

C-14111 515

Stromingsinformatie voor de ecologie

31 januari 2002

Definitief rapport

Rijksinstituut voor Kust en Zee

A COMPANY OF



**ROYAL HASKONING**

**HASKONING NEDERLAND BV**  
**COASTAL & RIVERS**

Heer Bokelweg 145  
Postbus 91  
3000 AB Rotterdam  
+31 (0)10 467 13 61 Telefoon  
010-4674559 Fax  
info@rotterdam.royalhaskoning.com E-mail  
www.royalhaskoning.com Internet  
Arnhem 09122581 KvK

Documenttitel Stromingsinformatie voor de ecologie

Status Definitief rapport

Datum 31 januari 2002

Projectnaam ECOMORF

Projectnummer 1207

Opdrachtgever Rijksinstituut voor Kust en Zee

Referentie 1207/R02019/GD/Rott2b

Opgesteld door Gerard Dam en Mindert de Vries

Gecontroleerd door Maarten Jansen

Datum/paraaf controle 31-01-2002

Goedgekeurd door Bram Blik

Datum/paraaf 31-01-2002



## INHOUDSOPGAVE

	Blz.
1 INLEIDING	1
1.1 Algemeen	1
1.2 Probleemstelling	1
1.3 Doelstelling	1
1.4 Onderzoeksvragen	1
1.5 Leeswijzer	2
2 PAKKET VAN EISEN VANUIT DE ECOLOGIE	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Hydrodynamische parameters	3
2.3 Voorkomen van soorten	4
2.4 Ecotopen	6
2.5 Tijd en ruimteschaal	7
2.6 Conclusies ten aanzien van modellering	7
2.7 Pakket van eisen voor een goede onderbouwing van ecotoopkartering	8
2.8 Conclusies ten aanzien van onderbouwing van ecotoopkartering	8
3 MODELVERGELIJKING 2DH VERSUS 3D	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Het SCALWEST-model	10
3.3 Vergelijking ten opzichte van meetpunten in het intergetijdengebied	11
3.4 Vergelijking maximum eb- en vloedstroming	13
3.5 Vergelijking dieptegemiddelde stroomsnelheden en waterstanden	13
3.6 Profielen en gevoeligheid aantal lagen	14
3.7 Discussie	15
3.8 Conclusies vergelijking meting en berekening	16
3.9 Aanbevelingen	17
4 PLAN VAN AANPAK VOOR VERBETERING VAN STROMINGSINFORMATIE VOOR DE ECOLOGIE	18
4.1 Toepasbaarheid voor de beheerder	18
4.2 Overzicht hydraulische input voor ecotopenkartering	19
4.3 Overzicht verwachtingen vanuit de ecologie	25
4.4 Knelpunten	27
4.5 Voorstel voor plan van aanpak	28



LITERATUUR	30
LIJST MET FIGUREN	32
BIJLAGE A: DISCUSSIEBIJEENKOMST, 10 DECEMBER 2001	34
BIJLAGE B: SAMENVATTING KNELPUNTEN	49





## 1 INLEIDING

### 1.1 Algemeen

Binnen Rijkswaterstaat worden waterbewegingsmodellen ontwikkeld voor beheersproblemen en beleidsvragen. Een van de modellen die Rijkswaterstaat gebruikt is het SCALWEST model. Het SCALWEST model is een 2DH waterbewegingsmodel van de Westerschelde. Het model kan de grootschalige waterbeweging goed berekenen, maar de reproductie op het intergetijdengebied laat te wensen over. Dit is een probleem omdat veel ecologische vraagstukken juist spelen in het intergetijdengebied. Binnenkort wordt het model zo goed mogelijk afgeregeld op het intergetijdengebied voor zowel de 1996 als de 2000 versie van het model (Royal Haskoning, 2001).

De vraag is echter of met een afgeregeld 2D model voldoende nauwkeurigheid bereikt wordt. Voor ecologische toepassingen is men veelal geïnteresseerd in de snelheid bij de bodem, terwijl een 2D model een dieptegemiddelde snelheid berekent. Moet er niet overgestapt worden naar een 3D model, waarbij de snelheid aan de bodem beter berekend zou kunnen worden? Dit onderzoek houdt zich bezig met de vraag hoe stromingsinformatie ten bate van de ecologie verbeterd kan worden en geeft daarbij speciaal aandacht aan de eventuele meerwaarde van 3D stromingsinformatie.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in het kader van het project ECOMORF van RIKZ. De doelstelling van ECOMORF is het realiseren van een koppeling tussen hydrodynamica en ecologie in estuaria.

Het Waterloopkundig Laboratorium en Royal Haskoning (voorheen Ingenieursbureau Svašek) voeren gezamenlijk bovengenoemd onderzoek uit (Overeenkomst RKZ-1070), waarbij het WL input levert voor de ecologie en Royal Haskoning de fysische kant beschrijft.

### 1.2 Probleemstelling

Tot op heden zijn alle bestaande waterbewegingsmodellen in eerste instantie ontwikkeld voor andere doeleinden dan de ecologie en afgeregeld voor de hoofdgeulen. De huidige waterbewegingsmodellen zijn onvoldoende ontwikkeld ten bate van de ecologie, zodat de door de modellen geleverde informatie te wensen over laat.

### 1.3 Doelstelling

Onderzoek wat de meerwaarde is van 3D modellering versus 2DH modellering voor het intergetijdengebied ten behoeve van de ontwikkeling van ecotopenkaarten. Aan de hand van deze resultaten worden ideeën ontwikkeld over hoe de stromingsinformatie t.b.v. de ecologie verbeterd kan worden.

### 1.4 Onderzoeksvragen

In deze opdracht staan twee (onderzoeks)vragen centraal:

1. Welke input en nauwkeurigheid heeft de ecologie nodig uit waterbewegingsmodellen?



2. Welke meerwaarde heeft 3D modelleren ten opzichte van 2DH modelleren voor de ecologie?

Ad 1) Deze eisen zullen door ecologen vastgesteld moeten worden in het project. Dit pakket van eisen zal de onderbouwing vormen van toekomstige model-ontwikkelingen.

Ad 2) Hierbij wordt gekeken naar de verschillen tussen 2DH en 3D modellen van de Westerschelde ten opzichte van metingen. Ook zal gekeken worden of een verbetering van de stroomsnelheid door 3D modelleren daadwerkelijk een verbetering oplevert van ecotopenkaarten<sup>1</sup>.

### 1.5 Leeswijzer

Dit rapport is als volgt opgebouwd: in hoofdstuk 2 wordt het pakket van eisen vanuit de ecologie vastgesteld. Hoofdstuk 3 behandelt de modelresultaten van het 2DH en 3D model. Hoofdstuk 4 beschrijft de discussie van de meerwaarde van 3D modellering ten bate van de ecologie. In hoofdstuk 5 worden conclusies en aanbevelingen gegeven. Hoofdstuk 6 geeft een plan van aanpak voor toekomstige ontwikkelingen.

---

<sup>1</sup> Tijdens het project is er uiteindelijk geen ecotopenkaart gemaakt, dit zal in hoofdstuk 4 nader toegelicht worden



## 2 PAKKET VAN EISEN VANUIT DE ECOLOGIE

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een 'pakket van eisen' op basis van ecologische kennis en huidige praktijk rond aanmaken van ecotopenkaarten gedefinieerd dat als toetsing zal worden gebruikt van toekomstige model-ontwikkelingen.

### 2.2 Hydrodynamische parameters

Voor de karakterisering van de ecologie van een watersysteem is niet uitsluitend de hydrodynamiek van belang. Eigenschappen zoals bodemhoogte, bodemsamenstelling maar ook zoutgehalte, nutriëntenconcentraties en verontreinigingsgraad zijn mede bepalend. Kijken we naar onderscheidende hydrodynamische parameters, dan worden de volgende twee parameters gebruikt:

- Maximale stroomsnelheid  
Door RIKZ is bekeken of de maximale stroomsnelheden berekend bij gemiddeld springtij een zinvolle parameter is voor het begrijpen van de verdeling van soorten en ecotopen in de Westerschelde (zie bijvoorbeeld RIKZ/OS-98.831X). In het kader van ECOFLAT is een analyse naar de kans op voorkomen van een aantal benthos-soorten uitgevoerd, in relatie tot een aantal fysische parameters zoals maximale stroomsnelheid. Conclusie uit deze studies is dat de stroomsnelheid alleen niet het voorkomen van soorten in de Westerschelde kan verklaren.
- Hydrodynamiek  
In het kader van ecotopenstelsels die opgesteld worden voor de Nederlandse rijkswateren speelt het begrip hydrodynamiek een rol. In het rapport 'Ontwerp-ecotopenstelsel Kustwateren' (Alterra 177, ISSN 1566-7197) wordt aangevoerd dat het begrip 'dynamiek' gerelateerd kan worden aan een combinatie van stroomsnelheden door golfwerking en stroming. Dit is weer gebaseerd op een voorstel van De Jong et al. (1998). Het is in dit rapport niet duidelijk uitgewerkt welke stroomsnelheid wordt bedoeld.
- Overige bepalende parameters  
De onderstaande tabel 2.1 geeft een overzicht van andere parameters die als sturend voor het voorkomen van **bodemdieren** op locaties in (estuariene, mariene) ecosystemen worden geïdentificeerd. Voor soorten die (vooral) in de waterfase leven is dit overzicht minder relevant.

WADDEN SEA (meso-tidal) (Wintermans et al. 1996)	NEW ZEALAND (meso-tidal) (Bell et al. 1997)	MOLENPLAAT (macro-tidal) (INTRMUD)
bed friction due to wind-wave action (storms)	wind-waves (work done during a tide)	wind and ship waves (expressed as ratio wave height/ minimum water depth)



	water depth	water depth
inundation time	inundation time	inundation time (expressed as ratio max. water depth/spring tidal range)
	energy dissipation per unit of area at the bed (current)	energy dissipation rate per unit of area at the bed (current and waves)
		presence of corrugations
silt and mud content		silt content
median grain size	sediment characteristics (grain size distribution)	
sedimentation-erosion	sediment reworking (erosion)	bed elevation changes (sedimentation-erosion)
	suspended solids concentrations	
salinity		bottom slope
water exchange		

*Tabel 2.1 Overzicht van sturende parameters volgens verschillende onderzoekers*

Een aantal van bovenstaande parameters is gerelateerd aan de stroomsnelheden die voorkomen nabij de bodem in een systeem. Dit zijn bijvoorbeeld energie dissipatie, sedimentatie/erosie, bodemsamenstelling. Deze worden echter ook mede bepaald door golven en bathymetrie. Een belangrijke parameter zoals inundatieduur (en voor de schorren de overspoelingsfrequentie) wordt (onder andere) bepaald door de hydrodynamische parameter waterhoogte in combinatie met bathymetrie. Hieruit blijkt dat veelsoortige informatie nodig is om voor een locatie een overzicht van de waarden van bepalende parameters samen te kunnen stellen.

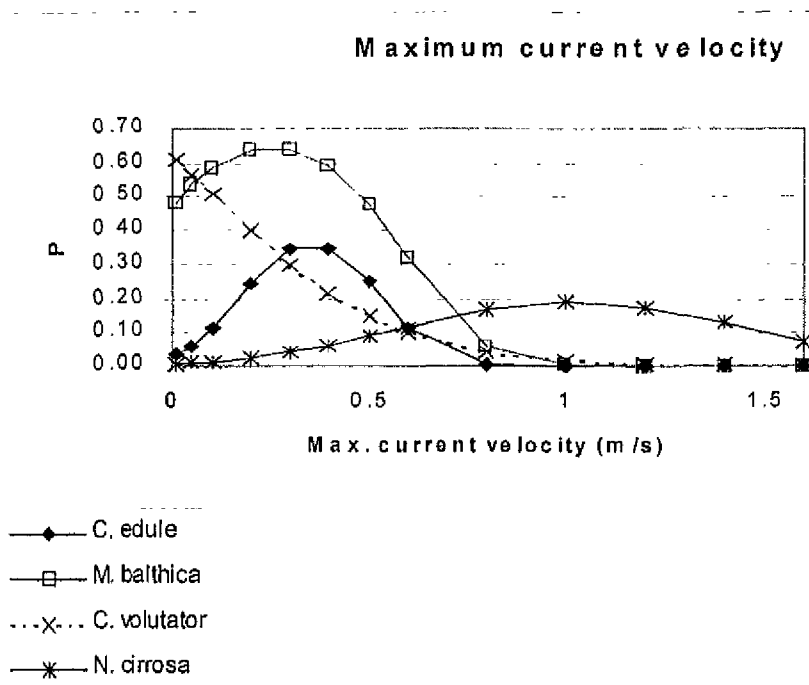
### 2.3 Voorkomen van soorten

De tabel in de vorige paragraaf is gebaseerd op studies waarin het voorkomen van soorten is gekoppeld aan de fysische eigenschappen van het systeem. In BEON en ECOFLAT projecten is hieraan door o.a. RIKZ, NIOO-CEMO, ALTERRA en WL veel aandacht besteed. Op dit moment wordt deze vraagstelling beschouwd in het FLYLAND project, RUIMTECOL maar ook in onderzoeken van gebiedsbeheerders ter onderbouwing van bijvoorbeeld MER-studies en natuurontwikkelingsprojecten. Conclusie is dat veel verschillende (interacterende) factoren een rol spelen en dat de relatie van omgevingsfactoren met het voorkomen van soorten niet eenduidig is. Belangrijke aspecten kunnen zijn de rol van onvoorspelbare 'events' zoals stormen, hoge rivierafvoeren, strenge winters, etc. Ook zullen van elke soort verschillende levensstadia

zich verschillend gedragen waarbij soms de waterfase en soms de bodem een belangrijke rol speelt als habitat. Aan de andere kant geeft de opsomming van belangrijke sturende parameters zoals in de vorige paragraaf wat houvast. Gesteld wordt dat ruimtelijke en temporele resolutie van een hydrodynamisch model in combinatie met de situatie die wordt doorgerekend (bijvoorbeeld springtij of gemiddeld tij) zo goed mogelijk moet worden afgestemd op de soort of gemeenschap van soorten waarvoor de analyse wordt uitgevoerd. Dit houdt ook in dat bij de analyse van het voorkomen van een soort op een specifieke locatie, zoutgehalte bijvoorbeeld niet van belang is, terwijl deze parameter bij de analyse van verspreiding van dezelfde soort in het gehele estuarium wel een overheersende rol speelt.

Van belang is op te merken dat voor bodemdieren (benthos) de processen aan het bodem-watergrensvlak van belang zullen zijn. Voor pelagische (waterfase) gebonden organismen zoals fytoplankton en bijvoorbeeld vissen gaat het om heel andere processen. Met name de rol van processen in relatie tot horizontale 'patchiness', gelaagdheid en zout-zoet overgangen is dan van belang.

Onderstaande figuur (ECOFLAT dataset J. Craijmeersch, NIOO-CEMO, n=3000) geeft een inzicht in de kans op voorkomen van 4 benthos-soorten in relatie tot een met WAQUA berekende maximale stroomsnelheid van een gemiddelde eb-vloed cyclus. Gezien de brede optimumcurves in onderstaande figuur, die de relatie aangeven tussen kans op voorkomen van soorten en de maximum stroomsnelheid is het duidelijk dat de verspreiding van de soorten niet sterk door stroomsnelheid wordt bepaald.

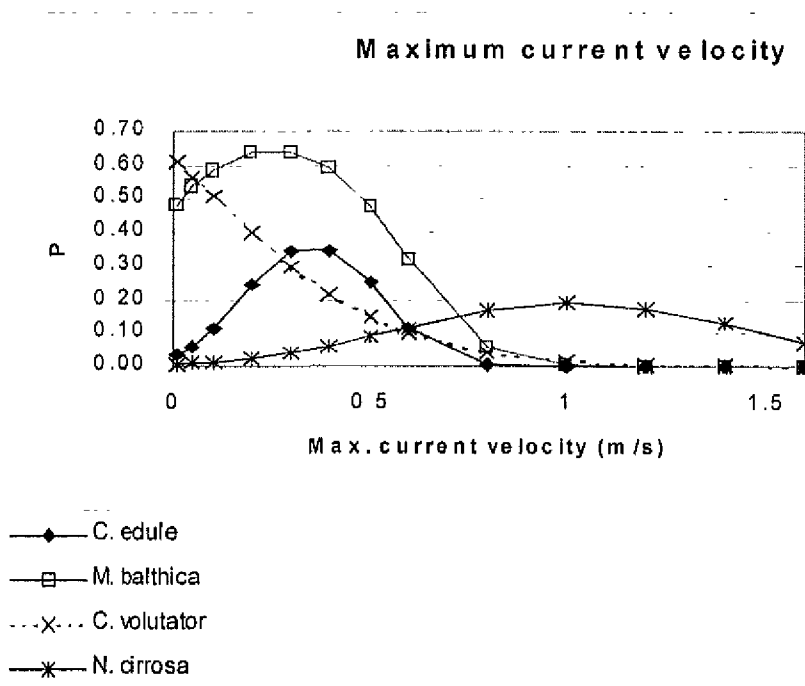


In de onderstaande figuur is het resultaat te zien waarin het voorspelde voorkomen van *Macoma* wordt afgebeeld op een gemeten verspreiding, waarbij de voorspelling gebaseerd is op relaties tussen kans op voorkomen van *Macoma* in relatie tot o.a. stroomsnelheid, zoutgehalte en bodemhoogte.

zich verschillend gedragen waarbij soms de waterfase en soms de bodem een belangrijke rol speelt als habitat. Aan de andere kant geeft de opsomming van belangrijke sturende parameters zoals in de vorige paragraaf wat houvast. Gesteld wordt dat ruimtelijke en temporele resolutie van een hydrodynamisch model in combinatie met de situatie die wordt doorgerekend (bijvoorbeeld springtij of gemiddeld tij) zo goed mogelijk moet worden afgestemd op de soort of gemeenschap van soorten waarvoor de analyse wordt uitgevoerd. Dit houdt ook in dat bij de analyse van het voorkomen van een soort op een specifieke locatie, zoutgehalte bijvoorbeeld niet van belang is, terwijl deze parameter bij de analyse van verspreiding van dezelfde soort in het gehele estuarium wel een overheersende rol speelt.

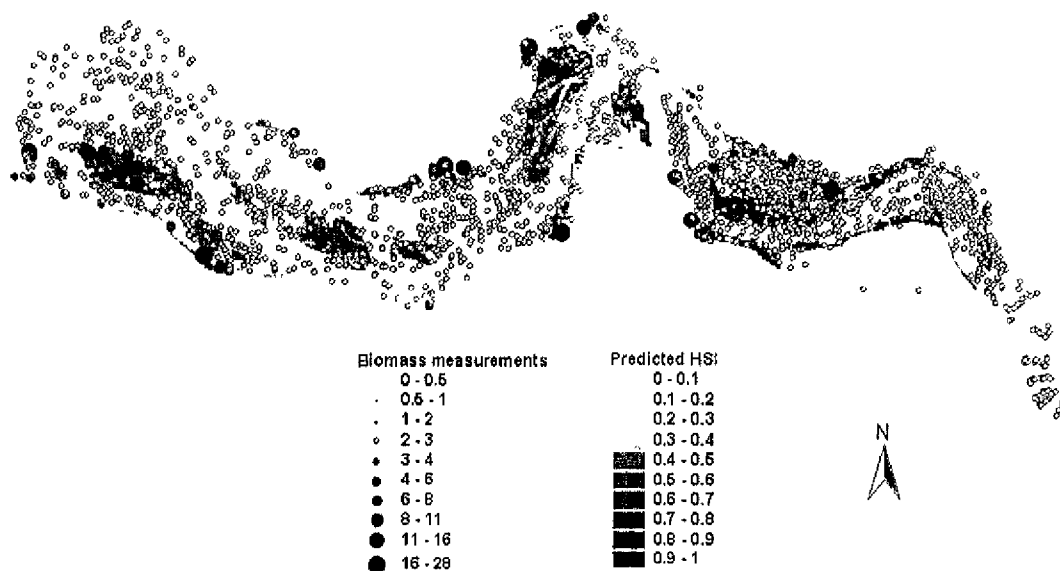
Van belang is op te merken dat voor bodemdieren (benthos) de processen aan het bodem-watergrensvlak van belang zullen zijn. Voor pelagische (waterfase) gebonden organismen zoals fytoplankton en bijvoorbeeld vissen gaat het om heel andere processen. Met name de rol van processen in relatie tot horizontale 'patchiness', gelaagdheid en zout-zoet overgangen is dan van belang.

Onderstaande figuur (ECOFLAT dataset J. Craijmeersch, NIOO-CEMO, n=3000) geeft een inzicht in de kans op voorkomen van 4 benthos-soorten in relatie tot een met WAQUA berekende maximale stroomsnelheid van een gemiddelde eb-vloed cyclus. Gezien de brede optimumcurves in onderstaande figuur, die de relatie aangeven tussen kans op voorkomen van soorten en de maximum stroomsnelheid is het duidelijk dat de verspreiding van de soorten niet sterk door stroomsnelheid wordt bepaald.



In de onderstaande figuur is het resultaat te zien waarin het voorspelde voorkomen van *Macoma* wordt afgebeeld op een gemeten verspreiding, waarbij de voorspelling gebaseerd is op relaties tussen kans op voorkomen van *Macoma* in relatie tot o.a. stroomsnelheid, zoutgehalte en bodemhoogte.

Correlation between measured biomass and predicted HSI ( $r^2=0.30$ )  
for *Macoma* (for cockle this correlation is worse)



(bron: Ecoflat project, Baptist, 1999)

Op dit moment wordt door o.a. RIKZ en WL onderzoek uitgevoerd naar de interactie tussen biologie en fysica. Het is inmiddels duidelijk dat een schorvegeatie van voldoende dichtheid en oppervlakte de fysische eigenschappen van een gebied zal veranderen door bijvoorbeeld extra ruwheid en demping van golven. Deze aspecten zouden de (locale) performance van fysische modellen verder kunnen verbeteren. In de praktijk wordt door RIKZ een op bodemtype-classificatie gebaseerde ruwheidskaart beproefd om de performance van het model SCALWEST te verbeteren. (Royal Haskoning, 2001)

## 2.4 Ecotopen

In de Westerschelde speelt het begrip ecotopen een belangrijke rol. Een ecotoop is 'een ruimtelijk te begrenzen discrete eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene aspecten samen' (Wolfert, 1996). Een ecotoop wordt dus ondermeer bepaald door de hydrodynamische condities maar ook door de soortensamenstelling ter plekke. Het begrip 'fysiotoop' wordt gebruikt om een ruimtelijke eenheid te definiëren die homogeen is voor wat betreft de abiotische condities.

In het rapport 'Ontwerp-ecotopenstelsel Kustwateren' (Alterra, 2001) wordt voorgesteld om de volgende parameters te klassificeren en daarmee een ecotopenstelsel te definiëren:

1. Bodemligging
2. Droogvaltijd (4 klassen in intergetijdzone)
3. Overspoelingsfrequentie (5 klassen in gebieden > GHW)
4. Dynamiek (bijvoorbeeld op basis van stroming en golven)
5. Substraat



## 6. Zout

Opvallend is dat hoogteligging in relatie tot getijslag en extreme hoogwaters een belangrijke rol speelt naast dynamiek. Dit systeem sluit qua definitie van parameters goed aan bij datgene wat in de zoete wateren aan ecotopenstelsels is/wordt ontwikkeld. Omdat ecotopen vooral lijken te worden bepaald door de bathymetrie van een systeem is het duidelijk dat de typische schaal van de ecotopen in een estuarium zoals de Westerschelde zich ruim binnen de grootte van een plaat-geul systeem zal bevinden. De schaal wordt groter naarmate de fysische gradiënten afvlakken.

### 2.5 Tijd en ruimteschaal

Vanuit studies naar de verdeling van soorten in een ecosysteem is ook duidelijk geworden dat tijd- en ruimteschalen van processen een belangrijke rol spelen in de uiteindelijk gemeten verdeling van soorten in een gebied. Dit is per soort verschillend. Zo kan waargenomen worden dat schorren maar ook mossel- of oesterbanken decennia lang op dezelfde plek voorkomen, waarna een extreme 'event' zoals een storm, ijsgang of vorst in combinatie met laagwater deze biologische structuren kunnen 'opruimen'. Hierna kan de cyclus van opbouw en neergang zichzelf herhalen. Voor algenmatten die op de intergetijdegebieden voorkomen in de zomer-periode is een heel andere tijdschaal van belang. Hier speelt het dagelijkse weer een bepalende rol. Ook de ruimteschalen zijn verschillend tussen soorten. Algenmatten en kokkelbanken zijn 'patchy' verdeeld op een intergetijdegebied, schorvegetaties kunnen vele hectares beslaan. Kijkend naar 'pelagische' systemen met geringe dieptevariëaties zoals de Noordzee zijn nog grotere ruimtelijke schalen te verwachten.

### 2.6 Conclusies ten aanzien van modellering

Conclusie uit bovenstaande overzicht is dat schaal en aard van de fysische modellering ten behoeve van de ecologie sterk bepaald wordt door de vraagstelling. Bovendien is de relatie van fysica met het voorkomen van soorten niet eenduidig bekend. Er is een verschil tussen sturende factoren voor bodemgerelateerde soorten en soorten die in de waterfase voorkomen. Het belang van 'events' voor het voorkomen van soorten is duidelijk, de definitie van deze events vooralsnog nog niet.

Een belangrijke hydrodynamische parameter zoals stroomsnelheid is in het voorgestelde ecotopen systeem kustwateren niet eenduidig gedefinieerd. Belangrijke sturende factoren zijn samengesteld uit hydrodynamische parameters in combinatie met morfologische parameters. Een belangrijke parameter voor bodemdieren is energiedissipatie aan de bodem ('bodem-dynamiek') welke wordt uitgedrukt op basis van een combinatie van golven en stroming. De parameter overspoelingsduur is gekoppeld aan de bodemhoogte in relatie tot getijslag en incidentele hoogwaters (rivier-afvoer, stormen). Dit houdt in dat fysische modellen ook juist deze aspecten zo precies mogelijk dienen te voorspellen om juist de hoger gelegen gebieden goed te kunnen karteren. Hier speelt dan de keuze van randvoorwaarden (welke rekenperiode, welke windsituatie, welke rivierafvoer) een bepalende rol. Gezien de ruimtelijke resolutie van ecotopen is een oplossend vermogen van modellen kleiner dan de schaal van ecotopen (weliswaar systeem-afhankelijk) noodzakelijk.





Tenslotte is inbreng van biologische kennis voor het afschatten van fysische modelparameters zoals ruwheden, bodemsterktes en golfdemping relevant als bron van verdere verbetering van de performance van de hydrodynamische modellen

## **2.7 Pakket van eisen voor een goede onderbouwing van ecotoopkartering**

Gebaseerd op de voorgestelde definities van ecotopen in het Ontwerp Ecotopenstelsel Kustwateren (ALTERRA, 2001) kunnen de volgende eisen aan hydrodynamische modellen worden voorgesteld:

- a) Berekening van maximale stroomsnelheid aan de bodem gedurende een springtij
- b) Berekening van maximale orbitaalsnelheid aan de bodem door golfwerking (op basis van jaargemiddeld golfspectrum of typische stormconditie?)
- c) Berekening van 'bodem-dynamiek' uit a) en b) door kwantificering van maximale energiedissipatie of schuifspanning.
- d) Berekening van waterhoogtes gedurende een doortij springtij cyclus (welk windrichtingen?)
- e) Berekening van droogvalduren uit d) in combinatie met bodemhoogte.
- f) Berekening overspoelingsfrequenties door d) in combinatie met bodemhoogte, wind en rivierafvoer.
- g) Berekening substraattypen (indien niet eerder gekarteerd, bijv. voor voorspellingen) door c) in combinatie met (o.a.) bodemhoogte.
- h) Berekening minimum, maximum en gemiddeld zoutgehalte in combinatie met rivierafvoer.

Bovenstaande opsomming moet uiteindelijk gebiedsdekkende informatie opleveren op de schaal van de ecotopenkaarten, die veel kleiner is dan de grootte van een plaat (vanwege de gedetailleerde hoogte-indeling).

N.B. Het is onduidelijk wat de onnauwkeurigheid is van de bodemhoogte op de ondiepe gebieden. Dit is relevant gezien de verdeling in 9 hoogte klassen van intergetijde en hoger gelegen gebied.

## **2.8 Conclusies ten aanzien van onderbouwing van ecotoopkartering**

Uit bovenstaand overzicht kunnen de volgende conclusies ten aanzien van de onderbouwing van ecotoopkartering worden getrokken:

- 1) De schaal en de aard van de fysische modellering ten behoeve van de ecologie wordt sterk bepaald door de vraagstelling.
- 2) De relatie van fysica met het voorkomen van soorten niet eenduidig bekend. Er is een verschil tussen sturende factoren voor bodemgerelateerde soorten en soorten die in de waterfase voorkomen. Het belang van 'events' voor het voorkomen van soorten is duidelijk, de definitie van deze events vooralsnog nog niet.
- 3) Definitie van parameters in het ecotopen systeem is niet eenduidig en niet voldoende met data onderbouwd. Dit moet op basis van aanvullende analyses worden verbeterd.
- 4) Belangrijke sturende factoren zijn samengesteld uit hydrodynamische parameters in combinatie met morfologische parameters. Een belangrijke parameter voor bodemdieren is energiedissipatie aan de bodem ('bodem-



dynamiek') welke wordt uitgedrukt op basis van een combinatie van golven en stroming. De parameter overspoelingsduur is gekoppeld aan de bodemhoogte in relatie tot getijslag en incidentele hoogwaters (rivier-afvoer, stormen). Dit houdt in met name een juiste bodemhoogte en golfstroom-interactie in fysische modellen noodzakelijk is om deze aspecten zo precies mogelijk te berekenen. Hier speelt dan de keuze van randvoorwaarden (welke rekenperiode, welke windsituatie, welke rivierafvoer) een bepalende rol.

- 5) Gezien de ruimtelijke resolutie van ecotopen is een oplossend vermogen van modellen kleiner dan de schaal van ecotopen noodzakelijk.



### 3 MODELVERGELIJKING 2DH VERSUS 3D

#### 3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk moet duidelijk worden wat de meerwaarde is van 3D modelleren ten opzichte van 2DH modelleren. Hierbij zal een doodtij, gemiddeld getij en een springtij berekend worden met het 2DH SCALWEST model. Het 3D model zal uit het SCALWEST model geconstrueerd met 10 lagen. De resultaten zullen ten opzichte van elkaar vergeleken worden voor een aantal meetpunten in het intergetijdegebied. Ook zal gekeken worden wat het ruimtelijke verschil is tijdens maximum eb- en vloedstroming.

#### 3.2 Het SCALWEST-model

Het SCALWEST-model is een 2DH waterbewegingsmodel van de Westerschelde. Het is gebaseerd op WAQUA in SIMONA. Het model omvat de Westerschelde en de Zeeschelde (Zie figuur 3.1). Het model heeft een kromlijng rekenrooster. De bodemdiepte is bepaald uit gegevens van 1996. Zie voor een verdere beschrijving Svašek (1997). In dit onderzoek zal naast het 2DH model ook een 3D-versie met 10 lagen gebruikt worden. Voor de duidelijkheid: Voor het 2DH model is WAQUA gebruikt, voor het 3D model is TRIWAQ gebruikt. Gerekend is met WAQUA versie 2000-01.

De gebruikte instellingen van TRIWAQ zijn:

Parameter	Grootte	bijzonderheden
Aantal lagen ( <b>kmax</b> )	10	equidistant, sigma-lagen
Horizontal <b>diffusion</b>	1 m <sup>2</sup> /s	
<b>Eddyviscosity</b>	1 m <sup>2</sup> /s	
Tijdstap ( <b>tstep</b> )	15 seconden	
Impliciteitsfactor ( <b>theta</b> ): waterbeweging Transport	0.5 0.6	Hogere waarde voor transport i.v.m. stabiliteit
Afbreekcriteria ( <b>iteracc</b> ): Waterstanden	0.005	
Ruwheid ( <b>friction</b> ), Formule is <b>Manning</b>	0.022 s/m <sup>1/3</sup> 0.026 s/m <sup>1/3</sup> 0.0265 s/m <sup>1/3</sup> 0.0252 s/m <sup>1/3</sup> 0.024 s/m <sup>1/3</sup> 0.024 s/m <sup>1/3</sup> 0.022/0.0253 s/m <sup>1/3</sup> 0.024 s/m <sup>1/3</sup>	Voordelta-Vlissingen Vlissingen-Overl.Hansweert Overl.v.Hansweert-Baalhoek Baalhoek-Bath Bath- Antwerpen Antwerpen-Rupelmonde Rupelmonde-Gent Rupel/Zenne/Dijle/Nete
Kritische diepte droogval ( <b>depcrit</b> )	0.30 m	Droogvalprocedure ( <b>idryflag</b> ) 1: gem.criterium
Turbulentie model	Standaard k-ε	Standaard waarden voor de parameters
Return-time zout ( <b>tcreta</b> )	330 min	
Reflectie-coëfficiënt ( <b>refl</b> )	0	
Windsnelheid	Reeks gemeten bij Hansweert	

Tabel 3.1: instellingen TRIWAQ



In de 2DH berekeningen zijn dezelfde instellingen gebruikt als genoemd in tabel 3.1. Natuurlijk is wel gerekend met 1 laag. De diffusie staat in de 2DH berekening op 50 m<sup>2</sup>/s en er is met een tijdstap van 30 sec. gerekend. Ook is geen turbulentiemodellering gebruikt.

### 3.3 Vergelijking ten opzichte van meetpunten in het intergetijdengebied

Vanwege de rekentijd van het 3D model is besloten om niet alle meetperiodes door te rekenen, maar de periodes te beperken tot een doottij, gemiddeld getij en een springtij. Hiermee zullen dan de metingen vergeleken worden, alhoewel de meetperiodes verschillen. Er is reeds een uitgebreid onderzoek gedaan naar de verschillen van SCALWEST 2DH en deze metingen (Svašek (1999), Svašek en Alkyon (2000) en Royal Haskoning (2001)). Uit deze onderzoeken bleek dat het model grote afwijkingen vertoont. In Royal Haskoning (2001) wordt het 2DH model zo goed mogelijk afgeregeld op het intergetijdengebied mbv deze metingen.

De metingen zijn uitgevoerd op een vaste hoogte ten opzichte van de bodem. Met het 2DH model zal de dieptegemiddelde stroming vergeleken worden, met het 3D model zal de stroming in de dichtstbijzijnde laag vergeleken worden.

De volgende meetlocaties worden gebruikt:

1. Zuidgors-West;
2. Waarde-Oost;
3. Zuidgors-Oost;
4. Paulina;
5. Bath-West;
6. Molenplaat;
7. Plaat van Baarland.

De eerste 5 meetlocaties zijn gedefinieerd op slikken (Koster Engineering, 1997). Het doel van deze meetcampagne was om inzicht in de maatgevende processen te verwerven die mogelijk ten grondslag liggen aan de erosie van slikken en schorren (Witteveen + Bos, 1998). Daarbij zijn stroomsnelheden, -richtingen, waterstanden, golven en wind gedurende 14 dagen gemeten. Per locatie is in twee dwarsraaien gemeten. Per dwarsraai zijn op 2 of 3 punten gemeten. De stroommetingen zijn uitgevoerd met elektromagnetische stroomsnelheidsmeters.

Op de Molenplaat is op 3 sites gemeten, site 1, 3 en 4. Deze meetpunten zijn elk tijdens een andere periode gemeten.

Op de Plaat van Baarland is een uitgebreide meetcampagne gehouden. Hier zijn stroomsnelheden op drie punten gemeten: Punt P, Q en R. Punt P is onbetrouwbaar gebleken en wordt verder niet meegenomen in dit onderzoek. Er is op verschillende meethoogtes in de stroomverticaal gemeten. Ook de onderste meting in de verticaal is onbetrouwbaar en wordt niet verder meegenomen in de beschouwing.

Locatie	Meetpunt	Gemeten bodemhoogte (cm) t.o.v. NAP	Meethoogte boven bodem (cm)
Zuidgors-West	1	60	53
	2	-85	50
	3	112	12
	4	92	53
	5	-113	47
Waarde-Oost	1	120	52
	2	-59	66
	3	158	45
	4	-126	50
	5	-119	50
Zuidgors-Oost	3	164	16
	4	85	54
	5	-138	60
Paulina	1	43	55
	2	-19	50
	3	116	10
	4	16	54
	5	-65	60
Bath-West	1	129	52
	2	-106	55
	3	123	42
	4	6	56
	5	-103	55
Molenplaat	Site 1	?	15, 50, 90
	Site 3	?	4.5, 16.5, 50, 91
	Site 4	?	4.5, 16.5, 50, 91
Baarland	Q	?	10, 50, 75, 100
	R	?	10, 50, 75, 100

Tabel 3.2: Overzicht hoogtes van meetlocaties

In Svašek (1999) is al gebleken dat de stroomsnelheden berekend met het 2DH model vrijwel altijd lager zijn dan de gemeten stroomsnelheden. Uit figuren 3.2 t/m 3.29 blijkt dit ook weer. Let op dat er vaak een faseverschil zit tussen het model en de meting. Dit komt omdat de periodes van de metingen en de modellen verschillen. Een directe vergelijking is dus niet mogelijk. De orde groottes kloppen wel.

Tevens blijkt uit de figuren dat de stroomsnelheden uit het 3D model nog kleiner zijn dan de 2DH snelheden. Voor de vergelijking met de metingen is de snelheid in de laag waarin de meting valt, genomen.

De gepresenteerde stroomsnelheden liggen dus bijna altijd onder in de verticaal. Hierdoor zijn de stroomsnelheden van het 3D model vrijwel altijd lager dan het 2DH model.

Bij de Molenplaat en de Plaat van Baarland zijn meerdere punten in de verticaal gemeten. Dit is ook weergegeven in figuur 3.25 t/m 3.29. Tevens zijn de bijbehorende



snelheden uit het 3D model getekend in de figuur. Site 1 en Site 4 van de Molenplaat kan redelijk goed door de modellen gereproduceerd worden. Site 3 laat grote afwijkingen zien. Op de Plaat van Baarland worden de snelheden weer fors onderschat door de modellen.

De afwijking van het 3D model ten opzichte van de meting kan een aantal oorzaken hebben:

- De ruwheid in het model is te hoog. Dit is al geconstateerd in Svašek (1999) en Royal Haskoning (2001) met het 2DH model.
- De omrekening van 2 DH ruwheden naar 3D ruwheden gebeurt niet correct. Zie verder paragraaf 3.5.
- De stroomsnelheid in de verticaal wordt niet goed door het 3D model berekend.
- In TRIWAQ worden geen verticale versnellingen meegenomen. Met name ter plaatse van plaatranden en schorranden, waar verticale hellingen aanwezig zijn kunnen de stroomsnelheden niet goed berekend worden.
- Het verschil kan ook verklaard worden door een fout in de metingen.

### 3.4 Vergelijking maximum eb- en vloedstroming

In de figuren 3.30 t/m 3.47 zijn de stroomsnelheden tijdens maximum eb en vloedstroming weergegeven. Hierbij is gekeken naar een doottij, gemiddeld tij en springtij tijdens perioden met weinig wind.

Het is moeilijk aan te geven wat eb- en vloedstroming is op ondiepe gebieden, omdat de stroomrichting vaak verschilt van de hoofdgeul en omdat de maximale snelheden vaak op een ander tijdstip plaatsvinden. De velden zijn gemaakt op basis van waterstanden op die punten. Als de waterstand stijgt dan is het een vloedstroming, als de waterstand daalt dan is het een ebstroming. Deze benadering is alleen geldig op ondiepe gebieden, omdat hier de traagheid verwaarloosd kan worden. Wrijving speelt bij kleinere waterdieptes een belangrijkere rol dan traagheid.

Vanuit de ecologie is men vooral geïnteresseerd in de snelheid nabij de bodem, vandaar dat de stroomsnelheden in de onderste laag van het 3D model zijn gepresenteerd. Van het 2DH model is de dieptegemiddelde snelheid gepresenteerd. Hierdoor zijn de snelheden van het 3D model kleiner dan van het 2DH model.

Tijdens doottij stroomt de Plaat van Baarland niet onder (fig. 3.30 en 3.31). Op de Plaat van Baarland is op hoger gelegen delen, de stroming soms tegengesteld aan de stroming in de naastgelegen geul (fig. 3.34). Hetzelfde verschijnsel is ook te zien op de Molenplaat (fig. 3.40) en de Platen van Valkenisse (fig. 3.46).

Doordat platen en slikken slechts een beperkte tijd onder water staan is het dus ook moeilijk vast te stellen welke tijdstip hoort bij eb en vloed.

### 3.5 Vergelijking dieptegemiddelde stroomsnelheden en waterstanden

In figuur 3.48 zijn dieptegemiddelde snelheden van meetpunt 5 op Zuidgors-West getekend van zowel het 2D als het 3D model. Hieruit blijkt dat de 3D dieptegemiddelde snelheden ruim onder de 2DH snelheden blijven. De overige punten laten hetzelfde beeld zien, maar zijn niet opgenomen in het rapport. In principe hoeven de



dieptegemiddelde 3D snelheden niet hetzelfde te zijn als de 2DH snelheden, waarom wordt er anders gekozen voor een 3D model?

Er lijkt echter meer aan de hand te zijn. In figuur 3.49 zijn de waterstanden van Vlissingen en Bath te zien. Uit het figuur blijkt dat het 3D model een kleinere getijslag berekend. Het verschil neemt toe meer landinwaarts. Bij Bath scheelt het 20 cm.

Dit heeft mogelijk de volgende oorzaken:

- De omrekening van 2 DH ruwheden naar 3D ruwheden gebeurt niet correct. Bij het omrekenen wordt de stroomsnelheid in de onderste laag halverwege deze laag gezet. Dit is bij een logaritmisch snelheidsprofiel geen goede aanname. Momenteel wordt in het kader van OMS hier verder onderzoek naar gedaan.
- De stroomsnelheid in de verticaal wordt niet goed door het 3D model berekend.
- Een 3D model is een wezenlijk ander model dan een 2DH model en moet dus opnieuw afgeregeld worden. Sommige processen worden anders gemodelleerd, denk alleen al aan de overdracht van bodemschuifspanningen op de lagen bovenin de vertikaal. Dit is de reden dat het 3D-model opnieuw gecalibreerd moet worden op de ruwheden.

### 3.6 Profielen en gevoeligheid aantal lagen

In de figuren 3.50 t/m 3.56 zijn snelheidsprofielen in de verticaal te zien van het 3D model met 10 lagen. Daarnaast zijn nog uitkomsten te zien van berekeningen met 7 en 5 lagen. Gedurende 1 getij zijn profielen om het uur getekend. Dit betekent in principe dat er 13 profielen per berekening getekend worden. Er worden minder verticalen geplot omdat de punten droogvallen.

Per punt worden de totale snelheden, de u-snelheden (oost-west snelheden) en de v-snelheden (noord-zuid snelheden) getekend.

In de figuren is te zien dat vaak een logaritmisch profiel berekend wordt. Uit metingen op de Molenplaat uitgevoerd door Fred Twisk is maar in een beperkt aantal gevallen een logaritmisch profiel gevonden (zie bijlage A).

Ook blijkt uit de figuren dat de gevoeligheid van de snelheden voor het aantal lagen niet groot is. Te zien is dat de snelheid toeneemt met een afname van het aantal lagen. Dit lijkt consistent met de uitkomsten van de vorige paragraaf waar gevonden werd dat de dieptegemiddelde snelheden van het 2DH- model (1 laag) altijd groter zijn dan de 3D dieptegemiddelde snelheden (10 lagen).

In figuren 3.57 en 3.58 zijn gemeten en berekende profielen in een figuur geplaatst. Let wel op dat de periodes verschillen. De berekening is uitgevoerd met TRIWAQ 10 lagen. De berekende stroomprofielen zijn in zwart aangegeven. De gemeten profielen zijn in blauw aangegeven. Ook is daarbij een kruisje op de werkelijke meethoogte aangegeven. De metingen zijn alleen in de totale snelheden geplot, omdat er geen richtingen gemeten zijn. U- en V- snelheden kunnen dus niet berekend worden. Duidelijk te zien is dat de berekende profielen veel lager zijn dan de gemeten profielen.



### 3.7 Discussie

Een zeer belangrijk aandachtspunt van deze studie is een antwoord te vinden op de vraag wat de meerwaarde van 3D t.o.v. 2DH modellering is voor de ecologie. Het belangrijkste resultaat is dat het op dit moment niet zinvol is om een ecotopenkaart te maken op basis van de huidige 3D stromingsinformatie. Het 3D model vertoont namelijk een nog grotere onderschatting van de gemeten stroomsnelheden dan het 2DH model. En dit terwijl verwacht werd dat het 3D model betere resultaten zou laten zien, omdat het de snelheid kan berekenen op de werkelijke meethoogte.

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen het 2 DH model en het 3 D model moet de dieptegemiddelde snelheid van beide modellen (of tenminste berekende snelheden op dezelfde hoogte in de waterkolom) met elkaar vergeleken worden. Echter na vergelijking van de dieptegemiddelde snelheid uit het 2 DH model met de dieptegemiddelde snelheid uit het 3 D model bleken deze snelheden niet met elkaar overeen te komen.

Voor de afwijking tussen het 2DH model en het 3D model zijn een aantal verklaringen te geven:

1. Voor een 3D model mag geen ruwheidsveld uit een afgeregeld 2DH model gebruikt worden maar een 3D model moet opnieuw gekalibreerd worden.
2. Mogelijk een fout in de code van TRIWAQ waardoor de resultaten van het 3D model sterker afwijken dan op grond van verklaring twee verwacht mag worden.

Het ruwheidsveld dat afkomstig is uit het afgeregelde 2DH model is niet zomaar om te zetten naar een 3D model omdat tussen een 3D model en een 2DH model een aantal belangrijke verschillen zitten zoals de berekening en overdracht van de bodemruwheid. In tegenstelling tot het 2 DH model waarvoor een ruwheid geldt over de hele waterkolom, is deze ruwheid bij het 3D model in ieder laag verschillend en moet je die ruwheid invoeren die hoort bij de onderste laag van de waterkolom. Tussen de lagen wordt de bodemruwheid doormiddel van dispersie en turbulentie overgebracht ('TRIWAQ, Technische documentatie', RIKZ 1998). De dispersie wordt intern uitgerekend en dus heeft de diffusieterm in de invoer een andere functie dan bij een 2DH model.

Daarnaast is een 3D model ook wezenlijk anders dan een 2 DH model omdat het andere processen bevat zoals bijvoorbeeld secundaire stroming. (komt voor in bochten, dichtheidsstromen en bij bepaalde geometrieën). Hierdoor kan het voorkomen dat een snelheidsprofiel in de verticaal niet logaritmisch is, i.t.t. het 2 DH model waarbij dit een belangrijke aanname is. De verschillen tussen 2DH en 3D modellen geven aan dat het 3 D model een wezenlijk ander model is dan het 2DH model en dat het 3D model opnieuw gekalibreerd moet worden. Mogelijk is het feit dat het 3 D model niet gecalibreerd is ook de oorzaak van de afwijking tussen de 2 DH en 3 D waterstanden. Het 3D model berekent een kleinere getijslag en bovendien berekent het de dieptegemiddelde stroomsnelheden altijd lager dan het 2DH model.

Het verschil in getijslag en dieptegemiddelde stroomsnelheden is echter groter dan op basis van het niet-afregelen verwacht mag worden. Dit betekent dat momenteel het direct omzetten van een 2DH model naar een 3D schematisatie zal inhouden dat de getijslag en de dieptegemiddelde stroomsnelheden zullen afnemen. Met name het





verschil in waterstanden is zorgelijk. Dit duidt erop dat de bodemruwheden te groot zijn in een 3D-model en verlaagd moeten worden.

In een vergelijking tussen TRIWAQ en TRISULA bleek dat de resultaten van een 3D berekening verschillen opleverden. Onderzocht moet worden waar deze verschillen door ontstaan. Vermoedelijk komt dit doordat in TRIWAQ ervan uitgegaan wordt dat de hoogte van de gemiddelde stroming in de onderste laag halverwege deze laag ligt en niet op (ongeveer) 2/3 hoogte (verklaring 3. mondeling toegelicht door M. Zijlema (RIKZ, Den Haag).

Een andere belangrijke tekortkoming van het 3 D model TRIWAQ is dat verticale versnellingen niet meegenomen worden. Deze zijn van groot belang bij sterke verticale hellingen. Met name bij plaat- en slikranden kan dit een rol spelen.

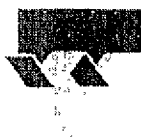
Een belangrijke conclusie die men uit het bovenstaande kan trekken is:

- Er zit waarschijnlijk een fout in de code om bodemruwheden van een 2DH model om te zetten naar een 3D model in TRIWAQ
- Een 3D model moet opnieuw worden gecalibreerd omdat sommige processen anders gemodelleerd worden. Pas daarna kan een goed oordeel over de meerwaarde van de 3D modellering worden geveld.
- Op basis van de theorie mag men verwachten dat een 3D model in de toekomst een belangrijke bijdrage kan leveren bij het maken van een ecotopenkaart, omdat direct de stroomsnelheden aan de bodem berekend kunnen worden.

