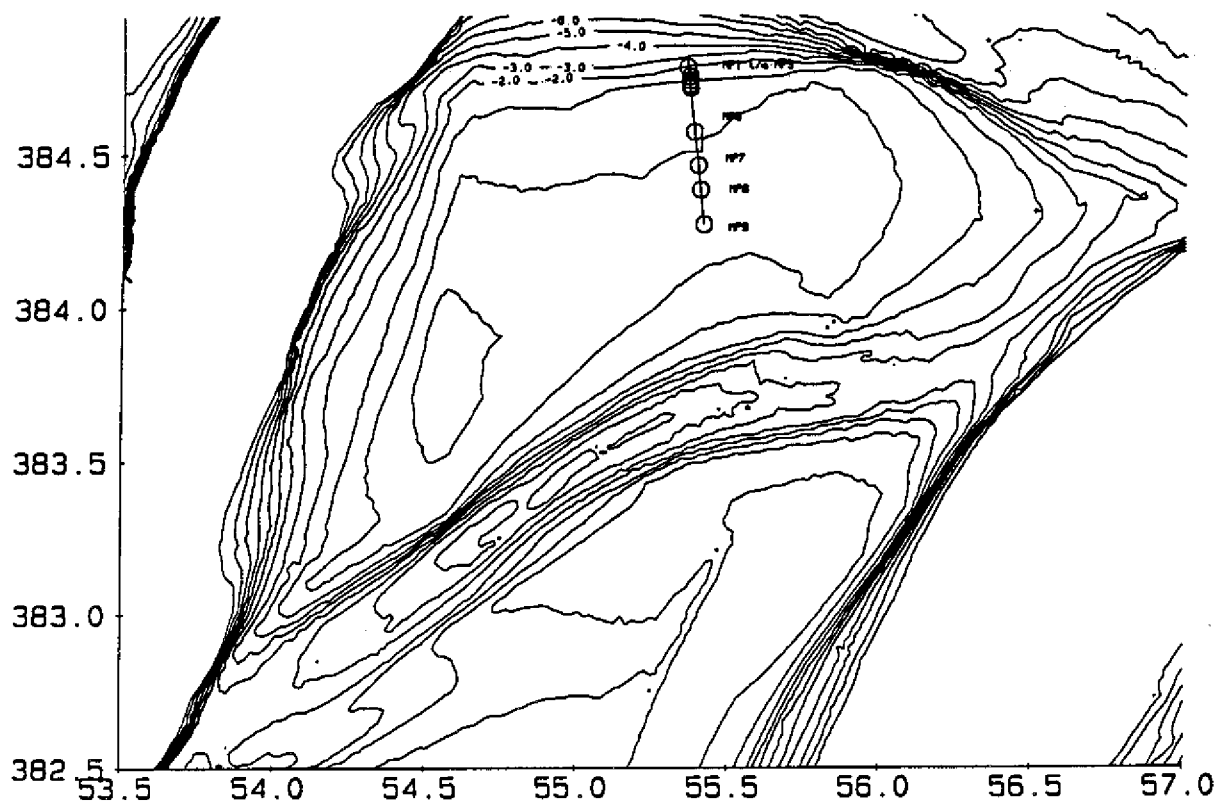
Ligging MOLENPLAAT,
en nabij gelegen geulen en platen.

DELFT HYDRAULICS

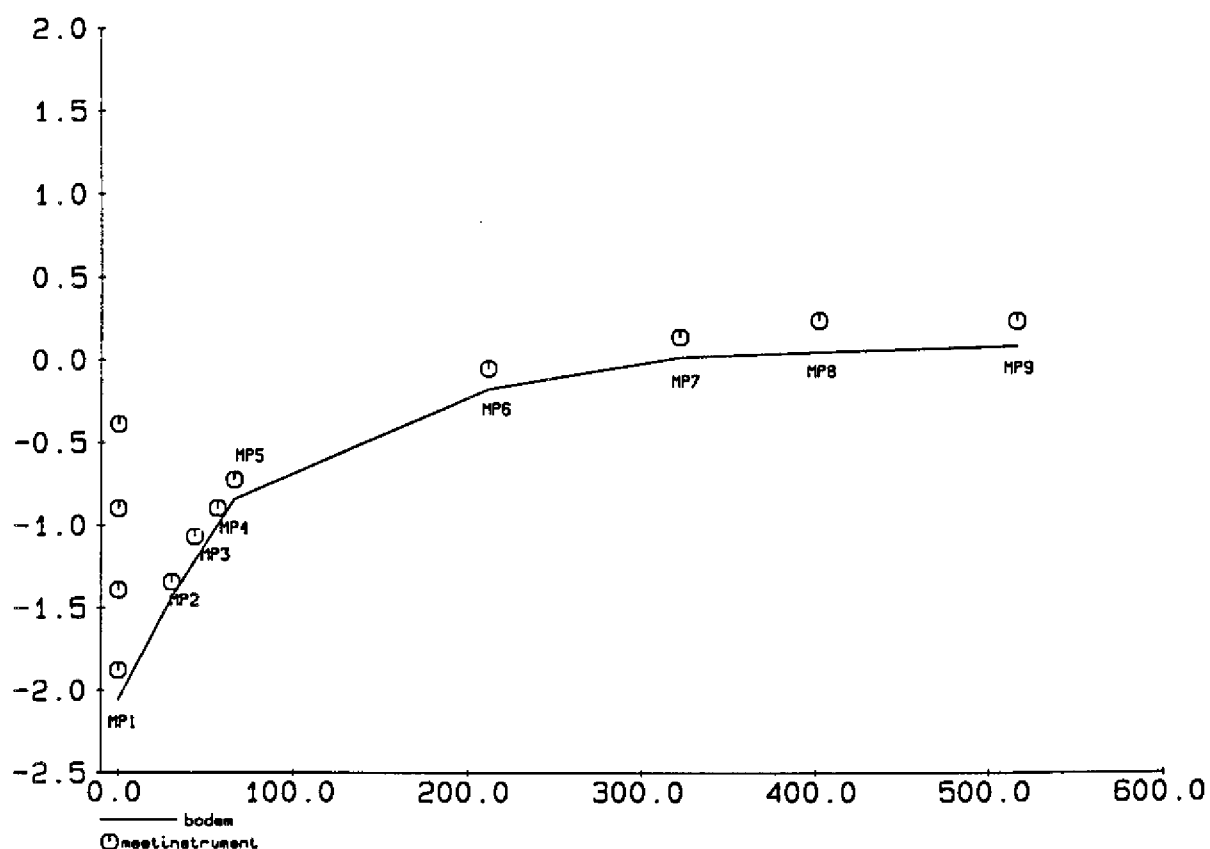
Z-943

fig 3.1a

Dieptelijnen Molenplaat en ligging van de meetraai.



Dwarsdoorsnede van de Molenplaat ter plaatse van de meetraai.



Dieptelijnen Molenplaat en ligging meetraai

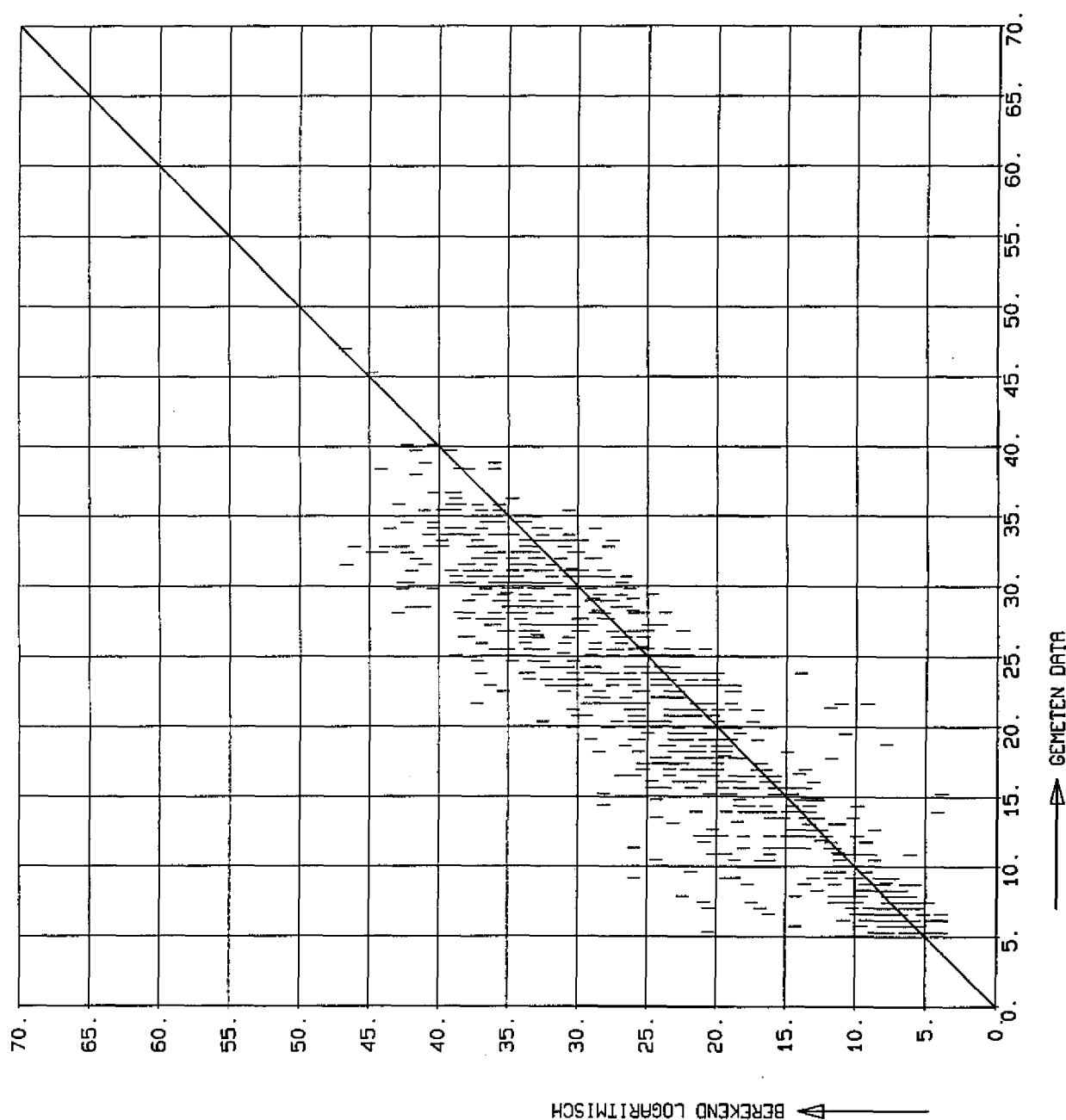
grid = 20x20m, NAP-10m/+1m (stap=1m)

Molenplaat

DELFT HYDRAULICS

Z-943

fig 3.1b



Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte
logaritmische profiel;
Meetpunt 1, 0.178 m boven de bodem

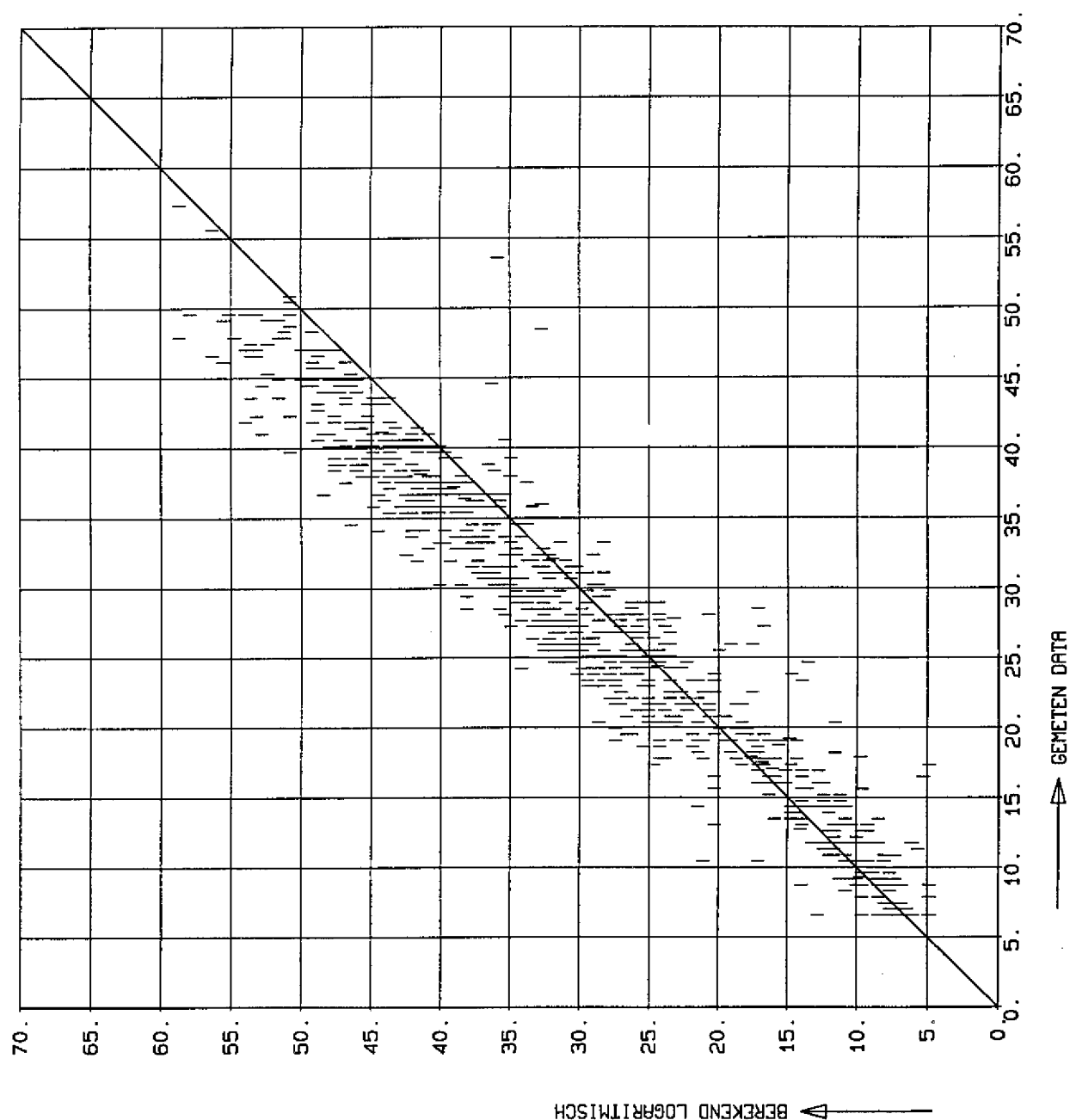
SEP 06 '95

MOLENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z-943

fig 3.2a



Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte
logaritmische profiel;
Meetpunt 1, 0.663 m boven de bodem

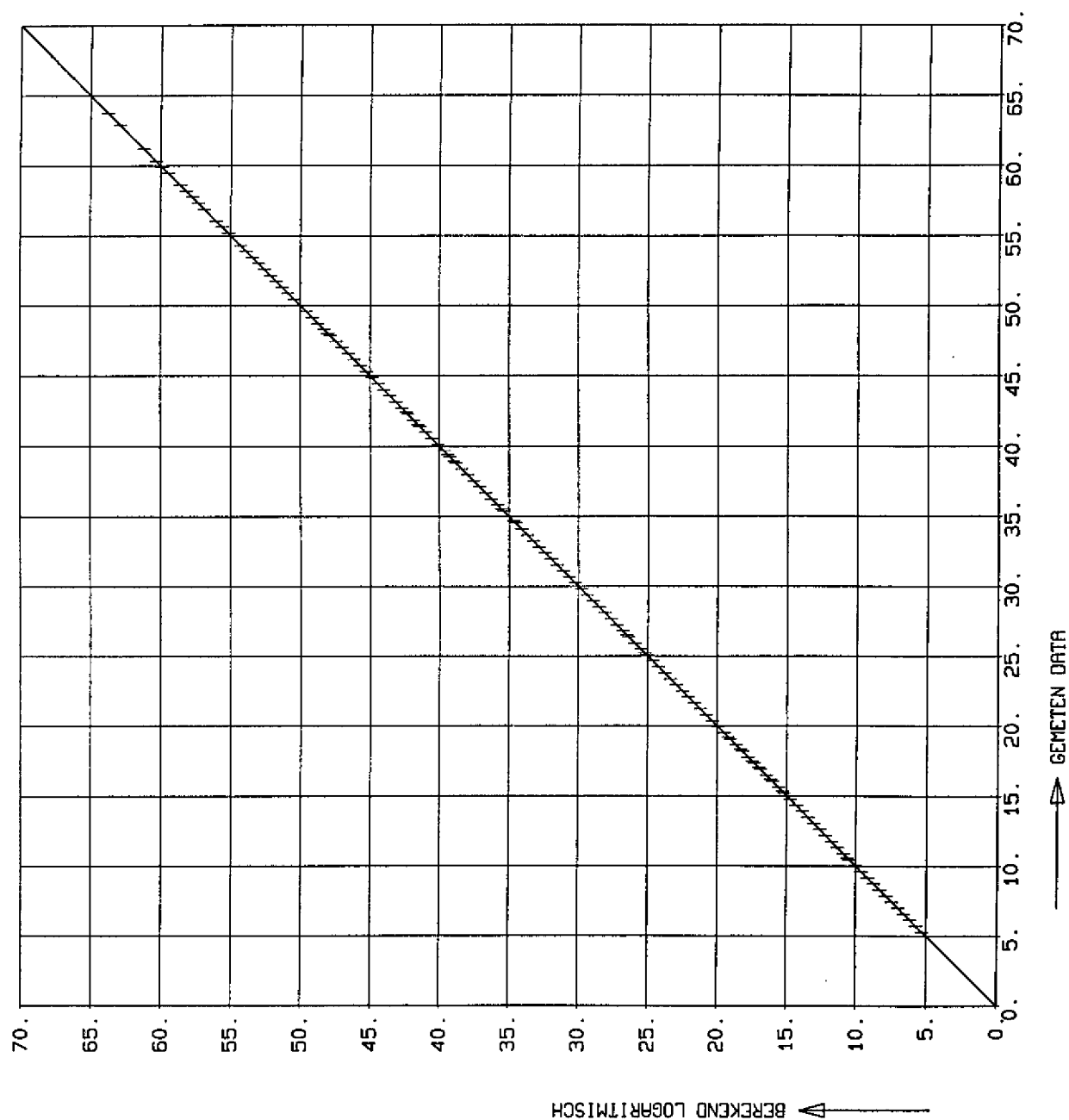
SEP 06 '95

MOLENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z-943

fig 3.2b



Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte
logaritmische profiel;
Meetpunt 1, 1.158 m boven de bodem

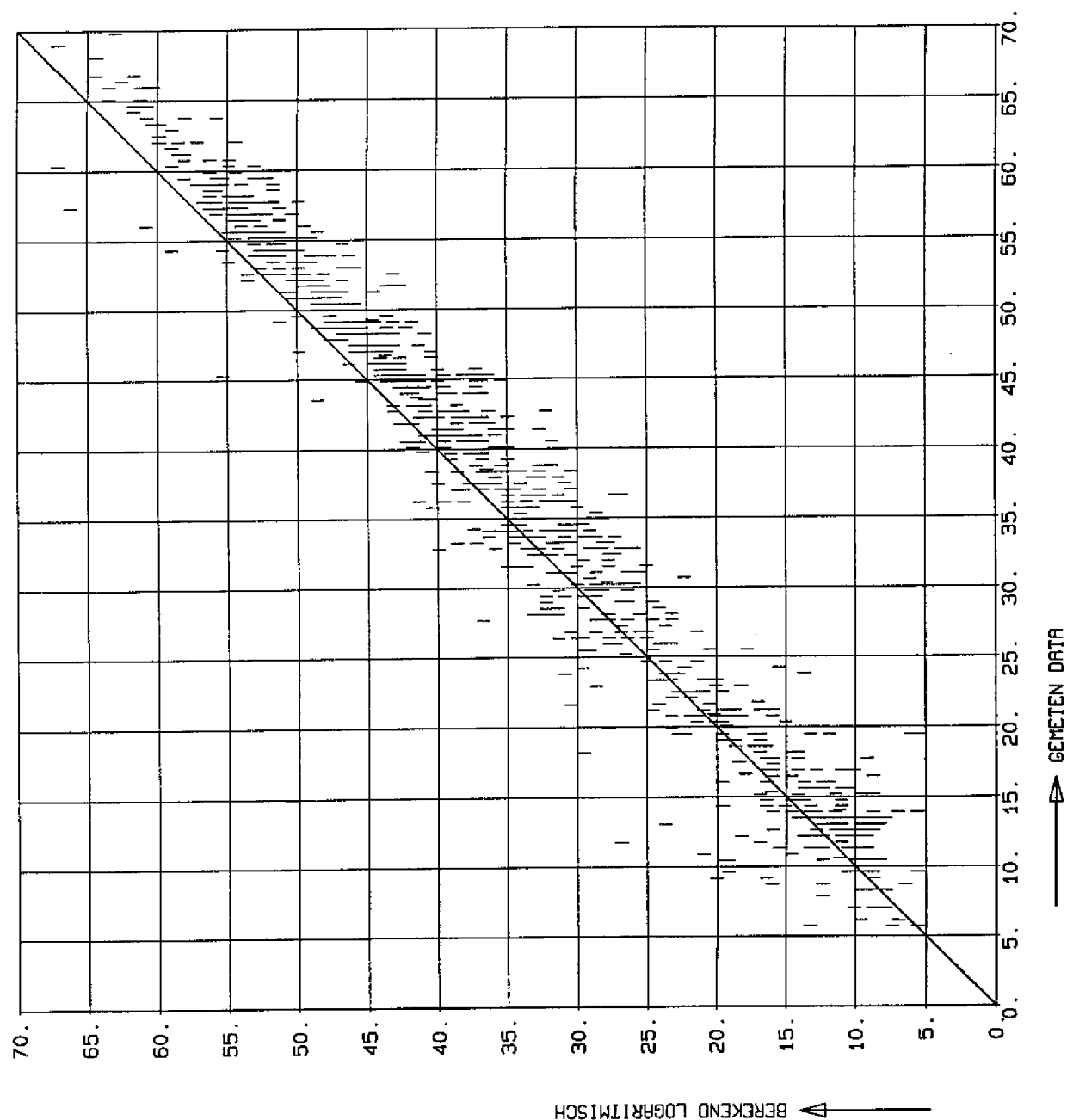
SEP 06 '95

MOLENPLAAT

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z-943

fig 3.2c



Spreiding van gemeten snelheden t.o.v. verwachte
logaritmische profiel;
Meetpunt 1, 1.668 m boven de bodem

SEP 06 '95

MOLENPLAAT

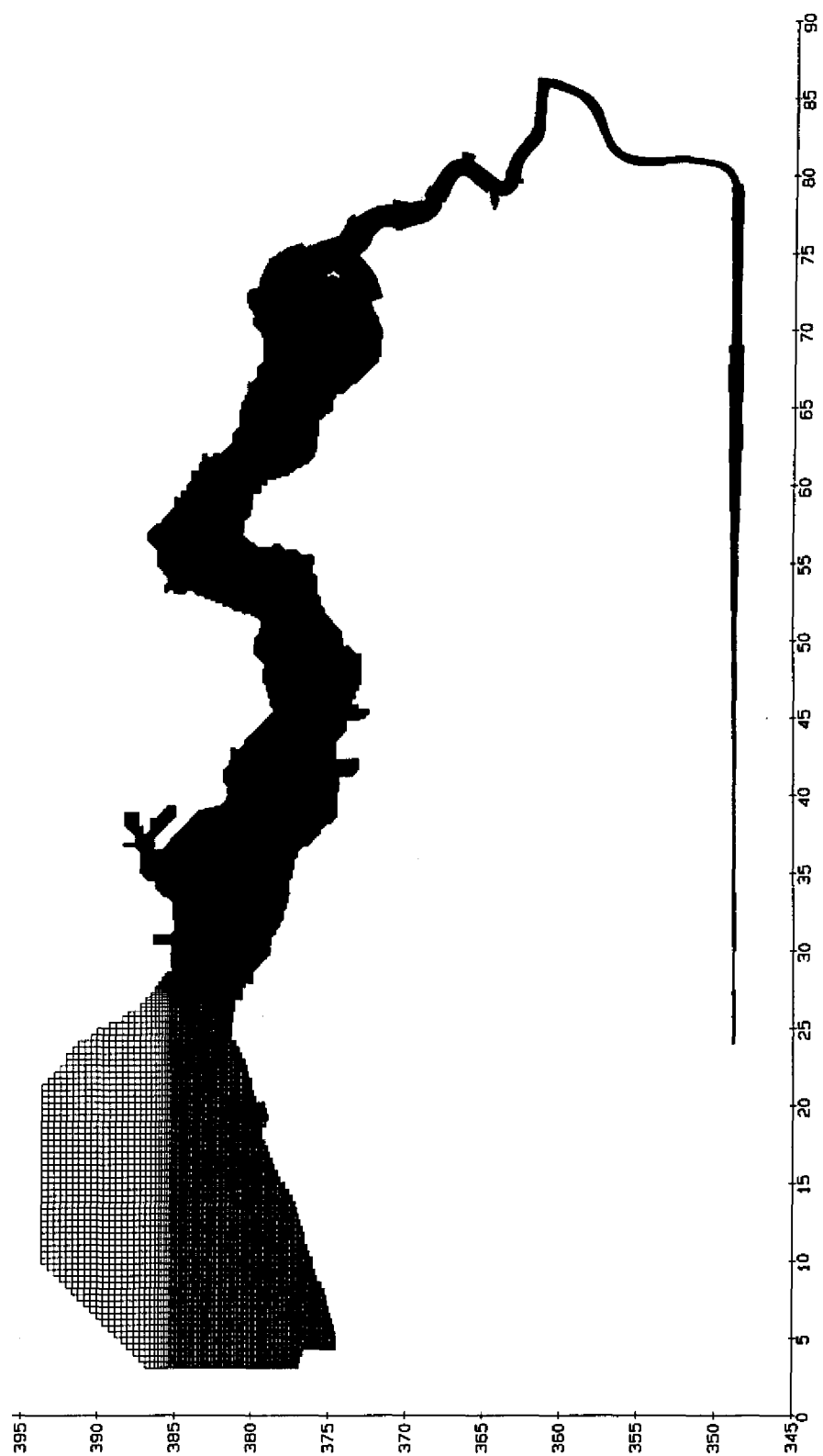
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Z-943

