

Het gedrag van drempels in de Westerschelde

Beschrijving en analyse van metingen van de waterbeweging op en rondom de Drempel van Hansweert

-Tekst-

december 1996

F.T.G. Tank

Universiteit Utrecht

Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen

Vakgroep Fysische Geografie

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)

IMAU Rapport 97-01

Rapport voor de Rijkswaterstaat Directie Zeeland
en het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Project DREMPELS

'Een willekeurig Nederlandsch ingenieur vindt misschien de drempels,
waar jaarlijks niet minder dan 4.000.000 m³ gebaggerd moet worden,
heelemaal niet prachtig, doch wat gaat hem dat aan? Immers Nederland
baggert er niet en het heeft van het baggeren ook geen hinder.'

Van Veen, 1944

Voorwoord

Het project DREMPELS is in het voorjaar van 1995 door Directie Zeeland opgestart in het kader van het toen net ondertekende verdrag tussen België en Nederland inzake de verdieping 48'/43' van de Westerschelde. DREMPELS is een gezamenlijk project van de Directie Zeeland, het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, de Technische Universiteit Delft (TUD) en de Universiteit Utrecht (UU).

Het deel van het onderzoek binnen het project DREMPELS dat door Directie Zeeland uitbesteed is aan de Universiteit Utrecht wordt uitgevoerd bij het RIKZ in Middelburg. Daar vindt ook de dagelijkse begeleiding van het Utrechtse onderzoek plaats.

Het onderzoek naar het gedrag van drempels in de Westerschelde is een direct vervolg op de in het project OOSTWEST (Vroon et al., 1996) verkregen inzichten in het fysisch systeem van de Westerschelde in het algemeen en het in 1994 gerapporteerde onderzoek naar drempels door het ingenieursbureau Svasek (Bliek en Ruijter, 1994) in het bijzonder.

Mijn directe begeleiders ir A. Langerak, drs H. Verbeek (beiden RIKZ) en dr J.H. van den Berg (UU) en de begeleidingsgroep bestaande uit ir P.G.J. Sistermans, (Directie Zeeland), dr ir J. van de Graaff, ir M. G. Groenewoud (beiden TUD) en de collega's drs L.A. Uit den Bogaard (RIKZ), ir. M.H.P. Jansen (Svasek), drs S.W.E. Huijs en drs K. Storm (beiden Directie Zeeland) wil ik bedanken voor hun inzet en fijne samenwerking in deze fase van het DREMPEL-onderzoek.

Middelburg, december 1996

Inhoud

Lijst van figuren

Lijst van bijlagen

Lijst van tabellen

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Onderzoeksvragen	1
2	Meetgegevens	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Instrumenten en nauwkeurigheid	3
2.3	Beschikbare gegevens	5
2.4	Beschrijving voorverwerking gegevens	8
2.5	Betrouwbaarheid metingen	10
3	Beschrijving	11
3.1	Inleiding	11
3.2	Diepte gemiddelde hoofdstroming	11
3.2.1	Inleiding	11
3.2.2	Verloop tijdens een getijcyclus	11
3.2.3	Maximum stroom	15
3.3	Dwarsstroming	18
3.3.1	Inleiding	18
3.3.2	Verloop tijdens een getijcyclus	19
3.3.3	Maximum stroom	21
3.4	Getijvolumina	26
3.5	Vergelijking doodtij en springtij	28
4	Synthese	31
5	Conclusies	35
	Literatuur	37

Lijst van figuren

- Figuur 1.1 Ligging van de Westerschelde in ZW Nederland en van Antwerpen
- Figuur 1.2 Ligging van de Drempel van Hansweert in de Westerschelde
- Figuur 2.1 Meetlokaties stroommetingen op de Drempel van Hansweert: dwarsraaien
- Figuur 2.2 Meetlokaties stroommetingen op de Drempel van Hansweert: langsraaien F, G, H en J
- Figuur 2.3 Meetlokatie stroommetingen op de Drempel van Hansweert: langsraai M
- Figuur 2.4 Lokaties op de Drempel van Hansweert van de drijvervakken
- Figuur 2.5 Definitie schets van de ontbinding in een langs- en een dwarsrichting van ELMAR-metingen op een bepaalde diepte (bron: Meetdienst Zeeland)
- Figuur 3.1 Raai B. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.2 Raai B'. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.3 Raai C. ADCP. $GC = 0.93$. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.4 Raai C. ADCP. $GC = 1.18$. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.5 Raai C. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.6 Raai D. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.7 Raai D₂. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.8 Raai 5A. Zuidergat. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.9 Raai 5A. Schaar van Waarde. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.10 Raai E. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.11 Raai F en H. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.12 Raai G en J. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.13 Raai M. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.14 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Dwarsraaien
- Figuur 3.15 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Langsraaien F, G, H en J
- Figuur 3.16 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Langsraai M
- Figuur 3.17 Diepte gemiddelde snelheden tijdens maximum eb en vloed en het langsprofiel. Langsraaien F, G, H en J
- Figuur 3.18 Diepte gemiddelde snelheden tijdens maximum eb en vloed en het langsprofiel. Langsraai M
- Figuur 3.19 Stroombanen van de drijvers tijdens maximum eb
- Figuur 3.20 Stroombanen van de drijvers tijdens maximum vloed
- Figuur 3.21 Definitieschets a. transversale stroming en b. secundaire stroming
- Figuur 3.22 Raai B. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.23 Raai B'. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.24 Raai C. ADCP. $GC = 0.93$. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.25 Raai C. $GC = 1.18$. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.26 Raai C. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem

- Figuur 3.27 Raai D. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.28 Raai 5A - Zuidergat. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.29 Raai 5A - Schaar van Waarde. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.30 Raai E. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.31 Drempel van Hansweert. Maximum eb. Snelheden en richtingen op 3 diepten
- Figuur 3.32 Drempel van Hansweert. Maximum vloed. Snelheden en richtingen op 3 diepten
- Figuur 3.33a Raai B. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.33b Raai B. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.34a Raai C. ADCP. GC = 0.93. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.34b Raai C. ADCP. GC = 0.93. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.35a Raai C. ADCP. GC = 1.18. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.35b Raai C. ADCP. GC = 1.18. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.36a Raai C. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.36b Raai C. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.37a Raai D. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.37b Raai D. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.38a Raai E. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.38b Raai E. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.39a Raai H en J. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.39b Raai H en J. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.40a Raai B. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.40b Raai B. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.41a Raai C. ADCP. GC = 0.93. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.41b Raai C. ADCP. GC = 0.93. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom

- Figuur 3.42a Raai C. ADCP. GC = 1.18. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.42b Raai C. ADCP. GC = 1.18. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.43a Raai C. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.43b Raai C. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.44a Raai D. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.44b Raai D. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.45a Raai F en G. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.45b Raai F en G. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.46 Het verloop op de Drempel van Hansweert van cellen met secundaire stroming tijdens maximum eb en maximum vloed
- Figuur 3.47 Drempel van Hansweert. Getijvolumina in de dwarsraaien
- Figuur 3.48 Raai C. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid tijdens springtij en doottij
- Figuur 3.49 Raai C. ADCP. Richting diepte gemiddelde stroming tijdens springtij en doottij
- Figuur 3.50 Raai C. ADCP. Secundaire stroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem tijdens springtij en doottij
-
- Figuur 4.1 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens eb
- Figuur 4.2 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens vloed

Lijst van bijlagen

- Bijlage A Uitgebreid overzicht stroommetingen op de Drempel van Hansweert en de bijbehorende getij- en weersomstandigheden
- Bijlage B Diepte schema ELMAR stroommetingen
- Bijlage C Drijvers gebruikt bij stroombaanmetingen
- Bijlage D OSM's: getijslag versus maximum stroomsnelheid per getijfase

Lijst van tabellen

Tabel 2.1	Overzicht dwarsmetingen waterbeweging
Tabel 2.2	Overzicht langsmetingen waterbeweging
Tabel 2.3	Overzicht drijvermetingen

1 Inleiding

1.1 Kader

Drempels zijn natuurlijke ondiepten in een geul op de overgang tussen twee bochten in estuaria en meanderende rivieren. Ook in de Westerschelde, gelegen in ZW Nederland, komen drempels voor in de vaarweg naar de zeehaven van Antwerpen (figuur 1.1). De drempels vormen daar een probleem voor de steeds dieper stekende schepen en moeten daarom door middel van baggerwerk op diepte worden gehouden. De baggerwerkzaamheden, die in het oosten van de Westerschelde geconcentreerd zijn, hebben jaarlijks een omvang van circa 8 Mm³. Met de 48'/43'-verdieping, die naar verwachting begin 1997 start, zal deze omvang aanvankelijk verdubbelen tot circa 17 Mm³ en op de lange termijn stabiliseren op circa 14 Mm³ per jaar. Deze toename van het bagger- en stortwerk betekent een nog grotere ingreep op de fysische structuur van het estuarium met alle gevolgen vanden voor het ecologisch systeem van de Westerschelde.

In het Beleidsplan Westerschelde (Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991) is een lange termijn visie opgesteld, waarbij men het natuurlijk karakter van de Westerschelde zoveel mogelijk wil behouden zonder dat daarbij de maatschappelijke functies aangetast worden.

Om de druk op het fysisch systeem van de Westerschelde te reduceren worden door Rijkswaterstaat/Directie Zeeland beheersalternatieven, die de baggerinspanning verminderen bij een voldoende diepe drempel, onderzocht. Dit onderzoek vindt plaats binnen het project DREMPELS. De beheersalternatieven waaraan gedacht wordt zijn morfologisch baggeren en storten, het verder naar het westen storten van specie, concentratie van de zandwinning in het oosten van de Westerschelde, vergroting van de komberging door ontpolderen en het aanleggen van (onderwater-) leidammen om de stroming over een drempel te concentreren. Om de gevolgen van deze alternatieven op de baggerinspanning juist te kunnen inschatten, is kennis nodig over het morfologisch gedrag van een drempel.

De doelstelling van het onderzoek naar het gedrag van drempels in de Westerschelde luidt:

Het verkrijgen van inzicht in de processen die de geometrie van een drempel bepalen, zodanig dat met de verkregen kennis de gevolgen van beheersalternatieven voldoende nauwkeurig afgeschat kunnen worden en nieuwe beheersalternatieven kunnen worden gegenereerd.

In dit rapport worden metingen naar de waterbeweging op de Drempel van Hansweert gepresenteerd en geanalyseerd.

1.2 Onderzoeksvragen

Om inzicht te verkrijgen in het gedrag van drempels in de Westerschelde is een groot aantal metingen verricht op en rondom de Drempel van Hansweert. De Drempel van Hansweert is een grote drempel in het midden van het Nederlands deel van het estuarium (figuur 1.2).

De beschrijving en analyse van de metingen van de waterbeweging op de Drempel van Hansweert worden geleid door hypothesen die opgesteld zijn in Tank (1996a).

Bij de beschrijving en analyse van de waterbeweging worden de volgende, algemene, onderzoeksvragen beantwoord:

- * Hoe verloopt globaal de diepte gemiddelde stroming op de Drempel van Hansweert tijdens een getijcyclus en meer in detail tijdens maximum eb- en maximum vloedstroom?
- * Hoe verloopt globaal de dwarsstroming (ook wel: secundaire stroming) nabij de bodem op de Drempel van Hansweert tijdens een getijcyclus en meer in detail tijdens maximum eb- en maximum vloedstroom?

In hoofdstuk 2 komen de metingen aan de orde. De gebruikte instrumenten en hun nauwkeurigheid worden daarin beschreven. Er wordt een overzicht gegeven van de metingen, de omstandigheden waarbij deze plaats vonden en de betrouwbaarheid van de metingen wordt ingeschat. In hoofdstuk 3 volgt eerst een beschrijving van de diepte gemiddelde stroming en vervolgens van de dwarsstroming. In hoofdstuk 4 staat een synthese van de waterbeweging en in hoofdstuk 5 volgen tenslotte de belangrijkste conclusies.

2 Meetgegevens

2.1 Inleiding

Het merendeel van de metingen naar de waterbeweging op de Drempel van Hansweert vond plaats gedurende twee meetperioden in oktober-november 1995 en in april-mei 1996. De metingen vonden plaats op de Drempel van Hansweert en in de aanpalende geulen en betroffen debiet-, punt- en drijvermetingen. Voor deze metingen is gebruik gemaakt van verschillende instrumenten: ADCP, ELMAR, OSM en drijvers.

In dit hoofdstuk wordt eerst de wijze van meten met de verschillende instrumenten en hun nauwkeurigheid nader toegelicht. Vervolgens volgt een overzicht van de beschikbare metingen en de getij- en weersomstandigheden waaronder de metingen zijn verricht. Het hoofdstuk eindigt met een beschrijving van de voorverwerking van de gegevens en een inschatting van de betrouwbaarheid van de metingen.

2.2 Instrumenten en nauwkeurigheid

ADCP

De ADCP, de Acoustic Doppler Current Profiler, is gemonteerd onder een meetschip. De bij de metingen op de Drempel van Hansweert gebruikte ADCP bevond zich onder de Scaldis. Al varend kan van een hele raai de stroomsnelheid gemeten worden. De ADCP werkt volgens een akoestisch principe en maakt gebruik van de reflectie van geluid op deeltjes die in het water zweven (RD Instruments, 1989). De daarbij optredende Dopplerverschuiving is een maat voor de stroomsnelheid van het water. De snelheid wordt dwars op en parallel aan de raai en in verticale richting gemeten. Een debietmeting in de Westerschelde met de ADCP kan met behulp van één schip verricht worden. De meetdichtheid van de snelheden in een ADCP-raai is veel groter dan bij debietmetingen met behulp van de ELMAR.

De ADCP meet niet in het bovenste deel van de waterkolom: boven in de verticaal ontbreekt de steekdiepte van het meetschip -circa 1 m voor de Scaldis- en de eerste 0.9 onder de sensor. De onderste 15 % van de verticaal, voor geulen van 20 m diep is dat de onderste 3 m, worden ook niet gemeten (Meijer, 1995). Ook in de ondiepe delen van de geul waar het meetschip niet kan komen, wordt niet gemeten. Afhankelijk van de diepte en de vorm van een stroomgeul wordt tussen de 45 en 80 % van het de stroming daadwerkelijk gemeten. Een ondiepe geul die tijdens een getijcyclus deels droogvalt, zoals in bijvoorbeeld raai D₂ (figuur 2.1), wordt 40 à 50 % van het debiet gemeten (Aqua Vision, 1996b). In diepe geulen waar maar een klein deel droogvalt tijdens lagere waterstanden, zoals in raai D (figuur 2.1), wordt ongeveer 80 % van het debiet gemeten (Aqua Vision, 1996b).

De metingen worden door extrapolatie aangevuld. Bovenin worden de verticalen door middel van lineaire en onderin de verticaal door middel van exponentiële extrapolatie aangevuld. De ondiepe

stukken waar het meetschip niet kan komen worden niet aangevuld. Het debiet in deze delen is echter te verwaarlozen ten opzichte van het debiet in grote diepe geulen.

Van snelheidsmetingen met de ADCP is de systematische fout ongeveer 0.005 - 0.01 m/s (RD-Instruments, 1989). Bij kentering, wanneer lage snelheden optreden, kan de systematische fout oplopen tot 27 % (Meijer, 1995). De middelbare fout van snelheidsmetingen met de ADCP ligt bij hoge snelheden (> 0.24 m/s; bij ADCP-instellingen: akoestische frequentie 600 kHz, middeling over 5 'pings' en een verticale lengte van de dieptecel van 0.5 m) op 0.27 m/s en bij lage snelheden (< 0.24 m/s) ligt de middelbare fout op 100 % (Meijer, 1995).

De fout in het debiet als gevolg van systematische fouten is bij hoge snelheden 2.5 % en bij lage snelheden 23 %. Ten gevolge van de middelbare fouten is de fout in het debiet bij hoge snelheden 2 % en bij lage snelheden 4 %.

De fout in het debiet door systematische en middelbare fouten samen is bij hoge snelheden 4.5 % en bij lage snelheden 27 % (Meijer, 1995).

De fout van de gemeten stroomrichting is 1 graad.

ELMAR

Een ELMAR is een meetvis die zich naar de stroming richt. Op de kop van de ELMAR zit een Ott-molen, waarmee de stroomsnelheid wordt gemeten. Het aantal omwentelingen is een maat voor de stroomsnelheid. In de meetvis zit ook een gyrotol die de richting van de meetvis en dus van de stroming registreert. De gyrotol wordt aan het begin van elke verticaal geijkt met het boordkompas van het schip.

De stroomsnelheid in een verticaal wordt vanaf de bodem opwaarts gemeten volgens een diepteschema dat afhankelijk is van de waterdiepte. In bijlage B is dit schema weergegeven. Volgens dit schema worden tussen de 6 en 9 punten per verticaal gemeten. De middelingstijd van de ELMAR op een bepaalde diepte is één minuut. Per dwarsraai worden tegelijkertijd circa 6 punten met even zoveel schepen gemeten.

Nabij de bodem en nabij het wateroppervlak in de verticaal meet de ELMAR niet. Dit wordt aangevuld door extrapolatie volgens de volgende aannames: een lineaire toename van een snelheid van 0 m/s bij de bodem tot het eerste meetpunt en dat aan het oppervlak een zelfde snelheid optreedt als in het hoogst gemeten punt (figuur 2.5).

De Ott-molens van de ELMAR's worden eens in de paar jaar geijkt in een stroomgoot. De middelbare fout in de snelheden van Ott-molens is circa 5 à 10 %. Samen met de afwijking in het kompas en het ontbreken van een goede calibratie wordt de totale fout geschat op ongeveer 12 %. (Meijer, 1995). De richtingen van de ELMAR zijn echter niet zo nauwkeurig. De gyrotol wordt weliswaar aan het begin van elke verticaal geijkt met het boordkompas van het schip maar dat is een vrij ruwe methode omdat de ELMAR op het oog parallel aan het schip wordt gehangen. Naar schatting treden hier al gauw fouten in de richting op van 5 à 10 graden.

Uit de vergelijking tussen gelijktijdige uitgevoerde debietmetingen met ELMAR en ADCP in de Westerschelde blijkt dat beide methoden vrijwel het gelijke resultaat geven (Meetdienst, 1995a). Uit

de foutenanalyse van de gemeten debieten met de ADCP en ELMAR blijkt dat ze binnen elkaars foutenband vallen (Meijer, 1995).

OSM

De OSM's, Ott Stroomsnelheids Meters, zijn op een vaste hoogte boven de bodem, te weten 40 % van de waterdiepte, opgesteld. De stroomsnelheid op deze hoogte komt ongeveer overeen met de diepte gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal (Van Rijn, 1990). Behalve stroomsnelheid meten de OSM's ook stroomrichting. De OSM meet om de tien minuten met een middelingstijd van 1 minuut (Mondeling mededeling Piet van de Weijde, Meetdienst Zeeland). De instrumenten zijn paarsgewijs geïnstalleerd en met een kabel aan een gewicht op de bodem bevestigd.

Over fouten van OSM's is weinig bekend. Geschat wordt dat de fout in de stroomsnelheden in dezelfde orde van grootte ligt als die van de ELMAR's, dus een middelbare fout van ongeveer 5 à 10 %.

Drijvers

Drijvers worden meegevoerd met de snelheid van de stroming en zijn geschikt om stroombanen mee te bepalen. Een schip meet met een bepaalde interval de positie van de drijver, waarna de gemiddelde snelheid van de drijver in dat stuk kan worden berekend.

De stroomsnelheid is afhankelijk van de lengte en constructie van de drijver. Korte drijvers worden meegevoerd door de stroming boven in de verticaal. De snelheid boven in de verticaal is hoger dan de diepte gemiddelde stroomsnelheid. De snelheid van langere drijvers wordt bepaald door een groter deel van de verticaal. De constructie ofwel de verdeling van de weerstand van de drijver beïnvloedt het deel van de verticaal dat de snelheid van de drijver bepaalt. Bijvoorbeeld de snelheid van een drijver met een weerstandslichaam aan een draad wordt voornamelijk bepaald door de stroomsnelheid op de diepte van het weerstandslichaam. Een drijver echter met over de gehele lengte een uniforme weerstand heeft een snelheid gelijk aan de gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal over die diepte.

Bij drijvermetingen op de Drempel van Hansweert zijn drie typen drijvers van verschillende lengte uitgegooid: met een lengte van 1 m, met een lengte van 7 m en met een lengte van 10 m (Bijlage C). De drijver met een lengte van 1 m meet de stroming boven in de verticaal, de drijver van 7 m lengte de stroming in de bovenste 60 à 50 % van de verticaal en de drijver met een lengte van 10 m de stroming onder in de verticaal.

Drijvers worden beïnvloed door de wind. Vooral bij korte drijvers kan deze invloed groot zijn.