### 3.8 Conclusies vergelijking meting en berekening

Uit dit hoofdstuk komen de volgende conclusies:

- Het belangrijkste resultaat is dat het op dit moment niet zinvol is om een ecotopenkaart te maken op basis van de huidige 3D stromingsinformatie. Het 3D model vertoont namelijk een nog grotere onderschatting van de gemeten stroomsnelheden dan het 2DH model. En dit terwijl verwacht werd dat het 3D model betere resultaten zou laten zien, omdat het de snelheid kan berekenen op de werkelijke meethoogte.
- Een van de verklaringen voor de afwijkingen is dat uitvoer op de werkelijke meethoogte gegenereerd is uit het 3D model. Er is namelijk vrijwel altijd onder in de stroomverticaal gemeten.
- Een andere verklaring is dat het 3D model de dieptegemiddelde stroomsnelheden altijd lager berekend dan het 2DH model. Dit lijkt weer samen te hangen met het feit dat de waterstanden tussen het 2DH en 3D model niet overeenkomen. Het 3D model berekend een kleinere getijslag. Het verschil bij Bath is 20 cm. Kennelijk is de aanname dat een 2DH model zonder verdere calibratie omgezet mag worden in een 3D schematisatie niet juist. Laatste zin + niet gecalibreerd. Geen ws!
- Onderzocht is wat de gevoeligheid is van het aantal lagen. Door te rekenen met minder lagen worden de stroomsnelheden iets hoger. Dit lijkt in overeenstemming met het feit dat de 2DH stroomsnelheden (1 laag) dieptegemiddeld hoger zijn dan het 3D model (10 lagen).



- Er zit waarschijnlijk een fout in de programmatuur waarmee 2DH ruwheden worden omgerekend naar 3D ruwheden. Dit moet eerst onderzocht worden voordat een oordeel gegeven kan worden over de bruikbaarheid van een 3D model bij het maken van een ecotopenkaart. Op basis van de theorie mag men verwachten dat een 3D model in de toekomst een belangrijke bijdrage kan leveren bij het maken van een ecotopenkaart, omdat direct de stroomsnelheden aan de bodem berekend kunnen worden.
- Omdat de berekende stroomsnelheden in de bodemlaag van de 3D berekening altijd lager zijn dan 2DH dieptegemiddelde snelheden zou de classificering van de ecotopenkaart op basis van een 3D veld moeten worden aangepast. Als dit niet wordt gedaan dan zullen veel meer gebieden in de klasse laag-dynamisch vallen.

### 3.9 Aanbevelingen

Uit het onderzoek komen de volgende aanbevelingen:

- Er moet onderzocht worden hoe het komt dat de dieptegemiddelde stroomsnelheden en de waterstandsvariatie tussen een 2DH model en een 3D model verschillen. Mogelijk is een fout in de programmatuur hiervoor verantwoordelijk.
- Het 3D model moet opnieuw gecalibreerd worden. De ruwheden in het 3D model zijn te groot, waardoor de getijslag te veel gedempt wordt.
- Het 3D-model is een model met een hydrostatische drukverdeling in de verticaal. Dit betekent dat verticale versnellingen niet goed door het model uitgerekend kunnen worden. Dit is van belang rond steile overgangen in de bodem. Het verdient aanbeveling om eens met een werkelijk 3D model te gaan rekenen.
- In zowel de 2DH-berekeningen als ook de 3D-berekeningen is gerekend met een bodemschematisatie uit 1996. Uit eerder onderzoek is gebleken dat de gemeten bodemligging ter plaatse van de metingen soms flink afwijkt van de bodem in het model. Aangeraden wordt dan ook om bij volgende berekeningen een betere bodem te gebruiken.
- Het ruwheidsveld in de 2DH-berekeningen en de 3D-berekeningen is een globaal veld dat gebruikt is om de grootschalige waterbeweging van de Westerschelde mee af te regelen. Inmiddels is dit ruwheidsveld aangepast met behulp van de geomorfologische kaart van de Westerschelde. Hiermee worden de stroomsnelheden in het intergetijdengebied beter berekend. Aangeraden wordt dan ook om bij volgende berekeningen het aangepaste ruwheidsveld te gebruiken.



#### 4 PLAN VAN AANPAK VOOR VERBETERING VAN STROMINGSINFORMATIE VOOR DE ECOLOGIE

In dit hoofdstuk wordt op grond van de resultaten van uitgevoerde modelberekeningen, analyse van ecologische randvoorwaarden en de workshop (zie bijlage A voor een verslag) een plan van aanpak voor verbetering van 'stromings'-informatie voor de ecologie gepresenteerd. 'Stromings'-informatie wordt tussen quotes geschreven omdat uit het voorafgaande werk is gebleken dat dit begrip breder dient te worden geïnterpreteerd dan alleen maar het beschikbaar krijgen van meer nauwkeurige informatie over stroomsnelheden. In dit hoofdstuk wordt daarom gesproken over informatie afkomstig uit hydrodynamische modellen die gebruikt gaat worden voor ecotopenkarteringen. Als eerste worden de relevante parameters en de koppeling tussen deze parameters en beheersvragen gepresenteerd.

Vervolgens zijn de knelpunten gedefinieerd die de koppeling tussen hydrodynamische modellen en definitie van ecotopen bemoeilijken. Een belangrijke constatering is dat vooruitgang in de combinatie van beide disciplines, sterk afhangt van de samenwerking tussen hydraulici en biologen. Daarnaast is in het vervolgtraject ook een inhoudelijke bijdrage van de gebiedsbeheerder wenselijk om de bruikbaarheid van de resultaten voor beleidsvragen te waarborgen.

Teneinde een overzicht te krijgen van de meest belangrijke knelpunten in 'aanbod' vanuit de huidige hydrodynamische modellen en 'vraag' vanuit de ecologie worden in paragraaf 4.2 t/m 4.4 een aantal tabellen gepresenteerd waarin in paragraaf 4.2 het aanbod vanuit de hydrodynamica staat beschreven en in paragraaf 4.3 de vraag vanuit de ecologie is gedefinieerd. Vervolgens zijn in paragraaf 4.4 op basis van de voorgaande paragrafen de knelpunten gedefinieerd.

##### 4.1 Toepasbaarheid voor de beheerder

Het doel van het maken van ecotopenkaarten is dat deze uiteindelijk ten goede moeten komen aan de beheerder. Relevante beheersvragen die gesteld kunnen worden zijn gerelateerd aan o.a.:

- Draagkracht' van ecosystemen in relatie tot het voorkomen van specifieke soorten (o.a. vogels, vissen en zoogdieren) in het gebied.
- Gebiedsbeschrijvingen ten behoeve van de EU-habitat richtlijn en kaderrichtlijn water.
- De definitie van aanvullende systeemp parameters gerelateerd aan processen als verstoring, versnippering en vervuiling.

Beheersvragen kunnen zich afspelen op heel verschillende ruimte- en tijdschalen, waardoor de kwantificering van ecotopenkaarten niet noodzakelijkerwijs identiek is voor alle beheersvragen.

In tabel 4.1 is een aantal mogelijke beheersvragen gedefinieerd met verschillende tijd- en ruimteschalen en daarbij een overzicht met meest relevante parameters en de kennis die nodig is voor het opzetten en interpreteren van ecotopenkaarten.



Onderzoeksvraag	parameter	prioritair benodigde kennis/data
lange termijn ontwikkeling estuarium (verdieping, zeespiegelrijzing)	morfodynamiek / hydrodynamiek/ zoutgehalte	historische data gekoppelde morfo-hydrodynamische modellen autonome ontwikkeling
korte termijn natuurwaarde gehele estuarium (vertroebeling, waterkwaliteit, natuurmeetlat)	hydrodynamiek/ zoutgehalte/ draagkracht-methode	Hydrodynamische modellering, m.n. nadruk op waterstand, droogvalduur, overspoelingsfrequenties, zoutgehalte. verbeterde vertaling naar draagkracht voor soorten. Belang van ruimtelijke aspecten zoals schaalgrootte en versnippering.
korte termijn natuurwaarde intergetijden gebieden (slikken/platen)	bodemdynamiek (stroming en golven, erosie/sedimentatie) substraat type	Hydrodynamische modellering, m.n. nadruk op actuele bathymetrie, waterstand, droogvalduur, stroming en golven. Verbeterde vertaling naar voorspelling van voorkomen van soorten
Natuurwaarde schorren op korte termijn	Overspoelingsfrequentie Zoutdynamiek	relatie tussen vegetatietypen en fysische randvoorwaarden zijn redelijk bekend.
Natuurwaarde schorren op lange termijn	Interactie golven en stroming, morfologie en biologie	verbetering van interactie vegetatie en fysische processen.. Hier dient de relatie met voorliggende slikken te worden meegenomen als bron van sediment.

Tabel 4.1: Verschillende onderzoeksvragen met daarbij behorende kennis

#### 4.2 Overzicht hydraulische input voor ecotopenkartering

In deze paragraaf wordt per parameter, gedefinieerd in het concept ecotopen systeem kustwateren (Alterra, 2001), toegelicht hoe deze momenteel bepaald wordt en wat de nauwkeurigheid is. Daarnaast worden toekomstige mogelijkheden en beperkingen bepaald en wat de ideale manier zou zijn om de parameter te bepalen.

De nauwkeurigheden van de huidige aanpak zijn bekend of deze worden geschat op basis van expert judgement.

Parameter	Definitie in concept ecotopen systeem kustwater en (referentie , jaartal)	(Geschatte) huidige nauwkeurigheid	huidige (model)aanpak	Toekomstige mogelijkheden/ beperkingen	ideaal (model)
Zoutdynamiek	Jaarlijkse gemiddelde, maximale en	Horizontaal en vertikaal 3 g/l	1D model lange duur 2DH/3D	betere turbulentie en dispersie modellering,	1D-model met verticale gradiënt (uit



	minimale zoutgehaltes		doodtij/springtij		3D model)
Bodemligging voor geulen	De bodem hoogte in gebieden lager dan LLW (subtidal)	20 cm in hoogte ruimtelijk 20 m*20 m	Metten adhv lodingen	opmeten van dijkkrui tot diepe geul vanuit lucht, momentopname	Geen
Droogvaltijd voor platen en slikken	Tijdsduur droogval	20 min (mits een goede bodemhoogte).	Uit waterstanden + bodemgegevens Of 2DH model met droogvalprocedure		
Overspoelingsfrequentie voor schorren	Het aantal keren per jaar dat een gebied wordt overspoeld	Redelijk goed bekend	Uit historische reeksen van waterstandstations of 2DH stromingsmodel		
Dynamiek-stroming	<i>Wordt niet afzonderlijk benoemd</i>	Waterstand 10 cm nauwkeurig (2DH), stroomsnelheden (2D/3D) met foutmarge 30% tot 50 % op intergetijdengebied	2DH / 3D stromingsmodel	betere vertaling van 2DH naar 3D stroming. Vertikale versnellingen meenemen en kartelranden voorkomen	apart afgeregeld 3D model tijdsafh. Ruwheid en ruimte afh. Eddyvisco.
Dynamiek-golven	<i>Wordt niet afzonderlijk benoemd</i>	golfhoogte wordt in binnengebied overschat + 20 cm, golfperiode onderschat met 1/2 s,	SWAN	Breken golven op vlakke platen niet goed. Golven in schaduwgebieden moeilijk	SWAN met betere methodiek breken golven
Dynamiek- golf+stroom	Bodem dynamiek/ energie aan de bodem.	Onbekend	2DH stromingsmodel online of offline gekoppeld met golfmodel	golf-stroom interactie wordt nu niet goed meegenomen. bv. setup van golven	3D stromingsmodel online koppelen aan golfmodel
Dynamiek- morfologie	Verskil in bodem hoogte	Onnauwkeurig (factor 2 en groter vwb het sedimenttransport)	1D empirisch, 2D/3D model gekoppeld met sediment transportformulering	Veel empirische relaties, 1D, zwak voor intergetijdengebied	1D met terugkoppeling hydrodynamiek
Substraat type	slibrijke tot zandige substraattype	Redelijk nauwkeurig bekend	Metingen	Geen grote veranderingen	



n en hard  
substraat.

Tabel 4.2: Overzicht hydraulische input voor ecotopenkartering

Hieronder volgt een toelichting op de tabel per parameter:

#### Zout:

De ecotopenkartering maakt gebruik van jaarlijkse maximale en minimale zoutconcentraties. De meest geschikte modelaanpak is een 1D-model, omdat dit qua rekencapaciteit haalbaar is. In bepaalde gebieden met een sterke verticale zoutgradiënt moet overgeschakeld worden op een 3D model, alhoewel gebleken is dat 3D modellen afgeregeld moeten worden om zoutprofielen goed te reproduceren. Een betere turbulentie en dispersie modellering kan een uitkomst bieden. Voor een bepaling van de jaarlijkse minimale en maximale concentraties moeten dan een aantal karakteristieke periodes doorgerekend worden. Geschat wordt dat de huidige modellen na calibratie tot op 3g/l nauwkeurig de zoutconcentratie kan berekenen. Dit is gebaseerd op ervaringen met het Rijmamo en Zeedelta model, waar een grote verticale zoutgradiënt bestaat (Svašek, 2001). In de Westerschelde is er geen sprake van verticale zoutgradiënt, zodat de nauwkeurigheid waarschijnlijk hoger zal liggen. Hoogstwaarschijnlijk kan met een 1D-model volstaan worden.

#### Bodemligging voor geulen

De bodemligging van geulen wordt regelmatig opgemeten met lodingen vanaf meetschepen. Van Vooren (1997) en Storm et al. (1993) vond de volgende fout voor de dieptelodingen:

Gebied	Totale fout (m)
Intergetijden	-0.20 +/- 0.23
Hellingen plaat/geul (>5%)	-0.25 +/- 0.39
Geulbodems/vlakke gebieden (<5%)	-0.10 +/- 0.19

Tabel 4.3: de totale stochastische en systematische fout in de dieptelodingen

De redenen hiervoor zijn:

- meetfout van het instrument
- precieze plaatsbepaling (vooral bij steile hellingen is dit belangrijk)
- terugrekenen van de waterstand (vaak geïnterpoleerd tussen waterstandsstations).

Daarna moeten de ruwe lodingen geïnterpoleerd worden naar het rooster zoals dat beschikbaar is in GIS (20 x 20 meter). Dit GIS-rooster wordt vervolgens weer gebruikt voor het maken van de bodem van hydrodynamische modellen, zodat de uiteindelijke fout in de modellen nog een factor hoger ligt (bijvoorbeeld bij steile hellingen). Het is bekend dat bij steile overgangen de verschillen in bodems door interpolatie soms meters bedragen Svašek (1999).

#### Droogvaltijd

Er zijn twee manieren om droogvaltijden te bepalen:

- Door een representatieve waterstand te nemen voor een gebied en vervolgens met bodemgegevens (bijvoorbeeld uit GIS) de droogvaltijden uitrekenen.

- 2) Met behulp van een 2DH waterbewegingsmodel droogvaltijden berekenen.

Methode 1 lijkt over het algemeen gebruikt te worden. Bij het bepalen van effecten van ingrepen is het echter noodzakelijk om over te schakelen op een stromingsmodel.

De onnauwkeurigheden door gebruik van een stromingsmodel worden veroorzaakt door

- kritische droogvalhoogte (15 cm in SCALWEST). Een punt wordt drooggezet in het model als de waterstand beneden de kritische droogvalhoogte komt. Dit is noodzakelijk voor de stabiliteit van het numerieke proces;
- wegschrijven van reeksen met een bepaald interval;
- onnauwkeurigheden in het voorspellen van de waterstand, geschat wordt dat dit ongeveer 10 cm bedraagt;
- Onnauwkeurigheden in de bodemgeometrie.

Met de standaardinstelling van de kritische droogvalhoogte (15 cm) wordt een fout in de droogvaltijd gemaakt van ongeveer een half uur. (dit is berekend door 4 m getijslag / 6 uur \* 60 min = 1cm/min waterstandsverandering, met een droogvaldiepte van 15 cm is dit 15 minuten, voor een totale droogvalperiode is dit (zowel een eb als een vloed) in totaal 30 minuten). Rond laagwater en hoogwater kan de fout groter zijn en rond NAP juist kleiner, gerelateerd aan de snelheid waarmee de waterstand verandert.

*Doordat meestal reeksen om de 10 minuten worden weggeschreven ontstaat er een afrondingsfout. Deze bedraagt maximaal 10 minuten.*

Een schatting van de fout als gevolg van de nauwkeurigheid van de waterstand is op dezelfde manier af te leiden als de kritische droogvalhoogte: een fout van 10 cm in de waterstand geeft  $2 \times 10$  minuten = een fout van 20 minuten in de droogvaltijd.

In het huidige model (1996-versie) laat de nauwkeurigheid van de bodemhoogte in het model te wensen over. De reden dat het model wel goede droogvaltijden kan voorspellen is dat de bodemhoogte op de meetpunten aangepast is aan de waterpassingen die ter plaatse uitgevoerd zijn. Binnenkort zijn er laser-altimetrie metingen beschikbaar van het intergetijdengebied in 2001. Deze metingen zijn veel nauwkeuriger. Deze worden toegepast in de 2000-versie van het SCALWEST-model.

Bij een berekening waarbij de droogvaltijd berekend moet worden is het wenselijk om met een kleinere kritische droogvaldiepte te rekenen, mogelijk moet ook de tijdstap verkleind worden om het model stabiel te houden. Daarnaast moet een betere bodemligging in het model ingebracht worden. De schatting is dat de fout na deze aanpassingen ongeveer 20-30 minuten bedraagt. Verder kan gekeken worden naar een andere, mogelijk betere droogvalprocedure, dit lijkt echter nog niet van groot belang.

#### Overspoelingsfrequentie

De overspoelingsfrequentie is met name van toepassing voor de schorren (schor valt formeel niet onder intergetijdengebied). De overspoelingsfrequenties variëren van 300 tot minder dan 5x per jaar (Alterra, 2001).

Uit historische reeksen van waterstandsstations is af te leiden hoe vaak een bepaald gebied onderstroomt. Hierbij wordt geïnterpoleerd tussen de stations om een



overspoelingsfrequentie te berekenen voor een bepaald gebied. Geschat wordt dat dit redelijk nauwkeurig berekend kan worden.

Ook voor de schorren geldt dat de bodemligging verbeterd dient te worden om een meer accurate overspoelingsfrequentie te berekenen.

#### Dynamiek stroming

Zoals reeds in hoofdstuk 4 en vorige onderzoeken (Svašek 1999 en Svašek en Alkyon 2000) is aangegeven, is er een grote discrepantie tussen gemeten en berekende stroomsnelheden. De foutmarge ligt in de orde grootte van 30% tot 50%. Met een 3D model rekenen heeft voorlopig nog geen zin omdat de ruwheidsoverdracht van 2DH naar 3D fout verloopt (zie hoofdstuk 3). Als dit in de toekomst opgelost is, dan is een 3D model voor het bepalen van de bodemschuifspanning het aangewezen model, omdat de beroering van de bodem van belang is voor de ecologie. Dit 3D model dient dan wel afgeregeld te worden voor wat betreft de ruwheid op geomorfologische eenheden zoals dat nu gebeurt voor het 2DH model. Uit Royal Haskoning (2001) blijkt dat ook rekening gehouden moet worden met een anisotrope ruwheid.

Mogelijk spelen verticale versnellingen rond steile hellingen in de bodem nog een rol bij het juist weergeven van de stroming. Dit kan met een quasi-3D model (zoals TRIWAQ en Delft-3D) niet berekend worden.

Uit Svašek (1999) werd gevonden dat het SCALWEST-model op 10 cm nauwkeurig de waterstand kan voorspellen op een meetpunt op het intergetijdengebied. Dit heeft waarschijnlijk te maken met dwarsverhangen die niet goed door een 2DH model bepaald kunnen worden.

In het huidige SCALWEST-model zijn veel kleine geultjes dwars door het rooster geschematiseerd (kartelranden). Het effect hiervan is dat deze geultjes niet goed doorstromen in het model. Omdat dit wel vaak de gebieden zijn waar een ecooloog in geïnteresseerd is, moet men met dit soort fouten wel degelijk rekening houden.

#### Dynamiek golven

Uit Svašek & Alkyon (2000) volgt dat energiedissipatie belangrijker is voor golven in het intergetijdengebied dan bodemruwheid. Het breken van golven wordt niet goed door SWAN weergegeven.

Op basis van een Alkyon rapport (van Vledder, 1999) in opdracht van het RIKZ naar SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen, kan men de volgende uitspraken doen over de reproductie van het SWAN model in de Westerschelde:

1. De significante golfhoogte wordt over het algemeen 20 cm overschat (zie ook RIKZ, 1997);
2. De gemiddelde golfperiode wordt in het algemeen onderschat met ongeveer een  $\frac{1}{2}$  s;
3. Stroomeffecten worden in het SWAN model goed meegenomen voor eenvoudige situaties. Voor gecompliceerde situaties, zoals de Westerschelde,





zijn vooralsnog geen gegevens beschikbaar om kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over de reproduceerbaarheid.

Tot slot kan men op basis van de onderzoeken concluderen dat bij golfmodellering, het van belang is om:

1. Stromingen en waterstanden mee te nemen, omdat deze zorgen voor golfblokkade en / of golfperiode veranderingen.
2. Setup golven mee te nemen omdat deze golven in intergetijdengebieden op plaatsen kunnen komen waar ze zonder setup niet zouden komen. De wijze waarop de setup in SWAN is gemodelleerd, is te beperkt om daarover kwantitatieve uitspraken te doen.

#### Dynamiek golven en stroom

Voor de ecologie is het uiteindelijk de gezamenlijke beroering van de bodem belangrijker dan wat voor stroming of wat voor golven er heersen op een bepaald gebied. Omdat golven en stroom ook elkaar beïnvloeden (bijv. setup) is het belangrijk om de interactie hiervan te berekenen.

De verhoudingen tussen de bovenstaande snelheden zijn in Svasek/Alkyon (2000) visueel gemaakt aan de hand van een figuur. Uit de deze figuur kan het volgende worden opgemaakt:

1. In de diepere delen van de Westerschelde is er sprake van stroomdominantie;
1. In de zeer ondiepe delen van de Westerschelde (slechts af en toe onderstromend) is er sprake van golf dominantie; met name ook op de hoge platen;
2. In het westelijk deel van de Westerschelde is er bovenop platen duidelijk sprake van wisselwerking tussen stroming en golven.
3. In het oostelijk deel van de Westerschelde is op hoge platen wisselwerking tussen stroming en golven. In lager gelegen gedeelten en op lage platen overheerst stroming.

Aanbevolen wordt om tevens een nadere literatuurstudie te doen naar de bijdrage van stroming, golven en stroom-golf interactie voor de hydrodynamica aan de bodem.

#### Dynamiek morfologie

Deze parameter wordt niet genoemd in het ecotopensysteem. Het kan echter wel van groot belang zijn om dit goed te kunnen voorspellen. Hierbij wordt met name gedacht aan het morfologisch effect van een ingreep. Zo kan het verschil areaal van een bepaalde ecotoop bepaald worden. De huidige modellen kunnen morfologische veranderingen vrij slecht voorspellen (factor 2 en groter is normaal). Gebruik wordt gemaakt van 1D-empirische modellen (zoals ESTMORF) en 2DH/3D stromingsmodellen (zoals Delft 2 DH/3D mor) gekoppeld aan een sedimenttransportformulering.

#### Substraatype

Het substraatype (grof zand, zand, slibrijk, klei, hard substraat) is redelijk goed bekend. Dit wordt bepaald aan de hand van metingen. De nauwkeurigheid is goed.



Er zijn verschillende methodes om de monsters te interpreteren. Om van de bewerkte monsters substraat kaarten te maken zijn ook verschillende methodes beschikbaar.

#### 4.3 Overzicht verwachtingen vanuit de ecologie

Tabel 4.4 is gebaseerd op de lijst van parameters die sturend zijn voor definitie van ecotopen zoals gedefinieerd in het rapport van Alterra (2001). De kolom 'Klassenindeling' is eveneens overgenomen uit dezelfde referentie. De kolom "Beschikbaarheid" geeft aan in welke mate de parameter (in relatie tot de klassenindeling) wordt gelimiteerd door beschikbare model- en veldgegevens

Parameter	Definitie Volgens Alterra (2001)	Klassenindeling Alterra (2001)	Beschikbaarheid	Prioriteit	Overige opmerkingen
Zoutdynamiek	Jaarlijkse gemiddelde, maximale en minimale zoutgehaltes	Op dit moment wordt slechts 1 grenswaarde gedefinieerd in het ecotopensysteem	Op basis van huidige classificatie voldoende nauwkeurig beschikbaar.	Laag	Proceskennis is voldoende aanwezig.
Bodemligging voor geulen	De bodem hoogte in gebieden lager dan GLW (subtidal)	In het ecotopensysteem worden 3 diepteklassen gedefinieerd.	Lijkt voldoende nauwkeurig bekend. De gevoeligheid van soorten voor diepte is niet sterk.	Laag	Relatie met lange termijn morfo-dynamiek
Droogvaltijd voor platen en slikken	De tijdsduur (als percentage van getij) waarin een gebied droogligt. Geldt voor zone tussen GLW en GHW)	In het ecotopensysteem wordt met 4 klassen in de intergetijdezone gewerkt.	Deze parameter is sterk sturend voor voorkomen van soorten. Goede bepaling/berekening is prioritair.	Hoog	Nauwkeurig bekende bodemhoogte en waterstand zijn cruciaal. Op dit moment wordt met verouderde data gewerkt. Relatie met lange termijn morfo-dynamiek
Overspoelings frequentie voor schorren	Het aantal keren per jaar dat een gebied wordt overspoeld. Zone boven GHW.	5 klassen worden gedefinieerd in deze zone.	De soortensamenstelling van de schorvegetatie is sterk gekoppeld aan deze parameter. Goede berekening is prioritair.	Hoog	Nauwkeurig bekende bodemhoogte is cruciaal. Op dit moment wordt met verouderde data gewerkt. Relatie met lange termijn morfo-dynamiek
Bodem dynamiek	Hier wordt bedoeld dynamiek aan	Op dit moment wordt een combinatie van 3 stroomsnelheids-	Deze factor is sterk sturend voor voorkomen van	Hoog	Invloed van scheepvaartgolven Nota Bene: o.a. in Bell (1997)



	de bodem Voorgesteld wordt een klassificatie op basis van golf en stroom intensiteit	en 3 orbitaalsnelheids klassen gebruikt.	soorten met name in het intergetijde gebied		wordt gerefereerd aan totale energie dissipatie aan de bodem als parameter.
Substraat type	Een klassificatie van slibrijke tot zandige substraattypen en hard substraat.	In ecotopensysteem worden 2 klassen gehanteerd.	Relatie met voorkomen van soorten is van belang, maar binnen de randvoorwaarden die worden gesteld door de overige parameters.	Middel hoog.	Invloed/dominantie van local processen en omstandigheden

Tabel 4.4: Overzicht verwachtingen vanuit de ecologie

Naast de bovenstaande prioritering zijn er aanvullende aspecten die mogelijk van belang zijn voor verbeterde modellering van de betreffende parameter.

Hiertoe behoren de volgende aspecten:

- Voor zoutdynamiek is niet alleen de jaarlijkse waarde maar ook spreiding binnen seizoenen mogelijk van belang. Relevante aspecten zijn rivier-afvoer, uitmalen van polderwater, horizontale en verticale zout-zoet menging.
- De droogvaltijd en overspoelingsfrequentie kunnen pas goed worden berekend als ook de bodemhoogte en de waterstand voldoende nauwkeurig bekend zijn. Relevante overige factoren zijn windopzet en rivierafvoer.
- Voor schorvegetatie is de invloed van golfwerking van belang en in dit kader is studie van de bijdrage van scheepvaartgolven nuttig. Uitdoving van stroming en golven in vegetatie op de schorren is een relevant proces. Hierdoor wordt de bodem gestabiliseerd en dit beïnvloedt mogelijk de berekende klassificatie.
- Ten aanzien van de berekening van bodemdynamiek is de berekening van gerealiseerde maximale schuifspanning of energiedissipatie aan de bodem een mogelijk goede vervanger voor een combinatie van afzonderlijke golf- en stroomvelden. Mogelijk is bodemdynamiek ook af te leiden uit berekening van erosie/sedimentatie fluxen.
- Ten aanzien van het substraattype wordt opgemerkt dat sediment aanbod per systeem sterk verschilt en dit kan doorwerken in het type substraat wat onder overige gelijke fysische omstandigheden wordt gevonden.
- Voor de langere termijn ontwikkeling (decennia) is het van belang om de relatie tussen een veranderde bodemligging van de geulen, droogvaltijd en overspoelingsfrequentie te kwantificeren. Hiervoor is een berekening van de morfodynamiek van het systeem van belang. Voor de korte termijn kan inzicht in de morfodynamiek een maat zijn voor de hydrodynamiek bij de bodem (b.v. voortplantingsnelheid van beddingvormen).
- Tenslotte wordt opgemerkt dat verwacht mag worden de gebruikte klassenindeling, op basis van voortschrijdend inzicht, in de toekomst wordt aangepast op basis van toenemend inzicht in de relevante ecotoop-bepalende processen.

#### 4.4 Knelpunten

Op basis van tabel 4.2 en 4.4 kunnen de volgende knelpunten onderscheiden worden (zie tabel 4.5) op basis van de huidige ecotopenclassificering (Indien er een andere ecotopenclassificering gedefinieerd wordt dan kan dit weer veranderen):

Opgemerkt dient te worden dat hier ook morfodynamiek is meegenomen, alhoewel dit niet gedefinieerd is in het ecotopensysteem.

hydrodynamiek :	- goed bekend	+ kan verbeterd worden
ecologie :	- niet belangrijk	+ wel belangrijk

Parameter	Prioriteit vanuit hydrodynamiek	Prioriteit vanuit ecologie	Knelpunt
Zout	+/-	-	-
Bodemligging voor de geulen	-	-	-
Droogvaltijd voor de platen en slikken	+/-	+	+/-
Overspoelings frequentie voor de schorren	+/-	+	+/-
Bodemdynamiek	++	++	++
Morfodynamiek	++	+	+
Substraattype	-	-	-

Tabel 4.5: Identificatie knelpunten

**Toelichting:**

- Zout kan redelijk goed berekend worden vanuit de hydrodynamica. Het heeft geen prioriteit vanuit de ecologie en dus is het geen knelpunt. Dit kan het overigens wel worden als een andere ecotopenkartering wordt toegepast.
- De bodemligging in de geulen is voldoende bekend. Het heeft geen prioriteit vanuit de ecologie en daarom is het geen knelpunt.
- Gebleken is dat de droogvaltijd in gebieden tussen GLW en GHW voldoende nauwkeurig berekend kan worden mits de bodemligging voldoende nauwkeurig in het model ingebracht wordt (dat is in het huidige model nog niet het geval). De droogvaltijd heeft prioriteit vanuit de ecologie. Dit is dus een knelpunt, maar omdat er goede hoogtemetingen beschikbaar zijn is dit redelijk snel op te lossen door de betere bodemligging van de intergetijdengebieden in het stromingsmodel te gebruiken.
- De overspoelingsfrequentie van hoger gelegen delen (>GHW) kan redelijk nauwkeurig berekend worden, mits er nauwkeurige hoogtegegevens zijn. Vanuit de ecologie is het een prioriteit. Omdat de hoogtemetingen nog niet toegepast worden, maar wel beschikbaar zijn, is dit ook een redelijk eenvoudig op te lossen knelpunt.
- De bodemdynamiek bestaat uit stroming en golven en de interactie daartussen. Op het intergetijdengebied (platen en slikken) is gebleken dat de stroming onvoldoende gereproduceerd kan worden (Svašek, 1999). Voor golven is dit onvoldoende bekend. Golf-stroom interactie op intergetijdengebieden is ook nog onvoldoende bekend. Het



is dus een zwaar aandachtspunt vanuit de hydrodynamica. Ook vanuit de ecologie is dit een zwaar punt. Het is dus een groot knelpunt.

- De morfodynamica is nog onvoldoende bekend om betrouwbare uitspraken te doen. Ondanks dat de huidige ecotopenclassificatie nog geen gebruik maakt van deze parameter, verdient deze parameter op de lange termijn aandacht omdat deze van groot belang wordt geacht door de ecologie. Het is dus een knelpunt.
- Het substraattypen heeft zowel vanuit de hydrodynamica en ecologie geen prioriteit en is daarom geen knelpunt.

#### 4.5 Voorstel voor plan van aanpak

Voorgesteld wordt om in een vervolgtraject de volgende stappen te zetten:

1. Samenstelling van een stuurgroep van hydrodynamici en ecologen. Het is belangrijk om de kruisbestuiving tussen ecologen en hydrodynamici in stand te houden. In de stuurgroep is ook plek voor de gebiedsbeheerder omdat hiermee de bruikbaarheid van de ecotopenkaarten voor beleidsvragen kan worden getoetst en geoptimaliseerd.
2. Het maken van een  $T_0$  ecotopenkaart, waarbij heel duidelijk beschreven is welke input en methodiek gebruikt is. Dit wordt aanbevolen omdat de onderliggende data van de bestaande ecotopenkaart verouderd is of omdat niet duidelijk is welke data gebruikt zijn, bovendien is in oude ecotopenkaarten een gedeelte expert-judgement ingebracht die niet eenduidig te achterhalen/reproducen is. De nieuwe  $T_0$  ecotopenkaart dient gebruikt te worden om te kunnen vast stellen wat de toegevoegde waarde van bepaalde verbeteringen in modellen of methodieken is.
3. Naast een  $T_0$  kaart moet ook een referentiekaart gemaakt worden op basis van expert-judgement, dat wil zeggen een kaart die de werkelijkheid volgens de experts zo goed mogelijk benadert. De doelstelling van het vervolgtraject is het verschil tussen de  $T_0$ -kaart en de referentiekaart zo klein mogelijk te maken.
4. De stuurgroep komt op gezette tijden bij elkaar (bijv. 1 keer per maand), waarbij steeds 1 onderwerp behandeld wordt (bodemplugging, golven, stroom etc.). Na afloop wordt telkens een nieuwe ecotopenkaart gemaakt op basis van de uitkomsten van de bijeenkomst. In de volgende bijeenkomst wordt eerst gekeken of de voorgestelde methode gewerkt heeft door de nieuwe ecotopenkaart naast de oude ecotopenkaart en de referentiekaart te leggen. Ook kan de gevoeligheid van de parameter vastgesteld worden. Hieruit kan geconcludeerd worden of het heeft zin om nog meer onderzoek naar deze parameter te doen of dat het efficiënter en beter is om het geld in een andere parameter te steken).
5. In de lijst van parameters moet een prioritering aangebracht worden. Voorgesteld wordt een combinatie te maken van geïdentificeerde knelpunten (zie tabel 4.5) en acties die op korte termijn kunnen worden uitgevoerd en waarvan een verbetering in de kartering wordt verwacht:
  - Bepaling van bodemdynamiek:
    - Verbeterde definitie en klassenindeling van de parameter;
    - Nieuw 2DH snelheidsveld op basis van het 'afgeregelde' SCALWEST model voor het intergetijdengebied (gereed rond maart 2002). (eenvoudig te doen);
    - 3D snelheidsveld, mits de overdracht van 2D naar 3D ruwheid opgelost is. Hierbij moet een maat is voor de ecotopen classificering voor snelheden aan de bodem bepaald worden;
    - Golven;



- Golf-stroominteractie (Rapport ECOMORF Alkyon/Svašek is SWAN gedraaid met stroomvelden). Bepaal de relevantie van stroom-golf interactie voor Westerschelde bijv. door literatuurstudie. Kijk ook naar bruikbaarheid D3D-sediment online versie (hierin is SWAN gekoppeld aan D3D-flow);
- Nieuwe bodemligging intergetijdengebieden en schorren;
- Overspoelingsfrequenties van schorren;
- Morfodynamiek. Is bepalend voor kwaliteit van ecotopenkaarten voor lange termijn studies via diepte, droogvalduur en overspoelingsfrequentie. Inzet hierop is afhankelijk van belangstelling van gebiedsbeheerder;
- Zout:
  - Analyse parameterdefinitie en klassenindeling;
  - Eventueel verbeterde modellering;
- Substraat type:
  - Vaststellen kwaliteit bodemtype kartering;
  - Eventueel verbeteren van kartering of streven naar modellering.

Uiteraard geldt dat de uiteindelijke definitie van de prioriteiten zal plaatsvinden binnen de voorgestelde werkgroep.



## LITERATUUR

ALTERRA, 2001, Ontwerp-ecotopenstelsel Kustwateren (Alterra 177. ISSN 1566-7197)

M.J. Baptist, 1999, Prediction of Macrobenthos Abundance and Distribution in the Westerschelde using Habitat Suitability Evaluation, WL | DELFT HYDRAULICS, Report T1542.20, December 1999.

R.G. Bell, T.M. Hume, T.J. Dolphin, M.O. Green & R.A. Walters, 1997, Characterisation of physical environmental factors on an intertidal sandflat, Manukau Harbour, New Zealand, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 216, pp. 11-31.

D.J. de Jong, N. Dankers, R.J. & Leewis, 1998, Naar ecologische kaarten van de Waddenzee, BEON Rapport No. 98-13, BEON Project IBN 96 H 25, ISSN 0924-6576 (in Dutch).

Koster Engineering, 1997, Stroom- en golfmetingen op slikken gelegen voor schorren in de Westerschelde. Eerste uitwerking van metingen uitgevoerd op de slikken van Bath, Waarde, Zuidgors en Paulina, mei t/m oktober 1996.

RIKZ, 1997, Betrouwbaarheid golfmodellen HISWA en SWAN in Westerschelde, project HYDRA, werkdocument RIKZ/OS-97.112x.

Royal Haskoning, 2001, Het verbeteren van het SCALWEST model, fase 1, rapport 01513/1206.

Svašek 1997: Bouw, Calibratie, en verificatie SCALWEST t.b.v. project verdieping. Rapportage activiteit A, rapport 97210/1011.

Svašek, 1999, Het SCALWEST model in het intergetijdengebied, een eerste verkenning naar afwijkingen tussen model en veldmetingen, rapport 99312/1115.

Svašek & Alkyon, 2000: ECOMORF, De modellering van de hydrodynamica in het intergetijdengebied, rapport 00327/1165-A647.

Svašek, 2001, Gevoeligheidsonderzoek zouttrandvoorwaarden Zeedelta V7, rapport 01438/1190.

C. Storm, P. Bollebakker, J. de Jong, G. Mol, 1993, Nauwkeurigheid zandbalans Westerschelde 1965-1990 en aanbevelingen ter optimalisatie, Rapport RIKZ-94.008.

W.G.M. van Voren, 1997, Het voorkomen van kokkels in de Westerschelde, modelleren van groeimogelijkheden met Monte Carlo Simulatie, werkdocument RIKZ/OS.97.843.x, Fysische geografie, Universiteit Utrecht.

G. Wintermans, N. Dankers, R. Leewis, P. Molegraaf, D. De Nooyer, S. Reents, F. Staeyert, R. Wegman, E.M. Hartgers, P.D. de Jonge, A.D. Rijnsdorp, H.W. van der Veer, J.I.J. Witte, P. Herman, M.B. de Vries, P.M.C. Thoolen, M. Vonk, A. Baart, J. Boon, 1996,

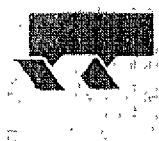






Habitatkartering en beschrijving van Nederlandse kustwateren, BEON Rapport nr. 96-5 (IBN 95 H 36) (in Dutch).

Witteveen en Bos, 1998, Eindverslag waterbeweging en morfologie van slikken in de Westerschelde.



## LIJST MET FIGUREN

- Figuur 3.1a: SCALWEST-model, met bodem 1996  
Figuur 3.1b: Overzicht ligging meetlocaties  
Figuur 3.2 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors West, MP 1  
Figuur 3.3 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors West, MP 2  
Figuur 3.4 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors West, MP 3  
Figuur 3.5 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors West, MP 4  
Figuur 3.6 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors West, MP 5  
Figuur 3.7 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Waarde Oost, MP 1  
Figuur 3.8 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Waarde Oost, MP 2  
Figuur 3.9 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Waarde Oost, MP 3  
Figuur 3.10 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Waarde Oost, MP 4  
Figuur 3.11: Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Waarde Oost, MP 5  
Figuur 3.12 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors Oost, MP 3  
Figuur 3.13 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors Oost, MP 4  
Figuur 3.14 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Zuidgors Oost, MP 5  
Figuur 3.15 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Paulina, MP 1  
Figuur 3.16 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Paulina, MP 2  
Figuur 3.17 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Paulina, MP 3  
Figuur 3.18 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Paulina, MP 4  
Figuur 3.19 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Paulina, MP 5  
Figuur 3.20 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Bath West, MP 1  
Figuur 3.21 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Bath West, MP 2  
Figuur 3.22 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Bath West, MP 3  
Figuur 3.23 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Bath West, MP 4  
Figuur 3.24 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Bath West, MP 5  
Figuur 3.25 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Molenplaat, site 1  
Figuur 3.26 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Molenplaat, site 3  
Figuur 3.27 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Molenplaat, site 4  
Figuur 3.28 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Baarland, punt Q  
Figuur 3.29 : Vergelijking 2DH en 3D model met meting, Baarland, punt R  
Figuur 3.30 t/m 3.47: ruimtelijke stroomsnelheden 2DH en 3D  
3.48: 3D dieptegemiddeld vs. 2DH, zuidgors west, mp1  
3.49: Waterstand bij Bath, 3D vs. 2DH  
Figuur 3.50 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Zuidgors-West  
Figuur 3.51 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Waarde-Oost  
Figuur 3.52 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Zuidgors-Oost  
Figuur 3.53 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Paulina  
Figuur 3.54 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Bath-West  
Figuur 3.55 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Molenplaat  
Figuur 3.56 : Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur, gedurende 1 getij, Plaats van Baarland  
Figuur 3.57: Berekende en gemeten stroomprofielen, Molenplaat



Figuur 3.58: Berekende en gemeten stroomprofielen. Baarland



## BIJLAGE A: DISCUSSIEBIJEENKOMST, 10 DECEMBER 2001

Deze bijlage geeft een verslag van de discussiebijeenkomst gehouden op 10 december bij Royal Haskoning te Rotterdam. Als eerste worden de stellingen en de samenvatting van de presentaties uiteengezet zoals die van tevoren verspreid is onder de deelnemers

### A.1: Stellingen voor discussiebijeenkomst 10 december

1. Het afregelen van het SCALWEST model voor het intergetijdengebied is van groot belang om goede ecotopenkaarten te kunnen maken;
2. Sleutelen aan de ruwheid om de stroomsnelheden die het model voorspelt te verbeteren is gerechtvaardigd, ofwel: calibratie van stroomsnelheden op basis van ruwheden is een gerechtvaardigde methode;
3. Het afschatten van de ruwheid aan de hand van een ruwheidschatter die rekening houdt met alleen de korrelgrootte en de bedvorm is onvoldoende;
4. Om stroomsnelheden te calibreren dient men zich in eerste instantie te richten op theoretische ruwheden (berekende ruwheden op basis van verticale snelheidsprofiel metingen);
5. Om te komen tot een goede schatting van de ruwheid voor ecotopenkartering is een:
  - a) ruwheid die varieert in de ruimte noodzakelijk (op basis van geomorfologische eenheid)
  - b) ruwheid die varieert in de tijd noodzakelijk (om onderscheid te kunnen maken tussen eb en vloed)
6. Maar de ruwheid hoeft niet aangepast te worden aan de specifieke lokale omstandigheden omdat er dan geen sprake meer is van een generieke methode;
7. De conclusie dat de stroomsnelheid op de platen en slikken nagenoeg ongevoelig is voor een verandering in de bodemruwheid in de geulen is in strijd met de conclusie dat de lokale bodemruwheid de meest gevoelige parameter is;
8. Indien er in het SCALWEST model geen golfwerking en golf-stroom interactie kan worden meegenomen is de dynamiek bij de bodem onvoldoende nauwkeurig om te gebruiken voor ecotopenkartering;
9. Het heeft geen zin golfwerking in een model op te nemen als er geen metingen ter validatie beschikbaar zijn;
10. Energiedissipatie wordt door zowel ecologen als hydrologen gezien als een belangrijke parameter voor golfvoortplantingsmodellen;
11. Voor ecotopenkartering is het van belang om golfblokades en/of golfperiode veranderingen te kennen;
12. Voor ecotopenkartering is het van belang om setup golven kwantitatief goed te kunnen modelleren;
13. Golf-stroom interacties zijn erg belangrijk voor ecotopenkartering en worden goed weergegeven aan de hand van de verhouding tussen de orbitaal snelheid en de bodemschuifspanningsnelheid bij de bodem;
14. Het logprofiel is een goede benadering van het verticale snelheidsprofiel dat in de praktijk optreedt in intergetijdengebieden;
15. De huidige 2 DH stromingsinformatie (na calibratie voor het intergetijdengebied) is voldoende om goede ecotopenkaarten te kunnen genereren;
16. 3 D stromingsinformatie is noodzakelijk om een goede ecotopenclassificatie te kunnen ontwikkelen;





17. Informatie afkomstig uit quasi 3 D hydrodynamische modellen is niet speciaal beter dan 2 DH informatie;
18. Omdat men de ecotopenclassificatie, die is ontstaan op basis van 2 DH hydrodynamische informatie, wil handhaven verdient het de voorkeur om eerst 2 DH modellen te verbeteren;
19. Het verbeteren van de 3D modellen verdient vanuit het standpunt van de ecologie prioriteit;
20. De belangrijkste factoren die de ecologie aansturen zitten reeds in de ecotopen en habitat classificatie verwerkt;
21. Onzekerheidsmarges van informatie afkomstig uit hydrodynamische modellen spelen een grote rol als het gaat om waterhoogte (overspoeling(sduur)), maar een kleinere rol als het gaat om stroomsnelheden
22. De grote onzekerheid in ecologische verbanden rechtvaardigt geen grote inspanningen in de verbetering van hydrodynamische modellen.

#### Westerschelde stellingen:

23. Golfwerking is belangrijk, maar de mate van belangrijkheid is afhankelijk van de ligging van de platen in de Westerschelde;
24. In de diepere delen van de Westerschelde is er sprake van stroomdominantie;
25. In de zeer ondiepe delen van de Westerschelde (slechts af en toe onderstromend) is er sprake van golf dominantie; met name ook op de hoge platen;
26. In het westelijk deel van de Westerschelde is er bovenop platen duidelijk sprake van wisselwerking tussen stroming en golven.
27. In het oostelijk deel van de Westerschelde is op hoge platen wisselwerking tussen stroming en golven. In lager gelegen gedeelten en op lage platen overheerst stroming.

#### Vragen om over na te denken:

28. Hoe moet je afregelen t.b.v. ecologie?
29. Hoe interpreteer je metingen?
30. Hoe goed moeten de metingen lijken? Qua vorm? En qua intensiteit?
31. Kloppen de processen zoals de hydrologen die modelleren met de manier waarop ecologen ze gebruiken?
32. Zijn stormen bepalend voor ecotopen?
33. Hoe staat het met de invloed van scheepsgolven?
34. Hoe sterk is de relatie tussen de waterbeweging en de beroering bodem (aard van bodem kan ervoor zorgen dat de bodem zich onttrekt aan de waterbeweging)?
35. Wat is de relatie tussen waterhoogte en inundatie(duur)?
36. Op welke ecologische tijdschaal moeten we ons richten (seizoenen, jaren, decennia)?

## **A.2: Samenvatting presentaties**

### Het Scalwest model

Het SCALWEST model is een 2DH- waterbewegingsmodel van de Westerschelde dat afgeregeld is op de waterstanden en debieten in de hoofdgeulen. De waterbeweging in



het intergetijdengebied was een lange tijd nooit verder afgeregeld omdat dit van minder groot belang is voor de grootschalige waterbeweging. Een goede reproductie van de waterbeweging (met name stroomsnelheden) in het intergetijdengebied is echter wel nodig om vraagstukken op o.a. het gebied van ecologie te kunnen oplossen. Daarom is men sinds 1999 bezig om het Scalwest model ook voor het intergetijdengebied af te regelen en heeft men het afgelopen jaar een afregeling van het model voor het intergetijdengebied gerealiseerd. Om te kunnen evalueren of het afgeregelde model al een voldoende kwaliteit heeft voor ecologische toepassingen en om ideeën te genereren over hoe we het model zouden kunnen verbeteren is hieronder een korte samenvatting gegeven over hoe het huidige afgeregelde model voor het intergetijdengebied tot stand gekomen is.