fig 3.2d

trim-t07.dat t07 950824 221340

N

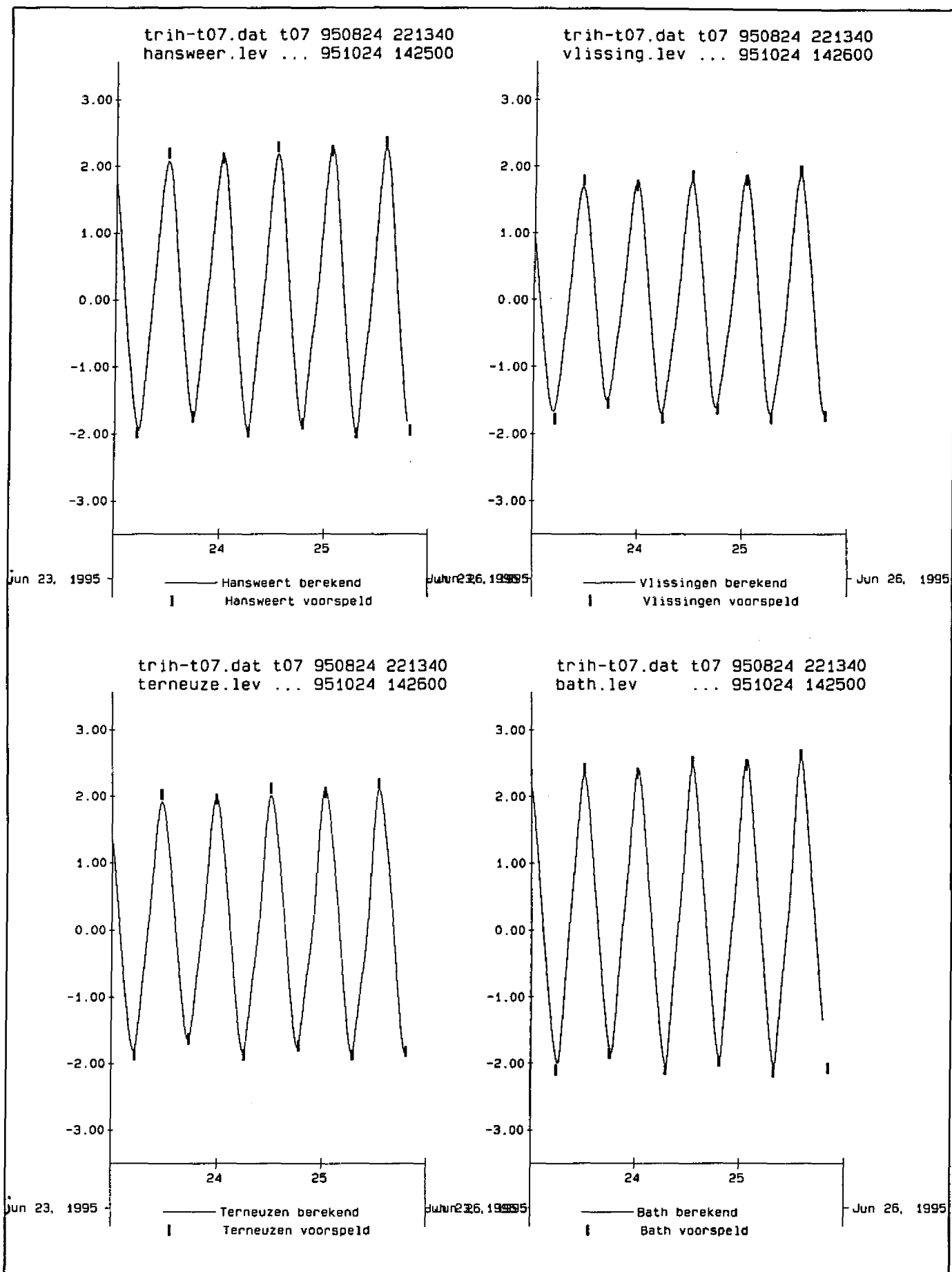


Gridschematisatie Scaldis model

1995-11-14
15: 18: 05

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 4.1

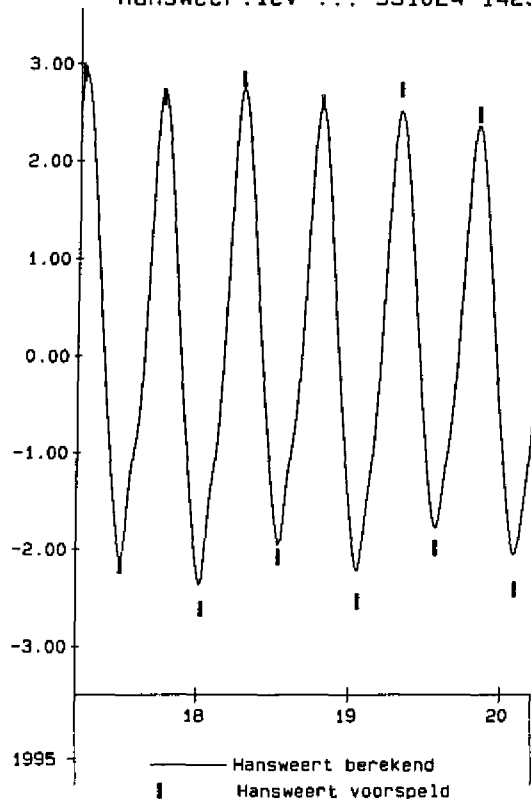


Run T07

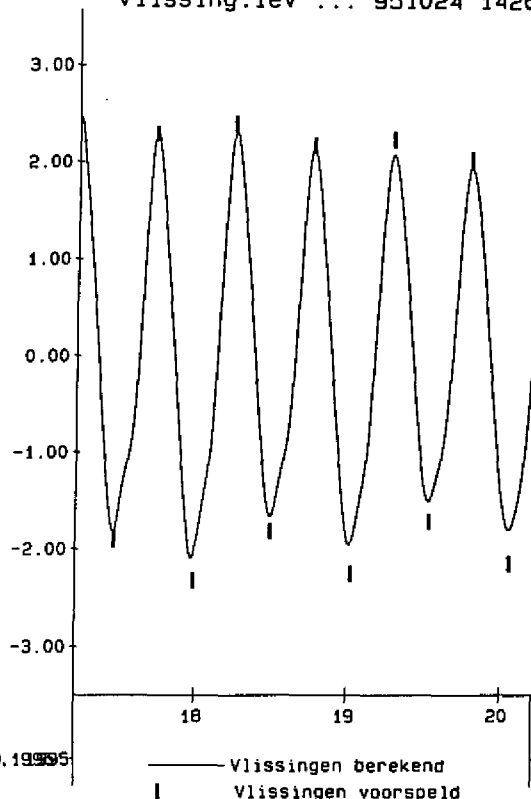
Stations Hansweert, Terneuzen, Vlissingen en Bath
berekende waterstanden tegen getijvoorspellingen

1995-11-13
15: 08: 16

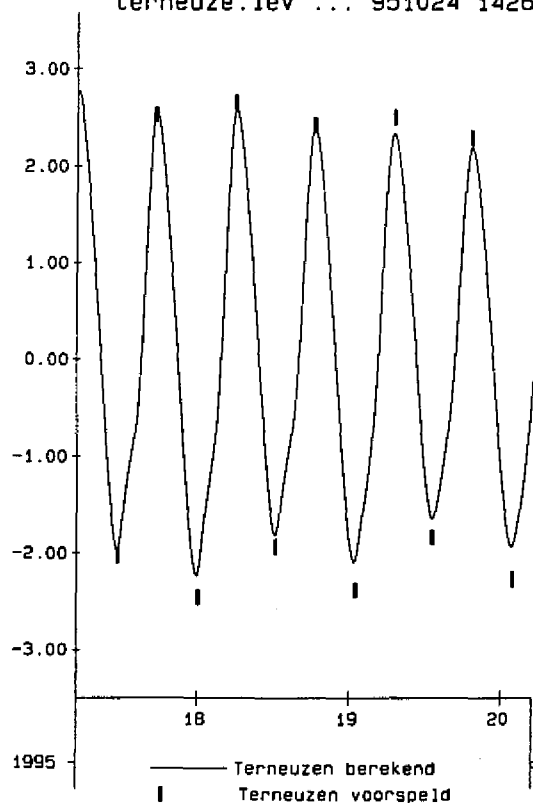
trih-t09.dat t09 950824 221340
hansweer.lev ... 951024 142500



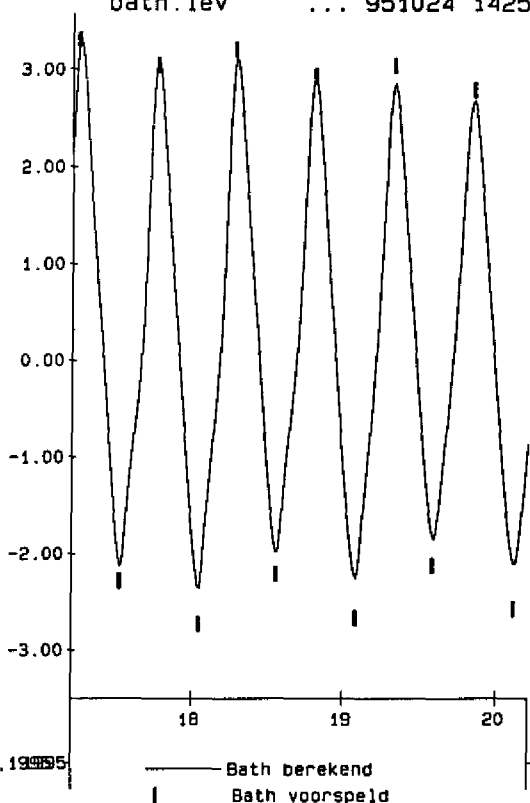
trih-t09.dat t09 950824 221340
vlissing.lev ... 951024 142600



trih-t09.dat t09 950824 221340
terneuze.lev ... 951024 142600



trih-t09.dat t09 950824 221340
bath.lev ... 951024 142500



Run t09

Stations Hansweert, Terneuzen, Vlissingen en Bath
berekende waterstanden tegen getijvoorspellingen

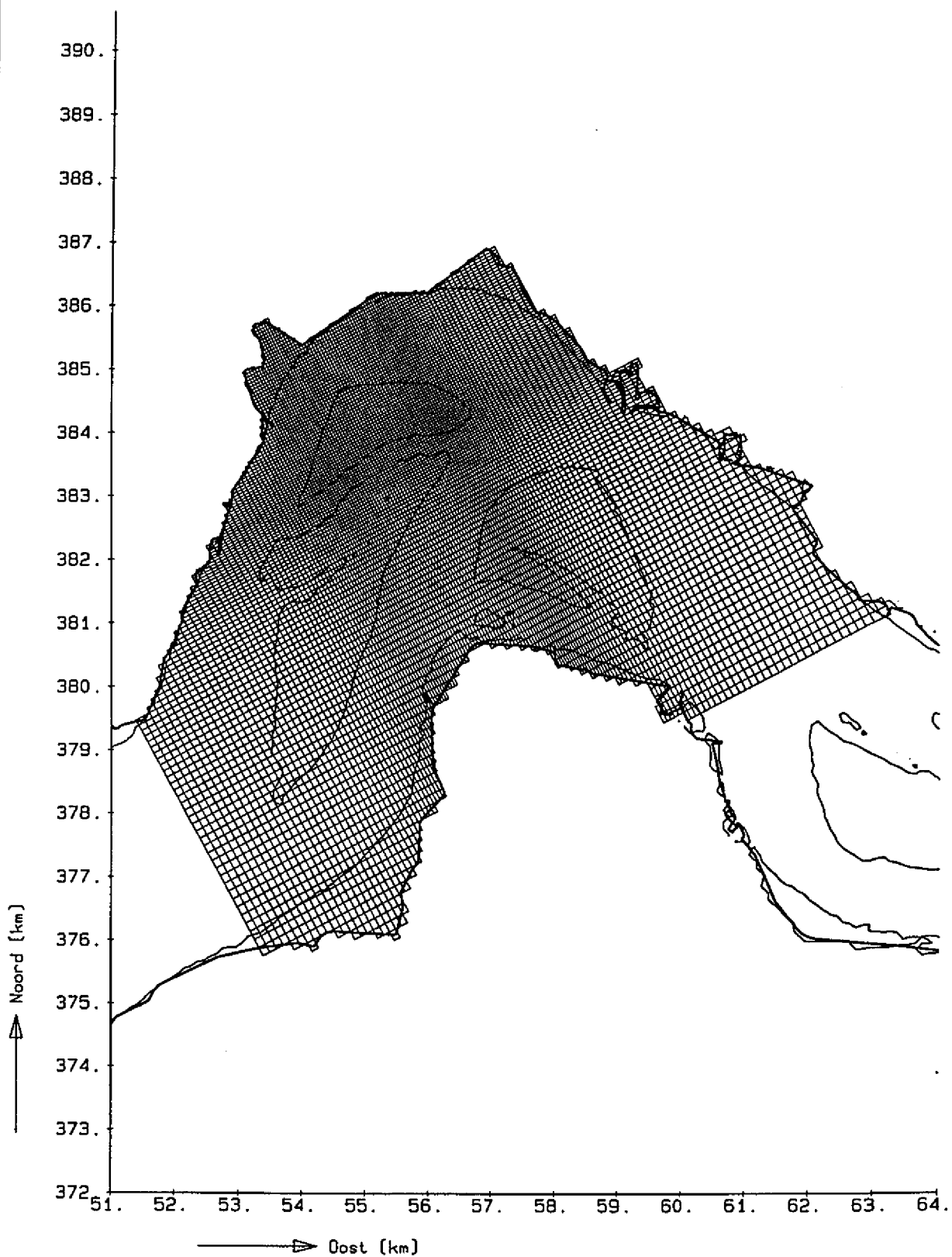
1995-11-13
15: 08: 16

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

Fig 4.3



Ligging van het Molenplaat model in de Westerschelde



Rechtlijnig rekenrid van het Molenplaat model

Molenplaat

DELFT HYDRAULICS

04-09-1995

fig 5.2

Diepteschematisatie van het Molenplaat model

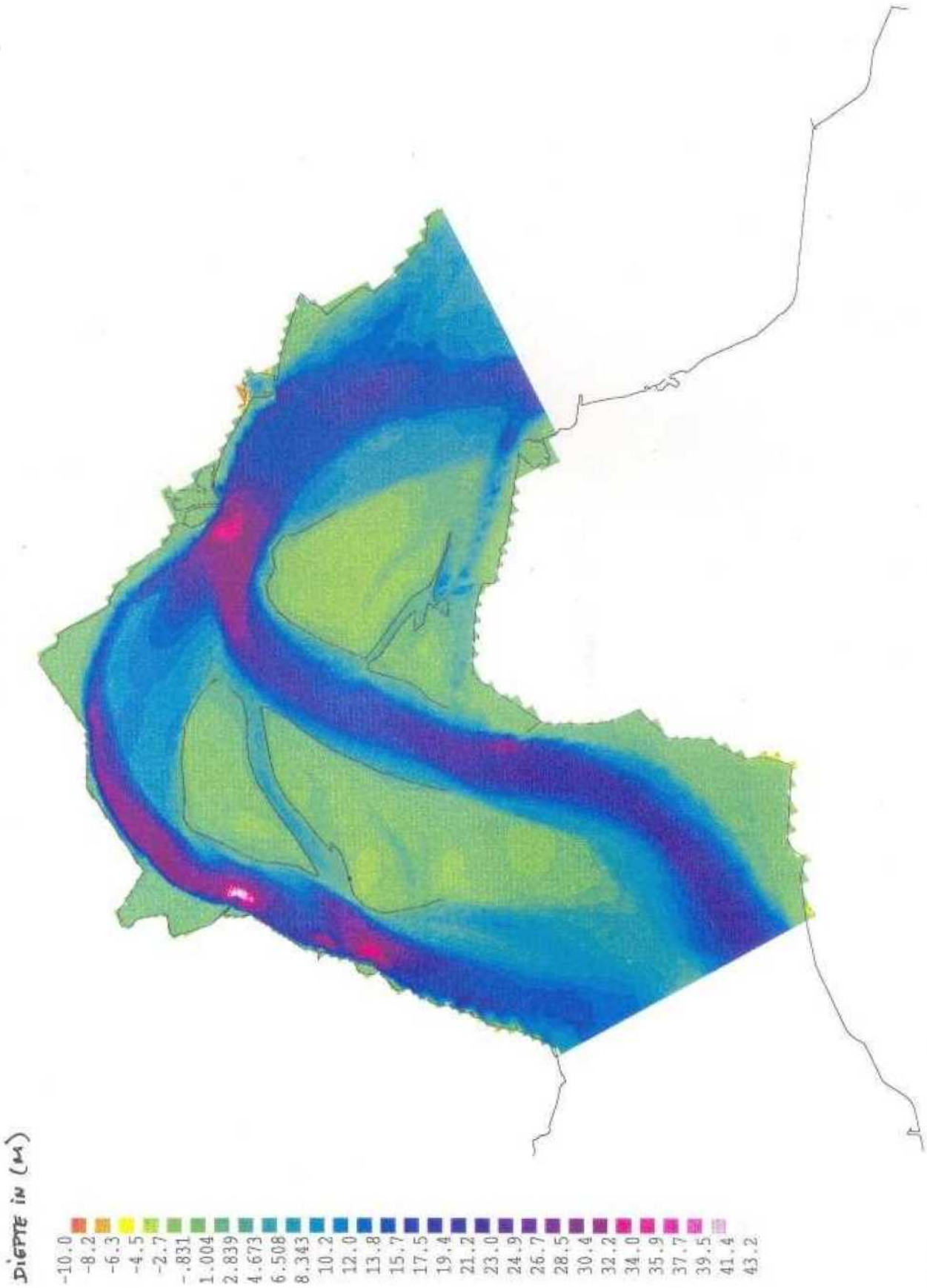


fig 5.3a

Diepteschematisatie van de Molenplaat
in het Molenplaat model, *DETAIL*

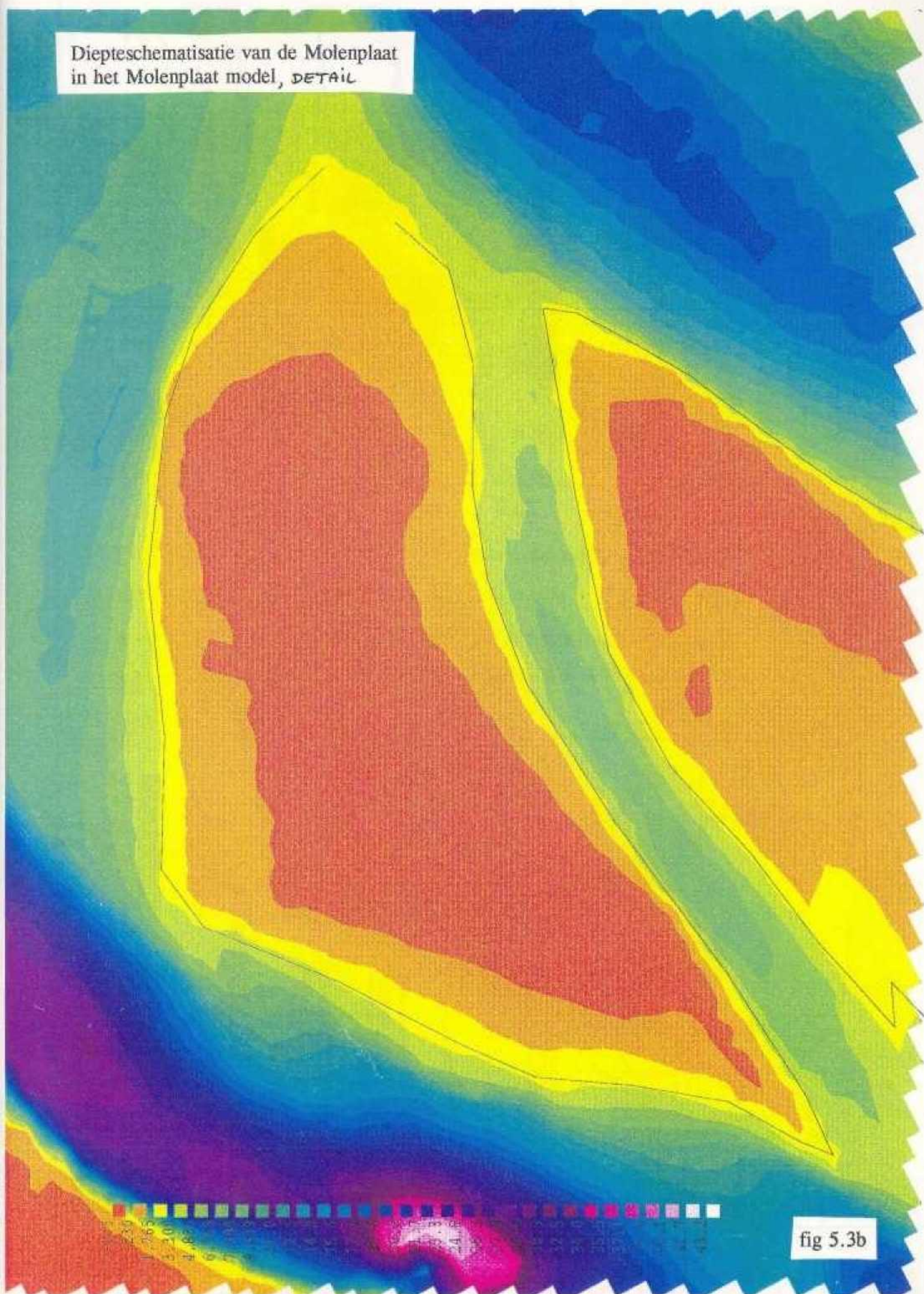
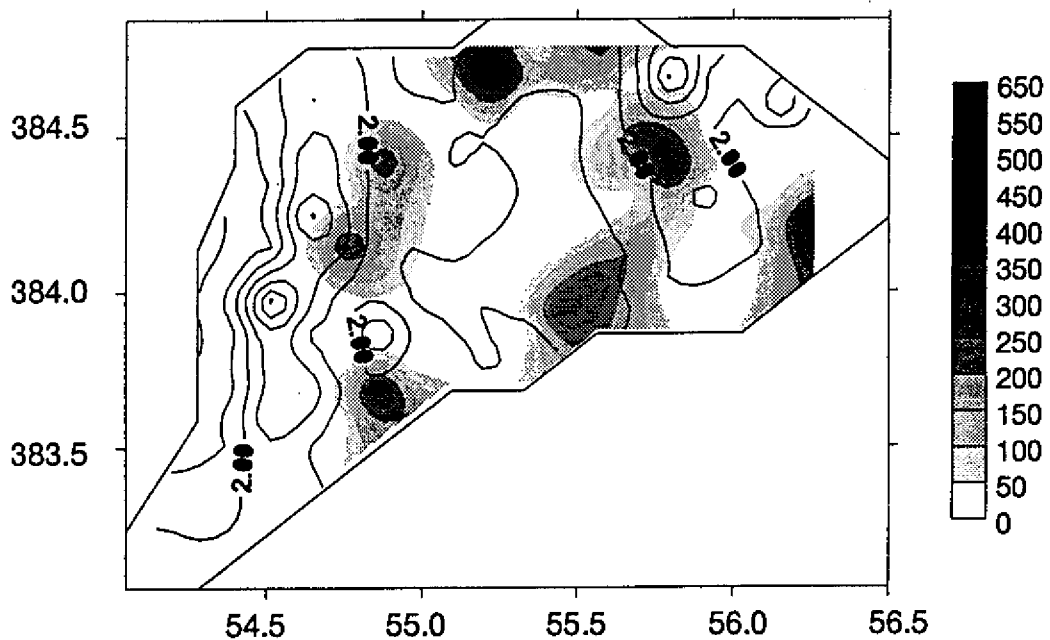


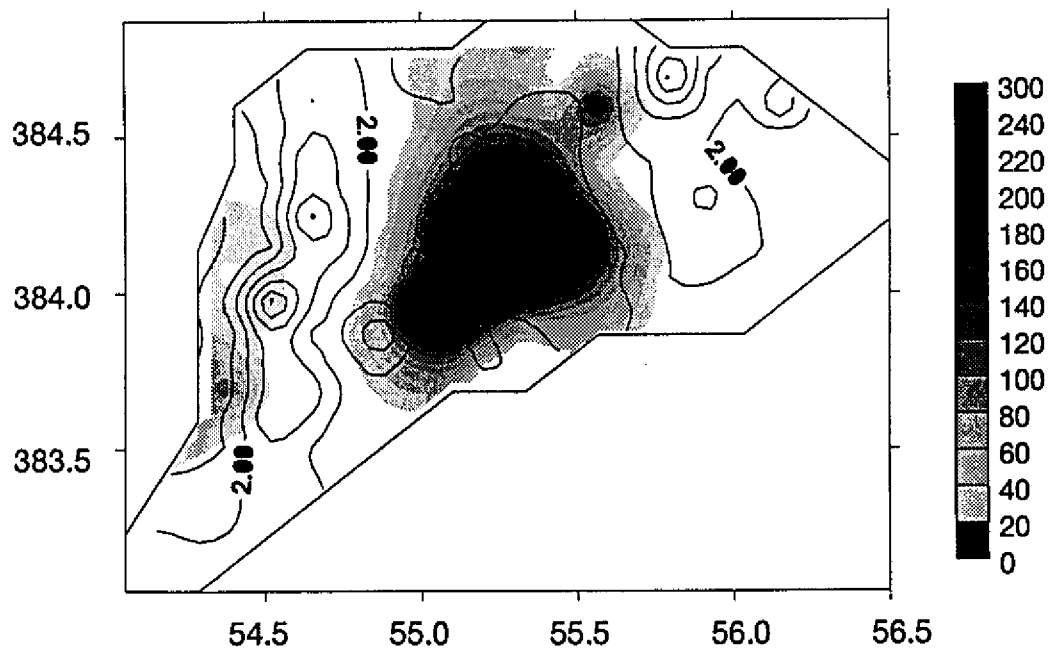
fig 5.3b

Arenicola marina (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)

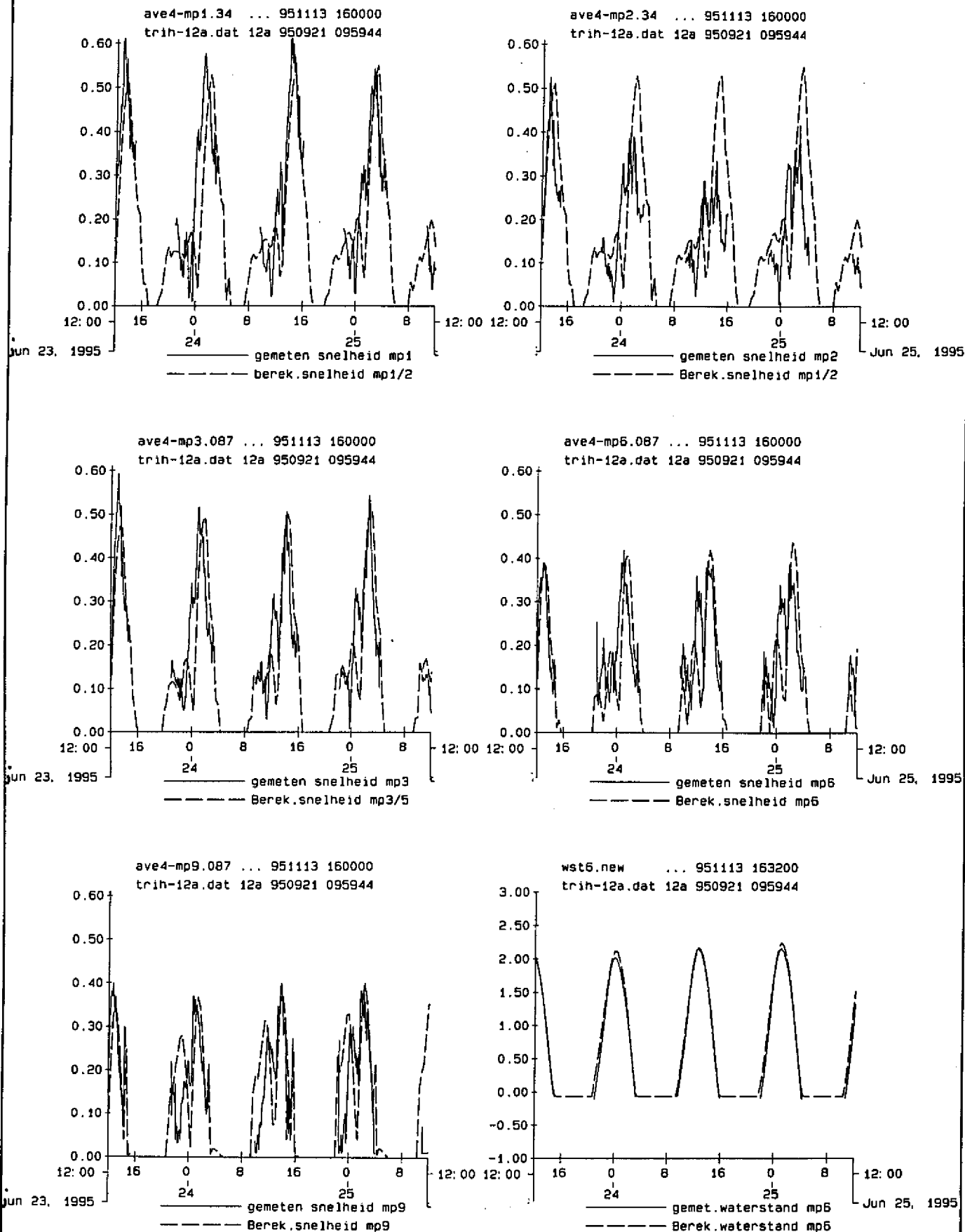


Figuur 8.12 Ruimtelijke verspreiding van *Arenicola marina* in de juni-bemonstering