2.3 Beschikbare gegevens

De waterbeweging op de Drempel van Hansweert is gemeten in een aantal dwars- en langsraaien, in een aantal afzonderlijke punten en in twee drijvervakken. De stroomsnelheidsmetingen zijn verricht met verschillende instrumenten: de raaimetingen met ELMAR-meetvissen of ADCP, de puntmetingen met OSM's en de drijvermetingen met drijvers. De lokatie van de meetraaien, de puntmetingen de drijvervakken met de gebruikte instrumenten zijn in de figuren 2.1 tot en met 2.3 weergegeven. De

metingen zijn verricht onder verschillende condities, dat is tijdens verschillende getij- en weersomstandigheden. In onderstaande tabellen worden per type meting de gebruikte instrumenten, en de getij- en weersomstandigheden samengevat. Een uitvoeriger overzicht van getij- en weersomstandigheden is te vinden in bijlage A.

Raai	Datum	Instrument	GC (-)	Duur (uur)	Weer
B	031195	ADCP	0.93	13	NW, N, NO, 6-2 Bft
B	170496	ADCP	1.18	13	ZO, W, 4 Bft
B'/Dz	170496	ELMAR	1.18	13	ZO, W, 4 Bft
C	031195	ADCP	0.93	13	NW, N, NO, 6-2 Bft
C	170496	ADCP	1.18	13	ZO, W, 4 Bft
C	251095	ELMAR	1.14	13	ZW, Z, 6-3 Bft
D	111196	ADCP	1.11	13	Z, NO, 0-1 Bft
E	061195	ADCP	1.08	7	ZW, 4 Bft
5A	13/140695	ADCP	1.19	13	N, NW, 2-4 Bft
5A	14/150695	ELMAR	1.19	13	NW, W, 4 Bft

Tabel. 2.1 Overzicht dwarsmetingen waterbeweging
GC = getijcoëfficiënt afgeleid uit waterstanden van het waterstandsstation Hansweert

Raai	Datum	Instrument	GC (-)	Duur (uur)	Weer
F	231095	ELMAR	1.07	7	Z, ZZO, 4 Bft
G*	231095	ELMAR	1.07	7	Z, ZZO, 4 Bft
H*	231095	ELMAR	1.07	7	Z, ZZO, 4 Bft
J	231095	ELMAR	1.07	7	Z, ZZO, 4 Bft
M	160996	ELMAR	1.11	13	O, ONO, 2-3 Bft

Tabel 2.2 Overzicht langsmetingen waterbeweging
* = zowel in raai G en raai H is een meetpunt afkomstig van eerdere metingen tijdens andere getijomstandigheden (zie bijlage A)

Dwarsmetingen

De dwarsraaien zijn zoveel mogelijk loodrecht op de geulmorfologie gelegen.

De getijcoëfficiënt van een gemiddeld springtij in Hansweert is 1.13. De getijcoëfficiënt is het quotiënt van de opgetreden getijslag en de gemiddelde getijslag tussen 1980 en 1990 van het station. Uit tabel 2.1 is af te leiden dat de meeste dwarsmetingen uitgevoerd zijn gedurende getijcondities rondom een matig sterk ontwikkeld springtij. De raaien B en C zijn behalve tijdens springtij ook gemeten tijdens omstandigheden tussen een doottij en een gemiddeld getij, met getijcoëfficiënten van 0.93.

Langsmetingen

De metingen in de raaien F, G, H en J zijn gecombineerde metingen, waarbij de raaien F en G gelijktijdig tijdens vloed aan de noordelijke zijde van de Drempel van Hansweert, als het water de drempel opstroomt, zijn gemeten (figuur 2.2). De metingen in de raaien H en J vonden plaats tijdens eb aan de zuidelijke zijde van de drempel. De metingen vonden plaats tijdens een matig ontwikkeld springtij. De metingen in raai M werden verricht op de noordelijke zijde van de drempel gedurende een hele getijcyclus, tijdens een gemiddeld springtij (figuur 2.3).

Puntmetingen

Op 10 lokaties verspreid over de drempel zijn gedurende twee perioden metingen verricht met OSM's. De eerste periode liep van 29 september 1995 tot en met 29 oktober 1995 en de tweede periode van 10 april 1996 tot en met 9 mei 1996. Beide perioden overlappen grotendeels met de andere metingen van de waterbeweging. De metingen in april en mei 1996 zijn niet bij de huidige beschrijving en analyse gebruikt omdat deze niet op tijd beschikbaar waren.

Getijfase	Datum	GC (-)	Duur (uur)	Weer
Eb	240496	0.95	7	ZZW, later W, 4-5 Bft
Vloed	210596	1.03	7	var. WZW, NNW, WZW, 4-1-4 Bft

Tabel 2.3 Overzicht drijvermetingen

Drijvermetingen

De drijvermetingen zijn tijdens de eb op het zuidelijk deel van de Drempel van Hansweert, als het water de drempel opstroomt, uitgevoerd. Tijdens de vloed zijn de drijvermetingen uitgevoerd op de noordelijke zijde van de drempel, ook als het water de drempel opstroomt. De drijvers werden in een ingooiraai in het water gegooid en circa 2 km stroomopwaarts aan het eind van het drijfvak, midden op de drempel, in een uithaalraai, uit het water gehaald. Als de drijvers op circa 2/3 van het drijfvak zijn, worden nieuwe drijvers uitgeworpen. Zowel in de binnen- als de buitenbocht van de geul zijn

drie drijvers uitgegooid.

De drijvermetingen zijn uitgevoerd tijdens omstandigheden rondom een gemiddeld getij. Met name korte drijvers zijn gevoelig voor wind. Beide metingen vonden plaats bij matig harde wind (windkracht 4 Bft). Normaliter worden drijvermetingen bij windkracht 4 à 5 Bft afgeblazen.

2.4 Beschrijving voorverwerking gegevens

ADCP

De ADCP-metingen zijn zodanig voorbereikt dat per meetpunt, gegeven door een X- en een Y-coördinaat ten opzichte van Parijs, de richting is ontbonden in componenten loodrecht en parallel aan de raai en een verticale component. De stroomsnelheid in het horizontale vlak moesten, evenals de stroomrichting, hieruit berekend worden. De diepte gemiddelde stroming werd berekend uit de diepte gemiddelde component loodrecht op en parallel aan de raai. Uit deze diepte gemiddelde componenten werd ook de diepte gemiddelde stroomrichting berekend waarbij de hoek van de raai ten opzichte van het noorden in acht is genomen. De berekening van de stroomsnelheid en -richting op een relatieve hoogte in de verticaal is op identieke wijze verricht met de componenten van de stroming op de betreffende relatieve hoogte. Voorwaarde is dat de gemeten hoogte niet meer dan 5 % afweek van de gewenste hoogte. Is dat niet het geval, dan zijn de gegevens voor die relatieve hoogte buiten beschouwen gelaten.

ELMAR

Van elke gemeten verticaal is de diepte gemiddelde stroomsnelheid en de diepte gemiddelde richting berekend. De diepte gemiddelde stroomsnelheid is berekend door deze te ontbinden in snelheden en richtingen loodrecht en evenwijdig aan de meetraai. Het gemiddelde van de vectoren van de snelheid wordt berekend door het oppervlak te delen door de gemeten waterdiepte (figuur 2.5). De gemiddelde stroomsnelheid in de verticaal wordt weer berekend uit de gemiddelde waarden van de vectoren:

$$w = \sqrt{(w \cdot \sin \alpha)^2 + (w \cdot \cos \alpha)^2} \quad 2.1$$

waarin:

w = diepte gemiddelde stroomsnelheid (m/s)
 α = hoek tussen dwars- en langscomponent van de stroomvector (grad)

De gemiddelde stroomrichting in de verticaal wordt berekend met:

$$r = \arctan\left(\frac{w \cdot \cos \alpha}{w \cdot \sin \alpha}\right) \quad 2.2$$

waarin:

r = diepte gemiddelde stroomrichting ten (grd)

OSM

Van de OSM's zijn per 10 minuten een stroomsnelheid en -richting beschikbaar die gedurende 1 minuut gemeten zijn.

In de in hoofdstuk 3 volgende analyse zijn veelvuldig stroomsnelheden omgerekend naar stroomsnelheden die horen bij een gemiddeld springtij in Hansweert, met een getij-coëfficiënt van 1.13. Dit is gedaan om de metingen, die bij verschillende getijomstandigheden verricht zijn, onderling te vergelijken. Bij de omrekening is er van uitgegaan dat er een lineaire relatie bestaat tussen de getijslag en de stroomsnelheid. Deze relatie is onderzocht door de maximale stroomsnelheden van de OSM's per getijfase uit te zetten tegen de bij die getijfase opgetreden getijslagen bij Hansweert. Het betreft de OSM-metingen die in de periode van 29 september tot en met 29 oktober 1995 zijn verricht op verschillende plaatsen op de Drempel van Hansweert (figuur 2.1). Het is aannemelijk dat de relatie tussen maximale stroomsnelheden en de getijslag ook voor andere perioden en andere delen van de Westerschelde geldt. De beschrijving van deze metingen staan weergegeven in het rapport OSM. Metingen Drempel van Hansweert Detailmeting 1 (Meetdienst Zeeland, 1996a).

In bijlage D is voor elke OSM's de relatie van de maximale stroomsnelheid ($u_{\max}$) als functie van de getijslag (gs) per getijfase weergegeven. In de meeste meetpunten hebben twee OSM's gemeten. Elke OSM geeft zijn eigen kenmerkende relatie tussen getijslag en maximale stroomsnelheid. Opvallend is dat de relatie bij eb anders zijn dan bij vloed. Bij eb zijn de relaties voor de meeste relaties min of meer lineair, dat wil zeggen dat ze min of meer het nulpunt snijden. Deze relaties hebben de vorm:

$$u_{\max, eb} = \beta gs \quad 2.3$$

waarin:

β = constante (1/s)

Tijdens vloed snijden de relaties niet door het nulpunt en hebben de vorm:

$$U_{\max, \text{vloed}} = \beta g s + 2 \quad 2.4$$

Ook neemt tijdens de vloed de stroomsnelheid sterker toe met de getijslag dan tijdens eb. In het oog springt dat tijdens vloed veelal twee relaties voorkomen. Dit is het duidelijkst voor de OSM 123 in meetpunt 10, in de buitenbocht van het Zuidergat. De oorzaak van de dubbele relatie ligt in het optreden van een hoger harmonisch getij met twee hoogwatertoppen binnen één getijcyclus. In Bijlage D.4 zijn de relaties van alle OSM's in één grafiek gezet. Dit is gedaan voor de maximale stroomsnelheid en de getijslag en voor de maximale stroomsnelheid en de getijcoëfficiënt. Hieruit blijkt dat de spreiding voor eb en vloed groot is. Ook in deze grafiek is de lineaire relatie bij eb wel waar te nemen en bij vloed niet. Dus de omrekening van de stroomsnelheden naar hetzelfde getij met de getijcoëfficiënt is voor ebstroomsnelheden wel geoorloofd en voor vloedstroomsnelheden niet. Voor dit onderzoek is dit gemakshalve toch gedaan. Hierdoor worden de vloedstroomsnelheden bij een gemiddeld springtij te laag berekend, als de gemeten getijslag lager is dan de getijslag bij gemiddeld springtij. Bij omrekening van vloedstroomsnelheden gemeten bij een getijcoëfficiënt hoger dan die van gemiddeld springtij naar een gemiddeld springtij worden de stroomsnelheden te hoog berekend. De hierdoor geïnitieerde fout in de vloedstroomsnelheden is 0.4 m/s.

2.5 Betrouwbaarheid metingen

ELMAR en ADCP

De betrouwbaarheid van de verschillende stroommetingen is geschat door de diepte gemiddelde stroomsnelheden en stroomrichtingen in de verschillende meetpunten in een raai onderling te vergelijken.

In de figuren 3.1 tot en met 3.13 staan van de volledige meting per meetpunt de diepte gemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting weergegeven. Uit de figuren kan geconcludeerd worden dat de metingen een grote intrinsieke betrouwbaarheid hebben: het verloop van de stroomsnelheden en -richtingen van de meetpunten binnen een raai vertonen geen grote afwijkingen. Uitzondering hierop is de ADCP-meting van raai C waar enkele onregelmatigheden voorkomen zoals in de stroomsnelheid en -richting in punt 86 om 11.30 u en in de stroomrichting in punt 80 om 17.30 u. Deze onregelmatigheden zijn echter te verwaarlozen.

OSM

De controlemetingen van de OSM's zijn in 1995 met ELMAR's verricht. Hieruit blijkt dat de OSM-metingen uit 1995 betrouwbaar zijn.

3 Beschrijving

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de metingen van de waterbeweging op de Drempel van Hansweert beschreven. Deze beschrijving wordt sterk geleid door de te toetsen hypothesen, zoals verwoord in Tank (1996a).

Eerst wordt de hoofdstroming op en rondom de drempel beschreven. Vervolgens komt de dwarsstroming aan de orde.

3.2 Diepte gemiddelde hoofdstroming

3.2.1 Inleiding

Het globale verloop van de diepte gemiddelde hoofdstroming wordt als eerste beschreven. Vervolgens wordt het stroombeeld van de diepte gemiddelde hoofdstroming tijdens maximum stroom nader bekeken.

3.2.2 Verloop tijdens een getijcyclus

Het verloop in de tijd van de diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting van de ELMAR en de ADCP is in figuur 3.1 tot 3.13 uitgezet. De ELMAR-gegevens betreffen de waarden in de meetpunten van de raai. In de raaien die gemeten zijn met de ADCP zijn circa 6 punten op karakteristieke locaties in de dwarsraai bepaald en van elk van deze punten is de diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting in de loop van de tijd berekend.

Als in deze paragraaf sprake is van stroomsnelheid of stroomrichting in dan wordt in alle gevallen de diepte gemiddelde stroomsnelheid en de diepte gemiddelde stroomrichting bedoeld.

Dwarsmetingen

Raai B en raai B' Figuren 3.1 en 3.2

Raai B en raai B' zijn ten noorden van de drempel, in de bocht bij Hansweert, gelegen (figuur 2.1). Raai B' ligt circa 200 m stroomopwaarts van raai B. Raai B' is gemeten met de ELMAR tijdens een sterk springtij en raai B met de ADCP tijdens een zwak ontwikkeld doottij, hier doottij genoemd. De diepte gemiddelde stroming van de meting tijdens een springtij in raai B is hier niet beschreven. Uit de figuren 3.1 en 3.2 blijkt dat de hoogste stroomsnelheden tijdens eb en vloed optreden in de binnenbocht van de diepe geul ten oosten van het plateau bij de Plaat van Ossensisse. Er treden daar tijdens een springtij maximale stroomsnelheden op van 1.4 m/s tijdens eb en van 2.2 m/s tijdens

vloed. Tijdens vloed ligt het punt met de hoogste stroomsnelheden meer in de binnenbocht dan tijdens eb. De stroomsnelheden op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee zijn tijdens vloed 0.1 à 0.3 m/s lager dan tijdens eb.

Tijdens springtij zijn de stroomsnelheden hoger dan tijdens doortij. Ook zijn de onderlinge verschillen in stroomsnelheid binnen de raai groter tijdens springtij. Tijdens springtij liggen tijdens vloed de maximum stroomsnelheden in de binnenbocht circa 0.7 m/s hoger dan in de buitenbocht waar de laagste stroomsnelheden optreden; tijdens doortij is dit verschil circa 0.2 m/s. Tijdens eb zijn die verschillen tussen binnen- en buitenbocht verwaarloosbaar.

De vloedkentering treedt op het plateau bij de Plaat van Ossenissee circa 2 uur eerder op dan in de diepe geul. De ebkentering vindt circa 1 uur eerder plaats dan in het diepe deel van de geul. Hierdoor duurt de eb op het plateau circa 1 uur langer dan in de diepe geul ernaast.

De maximale variatie in richting van de stroming is circa 45 graden tussen binnen- en buitenbocht. Deze maximale variatie treedt zowel op bij eb als vloed en zowel bij doortij als bij springtij.

Raai C Figuur 3.3, 3.4 en 3.5

Raai C ligt op het noordelijke deel van de Drempel van Hansweert ten zuiden van raai B. In het westen ligt het ondiepe plateau bij de Plaat van Ossenissee. De raai is gemeten tijdens sterk ontwikkeld springtij (GC = 1.18) met de ADCP en tijdens een gemiddeld springtij (GC = 1.14) met de ELMAR. Raai C is ook gemeten met de ADCP tijdens een zwak ontwikkeld doortij, gemakshalve hier doortij genoemd.

De hoogste stroomsnelheden tijdens eb en vloed komen voor in de binnenbocht, in het diepe deel van de geul ten oosten van het plateau naast de Plaat van Ossenissee. Dit geldt zowel voor doot- als springtij. Bij de metingen met de ADCP tijdens het sterke springtij (GC = 1.18) komen op de oostelijke rand van het plateau snelheden voor die van dezelfde grootte zijn als in de diepe geul. De stroomsnelheden tijdens doortij zijn lager dan tijdens springtij: tijdens maximum vloed is dat 1 m/s en tijdens maximum eb 0.3 m/s.

De duur van vloedfase is op het plateau circa 1 u korter dan in de diepe geul; ebkentering vindt daar eerder plaats. Dit verschijnsel treedt zowel tijdens doortij als springtij op. Tijdens de doortij meting wijkt vlak voor ebkentering meetpunt 86, dat gelegen is op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee, sterk af van de trend. Deze afwijking moet toegeschreven worden aan een meetfout. In de buitenbocht zijn stroomsnelheden 0.7 m/s lager dan in de binnenbocht tijdens een springtij; tijdens doortij is dit verschil circa 0.5 m/s.

De maximale variatie in stroomrichting tussen binnen- en buitenbocht is 25 graden. Deze maximale variatie treedt op bij eb als bij vloed en bij doortij en springtij. De maximale variatie in stroomrichting is 20 graden kleiner dan in raai B, dat ongeveer 1 kilometer stroomafwaarts ligt van raai C. Dit verschil tussen raai B en C wordt veroorzaakt doordat raai B in een sterker gekromd deel van de geul ligt dan raai C.

Raai D Figuur 3.6

Raai D ligt circa 800 m ten zuiden van raai C en net ten noorden van het centrale deel van de Drempel van Hansweert. De meting vond plaats tijdens een matig ontwikkeld gemiddeld springtij. Tijdens vloed zijn de diepte gemiddelde snelheden over de gehele breedte van de diepe geul vrijwel

even groot. Tijdens eb treden in de diepe geul in de binnenbocht 0.5 m/s hogere snelheden op dan in de binnenbocht. Op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee kunnen tijdens eb maximale snelheden voorkomen die ongeveer zo groot zijn als de maximale snelheden in de binnenbocht van de diepe geul.

Op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee nemen tijdens vloed de snelheden eerder af dan in de diepe geul maar de ebkentering vindt hier niet eerder plaats zoals in raai B en C.

De maximale variatie in stroomrichtingen tussen binnen- en buitenbocht is 25 graden.

Raai D₂ Figuur 3.7

Raai D₂ ligt in de Schaar van Ossenissee. De Schaar van Ossenissee is een ondiepe nevengeul die maximaal 10 m diep is. Tijdens een sterk ontwikkeld springtij hebben er metingen plaatsgevonden met de ELMAR in twee punten die 200 m uiteen liggen.

Hoge diepte gemiddelde stroomsnelheden van 1 m/s komen daar voor aan het eind van de vloed en het begin van de eb. Dus als waterstanden zo hoog zijn dat er voldoende water door de ondiepe geul stroomt. De stroomsnelheden zijn tijdens maximum vloed 0.2 m/s hoger dan tijdens maximum eb.

Zowel tijdens maximum eb als vloed treden de hoogste snelheden op in het noordelijke meetpunt (meetpunt 38).

Gemiddeld is de variatie in stroomrichting tussen beide meetpunten is 15 graden. Deze geringe variatie wordt verklaard door dat beide meetpunten maar 200 m van elkaar verwijderd zijn.

Raai 5A Figuur 3.8 en 3.9

Raai 5A ligt ten zuiden van de Drempel van Hansweert en ligt in het Zuidergat en de Schaar van Waarde, die door de Plaat van Walsoorden worden gescheiden. In het Zuidergat is op twee plaatsen gemeten: één meetpunt lag in het midden van de geul en de andere in de binnenbocht. In de Schaar van Waarde zijn de meetpunten gelijk over de raai verdeeld. Deze raai is op twee opeenvolgende dagen gemeten tijdens een sterk ontwikkeld springtij met ELMAR: op 14 juni in de meetpunten 51 en 52 in het Zuidergat en meetpunt 53 in de Schaar van Waarde en op 15 juni in de overige drie meetpunten in de Schaar van Waarde.

In het Zuidergat treden de hoogste stroomsnelheden op in het midden van de geul, waarbij de stroomsnelheden tijdens vloed 0.3 m/s hoger zijn dan tijdens eb. De stroomsnelheden in meetpunt 52, dat in de binnenbocht in een vloodschaartje ligt, zijn tijdens maximum vloed circa 1 m/s hoger dan tijdens maximum eb. In dit meetpunt vindt vloodkentering een half uur eerder plaats dan in het andere meetpunt.

In de Schaar van Waarde vinden maximum stroomsnelheden van 1.3 m/s plaats tijdens vloed; tijdens eb zijn deze 0.6 m/s lager. Een uitzondering hierop is de uitloop van de Schaar van Valkenisse in de Schaar van Waarde (meetpunt 54): daar treden tijdens eb maximum stroomsnelheden op die vergelijkbaar zijn met de maximale stroomsnelheden tijdens vloed.