#### Afregeling van het Scalwest model voor het intergetijdengebied

Om inzicht te krijgen in de reproductie van stroomsnelheden van het Scalwest model in de intergetijdengebieden zijn in 1999 en 2000 twee onderzoeken uitgevoerd (Svašek 1999; Svašek & Alkyon 2000). In Svašek (1999) is een aantal stroommetingen op slikken (Zuidgors-West, Waarde-Oost, Zuidgors-Oost, Paulina en Bath-West) vergeleken met modeluitkomsten van SCALWEST. Uit deze analyse is gebleken dat in SCALWEST tijdens een gemiddeld springtij de eb- en vloodsnelheden te laag worden berekend met een factor 1.5 tot 2. Ebsnelheden worden over het algemeen beter weergegeven dan vloodsnelheden. Tussen de richtingen zit vaak een groot verschil. Gezien het algemene stroombeeld wordt er getwijfeld aan de meetrichtingen. Tijdens dood- en springtijcycli worden de vloed- en ebdominantie op de slikken wel goed door het model weergegeven.

Naar aanleiding van deze resultaten is aan de hand van een gevoeligheidsanalyse vastgesteld wat de belangrijkste parameter is die de afwijking van de modelresultaten t.o.v. de metingen kan verklaren. Uit het gevoeligheidsonderzoek is gebleken dat de parameter bodemruwheid de meeste invloed heeft. Andere onderzochte parameters waren: bodemhoogte, viscositeit, droogval procedure en tijdstap. De invloed van deze parameters bleek ondergeschikt te zijn aan het effect van de bodemruwheid. Aanbevolen werd om met een plaatsafhankelijke ruwheid te rekenen, indien men de basis van het SCALWEST model ongewijzigd wil laten.

In Svašek & Alkyon (2000) is het onderzoek voortgezet. Aan de hand van luchtfoto's uit juli 1996 is het intergetijdengebied van de Westerschelde (Vlissingen - grens) ingedeeld in geomorfologische eenheden (Meetkundige dienst, 1997). Dit is een weergave van de getijgedreven morfodynamica en geeft over het algemeen een indicatie van de stroomsnelheid. Uitgaande van de correctheid van deze indeling is per eenheid een ruwheid bepaald. Dit is gebeurd met behulp van een ruwheidschatter (van Rijn, 1993). De ruwheidschatter geeft een methode om de bodemruwheid (in de vorm van Nikuradse waarde:  $K$ ) af te schatten aan de hand van de korreldiameter en bedvorm ( $K = k' + k''$ ) waarbij  $k'$  = korrelgerelateerde  $k$  waarde =  $3 d_{90}$  en  $k''$  = bedvorm gerelateerde  $k$  waarde die sterk afhankelijk is van de (mega) ribbelhoogte en (mega) ribbellengte).

Zie onderstaande tabel voor de ruwheden per eenheid:

Morf. Eenheid	Dynamiek	Beddingvorm	Afkorting		Manning
Plaat/slik (P)	Laag energetisch	Vlak	P1a1	Zand	0.020
			P1a2	Slibrijk zand	0.019
			P1a3	Slibrijk	0.017

Stromingsinformatie voor de ecologie

1207/R02019/GD/Rott2b

	Hoog energetisch	Gegolfd	P2a		0.023
		Megaribbels	P2b1	2D	0.030
			P2b2	3D	0.041
		Vlak	P2c		0.014
	Ruggen		P3		0.015
	Water		P4		0.026
Kreek			K		0.026
Hard substraat			H		0.028
Duin			D		0.013
Schor			S		0.043

Tabel A.1: Ruwheid per geomorfologische eenheid (SW2)

Gebleken is dat de maximale stroomsnelheden reeds sterk veranderden door aanpassing van het ruwheidsveld (SW2).

Vervolgens is in Svašek en Alkyon (2000) een stroommeting op de Molenplaat vergeleken met het SCALWEST-model. De Molenplaat is een plaat omsloten door twee hoofdgeulen, het Middelgat en het Gat van Ossensisse. Gebleken is dat na aanpassing van de ruwheden op basis van de geomorfologische kaart het model de vloednelheden redelijk goed kan reproduceren, maar de ebsnelheden worden te hoog berekend. Dit is een direct gevolg van het feit dat uit de ruwheidsschatters is gebleken dat de aanvankelijke ruwheden (identiek aan die in geulen gebruikt worden) te hoog waren om de metingen op de Molenplaat goed te kunnen reproduceren.

Ook is onderzoek (Svasek Alkyon 2000) gedaan naar de ruwheid per geulpaar. Hierbij is de Molenplaat opnieuw bekeken. Het Middelgat is 10% gladder gemaakt en het Gat van Ossensisse is 10% ruwer gemaakt. Gebleken is dat dit nauwelijks effect heeft op de stroomsnelheid over de Molenplaat. De verhangen over de Molenplaat veranderden nauwelijks en dus de stroomsnelheden ook niet. Later (2001) is opnieuw onderzoek gedaan naar de ruwheid per geulpaar, toen is naar de Middelpaalt gekeken. De gevonden resultaten waren vergelijkbaar met de eerder gevonden resultaten voor de Molenplaat: de ruwheid per geul heeft te weinig invloed op de snelheden op platen om de afwijking tussen de metingen en de modelresultaten te kunnen verklaren.

### Golven

De invloed van golven op de waterbeweging in intergetijdengebieden wordt door de ecologen als belangrijk verondersteld. Een groot probleem dat geconstateerd was, was dat het moeilijk is om uitspraken te doen over de reproductiekracht van golfvoortplantingsmodellen in de intergetijdengebieden van de Westerschelde. Dit komt doordat er geen metingen in deze gebieden beschikbaar waren.

Desondanks kan men op basis van een Alkyon rapport (van Vledder, 1999) in opdracht van het RIKZ naar SWAN golfberekeningen in de Westerschelde voor 6 windklassen, de volgende uitspraken doen over de reproductie van het SWAN model in de Westerschelde:

1. De significante golfhoogte wordt over het algemeen goed voorspelt.
2. De gemiddelde golfperiode wordt in het algemeen onderschat met ongeveer een  $\frac{1}{2}$  s.





3. Stroomeffecten worden in het SWAN model goed meegenomen voor eenvoudige situaties. Voor gecompliceerde situaties, zoals de Westerschelde, zijn vooralsnog geen gegevens beschikbaar om kwantitatieve uitspraken te kunnen doen over de reproduceerbaarheid.

Op grond van de ervaringen in deze studie naar de invloed van golven worden de volgende conclusies gegeven:

1. De bodemruwheid is i.t.t. in stromingsmodellen een ondergeschikte parameter in de golfvoortplantingsmodellen, zeker voor het bepalen van de golfhoogte en naar we nu aannemen (op basis waarvan) ook voor de golfperiode in intergetijdengebieden.
2. Energiedissipatie door breken is veel belangrijker dan de bodemruwheid in de golfvoortplantingsmodellen

#### Golf-stroom interactie

Om de mate van golf-stroom interactie uit te drukken is er in Svasek/Alkyon (2000) voor gekozen om de verhouding tussen:

1. de over 1996 gemiddelde root mean square orbitaal snelheden ten gevolge van golven en;
  2. de maximale tijdens een karakteristiek getij optredende bodemschuifspanningsnelheid ten gevolge van stromingen;
- te bekijken.

De verhoudingen tussen de bovenstaande snelheden zijn in Svasek/Alkyon (2000) visueel gemaakt aan de hand van een figuur. Uit de deze figuur kan het volgende worden opgemaakt:

1. in de diepere delen van de Westerschelde is er sprake van stroomdominantie;
2. in de zeer ondiepe delen van de Westerschelde (slechts af en toe onderstromend) is er sprake van golf dominantie; met name ook op de hoge platen;
3. in het westelijk deel van de Westerschelde is er bovenop platen duidelijk sprake van wisselwerking tussen stroming en golven.
4. in het oostelijk deel van de Westerschelde is op hoge platen wisselwerking tussen stroming en golven. In lager gelegen gedeeltes en op lage platen overheerst stroming.

Tot slot kan men op basis van de onderzoeken concluderen dat bij golfmodellering, het van belang is om:

1. stromingen en waterstanden mee te nemen, omdat deze zorgen voor golfblokkade en / of golfperiode veranderingen.
2. setup golven mee te nemen omdat deze golven in intergetijdengebieden op plaatsen kunnen komen waar ze zonder setup niet zouden komen. De wijze waarop de setup in SWAN is gemodelleerd, is echter te beperkt om daarover kwantitatieve uitspraken te doen.

#### Calibratie van het SCALWEST-model voor intergetijdengebieden

Op dit moment heeft er een (voorlopige) afregeling plaatsgevonden van het SCALWEST-model (alleen 2DH stroming) voor het intergetijdengebied. Op basis van de geomorfologische kaart van 1996 is voor elke geomorfologische eenheid een ruwheid bepaald (zie tabel 1). Door de uitkomsten van het SCALWEST-model te vergelijken met stroommetingen in het intergetijdengebied zijn deze ruwheden verder gecalibreerd. Door het afregelen zijn de verschillen minder geworden, maar er zijn nog steeds grote



verschillen te zien in de gemodelleerde stroomsnelheid t.o.v. de metingen. Een van de mogelijke oorzaken kan liggen in het feit dat het in WAQUA niet mogelijk is om een in de tijd variërende ruwheid aan te brengen (tijdens eb- en vloed een andere ruwheid), wat wel noodzakelijk lijkt om de representatiekracht van het model te kunnen verbeteren.

Aanwijzingen dat er tijdens eb en vloed verschillende ruwheden optreden komen ook uit berekende ruwheden uit metingen op de Molenplaat en de Plaat van Baarland, hierbij is aangenomen dat de snelheden een logaritmisch profiel hebben. Na bepaling van het bijbehorende logprofiel in de verticaal op basis van de verticale stroomsnelheidsmetingen kan eenvoudig de bijbehorende ruwheid berekend worden.

Uit de metingen op de Plaat van Baarland en de Molenplaat tijdens een springtij blijkt dat het profiel goed met een logaritmisch profiel te beschrijven is. Vergelijken we echter de ruwheden berekend op basis van het logprofiel en de verticale stroomsnelheidsmetingen met de gecallibreerde ruwheden op basis van de gemeten (diepte gemiddelde) snelheid, dan kunnen we concluderen dat er op de Plaat van Baarland een groot verschil bestaat tussen de gevonden ruwheden. Op de Molenplaat komen de ruwheden beter overeen.

#### De huidige studie (ECOMORF): Verbeteren van informatie uit hydrodynamische modellen voor de ecologie

Momenteel is er een 2D dieptegemiddeld SCALWEST-model beschikbaar dat zo goed mogelijk afgeregeld is op de beschikbare stroommetingen van het intergetijdengebied. De vraag is echter of als het gaat om informatie afkomstig uit hydrodynamische modellen t.b.v de ecologie er niet met een 3D model gerekend moet worden? De ecologen zijn namelijk hoofdzakelijk geïnteresseerd in een snelheid nabij de bodem. In deze studie, waar ook de discussiebijeenkomst van 10 december onder valt moet dan ook o.a. duidelijk worden welke eisen ecologie (en dan met name gericht op ecotopenkartering) stelt aan (informatie afkomstig uit) hydrodynamische modellen.

#### *Hydrodynamica*

Een zeer belangrijk aandachtspunt van deze studie is een antwoord te vinden op de vraag wat de meerwaarde van 3D t.o.v. 2DH modellering is voor de ecologie. Het belangrijkste resultaat is dat het op dit moment niet zinvol is om een ecotopenkaart te maken op basis van de huidige 3D stromingsinformatie. Het 3D model vertoont namelijk een nog grotere onderschatting van de gemeten stroomsnelheden dan het 2DH model. En dit terwijl verwacht werd dat het 3D model betere resultaten zou laten zien, omdat het de snelheid kan berekenen op de werkelijke meethoogte.

Om een goede vergelijking te kunnen maken tussen het 2 DH model en het 3 D model moet je de dieptegemiddelde snelheid van beide modellen (of tenminste berekende snelheden op dezelfde hoogte in de waterkolom) met elkaar vergelijken. Echter na vergelijking van de dieptegemiddelde snelheid uit het 2 DH model met de dieptegemiddelde snelheid uit het 3 D model (dus op 2/3 waterhoogte) bleken deze snelheden niet met elkaar overeen te komen.

Voor de afwijking tussen het 2DH model en het 3D model zijn een aantal verklaringen te geven:



1. Voor een 3D model mag geen ruwheidsveld uit een afgeregeld 2DH model gebruikt worden maar een 3D model moet opnieuw gekalibreerd worden.
2. Mogelijk een fout in de code van TRIWAQ waardoor de resultaten van het 3D model sterker afwijken dan op grond van verklaring twee verwacht mag worden.

Het ruwheidsveld dat afkomstig is uit het afgeregelde 2DH model is niet zomaar om te zetten naar een 3D model omdat tussen een 3D model en een 2DH model een aantal belangrijke verschillen zitten zoals de berekening en overdracht van de bodemruwheid. In tegenstelling tot het 2 DH model waarvoor een ruwheid geldt over de hele waterkolom, is deze ruwheid bij het 3D model in ieder laag verschillend en moet je die ruwheid invoeren die hoort bij de onderste laag van de waterkolom. Tussen de lagen wordt de bodemruwheid doormiddel van dispersie en turbulentie overgebracht ('TRIWAQ, Technische documentatie', RIKZ 1998). De dispersie wordt intern uitgerekend en dus heeft de diffusieterm in de invoer een andere functie dan bij een 2DH model. Daarnaast is een 3D model ook wezenlijk anders dan een 2 DH model omdat het andere processen bevat zoals bijvoorbeeld secundaire stroming. (komt voor in bochten, dichtheidsstromen en bij bepaalde geometrieën). Hierdoor kan het voorkomen dat een snelheidsprofiel in de verticaal niet logaritmisch is, i.t.t. het 2 DH model waarbij dit een belangrijke aanname is. Uit metingen blijkt echter dat er vrijwel altijd een logaritmisch profiel heerst op intergetijdengebieden. Het lijkt dan ook gerechtvaardigd om uit te gaan van een logaritmisch profiel voor de snelheid in de verticaal op intergetijdengebieden. De verschillen tussen 2DH en 3D modellen geven aan dat het 3 D model een wezenlijk ander model is dan het 2DH model en dat het 3D model opnieuw gekalibreerd moet worden. Mogelijk is het feit dat het 3 D model niet gecalibreerd is ook de oorzaak van de afwijking tussen de 2 DH en 3 D waterstanden. Het 3D model berekent een kleinere getijslag en bovendien berekent het de dieptegemiddelde stroomsnelheden altijd lager dan het 2DH model.

Het verschil in getijslag en dieptegemiddelde stroomsnelheden is echter groter dan op basis van het niet-afgeregeld verwacht mag worden. Dit betekent dat momenteel het direct omzetten van een 2DH model naar een 3D schematisatie zal inhouden dat de getijslag en de dieptegemiddelde stroomsnelheden zullen afnemen. Met name het verschil in waterstanden is zorgelijk. Dit duidt erop dat de bodemruwheden te groot zijn in een 3D-model en verlaagd moeten worden.

In een vergelijking tussen TRIWAQ en TRISULA bleek dat de resultaten van een 3D berekening verschillen opleverden. Onderzocht moet worden waar deze verschillen door ontstaan. Vermoedelijk komt dit doordat in TRIWAQ ervan uitgegaan wordt dat de hoogte van de gemiddelde stroming in de onderste laag halverwege deze laag ligt en niet op (ongeveer) 2/3 hoogte (verklaring 3. modeling toegelicht door M. Zijlema (RIKZ, Den Haag). Een andere belangrijke tekortkoming van het 3 D model TRIWAQ is verticale versnellingen niet meegenomen worden. Deze zijn van groot belang bij sterke verticale hellingen. Met name bij plaat- en slikranden kan dit een rol spelen.

Een belangrijke conclusie die men uit het bovenstaande kan trekken (mits er geen fout gemaakt is in de programmering van de modellen) is dat de aanname dat een 2DH model zonder verdere calibratie omgezet mag worden in een 3D schematisatie niet juist is: een 3 D model is een wezenlijk ander model dan een 2 DH model.



Op basis van het feit dat de berekende stroomsnelheden in de bodemlaag van de 3D berekening altijd lager zijn dan 2DH dieptegemiddelde snelheden, zou de classificering die gebruikt wordt voor het maken van ecotopenkaarten moeten worden aangepast. Als dit niet wordt gedaan en de 3 D informatie toch wordt gebruikt, dan zullen veel meer gebieden (onterecht) in de klasse laagdynamisch vallen.

#### Ecologie

In de Westerschelde speelt het begrip ecotopen een belangrijke rol. Een ecotoop is 'een ruimtelijk te begrenzen discrete eenheid, waarvan de samenstelling en ontwikkeling worden bepaald door abiotische, biotische en antropogene aspecten samen' (Wolfert, 1996). Een ecotoop wordt dus ondermeer bepaald door de hydrodynamische condities maar ook door de soortensamenstelling ter plekke. In het In het rapport 'Ontwerp-ecotopenstelsel Kustwateren' (Alterra, 2001) wordt voorgesteld om de volgende parameters te classificeren en daarmee een ecotopenstelsel te definiëren:

- Zout
- Diepteligging (dieper dan GLW)
- Droogvaltijd (4 klassen in intergetijdezone)
- Overspoelingsfrequentie (5 klassen in gebieden > GHW)
- Dynamiek (bijvoorbeeld op basis van stroming en golven)
- Substraat

Veel van de in het ecotopenstelsel onderscheiden ecotopen bevinden zich in en boven de intergetijdengebieden (vanwege de gedetailleerde definitie van 3) en 4). De bovenstaande volgorde geeft ook min of meer een hiërarchie aan in de ruimteschalen van de desbetreffende parameter. De schaal en aard van de fysische modellering ten behoeve van de ecotopenkartering wordt bepaald door de bovenstaande lijst van parameters. Hiernaast is de relatie van fysica met het voorkomen van soorten niet eenduidig bekend. Er is een verschil tussen sturende factoren voor bodemgerelateerde soorten en soorten die in de waterfase voorkomen. Het belang van 'events' voor het voorkomen van soorten is duidelijk, de definitie van deze events vooralsnog nog niet. Deze aspecten komen nauwelijks aan de orde in een ecotopen-gerelateerde benadering.

Een belangrijke hydrodynamische parameter zoals stroomsnelheid (t.b.v. definitie van 'dynamiek') is in het voorgestelde ecotopen systeem niet eenduidig gedefinieerd. Belangrijke sturende factoren zijn samengesteld uit hydrodynamische parameters in combinatie met morfologische parameters. Een belangrijke parameter voor bodemdieren is energiedissipatie aan de bodem ('dynamiek') welke wordt uitgedrukt op basis van een combinatie van bodemhoogte, golven en stroming. De parameter overspoelingsduur is niet zozeer gekoppeld aan stroomsnelheid maar aan bodemhoogte in relatie tot getijslag en incidentele hoogwaters (rivierafvoer, stormen). Dit houdt in dat fysische modellen ook juist deze aspecten zo precies mogelijk dienen te voorspellen om juist de hoger gelegen gebieden goed te kunnen karteren. Hier speelt dan de keuze van randvoorwaarden (welke rekenperiode, welke windsituatie, welke rivierafvoer) een bepalende rol. Gezien de ruimtelijke resolutie van ecotopen is een oplossend vermogen van modellen kleiner dan de schaal van ecotopen noodzakelijk.



Aanwezig:

RIKZ :

1. Harm Verbeek (hydraulicus)
2. Fred Twisk (ecoloog)
3. Bianca Peters (hydraulicus)
4. Marcel Zijlema (hydraulicus)

Royal Haskoning:

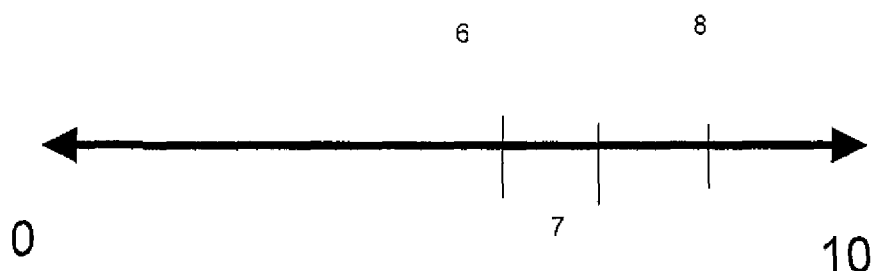
1. Maarten Jansen (hydraulicus)
2. Gerard Dam (hydraulicus)
3. Bram Blik (hydraulicus)

WL:

1. Mindert de Vries (ecoloog)
2. Rob Uittenbogaard (hydraulicus)

### A.3: Opening

Harm opent de bijeenkomst en geeft een korte introductie. Tot slot test Harm het vertrouwen of informatie afkomstig uit hydrodynamische modellen verbeterd kan worden t.b.v. ecologie/ecologische toepassingen aan de hand van een graadmeter.



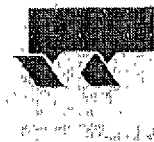
### A.4: Presentatie 1: Inleiding (Bianca Peters, RIKZ)

Bianca geeft een inleiding en schetst het probleem. Het uiteindelijke doel is het verbeteren van modellen ten bate van de ecologie. Voor deze dag is het doel het signaleren van de knelpunten en het verbeteren van de communicatie tussen ecologen en hydraulici.

De volgende afbakening wordt gemaakt:

- Het gaat alleen over bodemgerelateerde ecotopen;
- Er wordt niet ingegaan op het verbeteren van de ecotopenkartering. Wel op de onderliggende gegevens, zoals de stromingsinformatie en golf informatie afkomstig uit modellen.

Vragen en discussie: Waarom gekozen voor deze afbakening (vraag Rob)? Er wordt geantwoord dat dit vooral is om de discussie beperkt te houden.



#### **A.5: Presentatie 2 : Kanttekeningen die ecologen plaatsen bij hydrodynamische modellen (Harm Verbeek, RIKZ)**

Harm merkt op dat hydraulici vinden dat de vraag vanuit de ecologen niet duidelijk genoeg is. Ecologen vinden op hun beurt dat niet goed naar hun geluisterd wordt bij bijv. het afregelen van een model. Er wordt immers globaal afgeregeld en niet lokaal, wat voor de ecologie vaak belangrijker is.

Vragen en discussie: Interpretatie van de informatie is heel belangrijk. Belangrijk is dat de ecooloog weet welke vraag hij kan en mag stellen. Gevaar van het gebruik van informatie uit de huidige hydrodynamische modellen zit hem in het feit dat deze modellen niet gemaakt zijn voor de ecologie en dat je als je de modellen wel voor ecologische toepassingen gebruikt, je vaak in de randen van je model terecht komt.

Het is duidelijk dat geïnvesteerd dient te worden in kennisoverdracht tussen hydraulici en ecologen.

Stelling 5 past het best bij deze presentatie.

#### **A.6: Presentatie 3 : SCALWEST model (Gerard Dam, Royal Haskoning)**

Er worden tijdens de presentatie een aantal opmerkingen geplaatst en vragen gesteld. Fredt vraagt bijvoorbeeld of de metingen (op een bepaalde hoogte in verticaal) wel vergeleken kunnen worden met een diepte gemiddelde snelheid (op bepaalde hoogte in verticaal). Rob nuanceert het beeld dat de viscositeit niet zo belangrijk zou zijn. Horizontale viscositeit kan wel degelijk snelheidsverschillen veroorzaken die grote invloed hebben. Er kan een overschatting van de ruwheid als bepalende parameter zijn, omdat de Eddy viscosity beperkt of niet gemodelleerd is. Tijdsafhankelijke ruwheid: voor eb en vloed anders, kan ook samenhangen met een anisotrope ruwheid. De stroomrichting bij eb en vloed is anders, maar de vraag wordt gesteld of de stroom 180 graden draait zoals in de theorie het geval is. In de praktijk (Molenplaat) komt het voor dat de stroomrichting 90 graden draait.

Vragen en discussie:

Moet het model afgeregeld worden op de maximale stroomsnelheid? En: hoe moet je het model interpreteren t.o.v. metingen?

In eerste instantie wordt beweerd dat voor de ecologie afregeling op de maximale stroomsnelheid het belangrijkste is. Vervolgens wordt gevraagd om uitleg. In de ecotopenclassificatie staat niet alleen de maximale snelheid. Welke omstandigheden? En de tijdsduur van de maximale stroomsnelheid is van belang!

Er wordt gevraagd of er correlaties zijn tussen ecotopen en stroming? Er zijn geen studies gebaseerd op data/metingen. Men vermoedt correlaties, gebaseerd op beredeneringen.

De beweeglijkheid van de bodem is heel belangrijk en het omzetten van stroomsnelheden naar energie bij de bodem.



Er wordt de stelling gedeponneerd dat de pieken het minst representatief zijn van de hele meting. Men vraagt zich af of men dit zo zomaar kan zeggen. Er wordt opgemerkt dat men wel redelijk goed kan bepalen of er sprake is van goede informatie, omdat er rondom een meting vaak meerdere metingen beschikbaar zijn.

Er wordt opgemerkt dat de ruwheid bij eb en vloed verschillend is. Ook wordt er op basis van de metingen getwijfeld aan de grootschalige waterbeweging. 2D SCALWEST model : verdeling van de water in de bochten is niet OK! Dit kunnen hydraulici wel verbeteren en deze verbeterde informatie kan gebruikt worden door ecologen om verder te komen.

Meesleuren van het water op de platen zit niet in het model. Eddy viscosity is van groot belang om de waterbeweging goed te krijgen. Dit is aangetoond voor (o.a.) kribben in rivieren, maar nog niet voor intergetijdengebieden. Het feit dat de eddy viscosity niet gevoelig was, kan te maken hebben met de roostergrootte.

Droogvallen is gemodelleerd in Scalwest, maar misschien kan dit verbeterd worden. Overigens bleek dat de tijdsduur van onderlopen en droogvallen wel goed gemodelleerd kon worden op het intergetijdengebied.

#### **A.7: Presentatie 4: Ecotopenclassificatie (Fredt Twisk, RIKZ)**

Wat organismen willen en wat de fysische omgeving aanbiedt.

Classificatie: Ecotopen en hun potentieel voorkomen aan de hand van een selectie van de omgevingsfactoren.

Er wordt de vraag gesteld waarom in ecotopenkartering geen erosie en sedimentatie is opgenomen?

De classificatie is (deels) gebaseerd op een studie naar zeegras, en getest op de Waddenzee. Zo is de 0.5 m/s grens tot stand gekomen. De 1 m/s grens is onduidelijk tot stand gekomen. De grenzen moeten daarom een beetje genuanceerd worden: ipv 1 m/s hoor je soms bijv dat 0.8 m/s beter is. Voor 0.5 m/s hoor je soms 0.4 m/s en onduidelijk is of dit beter is. Het is belangrijk te bepalen wanneer de snelheid belangrijk is en wanneer niet.

De vraag wordt gesteld waarom in sommigen classificaties 2 klassen gelden en in sommigen 3?

Hydrodynamiek bestaat dat uit storm en een golf of allebei of nog meer? En mag je v orbitaal en v lineair los van elkaar bestuderen? Er wordt geantwoord dat dit niet de voorkeur verdient maar wel gedaan is.

Stelling 21 wordt bediscussieerd. Er wordt opgemerkt dat de stelling te nuanceren is omdat de er best veel plekken op de ecotopenkaarten goed lijken te zijn. Vervolgens wordt gezegd dat het wellicht overdreven is om modellen tot in detail te verbeteren, maar modellen moeten verbeterd worden om de ecotopenclassificatie te kunnen verbeteren. Ecotopenkaarten vergelijken en aanwijzen welke gebieden/ecotopen zeker goed zijn, is een idee om mee te beginnen. Sedimentatie en erosie is een tekortkoming/gat in de kartering.



#### **A.8: Presentatie 5: ECOFLAT metingen (Fredt Twisk, RIKZ)**

Strekking verhaal: slechts in 10-15 % van de gevallen vond Fredt een log profiel! Aan de hand van de metingen dient men op te merken dat de eb en de vloed loodrecht op elkaar blijken te staan op de Molenplaat (oppassen met lineaire benadering!). Er is een groot verschil tussen eb en vloed voor de ruwheid, gelooft Fredt, zonder dat dit meteen te maken hoeft te hebben met eb- of vloed gedomineerde bodemvormen. Ruwheid kan misschien beter afgeleid worden dan berekend worden. Er wordt tip gegeven door Rob dat de metingen, misschien niet allemaal geldig zijn om voor schatting logprofiel te gebruiken: bovenste laag moet er misschien uit

Er wordt opgemerkt dat de factoren die Fredt vindt, afgevlakt worden door de formule waarin ze gebruikt worden.

Er wordt opgemerkt dat uit eerder onderzoek blijkt dat het logprofiel zich kan manifesteren op kleine waterdiepten. Stromingen van elders kunnen ook het logprofiel verstoren. Het kan ook dat afhankelijk van eb en vloed er afwijkingen optreden in log-profiel, a.g.v. versnellingen en vertragingen.

Voor modellering kun je 2 dingen doen om log profiel goed te representeren:

- 3 D modelleren
- toch 2 D en snelheidsprofiel aanpassen op basis van vertragingen/versnellingen en bodemhellingen

Voorspellend vermogen model is mede afhankelijk van beoogde gebruik.

SCALWEST model is best goed, maar voor sommige toepassingen en gebieden is het model te grof.

#### **A.9: Presentatie 6: 2 D versus 3 D modellering (Maarten Jansen, Royal Haskoning)**

Idee na afloop: als je geïnteresseerd bent in snelheid bij de bodem zou je dan niet juist in de onderste laag meer detaillering willen? M.a.w. verschillende dikte in de lagen aanbrengen: onderin veel (dunnere) lagen, bovenin minder (dikkere) lagen.

Ook wordt na afloop van de presentatie opgemerkt dat een uniforme ruwheid niet voor de hand lijkt te liggen.

Diffusie is verschillend bij 2 D en 3 D modellering. Met 3 D bereken je wel echt dispersie, waardoor je eddy viscosity anders zou moeten kiezen. Echter het verschil in resultaten tussen 2 D en 3 D kunnen in dit geval (SCALWEST- TRISCAL) niet door de eddy viscosity verklaard worden. Vermoedelijk is bij het omzetten van 2 D-ruwheid naar 3 D-ruwheid iets misgegaan, want 2 D en 3 D modelresultaten zouden meer op elkaar moeten lijken. Bij Delft 3 D treedt dit probleem niet op en dus moet het in de omzetting zitten. Er wordt gewezen op het feit dat snelheidsverschillen in het horizontale vlak, zulke wervels teweeg kunnen brengen die echt verschil ultmaken. Er wordt verwezen naar een studie die liet zien dat zonder wervels een bodem plat blijft maar met wervels kan er een put van 16 m diep ontstaan.





Op de vraag of wind in SCALWEST zit wordt geantwoord dat dit via een eenvoudige windschuifspanningsformulering gemodelleerd wordt, waarbij meestal de wind gemeten bij Hansweert gebruikt wordt.

Er wordt verder nog opgemerkt dat als het verval in de geulen goed is, hij het in principe op de platen ook goed zou moeten doen, mits de randvoorwaarden goed zijn. Dat betekent dus dat de grootschalige waterbeweging goed moet zijn. Bij SCALWEST weten we dat niet (meer) zeker, uit recentelijk onderzoek (afregeling SCALWEST model voor het intergetijdengebied) blijkt namelijk dat er toch nog foutjes kunnen zitten in de grootschalige waterbeweging.

Over het begrip quasi 3 D (wat dat betekent) blijkt onder de hydraulici nog geen overeenstemming te bestaan. Uiteindelijk wordt als definitie gegeven: 2 DH + dwarscomponent+ vertragen/versnellen. Waar wel overeenstemming over is, is dat het beter is om meteen helemaal 3 D te gaan rekenen dan eerst quasi 3 D en dan 3 D.

Op de opmerking dat in geulen en op plaatranden de Eckman spiraal een rol kan spelen, wordt geantwoord dat dit wel mee zal vallen omdat Eckman alleen op de diepe delen een rol speelt.

Opmerkingen m.b.t. golfstroominteractie:

- scheepvaartgolven zijn ook belangrijk, dit volgt uit onderzoek over de Molenplaat
- westelijk deel van de platen in de Westerschelde kun je niet zonder golven
- beeld dat model geeft op de Molenplaat met wind lijkt veel op wat je in het veld ziet
- het idee wordt geopperd om leeftijd van de benthos uit te zetten tegen springtij golven/stormen/scheepvaartgolven etc.

#### A.10: Presentatie 7: Pogramma van eisen vanuit de ecologie (Mindert de Vries, WL)

Gezien het belang in het ecotopenstelsel is het van groot belang om:

- bodemhoogte goed te kennen
- waterhoogte goed te kennen

Ecotopenkartering is nog beperkt: geen stoftransport terwijl dit wel van belang is voor de beheerder. En in plaats van dynamiek liever bodemschuifspanning of energiedissipatie.

Voor het ecotopenstelsel zijn de volgende knelpunten gesignaleerd:

Ecotopenparameter	<i>Opgeroepen vragen(gelden voor alle ecotope parameters)</i>
Zoutdynamiek	a) definitie?
Bodemligging	b) meest geschikte model?
Droogvaltijd	c) benodigde proceskennis?
Overspoelingsfrequentie	d) benodigde veldgegevens?
Dynamiek	e) welke parameter bedoelen we nu echt?
Substraat type	



De beste volgorde waarin de opgeroepen vragen kunnen worden opgelost moet nog worden bekeken (mogelijk a,e,c,d,b).

Er wordt opgemerkt dat het maken van een ecotopenkaart geen doel op zich is, het gaat er om wat de beheerder ermee kan. Ruimtecol houdt zich bezig met dit soort vragen.

Er wordt het idee geopperd om te gaan werken met relatieve geschiktheidsecotopenkaarten of met veranderingskaarten (daarmee kan je misschien iets zeggen over de verspreiding van ecotopen).

Langzaam eroderende bodem maakt niet uit voor bodemdieren (kunnen zich aanpassen), maar het kan wel een probleem zijn als ieder springtij/doodtij dit gebeurt.

#### **A.11: Eindconclusies m.b.t. knelpunten**

1. In kennisoverdracht tussen ecologen en hydrologen moet veel geïnvesteerd worden
2. Ruimtelijk gespreide metingen zijn van groot belang
3. Er moeten metingen gedaan worden voor verschillende geomorfologische eenheden
4. Anisotrope ruwheid eb/vloed is van groot belang
5. Ruimtelijke spreiding adaptieve eddy viscosity onderzoeken
6. Rooster lokaal verfijnen is van groot belang voor voorspelling modellen op intergetijdengebied
7. Droogvalprocedure is belangrijk (code FLS (Guus Stelling nodig)
8. Morfodynamiek (bodemschuifspanning) toevoegen aan ecotopenkartering: erosie en sedimentatie is nog niet opgenomen in ecotopenkartering
9. 2 D- 3 D overdracht ruwheid lijkt fout te zijn gegaan
10. Log-profiel doet het goed dichtbij de bodem, bovenin de verticaal spelen vertraging en versnelling een rol
11. Hoe tel je golven en stroming bij elkaar op?
12. Wat doen we met scheepvaartgolven?
13. Wanneer onttrekt de bodem zich aan aansturende processen?
14. Bodemligging moet nauwkeurig in model. Erg belangrijk voor intergetijdengebied, om droogvalduur en stroming te kunnen bepalen.

Er moet meer interactie komen tussen hydraulici en ecologen om elkaars werelden beter te kunnen begrijpen, elkaar goed informatie te kunnen leveren en deze informatie goed te gebruiken. Echter over de vraag of hydrodynamische modellen moeten worden afgeregeld voor de ecologie, lijkt enige overeenstemming te zijn ontstaan. Voorbeeld: hydrodynamische modellen afregelen op de maximale stroomsnelheden bij springtij, kan voor de ecologie weliswaar een beter scenario zijn, dat is het niet voor andere toepassingen. Deze afregeling kan ervoor zorgen dat er heel andere erosie en sedimentatiepatronen ontstaan: netto meer erosie in het geval van afregelen op max.stroomsnelheden bij springtij.

#### **A.12: Nabeschouwing**

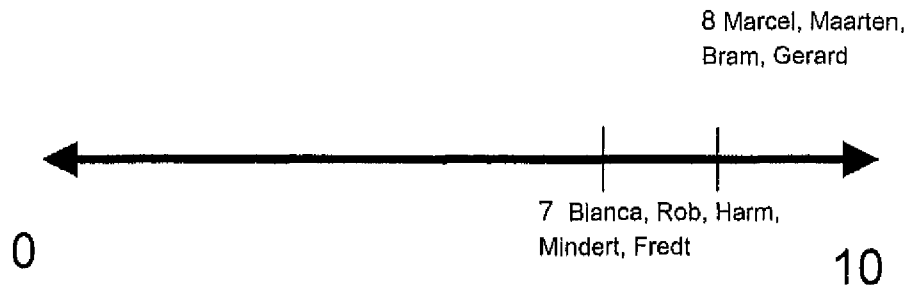
Opnieuw testen we het vertrouwen dat mensen hebben om de informatie afkomstig uit hydrodynamische modellen af te stemmen op ecologie/ ecologische toepassingen.



- Maarten (RH): is positiever na de bijeenkomst (gaat van 7 naar 8)
- Bram (RH): is positiever na de bijeenkomst (gaat van 8 naar 9)
- Gerard (RH): is positiever na bijeenkomst (gaat van 7 naar 8)
- Bianca: ziet meer problemen dan voorheen (gaat van 8 naar 7)
- Harm: ziet meer problemen dan voorheen (gaat van 8 naar 7)
- Mindert: even positief/negatief maar ziet andere problemen dan voorheen (blijft 7)
- Fredt: iets positiever (gaat van 6 naar 7)
- Rob: is minder optimistisch/ziet meer problemen (gaat van 8 naar 7)
- Marcel: zelfde (blijft 8)

Conclusie:

Naar specialisme: hydrologen zijn over het algemeen wat positiever dan de ecologen  
Naar bedrijf: de discussiebijeenkomst heeft de Royal Haskoning positiever gestemd. Het RIKZ Middelburg: de hydrologen zijn wat minder positief, de ecooloog is wat positiever. RIKZ Den Haag: (hydroloog) vertrouwen gelijk gebleven. WL: hydroloog is minder positief; ecooloog heeft zelfde vertrouwen gehouden.



Tot slot merken Rob Uittenbogaard en Bram Blik op dat zij nog wel eens naar de ECOFLAT metingen op de plaat zouden willen kijken.



## BIJLAGE B: SAMENVATTING KNELPUNTEN

### B.1: Prioritering knelpunten vanuit de ecologie

Uit bovenstaande overzicht kunnen de volgende knelpunten als meest belangrijk voor de ecologen worden aangemerkt:

- Aanscherping van de definitie van bepalende parameters, met name in relatie tot bodemdynamiek.
- Bepaling/aanpassing klassengrenzen (onderbouwing door middel van analyse van de gehanteerde literatuur-bronnen en eventueel benutten van aanvullende veldgegevens).
- Keuze van benodigde tijd- en ruimteschalen voor modellering van de afzonderlijke parameters. Hierbij kan worden gedacht aan relevante seizoenen en aan Definitie van sturende 'events' of 'gemiddelde' situaties.
- Berekening van droogvaltijd, overspoelingsfrequentie en bodemdynamiek op basis van verbeterde definities en klassen-indeling. Tweede prioriteit is zoutgehalte en substraattipe.
- Verbetering van methodiek van kartering (koppeling model-GIS, procedure, documentatie).

### B.2: Prioritering knelpunten vanuit de hydrodynamica

Uit bovenstaande overzicht kunnen de volgende knelpunten als meest belangrijk voor de hydrodynamica worden aangemerkt:

- Oplossen probleem rond overdracht 2d ruwheid naar 3d.
- Calibreren en valideren van stroomsnelheden (3D) op verschillende geomorfologische eenheden.
  - Bruikbaarheid log-profiel stroming.
  - Bruikbaarheid eddy-viscosity methodiek.
  - Bruikbaarheid anisotrope ruwheidsvelden.
- Belang stroming en golven bepalen voor verschillende geomorfologische eenheden en lokaties Westerschelde (bv. oost-west)
  - Combinatie golven en stroming op platen en schorren.
  - Uitzoeken waarom substraat van sommige gebieden zich onttrekt aan golf en stroom forcering ???
- Optimalisatie van locale verfijningen van het modelgrid.
- Terugkoppeling invloed van vegetatie en morfo-dynamiek op stroming en golven voor schorren.

Nota bene een aantal van deze activiteiten kunnen in 2002 in aansluiting op Zeekennis, Delft Cluster en doelfinanciering projecten worden uitgevoerd.

#### Oplossen probleem rond overdracht 2d ruwheid naar 3D WAQUA-model

Op dit moment kan de ruwheid van een gecalibreerd 2DH WAQUA-model niet automatisch overgezet worden, zonder al te grote effecten op dieptegemiddelde stroomsnelheden en waterstanden. Waarschijnlijk is dit het gevolg van een fout in de programmatuur. Hier moet goed naar gekeken worden.

Daarnaast is het wel zo dat een 3D model opnieuw dient te worden afgeregeld omdat dit een nieuw model is, waarin bepaalde fysische processen anders worden opgelost.



### **Calibreren en valideren van stroomsnelheden (3D) op verschillende geomorfologische eenheden.**

Uit het huidige onderzoek komt naar voren dat op platen over het algemeen een logaritmisch profiel geldt onderin de vertikaal. Een uitzondering hierop is de periode rond kentering.

Hoewel er een logaritmisch profiel geldt (en dus goed een 2DH model gebruikt kan worden), is er toch een spreiding in de stroomrichting over de vertikaal. Om de stroming goed te reproduceren zal dus toch een 3D model gebruikt moeten worden.

Verder vallen de volgende zaken op uit de metingen:

- Het is van groot belang dat de bodemligging in het model goed overeen moet komen met de werkelijkheid. Kortsluitgeulen en hellingen van het intergetijdengebied zijn van groot belang bij de doorstroming van het intergetijdengebied
- Hierbij speelt nog een extra rol de ruimtelijke variantie van eddy-viscositeit. Met name in ondiepe gebieden is eddy-viscositeit belangrijk in het aanjagen van neren en stroming over het intergetijdengebied. Momenteel kan alleen een uniforme eddyviscositeit opgegeven worden.
- Uit de metingen en afregeling blijkt verder een variatie in bodemruwheden tussen de eb- en vloedfase. Dit ontstaat door asymmetrische bodemvormen. In WAQUA kan op dit moment alleen een plaatsafhankelijke maar in de tijd uniforme bodemruwheden gebruikt worden.

### **Belang stroming en golven bepalen voor verschillende geomorfologische eenheden en lokaties Westerschelde (bv. oost-west)**

Uit Alkyon/Svašek 2000 kan het volgende worden opgemaakt:

- in de diepere delen van de Westerschelde is er sprake van stroomdominantie;
- in de zeer ondiepe delen van de Westerschelde (slechts af en toe onderstromend) is er sprake van golf dominantie; met name ook op de hoge platen;
- In het westelijk deel van de Westerschelde is er bovenop platen duidelijk sprake van wisselwerking tussen stroming en golven.
- in het oostelijk deel van de Westerschelde is op hoge platen wisselwerking tussen stroming en golven. In lager gelegen gedeeltes en op lage platen overheerst stroming.

Bij de bepaling hiervan is gebruik gemaakt van een 2DH WAQUA stromingsmodel van de Westerschelde en een SWAN model van de Westerschelde. Met het stromingsmodel is een springtij doorgerekend en met het SWAN model een heel jaar. Vervolgens zijn de resultaten van beide modellen met elkaar vergeleken op basis van formuleringen die uit het literatuuronderzoek zijn gekomen. Onduidelijk is uit het literatuuronderzoek op welke wijze deze vergelijking het beste kan plaatsvinden. Dit moet verder onderzocht worden.

Bij WL wordt gewerkt met een Delft3D versie met daarin opgenomen 3D golf-stroom interactie (SWAN, op basis van variabele windforcing) en daaraan gekoppeld de berekening van bodemdynamiek en de invloed van vegetatie. De bruikbaarheid van deze aanpak voor ecotopenkartering in de Westerschelde zou moeten worden geanalyseerd.



In sommige gebieden lijkt de bodemsamenstelling en de morfologische dynamiek niet overeen te stemmen met de hydraulische dynamiek. Onderzocht moet worden wanneer dit optreedt en welke processen nog meer een rol spelen.

#### **Optimalisatie van locale verfijningen van het modelgrid.**

Voor elk probleem moet het model gebruikt worden dat het beste geschikt is om het probleem op te lossen. Dit geldt zeker voor het berekenen van data die gebruikt moet worden in de ecotopen kartering. Het rooster van de te gebruiken modellen moet in ieder geval fijn genoeg zijn om de ruimtelijke variatie van ecotopen goed aan te kunnen geven. Hierbij kunnen technieken zoals eindige elementen, gridnesting en domeindecompositie een belangrijke rol spelen.

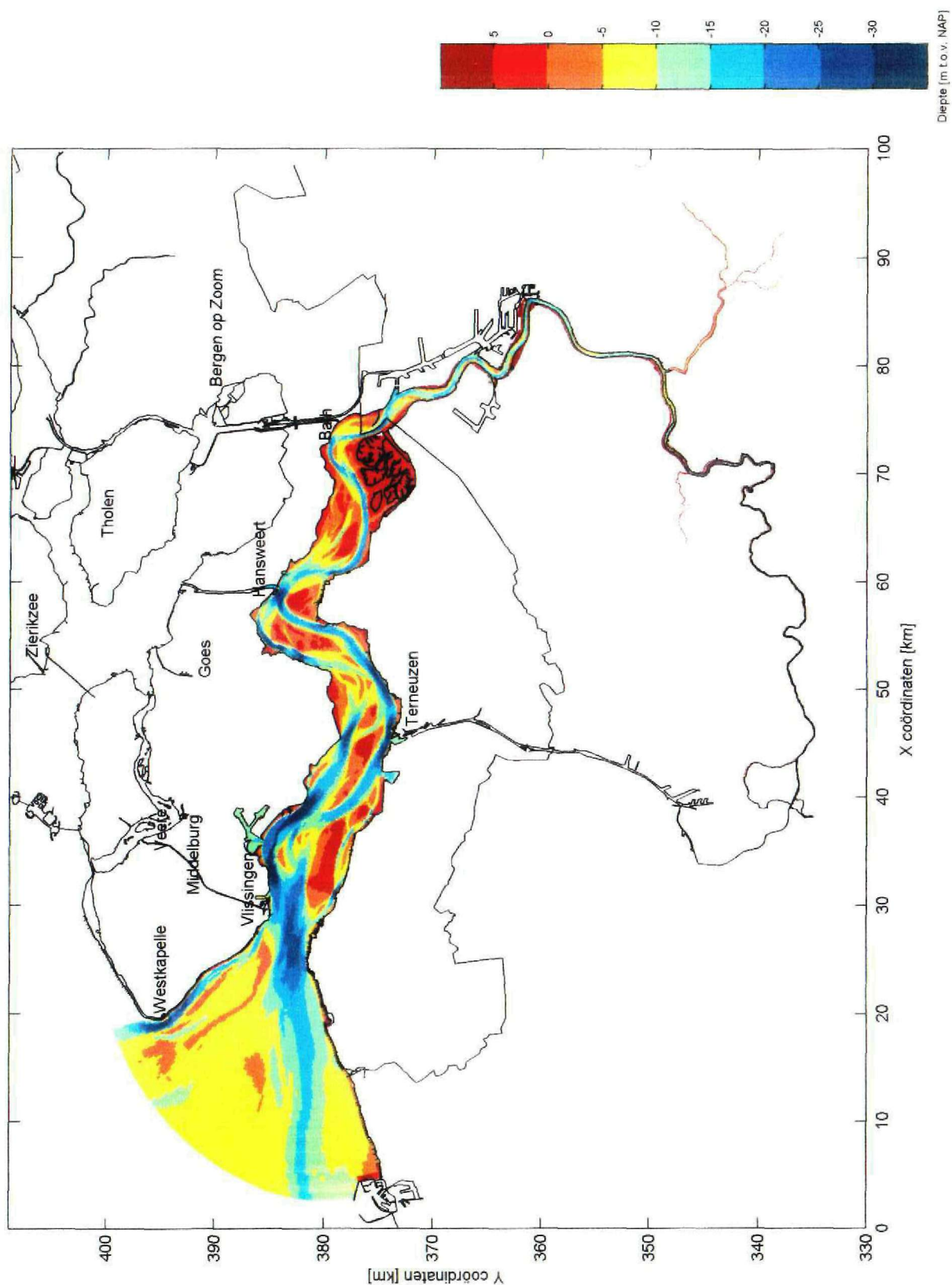
Opmerking:

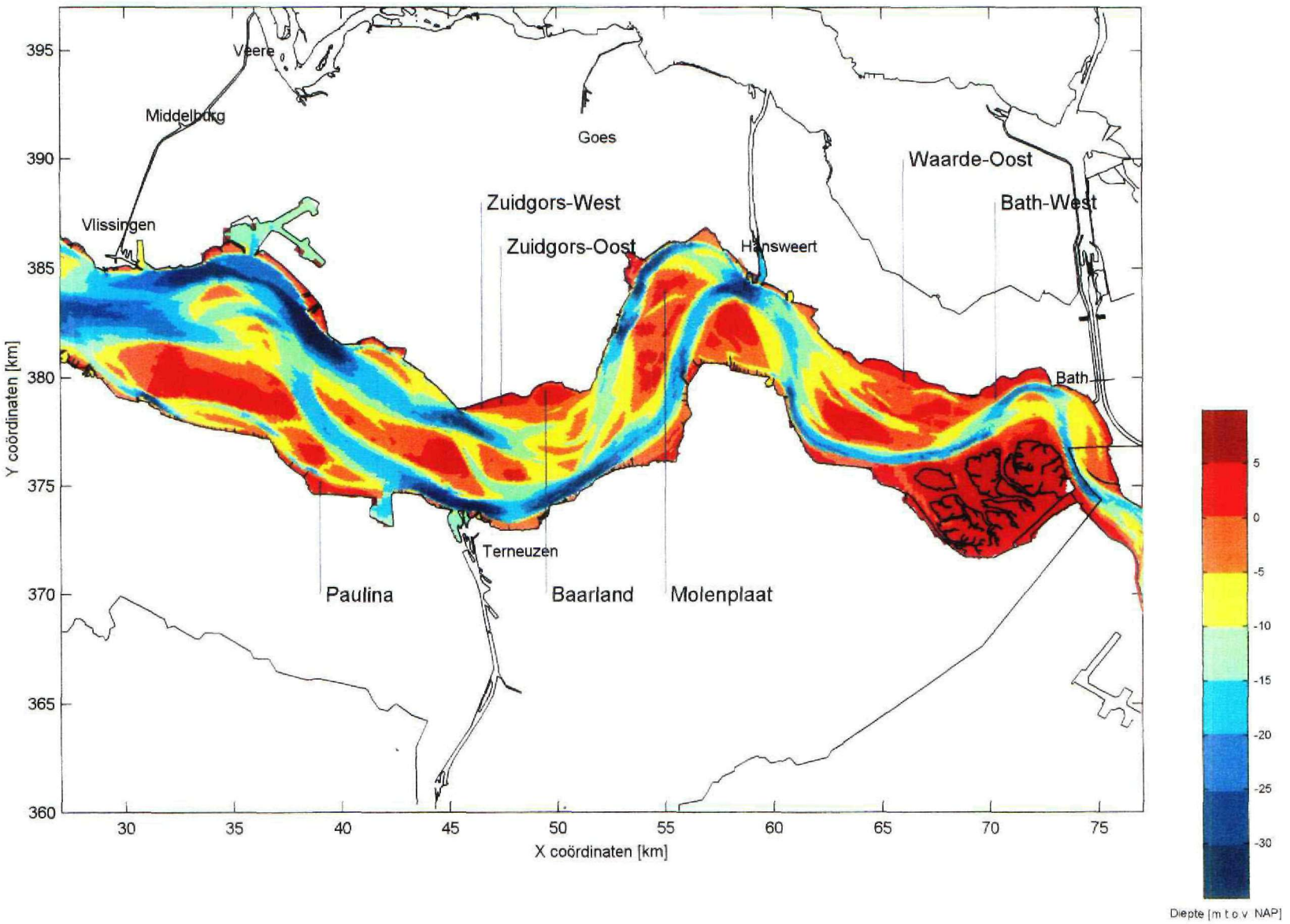
- Een fijner rooster leidt niet altijd tot betere resultaten !
- Elk model moet opnieuw gecalibreerd worden voor de situatie of toepassing waarvoor het model gebruikt gaat worden !