Heteromastus filiformis (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)



Figuur 8.13 Ruimtelijke verspreiding van *Heteromastus filiformis* in de juni-bemonstering



Run 12a

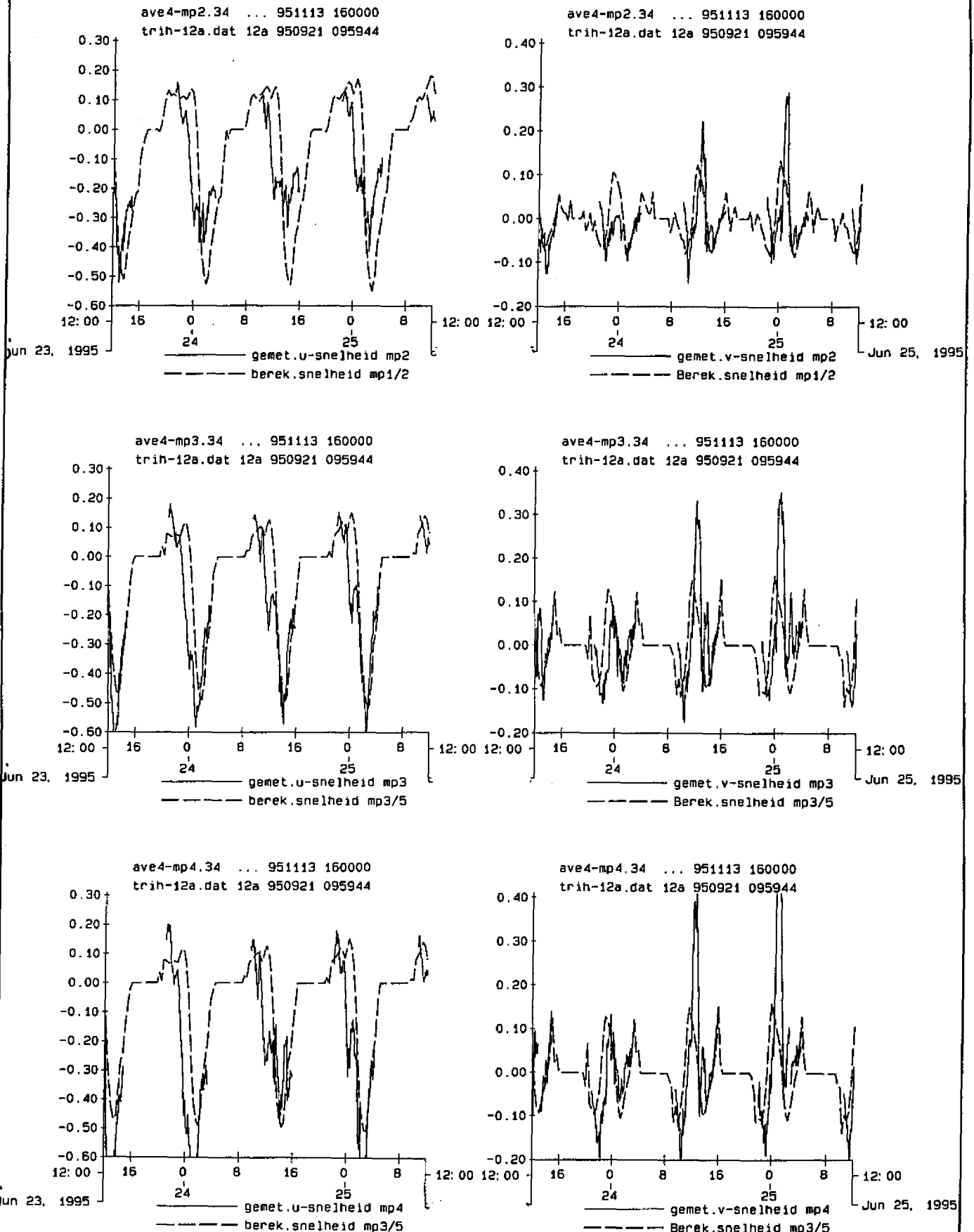
Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5,

mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6

1995-11-13
16:36:15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.4a



Run 12a
Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten
Meetpunt 1/2 en Meetpunt 3/5

1995-11-13
17: 05: 25

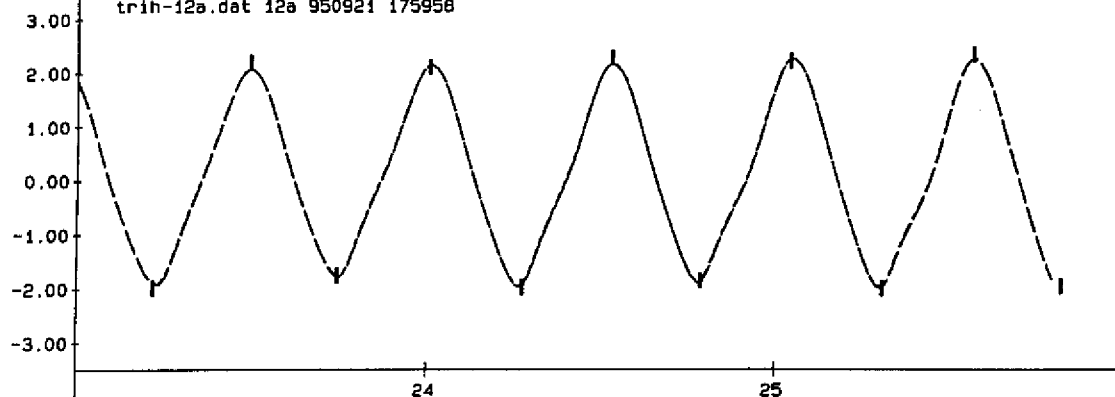
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.4b

hansweer.lev ... 951113 171300

trih-T07.dat T07 950908 191246

trih-12a.dat 12a 950921 175958



Jun 23, 1995

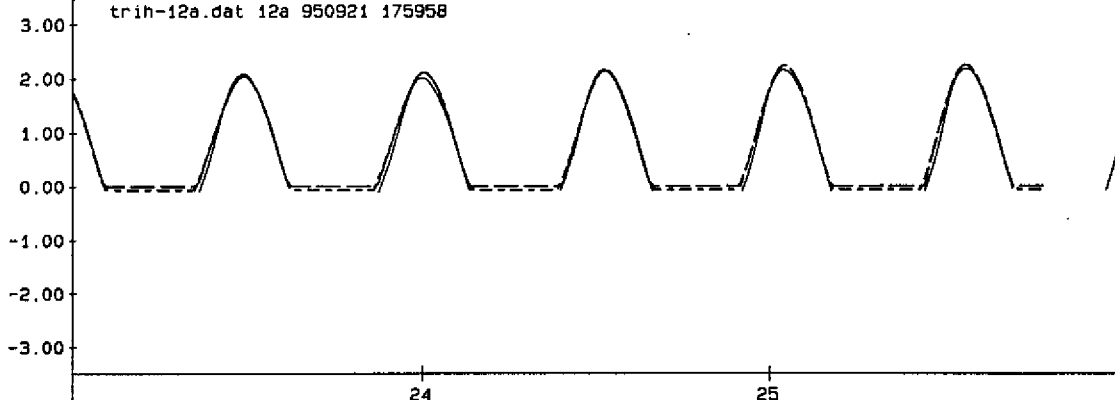
| Getijvoorspelling
 - - - - Run T07, Hansweert
 Run 12a, Hansweert

Jun 26, 1995

wst6.new ... 951113 163200

trih-T07.dat T07 950908 191246

trih-12a.dat 12a 950921 175958



Jun 23, 1995

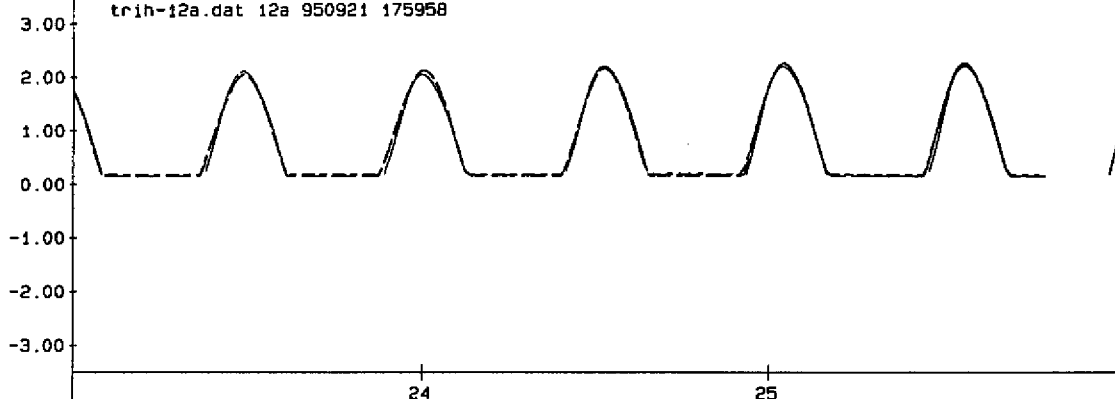
——— Meetpunt 6, metingen
 - - - Meetpunt 6, run T07
 . . . Meetpunt 6, run 12a

Jun 26, 1995

wst9.new ... 951114 142400

trih-T07.dat T07 950908 191246

trih-12a.dat 12a 950921 175958



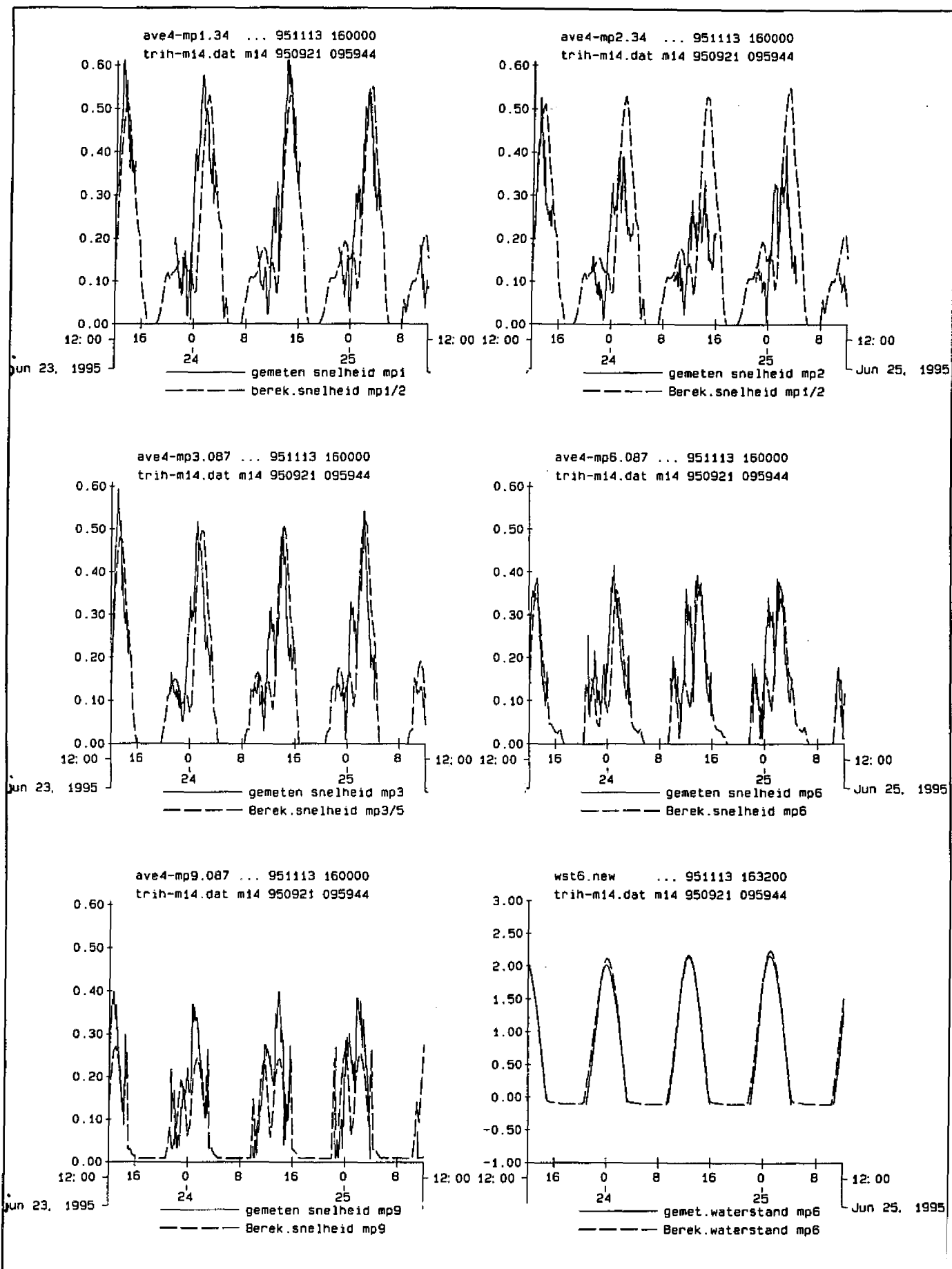
Jun 23, 1995

——— Meetpunt 9, metingen
 - - - Meetpunt 9, run T07
 . . . Meetpunt 9, run 12a

Jun 26, 1995

Stations Hansweert, Meetpunt 6 en Meetpunt 9
 Berekende Waterstand tegen resp. voorspelling en
 metingen; Runs T07 en 12a

1995-11-14
 14:25:40



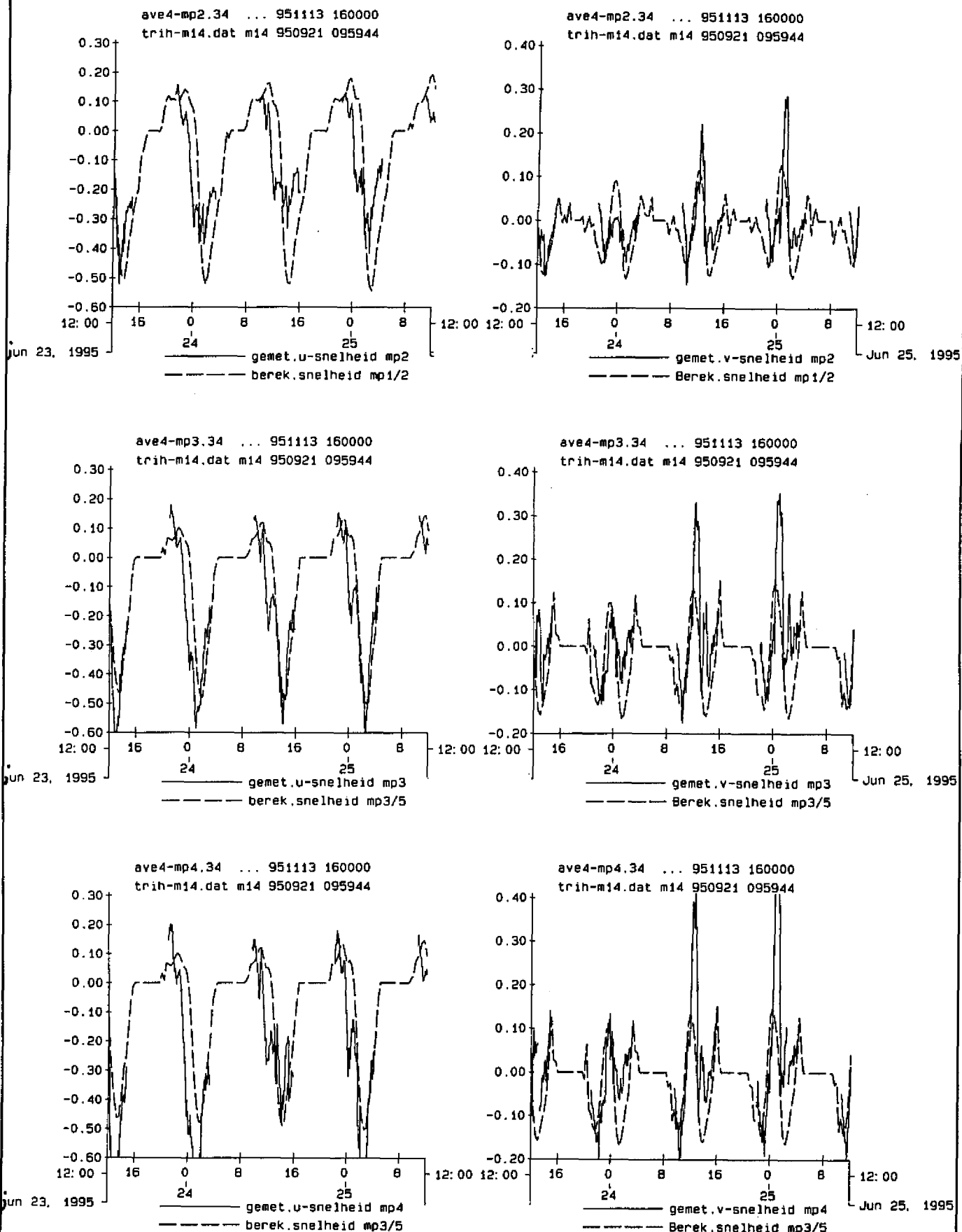
Run m14

Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5,
mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6

1995-11-13
16:36:15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.5a



Run m14

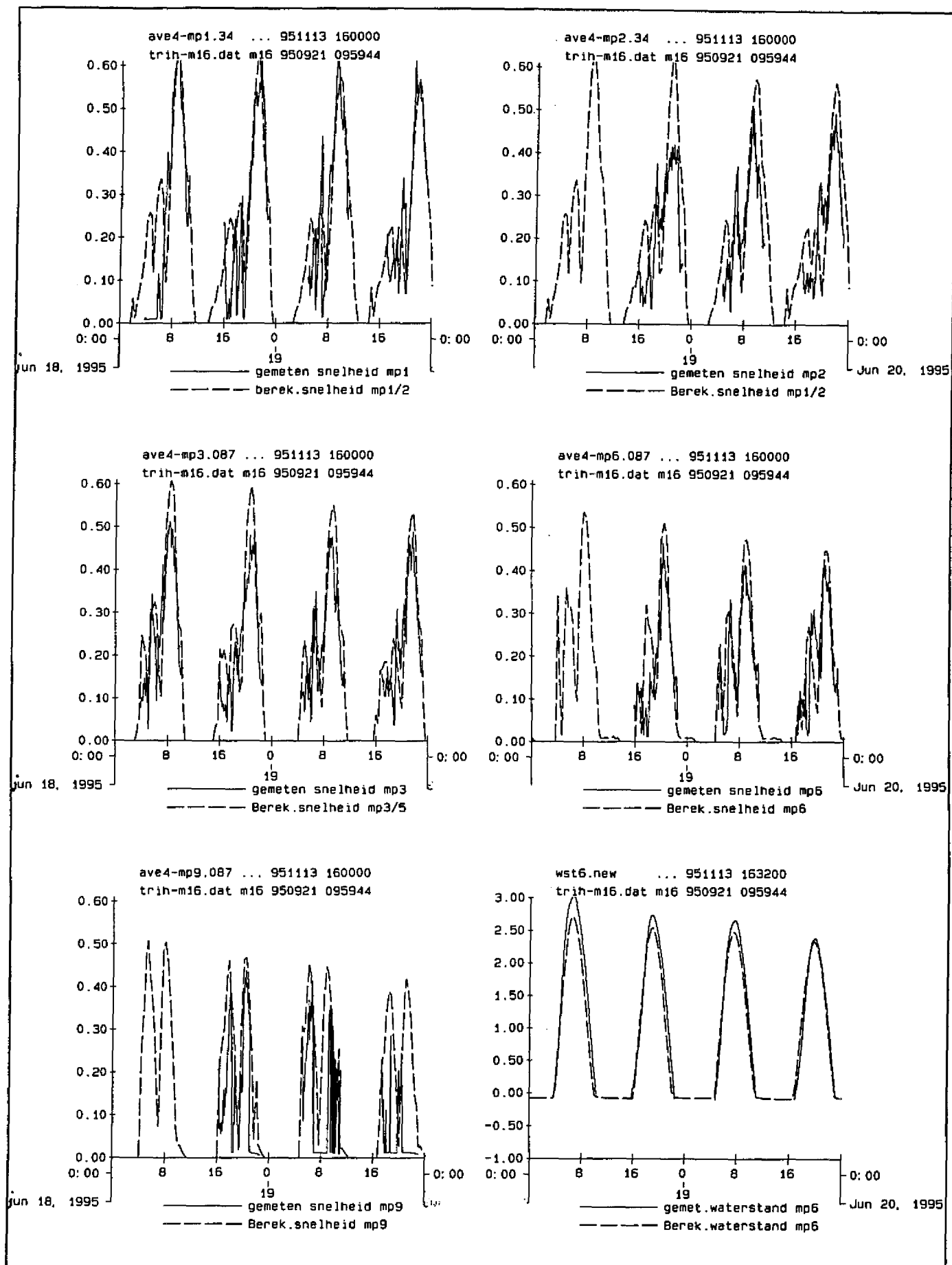
Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten
Meetpunt 1/2 en Meetpunt 3/5

1995-11-13

17:05:25

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.5b



Run m16

Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5,

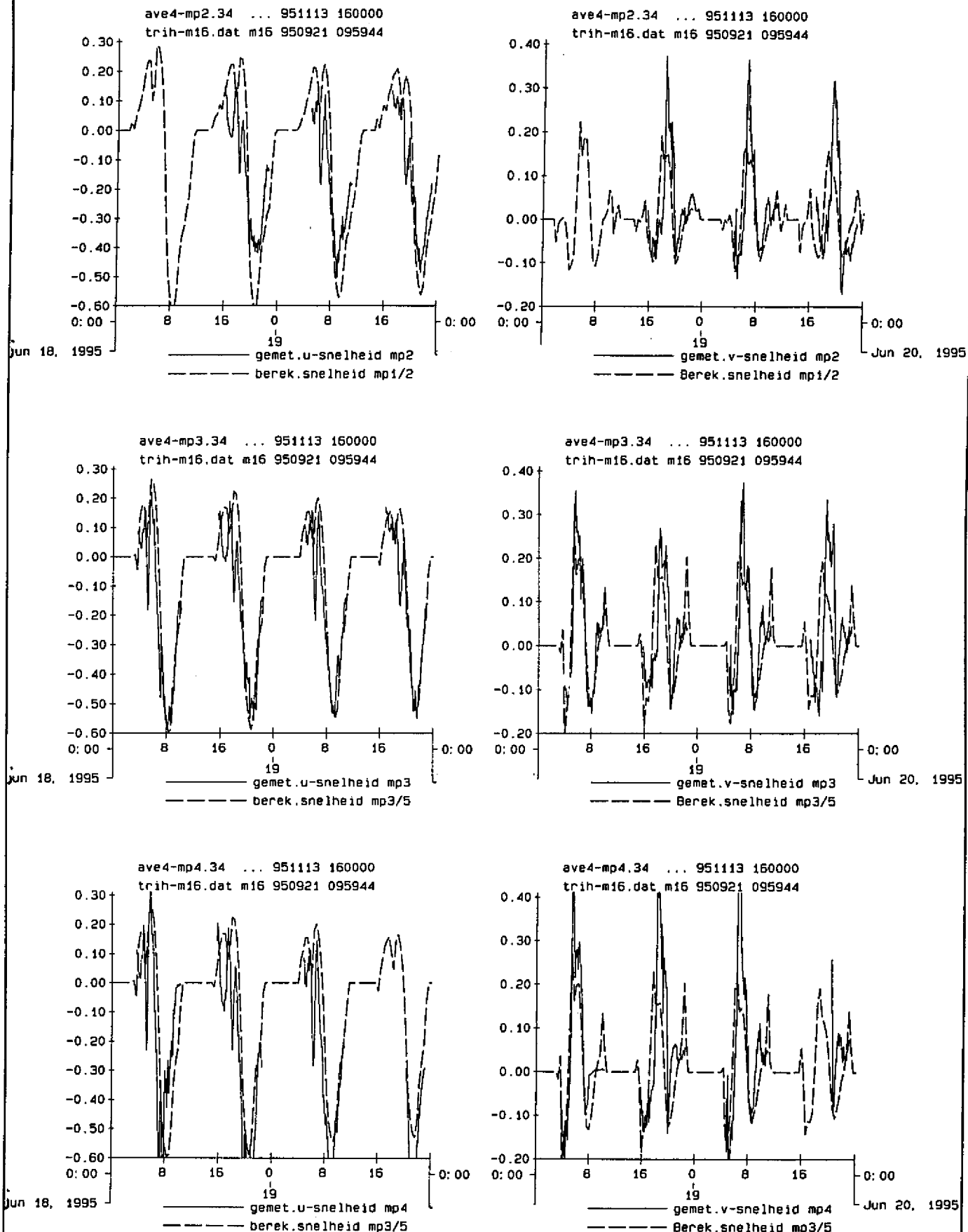
mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6