In het Zuidergat is de variatie in de diepte gemiddelde stroomrichting circa 10 graden. In de Schaar van Waarde is de gemiddelde variatie tussen de meetpunten circa 30 graden. Deze variatie is opvallend omdat de Schaar van Waarde een rechte geul is, maar kan verklaard worden door de invloed van de lokale morfologie, zoals het vloodschaartje aan de noordzijde van de Plaat van Walsoorden en de aanloop naar de Schaar van Valkenisse.

Raai E Figuur 3.10

Raai E ligt circa 1 km ten zuiden van raai 5A in het Zuidergat. Raai E is alleen tijdens eb gemeten met de ADCP tijdens een zwak ontwikkeld springtij.

De grootste diepte gemiddelde stroomsnelheden, van 1.2 m/s, treden op in de buitenbocht. In de buitenbocht zijn de maximale snelheden aanzienlijk lager, tijdens maximum eb 0.7 m/s.

De diepte gemiddelde stroomrichtingen variëren tussen binnen- en buitenbocht gemiddelde 20 graden. Deze variatie wordt verklaard door de kromming van de stroming in de bocht.

Langsmetingen

Raai F en H Figuur 3.11

Raai F en H liggen in elkaars verlengde over de Drempel van Hansweert in de buitenbocht (figuur 2.2). Raai H die op de zuidelijke helft van de drempel ligt is alleen tijdens eb gemeten; raai F ligt op de noordelijke zijde en is alleen tijdens vloed gemeten. De metingen vond plaats tijdens een zwak ontwikkeld springtij met een getijcoëfficiënt van 1.07; meetpunt 17 is afkomstig van een meting op 9 oktober 1995 tijdens een zeer sterk ontwikkeld springtij, met een sterk afwijkende getijcoëfficiënt van 1.21. De diepte gemiddelde stroomsnelheden in meetpunt 17 zijn niet omgerekend naar snelheden die horen bij een zwak ontwikkeld springtij.

Tijdens eb vinden op de het zuidelijk deel van de drempel de hoogste stroomsnelheden plaats in punt 15, midden op de drempel. De maximale ebsnelheden in de andere punten op de zuidelijke helft van de drempel zijn kleiner. Indien meetpunt 17 onder gelijke omstandigheden was gemeten zouden hier lagere stroomsnelheden zijn opgetreden.

Tijdens vloed treden de maximale stroomsnelheden op in de diepe buitenbocht ten noorden van de Drempel van Hansweert. De maximale vloed stroomsnelheden midden op de drempel zijn 0.5 m/s lager. Opvallend is ook dat tijdens de eerste fase van de vloed in meetpunt 15 lage snelheden van circa 0.2 m/s voorkomen. Dit is een meetfout omdat de AZTM-snelheden die gelijktijdig in dit meetpunt zijn verricht in de orde liggen van circa 0.8 m/s. Later, tijdens maximum stroom, meet de ELMAR juiste snelheden omdat deze overeenkomen die van de AZTM en met de andere meetpunten. De variatie in diepte gemiddelde stroomrichtingen tussen de meetpunten van maximaal 50 graden wordt veroorzaakt doordat de meetpunten in delen van de geul met verschillende mate van kromming liggen.

Raai G en J Figuur 3.12

Raai G en J liggen in elkaars verlengde, parallel aan raai F en H, over de Drempel van Hansweert in de binnenbocht (figuur 2.2). Raai J is tijdens eb op de zuidelijke helft van de drempel gemeten en raai G is tijdens vloed op het noordelijke deel van de drempel gemeten. Meetpunt 23 is overigens op 10 oktober 1995, ook tijdens een zwak ontwikkeld springtij gemeten.

De maximale diepte gemiddelde ebstroomsnelheden zijn in de punten op de zuidelijke drempelzijde nagenoeg gelijk. De maximale diepte gemiddelde vloedstroomsnelheden zijn het grootst in de binnenbocht en nemen van noord naar zuid, als het water de drempel opstroomt, stroomopwaarts van de drempel af.

De variatie in de diepte gemiddelde stromingsrichting kan verklaard worden door de verschillende kromming van de geul ter hoogte van de meetpunten.

Raai M Figuur 3.13

Raai M ligt op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert in de binnenbocht (figuur 2.3). De meetpunten liggen in elkaars verlengde op circa 300 m afstand van elkaar in een vloedstroombaan die afgeleid is uit de drijvermeting van 21 mei 1996 (zie paragraaf 2.3). De meting in raai M werd verricht met ELMAR's en vond plaats tijdens een matig ontwikkeld springtij met een getijcoëfficiënt van 1.11.

De maximale eb stroomsnelheden nemen drempelafwaarts, dus in noordelijke richting, toe met 0.5 m/s. De maximale vloodsnelheden nemen drempelopwaarts, dus in zuidelijke richting, circa 0.6 m/s toe. De verschillen tussen de uiterste punten, meetpunt 60 en 65, is zowel tijdens eb als vloed het grootst rondom maximum stroom. De maximale vloodsnelheden van 1.8 m/s in meetpunt 60 zijn 0.3 m/s groter dan de maximale ebsnelheden in hetzelfde meetpunt.

De maximale variatie in stroomrichtingen is tijdens vloed 40 graden en tijdens eb 25 graden. Het verschil tussen de variatie tijdens eb en tijdens vloed wordt verklaard doordat tijdens vloed een deel van het water over de Plaat van Ossensisse stroomt en dus een sterk afwijkende richting heeft.

Tijdens eb is de stroming geconcentreerd in de hoofdgeul.

3.2.3 Maximum stroom

Dwarsraaien

In figuur 3.14 staan de vectoren van de diepte gemiddelde stroming tijdens maximum eb en maximum vloed in een groot deel van de meetpunten uitgezet. Een deel van de vectoren is wegge laten omdat sommige metingen op verschillende dagen op vrijwel dezelfde plaats hebben plaatsgevonden. In geval van overlap van de meetpunten is het meetpunt, dat gemeten is tijdens getijomstandigheden die het dichtst bij dat van een gemiddeld springtij in Hansweert ligt, gehandhaafd. OSM metingen zijn ook gebruikt omdat de OSM's op een diepte in de verticaal meten waar de stroomsnelheid overeen komt met de diepte gemiddelde snelheid in die verticaal. De OSM's gegevens in een raai zijn afkomstig van de dag dat er ook met ELMAR stroommetingen werden verricht.

De snelheden van alle vectoren zijn omgerekend naar een gemiddelde springtij in Hansweert met een getijcoëfficiënt van 1.13. De stroomrichtingen konden echter niet omgerekend worden naar die voor een gemiddeld springtij. Zoals later uit paragraaf 3.5 blijkt kan het verschil in diepte gemiddelde stroomrichting tussen een zwak ontwikkeld doodtij en een sterk ontwikkeld springtij circa 10 graden zijn. Omdat alle metingen in figuur 3.14 rondom een gemiddeld springtij zijn verricht, is dit verschil in stromingsrichting kleiner dan 10 graden. Hierdoor zijn de metingen ook qua stromingsrichting onderling ook redelijk goed vergelijkbaar.

Het ruimtelijk beeld van de stroomvectoren tijdens maximum eb en maximum vloed laat de hoge eb- en vloedstroomsnelheden zien in de binnenbocht, in de diepe geul langs het plateau ten oosten van

de Plaat van Ossensisse. In het Zuidergat treden de hoogste eb- en vloedsnelheden op in de diepe buitenbocht. In de Schaar van Waarde zijn de vloedsnelheden over de hele breedte ongeveer even groot: de ebsnelheden zijn juist het hoogst in de diepere delen van de geul.

De ebstroming uit het Zuidergat en de Schaar van Waarde die via het midden van de drempel de bocht bij Hansweert in stroomt, convergeert. De vloedstroming uit de bocht bij Hansweert divergeert als het de drempel opstroomt.

De maximale eb- en vloedsnelheden in raai B en C zijn circa 0.3 m/s hoger dan in raai D, die net ten noorden van het centrum van de Drempel van Hansweert ligt. Ook het verschil tussen maximale eb- en vloedstroom in de raaien B en C is 0.2 m/s groter dan in raai D.

In de diepe geul op de noordelijk zijde van de drempel komen hogere maximale vloedsnelheden voor die 0.2 à 0.4 m/s hoger zijn dan de maximale ebsnelheden. Op het westelijk deel van het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse, helemaal in de binnenbocht, zijn de maximale ebstroomsnelheden hoger dan de stroomsnelheden bij maximum vloed. Op het oostelijk deel van dit plateau, vlak bij de rand, zijn de maximale vloedsnelheden 0.1 m/s hoger dan de maximale ebstroomsnelheden. In de Schaar van Ossensisse zijn de maximale vloedstroomsnelheden 0.1 à 0.2 m/s groter dan de maximale ebstroomsnelheden. In het Zuidergat gaat de stroomsnelheid van buiten- naar binnenbocht over van hogere maximale ebsnelheden naar hogere maximale vloedsnelheden. In de binnenbocht zijn de maximale vloedsnelheden vele malen hoger dan de maximale ebsnelheden. Dit is ook te zien aan de morfologie: er bevindt zich een vloodschaartje. De Schaar van Waarde heeft hogere maximale vloedsnelheden die 0.4 m/s hoger dan maximale ebsnelheden. In het zuidwestelijk deel van de Schaar van Waarde bevindt zich een schartje waar de maximale vloedsnelheden 1 m/s hoger zijn dan de maximale ebsnelheden.

Langsraaien

Raai F, G, H, J

In figuur 3.15 is het ruimtelijk patroon te zien van de diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting in de langsraaien op de Drempel van Hansweert. Net als bij de dwarsraaien is hier de stroomsnelheid omgerekend naar een gemiddeld springtij in Hansweert. Zoals al eerder opgemerkt zijn meetpunt 17 en 23 tijdens andere omstandigheden gemeten.

Tijdens maximum eb treden op de zuidelijke zijde van de drempel stroomsnelheden op van circa 1 m/s in het westelijk deel van de drempel, in de geul ten oosten van het plateau bij de Plaat van Ossensisse. Dit deel van de drempel ligt in het verlengde van de buitenbocht van het Zuidergat. De maximale ebsnelheden in het westelijk deel zijn circa 0.5 m/s hoger dan die in het oostelijke deel van de drempel. Een deel van het water dat uit het Zuidergat komt, wordt door Schaar van Ossensisse afgetapt, zoals goed te zien is in meetpunt 20.

De diepte gemiddelde stroomsnelheden tijdens maximum vloed op de noordelijke zijde van de drempel zijn 1.2 m/s hoog. In de binnenbocht zijn de maximale stroomsnelheden 0.2 m/s hoger dan in de binnenbocht. Midden op de drempel in het oosten is in meetpunt 15 de stroming naar de Schaar van Waarde gericht, hetgeen duidt op de aftappende werking van die schaar.

Uit meetpunt 15 en 18 die in hetzelfde getij, dus onder vrijwel identieke omstandigheden gemeten

zijn, blijkt dat de stroombanen van maximum eb en vloed in de binnenbocht circa 15 graden en in de binnenbocht circa 5 graden van elkaar verschillen.

In figuur 3.16 is het verloop van de maximale diepte gemiddelde snelheid tijdens eb en maximum vloed en het profiel van de bodem in de langsraaien over de Drempel van Hansweert te zien. Tijdens maximum eb neemt in de binnenbocht, raai G en J, de stroomsnelheid af als het water de drempel opstroomt. In de buitenbocht, raai F en H, neemt tijdens maximum eb de snelheid iets toe, terwijl ook de bodem iets dieper wordt. Dit kan verklaard worden doordat water uit het Zuidergat op dit punt samenvloeit met dat uit de Schaar van Waarde. Het verloop van de snelheid tussen meetpunt 17 en 16 is minder betrouwbaar omdat meetpunt 17 onder andere omstandigheden is gemeten. Tijdens maximum vloed neemt in de binnenbocht en de buitenbocht de stroomsnelheid sterk af als het water de drempel op stroomt. Overigens is in de binnenbocht niet precies bekend hoe de stroom zich gedraagt, omdat meetpunt 23 tijdens andere getij-omstandigheden is gemeten dan de meetpunten 24 en 18.

Raai M

In figuur 3.17 is het ruimtelijk beeld te zien van de stroming in raai M op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert tijdens maximum eb en maximum vloed.

Tijdens maximum eb neemt de diepte gemiddelde stroming drempelafwaarts over 1200 m in snelheid toe van 1.2 m/s in punt 65 naar 1.6 m/s in meetpunt 60. De stroming buigt geleidelijk af naar het westen van meetpunt 65 naar 60 en de vectoren lopen min of meer parallel aan de -10 m dieptelijn. Tijdens maximum vloed neemt de stroomsnelheid drempelopwaarts af van 1.8 m/s in meetpunt 60 naar 1.2 m/s in meetpunt 65. De stroming draait mee met de kromming van de -10 m dieptelijn doch minder geleidelijk dan tijdens maximum eb. Dit grillige verloop wordt veroorzaakt door stroming over de Plaat van Ossensisse tijdens maximum vloed.

Het verschil in de eb- en vloedstroombanen tijdens maximum stroom in raai M is gemiddeld circa 10 graden en maximaal 25 graden.

In figuur 3.18 is het verloop van de maximum diepte gemiddelde stroomsnelheden tijdens maximum eb en vloed en het verloop van het bodemprofiel weergegeven. De toename van de stroomsnelheid tijdens eb en de afname van de stroomsnelheid tijdens vloed heeft geen verband met een toename of afname van de waterdiepte.

Stroombanen

De stroombaanmetingen over de drempel vonden tijdens eb en vloed plaats bij gemiddelde getij-omstandigheden. Zowel bij eb als bij vloed werden in de binnen- en buitenbocht 3 drijvers te water gelaten. Deze drie drijvers hadden een verschillende lengte (zie paragraaf 2.2). Vlak voor maximum eb moesten de 7 m en 10 m drijver in het westelijke inwerppunt ingekort worden tot een lengte van 4.25 m omdat ze vast liepen op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse.

Eb Figuur 3.19

Tijdens maximum eb is het bovenste deel van de waterkolom naar het noord-oosten gericht als het aan de zuidzijde de drempel opstroomt. Eenmaal op de drempel zet dit patroon zich voort bij de westelijke drijver in de binnenbocht. Bij de oostelijke drijvers keert dit patroon zich om halverwege de drempel. Dit kan verklaard worden door de invloed van de stroming uit de Schaar van Waarde, die zich daar bij die uit het Zuidergat voegt. In figuur 3.31, waarin de stroomvectoren op drie diepten tijdens maximum eb zijn geplot, is dit ook te zien. Voor een deel kan de oostelijke koers van de 1 m lange drijver ten opzichte van de langere drijvers verklaard worden door de wind die uit WZW richting met een kracht van 4 Bft kwam.

De maximale ebstroming uit het Zuidergat neemt af met 0.05 à 0.10 m/s als het de drempel opstroomt. Iets voorbij het midden van de drempel, als het water de drempel afstroomt, neemt de stroomsnelheid met 0.10 à 0.20 m/s toe.

Op het westelijke deel van de drempel geeft de divergentie van de beide drijvers van 4.25 m lengte de divergentie van de stroming aan. Wanneer deze drijvers weer de drempel af stromen aan de noordelijke zijde stromen beide drijvers min of meer parallel.

Vloed Figuur 3.20

Bij maximum vloed, als het water aan de noordzijde de drempel op stroomt, drijft ten opzichte van de 7 m lange drijver de 1 m lange drijver naar de binnenbocht en de 10 m lange drijver naar de buitenbocht. Hieruit valt een circulatiepatroon van de secundaire stroming te halen waarin boven in de waterkolom de stroming naar de binnenbocht gaat en onderin de waterkolom de stroming naar de buitenbocht. Dit is precies tegengesteld aan de circulatiecellen met secundaire stroming die ontstaan door centrifugaal krachten in een bocht. Dit kan mogelijk verklaard worden doordat in de dwarsdoorsnede van de geul meerdere circulatiecellen aanwezig zijn, die tegengesteld aan elkaar draaien. Opvallend is ook dat in de oostelijke raai de ondiepe (1 m lange) en de diepe (10 m lange) drijver in een andere richting stromen als de gemiddelde diepe (7 m lange) drijver. Een verklaring hiervoor is de invloed van de Schaar van Waarde op de stroming.

De maximale stroomsnelheden nemen in de binnen- en de buitenbocht af met 0.40 m/s als het water de drempel opstroomt. De wind, die uit de westelijk hoek komt heeft geen invloed op de ondiepe drijvers.

3.3 Dwarsstroming

3.3.1 Inleiding

De dwarsstroming is de stroming loodrecht op de hoofdstromingsrichting. De dwarsstroming kan worden onderverdeeld in de stroming loodrecht op de diepte gemiddelde hoofdstromingsrichting *in een raai*, genaamd de transversale stroming, en de lokale stroming loodrecht op de diepte gemiddelde hoofdstromingsrichting *in een meetpunt*, genaamd de secundaire stroming. De gemiddelde transversale stroming in de verticaal is niet noodzakelijkerwijs 0 m/s (figuur 3.21a), de gemiddelde secundaire stroming is dat wel (figuur 3.21b). Secundaire stroming komt voor in de vorm van één of

meerdere cellen en wordt daarom ook wel spiraalstroming genoemd.

Deze transversale en secundaire stroming zijn een gevolg van divergentie of convergentie van de hoofdstroming en van centrifugaalkrachten en Coriolisversnelling. Een derde oorzaak van dwarsstroming is aanstroming onder een hoek ten opzichte van de hoofdstromingsrichting van water vanuit een andere geul of vanover een plaat. De secundaire stroming wordt geacht een belangrijke factor te zijn die de richting van het sedimenttransport binnen een dwarssectie van een geul bepaalt (Tank, 1996a). De secundaire stroming zorgt er onder andere voor dat sediment van de buitenbocht naar de binnenbocht wordt getransporteerd.

In deze paragraaf wordt het ruimtelijk patroon van de transversale en de secundaire stroming over de Drempel van Hansweert beschreven.

3.3.2 Verloop tijdens een getijcyclus

Van alle meetpunten in de raaien is gedurende een getijcyclus het verloop van de grootte van de dwarsstroming op van 0.1 keer de waterdiepte boven de bodem (in het vervolg 'vlak boven de bodem' genoemd) uit metingen berekend. De dwarsstroming is berekend ten opzichte van de diepte gemiddelde hoofdstroming in de raai tijdens de gehele meting. Per raai is de dwarsstroming weergegeven van circa 6 meetpunten zodat de variatie in de raai tussen binnen- en buitenbocht is weergegeven. De meetpunten zijn dezelfde als de meetpunten waarvan de hoofdstroming is gepresenteerd in de vorige paragrafen (figuur 2.1). Een positieve waarde van de dwarsstroomsnelheid vlak boven de bodem geeft aan dat deze een oostwaartse richting heeft. Afhankelijk van de ligging van de raai is deze component naar de binnen- of buitenbocht gericht.

De hoogte vlak boven de bodem is relatief en hangt dus af van de geuldiepte en de waterstand. Hiervoor is gekozen omdat op deze wijze de dwarsstroming tussen de verschillende raaien en ook tussen de meetpunten onderling binnen een raai beter vergeleken kan worden.

Raai B en raai B' Figuur 3.22 en 3.23

De raai is gemeten met de ADCP tijdens een matig ontwikkeld doottij en met de ELMAR tijdens een sterk ontwikkeld springtij. Raai B' loopt parallel aan raai B en ligt er 200 m ten noorden ervan. Tijdens eb heeft in de binnenbocht op het ondiepe plateau ten oosten van de Plaat van Ossenis de dwarsstroming een grootte van 0.15 m/s en is naar de buitenbocht gericht, zo blijkt uit de ADCP-meting. Tijdens vloed is hier de dwarsstroming 0.05 m/s en eveneens naar de buitenbocht gericht. Zowel tijdens doottij als springtij is de dwarsstroming in de diepe geul 0.2 à 0.3 m/s en er kunnen tijdens doottij en tijdens springtij maximale waarden bereikt worden van 0.6 m/s. In de diepe geul is in de binnenbocht de dwarsstroming tijdens doottij gedurende de eb naar de binnenbocht en gedurende de vloed naar de buitenbocht gericht. Tijdens springtij is in meetpunt 36 in de binnenbocht dit patroon precies omgekeerd. In de buitenbocht is zowel tijdens doottij als tijdens springtij gedurende de eb de dwarsstroming naar de binnenbocht en gedurende de vloed naar de buitenbocht gericht.

Uit de doottijmeting met de ADCP blijkt dat van binnenbocht naar buitenbocht gaande de dwarsstro-

ming in grootte toeneemt. Dit treedt zowel tijdens eb als tijdens vloed op.

Het patroon van de dwarsstroming vlak boven de bodem in raai B' lijkt sterk op dat in raai B dat onder sterk verschillende getijomstandigheden en met een ander instrument is gemeten. Dit geeft vertrouwen in de nauwkeurigheid van beide metingen.