#### **B.3: Prioritering knelpunten in veldmetingen**

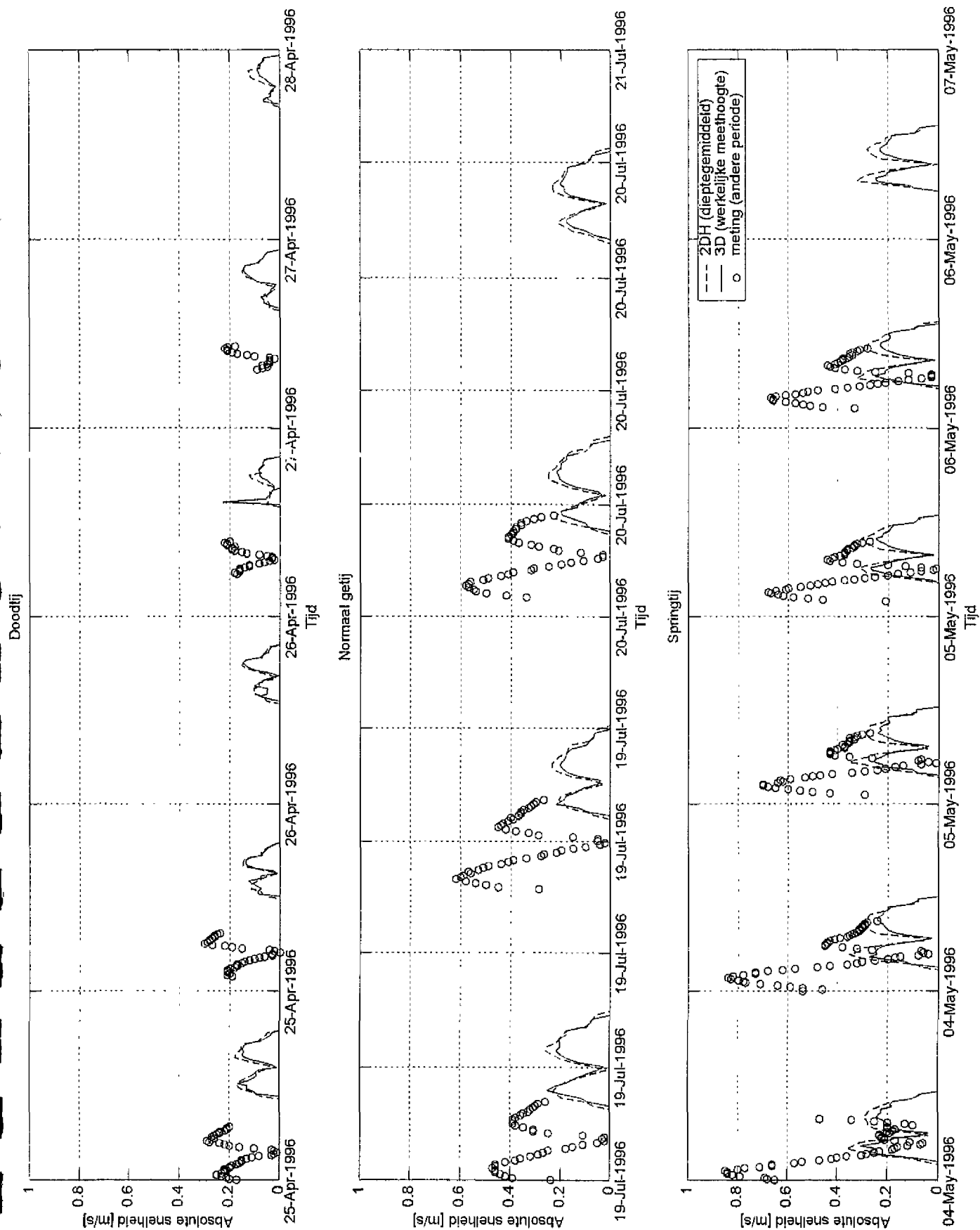
- Bepaling van huidige bodemligging van slikken, schorren en platen met een verticale resolutie van enkele centimeters op de hoogste delen.
- Meten van stroomsnelheidsprofielen (3D) voor verschillende geomorfologische eenheden
- Inventariseren en uitwerken van de huidige beschikbare meetdata
- Meten van waterstanden op slikken, schorren en platen.
- Meten van verandering van bodemhoogte tussen seizoenen en tussen jaren.
- Meten van substraatsamenstelling
- Analyse van beschikbare biologische databases in relatie tot verbeterde fysische veld- of modelgegevens. Hierdoor kunnen klassegrenzen van het ecotopensysteem mogelijk beter worden onderbouwd.
- Meten van beddingvormen en dynamiek van de beddingvormen.
- ADCP-metingen in geulen (bochteffecten), omdat gebleken is dat het 2DH model de bochteffecten niet goed kan weergeven. Deze fout in de waterbeweging in de hoofdgeul werkt door naar de intergetijdegebieden.
- Bepalen herhalingstijd van de metingen

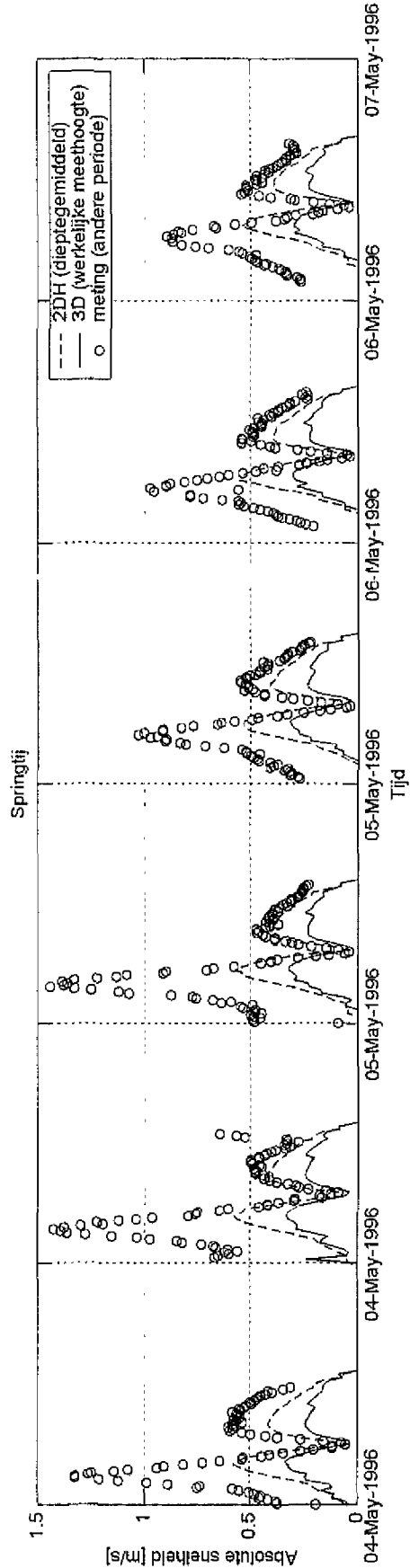
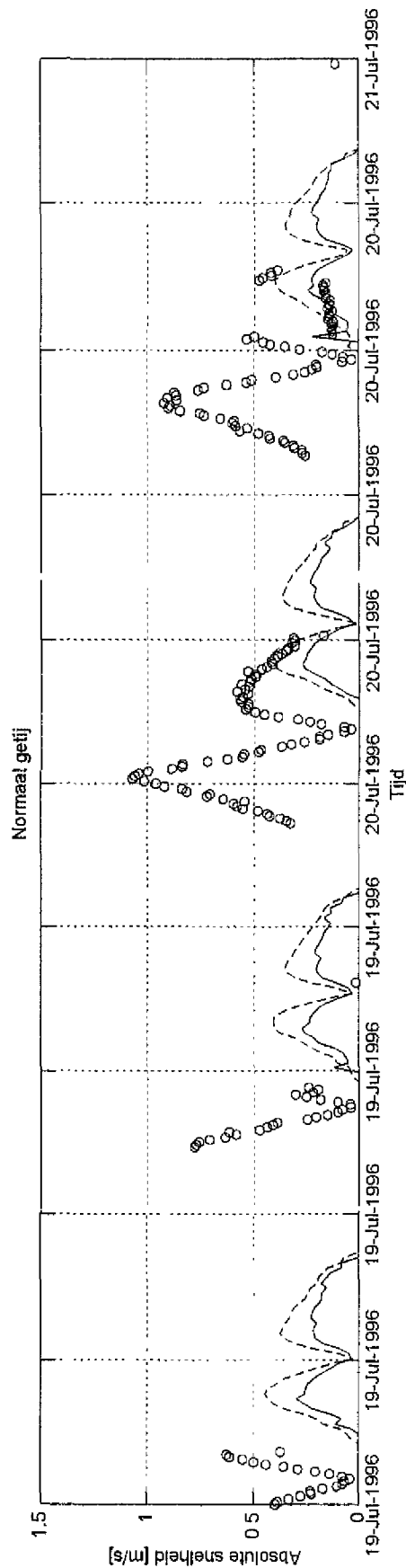
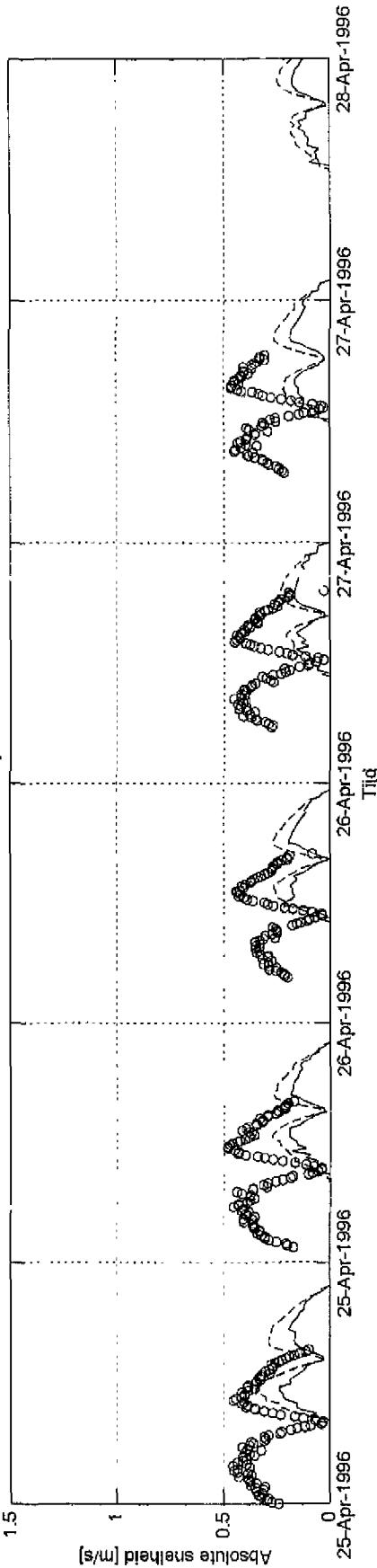
Nota bene een aantal van deze metingen kunnen in 2002 in aansluiting op Zeekennis, Delft Cluster en doelfinanciering projecten worden uitgevoerd.

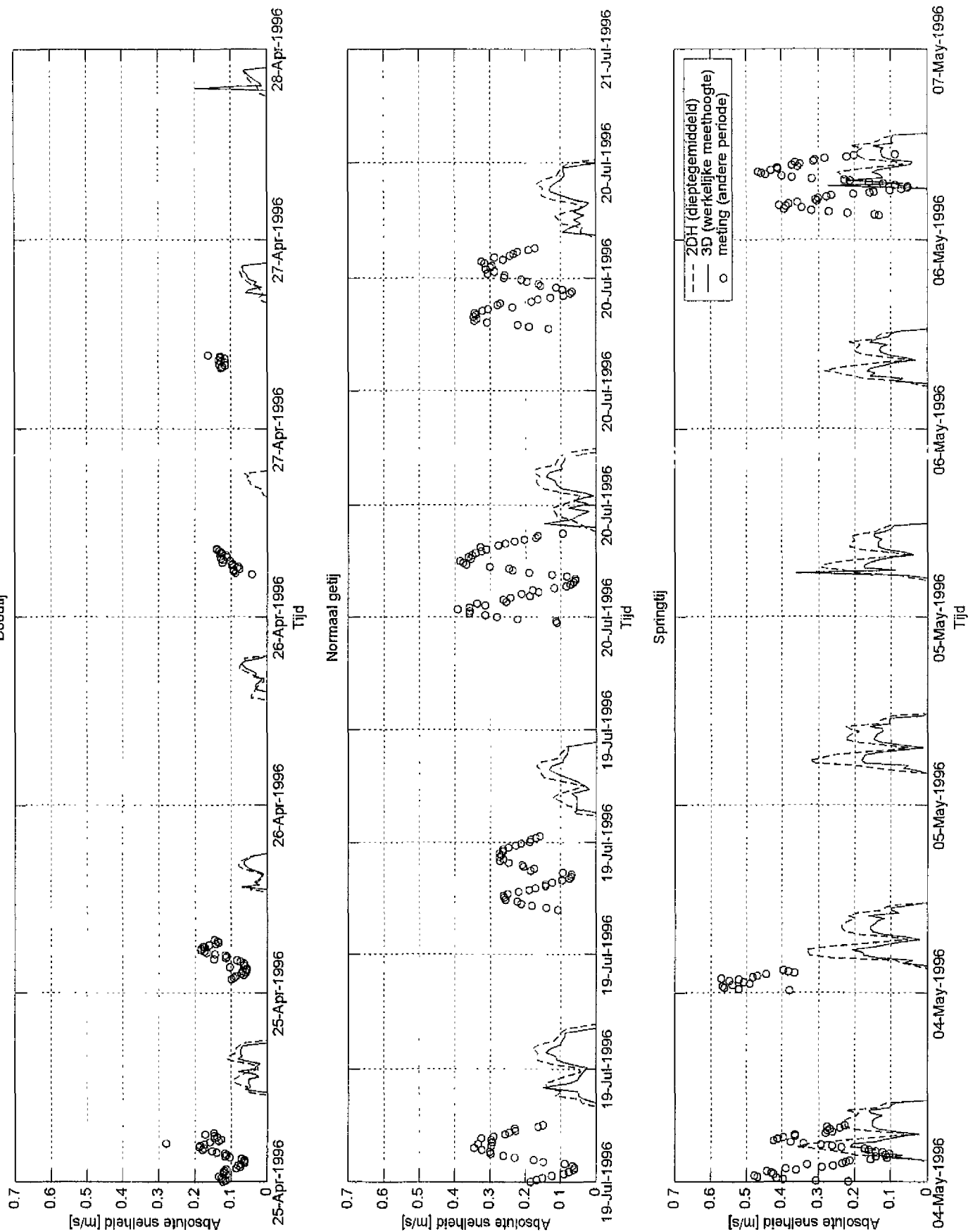




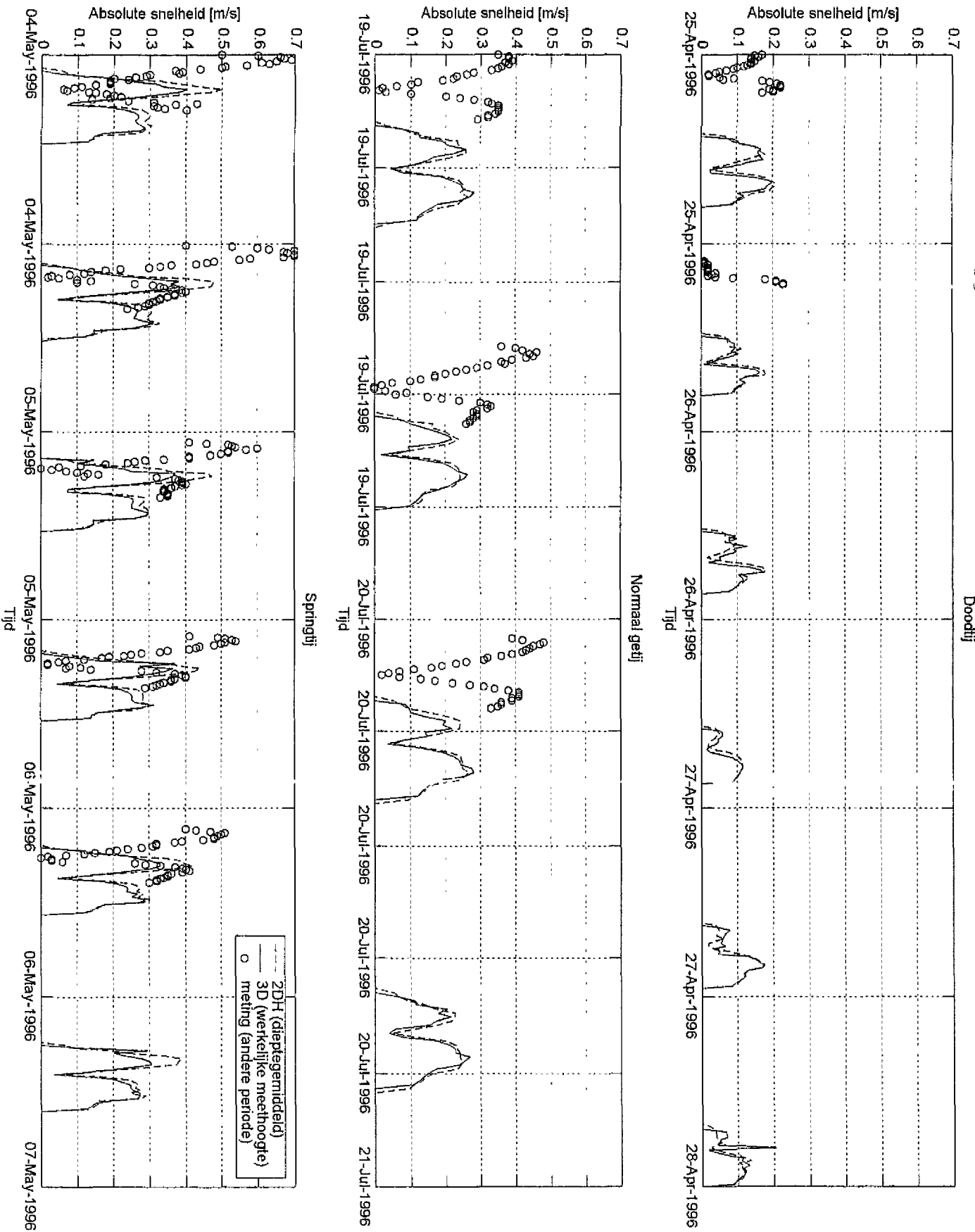


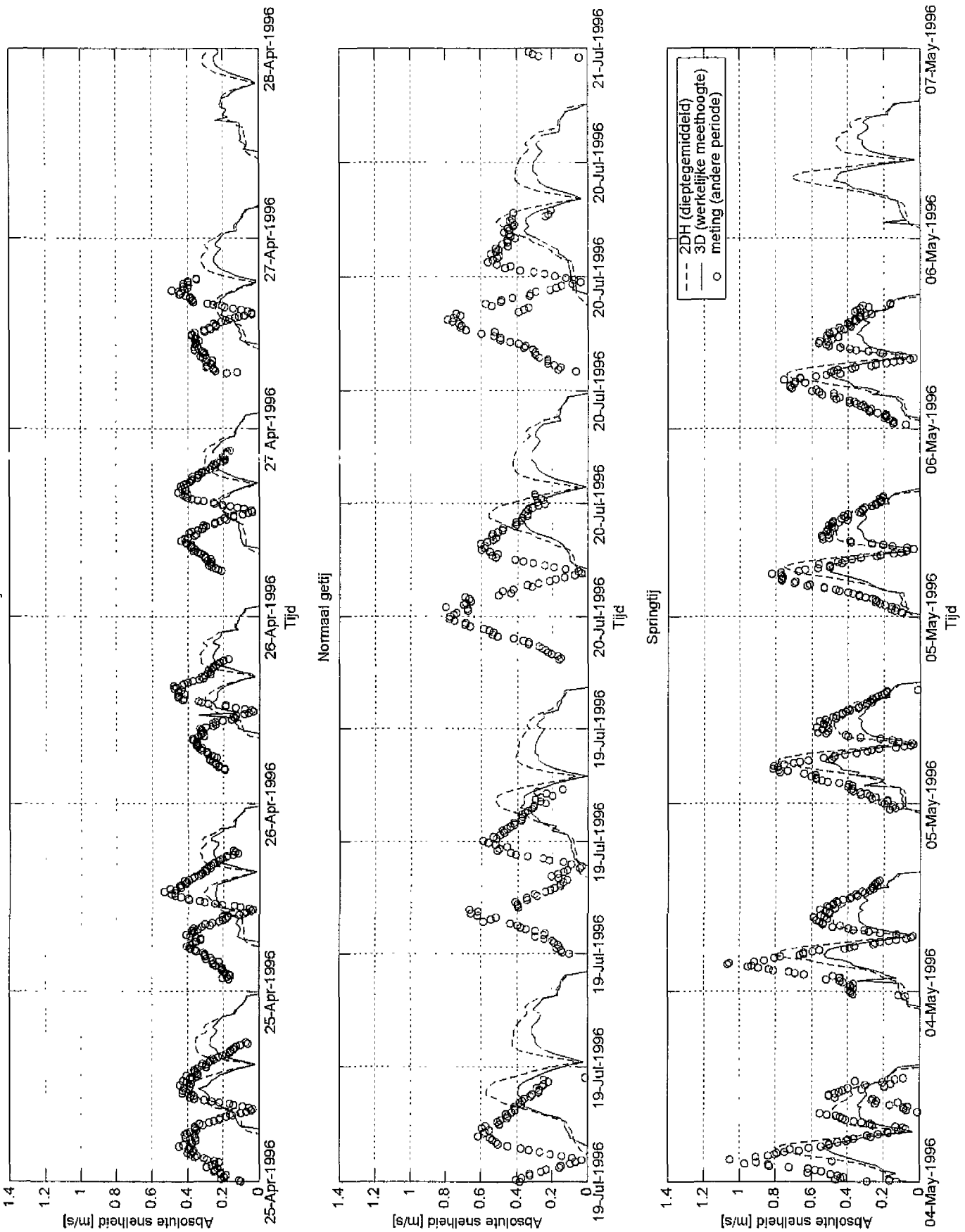


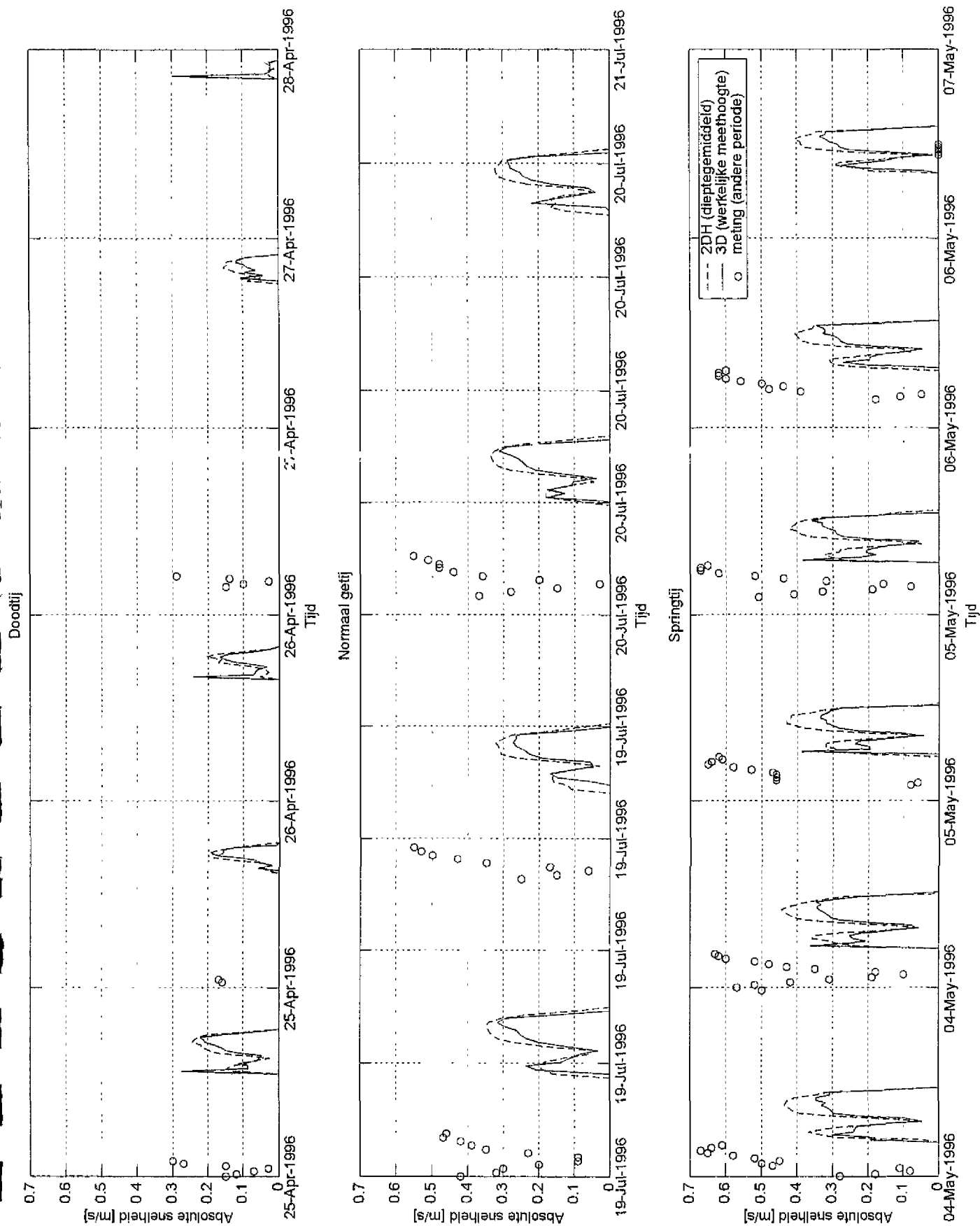


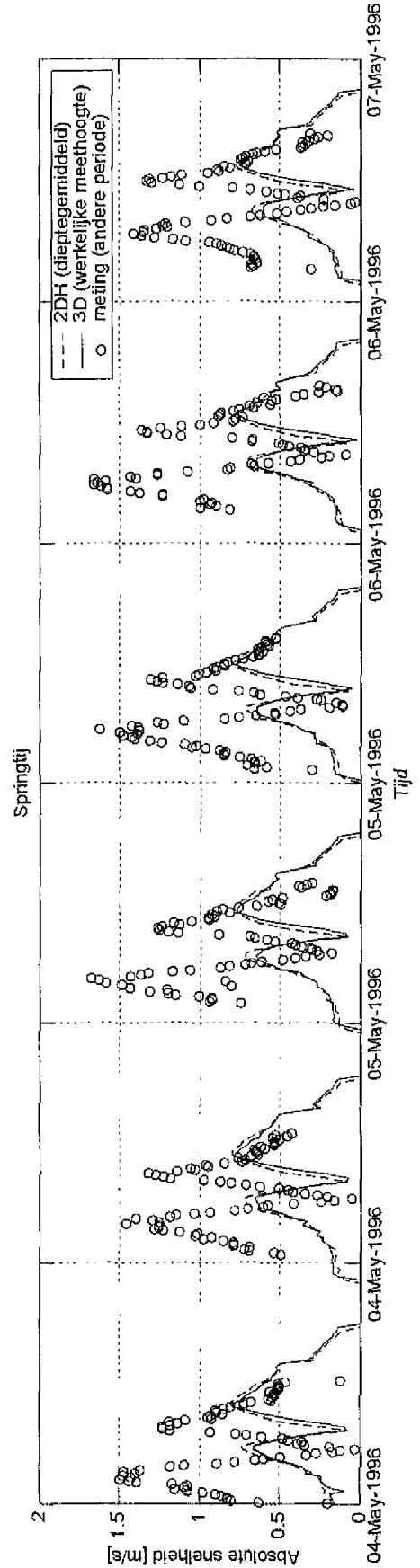
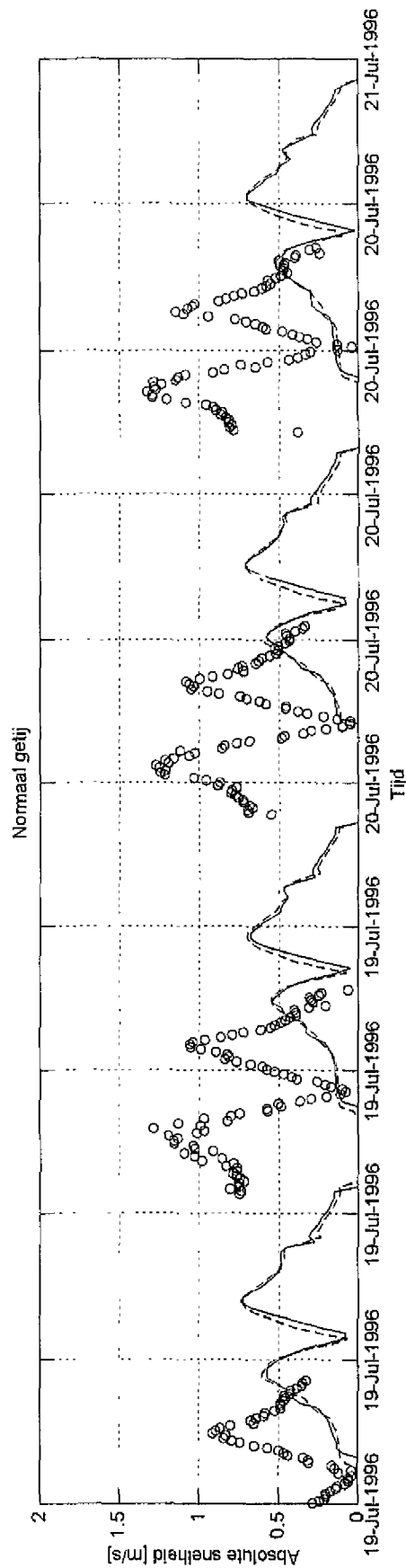
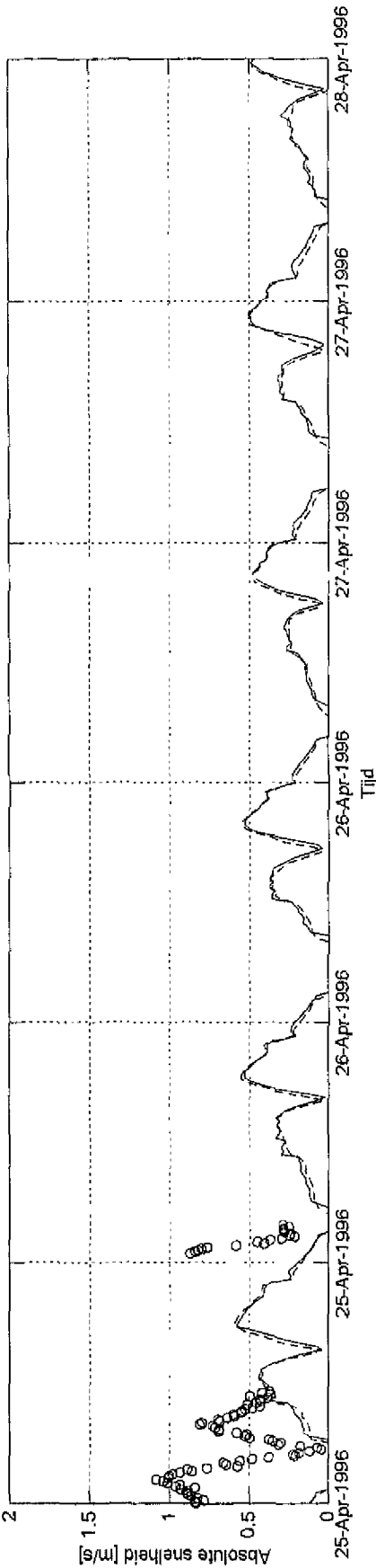