1995-11-13

16: 36: 15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.6a



Run m16

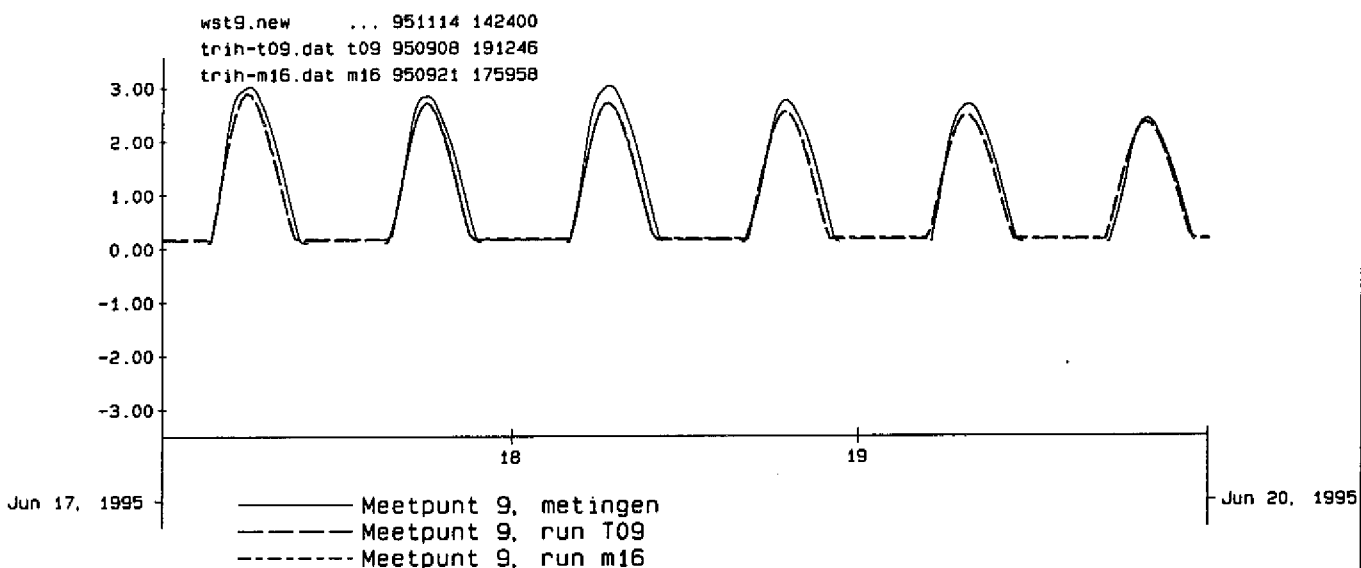
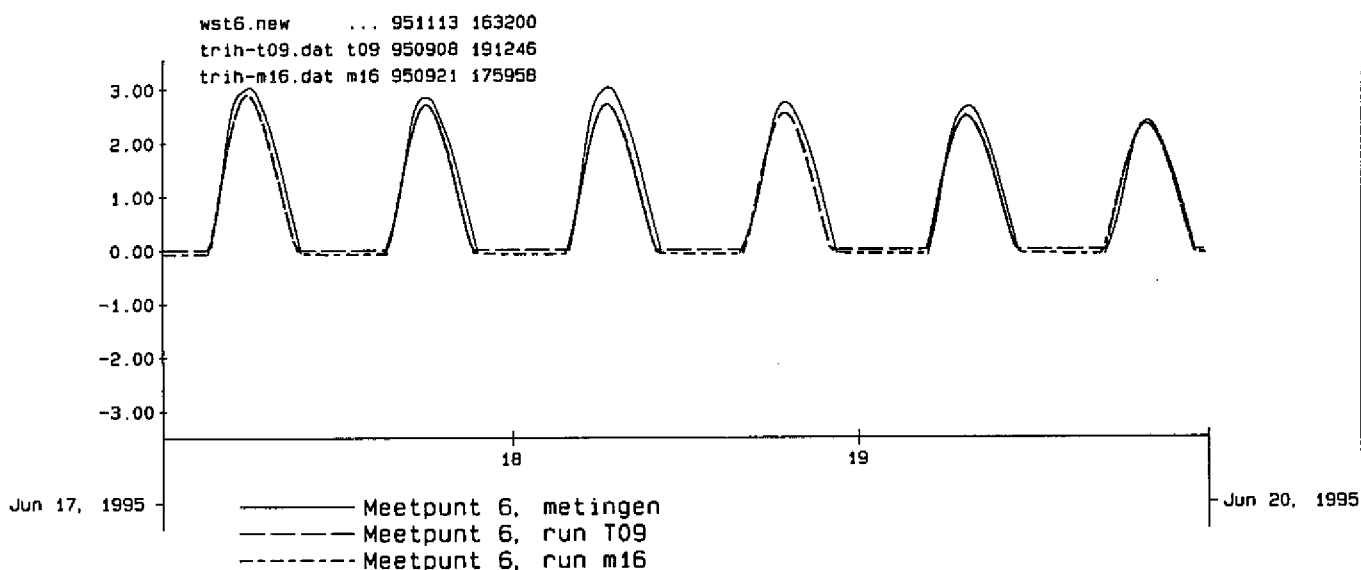
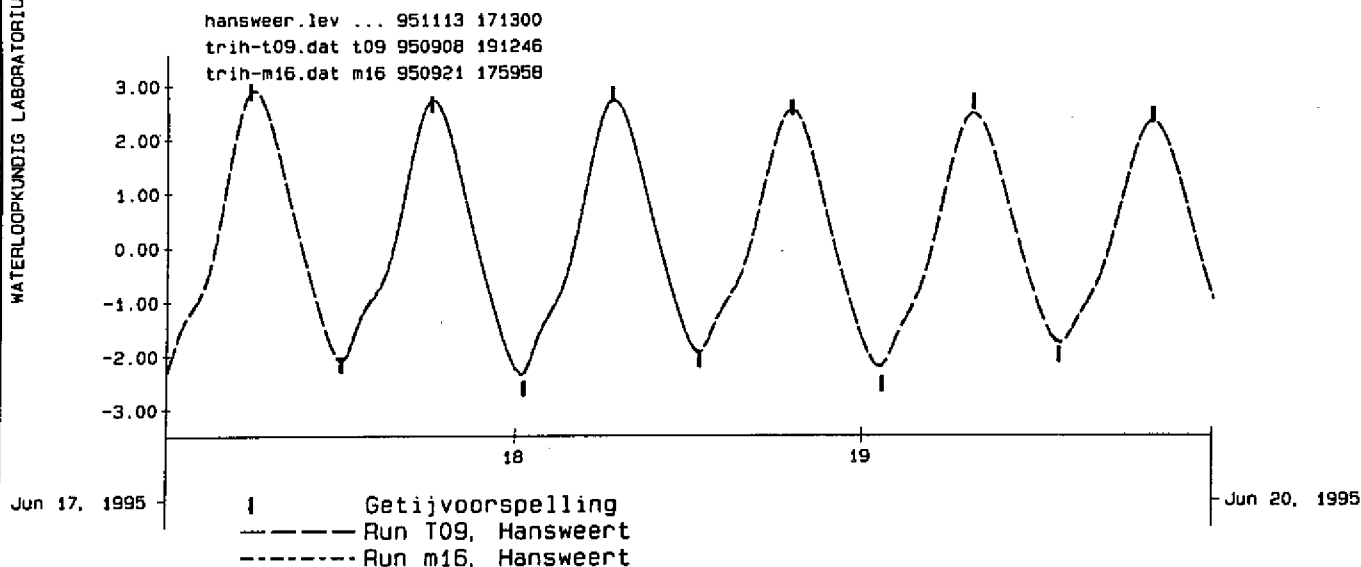
Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten
Meetpunt 1/2 en Meetpunt 3/5

1995-11-13

17:05:25

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

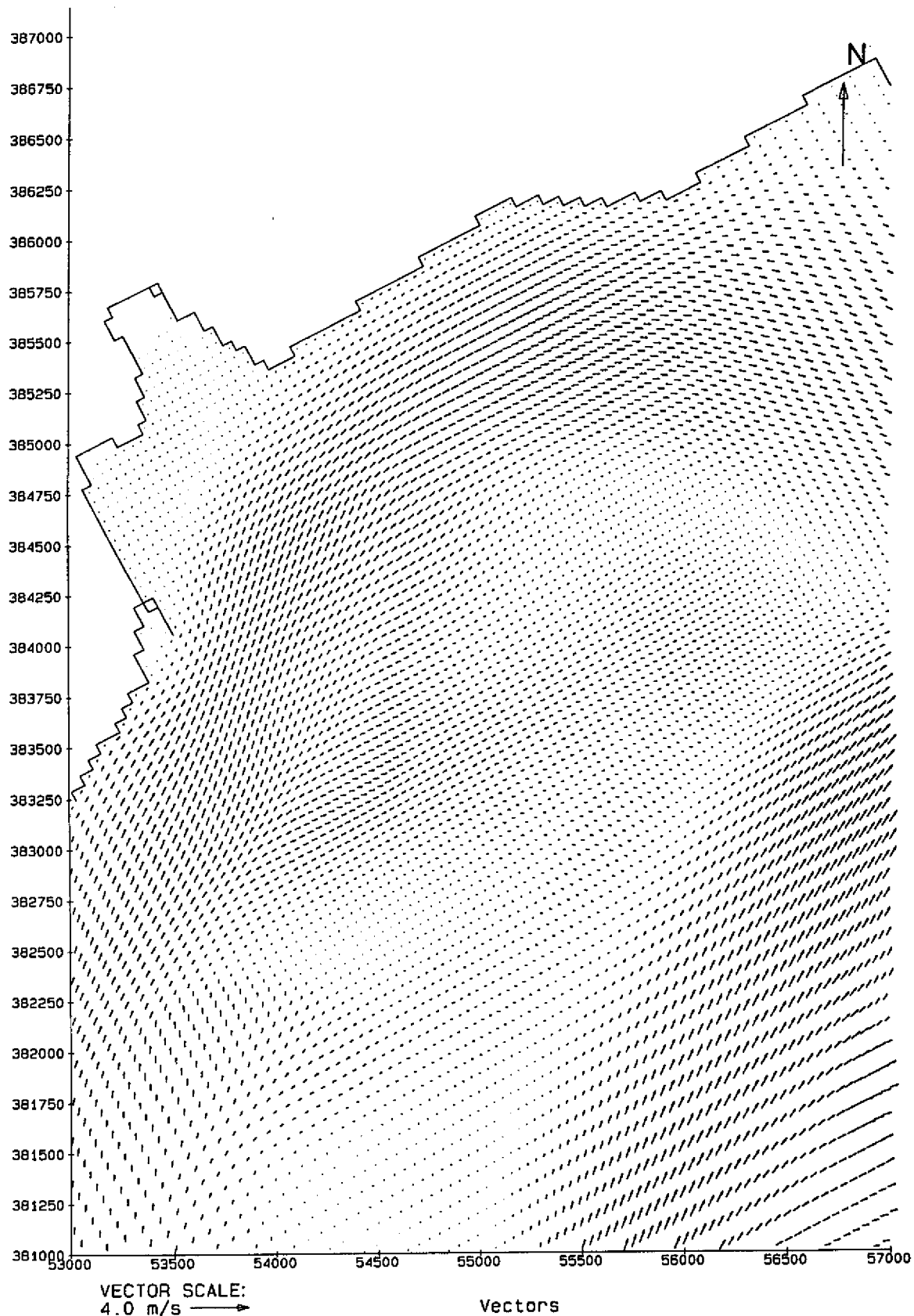
fig 5.6b



Stations Hansweert, Meetpunt 6 en Meetpunt 9
 Berekende Waterstand tegen resp. voorspelling en
 metingen; Runs T09 en m16

1995-11-14
 14: 25: 40

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 19 Juni 19: 40
run m16

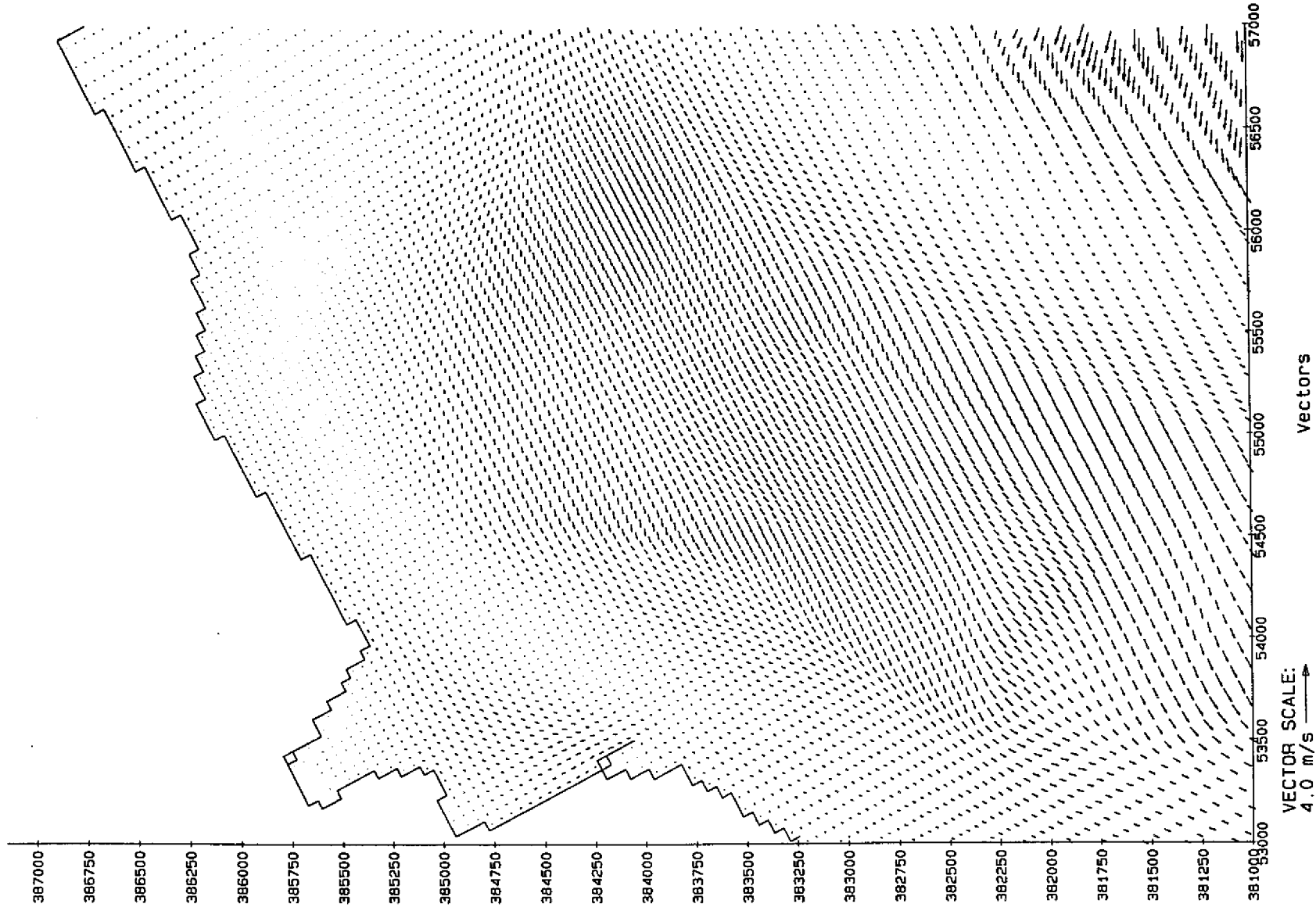
1995-09-22
11: 49: 56

DELFT HYDRAULICS

Fig 5.7A

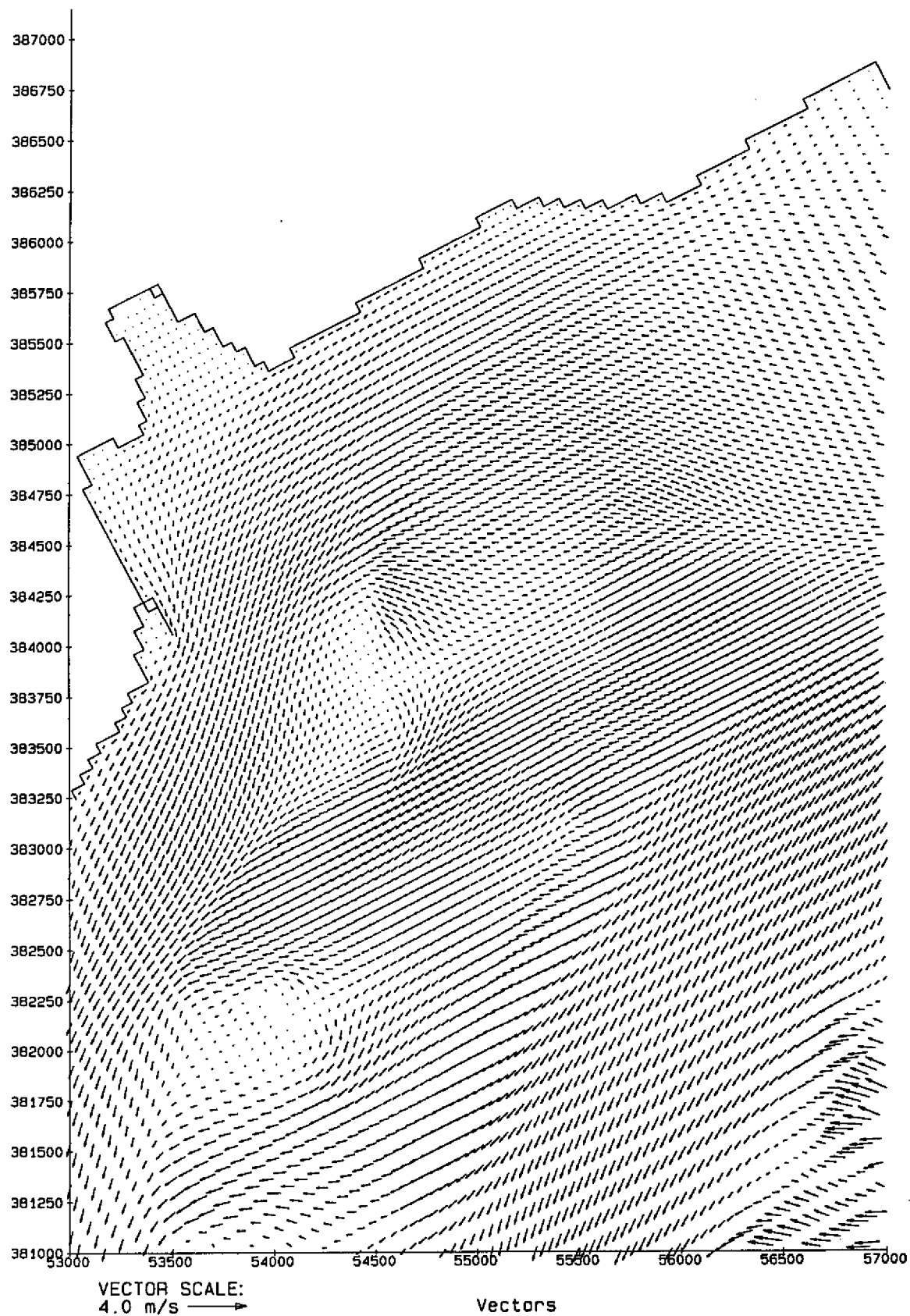
map1

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 19 Juni 20:40		1995-09-22
run m16		14:49:58
DELFT HYDRAULICS		Fig 578
		map2

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 19 Juni 21: 40
run m16

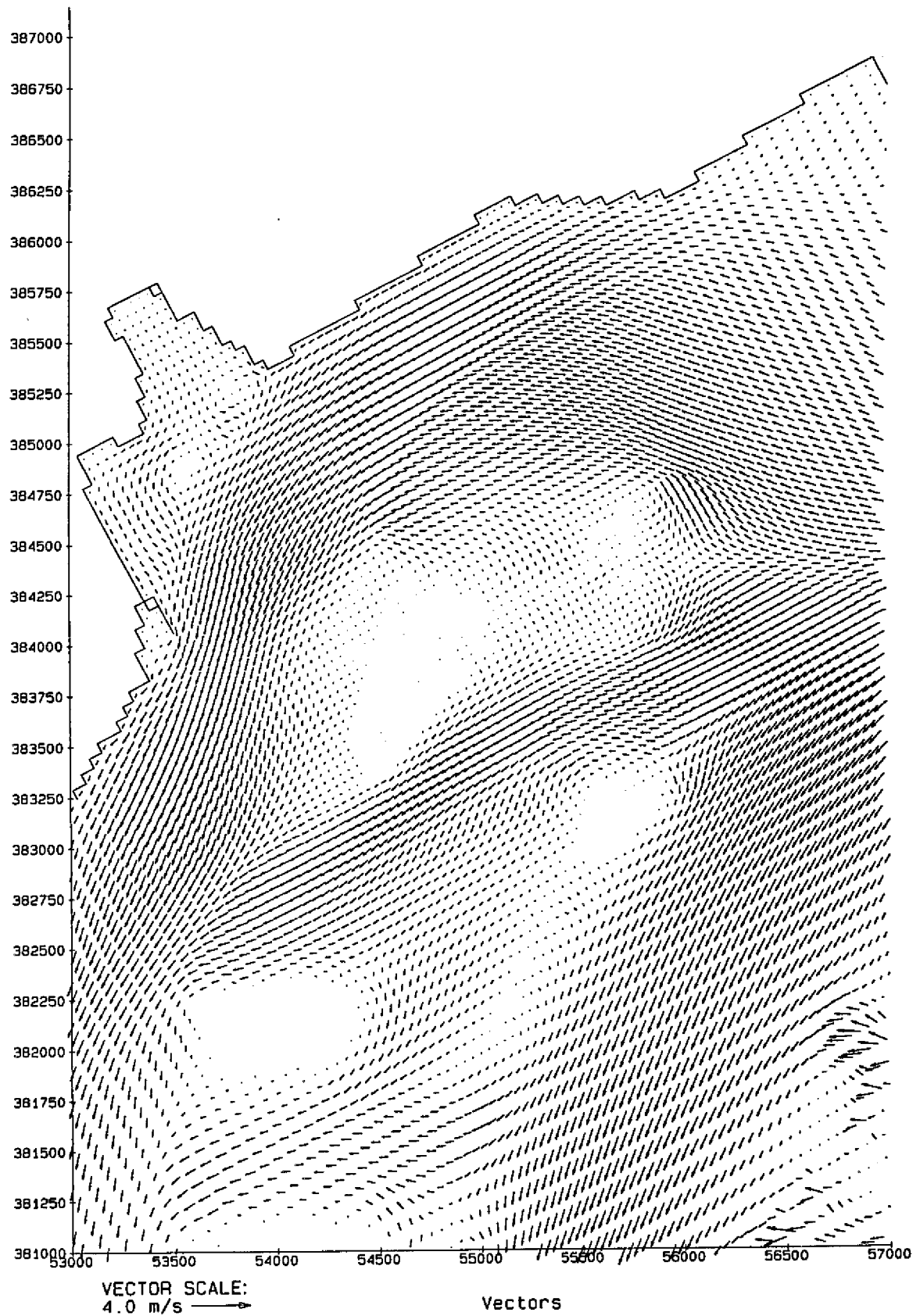
1995-09-22
11: 49: 59

DELFT HYDRAULICS

Fig 5.7c

map3

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 19 Juni 22: 40
run m16

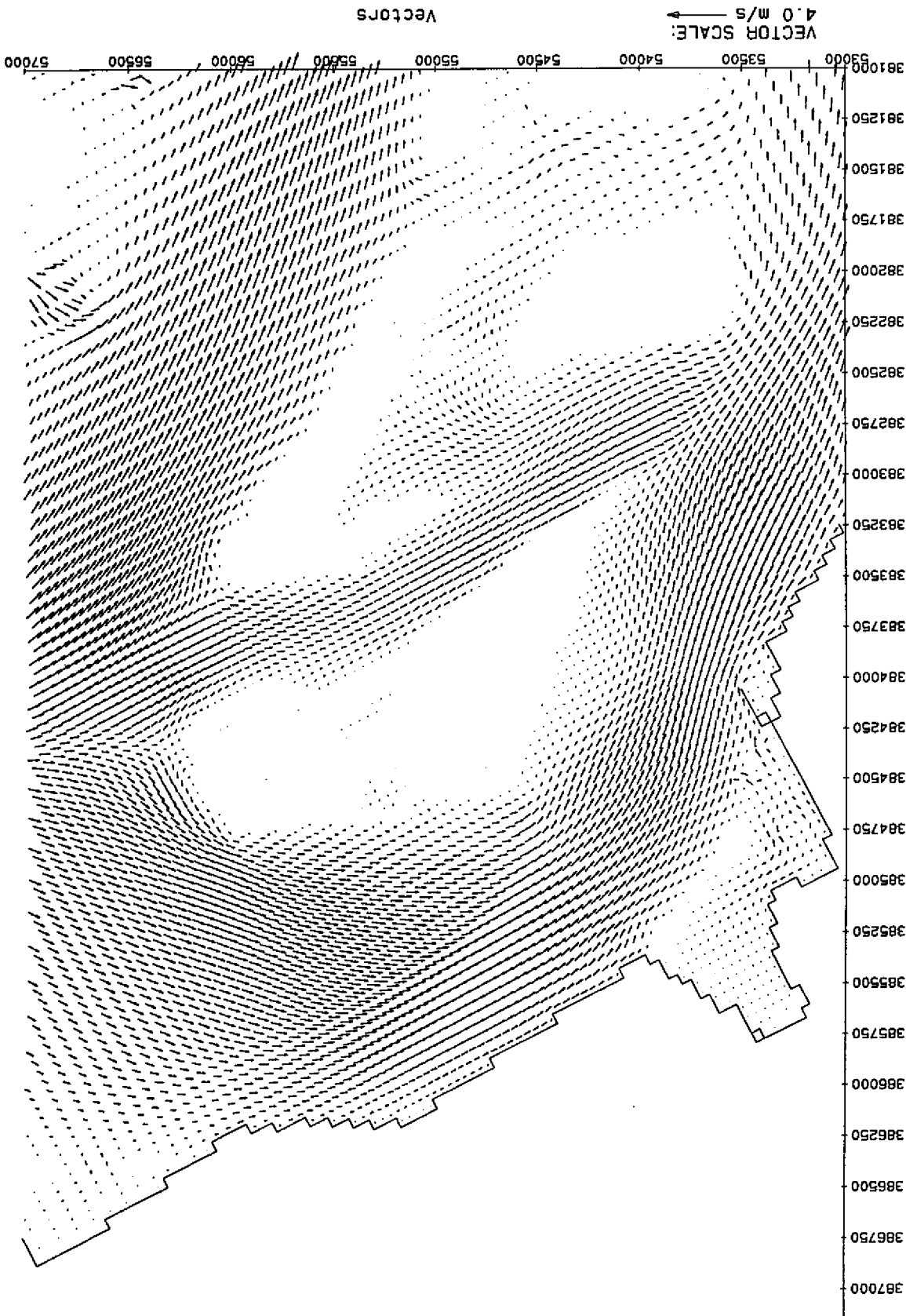
1995-09-22
11: 50: 01

DELFT HYDRAULICS

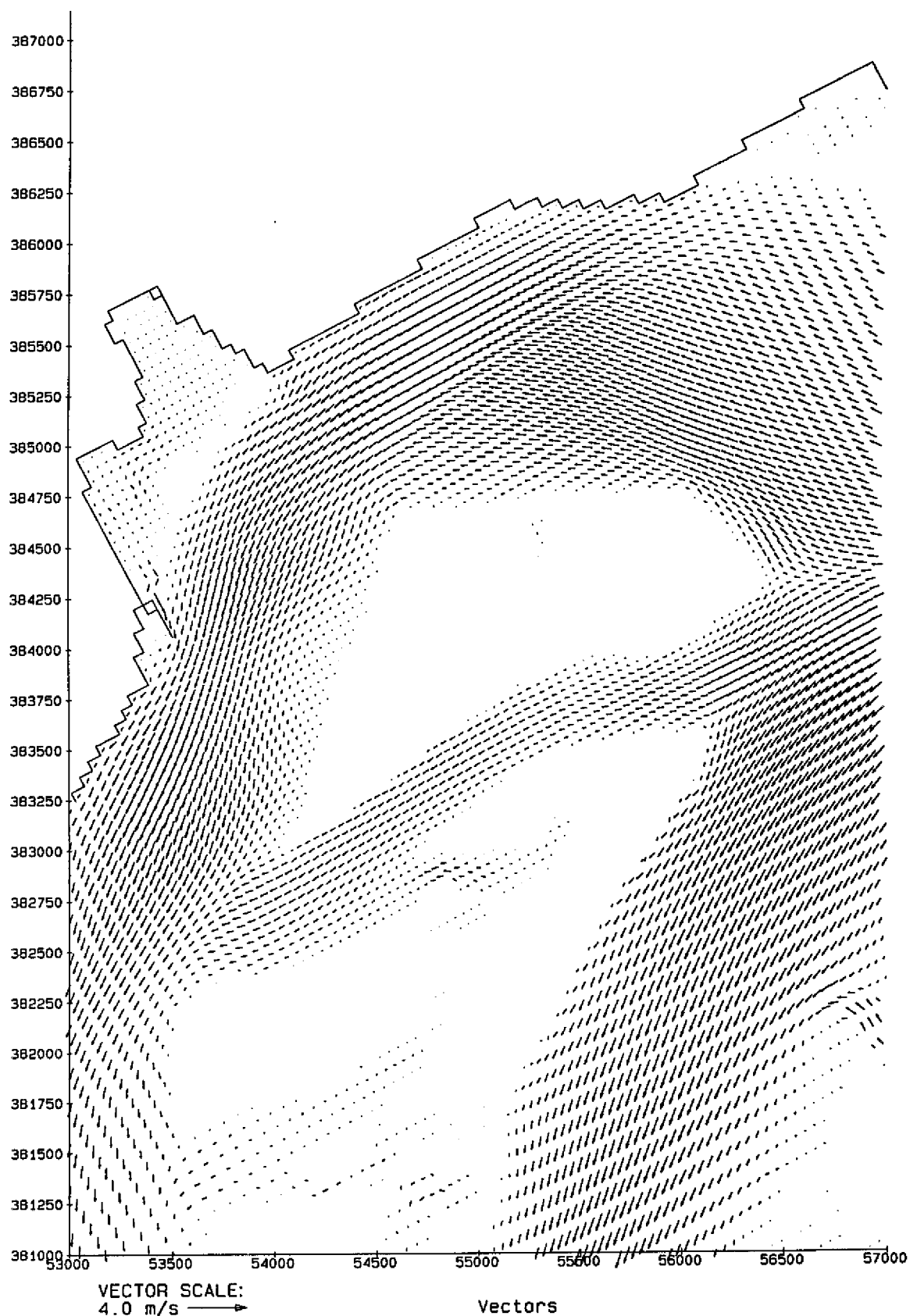
Fig 5.7 D

map4

DELFT HYDRAULICS		T.6 s7e		maps	
Snelheidsveld op tijdstip: 19 Juni 23: 40		run m16			
1995-09-22		11: 50: 03			



trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 20 Juni 0:40
run m16

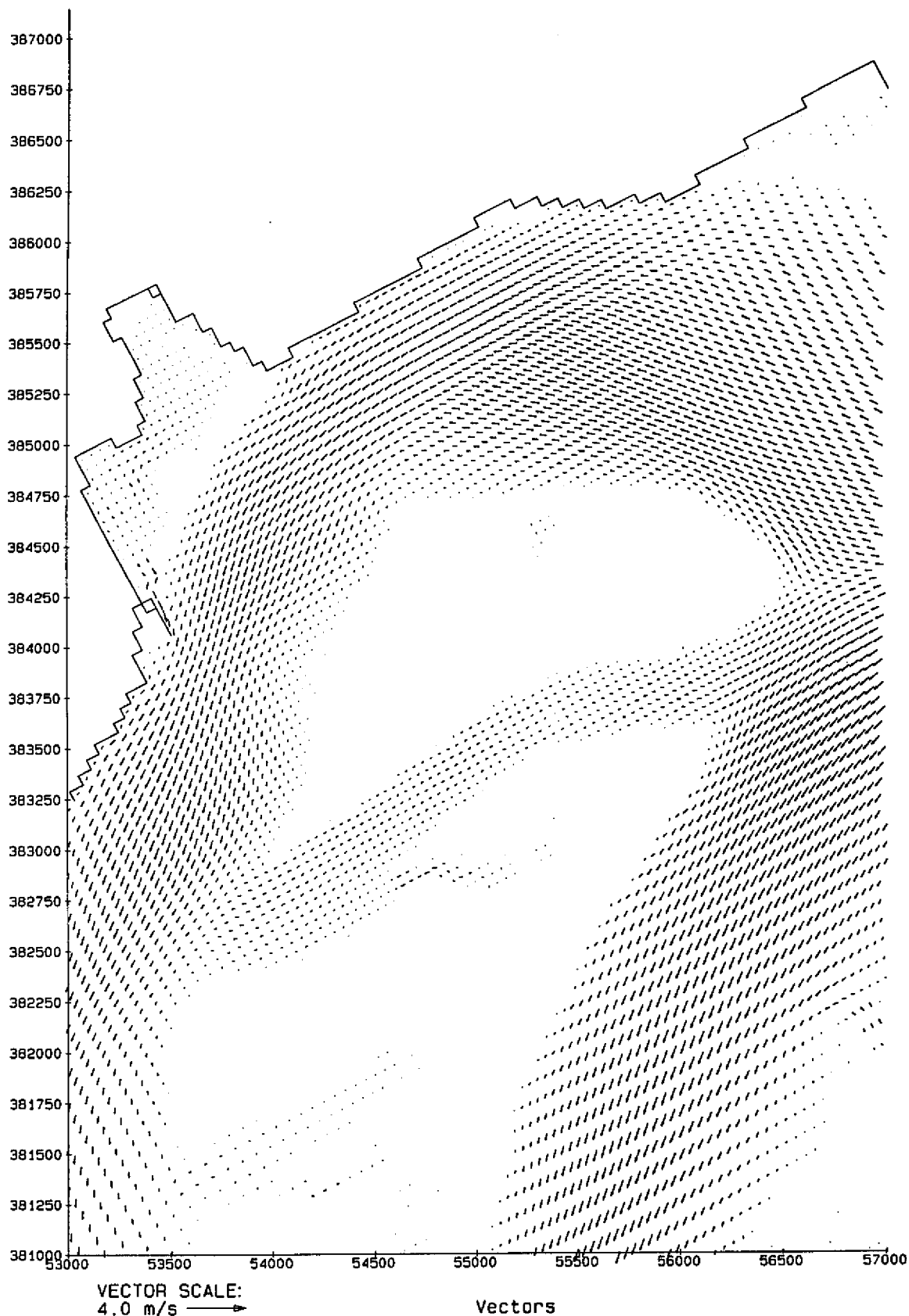
1995-09-22
11:50:06

DELFT HYDRAULICS

Fig 5.7f

map6

trim-m16.dat m16 950921 175958



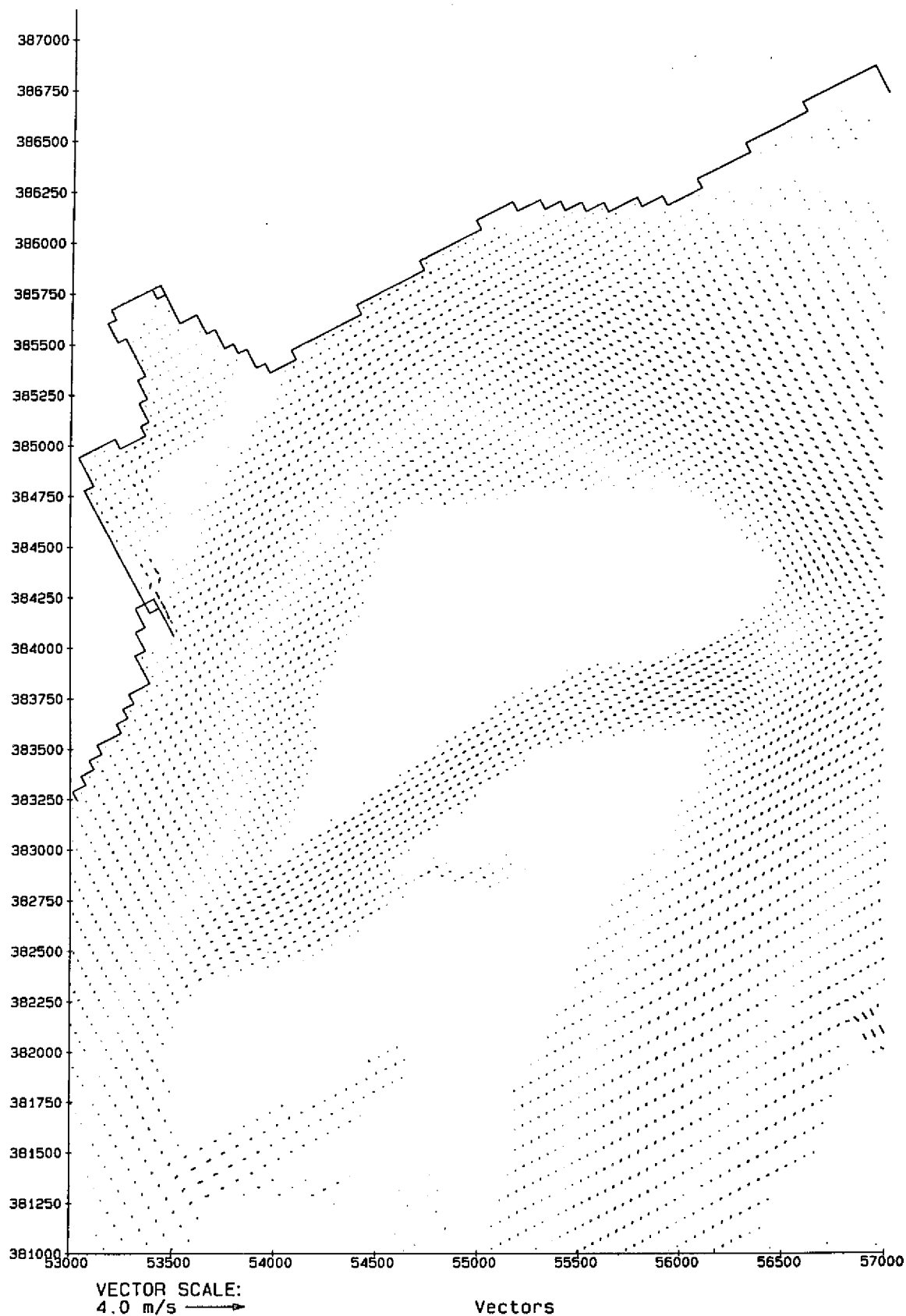
Snelheidsveld op tijdstip: 20 Juni 01:40
run m16

1995-09-22
11:50:08

DELFT HYDRAULICS

Fig. 5.76 map7

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 20 Juni 02:40
run m16

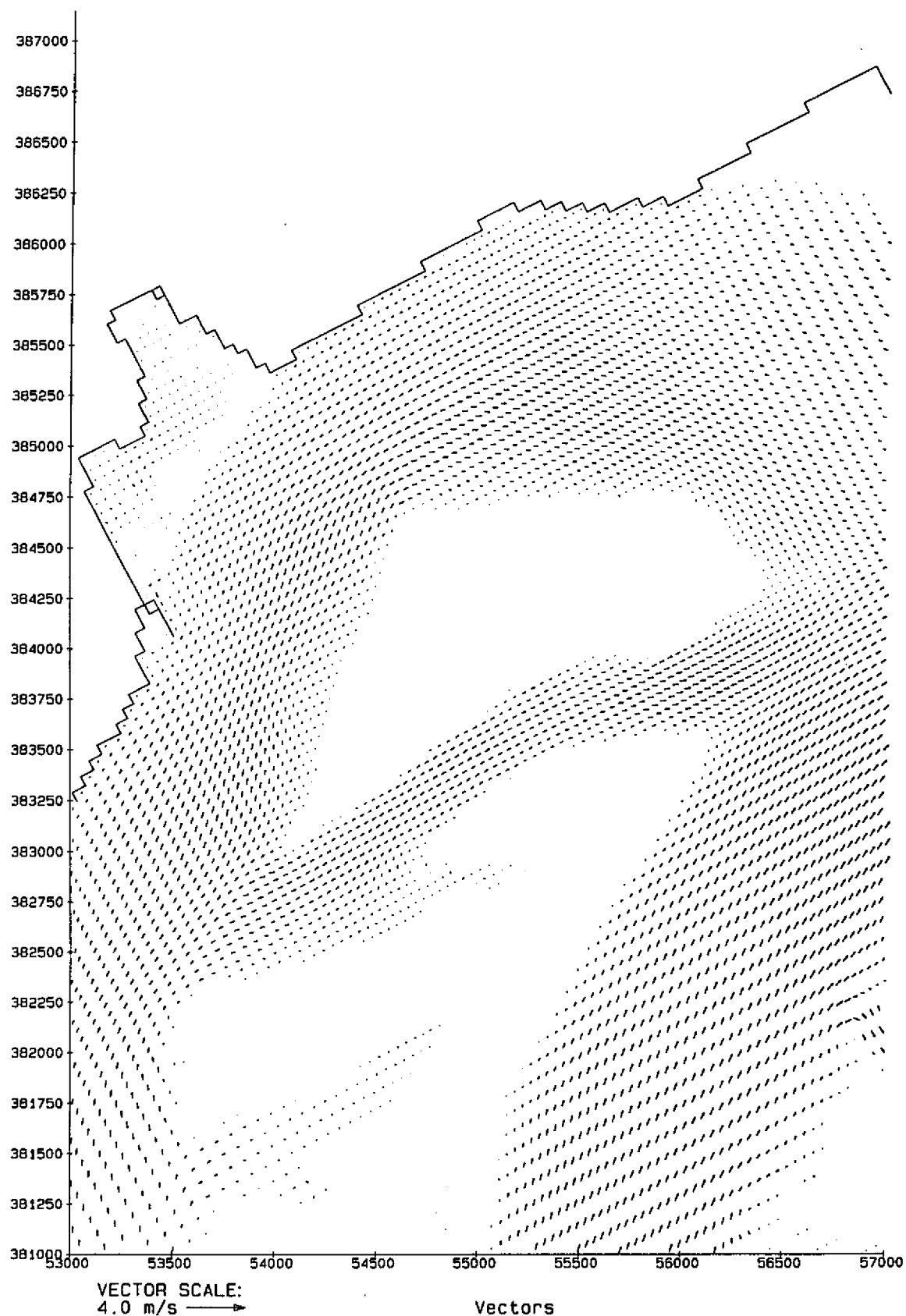
1995-09-22
11:50:11

DELFT HYDRAULICS

Fig. 5.7H

map8

trim-m16.dat m16 950921 175958



Snelheidsveld op tijdstip: 20 Juni 03: 40
run m16

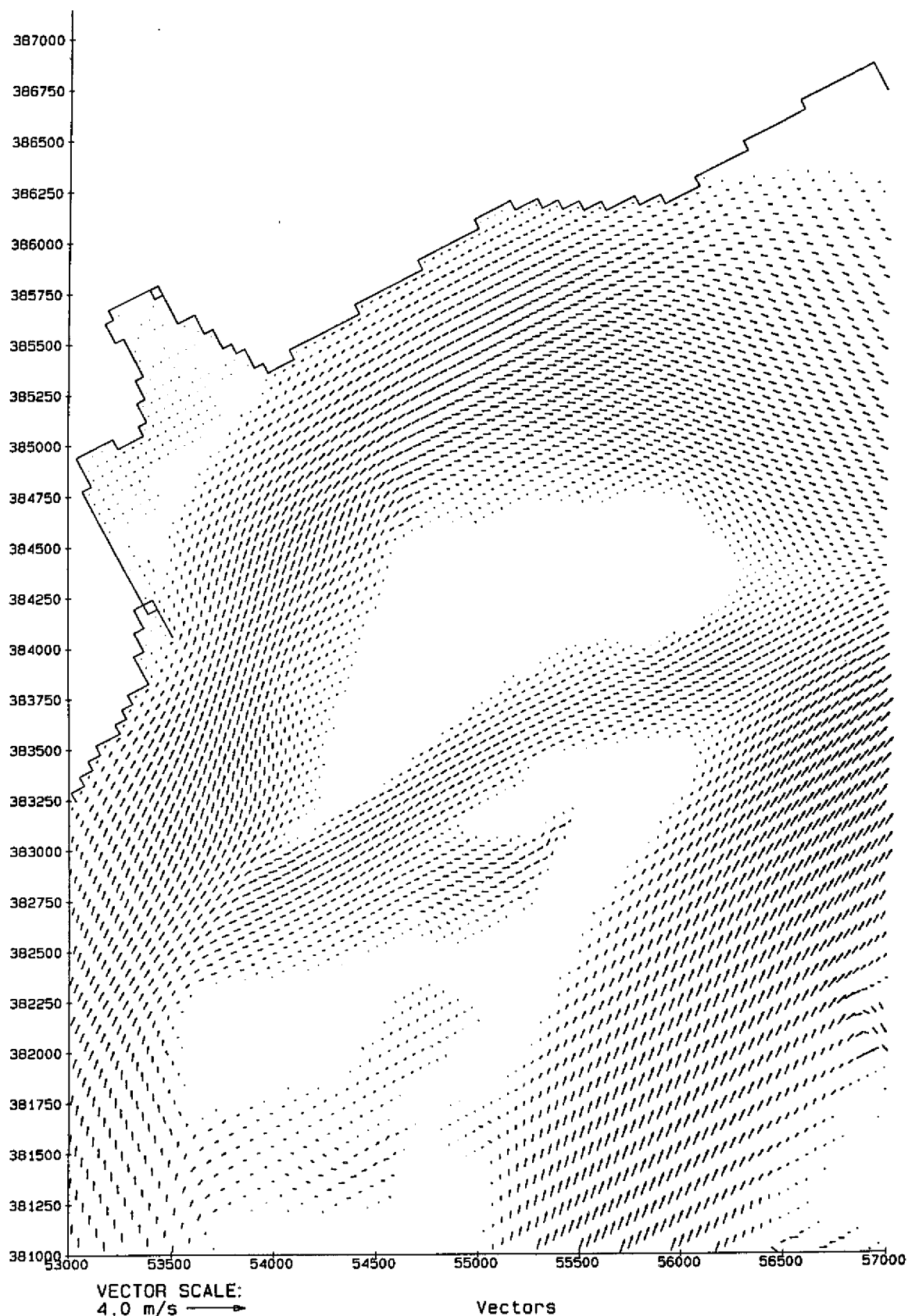
1995-09-22
11: 50: 13

DELFT HYDRAULICS

Fig 5.7i

map9

trim-m16.dat m16 950921 175958



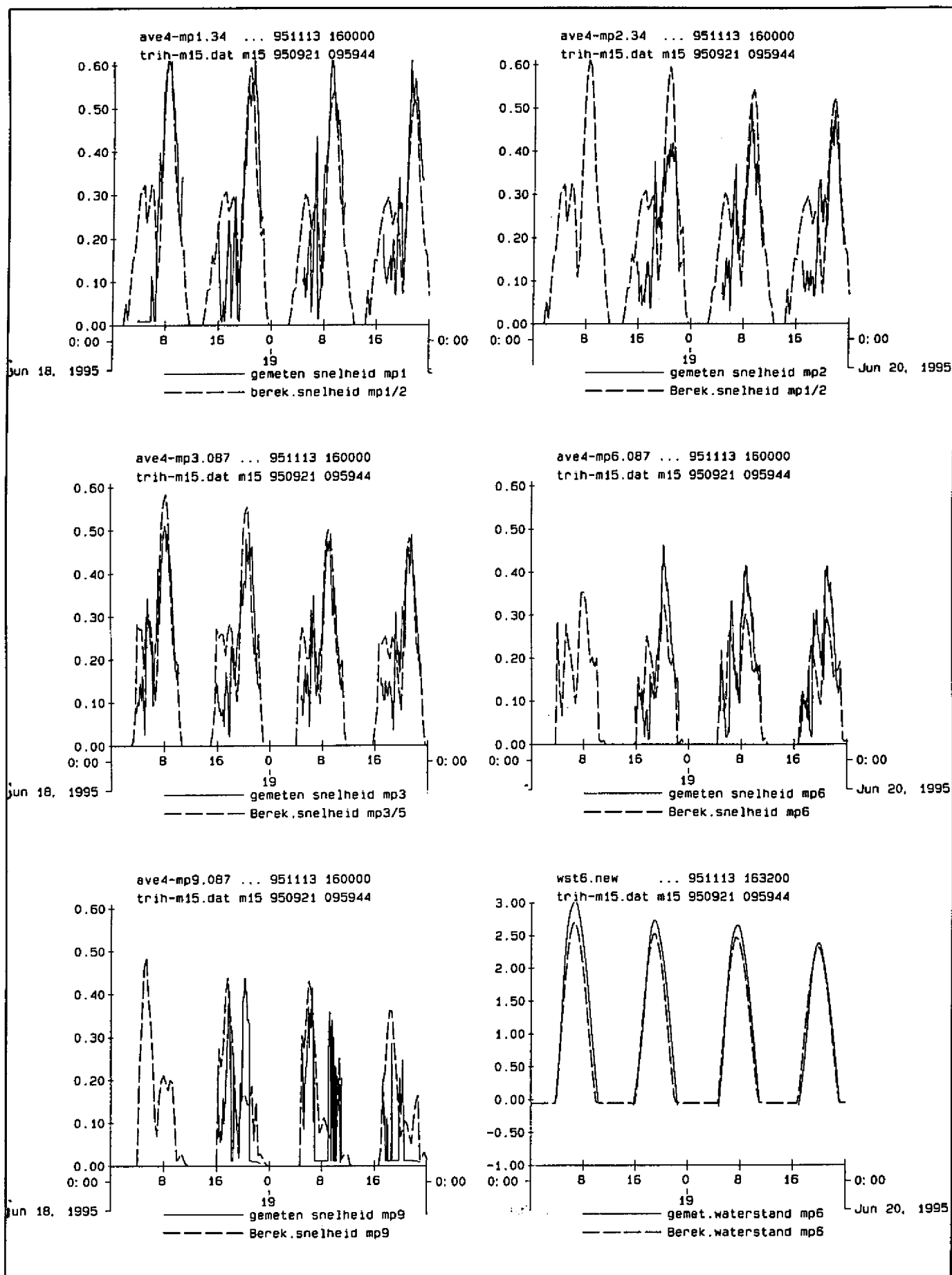
Snelheidsveld op tijdstip: 20 Juni 04: 40
run m16

1995-09-22
11: 50: 15

DELFT HYDRAULICS

Fig 57j

ma10



Run m15

Berekende tegen gemeten snelheden, mp1/2, mp3/5,

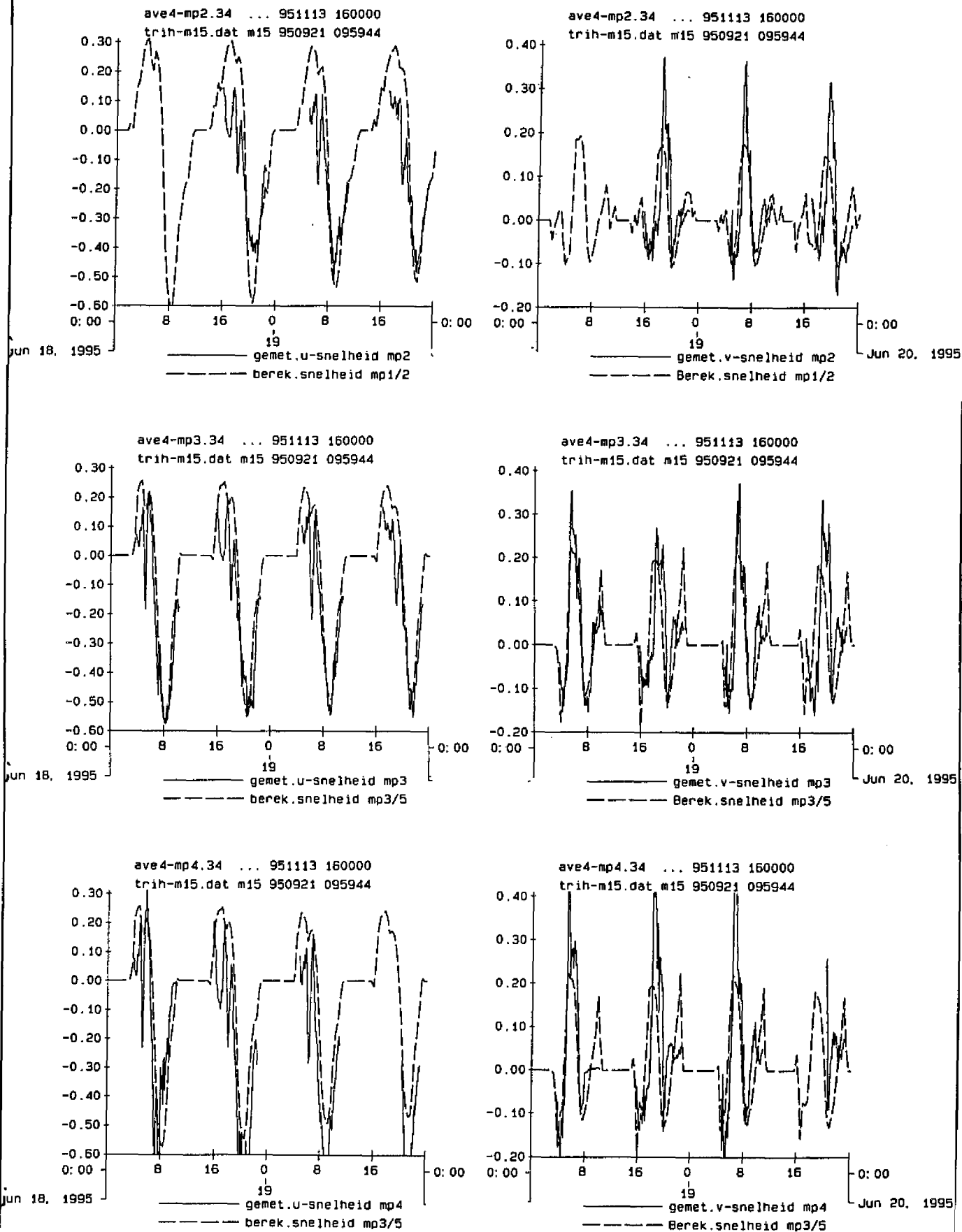
mp6 en mp9. Berekende tegen gemeten waterstand, mp6