Raai C Figuur 3.24, 3.25 en 3.26

De hier gepresenteerde gegevens van raai C zijn gemeten met de ADCP tijdens een matig ontwikkeld doodtij en tijdens een sterk ontwikkeld springtij. Raai C is ook gemeten met de ELMAR tijdens een gemiddeld springtij.

De dwarsstroming op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee is over het algemeen maximaal 0.1 m/s en daarmee kleiner dan in de diepe geul. Tijdens de doodtijmeting is de dwarsstroming op het plateau tijdens eb naar de binnenbocht gericht en tijdens vloed naar de buitenbocht gericht. Tijdens de springtijmeting met de ADCP is tijdens eb en vloed de dwarsstroming naar de buitenbocht gericht. De ELMAR-meting tijdens springtij wijkt hier weer van af: op het plateau is tijdens eb de dwarsstroming naar de buitenbocht en tijdens vloed naar de binnenbocht gericht. De dwarsstroming op het plateau tijdens de ELMAR-meting is gemiddeld 0.2 m/s en is groter dan de ADCP-springtijmeting.

In de diepe geul is tijdens de doodtij meting en de springtijmeting met de ADCP de dwarsstroming tijdens eb naar de binnenbocht gericht en tijdens vloed naar de buitenbocht. Tijdens de springtijmeting met de ADCP is dwarsstroming 0.15 m/s tijdens eb en 0.2 m/s tijdens vloed en daarmee een factor 2 groter dan tijdens doodtij. De ELMAR-meting laat een minder duidelijk beeld zien dan de ADCP-metingen. Tijdens eb is alleen middenin de geul de dwarsstroming naar de binnenbocht gericht. Tijdens de vloed is de dwarsstroming, anders dan bij de ADCP-metingen, ook naar de binnenbocht gericht. Een oorzaak van de afwijking tussen de ADCP-metingen en de ELMAR-metingen kan de geringere meetnauwkeurigheid van de stromingsrichting met de ELMAR zijn.

Opvallend is dat de dwarsstroming tijdens doodtij in raai C aanzienlijk kleiner is dan die in raai B die gelijktijdig gemeten is. Gemiddeld zijn de waarden in raai C de helft van die in raai B. Dit verschil kan verklaard worden doordat raai C in een deel van de bocht ligt met een geringere kromming dan raai B. De dwarsstroming is namelijk onder andere een functie van de bochtstraal van een geul: een afname van de bochtstraal, dus een toename van de kromming, leidt tot een grotere dwarsstroming (De Vriend en Struiksmā, 1983; Booij en Kalkwijk, 1982).

Raai D Figuur 3.27

Raai D is gemeten met de ADCP tijdens een matig ontwikkeld gemiddeld springtij.

De gemiddelde grootte van de dwarsstroming is tijdens eb en tijdens vloed circa 0.2 m/s. Maximale waarden liggen in de orde van 0.4 m/s. Raai D ligt enkele honderden meters ten noorden van het midden van de Drempel van Hansweert.

Zowel op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee als in de diepe geul is tijdens eb de dwarsstroming naar de binnenbocht gericht en tijdens vloed naar de buitenbocht.

Raai 5A - Zuidergat Figuur 3.28

De stroommeting in raai 5A vond plaats tijdens een sterk ontwikkeld springtij en werd verricht met de ELMAR.

Meetpunt 51 ligt midden in de geul; meetpunt 52 in het vloodschaartje in de binnenbocht (figuur 2.1).

Tijdens het grootste gedeelte van de eb fase is de richting van de dwarsstroming vlak boven de bodem in het midden van de geul naar de binnenbocht gericht. De maximale grootte van de dwarsstroming tijdens eb is ongeveer 0.2 m/s. In het vloodschaartje is tijdens de eb de dwarsstroming naar de buitenbocht gericht. Dit kan verklaard worden doordat de morfologie van het vloodschaartje lokaal het circulatiepatroon van de dwarsstroming verstoort.

In beide meetpunten is tijdens de vloed is de dwarsstroming naar de buitenbocht gericht. De maximale grootte van de dwarsstroming in het midden van de geul is 0.4 m/s. In het vloodschaartje in de binnenbocht is tijdens vloed de dwarsstroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht gericht en kleiner dan 0.05 m/s.

In een analyse van een stroommeting met ELMAR in raai 5A vindt Jeuken (1992) een identiek patroon. Tijdens maximum eb is in het Zuidergat een secundaire stroming aanwezig die nabij de bodem naar de binnenbocht is gericht. Tijdens maximum vloed is in het Zuidergat een secundaire stroming aanwezig die naar de buitenbocht is gericht.

Raai 5A - Schaar van Waarde Figuur 3.29

De dwarsstroming vlak boven de bodem is in de vier meetpunten gemiddeld 0.03 m/s en de richting fluctueert sterk. Omdat de Schaar van Waarde een vrijwel rechte geul is, is er geen sprake van een binnen- en buitenbocht.

Raai E Figuur 3.30

Raai E is alleen gemeten tijdens de eb fase tijdens een zwak ontwikkeld springtij. De meting werd verricht met de ADCP.

De dwarsstroming vlak boven de bodem is tijdens de gehele eb fase in alle punten in de raai naar de binnenbocht gericht. De maximale waarden liggen in de orde van 0.2 m/s. Aanvankelijk treden die maximale waarden op in het midden van de geul maar in de tweede helft van de eb verschuiven die naar de buitenbocht.

3.3.3 Maximum stroom

Vectoren op 0.1, 0.4 en 0.9 z/h

Van een groot aantal meetpunten op de Drempel van Hansweert zijn de snelheidsvectoren van de stroming tijdens maximum eb en maximum vloed op drie relatieve hoogten in de verticaal bepaald. Het betreffen de vectoren op 0.1, 0.4 en 0.9 keer de waterdiepte (h) boven de bodem. De stroomsnelheid op een hoogte van 0.4 maal de waterdiepte staat gelijk aan de diepte gemiddelde stroomsnelheid. De snelheid van de vectoren is omgerekend naar een gemiddeld springtij met een getijfactor

van 1.13. De richting van de factoren is niet omgerekend omdat deze geen relatie heeft met de waterstand. De gegevens zijn van ELMAR- en ADCP-metingen afkomstig. De meetpunten van raai B en C die met de ADCP gemeten zijn, zijn gemeten tijdens een matig ontwikkeld doottij en zullen daarom in grootte en richting relatief veel afwijken van de stroomvectoren tijdens een gemiddeld springtij. De overige metingen zijn verricht rondom een gemiddeld springtij en zij zullen daarom minder afwijken van de situatie tijdens een gemiddeld springtij.

Maximum eb Figuur 3.31

Het ebwater dat tijdens maximum stroom uit het Zuidergat over de drempel stroomt heeft vlak boven de bodem, op een relatieve hoogte van 0.1 keer de waterdiepte (h), ten opzichte van de stroming op 0.4 h een component in de richting van de binnenbocht. In raai E is deze component in de gehele dwarssectie matig ontwikkeld. Op de drempel en op de noordelijke zijde van de drempel in de raaien D, C en B is vooral in de binnenbocht de component van de stroming nabij de bodem sterk naar de binnenbocht gericht. In de 4 oostelijke meetpunten in raai D en in meetpunt 15 wordt de stroming bepaald door de stroming uit de Schaar van Waarde. In meetpunt 40 en 41 in raai D wordt in de hele verticaal de stroming bepaald door de stroming uit de Schaar van Waarde. In meetpunt 42 en 43 wordt boven in de verticaal de stroming door de stroming uit de Schaar van Waarde bepaald terwijl onderin de verticaal de stroming uit het Zuidergat afkomstig is. In meetpunt 44 in raai D wordt de stroming volledig bepaald door de stroming uit het Zuidergat. De grote spreiding in de stroomrichtingen op de verschillende diepten in de meetpunten 83 in raai C en van meetpunten 71 en 72 in raai B wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de metingen gedaan zijn tijdens doottij.

De drijfvermetingen tijdens maximum eb (zie paragraaf 3.2.2 en figuur 3.19) laten een identiek beeld zien.

Tijdens maximum eb laat de stroming over de drempel een consistent beeld zien. In de bochten is er nabij de bodem een stromingscomponent naar de binnenbocht. Op de plaats op de drempel waar de het water uit de Schaar van Waarde en het Zuidergat samenvloeien wordt lokaal het stromingspatroon verstoort en de stromingscomponent nabij de bodem is niet meer in de richting van de binnenbocht. Maximum eb treedt op bij waterstanden rondom NAP (Jeuken, 1992) en de stroming is dan duidelijk door de platen gescheiden geconcentreerd in de geulen. De invloed van uitwisseling tussen geulen via de platen van water is dan gering en het patroon van de dwarsstroming wordt dan ook nauwelijks hierdoor verstoord.

Maximum vloed Figuur 3.32

Het water dat uit de bocht bij Hansweert de drempel op stroomt heeft vlak boven de bodem een component ten opzichte van de diepte gemiddelde stroming met een richting naar de buitenbocht. Uitzondering hierop zijn de punten in de binnenbocht van raai B' en C en de punten in de buitenbocht van raai C en raai D: hier is de stromingscomponent vlak boven de bodem naar de binnenbocht gericht. Ook als het vloedwater al de drempel is afgestroomt, zoals in meetpunt 51 in raai 5A in de bocht van het Zuidergat, is een component van de stroming nabij de bodem naar de buitenbocht gericht.

De drijfvermetingen tijdens maximum vloed ten tijde van een gemiddeld getij laten een identiek beeld

(zie paragraaf 3.2.2 en figuur 3.20) van de stroming van de bocht bij Hansweert naar het midden van de drempel zien.

Tijdens maximum vloed, dat optreedt bij waterstanden rondom NAP 2 m (Jeuken, 1992) wordt de stroming, vooral bovenin de waterkolom, beïnvloed door water dat over de platen wordt aangevoerd. In de binnenbocht van raai B en B' heeft dit invloed op de stroming in het bovenste deel van de verticaal daar: de stroming op 0.9 h in meetpunt 36 in raai B' is naar de buitenbocht gericht. Ook heeft het water dat uit het Middelgat stroomt een geheel andere richting dan het water dat uit de Overloop van Hansweert de bocht bij Hansweert in stroomt. De invloed van de stroming uit het Middelgat beperkt zich tot het bovenste deel van de waterkolom omdat het Middelgat relatief ondiep is. In de meetpunten 23, 72, 71 en 35 in raai B' en B ligt de stromingsrichting in het bovenste deel van de verticaal in het verlengde van de stroming uit het -ondiepe- Middelgat. Onderin de verticaal in deze punten is stroming nog sterk naar de buitenbocht gericht en wordt nog sterk beïnvloedt door de scherpe bocht met de -diepe- Overloop van Hansweert.

Transversale en secundaire stroming

In een aantal raaien is ten opzichte van de gemiddelde stromingsrichting tijdens maximum eb en maximum vloed over de hele breedte van de raai in elk meetpunt op negen verschillende hoogten de grootte van de dwarsstroming tijdens maximum eb- en vloedstroom berekend. Deze componenten zijn in het bijbehorende dwarsprofiel van de raai getekend. De dwarsstroming ten opzichte van de gemiddelde stromingsrichting in de raai is de transversale stroming. Uit de transversale stroming is de secundaire stroming berekend ten opzichte van de gemiddelde transversale stroming in de verticaal van een meetpunt. Uit het patroon van de secundaire stroming in de verschillende meetpunten zijn circulatiecellen met secundaire stroming bepaald.

De gegevens van de raaien B, D en E zijn afkomstig van ADCP-metingen. De gegevens van raai C zijn afkomstig van ADCP- en ELMAR-metingen. De gegevens van de raaien F, G, H en J zijn afkomstig ELMAR-metingen.

Soms kan het zijn dat een enkel meetpunt nabij de bodem 'onder' de bodem terecht is gekomen. Dit kan verklaard worden doordat metingen van de waterbeweging niet gelijktijdig plaatsvonden met de meting van de bodemdiepte en er tussentijds sedimentatie heeft plaatsgevonden. Een andere oorzaak kunnen verschillen zijn in de nauwkeurigheid van de instrumenten die gebruikt zijn bij de stroommeting of bij de lading die diepte bepalen. Dat een punt 'onder' de bodem ligt heeft geen gevolgen voor de interpretatie van de meetgegevens.

Maximum eb

Raai B Figuur 3.33

Op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenissee en in de binnenbocht van de diepe geul is de

transversale stroming naar de buitenbocht gericht. Deze is daar gemiddeld circa 0.5 m/s. Midden in de diepe geul is de transversale stroming naar de binnenbocht gericht en gemiddeld circa 0.25 m/s. In de buitenbocht in meetpunt 70 ontbreken gegevens.

Op en nabij het plateau is vlak boven de bodem de secundaire stroming naar de binnenbocht gericht en ongeveer 0.2 m/s. In het midden van de geul is vlak boven de bodem de secundaire stroming naar de buitenbocht gericht en is ongeveer 0.1 m/s.

Raai C Figuur 3.34, 3.35 en 3.36

De transversale en secundaire stroming in raai C is berekend voor een matig ontwikkeld doodtij en twee maal tijdens sterk ontwikkelde springtij.

De transversale stroming is tijdens doodtij en springtij op het plateau naar de buitenbocht en in de buitenbocht naar de binnenbocht gericht. De transversale stroming is hier tijdens doodtij circa 0.15 m/s en tijdens springtij circa 0.25 m/s groot. In het midden van de diepe geul is de transversale stroming in de verticaal naar de binnen- én naar de buitenbocht gericht.

Tijdens de doodtij-meting is de secundaire stroming vlak boven de bodem is op het plateau naar de buitenbocht gericht en ongeveer 0.05 m/s groot. In het westelijk deel van de diepe geul is de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht en in het oostelijk deel van de diepe geul naar de buitenbocht gericht. Tijdens de springtij metingen is de secundaire stroming op het plateau en het westelijk deel van de diepe geul naar de binnenbocht gericht en heeft een grootte van ongeveer 0.15 m/s. In het oostelijk deel is de transversale stroming ongeveer 0.05 m/s en naar de buitenbocht gericht.

Raai D Figuur 3.37

De transversale stroming is, evenals in raai B en C, op het plateau naar de buitenbocht en in de buitenbocht naar de binnenbocht gericht. Op het plateau is de transversale stroming circa 0.1 m/s en in de buitenbocht circa 0.3 m/s. Dit geeft de convergentie aan van de stroming die vanuit het brede drempelgebied de smallere bocht bij Hansweert instroomt. In het midden van de diepe geul is de transversale stroming zowel naar de binnen- als naar de buitenbocht gericht en in beide richtingen circa 0.2 m/s groot.

Vlak boven de bodem is de secundaire stroming op het plateau ongeveer 0.1 m/s en naar de buitenbocht gericht. In het westen van de diepe geul is die ongeveer 0.2 m/s en naar de binnenbocht gericht en in het oosten ongeveer 0.1 m/s en naar de buitenbocht gericht.

Raai E Figuur 3.38

De transversale stroming fluctueert sterk binnen een verticaal en er is geen eenduidig patroon waarneembaar.

In de binnenbocht is de secundaire stroming nabij de bodem naar de binnenbocht gericht en ongeveer 0.05 m/s groot. In het oostelijk deel van de diepe geul is de secundaire stroming naar de buitenbocht en in het westelijk deel van de diepe geul naar de binnenbocht gericht. De grootte van de secundaire stroming is hier gemiddeld ongeveer 0.05 m/s.

Raai H en J Figuur 3.39

De transversale stroming geeft divergentie aan in meetpunten 20 en 17 als het water vanuit het relatief smalle Zuidergat het brede drempelgebied instroomt. In de meetpunten 18 en 15 is convergentie van de transversale stroming te zien.

De secundaire stroming is nabij de bodem in de meetpunten 20 en 17 naar het westen, de buitenbocht, gericht en tussen de 0.04 en 0.1 m/s groot. In de meetpunten 19 en 16 is de secundaire stroming nabij de bodem eveneens naar het westen gericht en ongeveer 0.1 m/s groot. In meetpunt 18 is de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht en in meetpunt 15 naar de buitenbocht gericht en in beide meetpunten ongeveer 0.1 m/s groot.

Maximum vloed

Raai B Figuur 3.40

Op het plateau is de transversale stroming naar de buitenbocht gericht en circa 0.08 m/s groot. In de buitenbocht is de transversale stroming naar de buitenbocht gericht en circa 0.3 m/s groot. De vloedstroming divergeert in raai B.

Over de hele breedte van de geul is de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de buitenbocht gericht en tussen de 0.02 en 0.06 m/s groot.

Raai C Figuur 3.41, 42 en 43

Raai C is gemeten tijdens een matig ontwikkeld doottij en twee maal tijdens een sterk ontwikkeld springtij. Tijdens doottij en tijdens springtij is de transversale stroming op het plateau in de binnenbocht naar de binnenbocht en in de buitenbocht naar de buitenbocht gericht. De grootte van de transversale stroming varieert tussen 0.1 m/s tijdens doottij en 0.3 m/s tijdens springtij. In de buitenbocht is de transversale stroming zowel tijdens doottij als tijdens springtij circa 0.15 m/s groot. Uit de transversale stroming in raai B en raai C blijkt dat de stroming tijdens maximum stroom divergeert als het van de bocht bij Hansweert naar de drempel stroomt.

De secundaire stroming vlak boven de bodem is op het plateau en in het westelijk deel van de binnenbocht naar de buitenbocht gericht en ongeveer 0.05 tot 0.2 m/s groot. In de buitenbocht is de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht gericht en tussen de 0.05 en 0.1 m/s groot. Dit patroon treedt tijdens doottij én springtij op.

Raai D Figuur 3.44

Op het plateau in de binnenbocht is de transversale stroming circa 0.1 m/s en naar de binnenbocht gericht. In de buitenbocht is de transversale stroming 0.15 m/s en naar de buitenbocht gericht. De vloedstroming divergeert in raai D evenals in raai B en C.

De secundaire stroming vlak boven de bodem is op het plateau ongeveer 0.05 m/s en naar de buitenbocht. In diepe geul is vlak boven de bodem de secundaire stroming ongeveer 0.05 à 0.1 m/s en naar de binnenbocht gericht.

Raai F en G Figuur 3.45

Uit de transversale stroming in de meetpunten 24/22 en 18/15 blijkt dat de stroming divergeert. Uit meetpunten 23/21 is uit de meetpunten noch divergentie noch convergentie te halen. De transversale stroming is in de meetpunten 23/21 maximaal circa 0.4 m/s en neemt af naar de meetpunten 18/15 waar de transversale stroming maximaal circa 0.15 m/s is.

De secundaire stroming vlak boven de bodem is in de meetpunten 23/21 naar de buitenbocht gericht en ongeveer 0.15 m/s groot. In de meetpunten 24/22 en 18/15 is in de binnenbocht de secundaire stroming ongeveer 0.05 m/s en gericht naar de buitenbocht en in de buitenbocht ongeveer 0.05 m/s en naar de binnenbocht gericht.

Circulatiepatronen met secundaire stroming

In figuur 3.46 is voor maximum eb en maximum vloed het verloop over de Drempel van Hansweert van de cellen met secundaire stroming in de meetraaien en -punten samengevat. Bij elke dwarsraai is de getij-coëfficiënt tijdens de meting weergegeven. Het circulatiepatroon met secundaire stroming in de raaien is afgeleid uit de figuren 3.33 tot en met 3.45.

De secundaire circulatie is complex tijdens maximum eb. Over het algemeen komen in een dwarsraai twee of drie cellen met secundaire stroming boven en/of naast elkaar voor. De fase in een doortij springtij-cyclus beïnvloedt het circulatie patroon. Over het algemeen is op het noordelijk deel van de drempel tijdens maximum eb in de diepe geul in de binnenbocht nabij de bodem de secundaire stroming naar de binnenbocht gericht. Op de overgang van plateau naar diepe bocht convergeren nabij de bodem twee cellen met secundaire stroming. In het midden van diepe geul vindt nabij de bodem divergentie van de secundaire stroming plaats. In raai E, dat ten zuiden van de drempel ligt, is het patroon van divergentie en convergentie van de secundaire stroming geheel anders.

Tijdens maximum vloed is het patroon van cellen met secundaire stroming minder complex dan tijdens maximum eb. Tijdens maximum vloed zijn er circa twee cellen met secundaire stroming. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert is de secundaire stroming vlak boven de bodem op het plateau en in het westelijk deel van de diepe bocht naar de buitenbocht gericht. In raai B is dat ook in het oostelijk deel van de raai het geval: in de hele dwarssectie is één grote cel aanwezig. In raai C is in de buitenbocht een kleine cel waarbij nabij de bodem de secundaire stroming naar de binnenbocht is gericht. In raai D zijn drie cellen aanwezig. In de grote cel in de diepe geul is vlak boven de bodem de secundaire stroming naar de binnenbocht gericht. De cellen met secundaire stroming in de meetpunten 23/21, 22/24 en 18/15 ondersteunen de waarnemingen in raai B, C en D. Een identiek ruimtelijk verloop van de secundaire stroming is ook waarneembaar in de stroombaanmetingen (figuur 3.19 en 3.20) en kaarten met vectoren van de stroming op drie verschillende hoogten (figuur 3.31 en 3.32).