Vergelijking 2DH en 3D model met meting

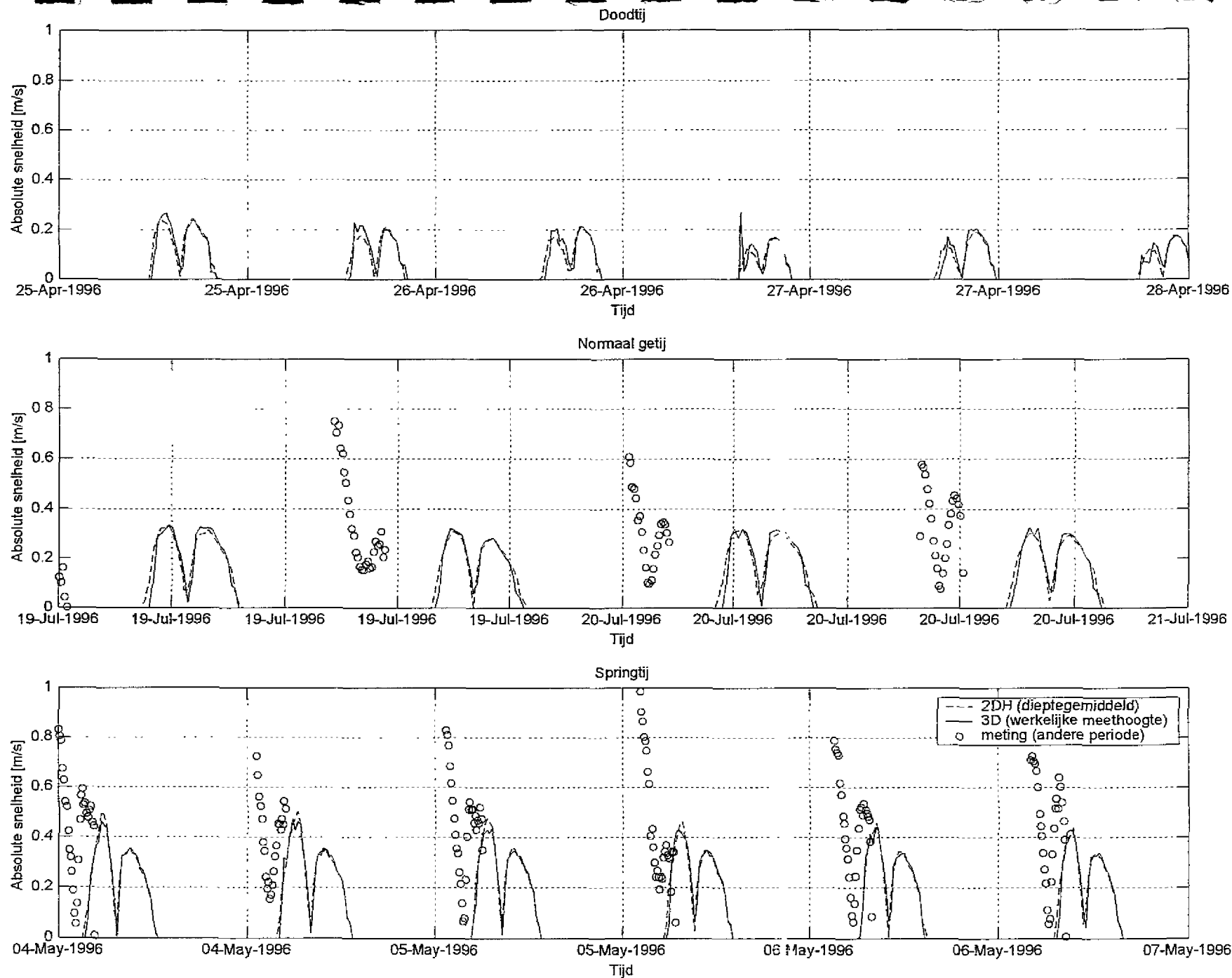




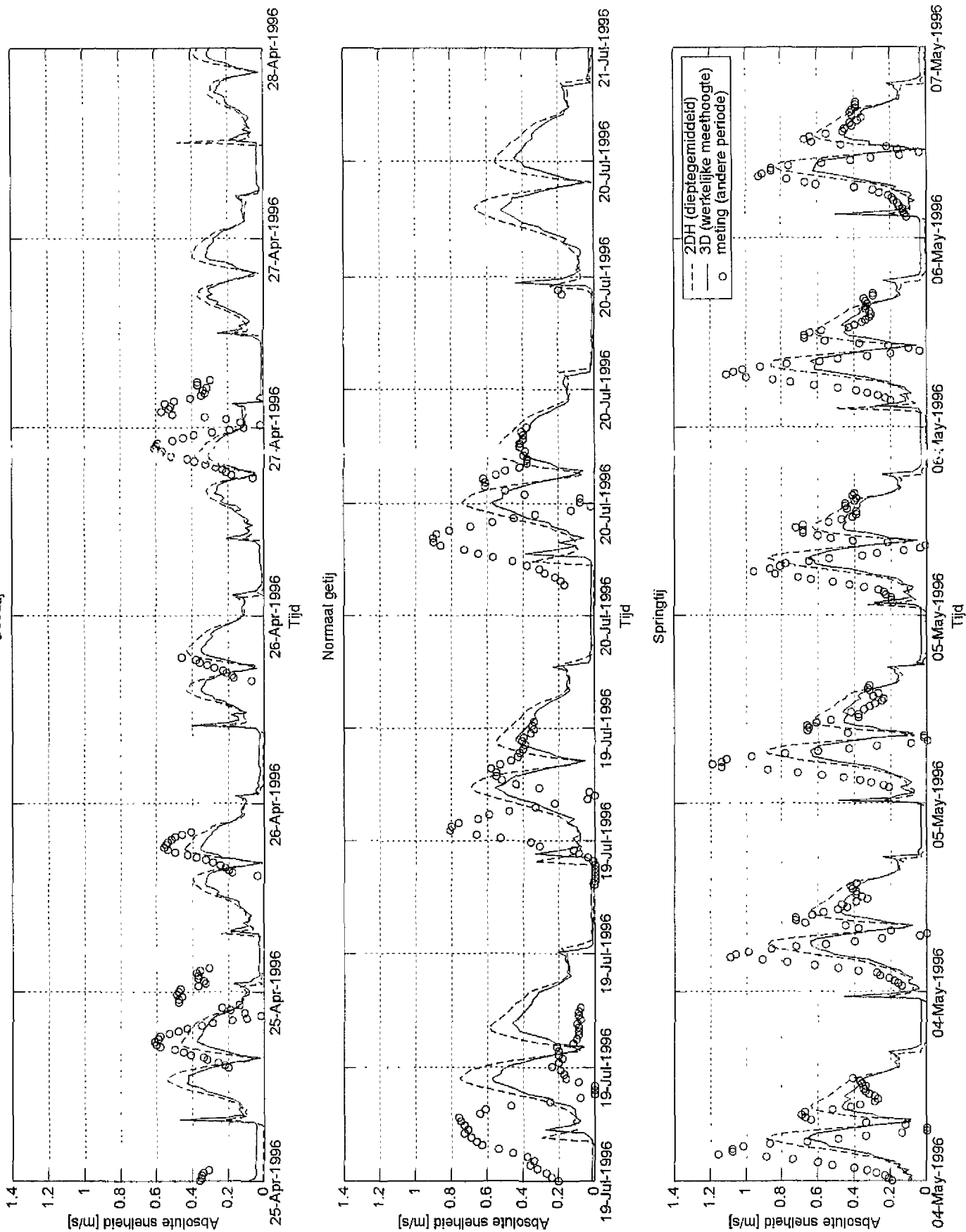




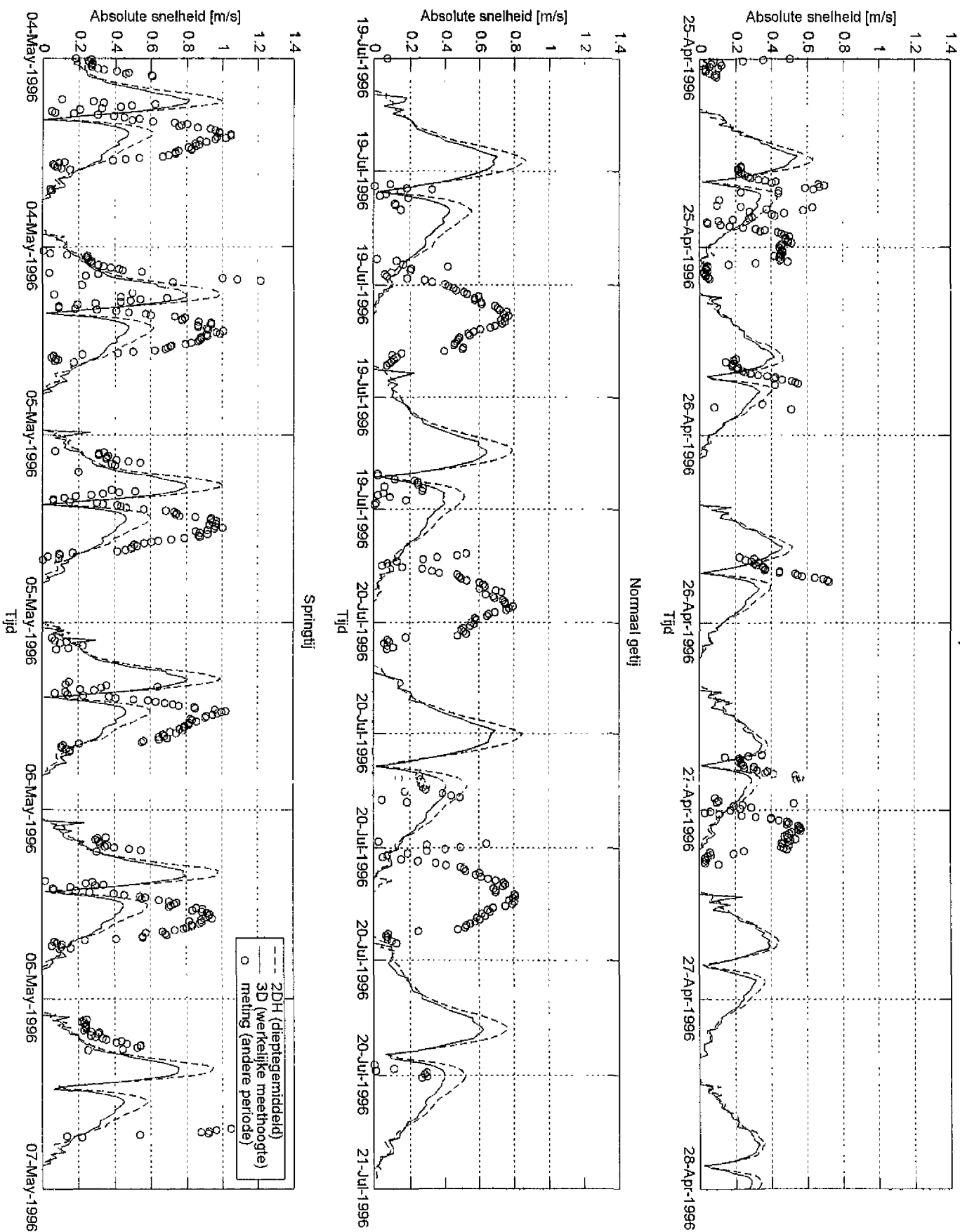
Vergelijking 2DH en 3D model met meting

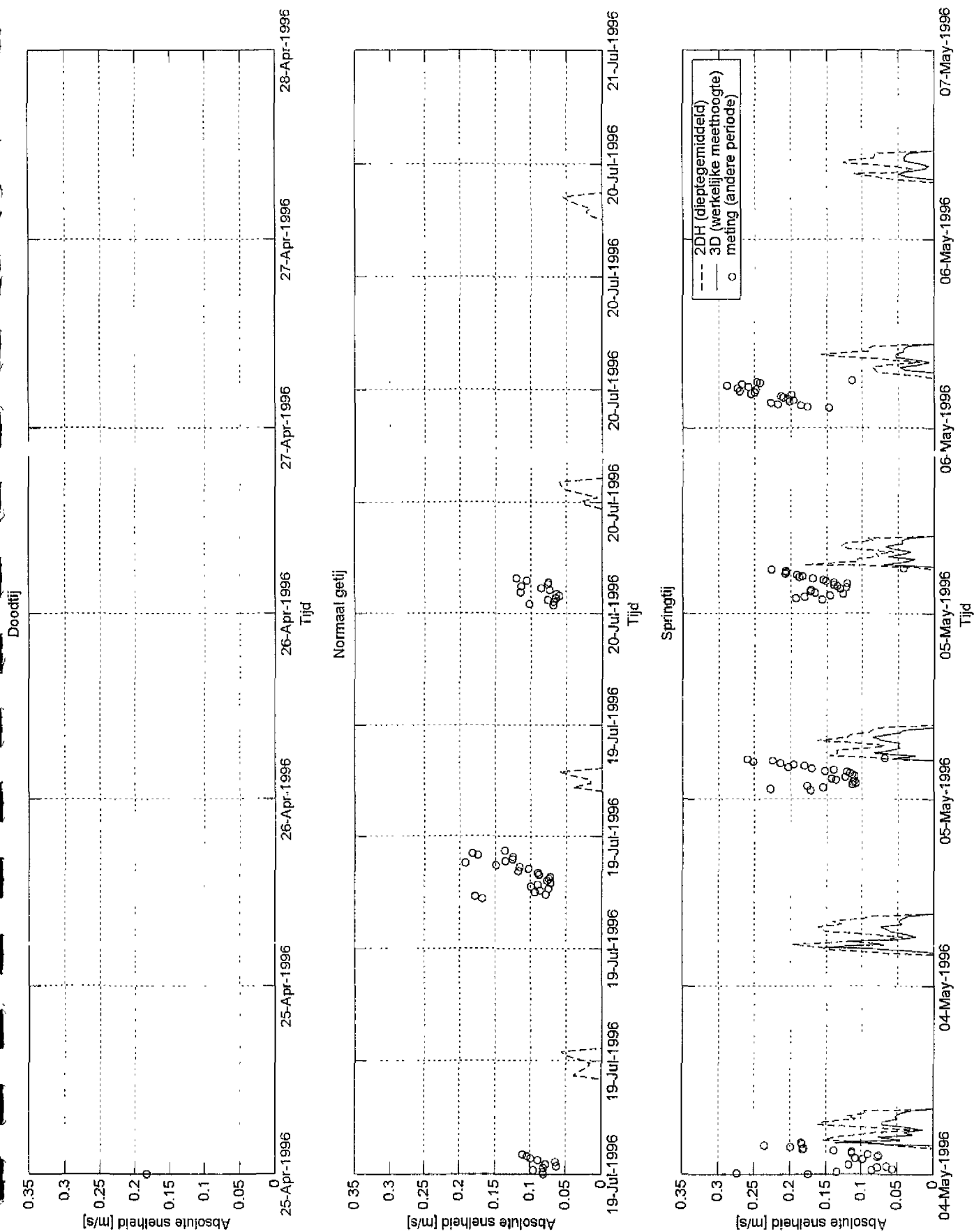




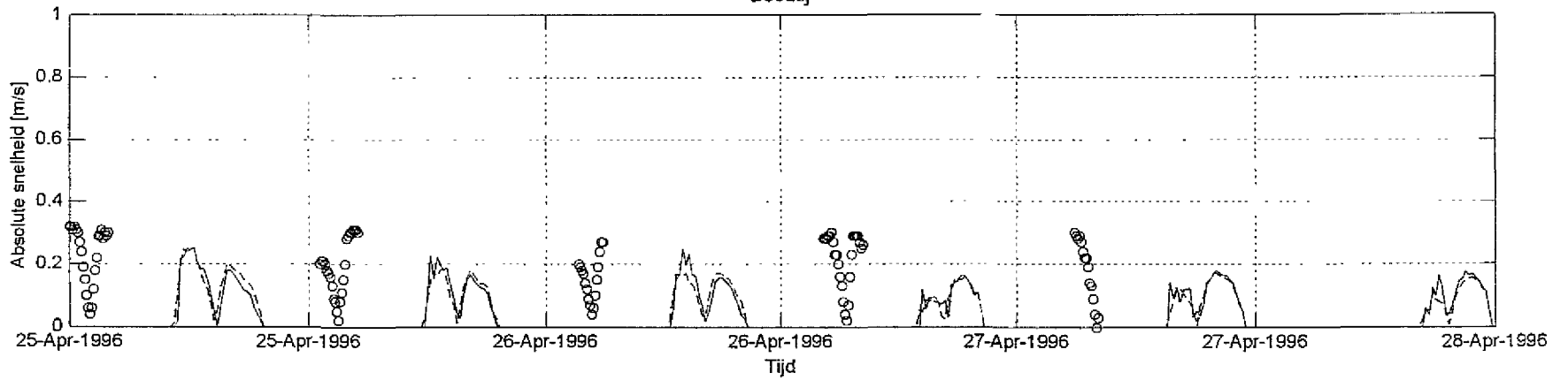


Vergelijking 2DH en 3D model met meting

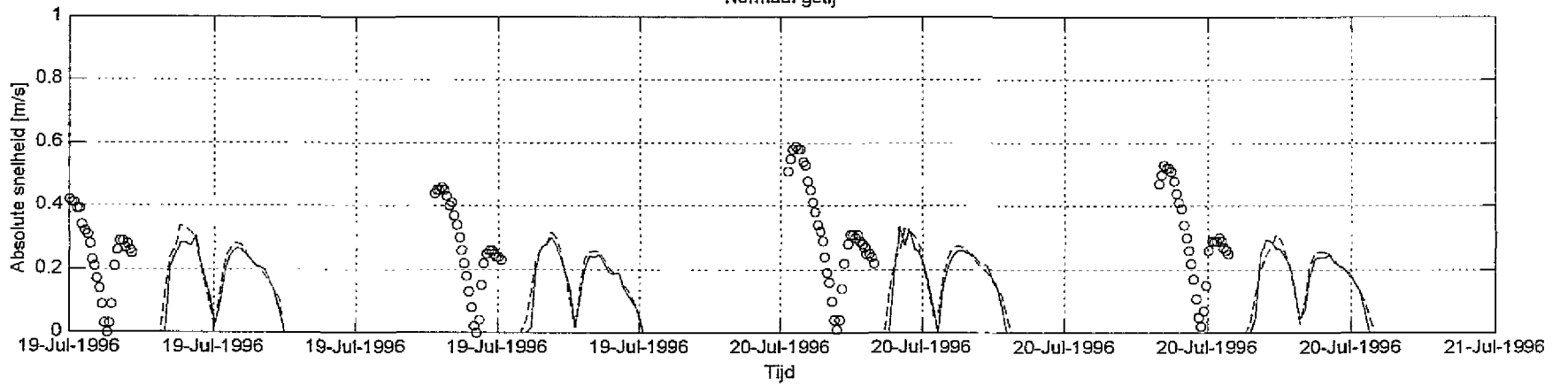




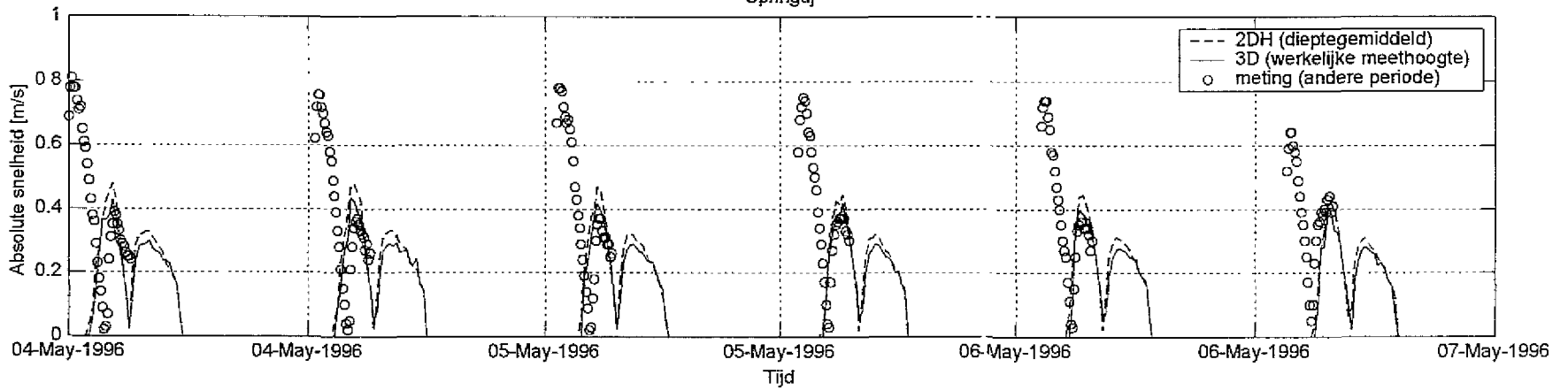
Doodtij



Normaal getij



Springtij



ROYAL HASKONING



Vergelijking 2DH en 3D model met meting

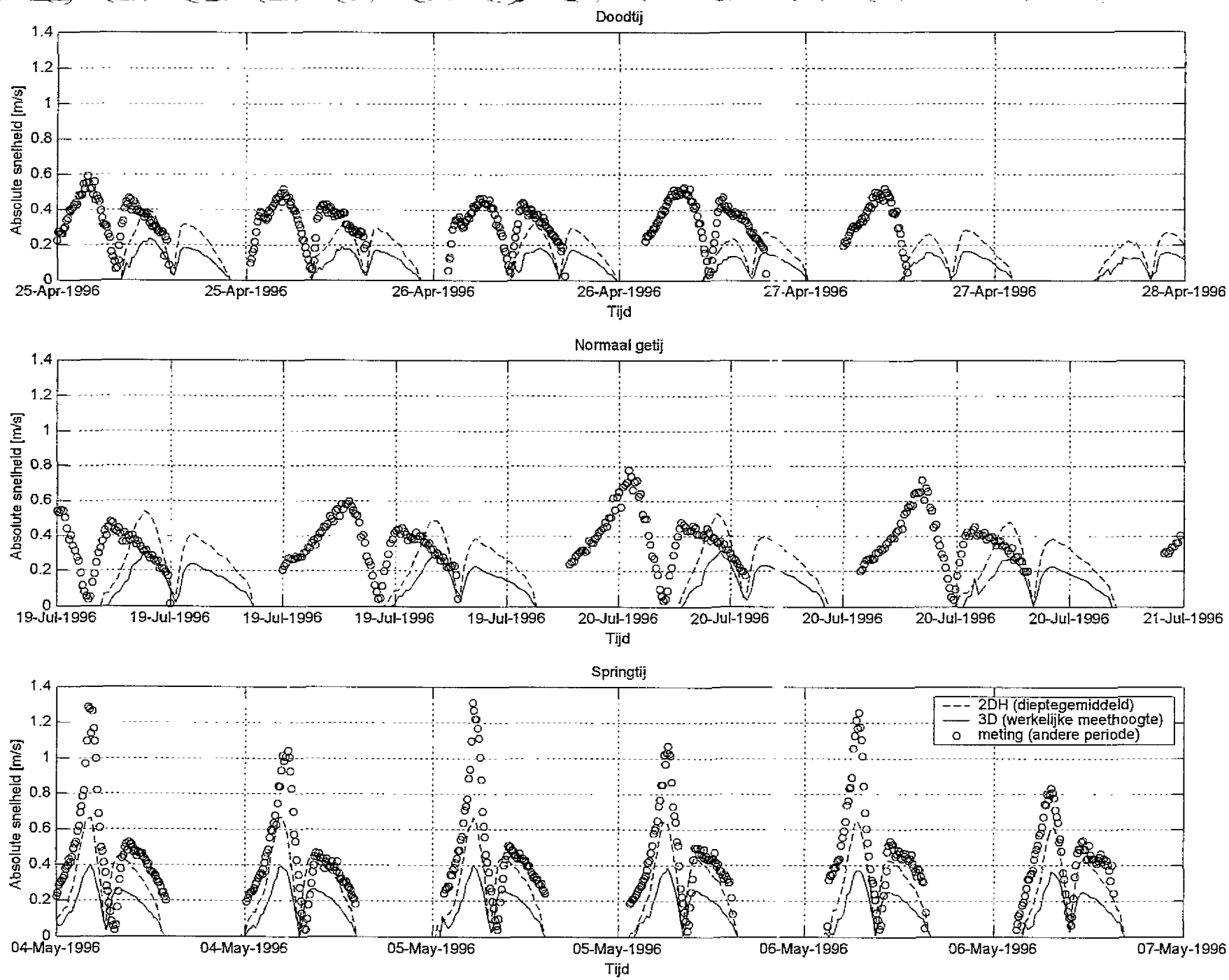
Zuidgors Oost, MP4

FIGUUR 3.13

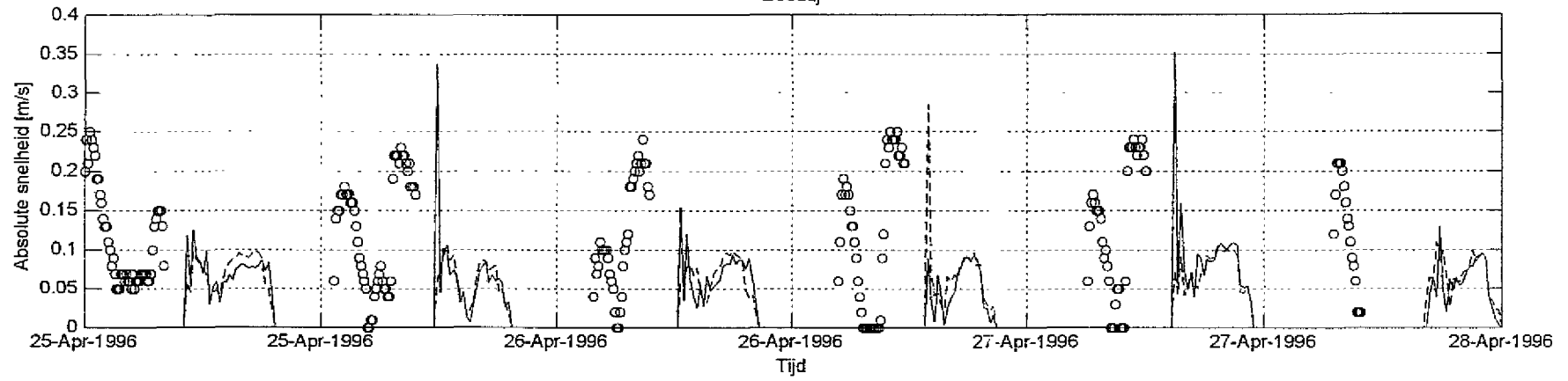
1207

01-Nov-2001

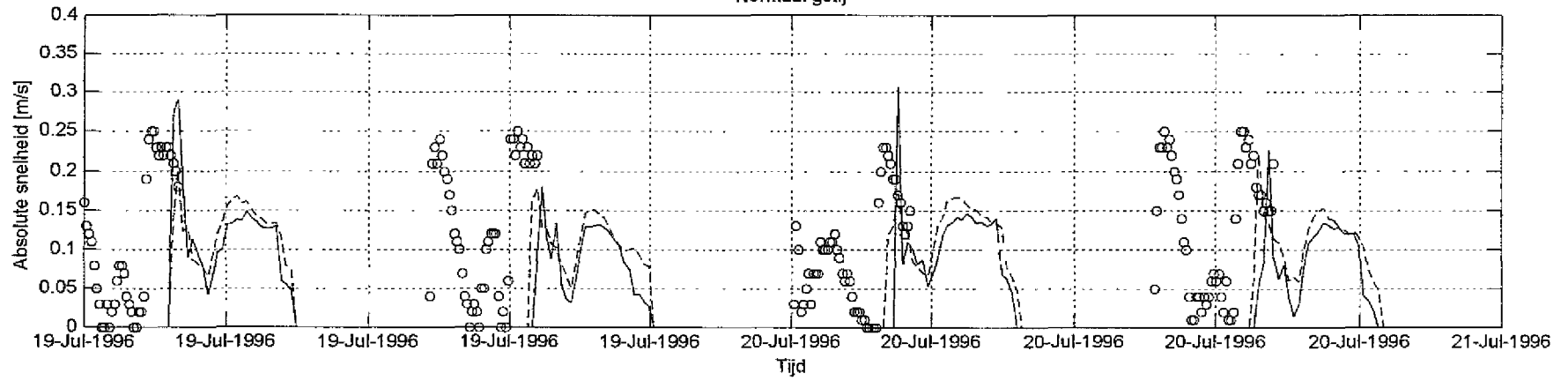
Vergelijking 2DH en 3D model met meting



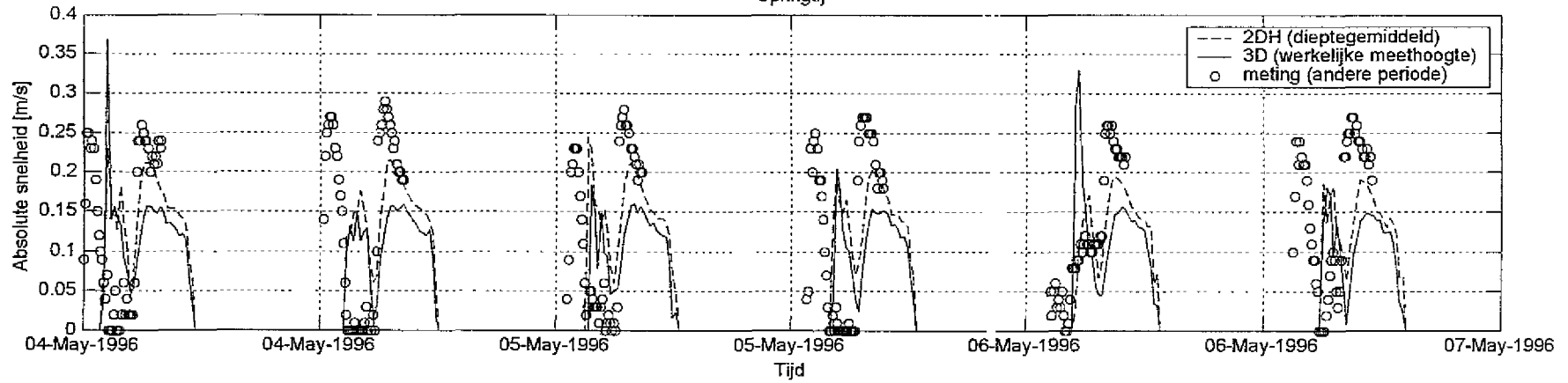
Doodtij



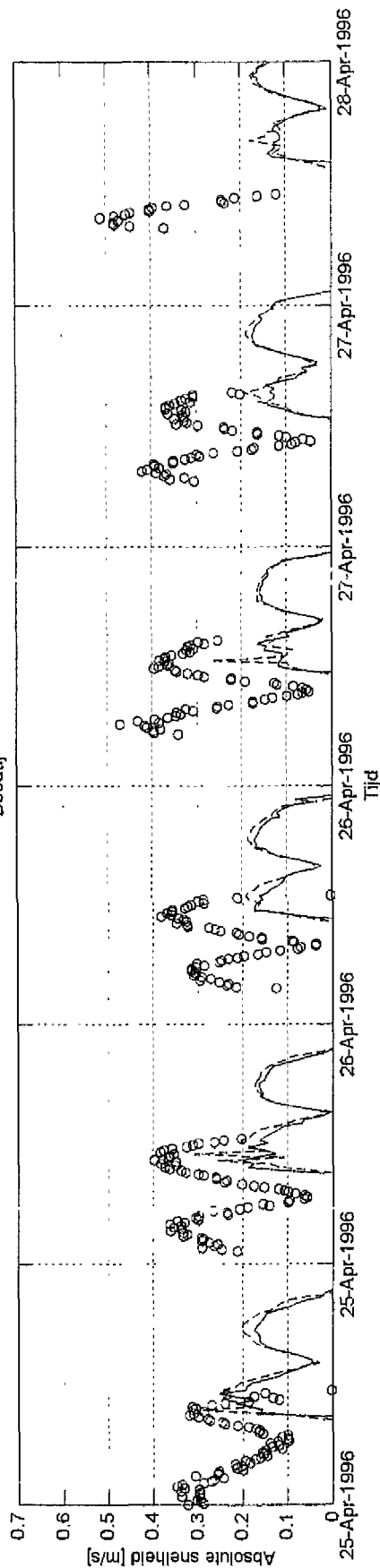
Normaal getij



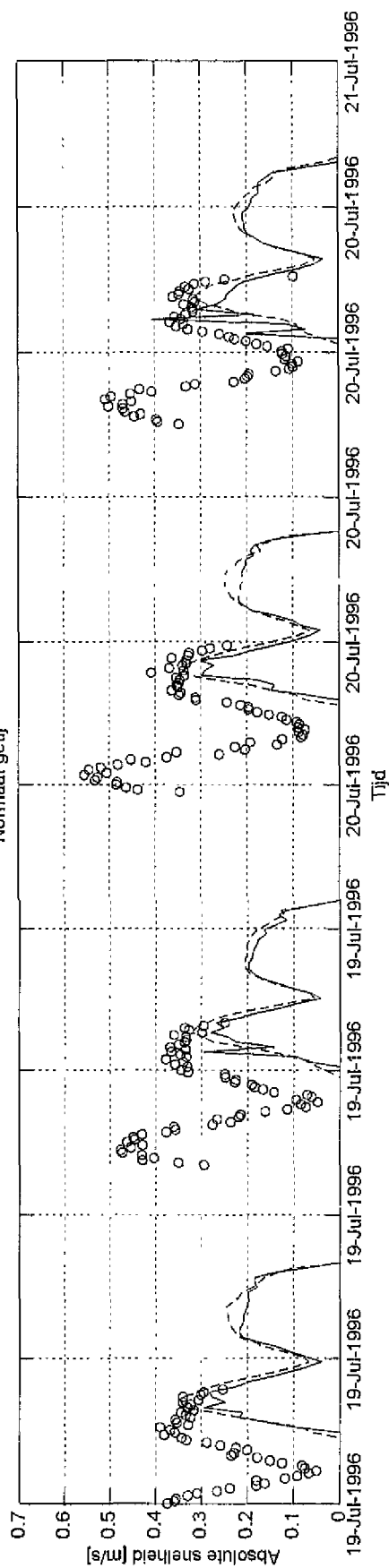
Springtij



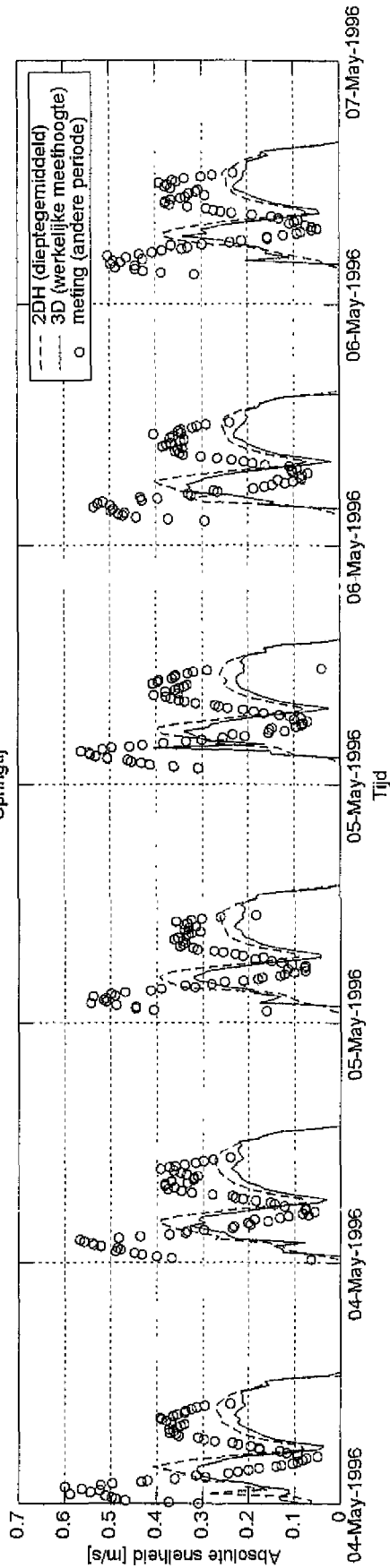
Doodtij

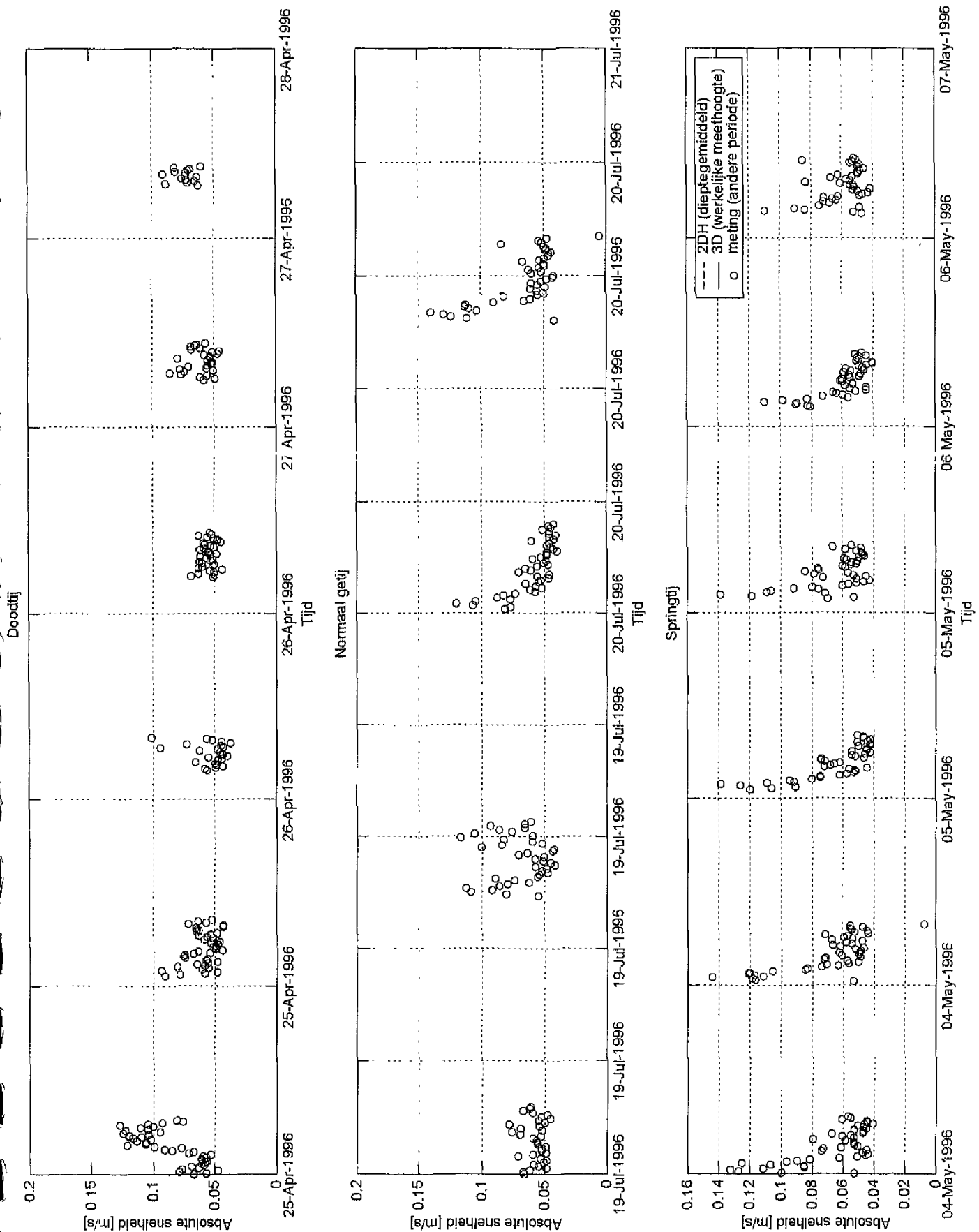


Normaal getij



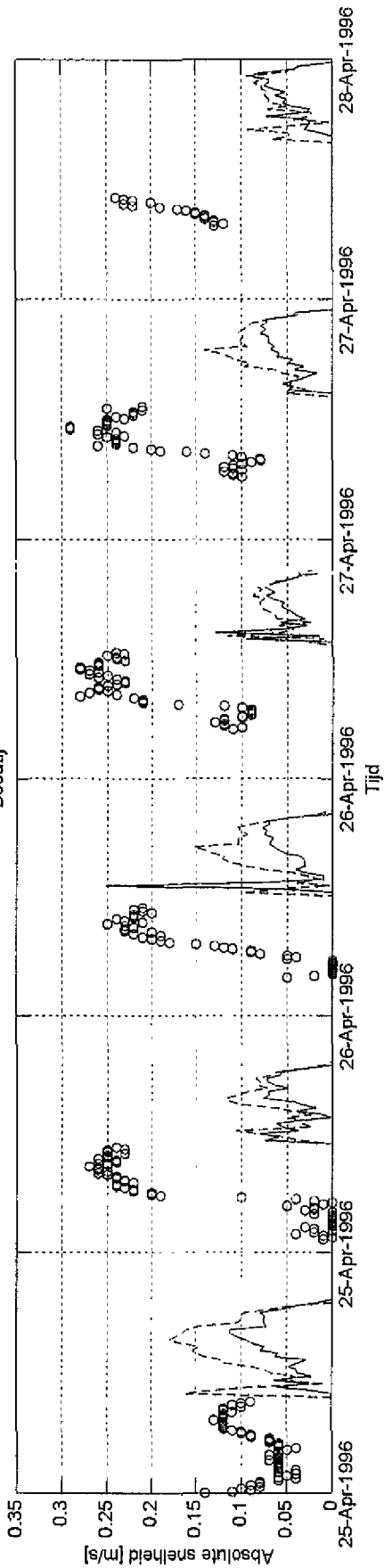
Springtij



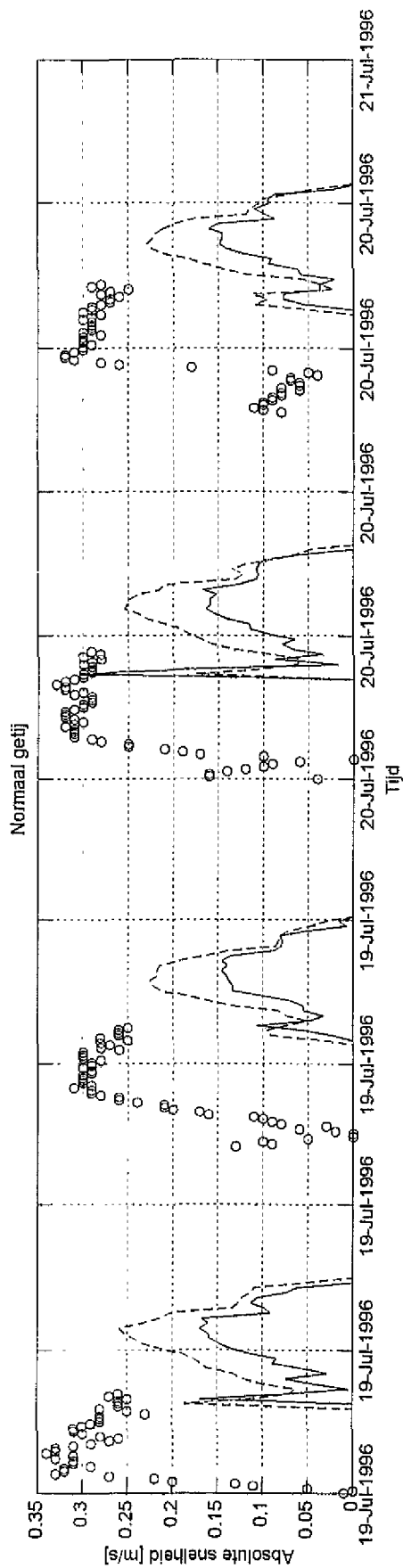




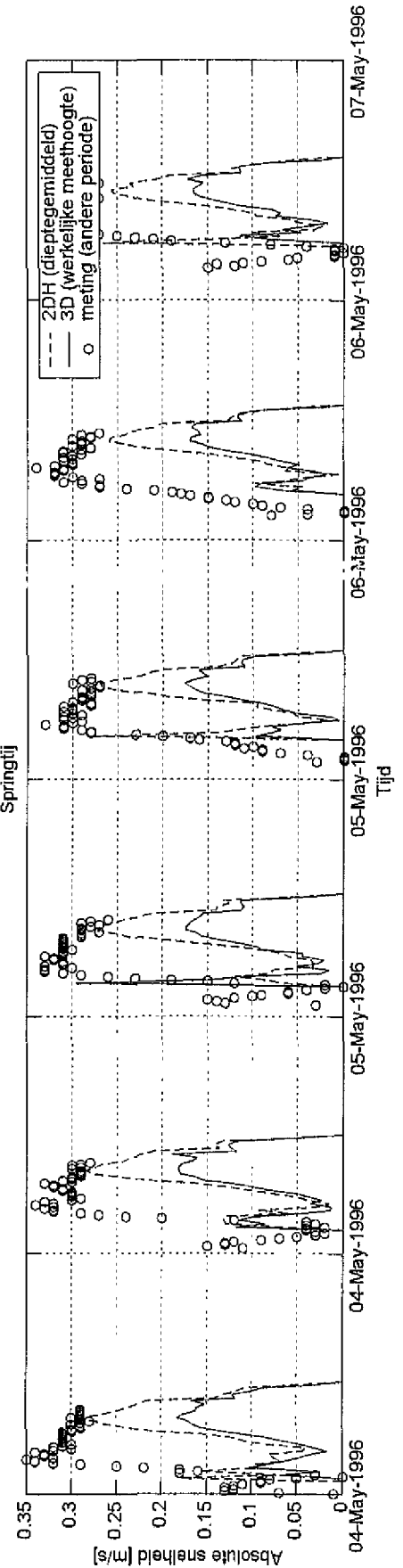
Doodtij



Normaal getij



Springtij



Vergelijking 2DH en 3D model met meting

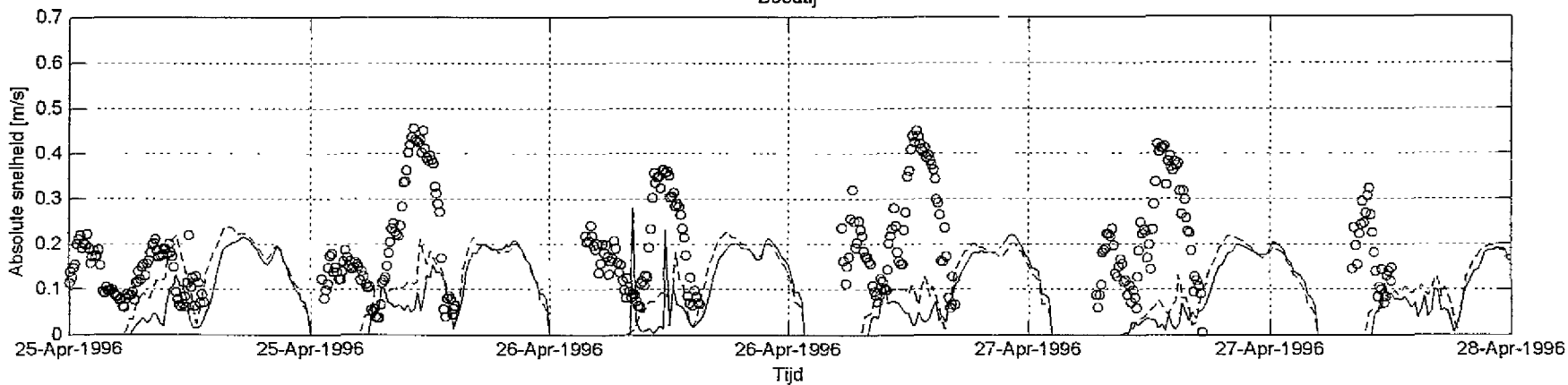
FIGUUR 3.18

1207

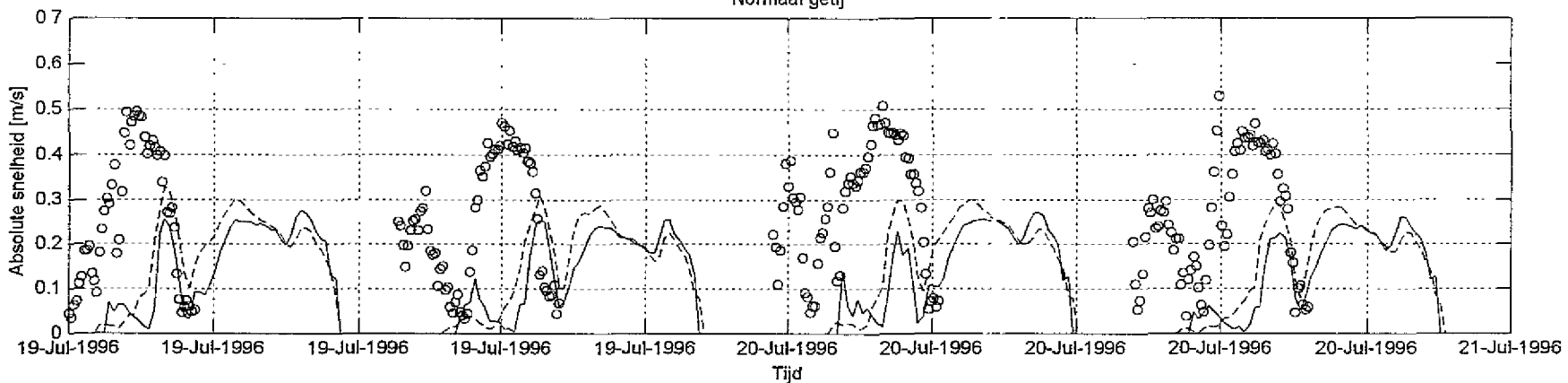
Paulina, MP4

01-Nov-2001

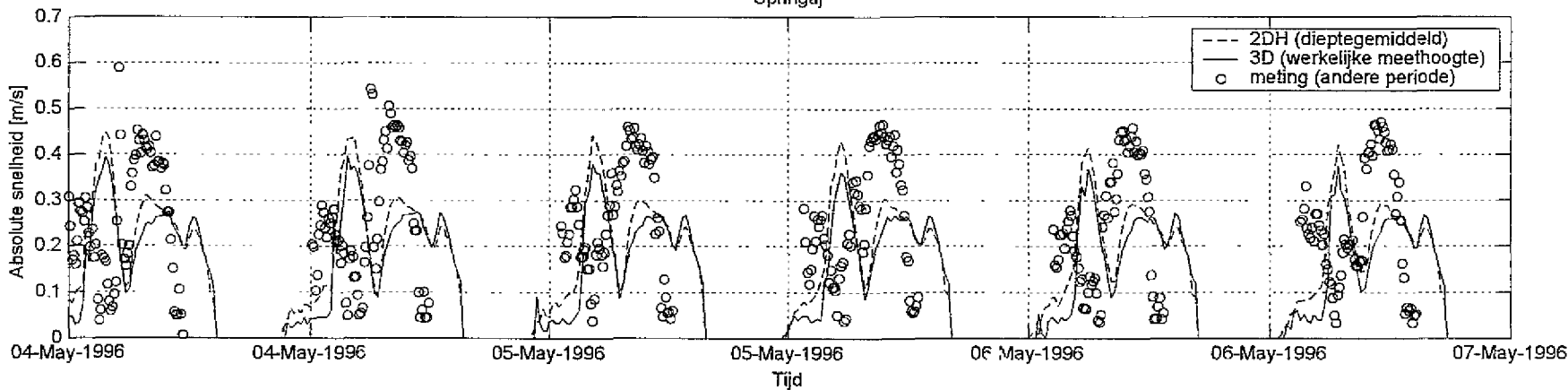
Doodtij

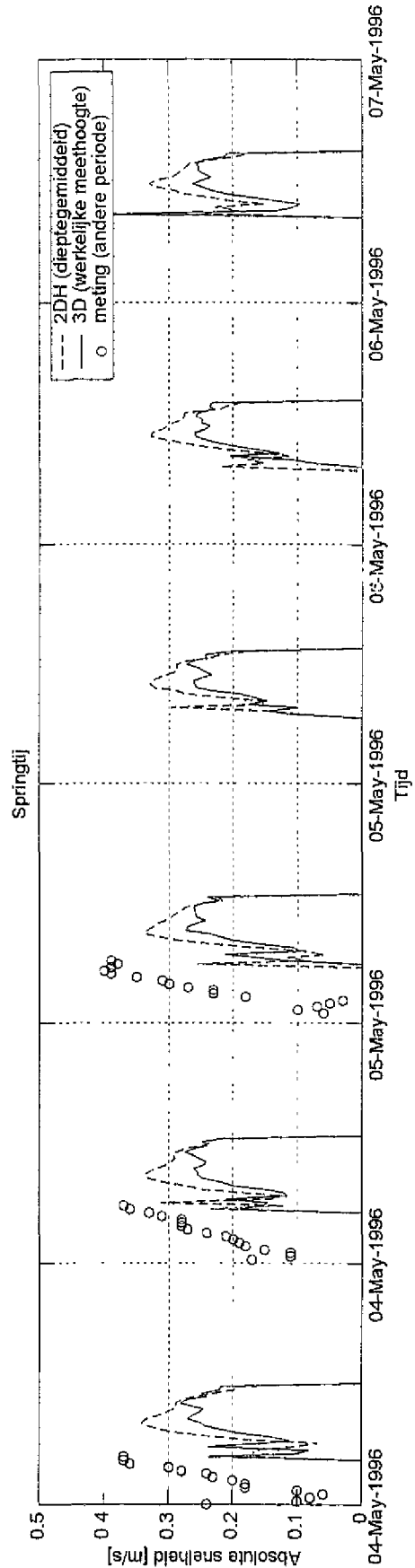
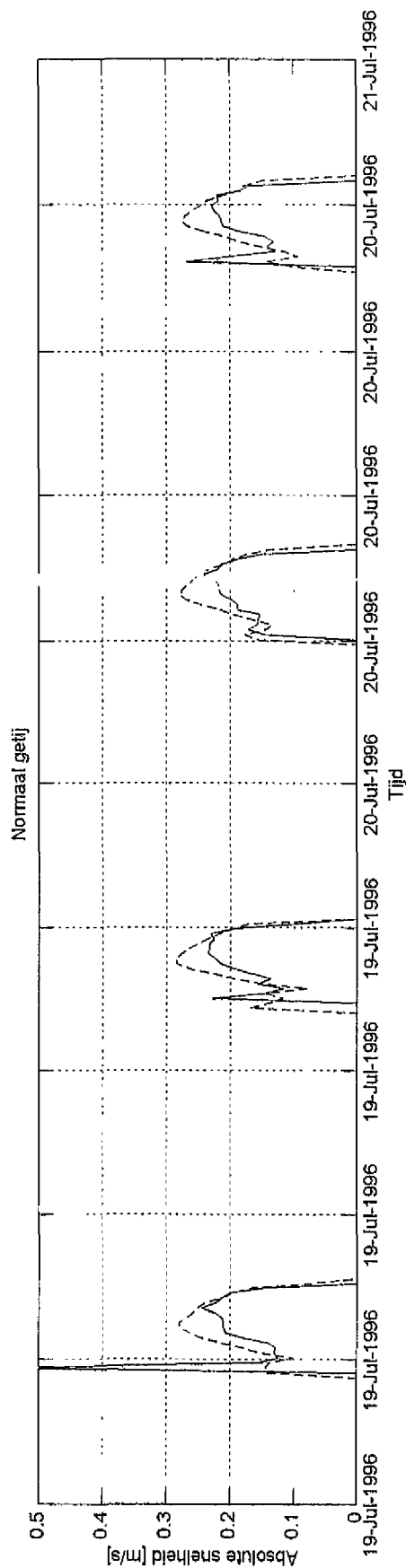
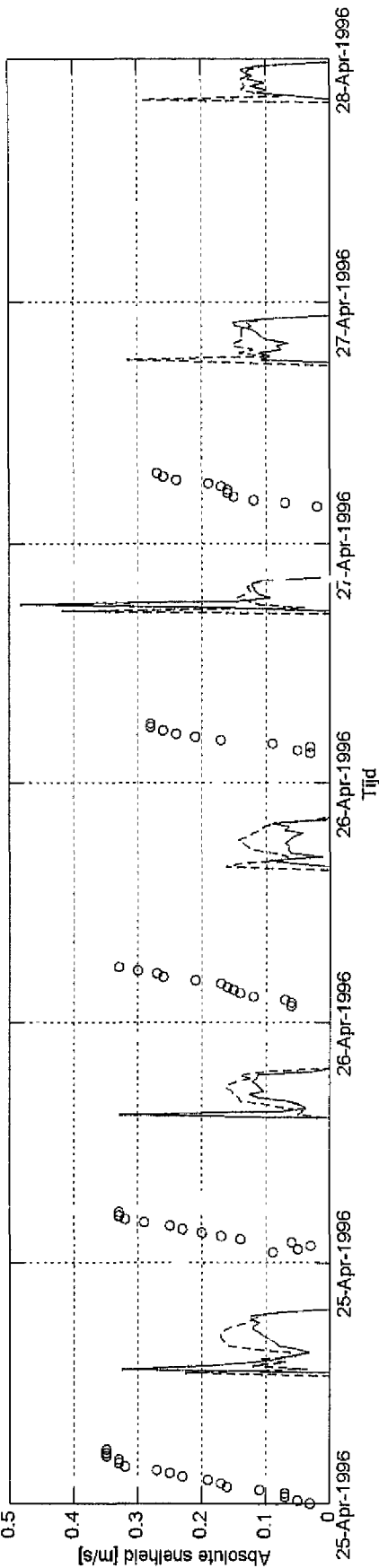


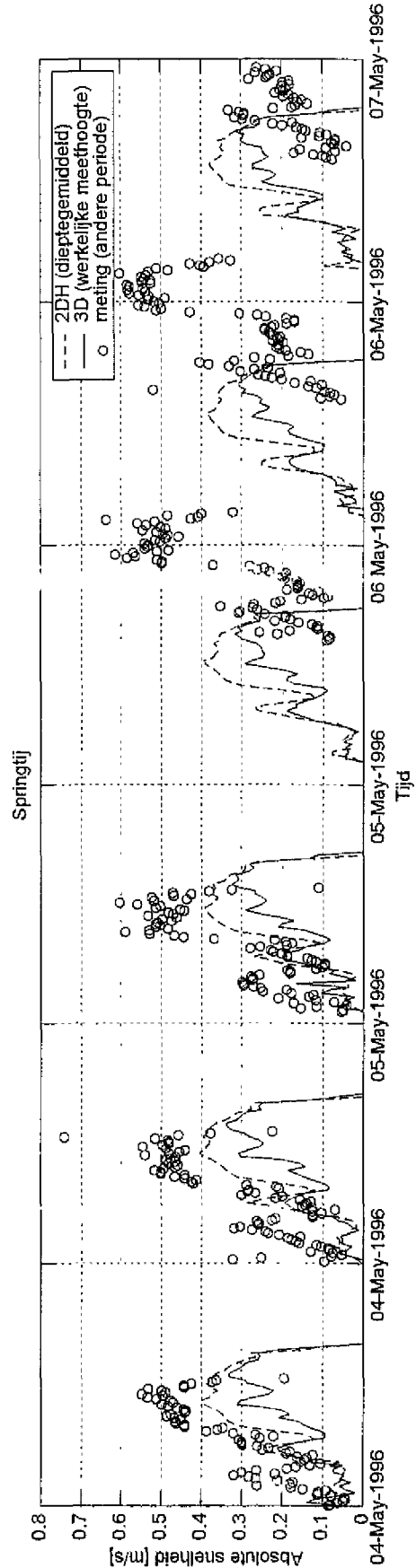
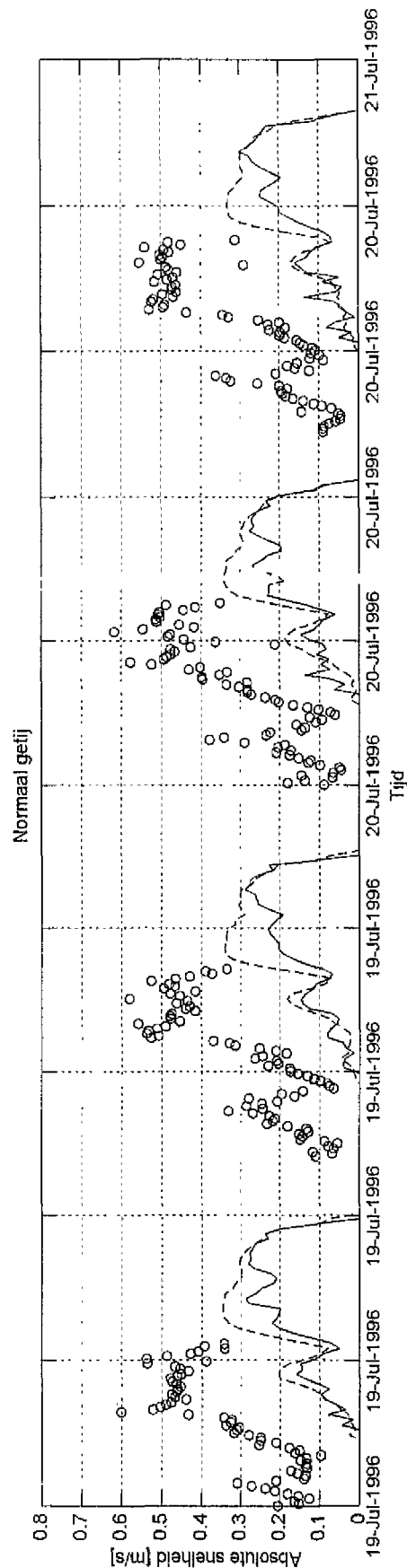
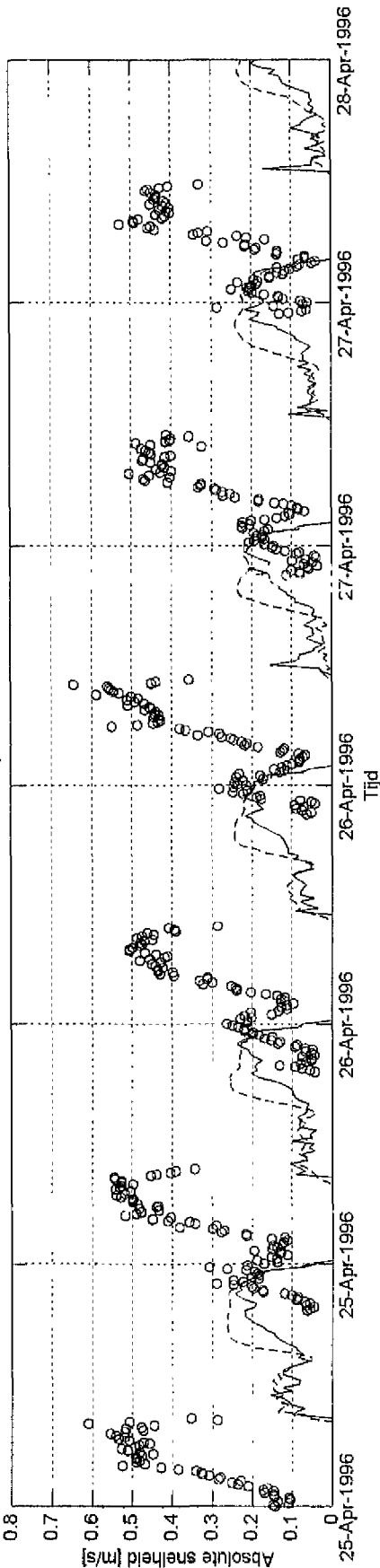
Normaal getij