1995-11-13

16: 36: 15

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.8a



Run m15

Berekende tegen gemeten snelheidscomponenten
Meetpunt 1/2 en Meetpunt 3/5

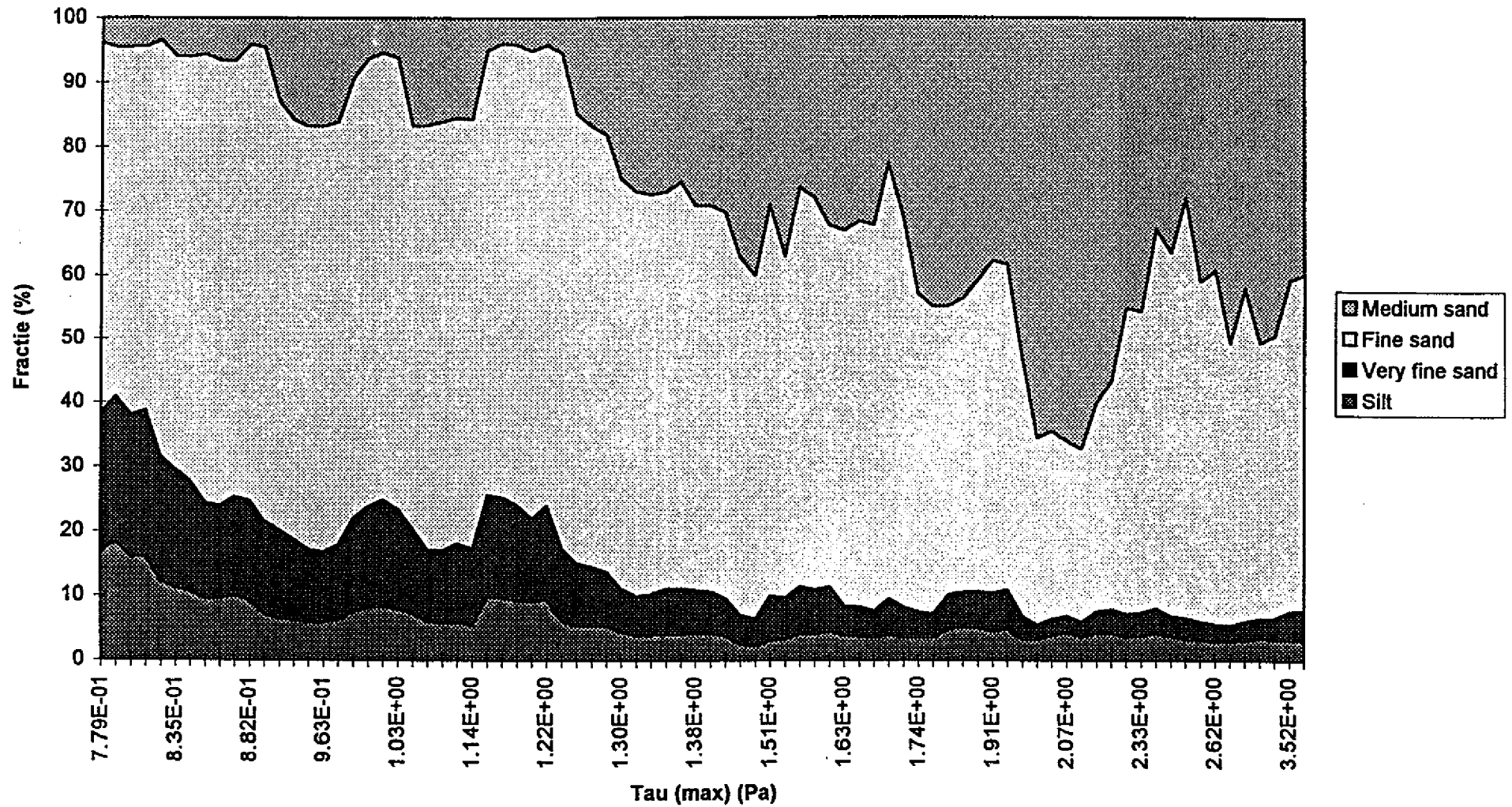
1995-11-13

17: 05: 25

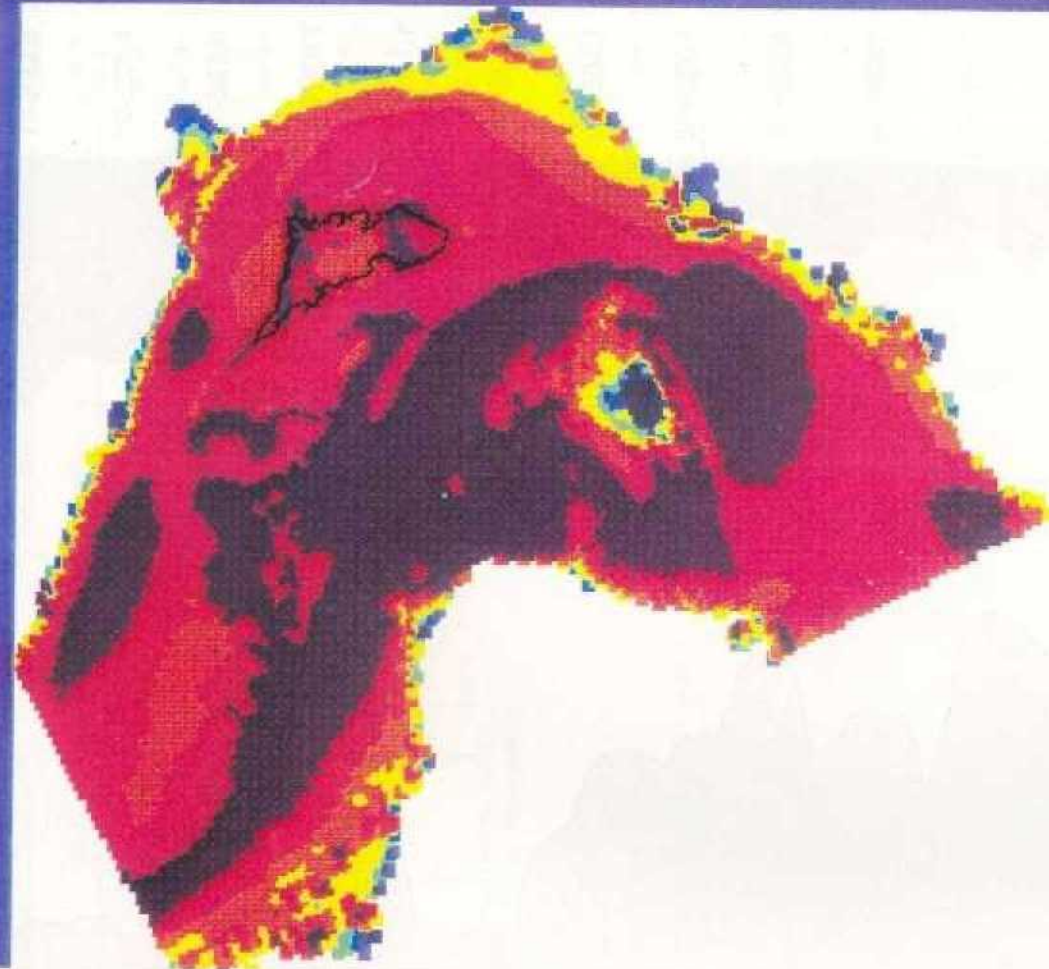
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

fig 5.6b

Sediment samenstelling versus bodem schuifspanning



Figuur 7.1 De relatie tussen de bodem schuifspanning en de sedimentsamenstelling

OUTPUT Tau
(Pa)

< 0,0100

< 0,0500

< 0,1000

< 0,2000

< 0,5000

< 1,0000

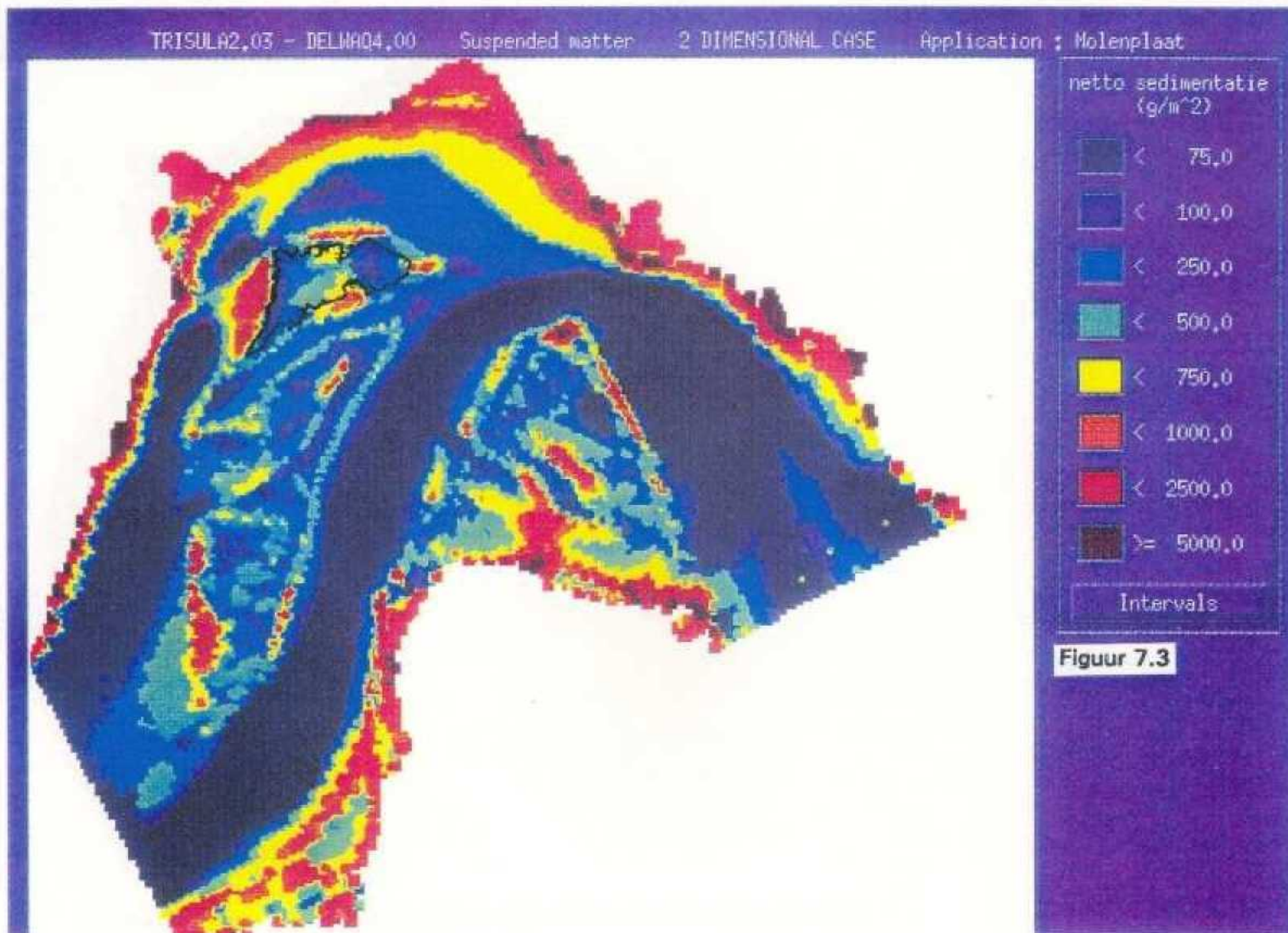
< 2,0000

>= 2,0000

Intervals

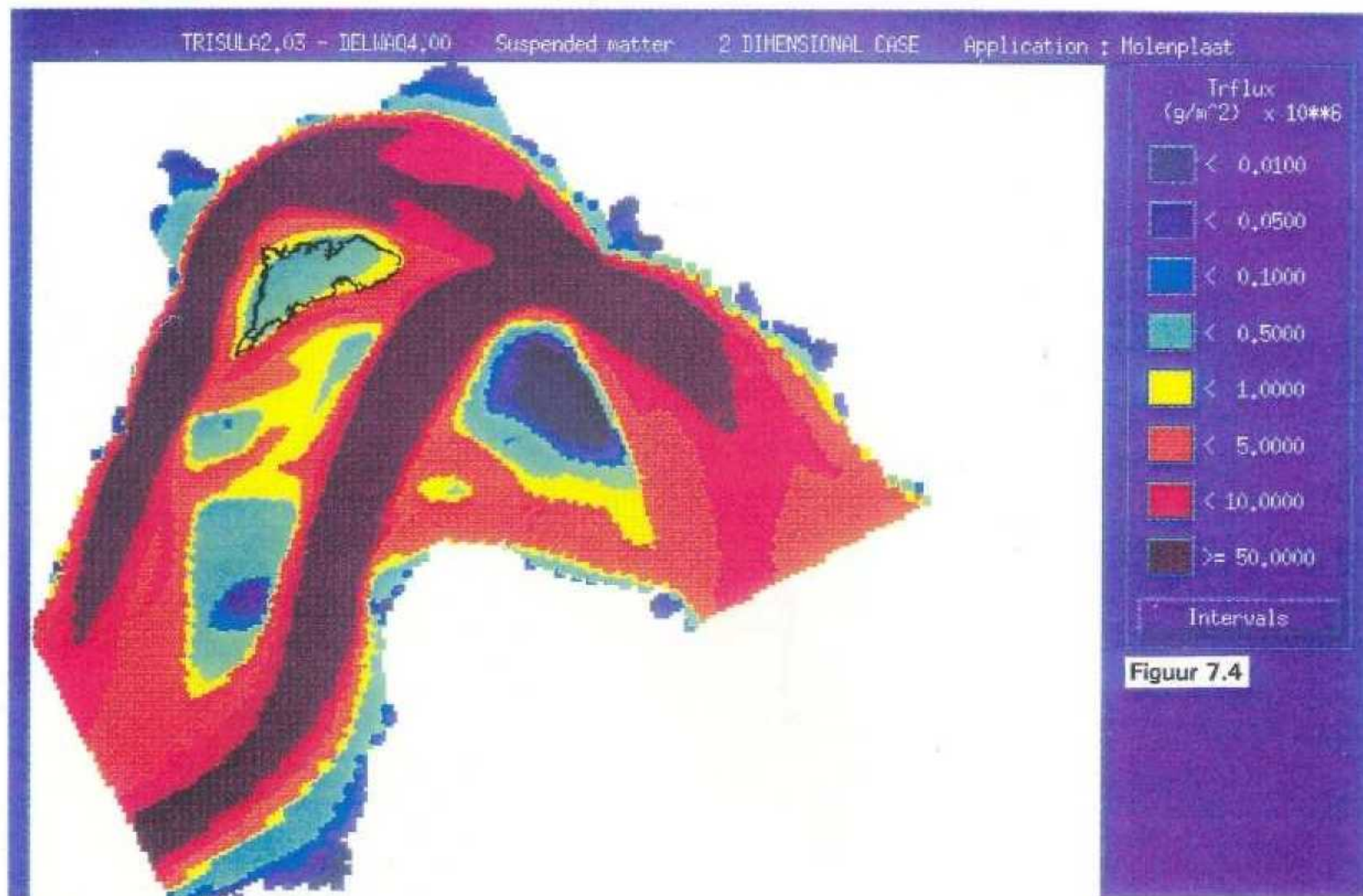
Figuur 7.2

Ruimtelijke verdeling van de maximale bodemschuifspanning



Figuur 7.3

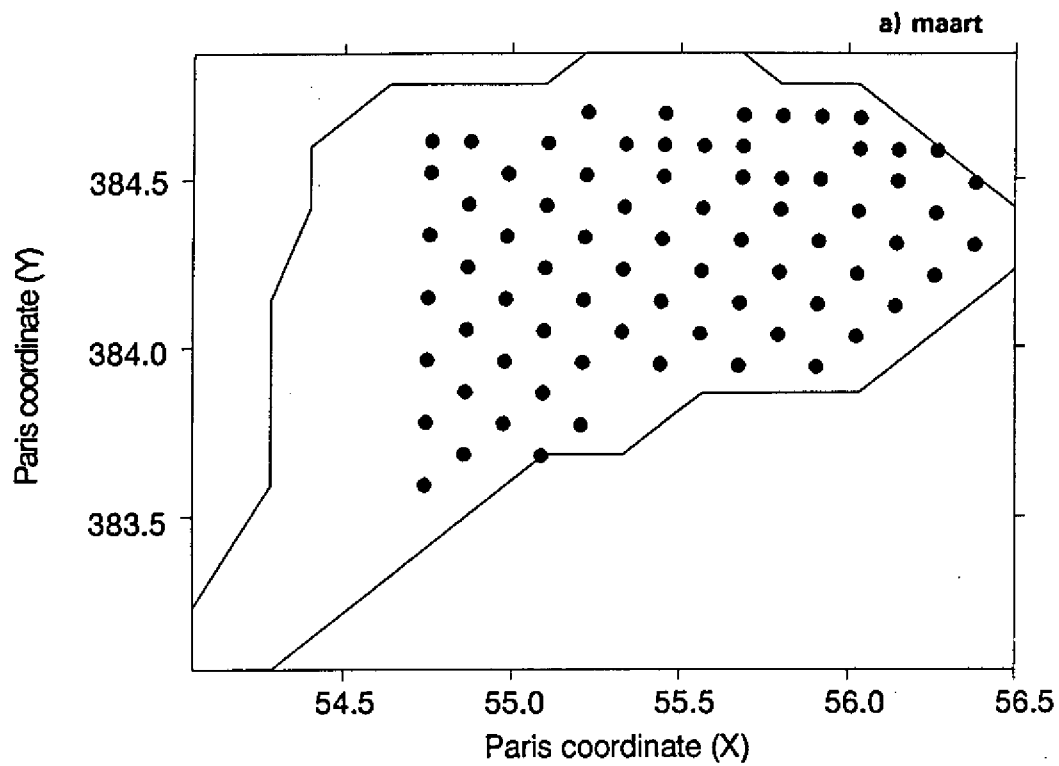
Ruimtelijke verdeling van de netto dagelijkse cumulatieve slib-sedimentatieflux



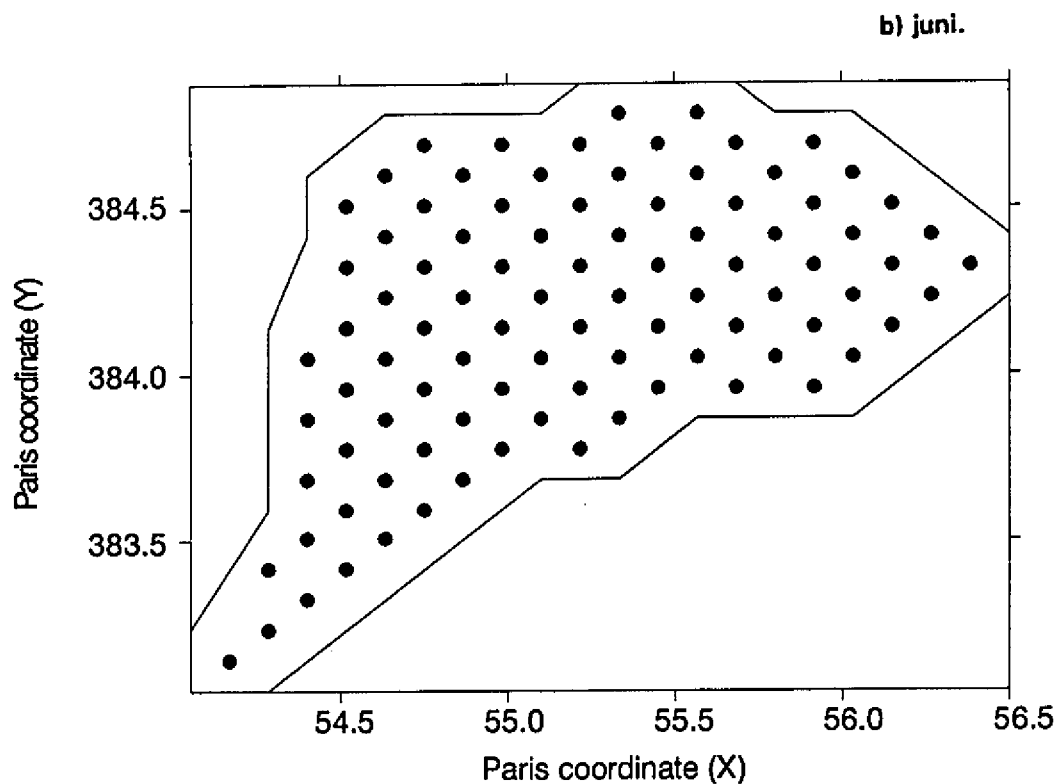
Figuur 7.4

Ruimtelijke verdeling van de dagelijkse cumulatieve advectionflux van slib

Bemonstering macrobenthos maart



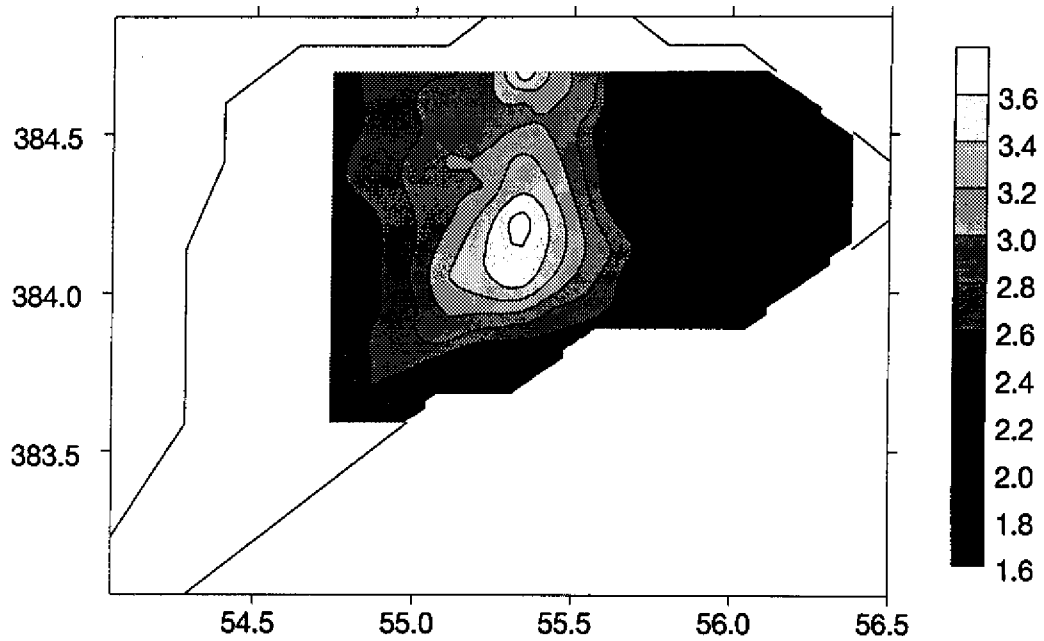
Bemonstering macrobenthos juni



Figuur 8.1 De positie van de monsterplaatsen op de Molenplaat bij de bemonstering in:

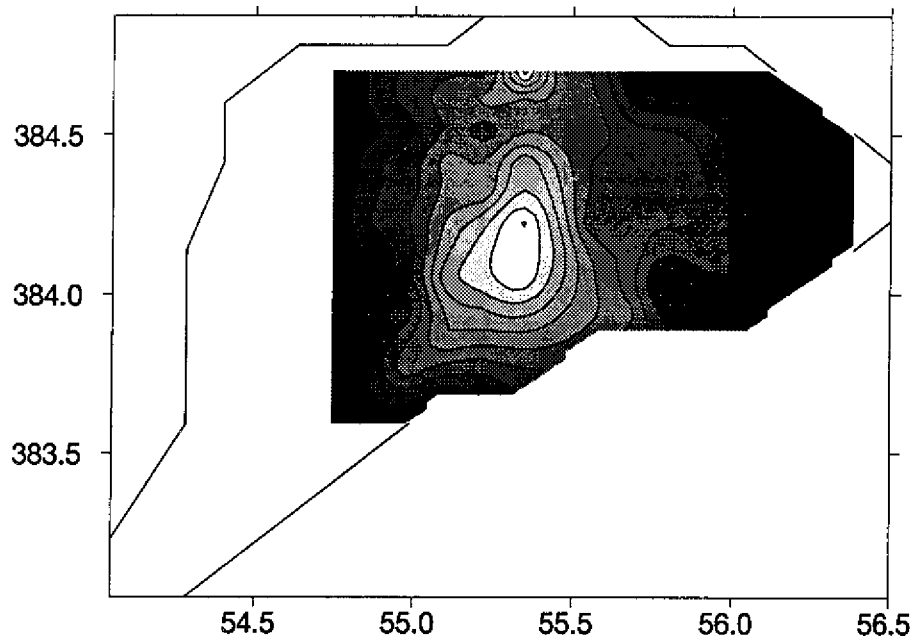
1995

Mean grain size (phi units)



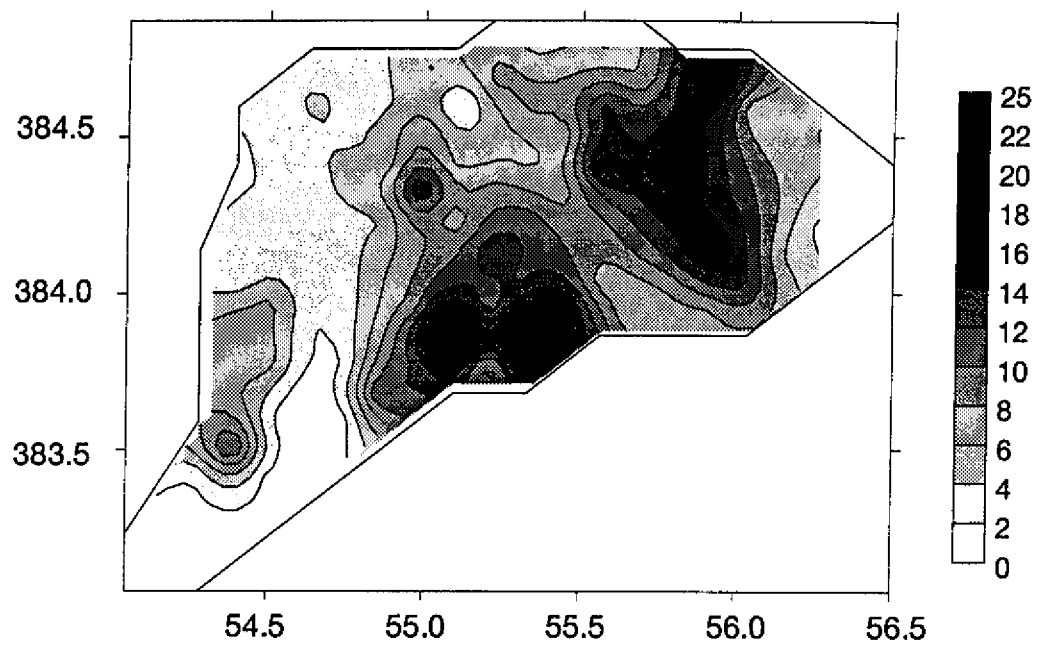
Figuur 8.2 De gemiddelde korrelgrootte van de locaties bemonsterd in maart

log (silt content %)



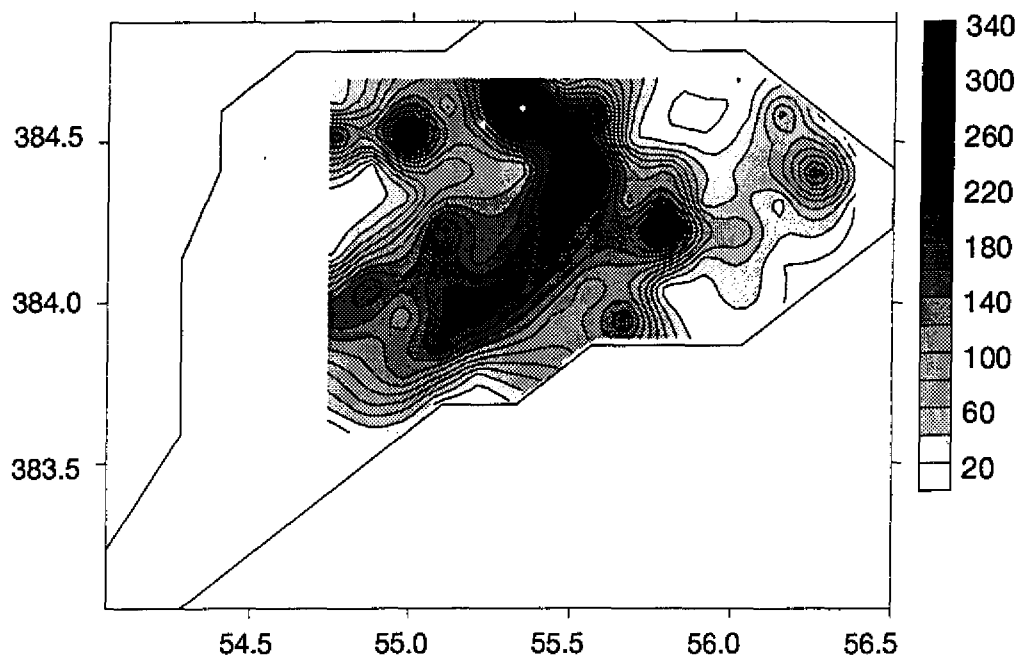
Figuur 8.3 Het gehalte slib van de locaties bemonsterd in maart

Chlorophyll content upper 1 cm

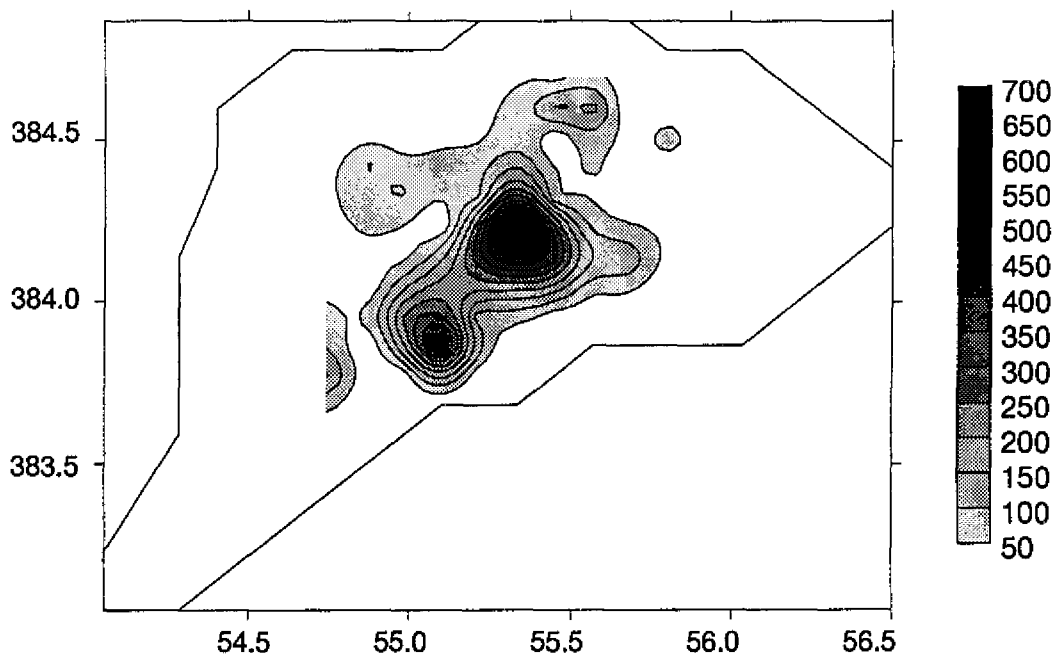


Figuur 8.4 De ruimtelijke verdeling van het chlorofylgehalte in het oppervlakkige sediment