3.4 Getijvolumina

In figuur 3.47 zijn de eb- en vloedvolumina in de verschillende raaien op en rondom de Drempel van Hansweert weergegeven. De volumina zijn omgerekend naar een gemiddeld springtij in Hansweert.

Alle gegevens zijn afkomstig van metingen rondom gemiddeld springtij. De in figuur 3.47 gepresenteerde gegevens zijn afkomstig van ADCP metingen. Een uitzondering hierop zijn de gegevens van raai D₂ in de Schaar van Ossenissee die afkomstig zijn van ELMAR-metingen.

Uit figuur 3.47 blijkt dat de getijvolumina in de opeenvolgende raaien in dezelfde orde van grootte liggen. Dat bijvoorbeeld tijdens eb van raai D naar B er eerst een afname en dan een geringe toename van de getijvolumina te zien is, kan verklaard worden door de meetfout, van 10% (De Jong, 1989) en doordat er tijdens verschillende getijomstandigheden is gemeten en dat de omrekeningsmethode met de getijcoëfficiënt niet optimaal is. Een andere verklaring is dat het systeem niet gesloten is omdat water tussen twee raaien in de intergetijdegebieden wordt geborgen. Dit laatste aspect is goed waarneembaar in de vloedvolumina die van raai B naar raai 5A afnemen.

Volumeverdeling

Ruim 60 % van het ebvolume dat over de drempel stroomt komt uit het Zuidergat; 40 % komt uit de Schaar van Waarde en gaat niet over de drempel. 5% van het ebvolume in raai 5A wordt, voordat het de drempel opstroomt, door de Schaar van Ossenissee afgetapt.

Het vloedvolume op de drempel wordt in de verhouding 58 % en 42 % verdeeld over respectievelijk het Zuidergat en de Schaar van Waarde. De Schaar van Ossenissee voegt aan het vloedvolume dat van de drempel afkomt circa 5 %, een bijna te verwaarlozen hoeveelheid, toe.

Het Zuidergat voert vergeleken met de Schaar van Waarde dus tijdens eb en vloed het meeste debiet.

Dominantie

De dominantie is de verhouding tussen vloed- en ebvolumina in een dwarsraai en kan eenvoudig verkregen worden door de quotiënt van de vloed- en de ebvolumina te bepalen (Van Kleef, 1994). Een dominantie kleiner dan 1 duidt op ebdominantie en een dominantie groter dan 1 op vloeddominantie.

De geul ter hoogte van de raaien B, C en D vervoeren vrijwel het totale getijvolume van dijk tot dijk in dit deel de Westerschelde. Deze drie raaien zijn licht ebdominant. Deze ebdominantie kan worden veroorzaakt door de rivierafvoer die veroorzaakt dat de ebvolumina groter zijn dan de vloedvolumina. Raai D₂ in de Schaar van Ossenissee is sterk ebdominant (0.64).

Uit raai 5A blijkt dat het Zuidergat aanzienlijk ebdominant (0.83) en de Schaar van Waarde licht ebdominant (0.96) is. De ebdominantie van de Schaar van Waarde is opmerkelijk omdat de Schaar van Waarde een typische vloedschaar en dus vloedgedomineerd zou moeten zijn. Debietmetingen die sinds 1957 daar worden verricht tonen dit aan. Wel is de vloeddominantie in de loop van de tijd is afgenomen van 1.40 tot 1.10 (Tank, 1996b). Dat de ebvolumina groter zijn dan de vloedvolumina in de Schaar van Waarde kan verklaard worden door de rivierafvoer waar een deel van het ebvolume uit bestaat. Een andere verklaring is dat tijdens de meting de getijcoëfficiënt zodanig veranderde dat dit bij omrekening van de getijvolumina leidde tot een hogere ebvolume dan vloedvolume.

De verdeling van de getijvolumina in het gebied rondom de Westerschelde onderbouwt de hypothese dat het gedrag van de drempels wordt veroorzaakt door aftapping van getijvolumina door nevengeulen (Tank, 1996a). Tijdens eb wordt 10% van het getijvolume uit het Zuidergat door de Schaar van Ossenissee afgetapt vlak voor dat het de drempel opstroomt. Van het vloedvolume afkomstig uit de

bocht bij Hansweert stroomt 42 % niet over de Drempel van Hansweert doordat het wordt afgetapt door de Schaar van Waarde. Overigens vindt anders dan bij de aftapping tijdens eb door de Schaar van Ossenis de aftapping van het vloedvolume door de Schaar van Waarde geleidelijker plaats door de geringe hoek die de vloedschuur met de hoofdgeul maakt. Ter hoogte van de drempel bevindt zich het vloedvolume nog in één geul waarin het volume in het oostelijk deel de invloed van de Schaar van Waarde merkt.

3.5 Vergelijking doottij en springtij

De stromingen tijdens verschillende getij-omstandigheden in raai C zijn met elkaar vergeleken om een indruk te krijgen van de verschillen. De vergelijking betreft de diepte gemiddelde stroomsnelheid en stroomrichting en de grootte van de secundaire stroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem tijdens een getijcyclus in dezelfde punten. Daartoe zijn de ADCP-metingen die plaatsvonden tijdens een matig ontwikkeld doottij ($GC = 0.93$) en een sterk ontwikkeld springtij ($GC = 1.18$) gebruikt. Beide metingen zijn gesynchroniseerd op het tijdstip van maximum vloedstroom.

Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting

Figuur 3.48 laat zien dat de diepte gemiddelde stroomsnelheden in alle punten tijdens springtij groter zijn dan tijdens doottij. Het verschil is tijdens maximum eb 0.3 m/s en tijdens maximum vloed 0.8 m/s. Een uitzondering hier op is meetpunt 86 dat op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenis ligt. In dit punt is de vloedstroom tijdens springtij van kortere duur dan tijdens doottij. De hoek van de diepte gemiddelde stroomrichting ten opzichte van het noorden in de meetpunten tijdens vloed is met springtij circa 10 graden groter dan met doottij (figuur 3.49). Dit geeft een oostelijker richting van de stroming tijdens vloed met springtij dan met doottij aan en kan verklaard worden doordat de vloedstroming met springtij minder gekromd wordt door de bocht om de Plaat van Ossenis. Met eb is het verschil in richting van de diepte gemiddelde stroming ook circa 10 graden.

Dwarsstroming

Verloop tijdens een getijcyclus

In figuur 3.50 is het verloop tijdens een getijcyclus van de grootte van de dwarsstroming vlak boven de bodem (0.1 h) uitgezet. Zowel tijdens doottij als tijdens springtij is de richting van de dwarsstroming gelijk: tijdens eb is de dwarsstroming in alle punten naar de binnenbocht gericht en tijdens vloed naar de buitenbocht. De dwarsstroming is tijdens de springtijmeting gedurende de eb circa 2 keer en tijdens de vloed 2 à 4 keer zo groot als tijdens de doottijmeting.

Transversale en secundaire stroming

Uit de figuren 3.34 en 3.35 en de figuren 3.40 en 3.41 wordt geconcludeerd dat tijdens springtij de transversale stroming circa 0.1 m/s en de secundaire stroming vlak boven de bodem circa 0.05 m/s tijdens springtij groter is dan tijdens doottij. De convergentie van de stroming op het noordelijk deel

van de Drempel van Hansweert tijdens eb als het water van de brede drempel naar de smalle geul stroomt en de divergentie tijdens vloed als het water van de nauwe geul naar de brede drempel stroomt is tijdens springtij groter dan tijdens doottij.

Circulatiepatronen van de secundaire stroming

Tijdens maximum eb verandert van doottij naar springtij het circulatie patroon van de secundaire stroming sterk (figuur 3.46). De drie cellen tijdens doottij worden twee cellen en de grote cel in de diepe geul tijdens vloed neemt in omvang toe en breidt uit naar de binnenbocht. In de buitenbocht ontstaat een nieuwe cel.

Tijdens maximum vloed is er een geringe verandering in het cellenpatroon tussen doottij en springtij. De cel in de buitenbocht neemt toe ten koste van de cel in de binnenbocht.

Eb Figuur 4.1

Tijdens de ebfase stroomt het water de Drempel van Hansweert op vanuit het Zuidergat en de Schaar van Waarde. Een deel van de stroming uit het Zuidergat buigt af naar de Schaar van Ossensisse. Het volume dat door deze schaar wordt afgetapt van de hoofdgeul is gering, circa 5 %. Deze aftapping vindt alleen tijdens de eerste helft van de eb plaats. Het water dat uit het Zuidergat de drempel opstroomt heeft de hoogste snelheden in de buitenbocht, waar het Zuidergat het diepst is, en op het westelijk deel van de zuid zijde van de Drempel van Hansweert. De stroming uit het Zuidergat divergeert als het de drempel bereikt. Het ebwater dat uit het Zuidergat stroomt veroorzaakt op het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse hoge stroomsnelheden. Midden op de Drempel van Hansweert zijn de stroomsnelheden het hoogst in de geul langs het plateau. Deze stroming is afkomstig uit het Zuidergat. De geul is daar het diepst.

De stroomsnelheden in de Schaar van Waarde zijn het hoogst in de diepe delen van deze schaar. Midden op de drempel komen de stromingen uit de Schaar van Waarde en het Zuidergat samen. Midden op de Drempel van Hansweert komt het water boven in de waterkolom uit de Schaar van Waarde en onderin de waterkolom uit het Zuidergat omdat het Zuidergat dieper is. Aan de noordelijke zijde van de Drempel van Hansweert stroomt het water van de drempel de bocht bij Hansweert in. Zowel de stromingsrichting van het water uit het Zuidergat, als de Schaar van Waarde draait bij naar het westen. Over de gehele breedte van de geul vindt een toename van de snelheid en convergentie van de stroming plaats. De hoogste stroomsnelheden op het noordelijk deel van de drempel treden ook op in de diepe geul langs het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse. In de diepe delen is de stromingsweerstand lager.

Naast de langsstroming is ook de dwarsstroming vlak boven de bodem is van belang voor de richting van het sedimenttransport.

De dwarsstroming op 0.1 keer de waterdiepte boven de bodem (in het vervolg vlak boven de bodem genoemd) is over de hele breedte van de geul tijdens de hele ebfase aanwezig en heeft een gemiddelde grootte van tussen de 0.1 m/s en 0.25 m/s. De dwarsstroming op deze diepte is op en rondom de Drempel van Hansweert in de diepe geul over het algemeen naar de binnenbocht gericht. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert is de dwarsstroming vlak boven de bodem in de bocht groter dan in het relatief rechte stuk midden op de drempel.

De dwarsstroming bestaat uit transversale stroming en secundaire stroming. De transversale stroming is de dwarsstroming loodrecht op de diepte gemiddelde hoofdstromingsrichting *in een raai*. De secundaire stroming is de lokale stroming loodrecht op de diepte gemiddelde hoofdstromingsrichting *in een meetpunt*. De secundaire stroming is berekend ten opzichte van de diepte gemiddelde transversale stroming in een meetpunt en is diepte gemiddelde 0 m/s. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert treedt tijdens maximum ebstroom convergentie van de stroming op. De convergentie is tijdens springtij groter dan tijdens doottij: de transversale stroming is in de verticaal gemiddeld 0.2 m/s groter.

Tijdens maximum ebstroom komen in een dwarsraai 2 à 3 cellen voor met secundaire stroming

(figuur 3.46). De configuratie van deze cellen verloopt over de drempel en in een doottij-springtijcyclus. Eenduidige patronen zijn niet waar te nemen. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert is in de binnenbocht de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht gericht. In het Zuidergat is in de binnenbocht van de diepe geul de secundaire stroming juist naar de buitenbocht gericht. In buitenbocht van de diepe geul is tijdens maximum stroom de secundaire stroming vlak boven de bodem op de verschillende lokaties op de Drempel van Hansweert naar zowel de buitenbocht als naar de binnenbocht gericht. De grootte van de secundaire stroming vlak boven de bodem varieert tussen 0.02 en 0.15 m/s in beide richtingen.

Vloed Figuur 4.2

De stroming uit de bocht bij Hansweert divergeert en neemt in snelheid af met 0.4 m/s als het de Drempel van Hansweert op stroomt. De hoogste stroomsnelheden treden op in de binnenbocht van de diepe geul net langs het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse. Op het plateau komen, vooral bij de kop van de Plaat van Ossensisse, hoge vloedstroomsnelheden voor. Overigens duurt op het plateau de vloed een uur korter dan in de rest van de geul. Midden op de drempel gaat de stroming 'rechtdoor' en splitst zich: een deel gaat de Schaar van Waarde in en een ander deel gaat het Zuidergat in. De verdeling tussen de geulen van het vloedvolume is respectievelijk 42 en 58 %. De stroomsnelheden tijdens maximum stroom zijn in de Schaar van Waarde over de gehele breedte ongeveer even hoog. In het Zuidergat treden de hoogste vloedstroomsnelheden op in het oostelijk deel, in de binnenbocht. Daar is, in de westelijke flank van de Plaat van Walsoorden, een vloed-schaar aanwezig. Bij het water dat van de drempel naar het Zuidergat afstroomt voegt zich water uit de Schaar van Ossensisse. Dit is overigens een geringe hoeveelheid: 5 % van het vloedvolume dat over de drempel stroomt.

De dwarsstroming vlak boven de bodem is tijdens de hele vloedfase aanwezig en varieert tussen gemiddeld 0.05 m/s en 0.4 m/s. Tijdens de vloedfase is de dwarsstroming op deze diepte naar de buitenbocht gericht. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert neemt de dwarsstroming in de bocht bij Hansweert af naar het midden van de drempel.

Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert vindt tijdens maximum vloedstroom divergentie van de stroming plaats, als het water uit de smalle bocht bij Hansweert de brede drempel opstroomt. Dit blijkt uit analyse van de transversale stroming in de verticaal. De divergentie is tijdens springtij groter dan tijdens doottij.

Op en rondom de Drempel van Hansweert zijn tijdens maximum stroom tussen de 1 en 3 cellen met secundaire stroming aanwezig (figuur 3.46). Het aantal cellen en de configuratie verloopt van de bocht naar de drempel en tussen doottij en springtij. In de binnenbocht op het noordelijk deel van de drempel is nabij de bodem de secundaire stroming naar de buitenbocht gericht. In de buitenbocht is vlak boven de bodem de secundaire stroming meestal naar de buitenbocht gericht. De grootte van de secundaire stroming nabij de bodem tijdens maximum vloed varieert over het algemeen tussen de 0.05 m/s en de 0.1 m/s.

Voor het morfodynamisch gedrag van de Drempel van Hansweert zijn de volgende factoren van belang:

Diepte gemiddelde hoofdstroming

- * De divergentie van de stroming en afname van de stroomsnelheid tijdens eb en vloed als het water de Drempel van Hansweert opstroomt; met name tijdens vloed is de afname van de snelheid van de hoofdstroming groot. Divergentie van de hoofdstroming leidt tot het brede en ondiepe dwarsprofiel van de drempel. De vertraging van de hoofdstroming wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het 'te ruime' profiel en heeft gevolgen voor de sedimentatie op de drempel doordat de stroming vertraagt waardoor sedimentatie plaats vindt. Als het water tijdens eb weer de drempel afstroomt, convergeert de stroming en neemt in snelheid toe. Hierdoor treedt erosie op. Het vloedwater dat de drempel afstroomt verdeelt zich over twee geulen en de convergentie en de toename van de stroomsnelheid is minder duidelijk.
- * Op de noordelijke zijde van de drempel zijn de diepte gemiddelde stroomsnelheden in de hoofdgeul tijdens eb en vloed het hoogst vlak langs het plateau ten oosten van de Plaat van Ossenis; in de buitenbocht zijn de stroomsnelheden 0.1 à 0.3 m/s lager.
- * Op het midden en het zuidelijk deel van de drempel komen de hoogste stroomsnelheden tijdens eb in een westelijker positie voor vloed. Doordat de stroomdraden van eb en vloed ruimtelijk gescheiden zijn wordt de geul niet optimaal gebruikt. Dit heeft het relatief brede en ondiepe dwarsprofiel, zeer kenmerkend voor een drempel, tot gevolg.
- * De verdeling van het vloedvolume dat uit de bocht bij Hansweert komt wordt zodanig verdeeld dat in het Zuidergat 60 % en de Schaar van Waarde 40 % stroomt. Hierdoor is het dwarsprofiel van het splitsingspunt tot de geul aanzienlijk kleiner dan de geul stroomafwaarts van het splitsingspunt waardoor het volledige vloedvolume nog moet stromen. De Schaar van Ossenis tapt 5 % van het ebvolume uit het Zuidergat vlak voordat het water de Drempel van Hansweert opstroomt af. Dit heeft weinig invloed op het gedrag van de drempel.

Dwarsstroming

- * De dwarsstroming vlak boven de bodem is tijdens de hele getijcyclus aanwezig en is tijdens de ebfase tussen de 0.1 en 0.25 m/s groot en tijdens de vloedfase tussen de 0.1 en 0.4 m/s groot. Tijdens eb is deze meestal naar de binnenbocht en tijdens vloed naar de buitenbocht gericht.
- * De dwarsstroming bestaat uit transversale stroming en secundaire stroming. De transversale stroming in de hele verticaal tijdens maximum eb en maximum vloed is met name sterk in de binnen- en de buitenbocht van de geul en varieert tussen de 0.2 m/s en 0.3 m/s. Op het noordelijk deel van de Drempel van Hansweert blijkt uit de dwarsstroming de divergentie tijdens maximum eb en de convergentie tijdens maximum vloed van de hoofdstroming.
- * In de geulen op en rondom de Drempel van Hansweert zijn tijdens maximum eb 2 à 3 cellen met secundaire stroming aanwezig. Tijdens maximum vloed zijn 1 à 3 cellen aanwezig. Het aantal cellen en de onderlinge configuratie varieert met de kromming van de geul en met de doortij-springtij cyclus. Nabij de bodem varieert de grootte van de secundaire stroming

tussen de 0.02 m/s en 0.15 m/s. Er is geen verschil tussen maximum eb en maximum vloed in de grootte van de secundaire stroming vlak boven de bodem.

In de diepe geul varieert de richting van de secundaire stroming vlak boven de bodem. In de binnenbocht van de diepe geul is nabij de bodem de secundaire stroming tijdens maximum eb naar de binnenbocht gericht en tijdens maximum vloed naar de buitenbocht. In de buitenbocht is tijdens maximum vloed de secundaire stroming naar de buitenbocht gericht. Tijdens maximum eb is in de buitenbocht het patroon van de secundaire stroming divers. Hierdoor is het netto effect op de sedimenttransportrichting onbekend en hangt af van de grootte en duur van de sedimenttransporten door de secundaire stroming over een hele getijcyclus.

- * De relatie tussen secundaire stroming en de morfologie zoals in rivieren waar de secundaire stroming in een bocht een driehoekig dwarsprofiel veroorzaakt is afwezig op en rondom de Drempel van Hansweert. In de bochten is het dwarsprofiel niet driehoekig en midden op de drempel zijn secundaire stromingen aanwezig zonder dat dit het typische driehoekige dwarsprofiel heeft veroorzaakt.
- * De secundaire stroming is nabij de bodem tijdens eb naar de binnenbocht van de bocht bij Hansweert en van het Zuidergat gericht en tijdens vloed juist naar de buitenbochten van beide geulen. Tijdens andere getijomstandigheden kan tijdens vloed de secundaire stroming vlak boven de bodem naar de binnenbocht gericht zijn.
- * De stroming in de Schaar van Waarde beïnvloedt de secundaire stroming tijdens eb en vloed in het oostelijk deel van het midden van de drempel zodanig dat circulatiepatronen met secundaire stroming veranderen en zelfs omkeren.

Een beschrijving en analyse van de stroommetingen op de Drempel van Hansweert levert de volgende inzichten op over de waterbeweging die van belang zijn voor het morfodynamisch gedrag van die drempel:

- * Het water de drempel opstroomt divergeert en neemt in stroomsnelheid af die tijdens eb en vloed. De divergentie en afname van de stroomsnelheid is groter tijdens vloed dan tijdens eb. Water dat tijdens eb de drempel afstroomt convergeert en neemt in snelheid toe. Het afstromende vloed water wordt verdeelt over het Zuidergat en de Schaar van Waarde en de mate van convergentie en de snelheidsveranderingen zijn onbekend.
- * De stroomdraden tijdens eb en vloed bevinden op het noordelijk deel van en het midden van de drempel vlak langs het plateau ten oosten van de Plaat van Ossensisse in de diepe geul. De stroomdraden van de eb en van de vloed stemmen niet geheel overeen: de stroomdraad van de eb ligt ten westen van de stroomdraad van de vloed. De afstand tussen beide stroomdraden is midden op de Drempel van Hansweert het grootst.
- * Tijdens springtij zijn de diepte gemiddelde stroomsnelheden groter dan tijdens doottij. Dit verschil is tijdens maximum vloed 0.6 m/s en tijdens maximum eb 0.3 m/s.
- * De nevengeul de Schaar van Waarde tapt circa 40 % van het vloedvolume in het drempelgebied af. De aftapping van het vloedwater veroorzaakt een kleinere dwarsdoorsnede van de drempel. De nevengeul van de Schaar van Ossensisse tapt 5 % van het ebvolume uit het Zuidergat af. De invloed op het dwarsdoorsnede van de drempel is te verwaarlozen.
- * Dwarsstroming is gedurende de hele getijcyclus aanwezig. Tijdens eb is de dwarsstroming over het algemeen naar de binnenbocht gericht en tijdens vloed naar de buitenbocht. De dwarsstroming is tijdens springtij een factor twee groter dan tijdens doottij.
- * Dwarsstroming kan onderverdeeld worden in transversale en secundaire stroming. De transversale stroming is het grootst in de uiterste binnen- en buitenbocht. De transversale stroming neemt met de kromming van de bocht af.
- * Tijdens maximum eb en maximum vloed komen 1 à 3 cellen voor met secundaire stroming met vlak boven de bodem stroomsnelheden die variëren tussen de 0.05 en 0.1 m/s. Het aantal cellen en de onderlinge configuratie varieert met de kromming van de geul en de doottij-springtij-cyclus. Het patroon van de secundaire stroming is complex en het netto resultaat over een getijcyclus is onduidelijk. Het patroon van de secundaire stroming heeft geen relatie met de vorm van de dwarsdoorsnede van de geul. De secundaire stroming vlak boven de bodem is tijdens springtij 0.02 m/s à 0.05 m/s groter dan tijdens doottij.