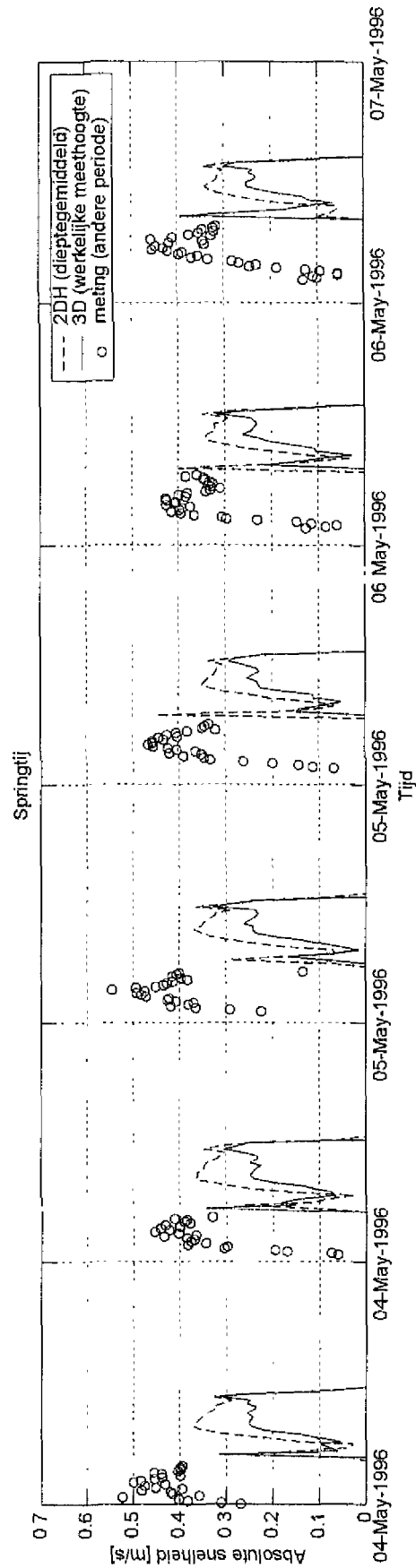
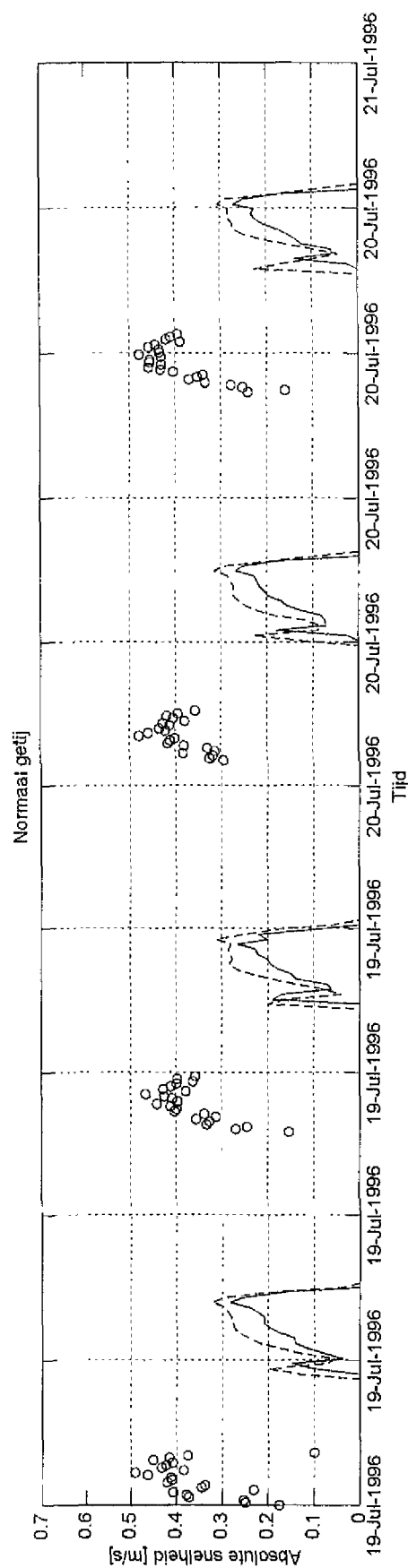
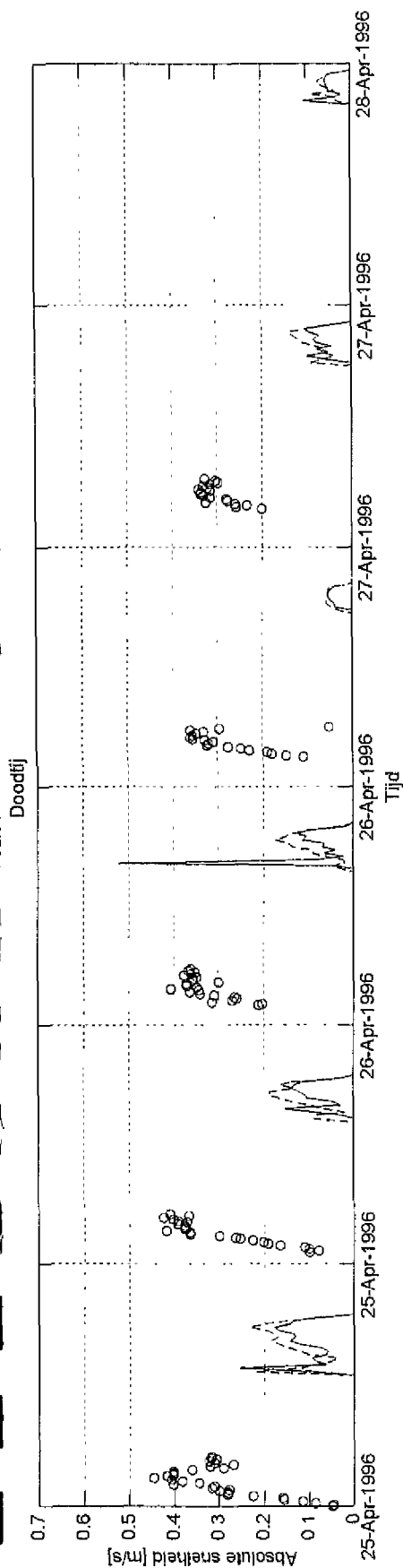


Springtij

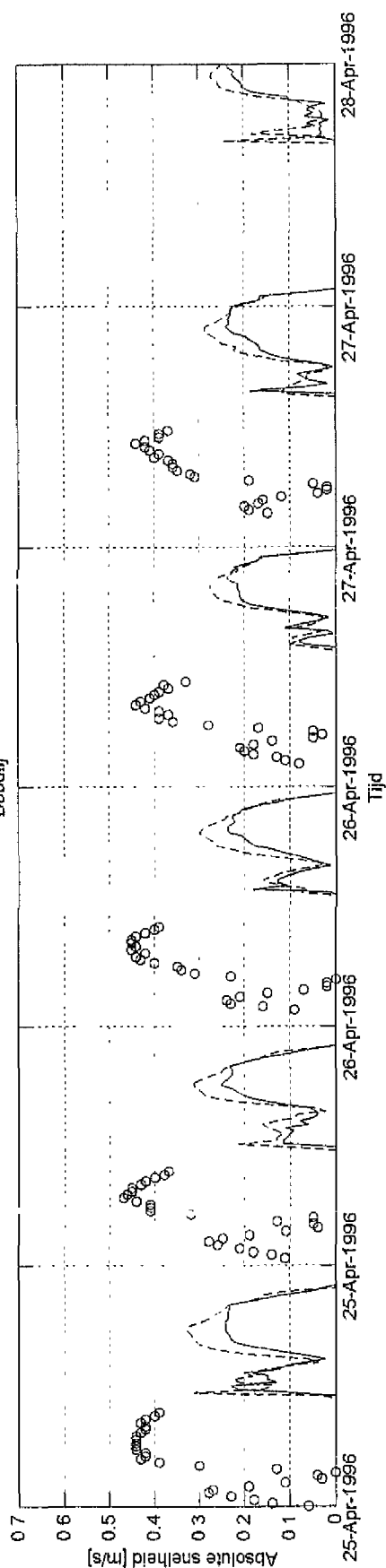




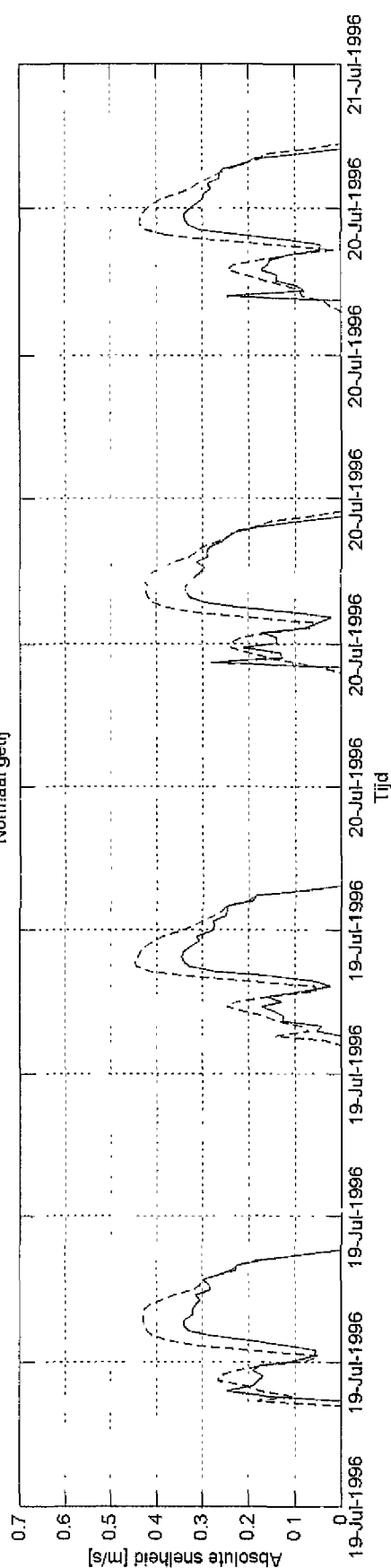




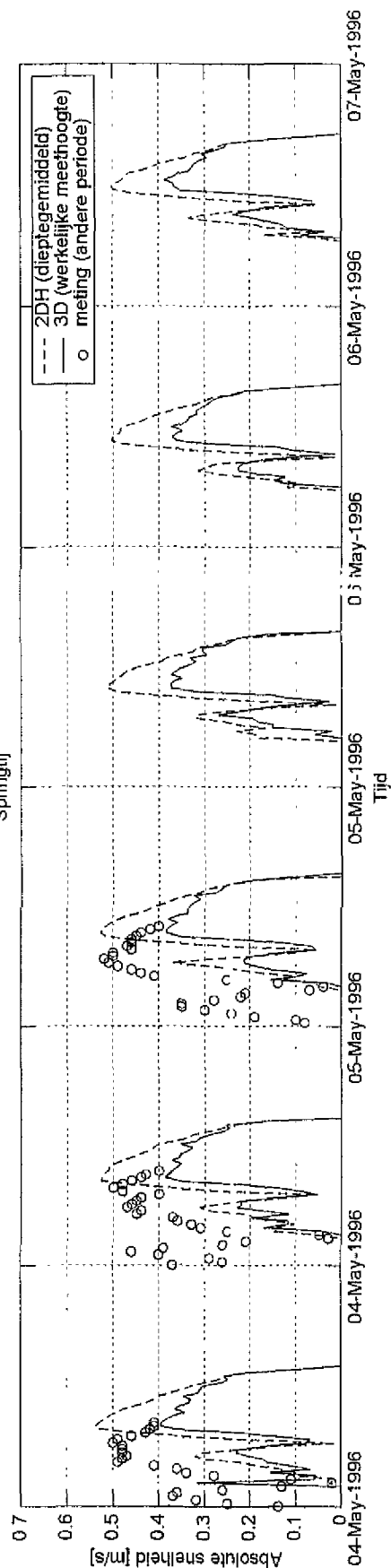
Doodtij



Normaal getij



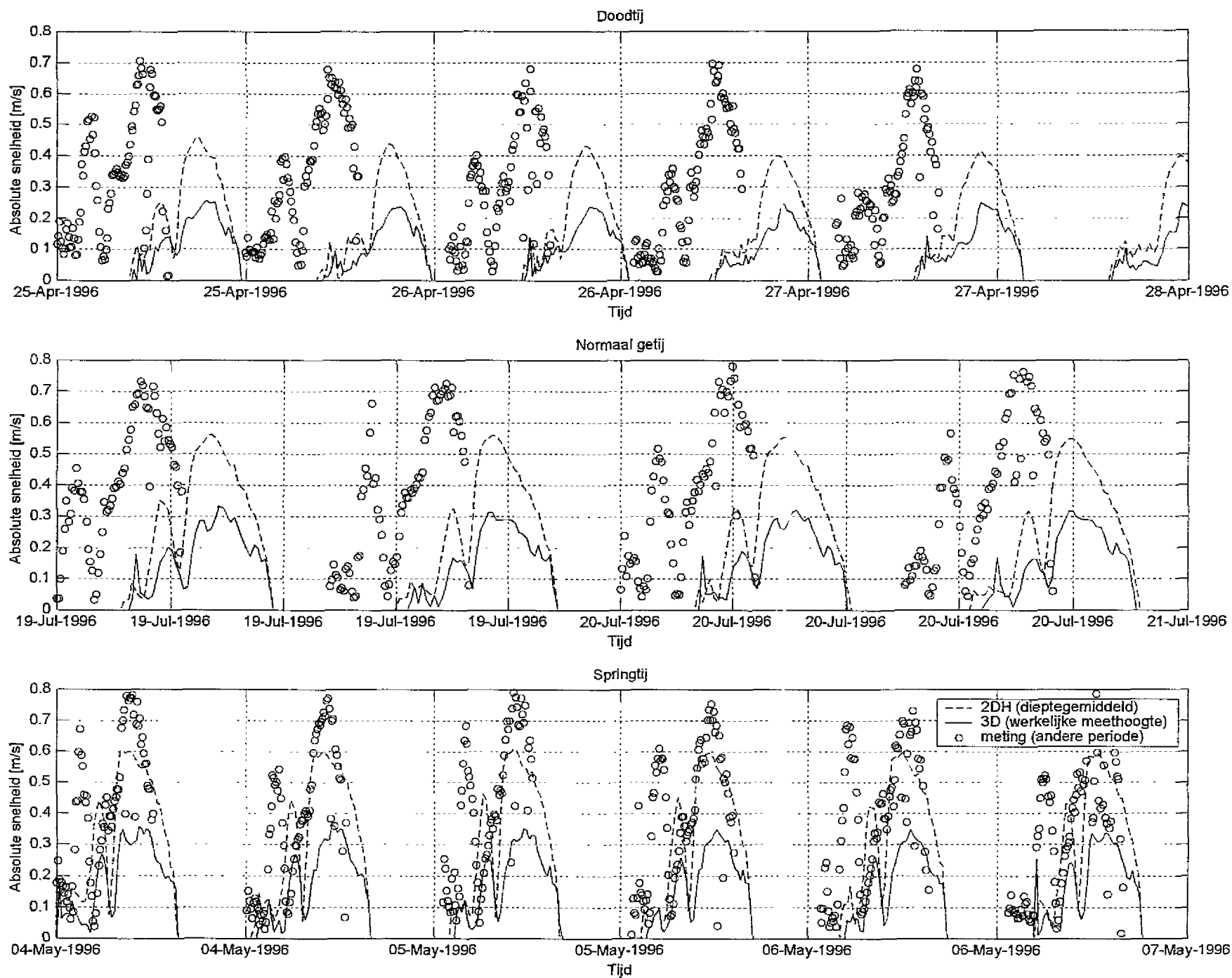
Springtij

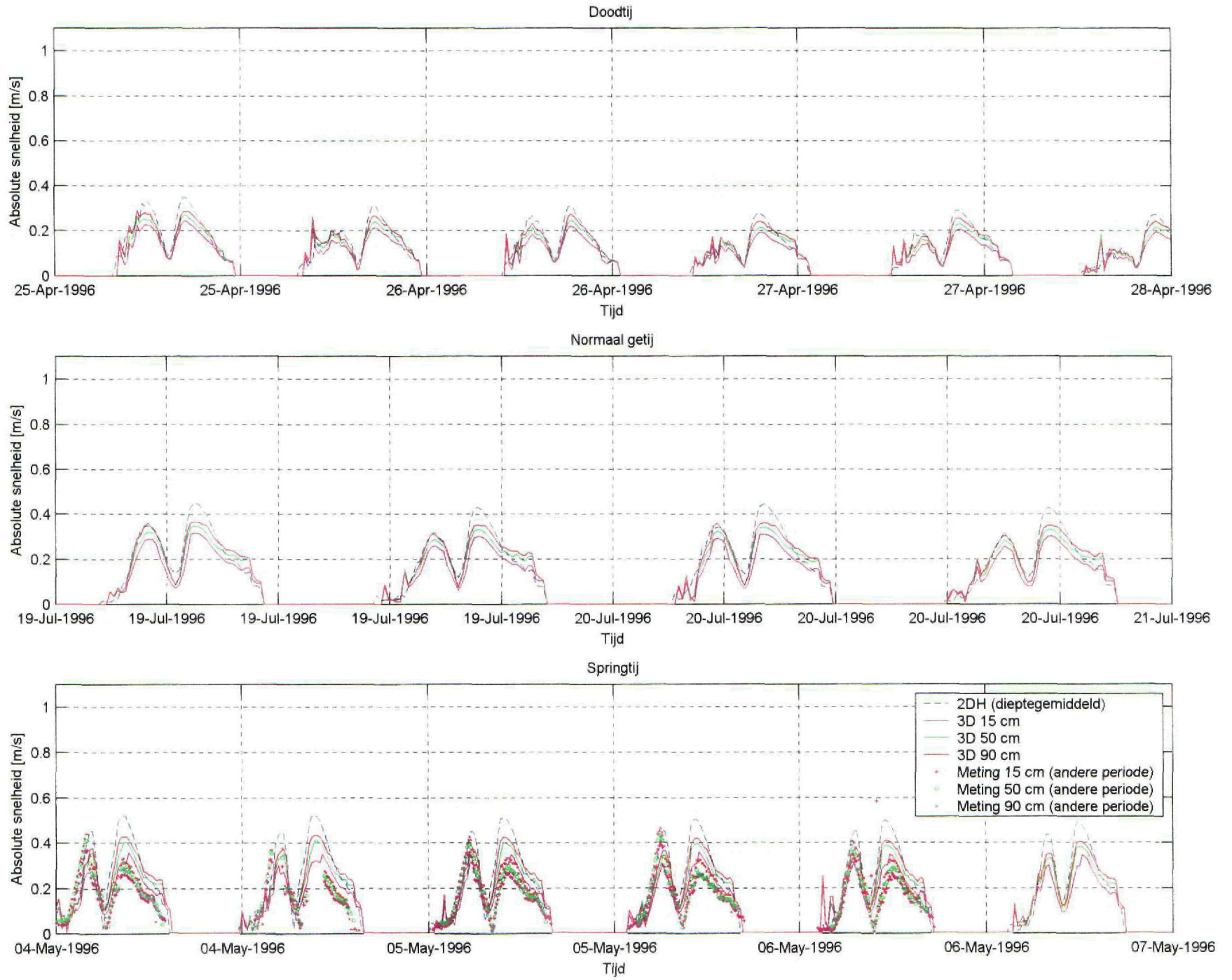


Vergelijking 2DH en 3D model met meting

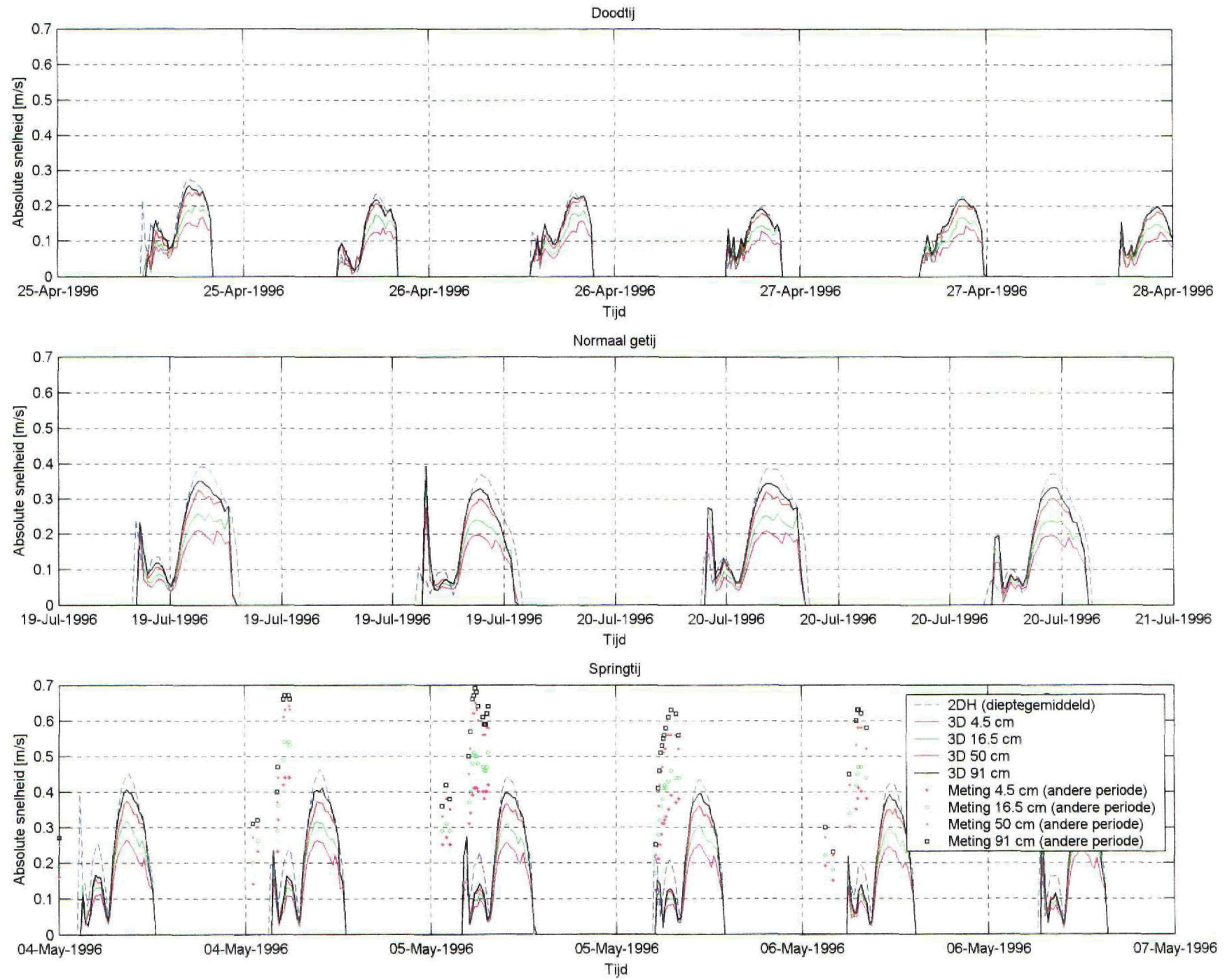
FIGUUR 3.23

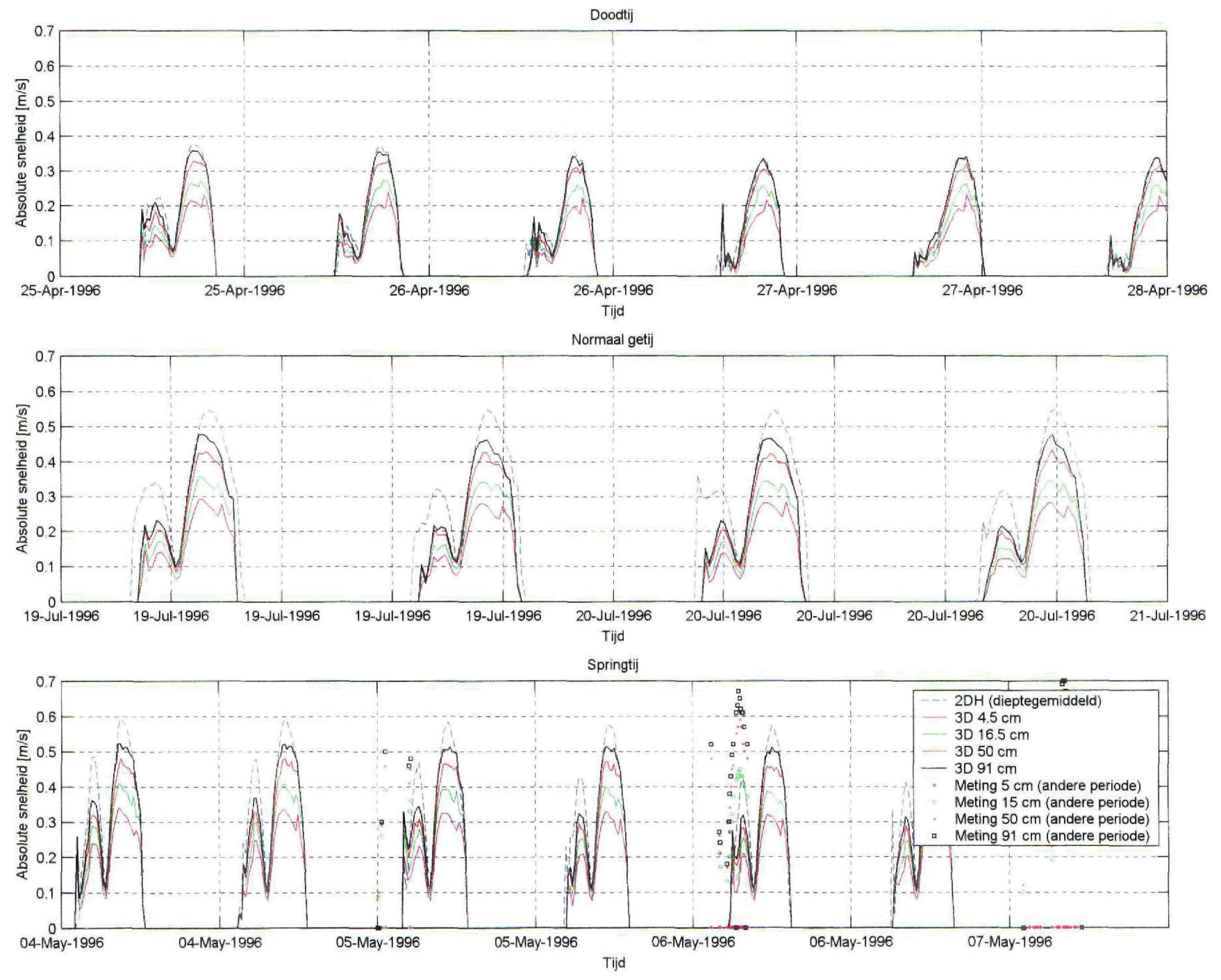
Vergelijking 2DH en 3D model met meting

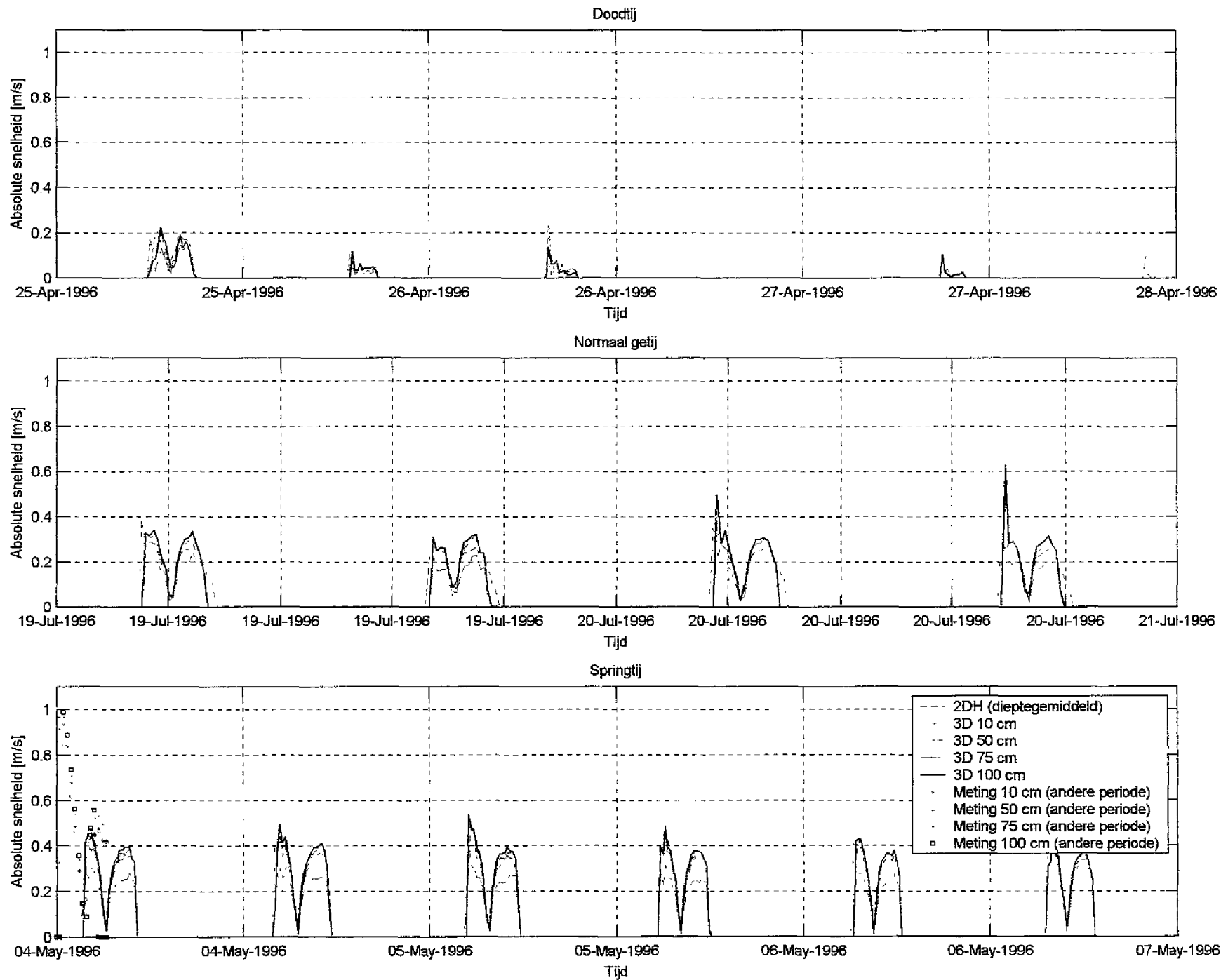




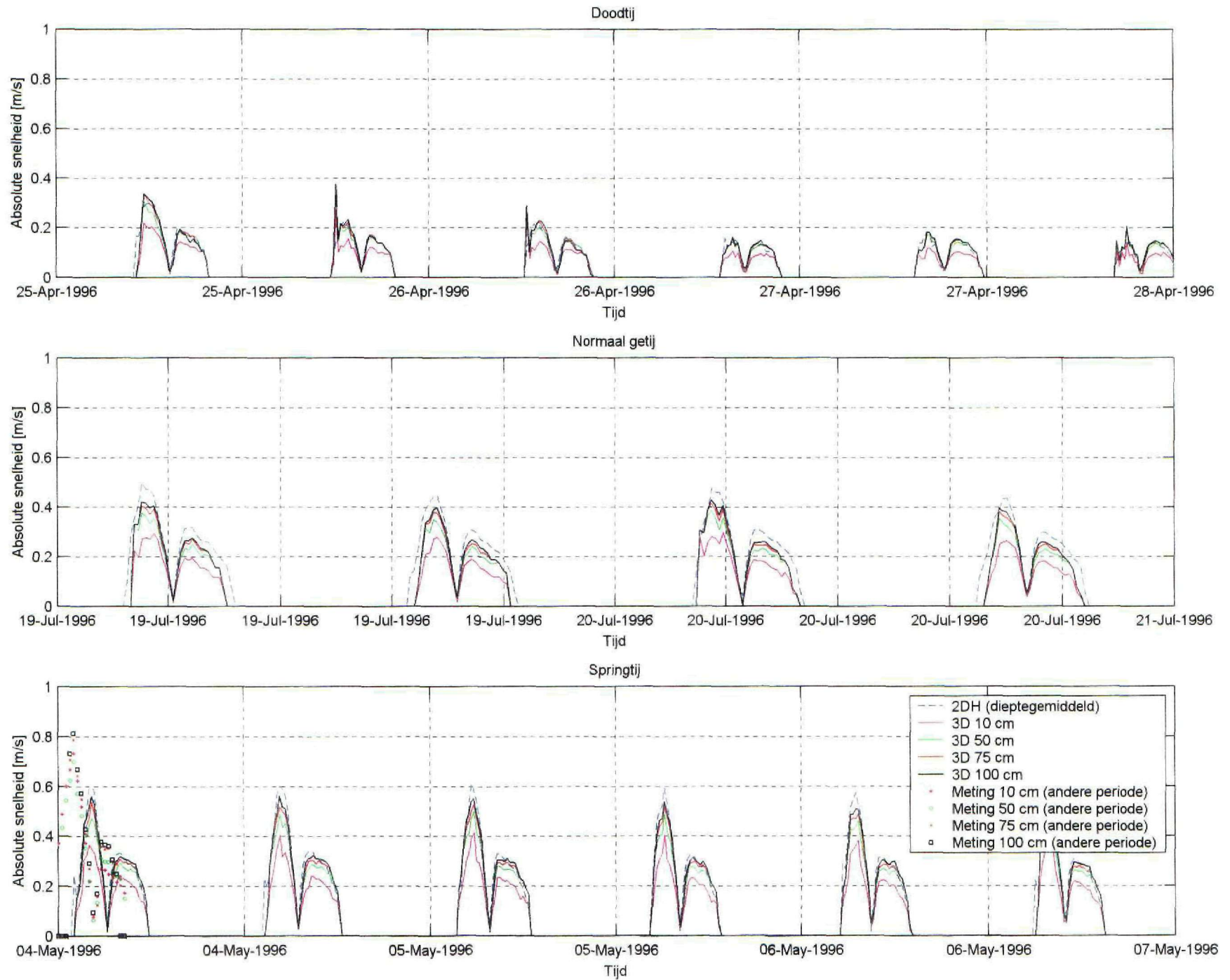




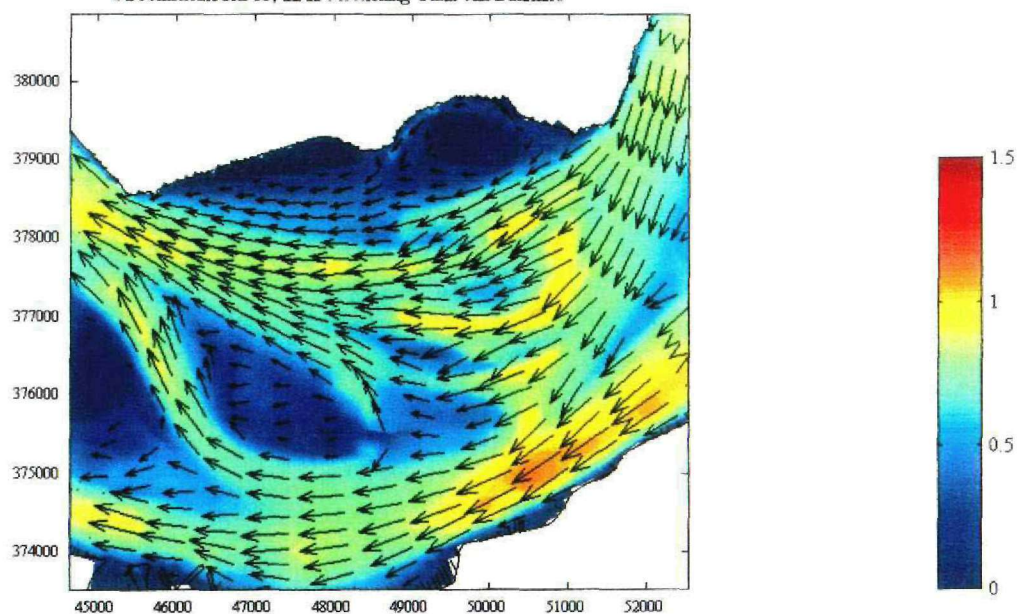




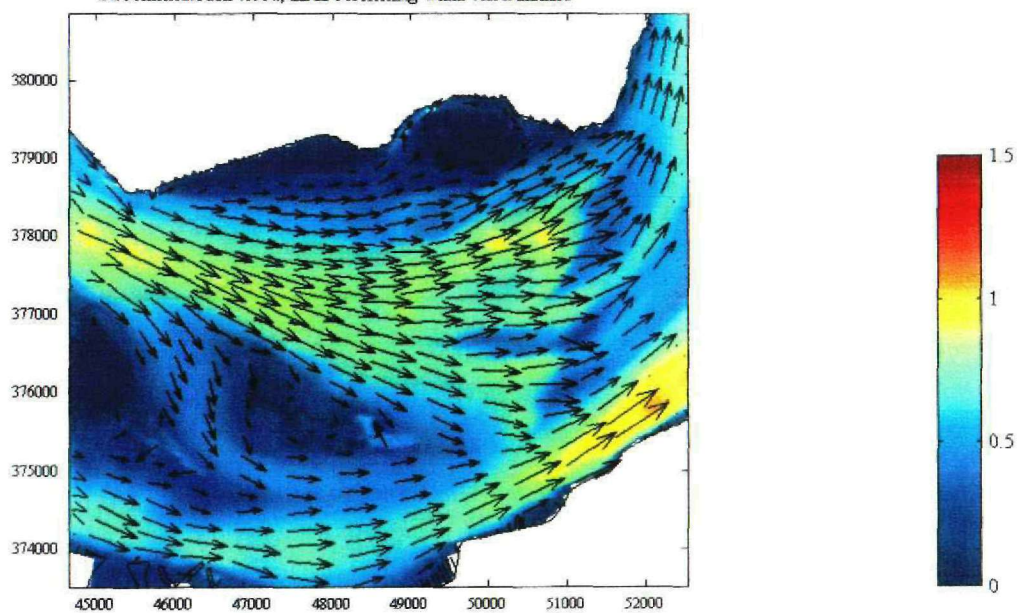




Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Plaat van Baarland



Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Plaat van Baarland



ROYAL HASKONING

isnelheden per punt doottij, Westelijk slik en plaat, Scalwest-2DH berekening LAGE 3.30

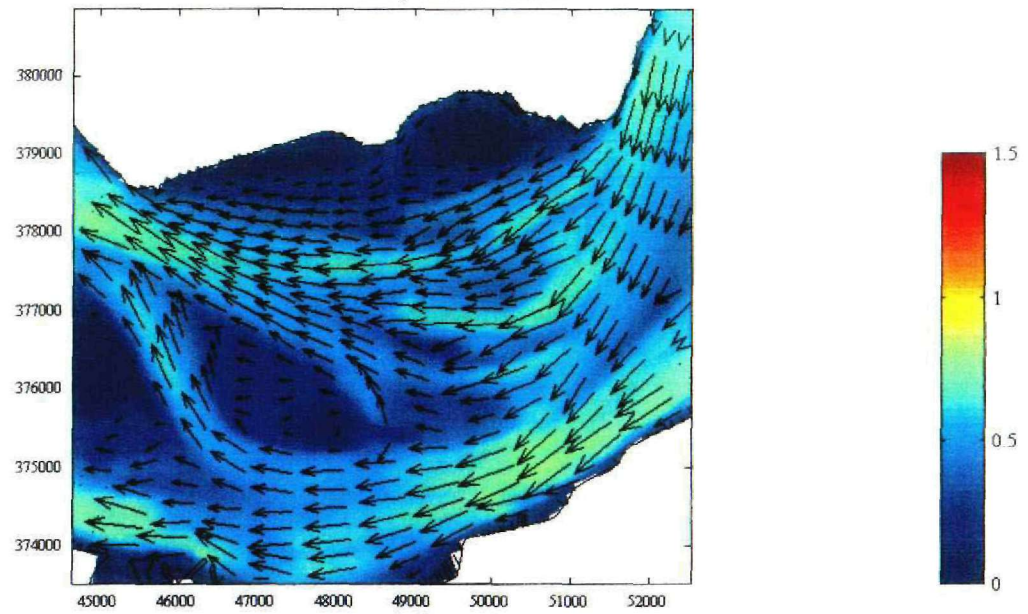
1207

3D stromingsinformatie voor de ecologie

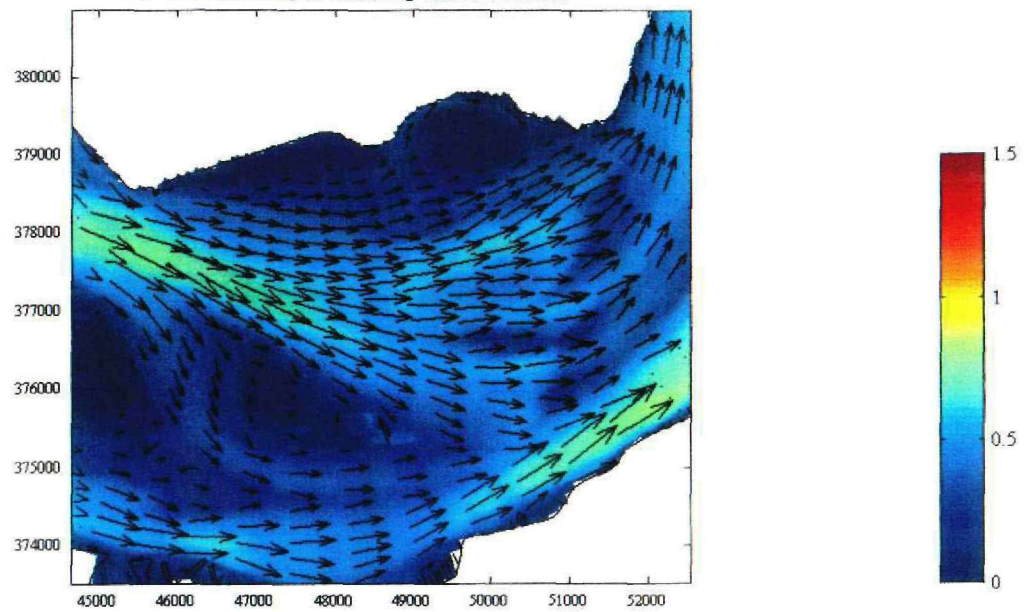
15-Nov-2001

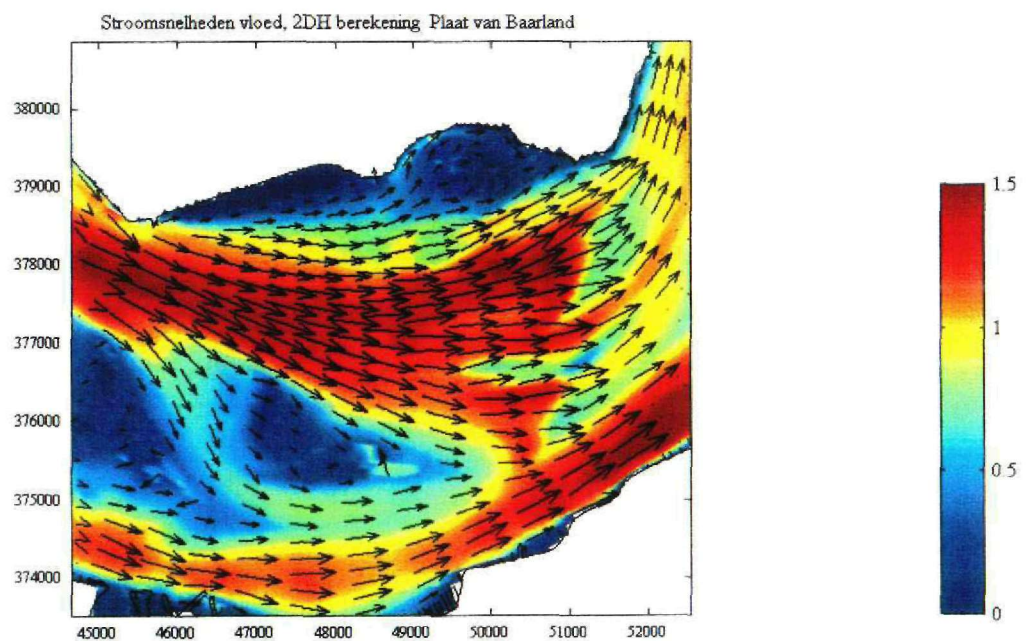
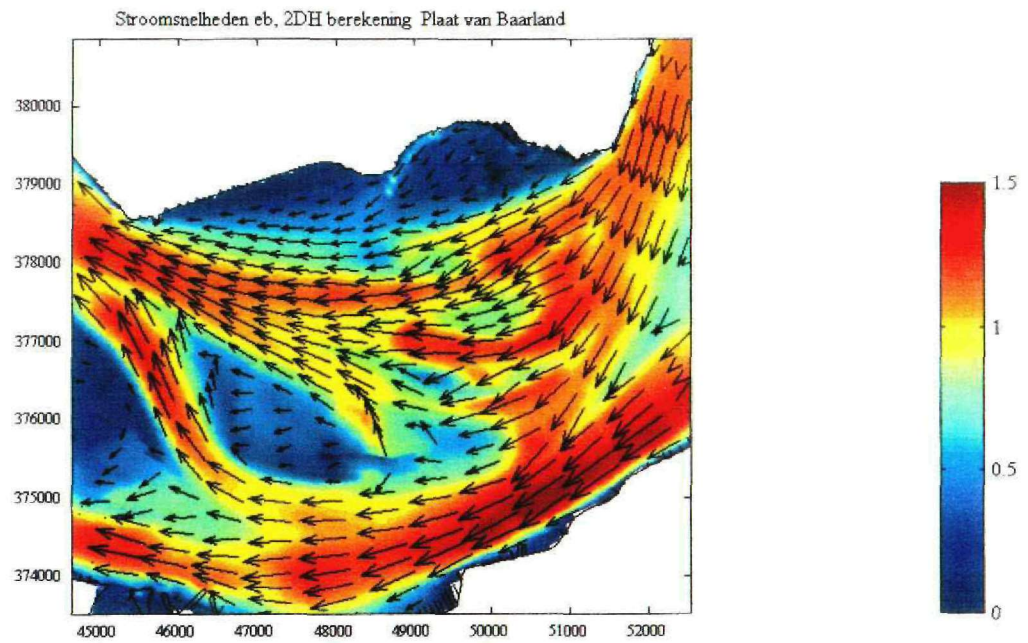


Stroomsnelheden eb, 3D berekening Plaat van Baarland



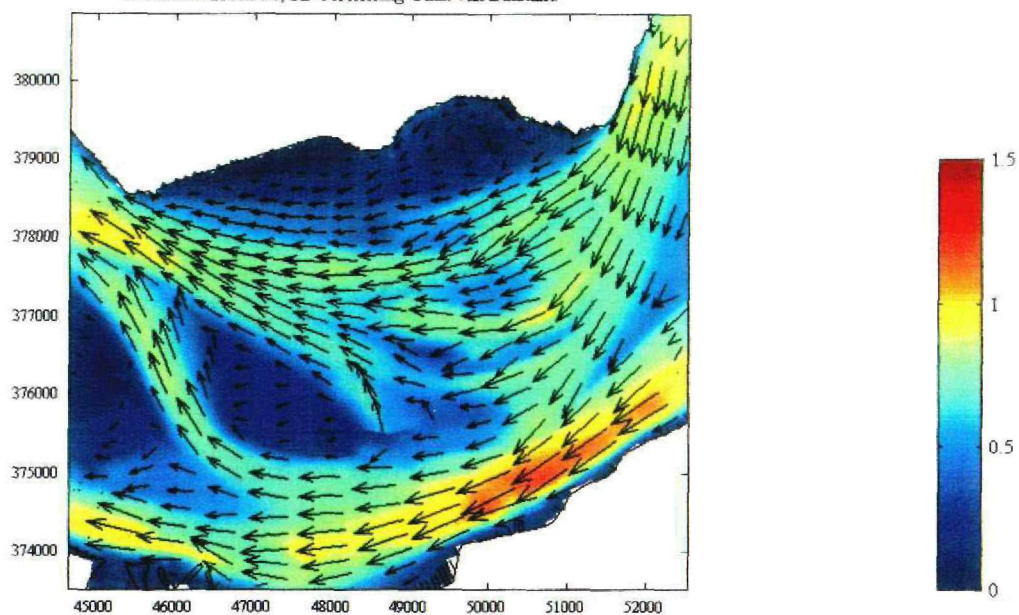
Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Plaat van Baarland