Deposit feeders (March) (g AFDW/sample)

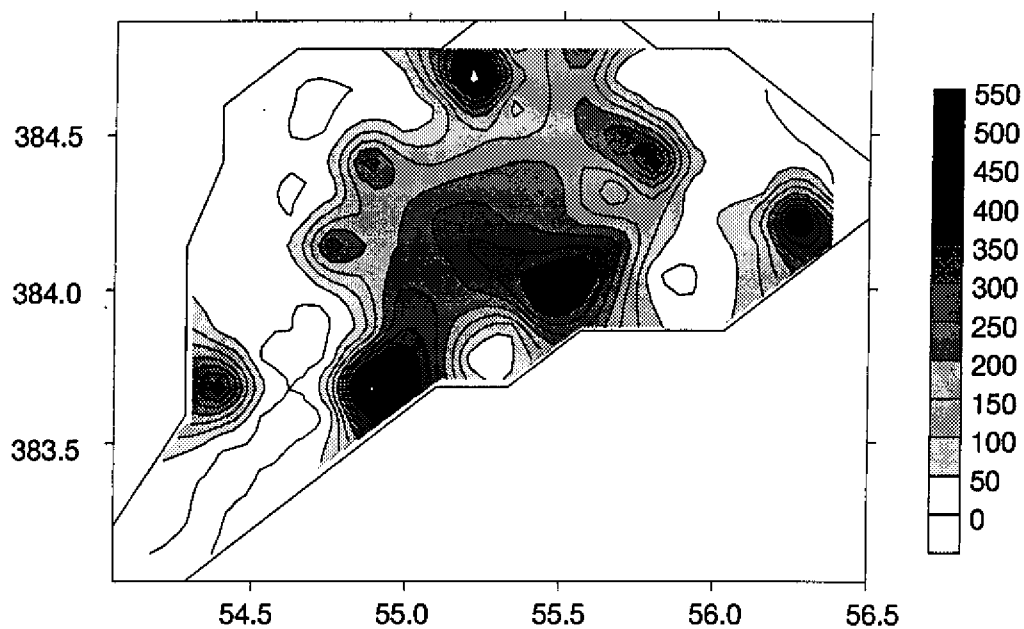


Suspension feeders (March) (g AFDW/sample)

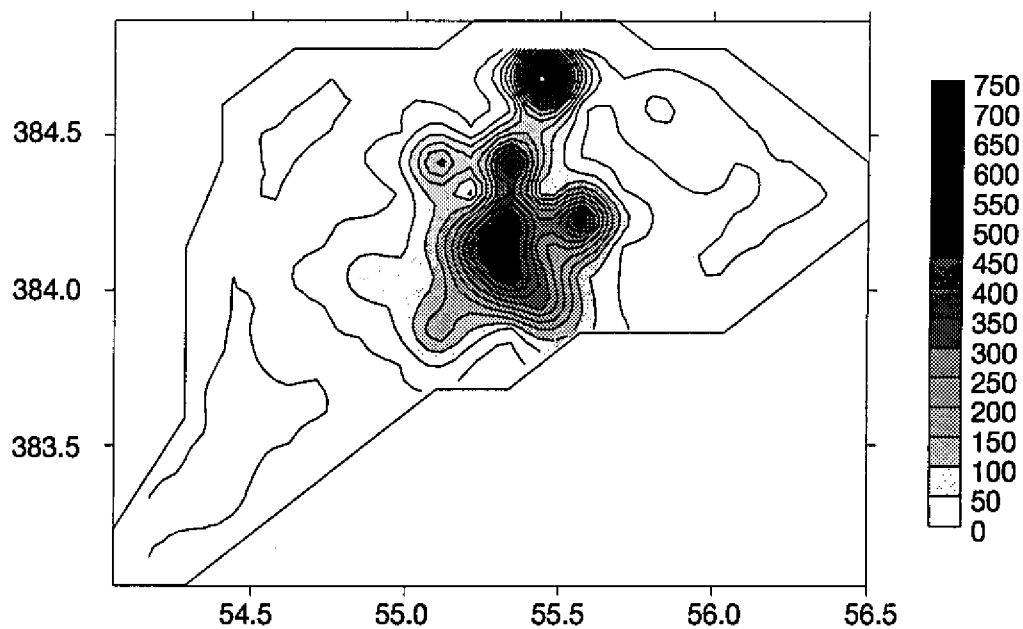


Figuur 8.5 De ruimtelijke verdeling van de dominante voedingsgroepen (suspensie-eters en diepe depositie-eters) voor de bemonstering van maart

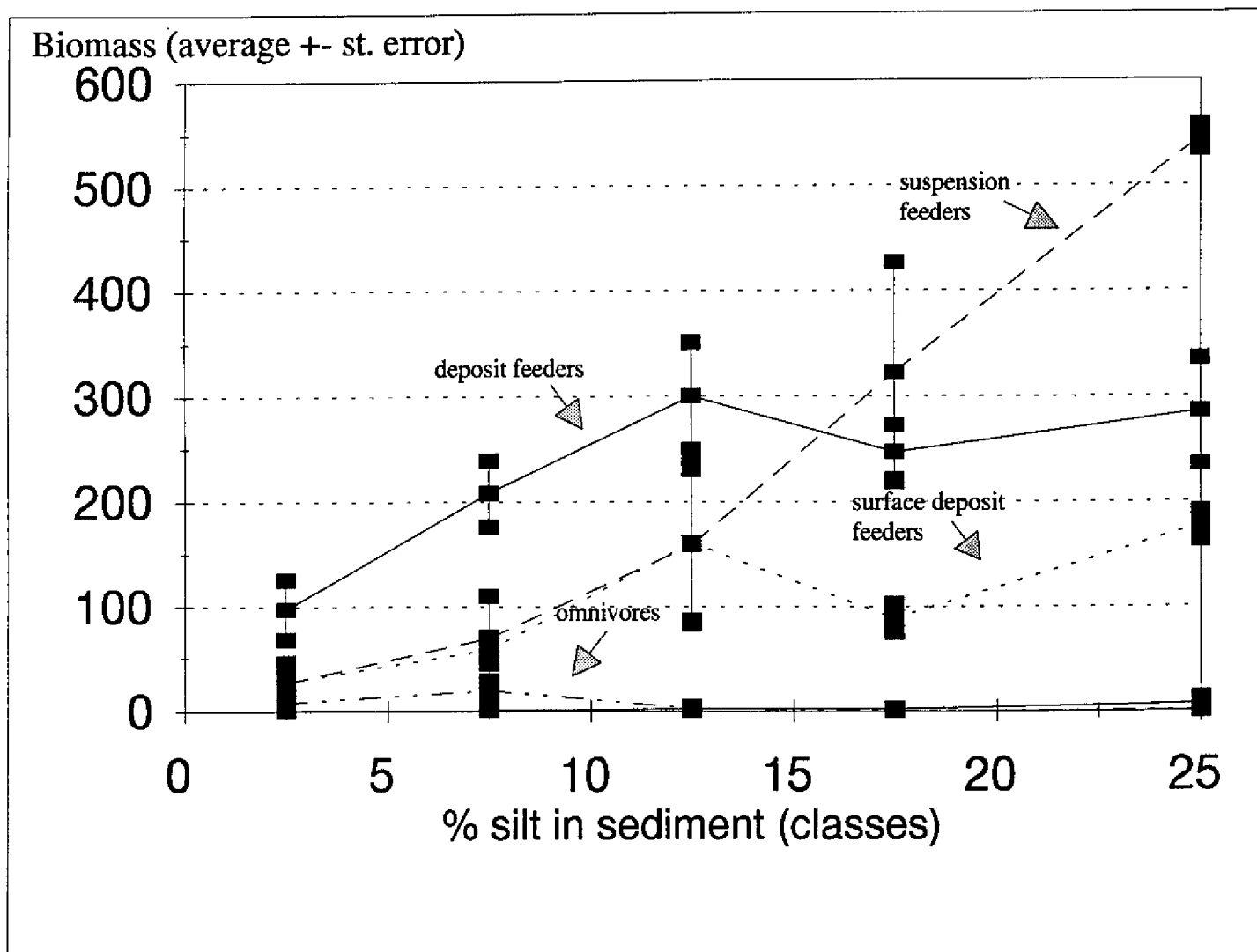
Deposit feeders (mg AFDW / sample)



Suspension feeders (mg AFDW / sample)

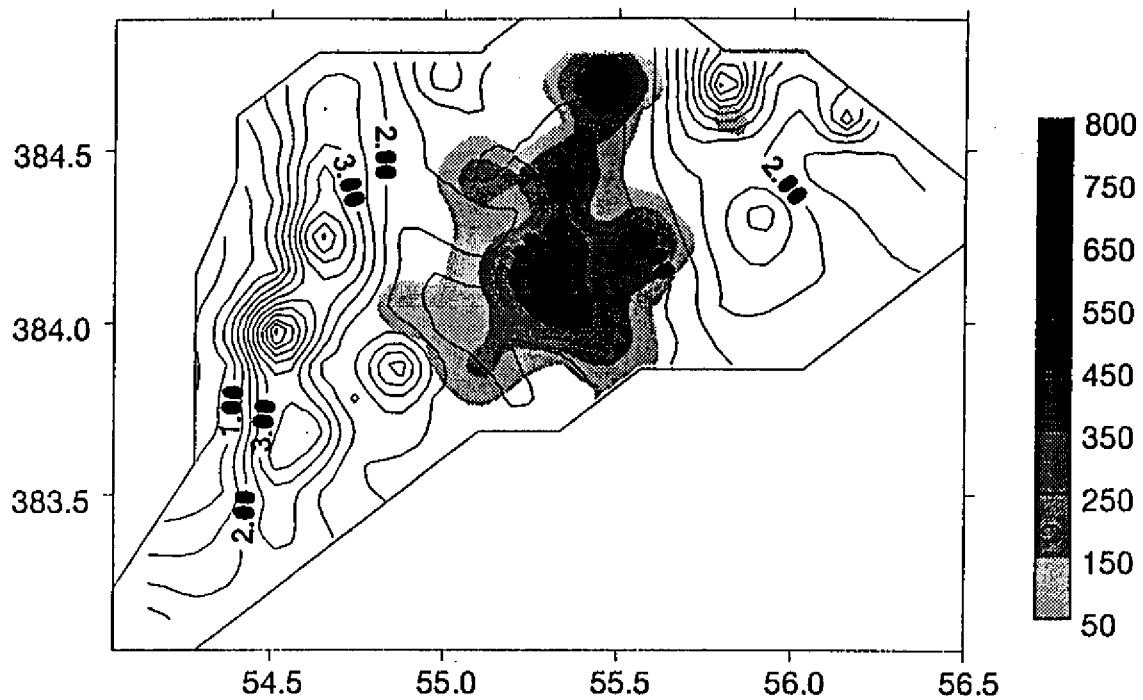


Figuur 8.6 De ruimtelijke verdeling van de dominante voedingsgroepen (suspensie-eters en diepe depositie-eters) voor de bemonstering van juni



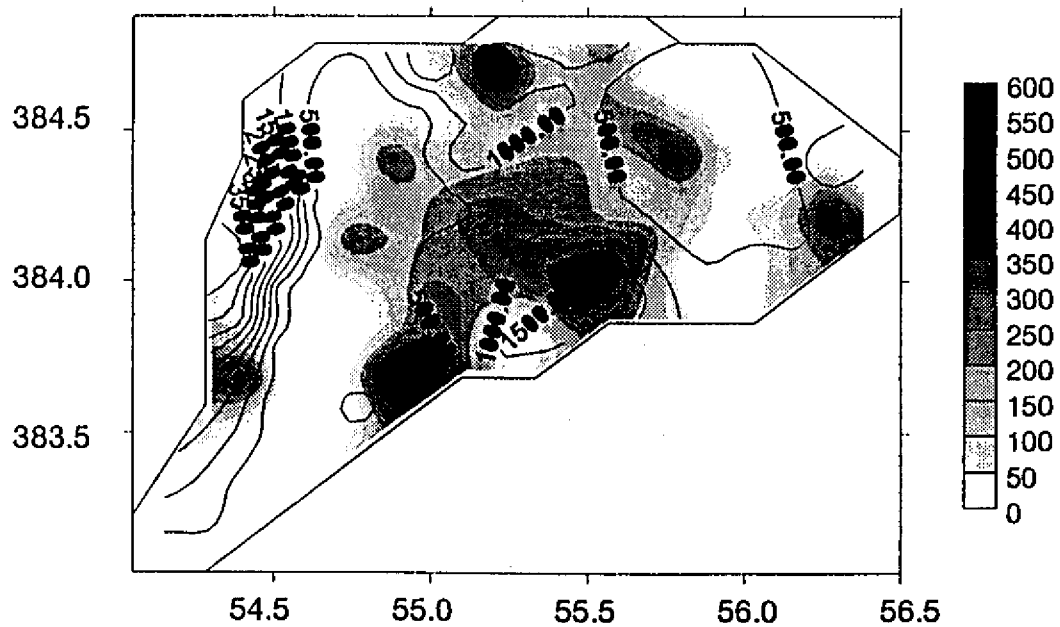
Figuur 8.7 De verdeling van de fauna over de verschillende voedingsgroepen voor klassen van sedimentsamenstelling.

Suspension feeders (shades, mg AFDW/sample) superimposed on bottom shear stress (lines, Pa)



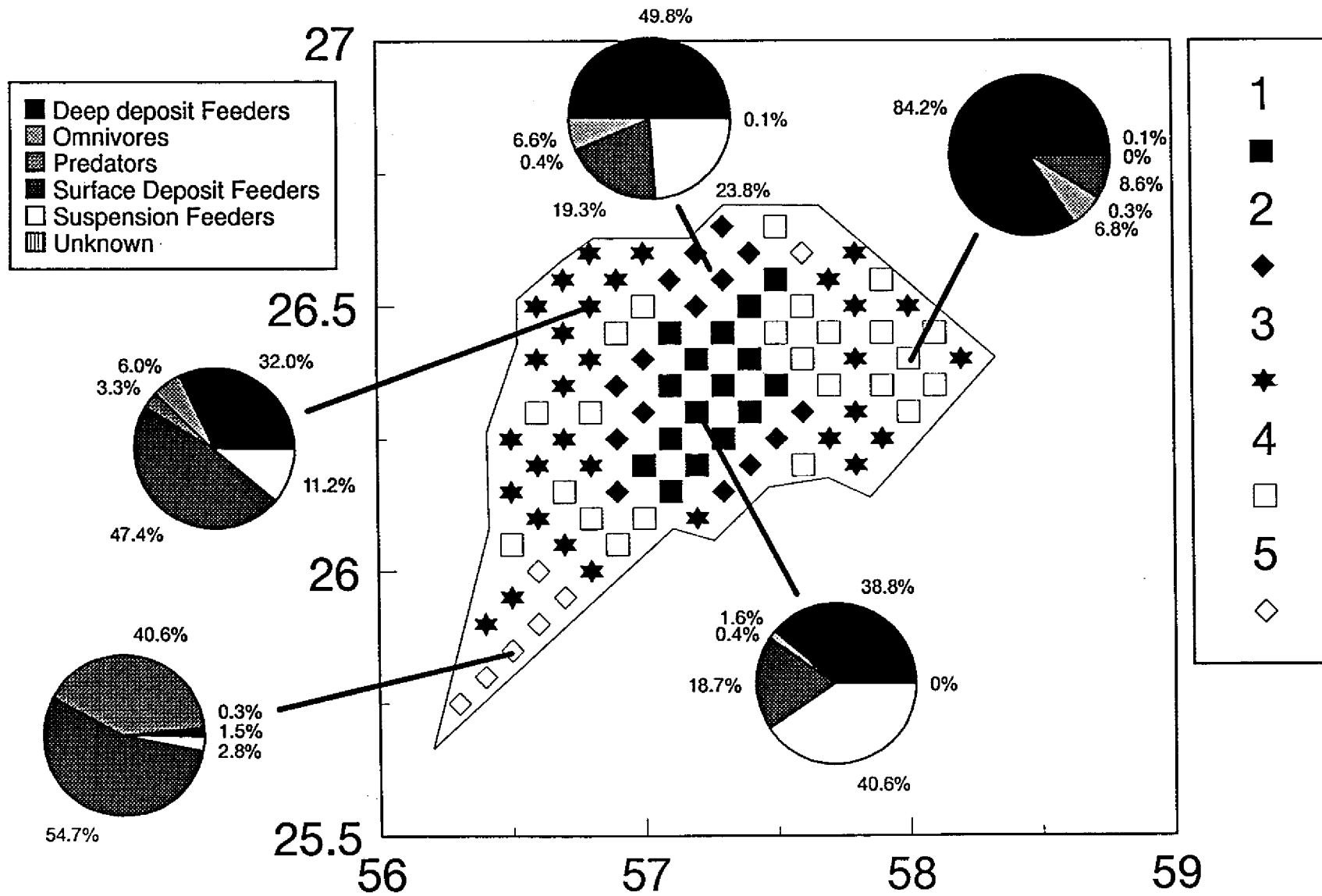
Figuur 8.8a Ruimtelijke verdeling van suspensie-eters en schuifspanningen op de bodem

Deposit feeder biomass (shades) superimposed on net sedimentation rates (lines)



Figuur 8.8b Ruimtelijke verdeling van depositie-eters en netto slib-sedimentatieflux

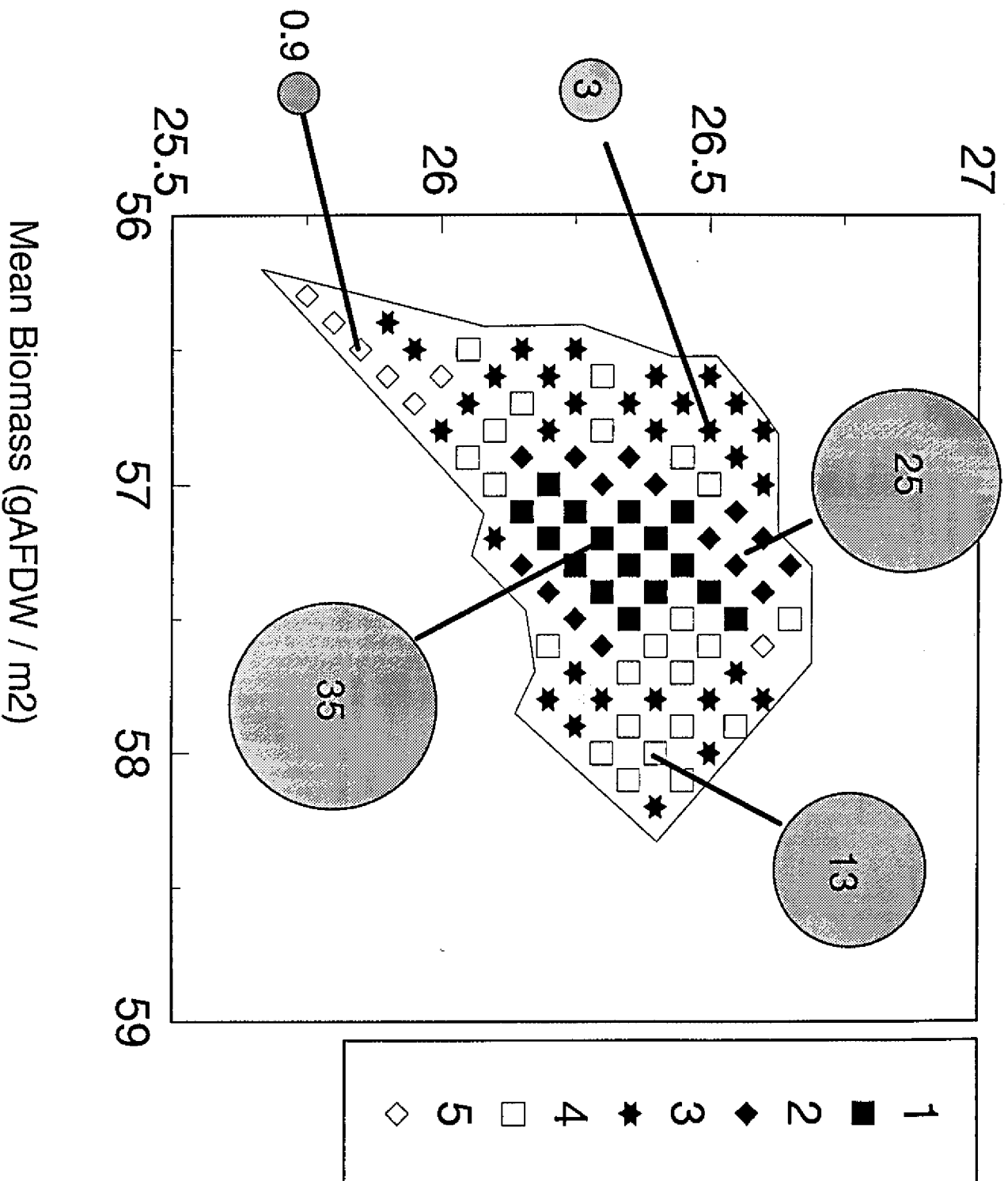
TWINSPAN groups June 1995



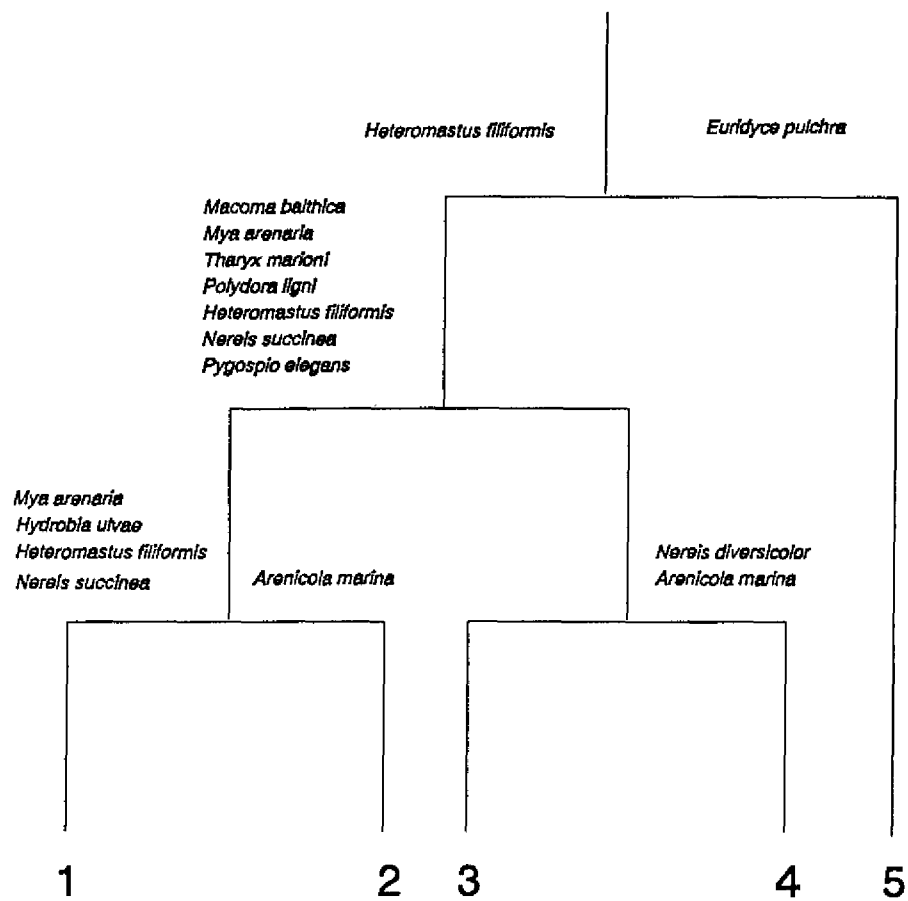
Ruimtelijke verdeling van TWINSpan clusters en de verdeling van de verschillende voedingsgroepen binnen deze clusters

Figuur 8.9

TWINSPAN groups June 1995

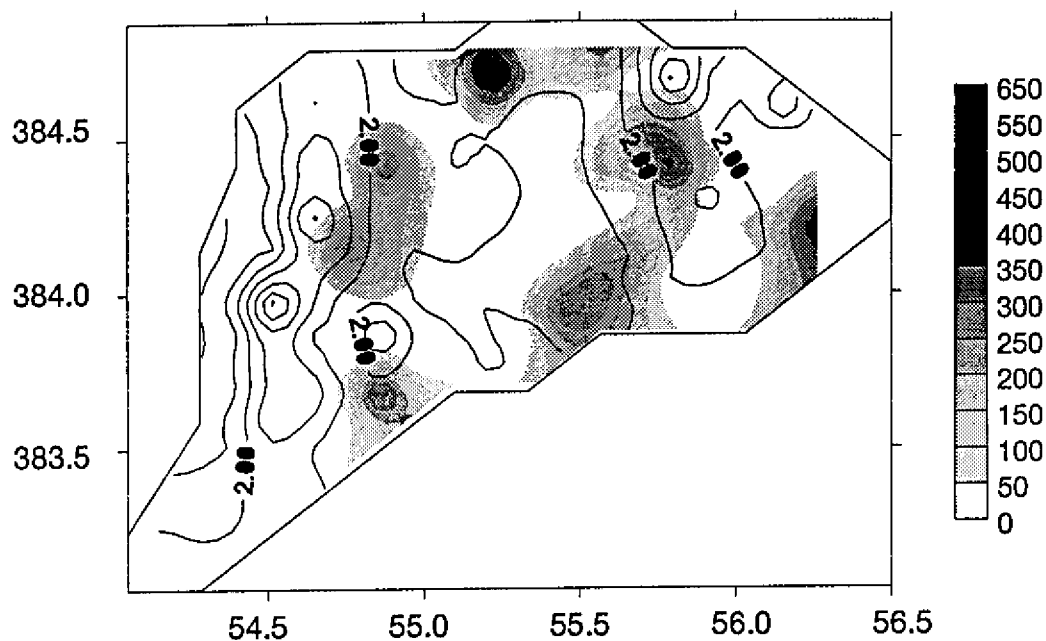


Figuur 8.10 Ruimtelijke verdeling van TWINSPAN clusters en de gemiddelde biomassa van deze clusters



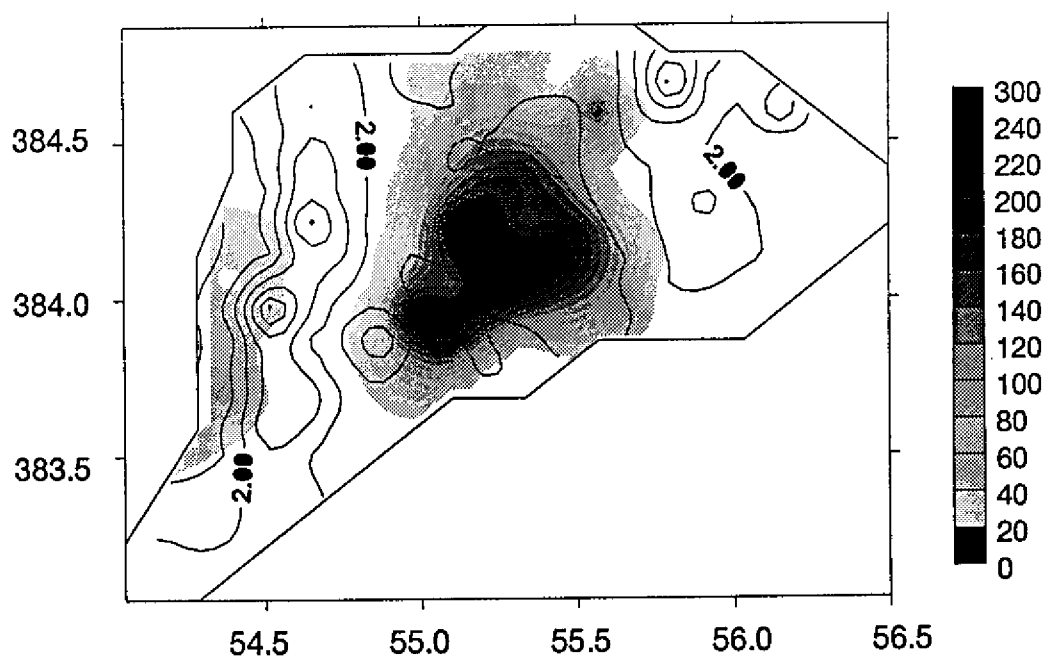
Figuur 8.11 Hiërarchisch clusterdiagram met de indicatorsoorten van de verschillende onderverdelingen.