Literatuur

- Aqua Vision, 1996a. Resultaten van stromingsmetingen op de Drempel van Hansweert op Raai B en Raai C op 17 april 1996. Rapport nr. AV25.
- Aqua Vision, 1996b. Resultaten van stromingsmetingen op de Drempel van Hansweert op Raai D op 11 november 1996. Rapport nr. AV26.
- Bestuurlijk Klankbordforum Westerschelde, 1991. Beleidsplan Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, 92 p.
- Bliek, A.J. en M.N. Ruijter, 1994. Verklarend onderzoek drempels Westerschelde. Ingenieursbureau Svasek, project 940.
- Booij, R. en J.P.Th. Kalkwijk, 1982. Secondary flow in estuaries due to the curvature of the main flow and to the rotation of the earth and its development. T.H. Delft. Lab. Fluid Mech., Report no. 9-82, 38 p. Ook als: Rijkswaterstaat, GEOMOR-nota 83.05, 37 p.
- De Jong, H., 1989. Debietgegevens in de Westerschelde vanaf 1932 (voorlopige versie; herzien in november 1995). Rijkswaterstaat, Dienst Getijde Wateren, Nota GWAO - 89.1004.
- De Vriend, H.J. en N. Struiksmā, 1983. Flow and bed deformation in river bends. Presented at Rivers '83, ASCE, New Orleans, Oct. 1983. Ook: Waterloopkundig Laboratorium/Delft Hydraulics Laboratory, Publication no. 317, 19 pp.
- Jeuken, M.C.J.L., 1992. Een analyse van stroom- en sedimenttransportmetingen in het oostelijk deel van de Westerschelde. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Nota NWL-92.17.
- Meetdienst Zeeland, 1995a. Debietmeting Middelgat (6). Test A.D.C.P. 15 maart 1995. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland/Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.006.
- Meetdienst Zeeland, 1995b. Raai 5A. Stroom- en sedimentmeting Westerschelde 14 en 15 juni 1995. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.021.
- Meetdienst Zeeland, 1995c. Raai F, G, H en J. Stroom- en sedimentmeting Drempel van Hansweert, 23 oktober 1995. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.027.
- Meetdienst Zeeland, 1996a. OSM metingen. Drempel van Hansweert (detailmeting 1), 29 september t/m 29 oktober 1995. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.028.
- Meetdienst Zeeland, 1996b. Raai C. Debiet- en sedimentmeting Drempel van Hansweert, 25 oktober 1995. Rijkswaterstaat, directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.031.
- Meetdienst Zeeland, 1996c. Raai B en C. Debietmeting (ADCP). Drempel van Hansweert, 3 november 1995. Aqua Vision. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.039.
- Meetdienst Zeeland, 1996d. Raai E. Debietmeting (ADCP). Drempel van Hansweert, 6 november 1995. Aqua Vision Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-95.N.040.
- Meetdienst Zeeland, 1996e. Raai B'/D₂. Debiet- en sedimentmeting. Drempel van Hansweert (18), 17 april 1996. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-96.N.010.
- Meetdienst Zeeland, 1996f. Meetresultaten Stroombaansmeting Eb. Drempel van Hansweert Detailmeting 15, 24 april 1996. Rijkswaterstaat, Directie Zeeland, Meetdienst Zeeland, Notitie ZLMD-

Het gedrag van drempels in de Westerschelde

Beschrijving en analyse van metingen van de waterbeweging op en rondom de Drempel van Hansweert

-Figuren en bijlagen-

december 1996

F.T.G. Tank

Universiteit Utrecht

Faculteit der Ruimtelijke Wetenschappen

Vakgroep Fysische Geografie

Instituut voor Marien en Atmosferisch Onderzoek (IMAU)

IMAU Rapport 97-01

Rapport voor de Rijkswaterstaat Directie Zeeland
en het Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ

Project DREMPELS

Lijst van figuren

- Figuur 1.1 Ligging van de Westerschelde in ZW Nederland en van Antwerpen
- Figuur 1.2 Ligging van de Drempel van Hansweert in de Westerschelde
- Figuur 2.1 Meetlokaties stroommetingen op de Drempel van Hansweert: dwarsraaien
- Figuur 2.2 Meetlokaties stroommetingen op de Drempel van Hansweert: langsvaaien F, G, H en J
- Figuur 2.3 Meetlocatie stroommetingen op de Drempel van Hansweert: langsvaai M
- Figuur 2.4 Lokaties op de Drempel van Hansweert van de drijvervakken
- Figuur 2.5 Definitie schets van de ontbinding in een langs- en een dwarsrichting van ELMAR-metingen op een bepaalde diepte (bron: Meetdienst Zeeland)
- Figuur 3.1 Vaai B. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.2 Vaai B'. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.3 Vaai C. ADCP. GC = 0.93. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.4 Vaai C. ADCP. GC = 1.18. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.5 Vaai C. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.6 Vaai D. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.7 Vaai D₂. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.8 Vaai 5A. Zuidergat. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.9 Vaai 5A. Schaar van Waarde. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.10 Vaai E. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.11 Vaai F en H. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.12 Vaai G en J. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.13 Vaai M. ELMAR. Diepte gemiddelde stroomsnelheid en -richting
- Figuur 3.14 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Dwarsvaaien
- Figuur 3.15 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Langsvaaien F, G, H en J
- Figuur 3.16 Diepte gemiddelde snelheden en richtingen tijdens maximum eb en vloed. Langsvaai M
- Figuur 3.17 Diepte gemiddelde snelheden tijdens maximum eb en vloed en het langsprofiel. Langsvaaien F, G, H en J
- Figuur 3.18 Diepte gemiddelde snelheden tijdens maximum eb en vloed en het langsprofiel. Langsvaai M
- Figuur 3.19 Stroombanen van de drijvers tijdens maximum eb
- Figuur 3.20 Stroombanen van de drijvers tijdens maximum vloed
- Figuur 3.21 Definitie schets a. transversale stroming en b. secundaire stroming
- Figuur 3.22 Vaai B. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.23 Vaai B'. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.24 Vaai C. ADCP. GC = 0.93. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.25 Vaai C. GC = 1.18. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.26 Vaai C. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem

- Figuur 3.27 Raai D. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.28 Raai 5A - Zuidergat. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.29 Raai 5A - Schaar van Waarde. ELMAR. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.30 Raai E. ADCP. Dwarsstroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem
- Figuur 3.31 Drempel van Hansweert. Maximum eb. Snelheden en richtingen op 3 diepten
- Figuur 3.32 Drempel van Hansweert. Maximum vloed. Snelheden en richtingen op 3 diepten
- Figuur 3.33a Raai B. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.33b Raai B. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.34a Raai C. ADCP. GC = 0.93. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.34b Raai C. ADCP. GC = 0.93. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.35a Raai C. ADCP. GC = 1.18. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.35b Raai C. ADCP. GC = 1.18. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.36a Raai C. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.36b Raai C. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.37a Raai D. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.37b Raai D. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.38a Raai E. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.38b Raai E. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.39a Raai H en J. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.39b Raai H en J. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum ebstroom
- Figuur 3.40a Raai B. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.40b Raai B. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.41a Raai C. ADCP. GC = 0.93. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.41b Raai C. ADCP. GC = 0.93. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom

- Figuur 3.42a Raai C. ADCP. GC = 1.18. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.42b Raai C. ADCP. GC = 1.18. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.43a Raai C. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.43b Raai C. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.44a Raai D. ADCP. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.44b Raai D. ADCP. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.45a Raai F en G. ELMAR. Transversale en secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.45b Raai F en G. ELMAR. Circulatiecellen met secundaire stroming in dwarsprofiel tijdens maximum vloedstroom
- Figuur 3.46 Het verloop op de Drempel van Hansweert van cellen met secundaire stroming tijdens maximum eb en maximum vloed
- Figuur 3.47 Drempel van Hansweert. Getijvolumina in de dwarsraaien
- Figuur 3.48 Raai C. ADCP. Diepte gemiddelde stroomsnelheid tijdens springtij en doottij
- Figuur 3.49 Raai C. ADCP. Richting diepte gemiddelde stroming tijdens springtij en doottij
- Figuur 3.50 Raai C. ADCP. Secundaire stroming op 0.1 waterdiepte boven de bodem tijdens springtij en doottij
-
- Figuur 4.1 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens eb
- Figuur 4.2 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens vloed

Lijst van bijlagen

- Bijlage A Uitgebreid overzicht stroommetingen op de Drempel van Hansweert en de bijbehorende getij- en weersomstandigheden
- Bijlage B Diepte schema ELMAR stroommetingen
- Bijlage C Drijvers gebruikt bij stroombaanmetingen
- Bijlage D OSM's: getijslag versus maximum stroomsnelheid per getijfase