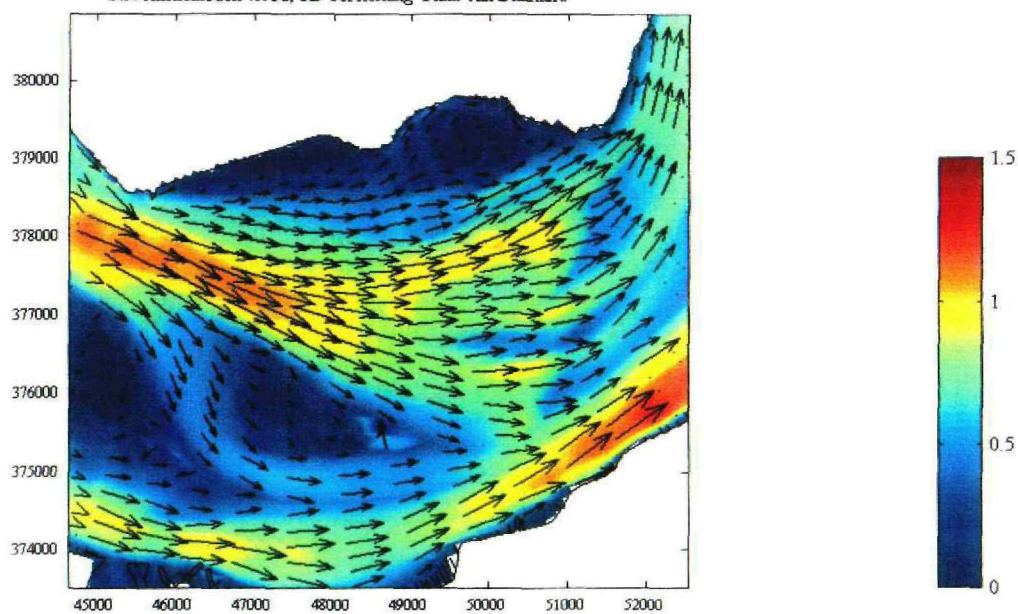




Stroomsnelheden eb, 3D berekening Plaat van Baarland



Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Plaat van Baarland



ROYAL HASKONING

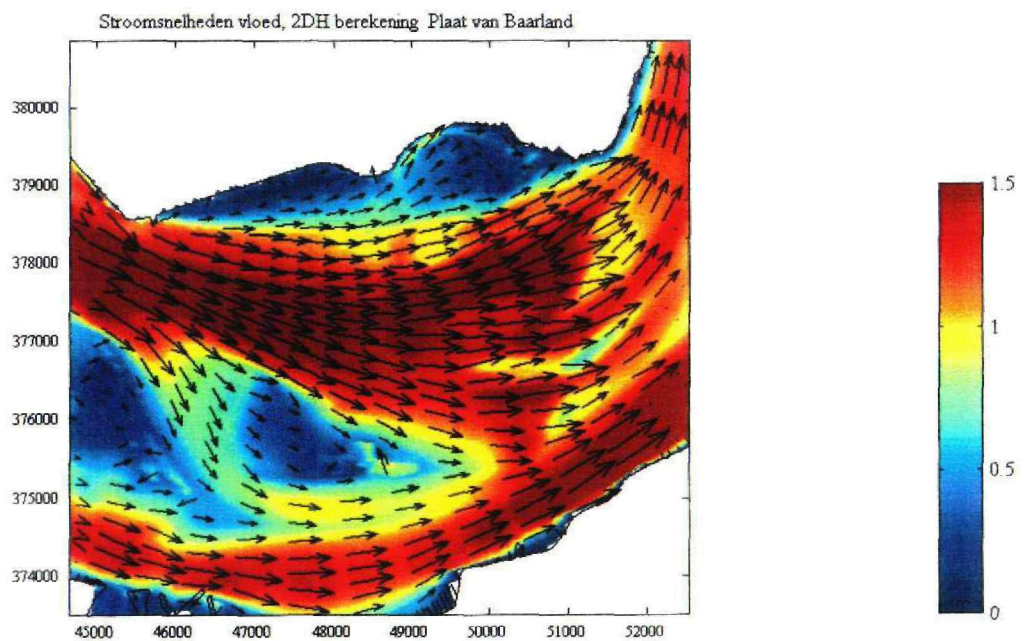
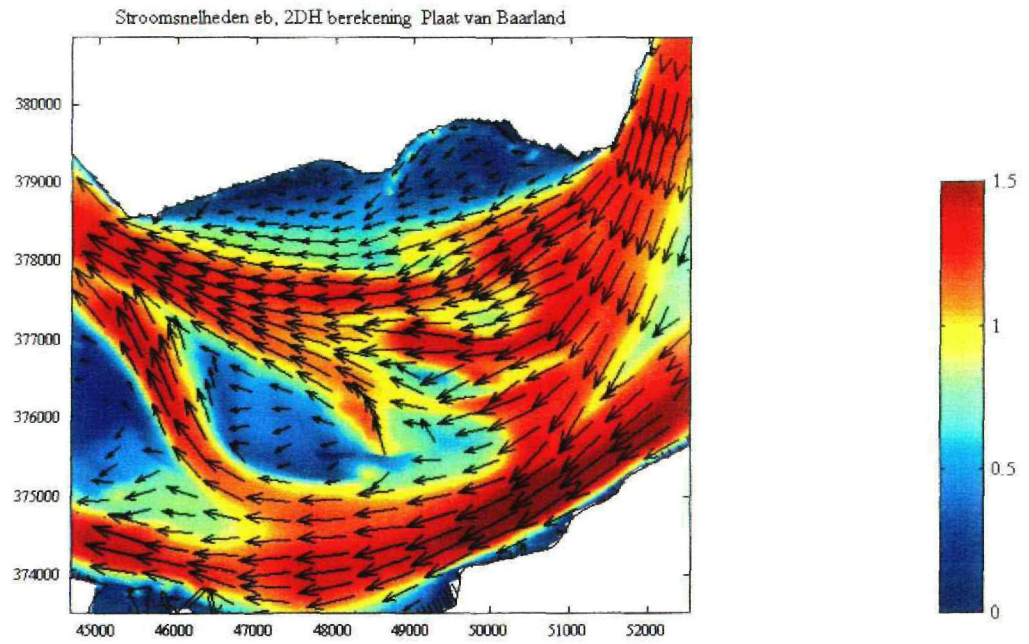
Stroomsnelheden per punt gemiddeld tij, Westelijk slik en plaat, Scalwest-3D berekening, versie 3.33

1207

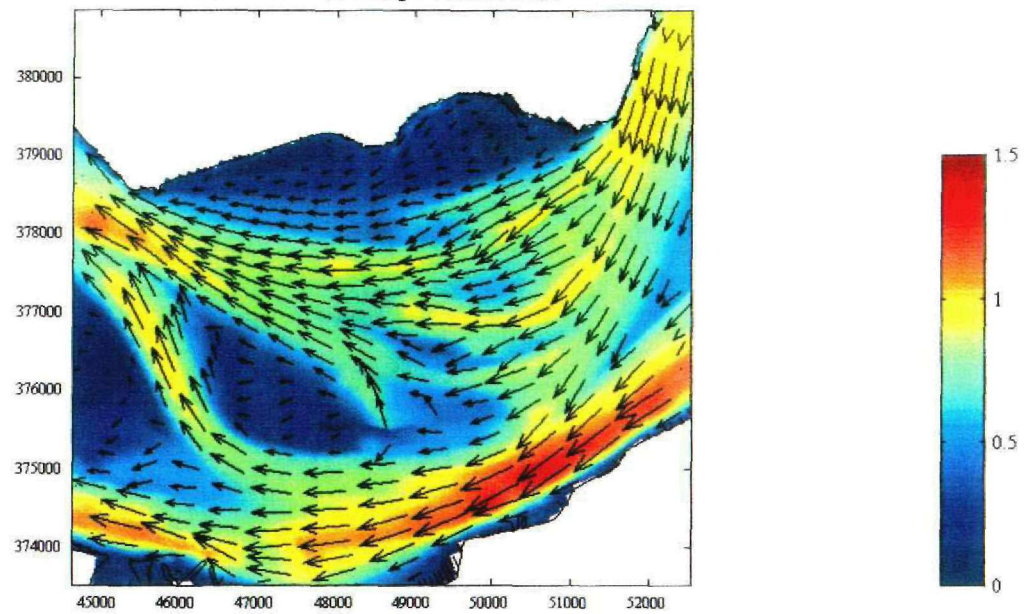
3D stromingsinformatie voor de ecologie

15-Nov-2001

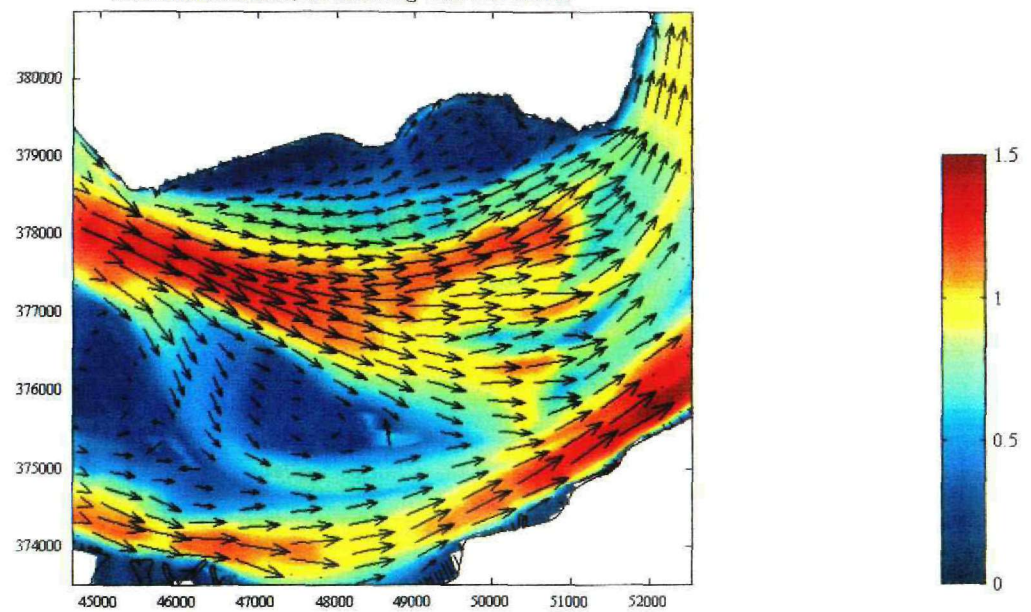




Stroomsnelheden eb, 3D berekening Plaat van Baarland

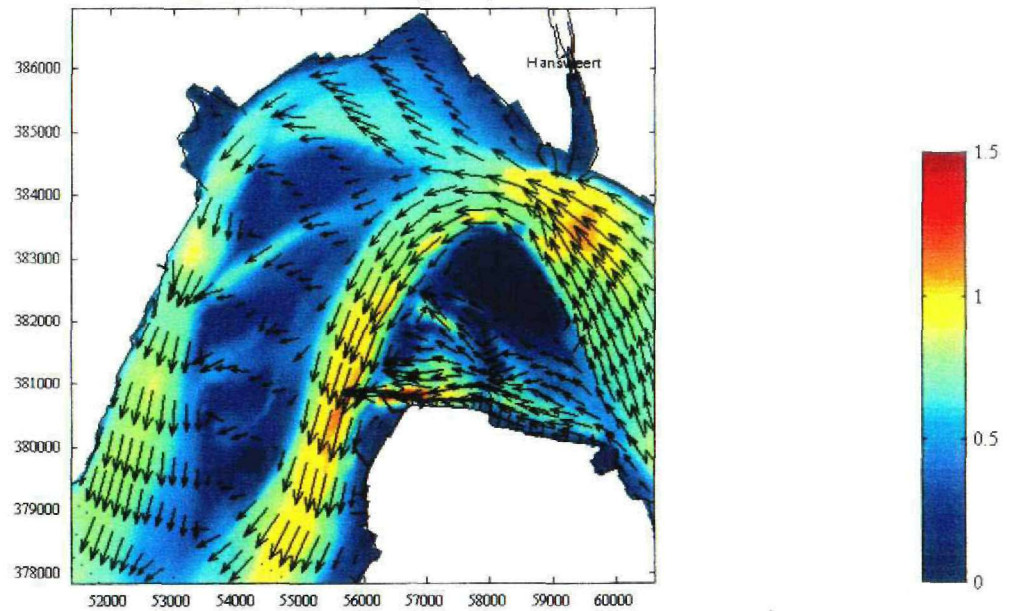


Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Plaat van Baarland

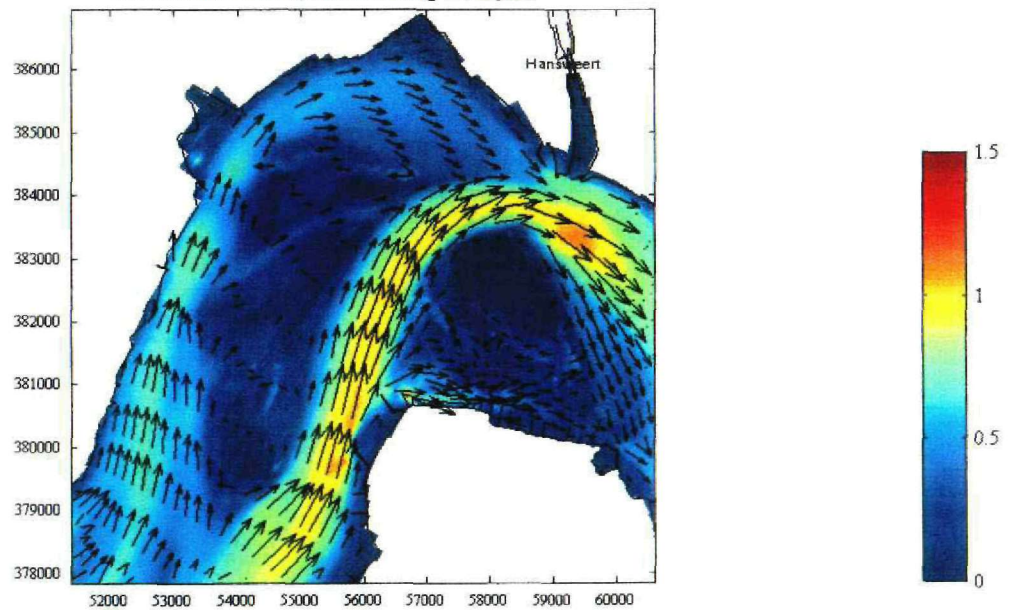




Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Molenplaat



Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Molenplaat



ROYAL HASKONING

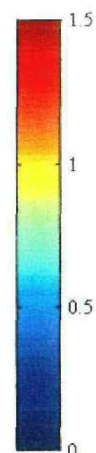
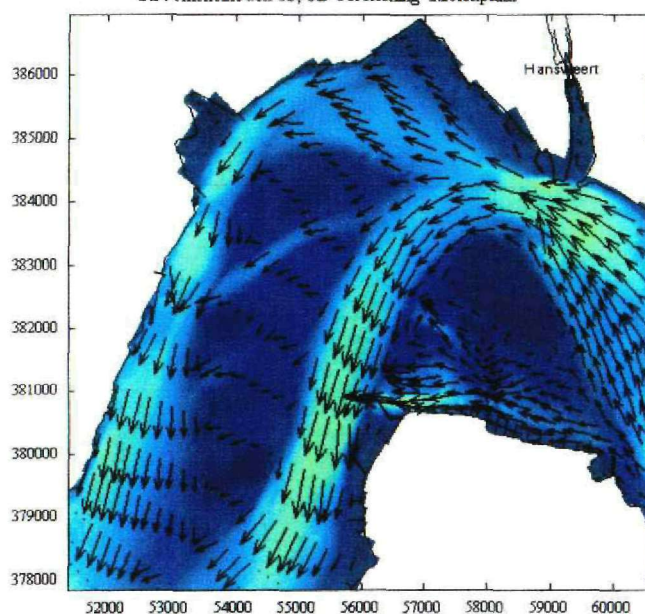
stroomsnelheden per punt doottij, Lage plaat, Scalwest-2DH berekening **BIJLAGE 3.36**

1207

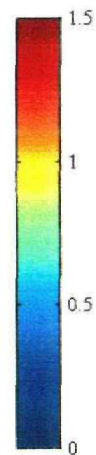
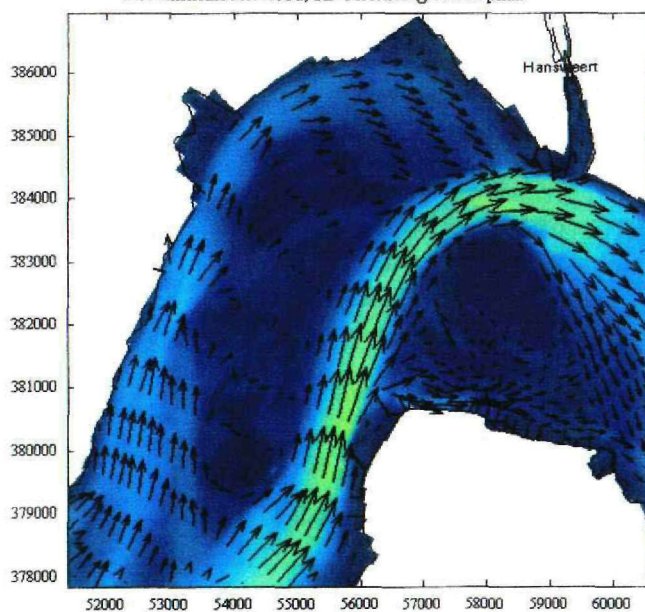
3D stromingsinformatie voor de ecologie

15-Nov-2001

Stroomsnelheden eb, 3D berekening Molenplaat



Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Molenplaat



ROYAL HASKONING

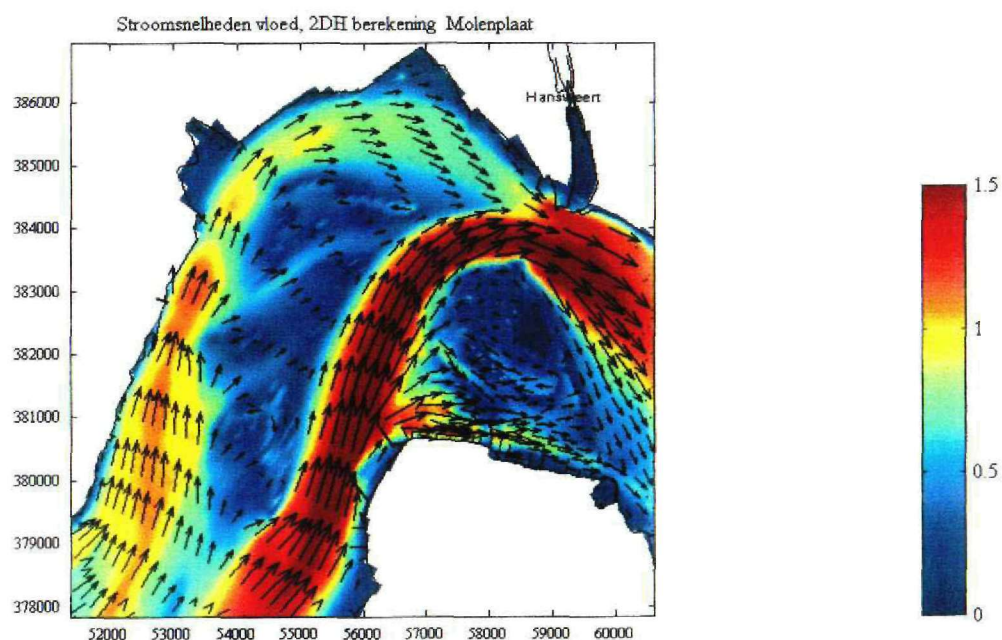
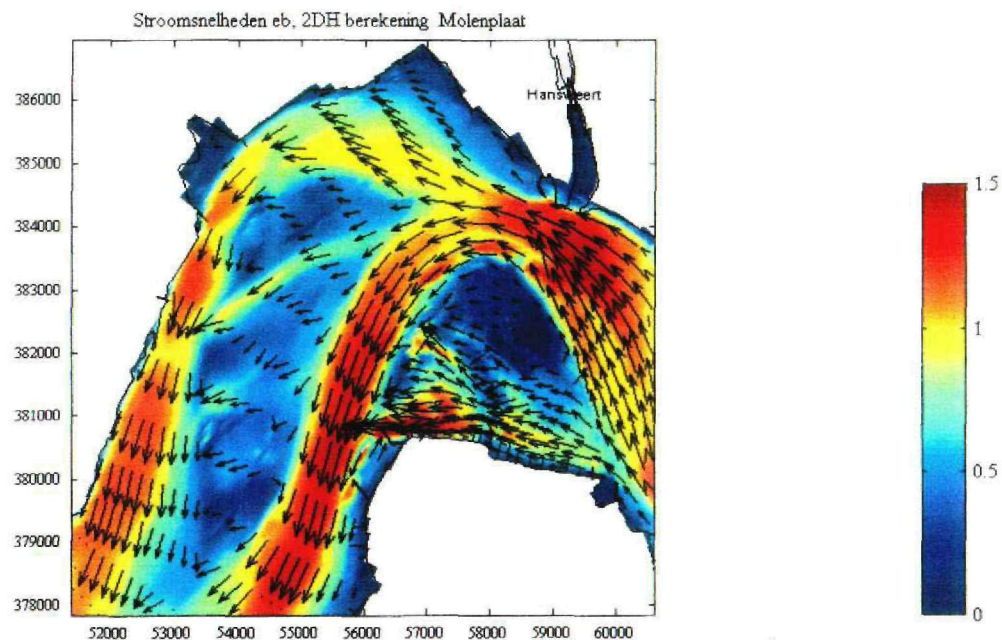
stroomsnelheden per punt doottij, Lage plaat, Scalwest-3D berekening

3D stromingsinformatie voor de ecologie

BIJLAGE 3.37

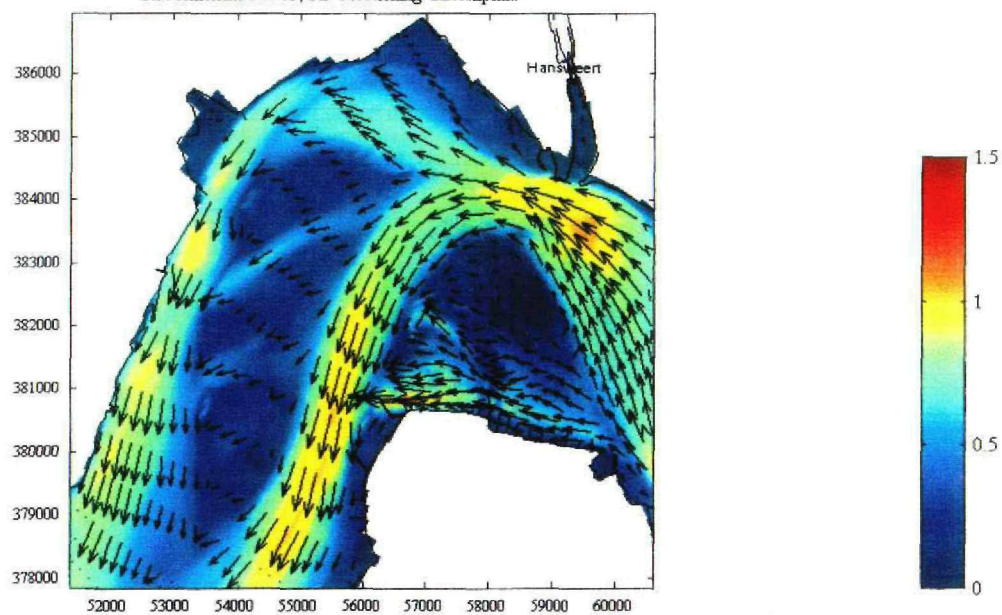
1207

15-Nov-2001

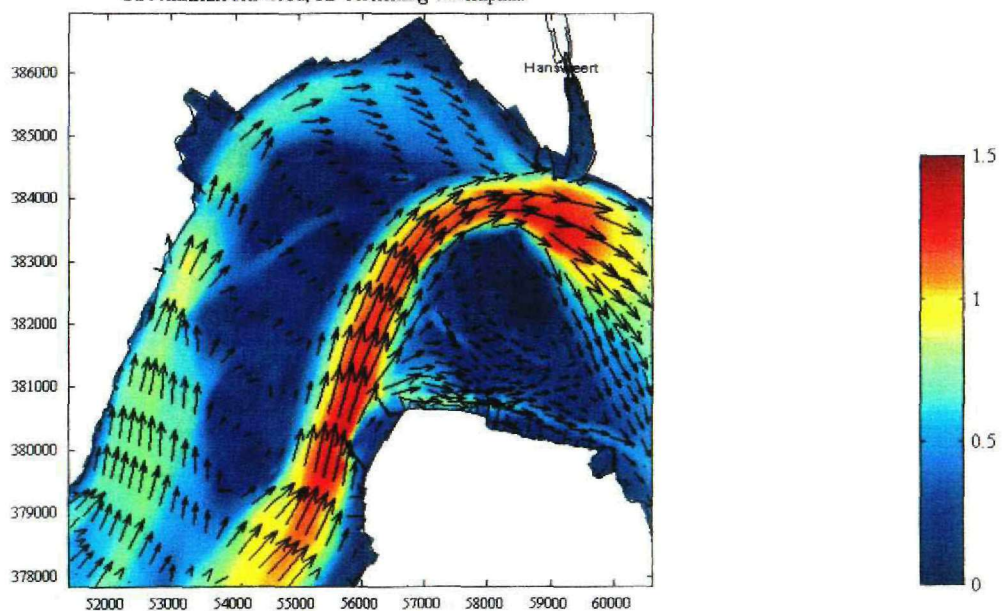




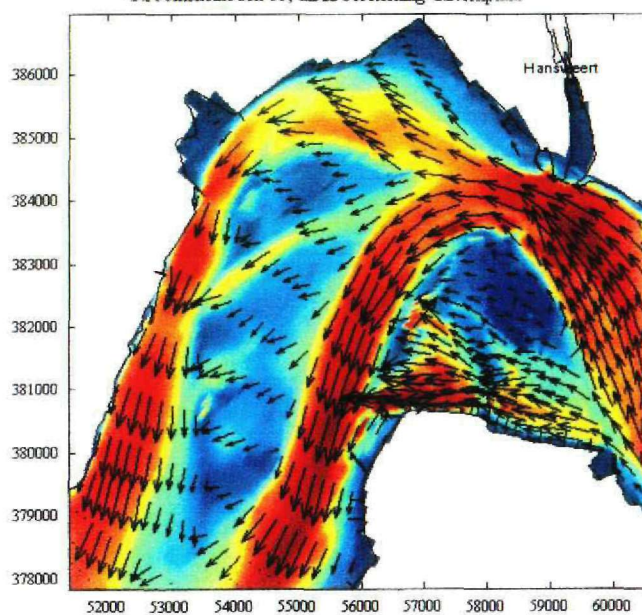
Stroomsnelheden eb, 3D berekening Molenplaat



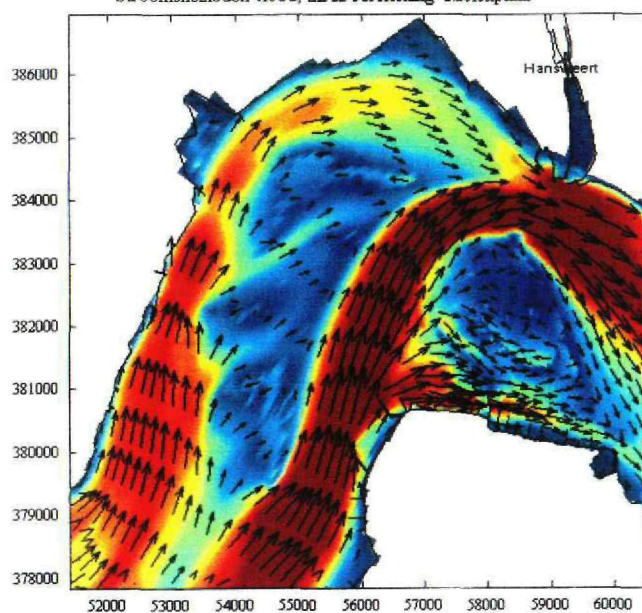
Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Molenplaat



Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Molenplaat



Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Molenplaat



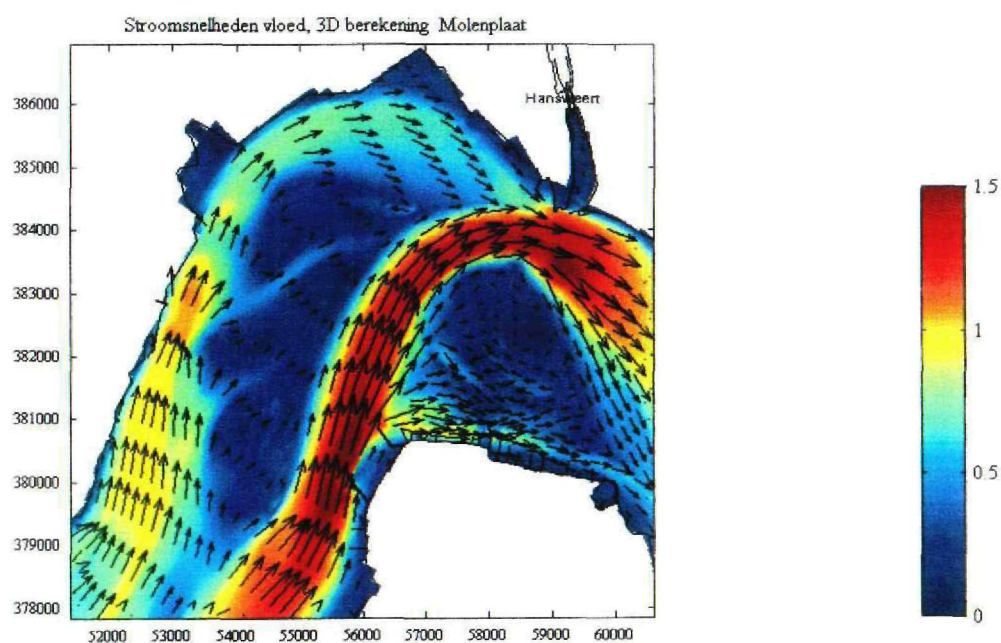
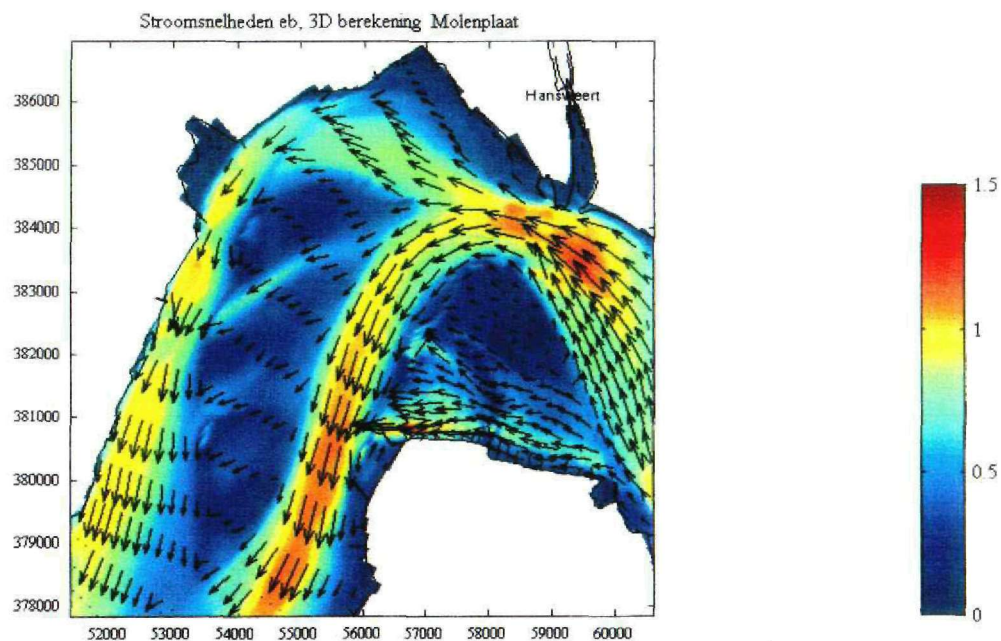
ROYAL HASKONING

troomsnelheden per punt springtij, Lage plaat, Scalwest-2DH berekening BIJLAGE 3.40

1207

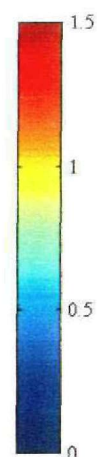
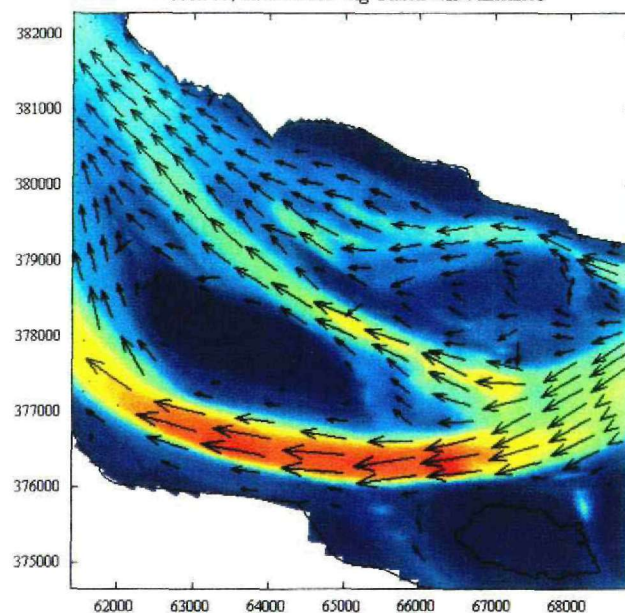
3D stromingsinformatie voor de ecologie

15-Nov-2001

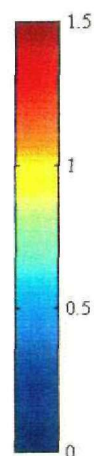
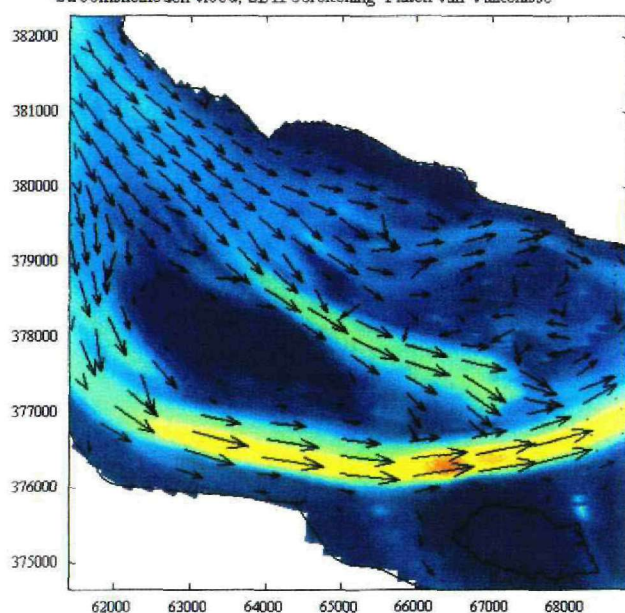




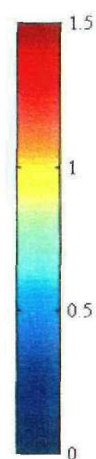
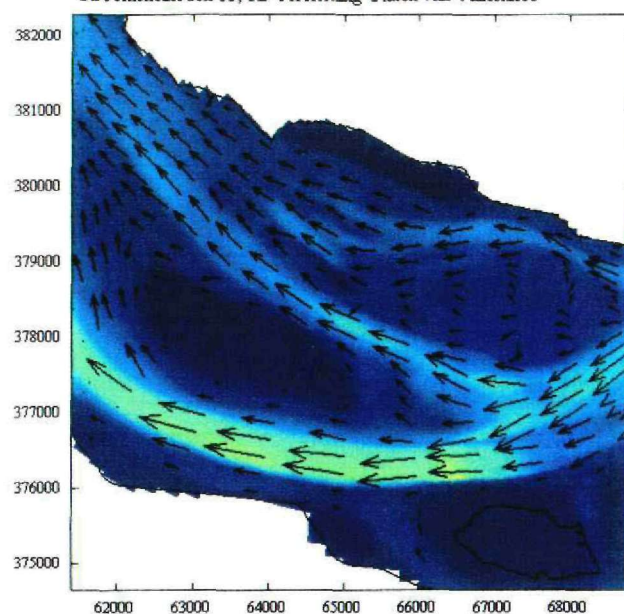
Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Platen van Valkenisse



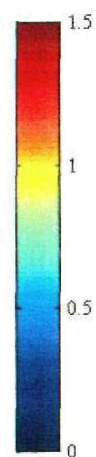
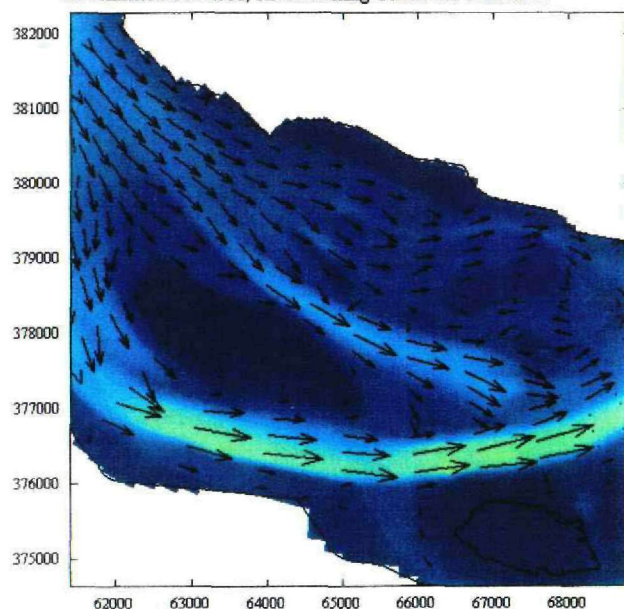
Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Platen van Valkenisse



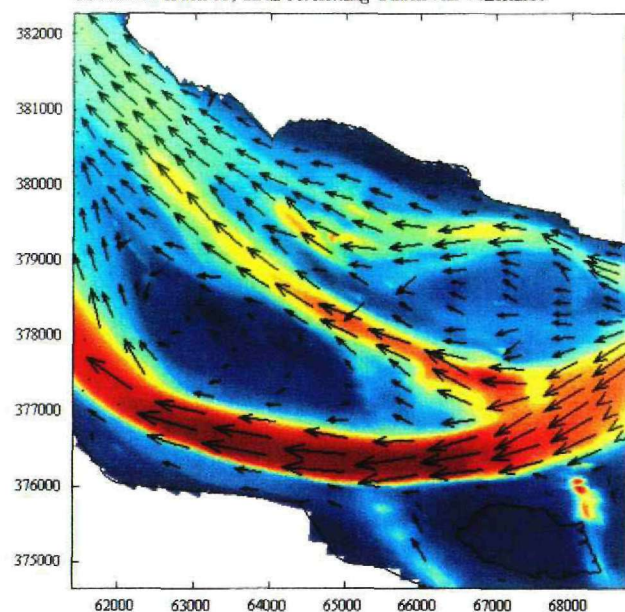
Stroomsnelheden eb, 3D berekening Platen van Valkenisse



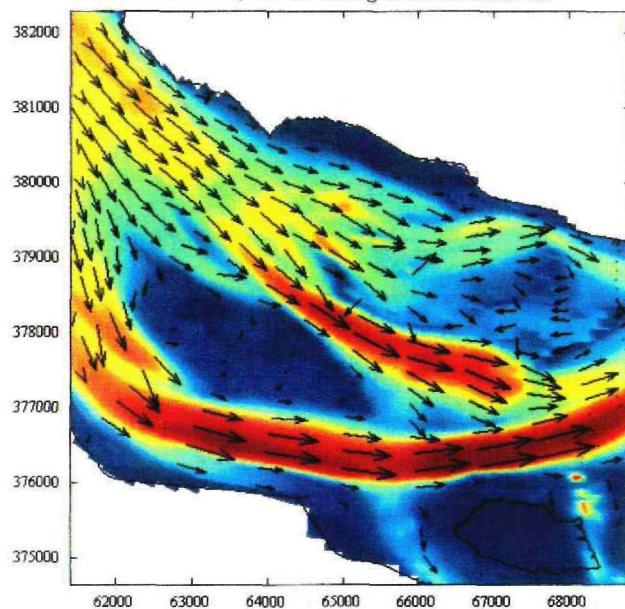
Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Platen van Valkenisse



Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Platen van Valkenisse

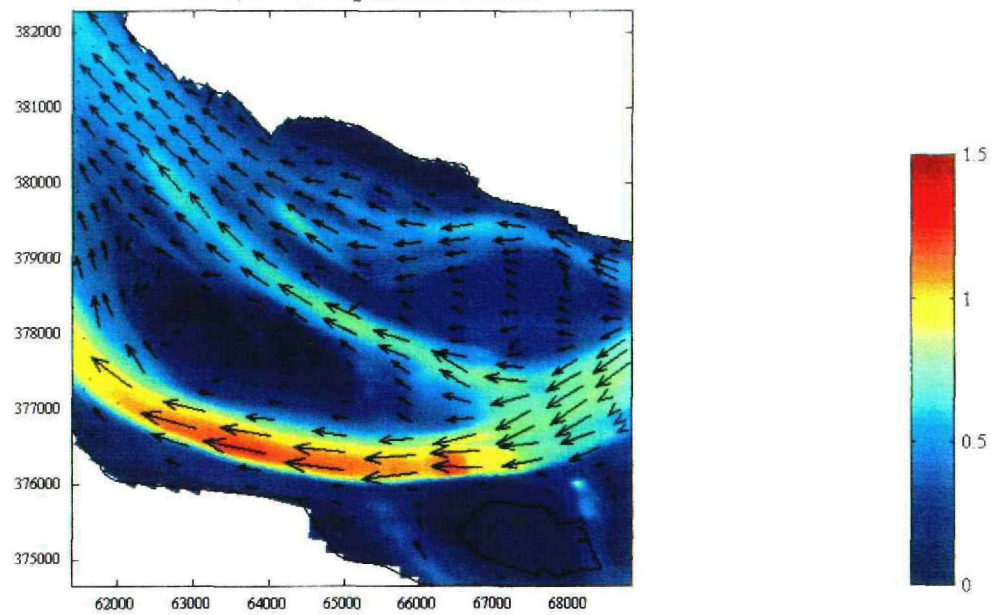


Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Platen van Valkenisse

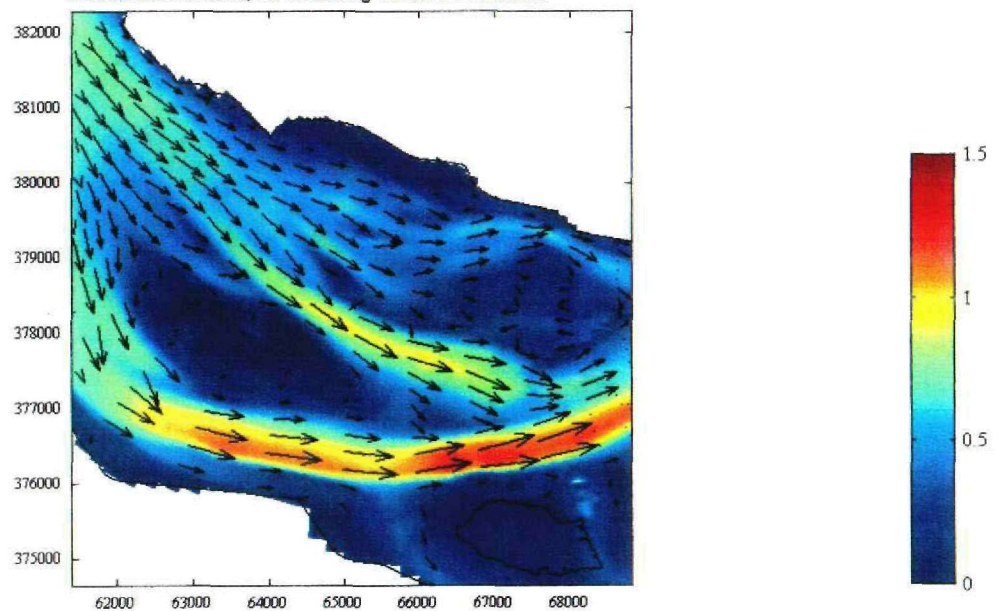




Stroomsnelheden eb, 3D berekening Platen van Valkenisse



Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Platen van Valkenisse



ROYAL HASKONING

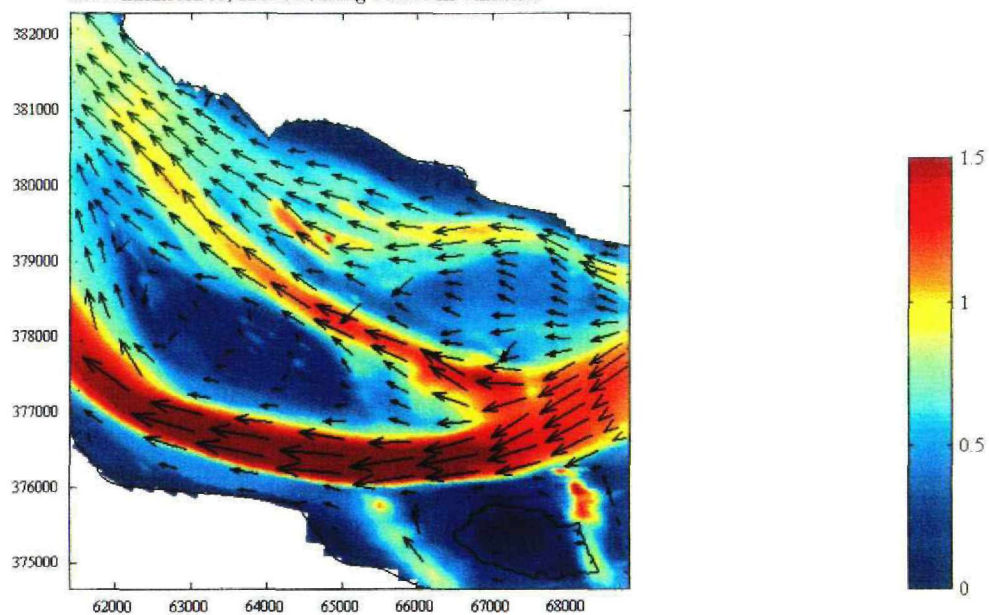
Stroomsnelheden per punt gemiddeld tij, Hoge plaat, Scalwest-3D berekening BIJLAGE 3.45