Arenicola marina (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)



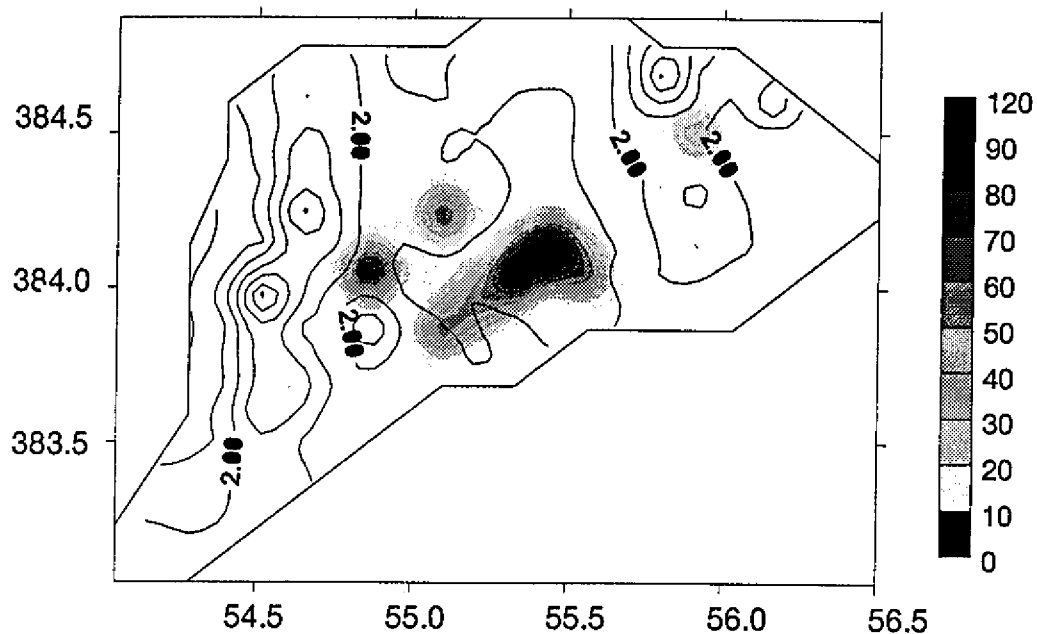
Figuur 8.12 Ruimtelijke verspreiding van *Arenicola marina* in de juni-bemonstering

Heteromastus filiformis (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)



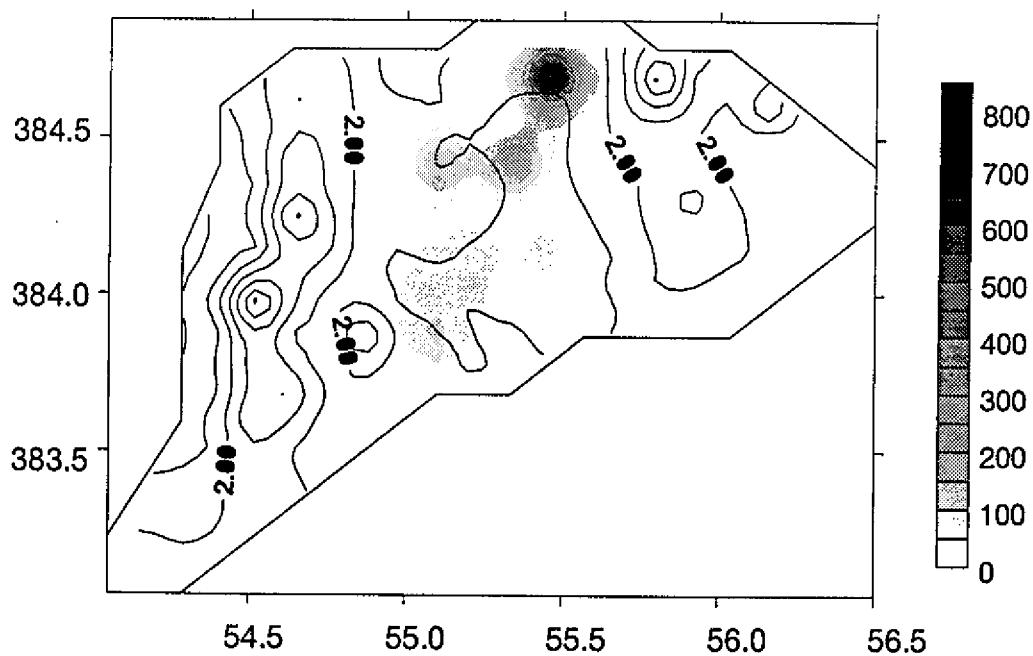
Figuur 8.13 Ruimtelijke verspreiding van *Heteromastus filiformis* in de juni-bemonstering

Cerastoderma edulis (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)



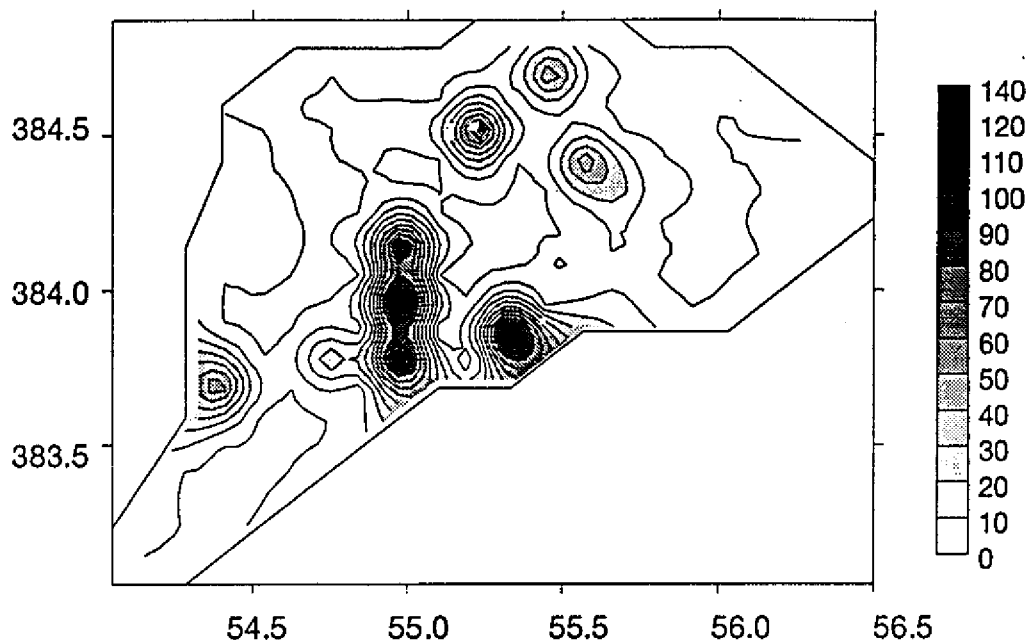
Figuur 8.14 Ruimtelijke verspreiding van *Cerastoderma edule* in de juni-bemonstering

Mya arenaria (mg AFDW/samples: shades) on
bottom shear stress (Pa: lines)



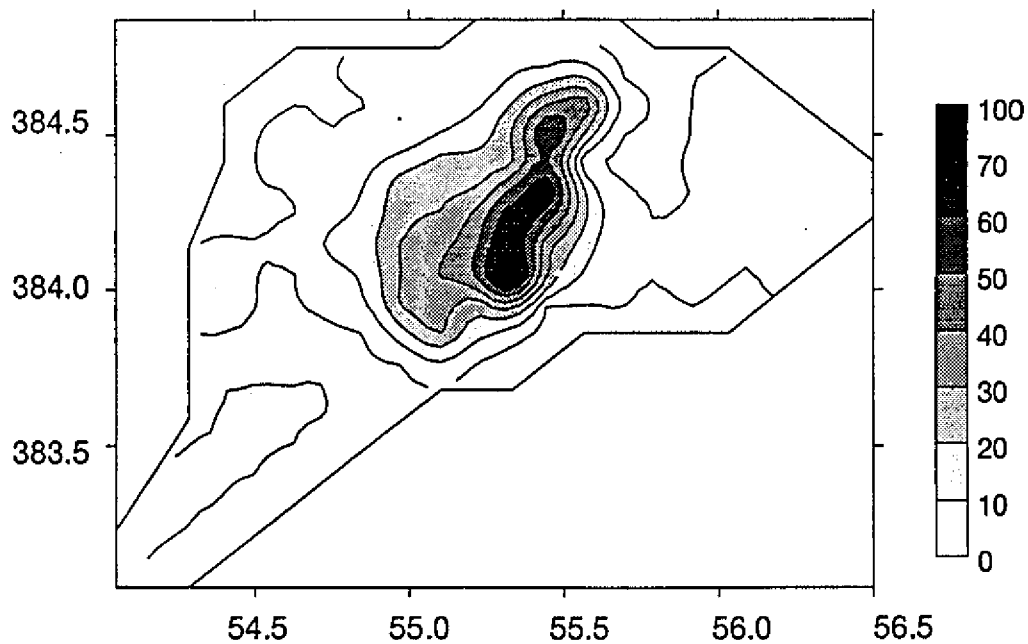
Figuur 8.15 Ruimtelijke verspreiding van *Mya arenaria* in de juni-bemonstering

Nereis diversicolor (mg AFDW/samples)



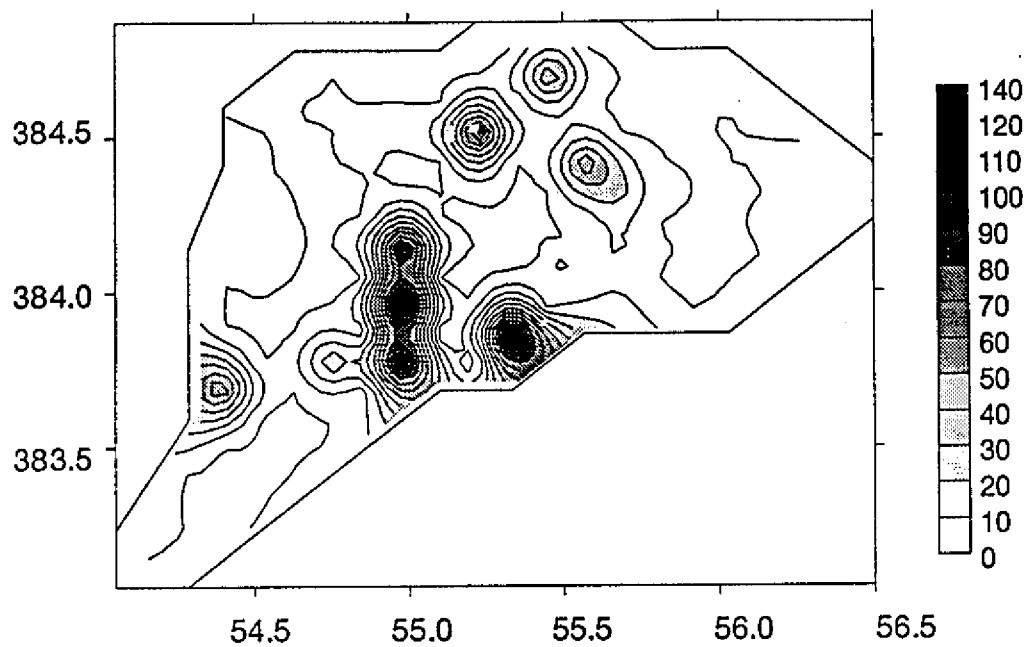
Figuur 8.16 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis diversicolor* in de juni-bemonstering

Nereis succinea (mg AFDW/sample)



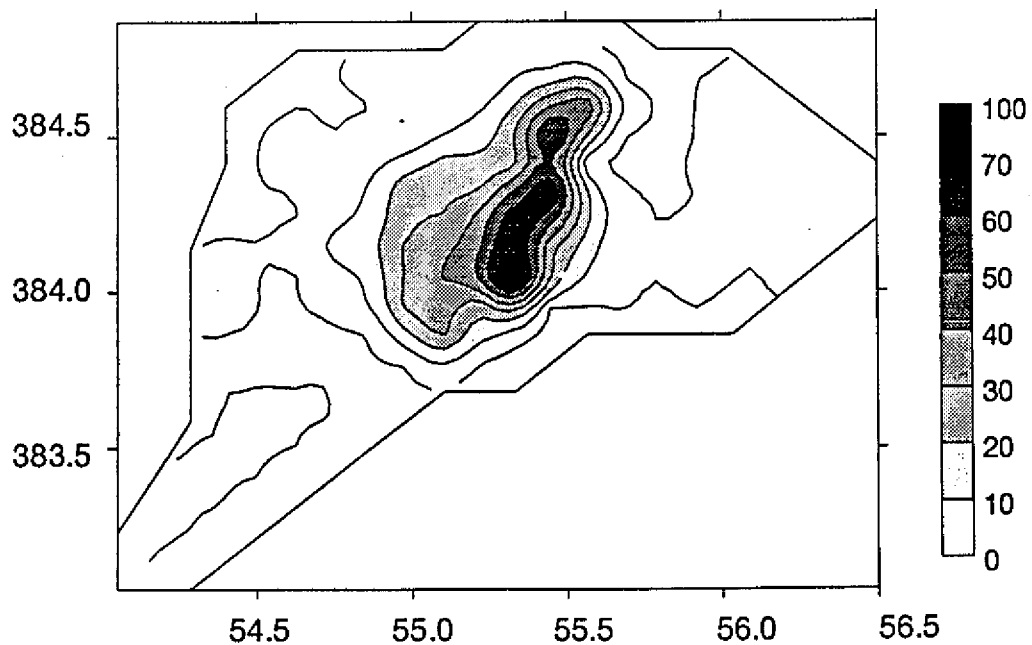
Figuur 8.17 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis succinea* in de juni-bemonstering

Nereis diversicolor (mg AFDW/samples)

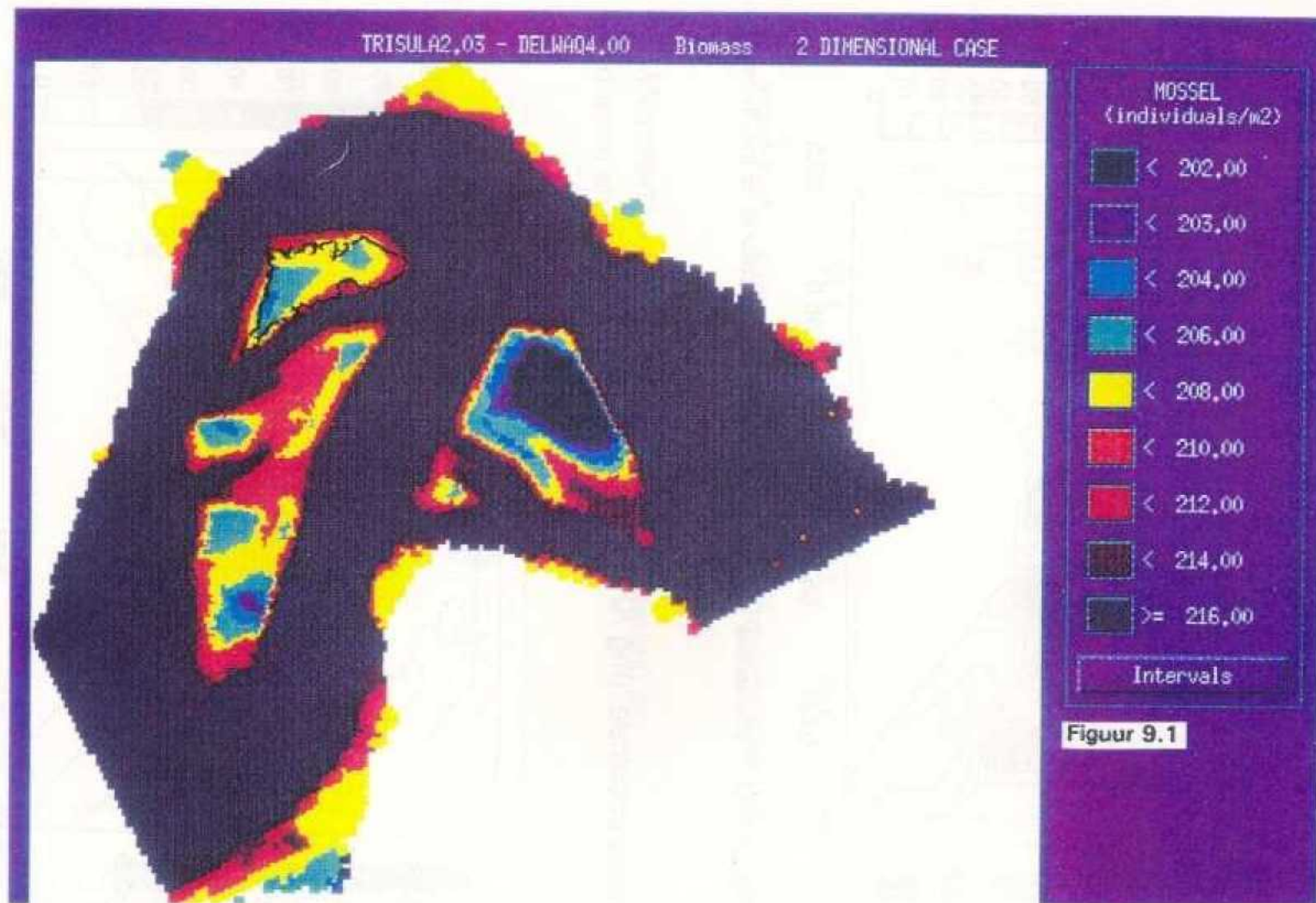


Figuur 8.16 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis diversicolor* in de juni-bemonstering

Nereis succinea (mg AFDW/sample)

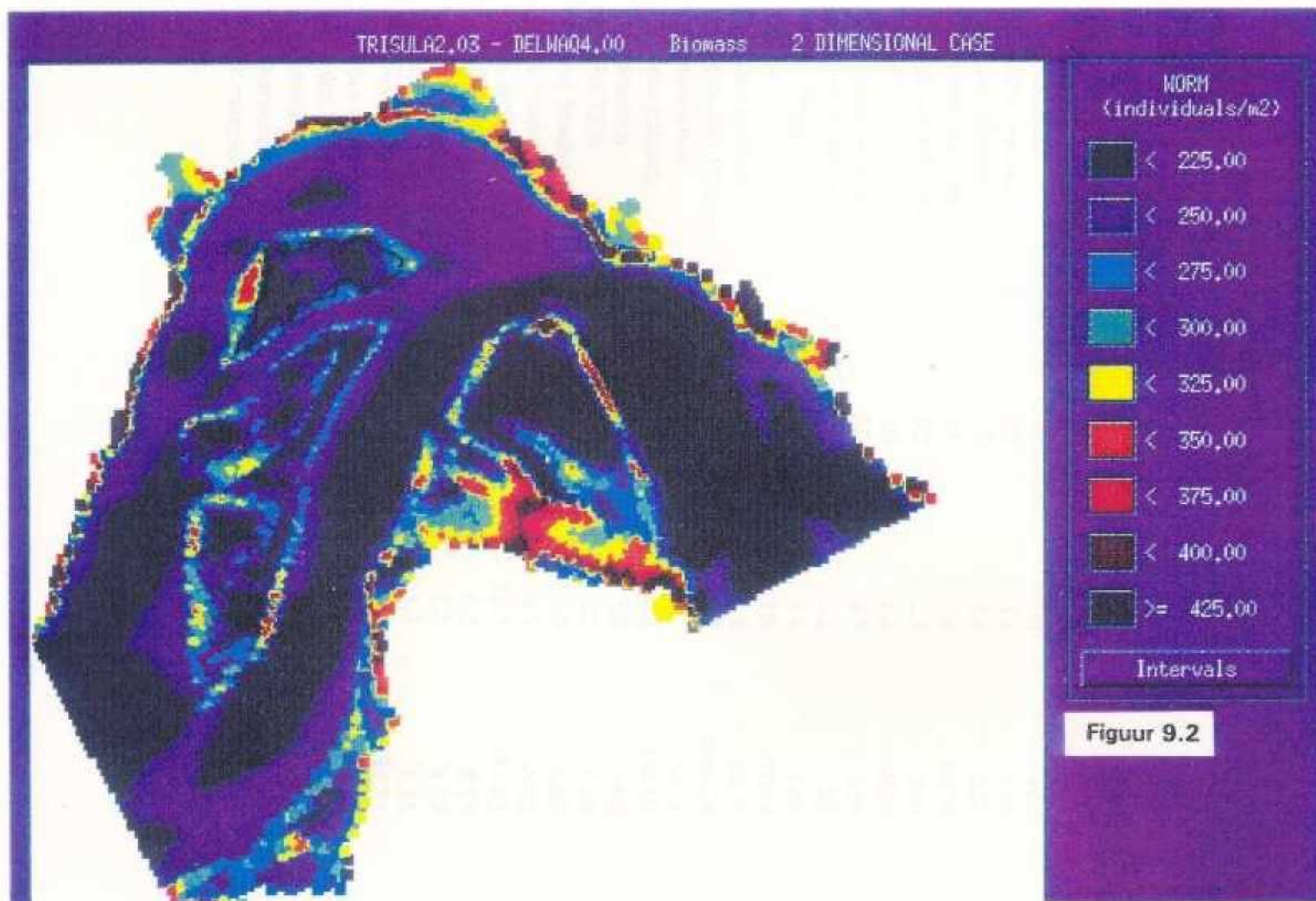


Figuur 8.17 Ruimtelijke verspreiding van *Nereis succinea* in de juni-bemonstering



Figuur 9.1

Ruimtelijke verdeling van de groei van filterfeeders (aantal individuen per m²)



Ruimtelijke verdeling van de groei van deposit feeders (aantal individuen per m²)

Appendix A

Lijst van soorten, frequenties, gemiddelde dichtheid en gemiddeld asvrijdrooggewicht in de maart-bemonstering

Latijnse naam	Voedselgroep	Frequentie (%)	Avg dichtheid	avg AFDW
<i>Arenicola marina</i>	DF	3.6	43.82	3416.04
<i>Bathyporeia pilosa</i>	SD	25	339.08	81.36
<i>Bathyporeia sarsi</i>	SD	2.4	3.37	1.34
MOLLUSCA	U	1.2	4.04	5.38
<i>Capitella capitata</i>	DF	3.6	7.42	1.96
<i>Carcinus maenas</i>	O	1.2	0.67	0.89
<i>Cerastoderma edule</i>	SF	6	84.26	2462.87
<i>Corophium arenarium</i>	SD	2.4	3.37	1.28
<i>Corophium</i>	SD	1.2	0.67	0.03
<i>Corophium volutator</i>	SD	2.4	5.39	0.6
<i>Crangon crangon</i>	P	1.2	2.7	1.3
<i>Eteone longa</i>	P	1.2	2.02	1.48
<i>Eteone</i>	P	3.6	10.79	8.82
<i>Eurydice pulchra</i>	P	4.8	10.79	4.2
<i>Heteromastus filiformis</i>	DF	58.3	2446.34	2327.9
<i>Hydrobia ulvae</i>	SD	35.7	567.6	166.32
<i>Macoma balthica</i>	SD	4.8	157.07	1648.57
<i>Mya arenaria</i>	SF	3.6	54.6	852.22
NEMERTEA	P	1.2	8.09	7.78
<i>Nephtys hombergii</i>	O	1.2	0.67	2.79
<i>Nereis diversicolor</i>	O	8.3	56.63	693.53
<i>Nereis succinea</i>	DF	16.7	111.23	150.19
OLIGOCHAETA	U	1.2	5.39	3.47
<i>Ophelia rathkei</i>	DF	1.2	1.35	0.27
<i>Paraonis fulgens</i>	SD	1.2	1.35	0.11
<i>Polydora ligni</i>	SF	4.8	35.73	8.43
<i>Pygospio elegans</i>	SD	25	397.05	39.62
<i>Scoloplos armiger</i>	DF	3.6	18.88	103.53
<i>Scrobicularia plana</i>	SD	1.2	4.72	523.28
<i>Spio martinensis</i>	SD	1.2	0.67	0.01
<i>Tharyx marioni</i>	SD	16.7	146.96	28.59

Appendix B

Lijst van soorten, frequenties, gemiddelde dichtheid en gemiddeld
asvrij-drooggewicht in de juni-bemonstering

Species	Voedselgroep	Frequency (%)	Avg dens (n /m2)	Avg AFDW(mg /m2)
Anaitides mucosa	P	1.1	1.85	0.15
Arenicola marina	DF	2.2	27.7	3683.48
Bathyporeia pilosa	SD	9.8	148.95	35.01
Bathyporeia sarsi	SD	2.2	5.54	1.56
MOLLUSCA	U	1.1	1.23	2.07
Capitella capitata	DF	5.4	25.85	4.82
Carcinus maenas	O	2.2	2.46	0.52
Cerastoderma edule	SF	8.7	85.55	1053.77
Corophium arenarium	SD	2.2	5.54	1.31
Corophium	SD	1.1	1.23	0.02
Corophium volutator	SD	2.2	3.08	0.92
Crangon crangon	P	4.3	43.7	31.49
BRACHYURA	U	1.1	0.62	0.08
Ensis	SF	3.3	13.54	2.44
Eteone	P	7.6	67.7	23.64
Eteone longa	P	6.5	24	10.45
Eurydice pulchra	P	5.4	15.39	12.85
Gammarus	O	1.1	0.62	0.03
Haustorius arenarius	SF	1.1	0.62	1.58
Heteromastus filiformis	DF	52.2	3347.65	2808.66
Hydrobia ulvae	SD	22.8	358.83	88.2
Macoma balthica	SD	18.5	474.54	1757.18
Mya arenaria	SF	4.3	42.47	2320.21
Mytilus edulis	SF	1.1	2.46	0.95
Nephtys cirrosa	O	1.1	0.62	17.44
Nereis diversicolor	O	8.7	65.24	563.21
Nephtys hombergii	O	2.2	4.92	21.36
Neomysis integer	U	2.2	3.08	1.95
NEMERTEA	P	4.3	14.16	10.46
Nereis	DF	2.2	4.31	0.7
Nereis succinea	DF	13	122.48	555.61
OLIGOCHAETA	U	2.2	9.85	0.3
Ophelia rathkei	DF	2.2	2.46	0.27
Paraonis fulgens	SD	2.2	3.08	0.44
Polydora ligni	SF	21.7	342.21	34.52
Praunus flexuosus	SF	1.1	0.62	0.18
Pygospio elegans	SD	50	2819.56	193.25
Scoloplos armiger	DF	3.3	13.54	86.47
Scolecopsis bonnieri	P	1.1	1.23	5.03
Scrobicularia plana	SD	3.3	27.7	347.37
Spio martinensis	SD	2.2	3.08	0.46
Tharyx marioni	SD	18.5	219.11	47.17