Figuren

ZW Nederland

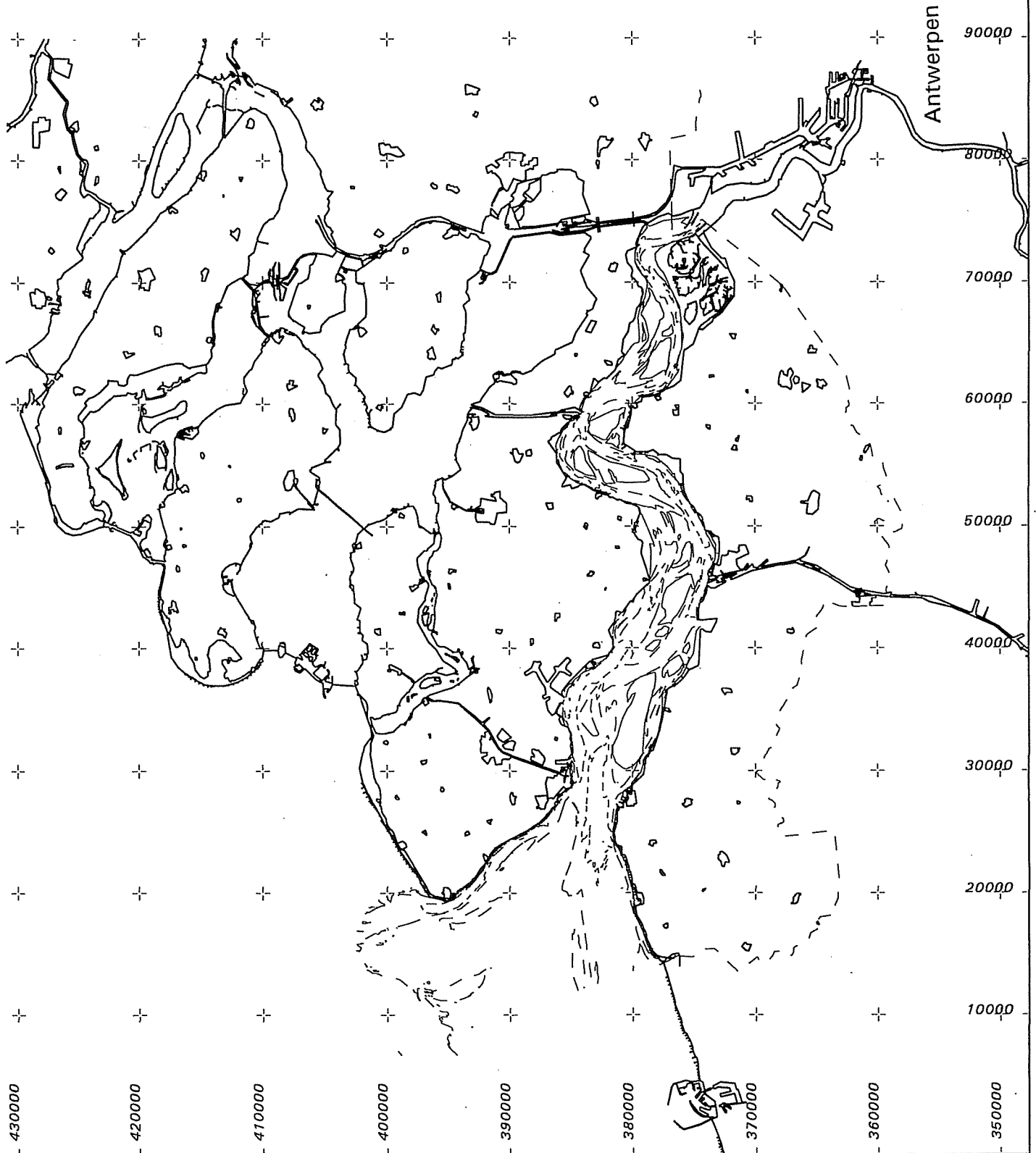
Lokatie Westerschelde

Schaal: 1:450.000

DREMPELS



Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee



Figuur: 1.1

Westerschelde

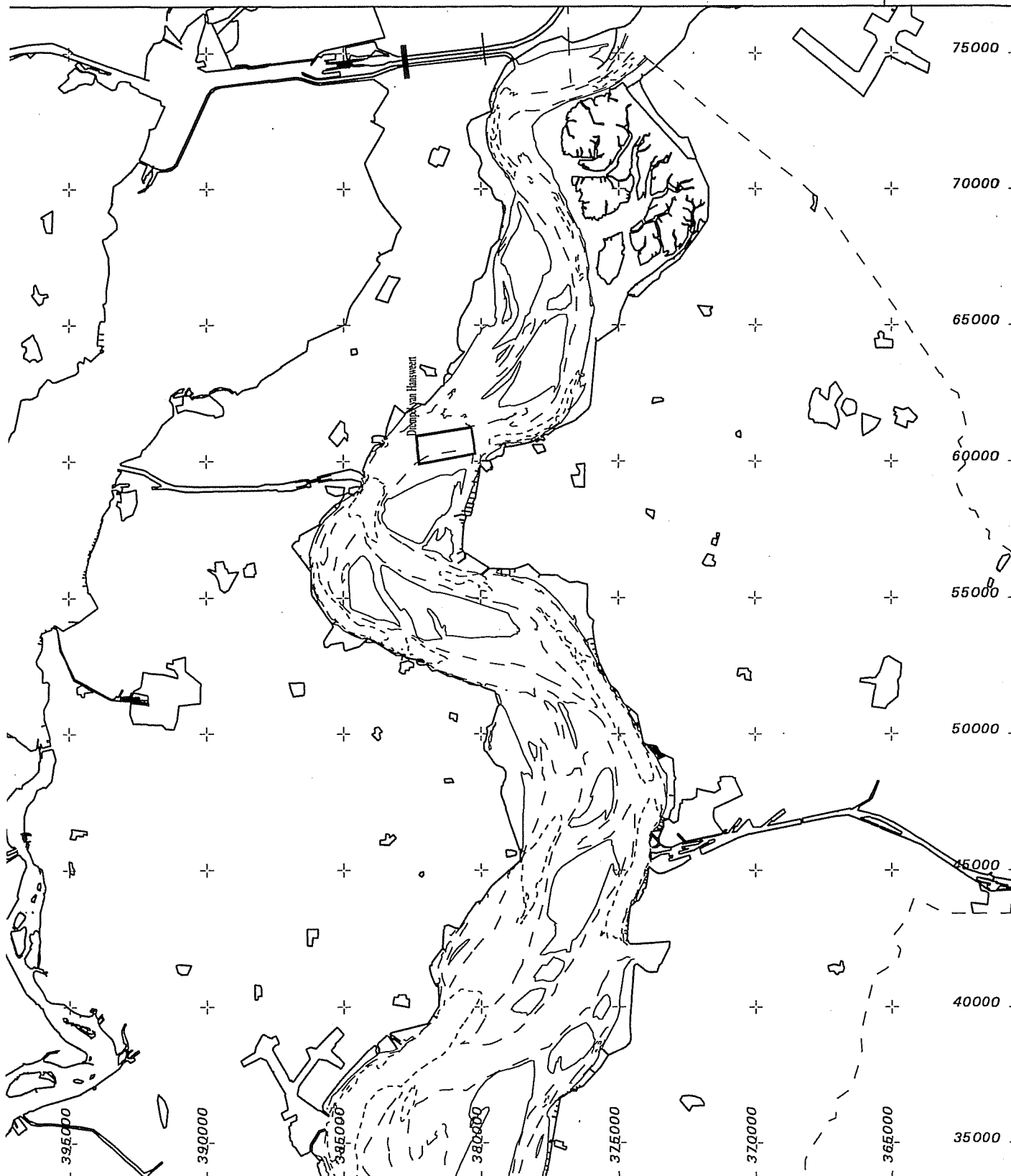
Lokatie Drempeel van
Hansweert

Schaal: 1:200.000

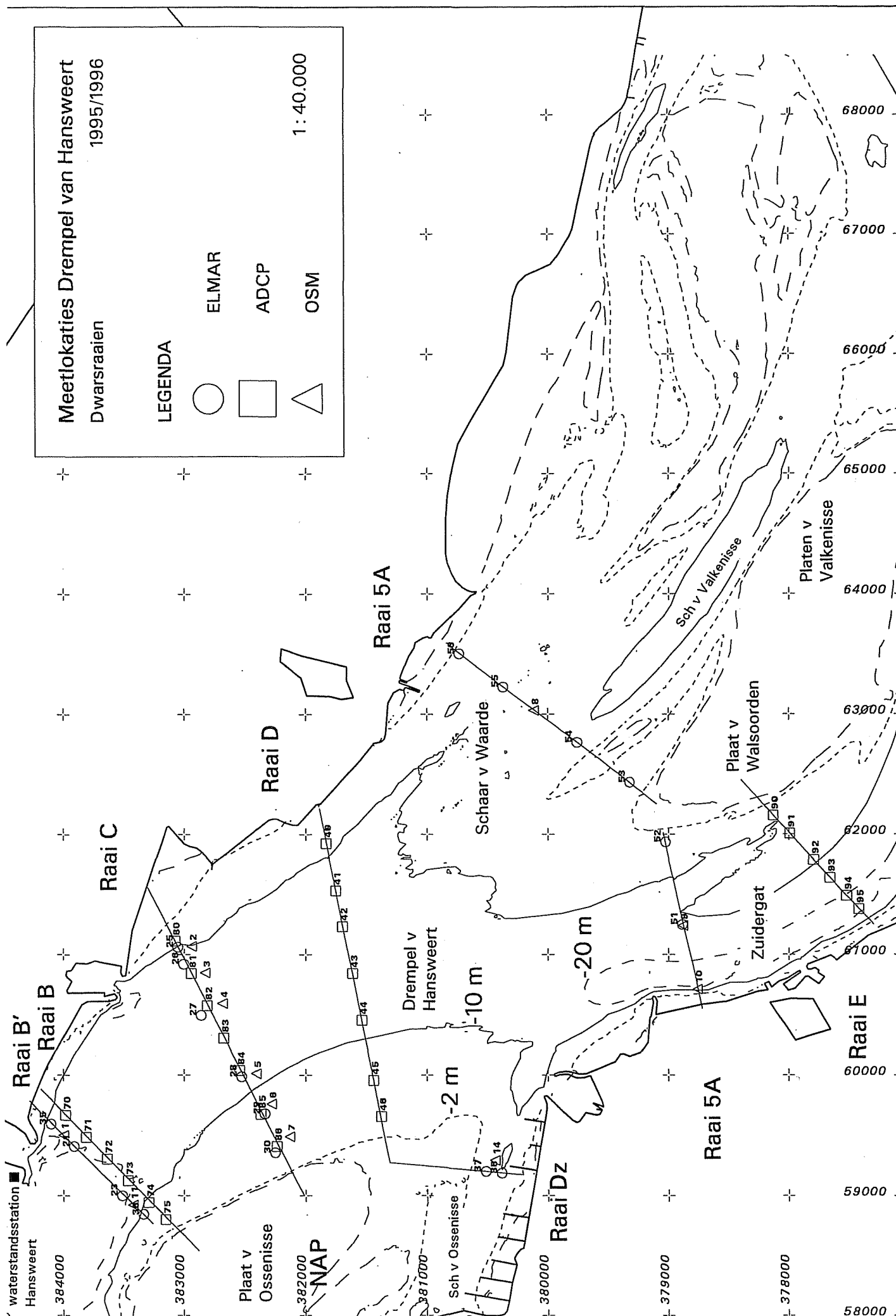
DREMPELS



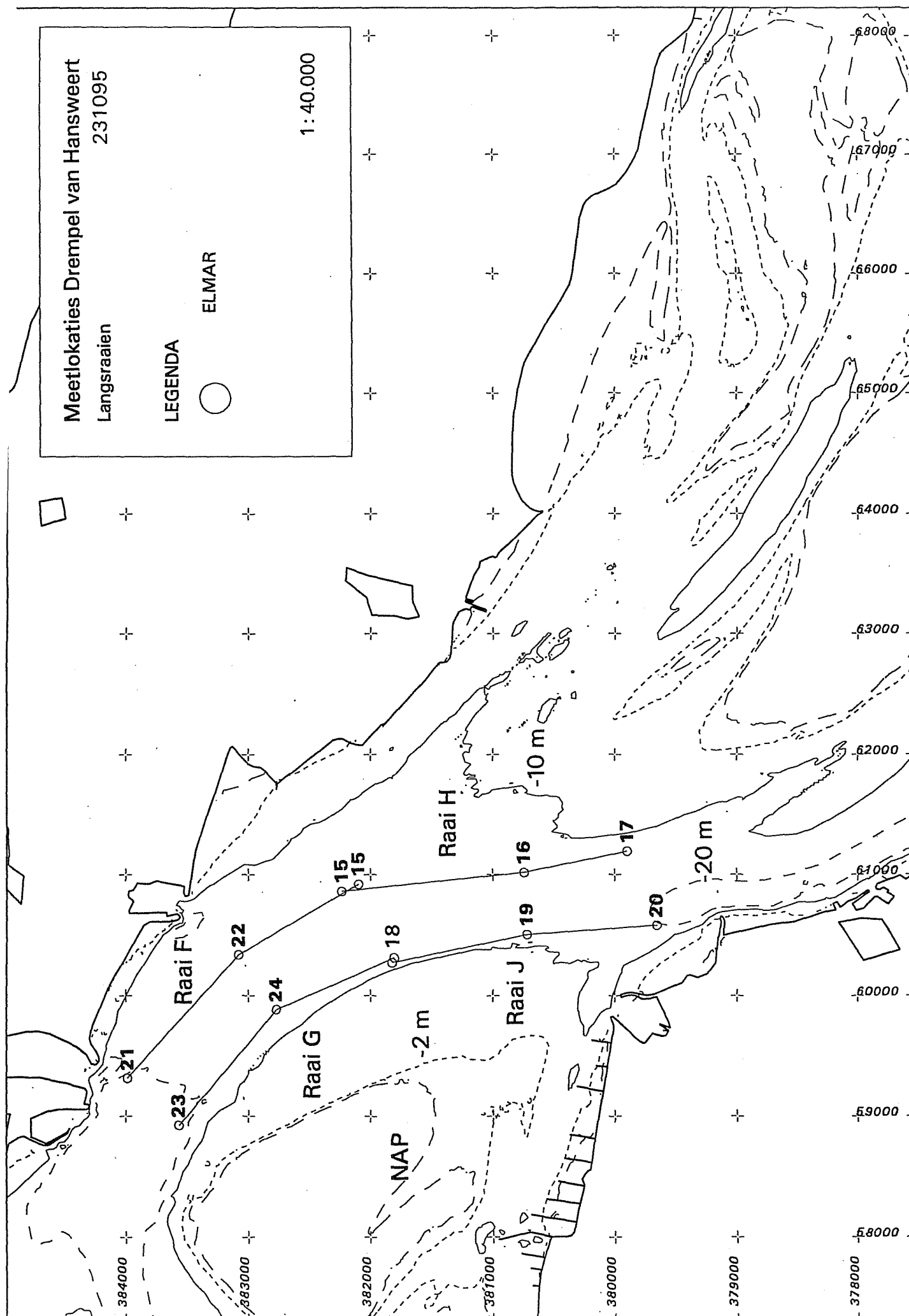
Rijksinstituut voor Kusten Zee
Rijkswaterstaat



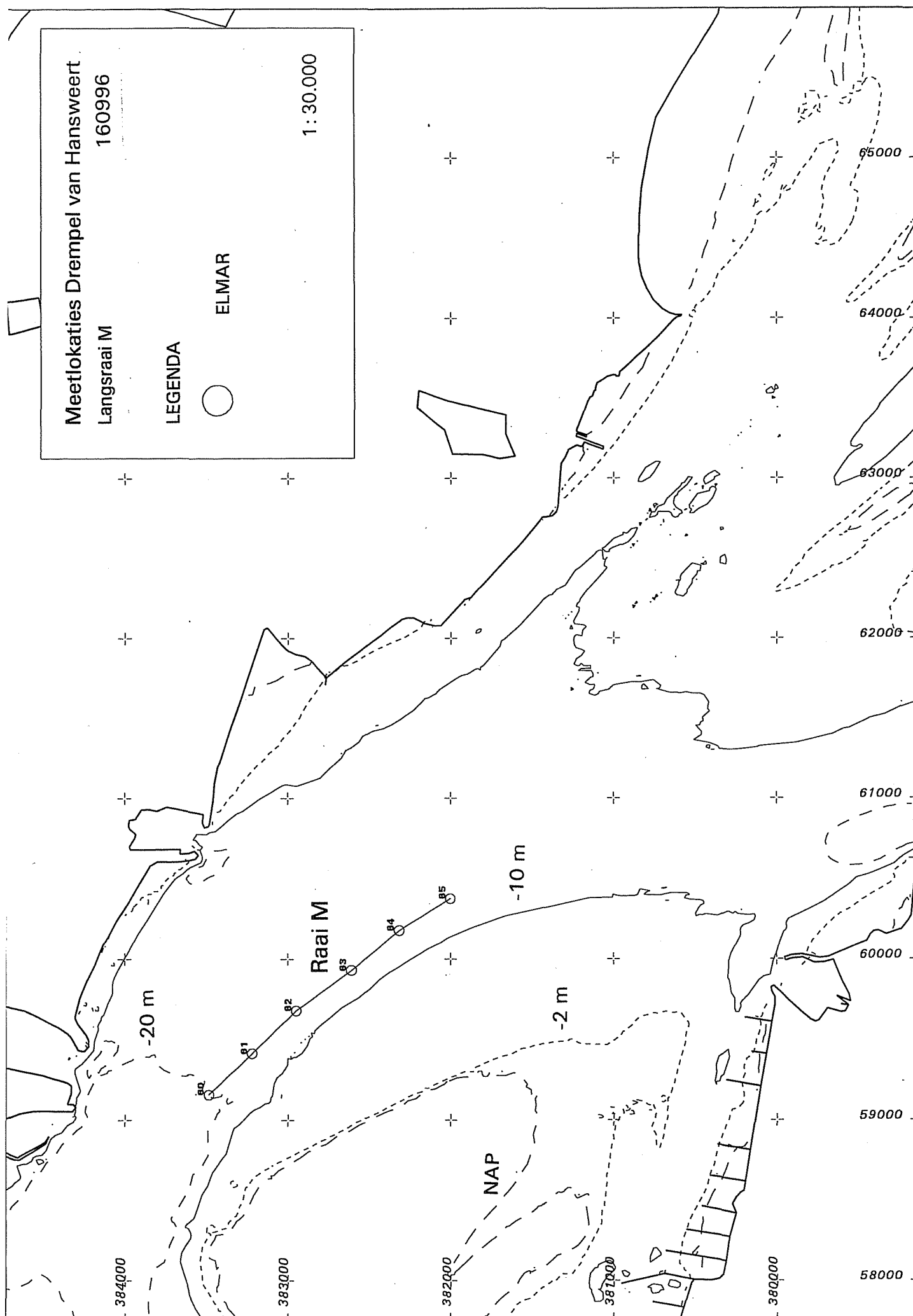
Figuur: 1.2



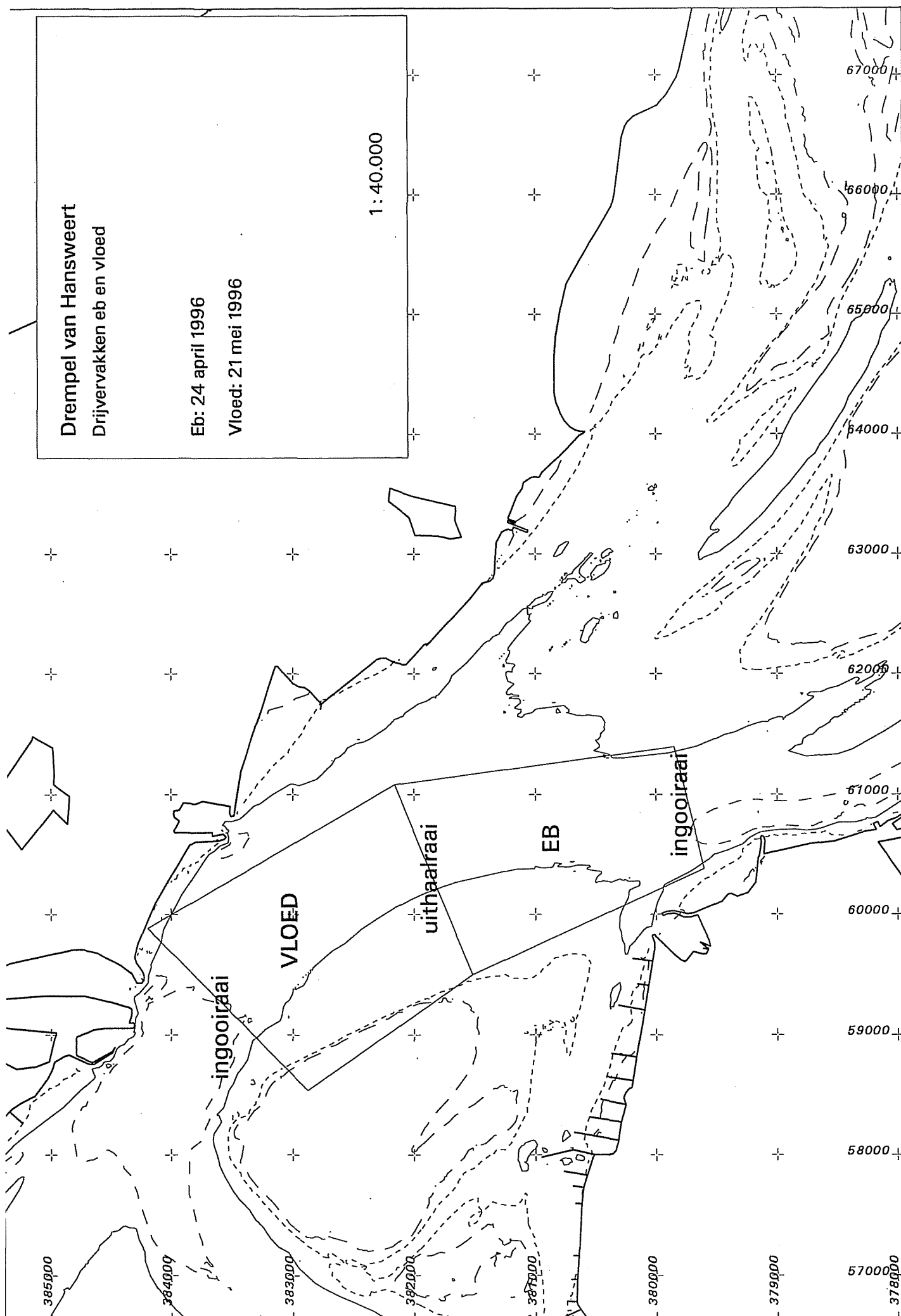
Figuur 2.1



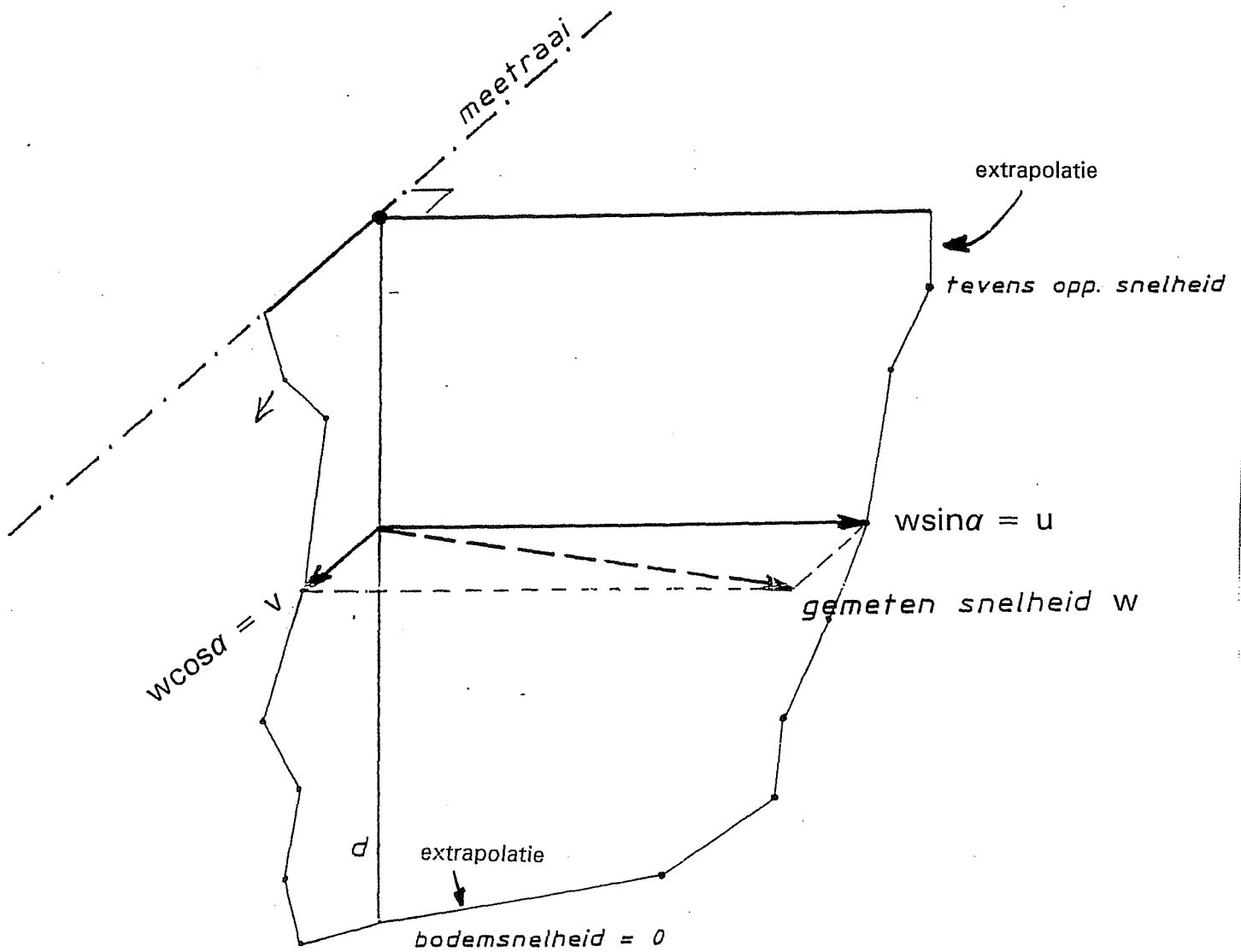
Figuur 2.2



Figuur 2.3



Figuur 2.4

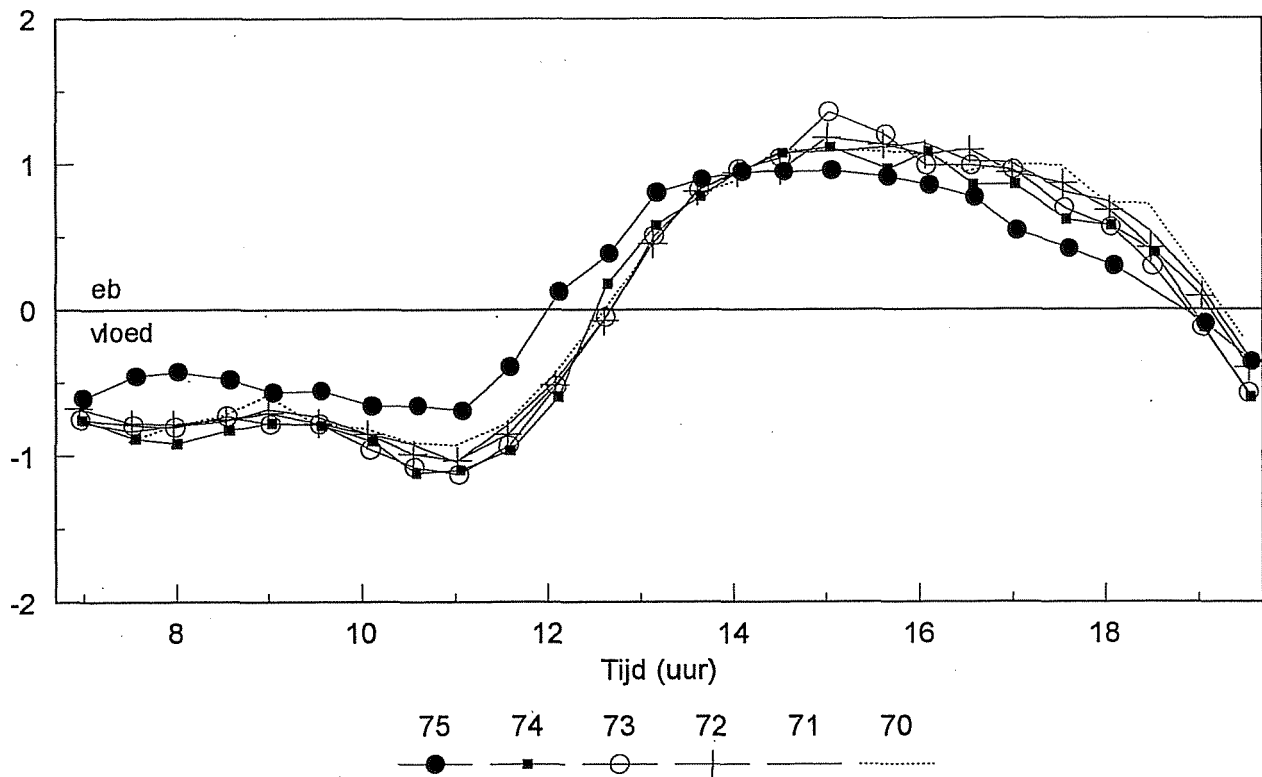


Figuur 2.5 Definitie schets van de ontbinding in een langs- en een dwarsrichting van ELMAR-metingen op een bepaalde diepte (bron: Meetdienst Zeeland)

Raai B Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ADCP 031195 GC = 0.93

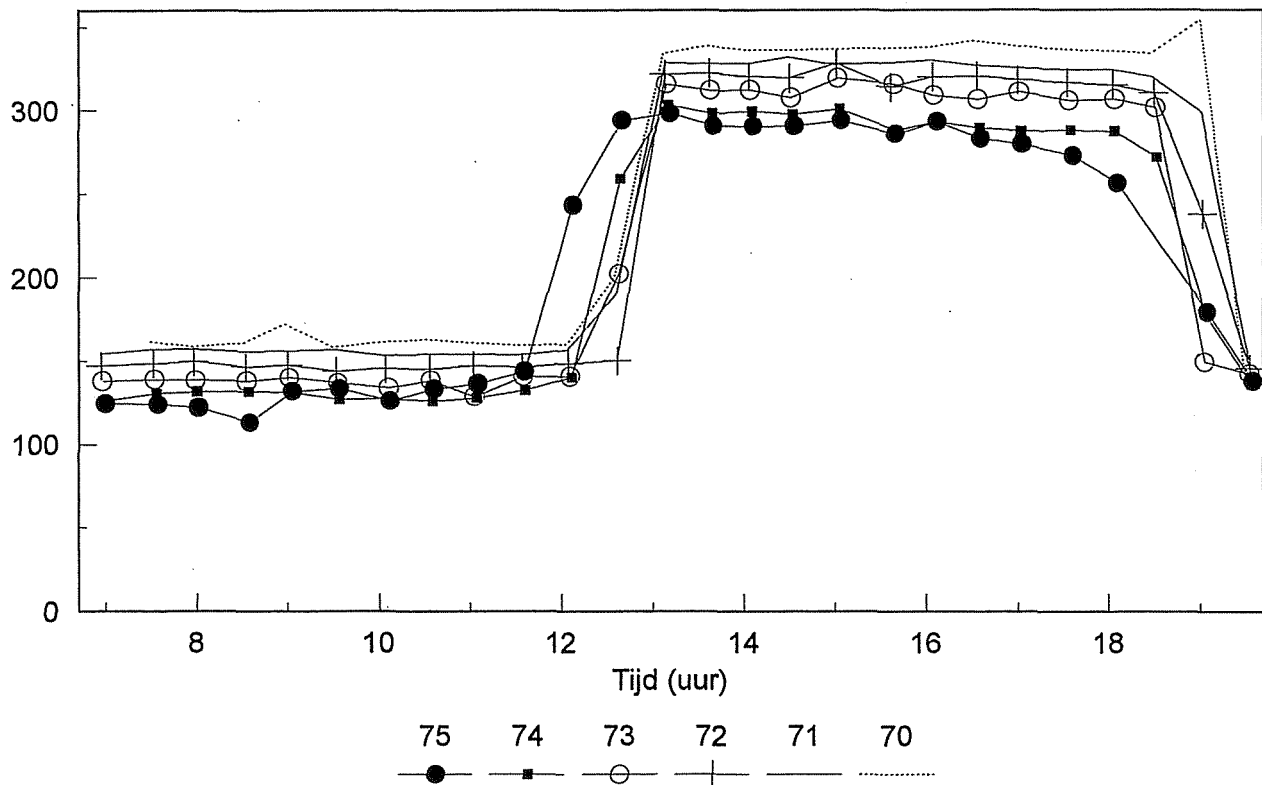
w (m/s)