1207

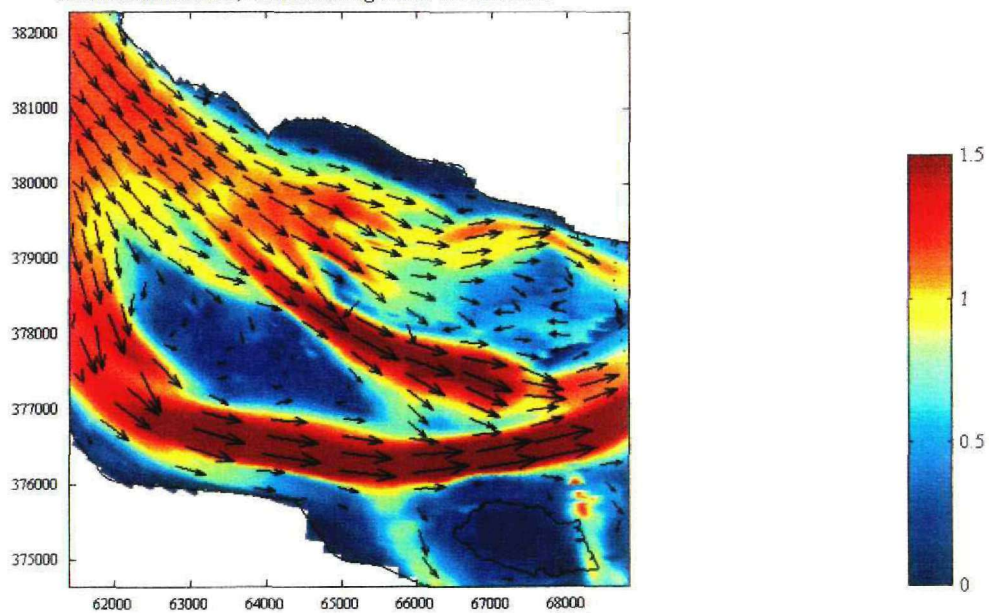
3D stromingsinformatie voor de ecologie

15-Nov-2001

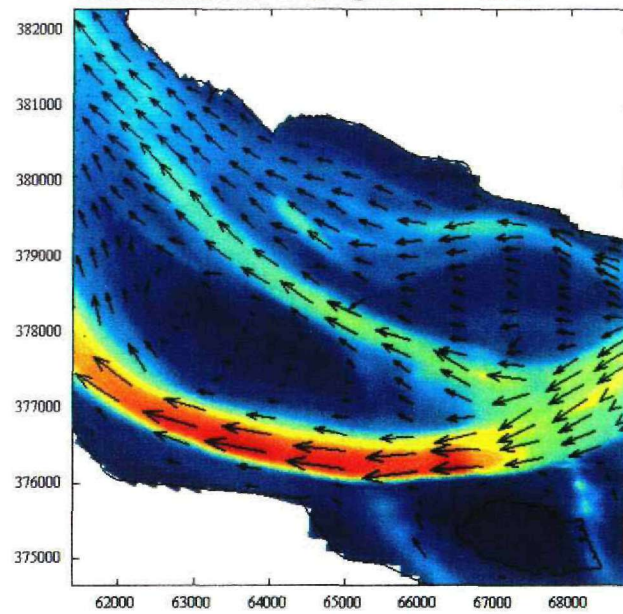
Stroomsnelheden eb, 2DH berekening Platen van Valkenisse



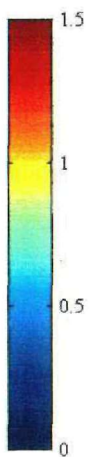
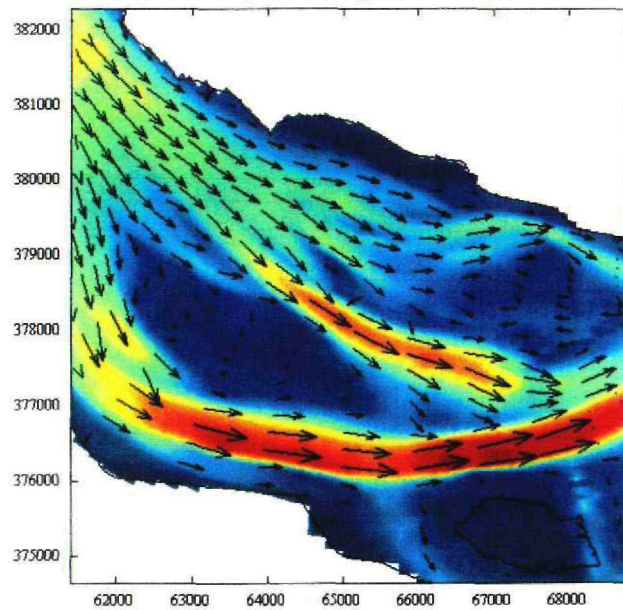
Stroomsnelheden vloed, 2DH berekening Platen van Valkenisse

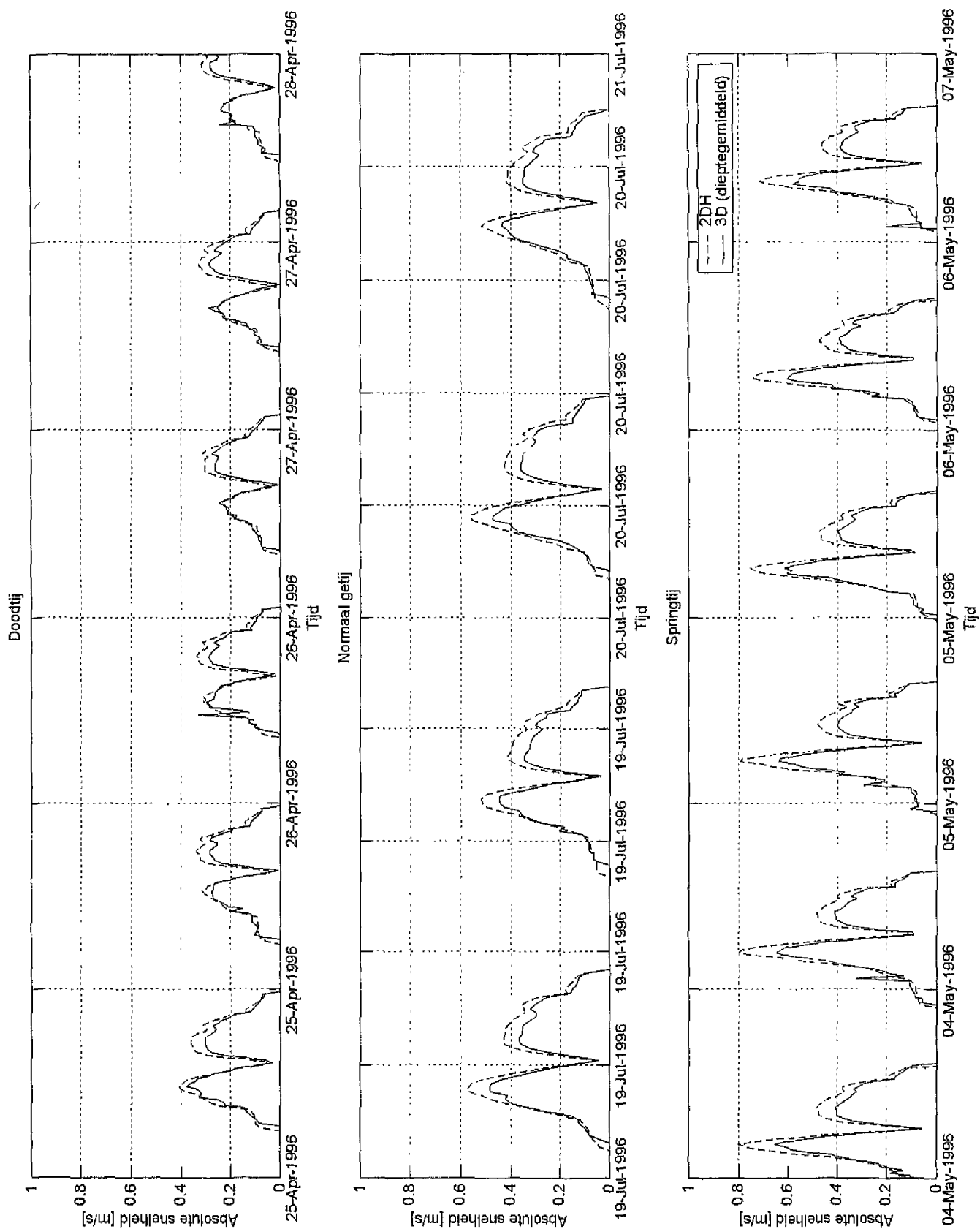


Stroomsnelheden eb, 3D berekening Platen van Valkenisse



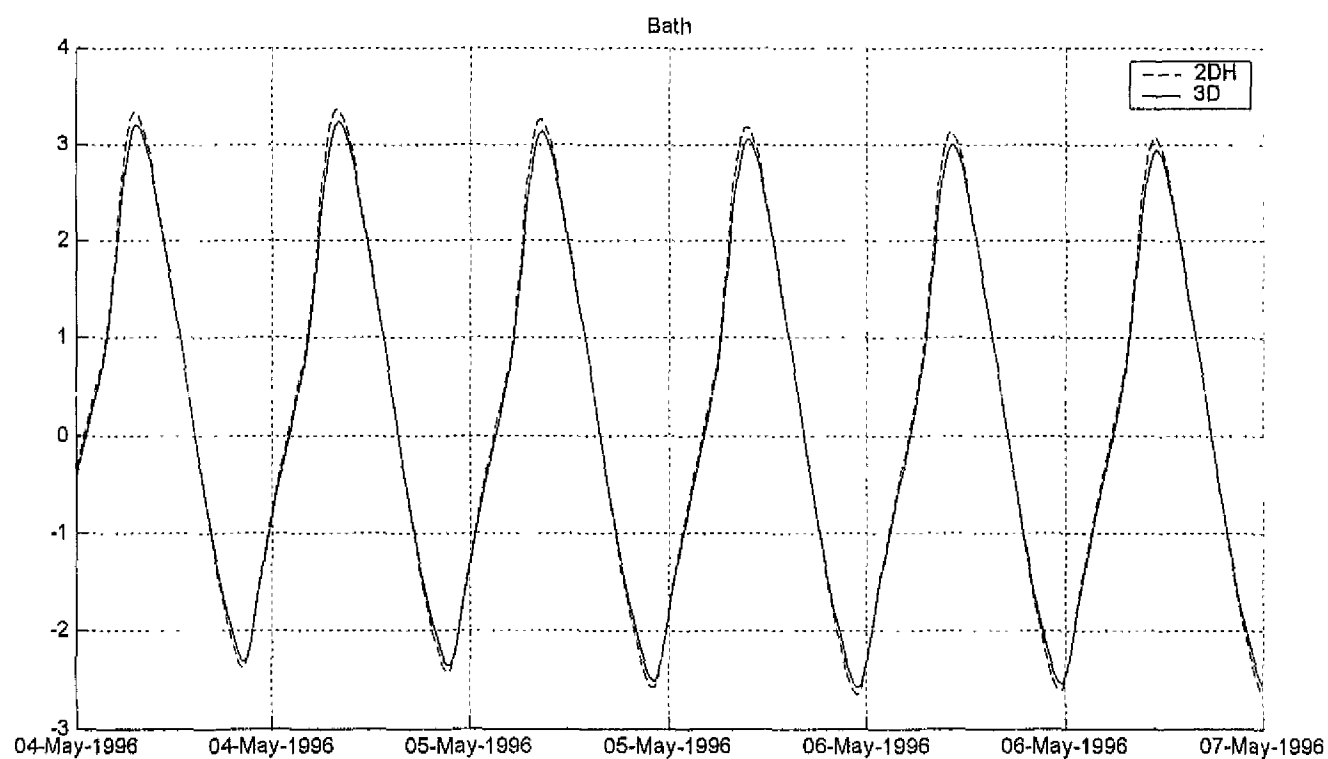
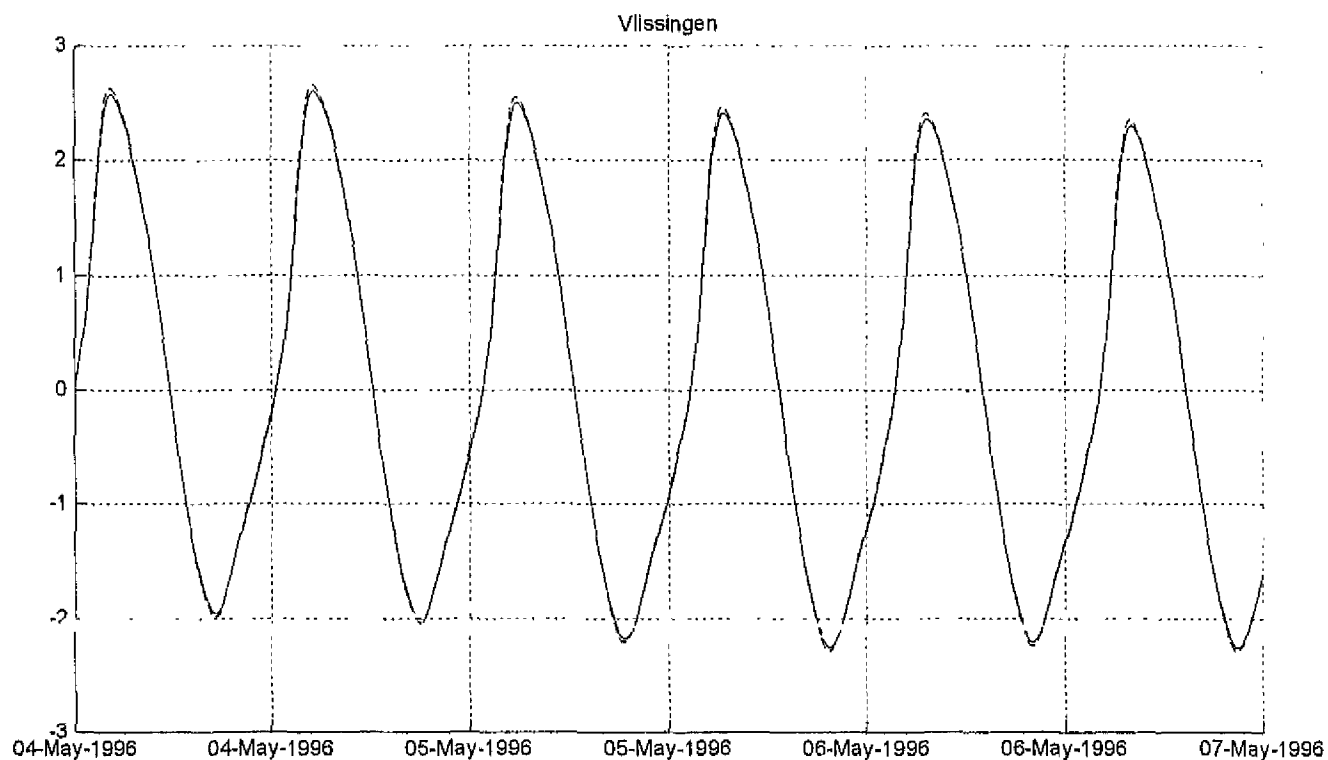
Stroomsnelheden vloed, 3D berekening Platen van Valkenisse



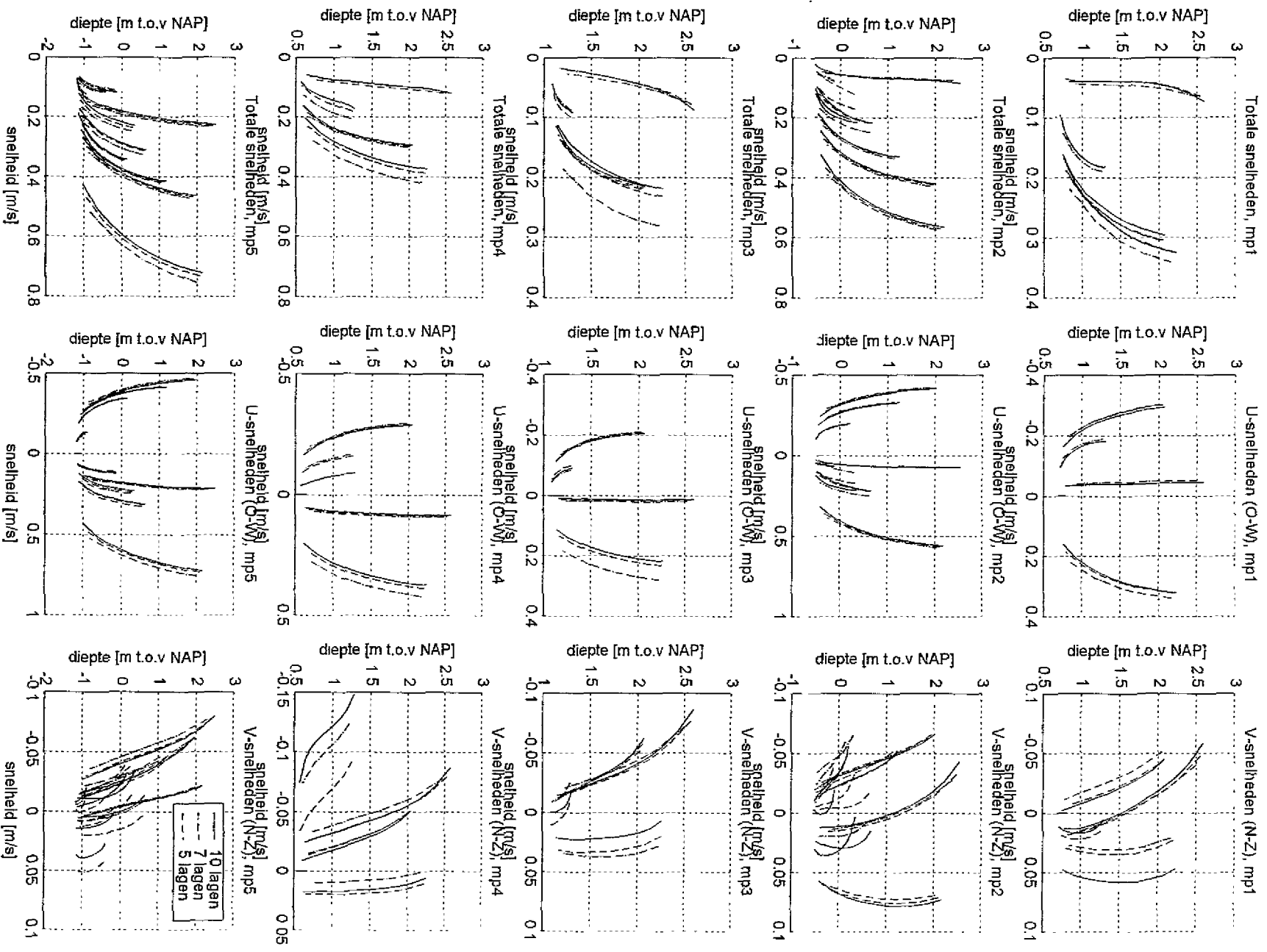


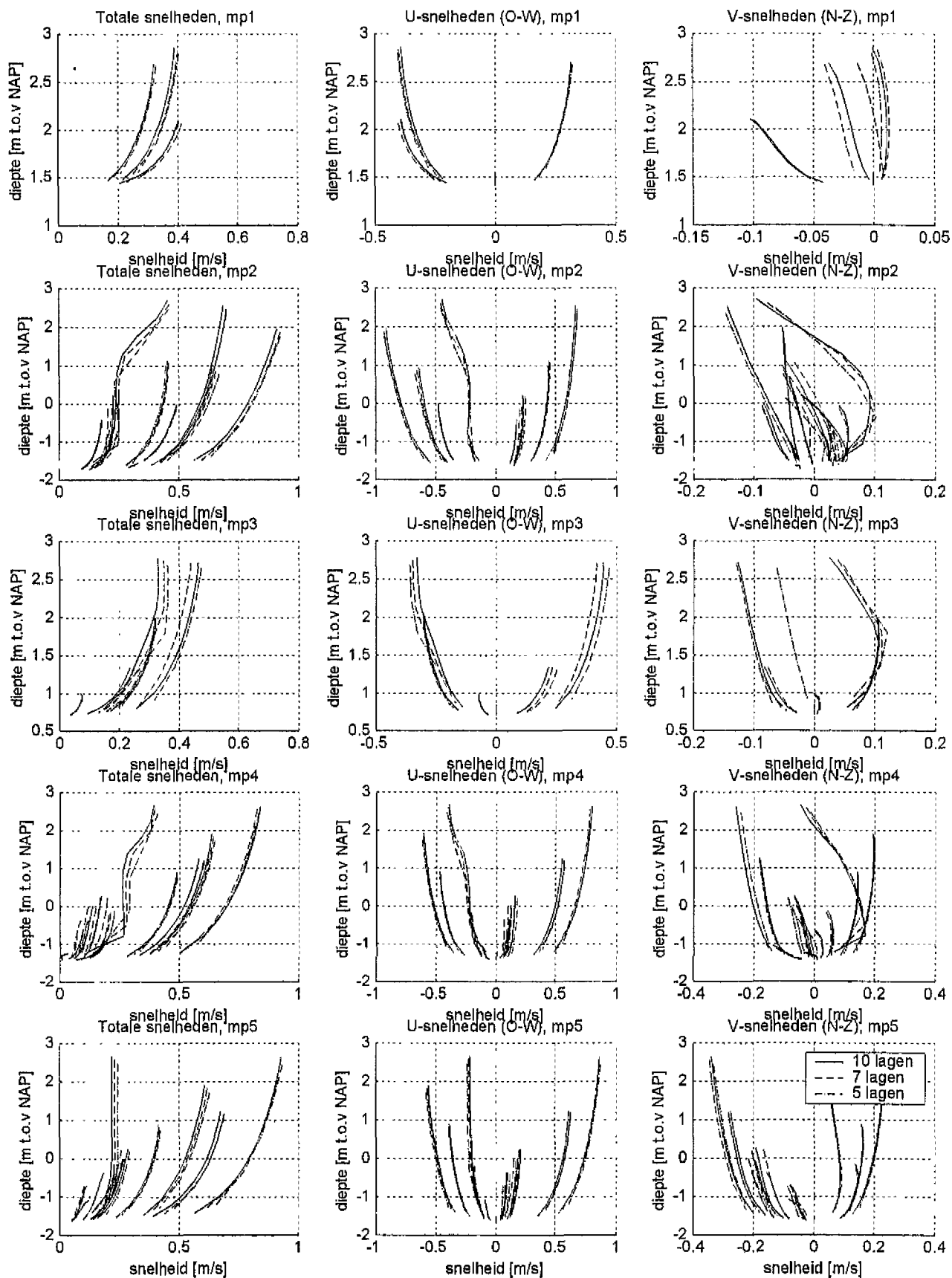
Dieptegemiddelde snelheden 2DH en 3D

FIGUUR 3.48







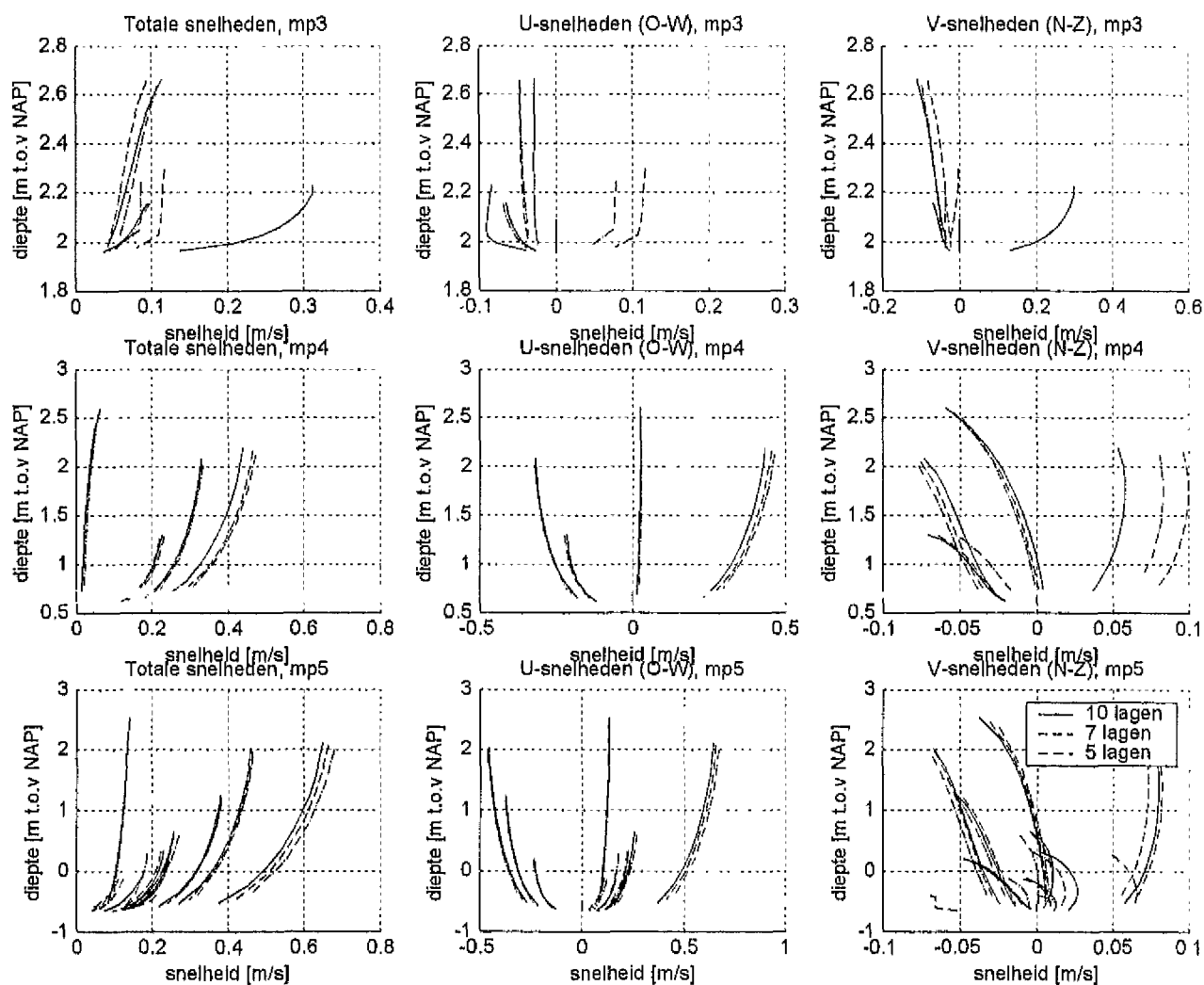


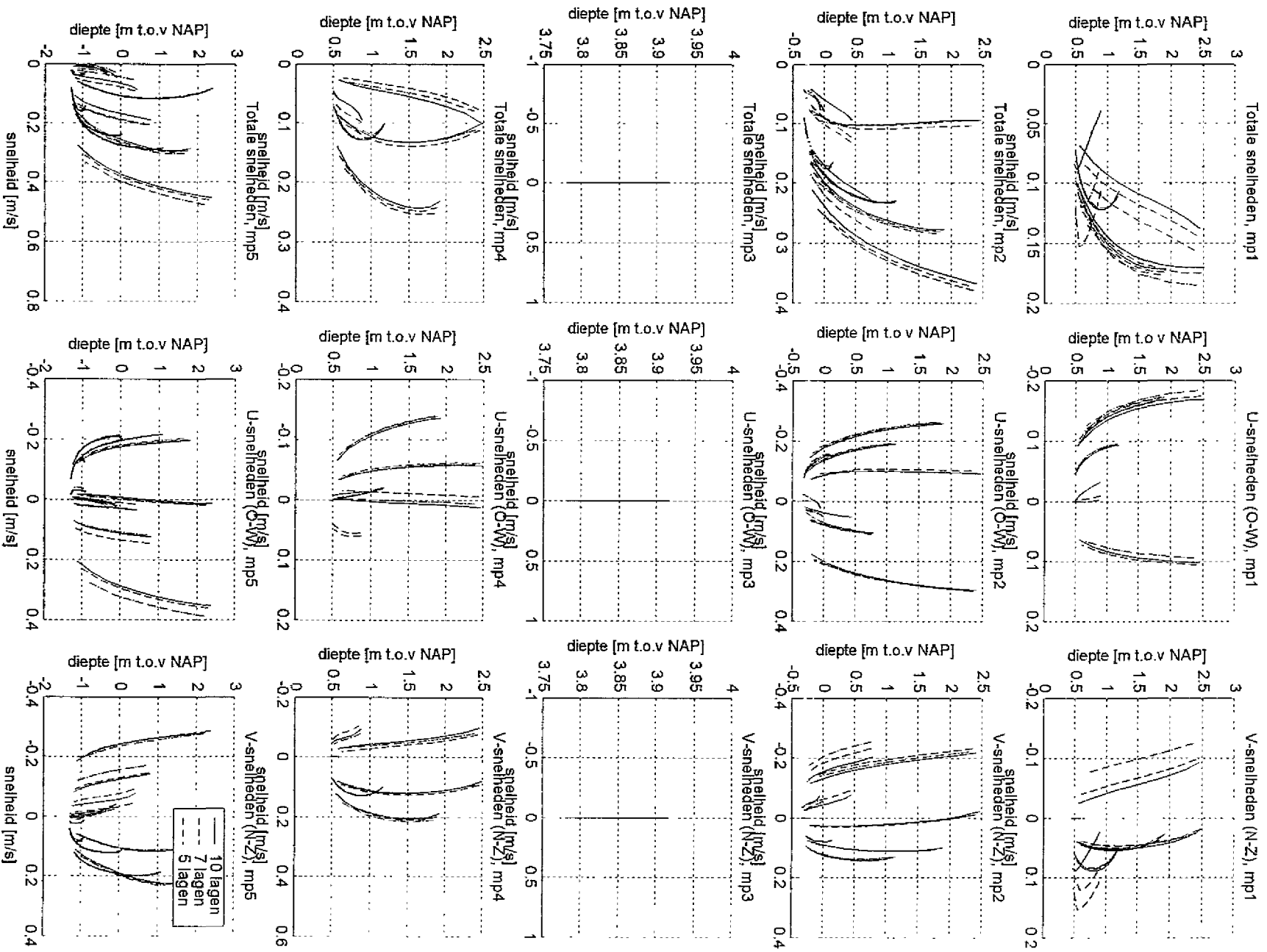
Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur gedurende 1 getij

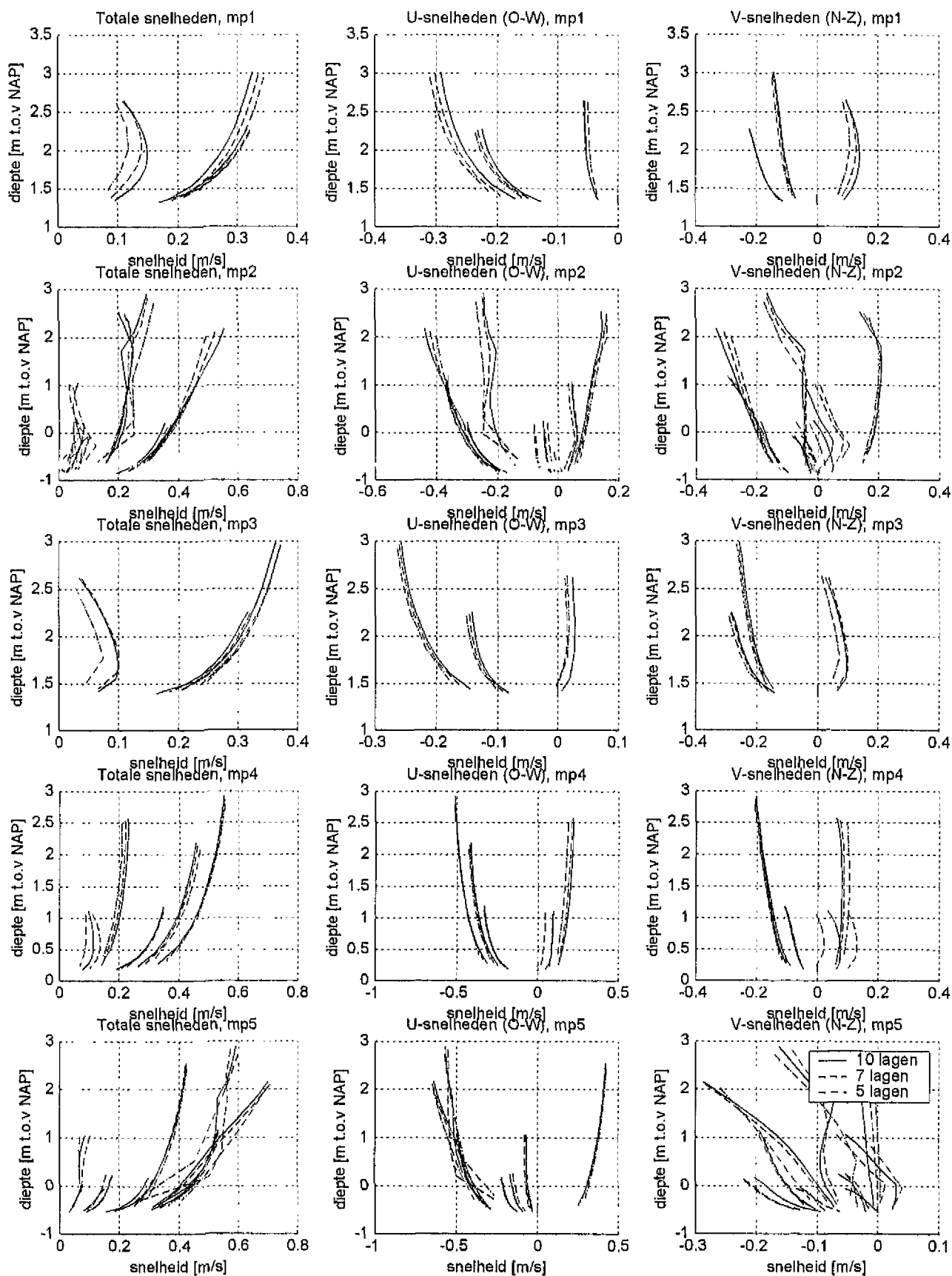
FIGUUR 3.51

1207

15 november 2001



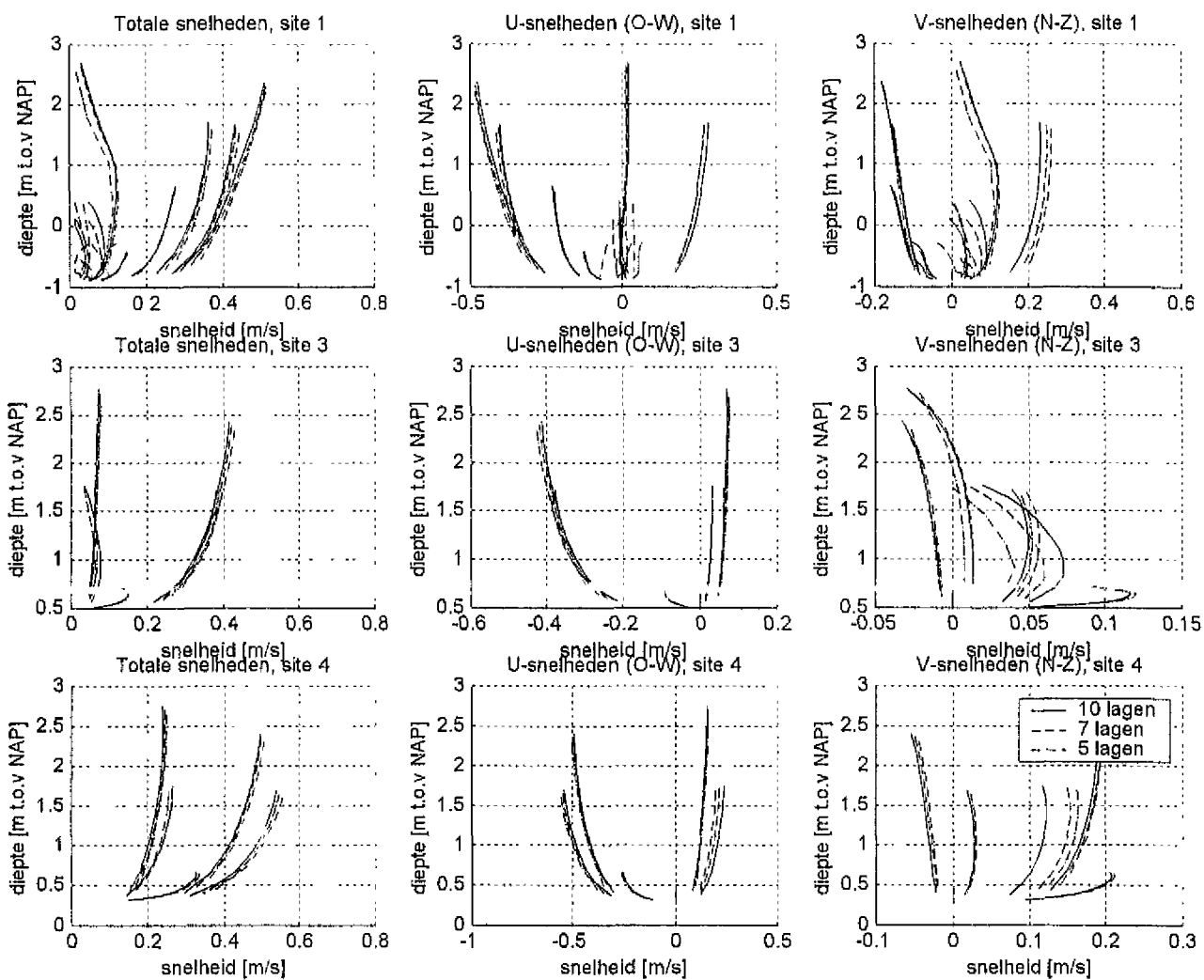




Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur gedurende 1 getij

FIGUUR 3.54

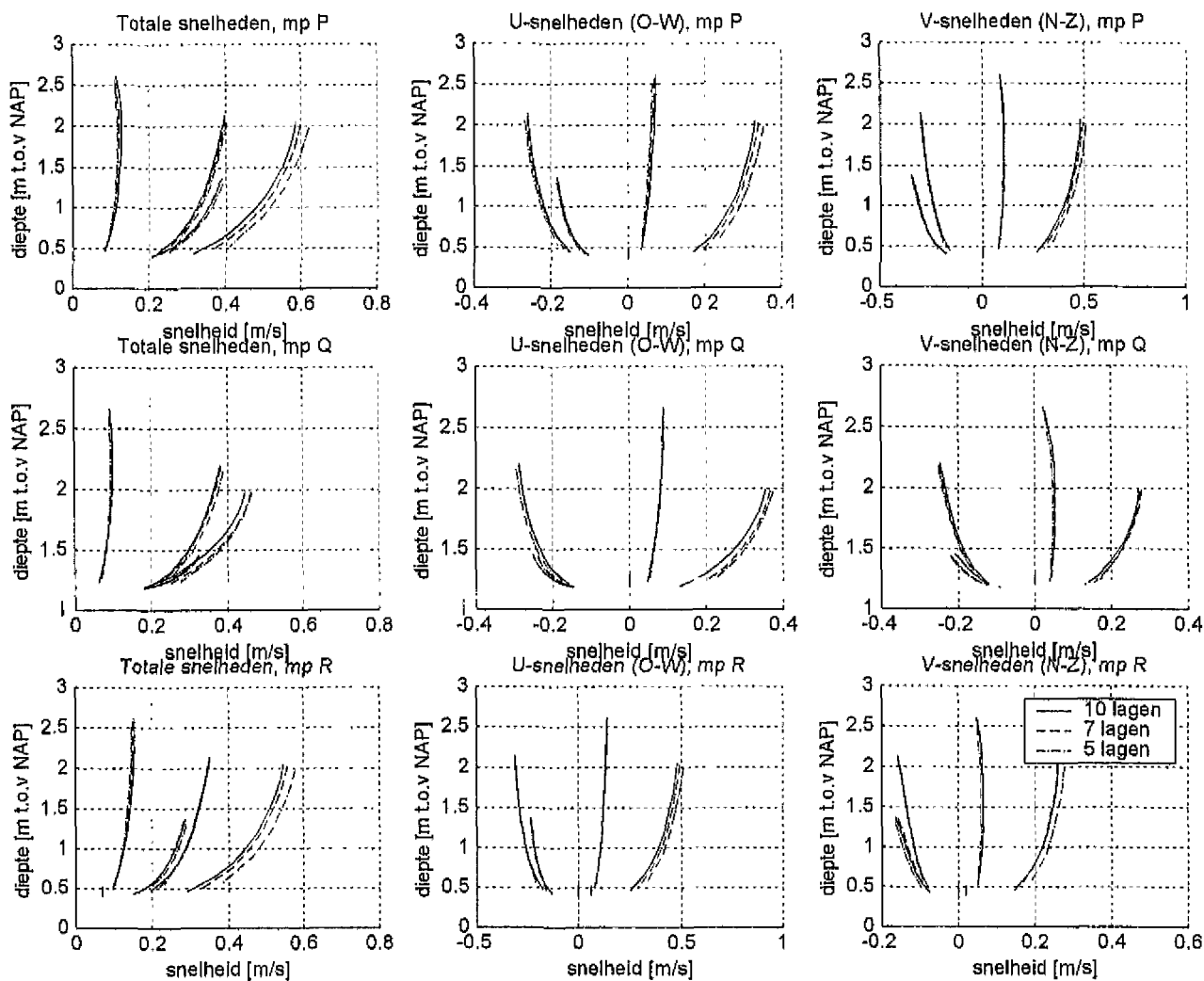
1207



Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur gedurende 1 getij

FIGUUR 3.55

1207

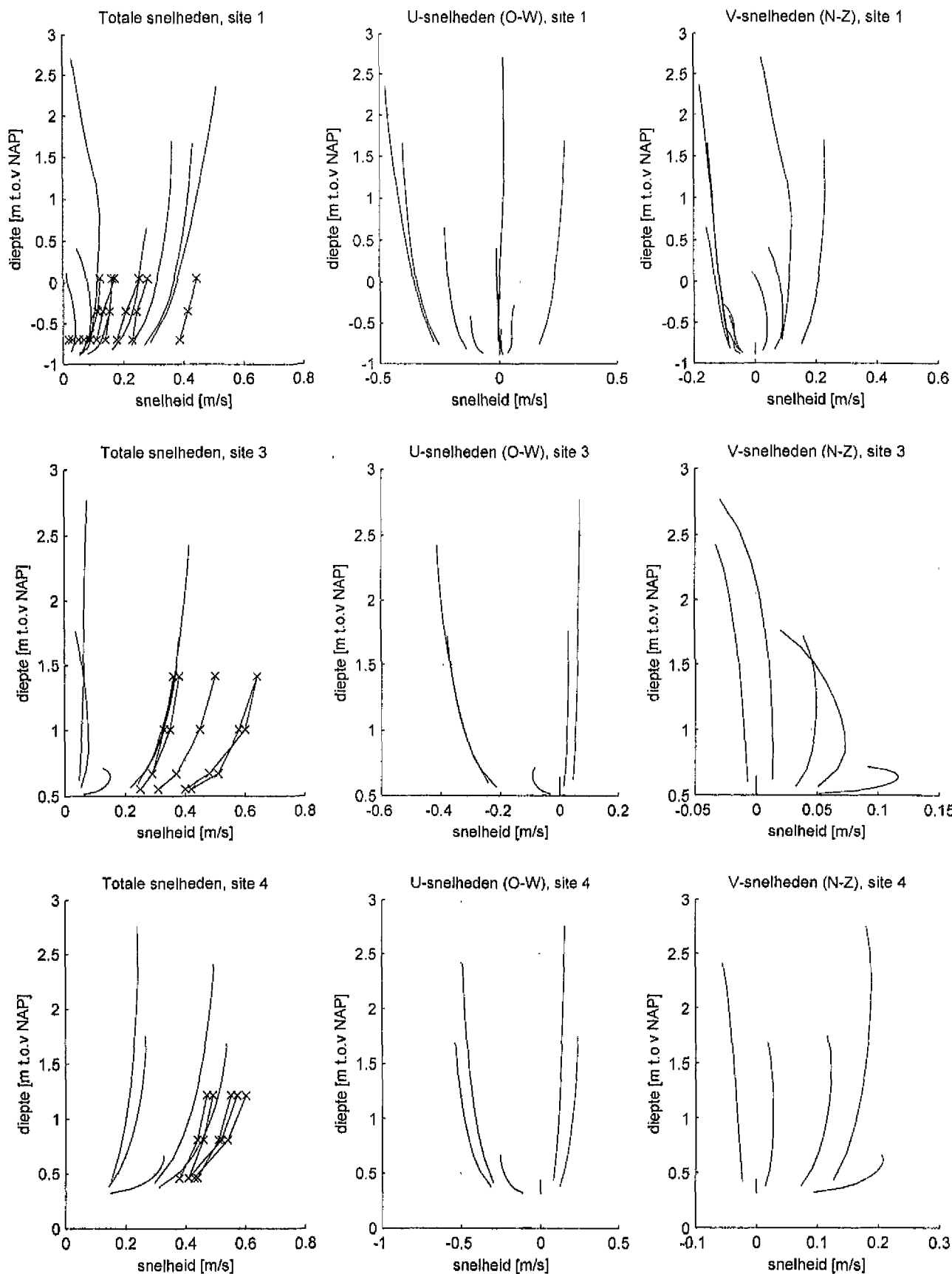


Berekende stroomprofielen TRIWAQ om het uur gedurende 1 getij

FIGUUR 3.56

1207

15 november 2001



Berekende (-) en gemeten (-x) stroomprofielen

FIGUUR 3.57

1207

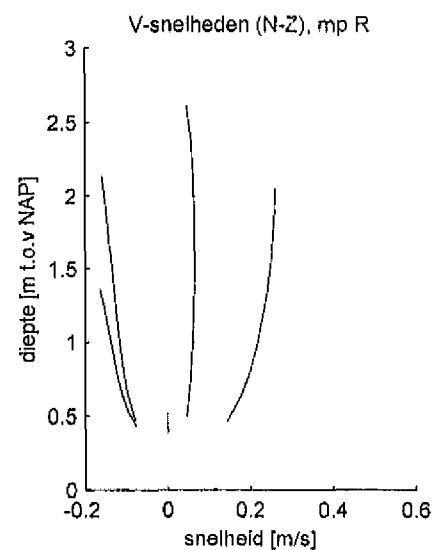
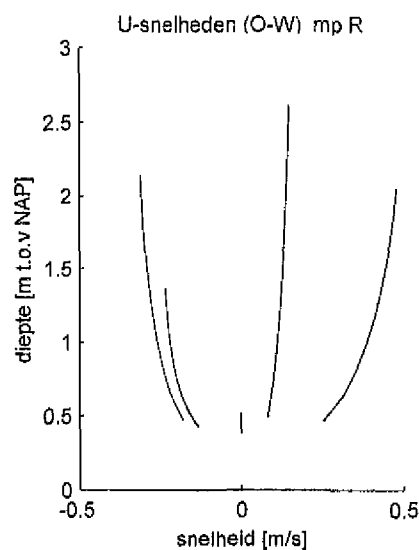
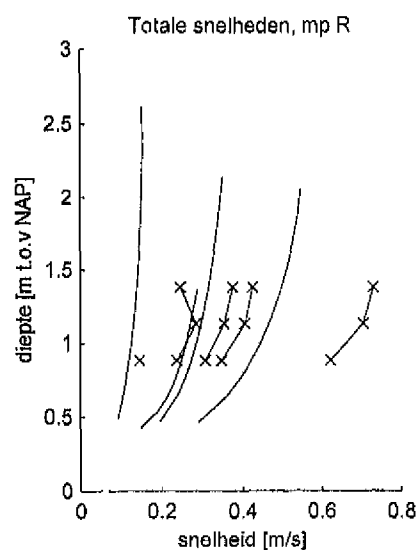
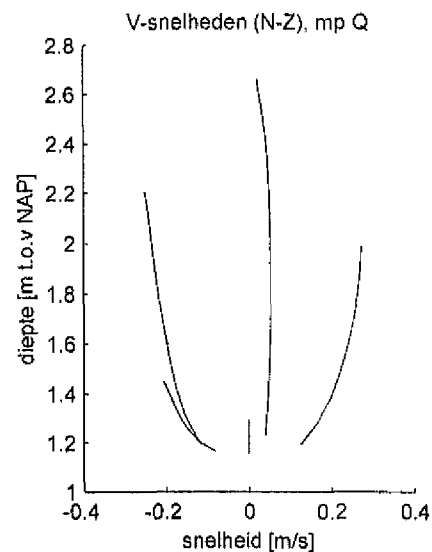
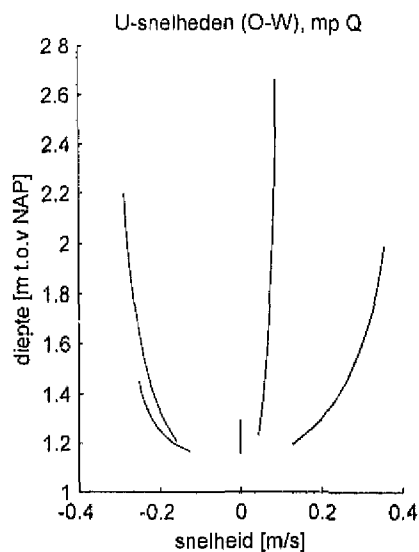
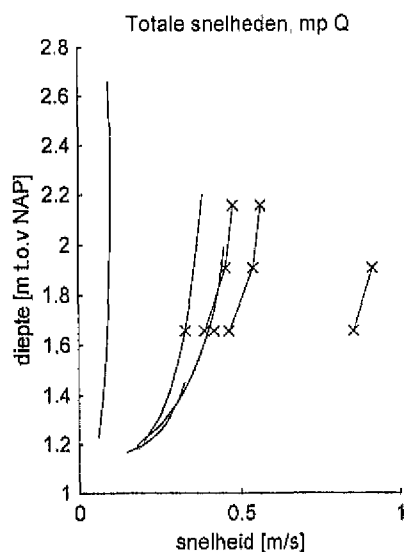


ROYAL HASKONING

Molenplaat NB: gemeten en berekende periode verschillen

31 januari 2002





Berekende (-) en gemeten (-x) stroomprofielen

FIGUUR 3.58

1207