Raai B Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ADCP 031195

r (grd)

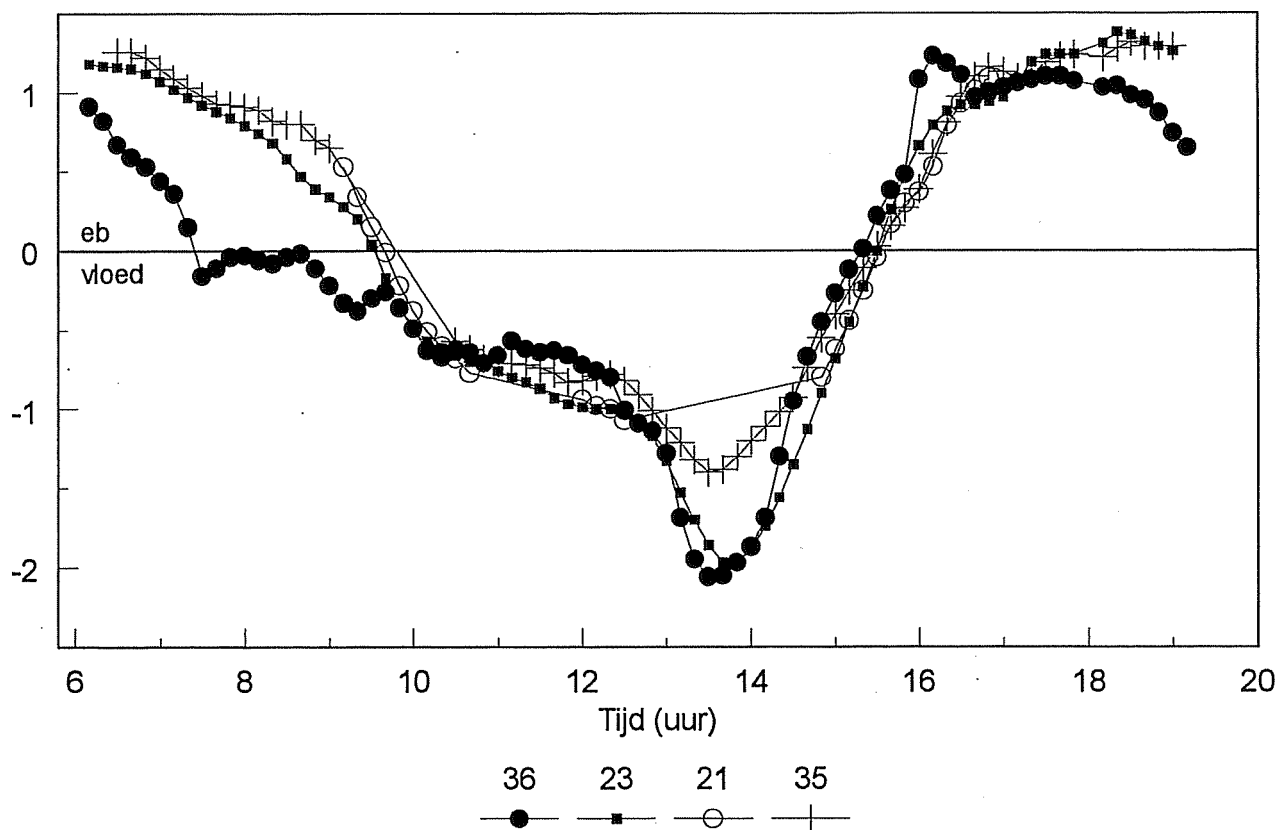


Figuur 3.1

Raai B' Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 170496 GC = 1.18

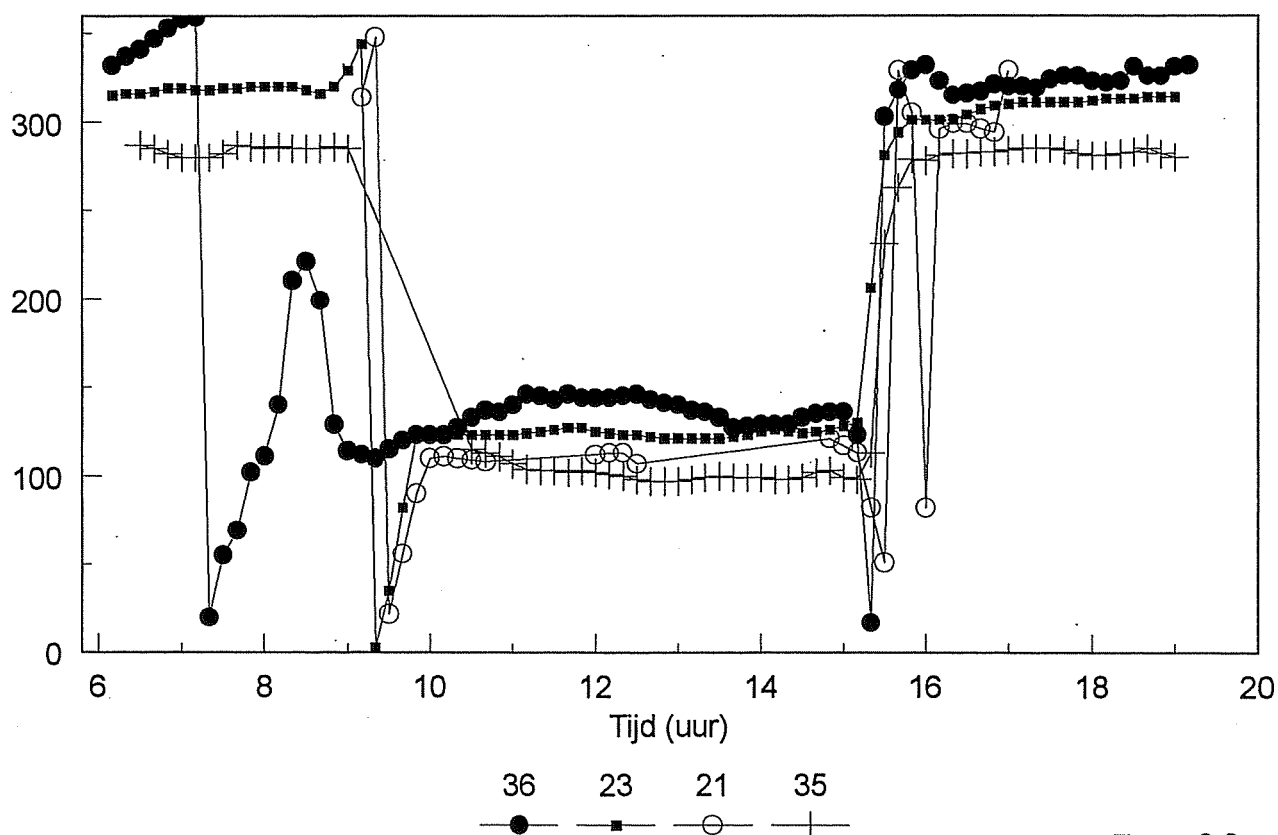
w (m/s)



Raai B' Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 170496

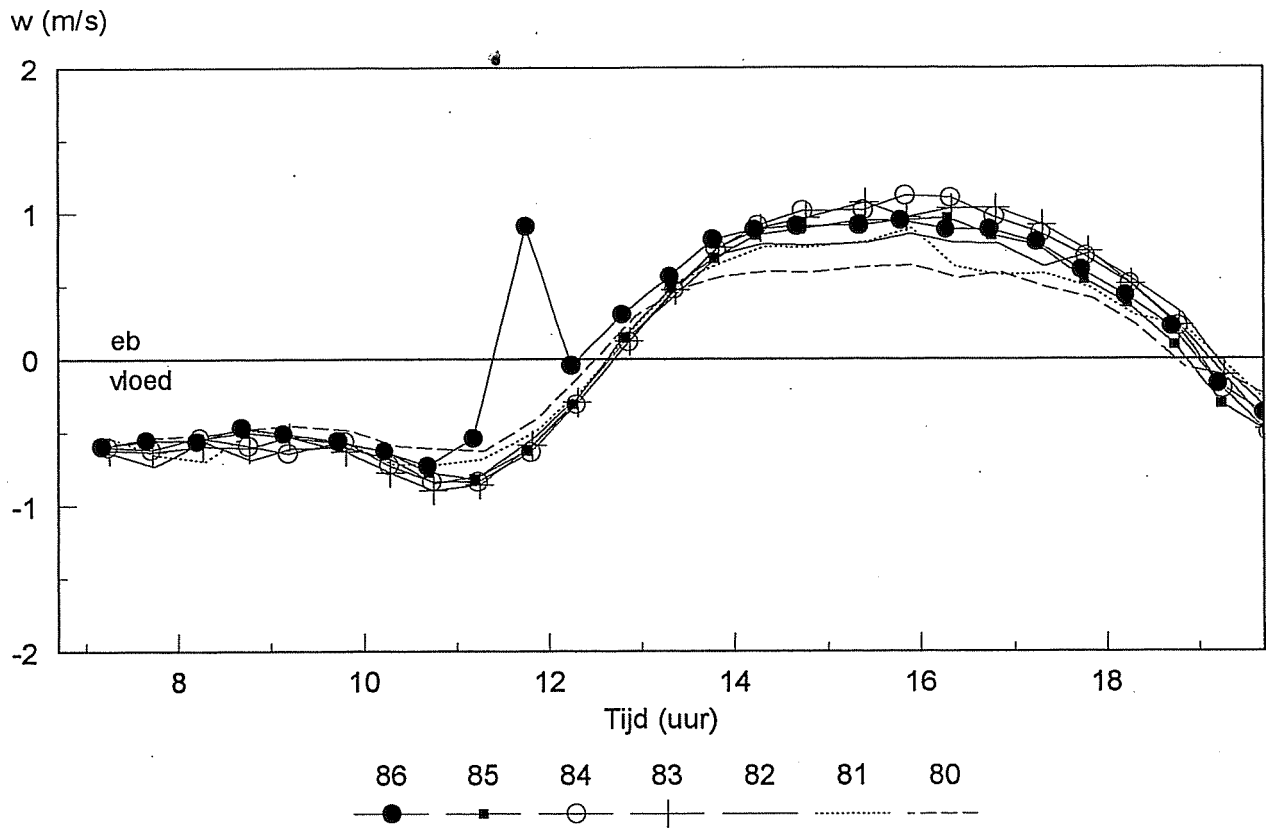
r (grd)



Figuur 3.2

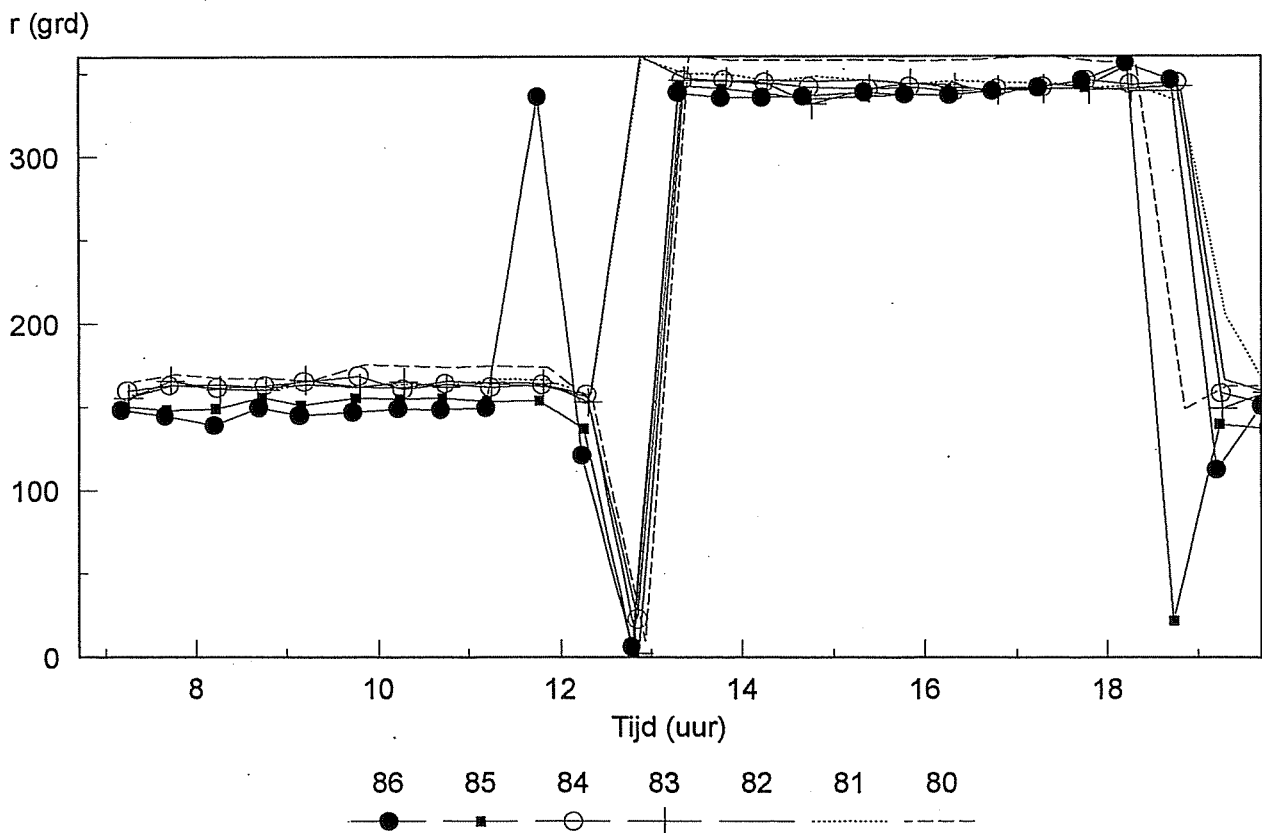
Raai C Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ADCP 031195 GC = 0.93



Raai C Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ADCP 031195

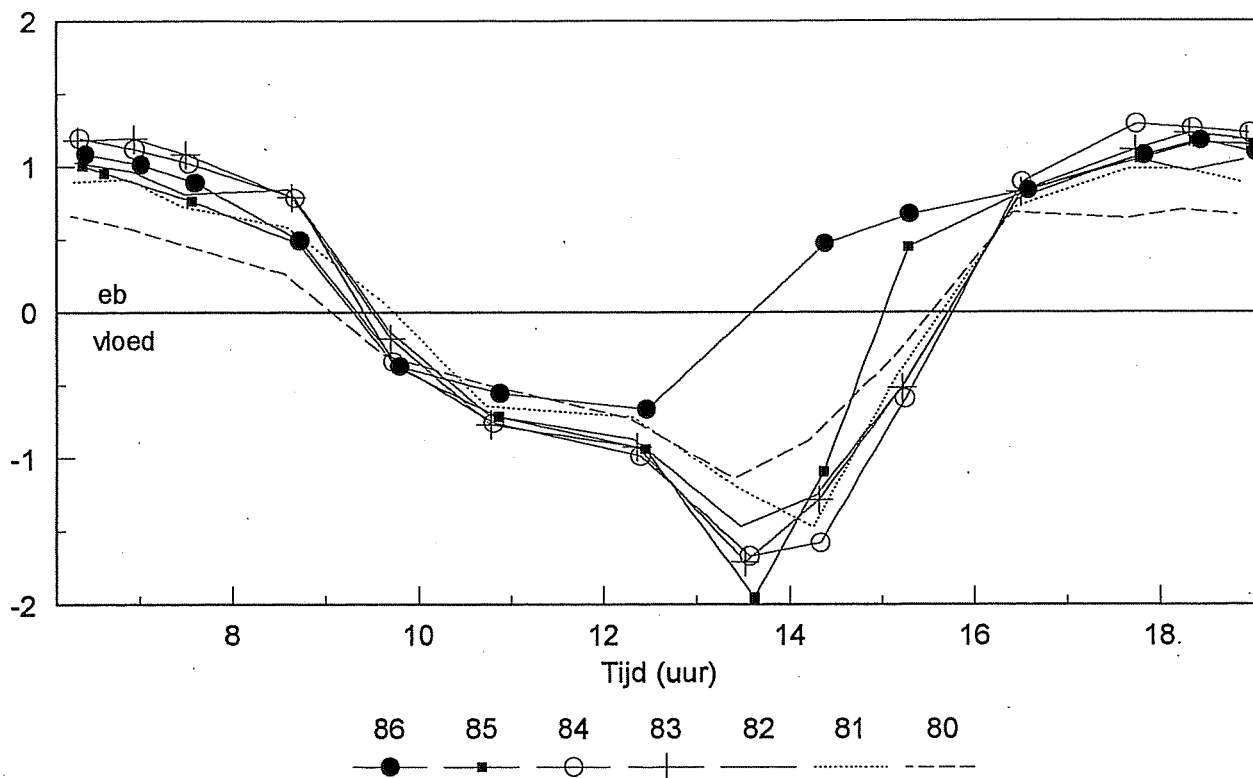


Figuur 3.3

Raai C Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ADCP 170496 GC = 1.18

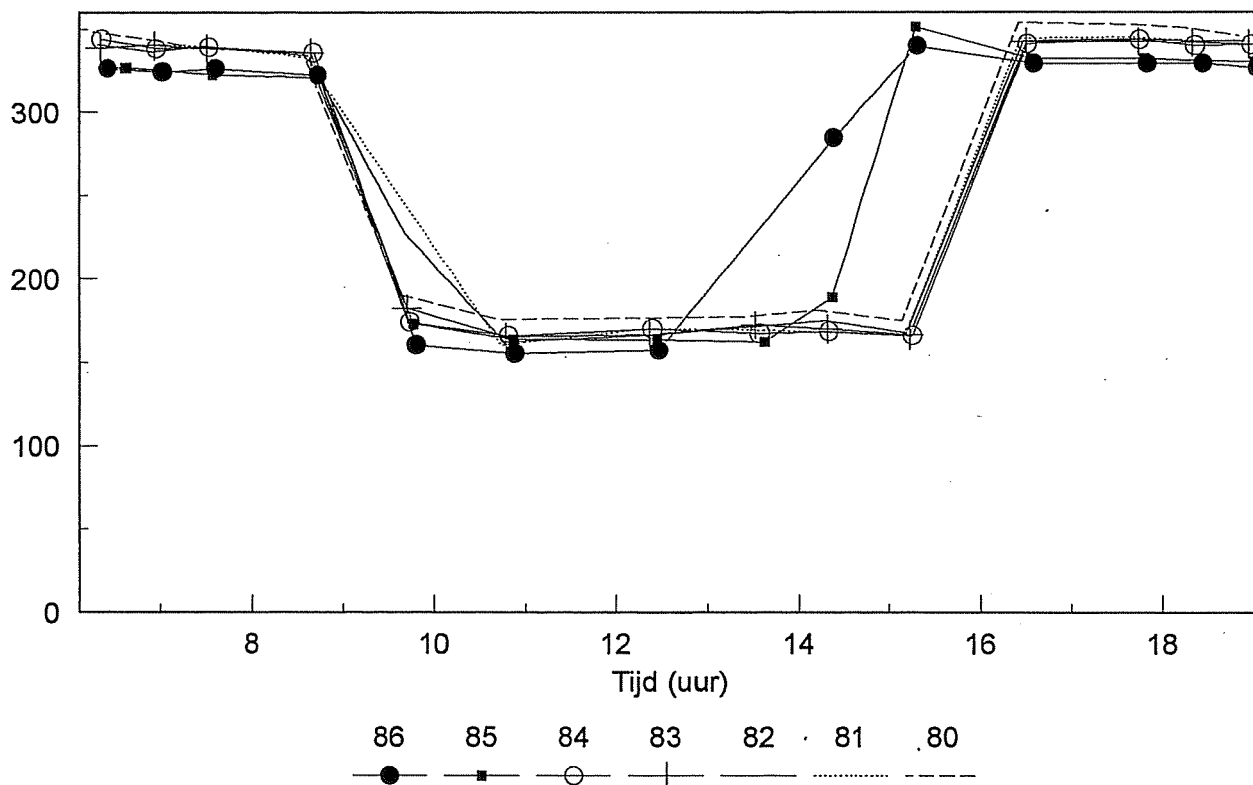
w (m/s)



Raai C Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ADCP 170496

r (grd)

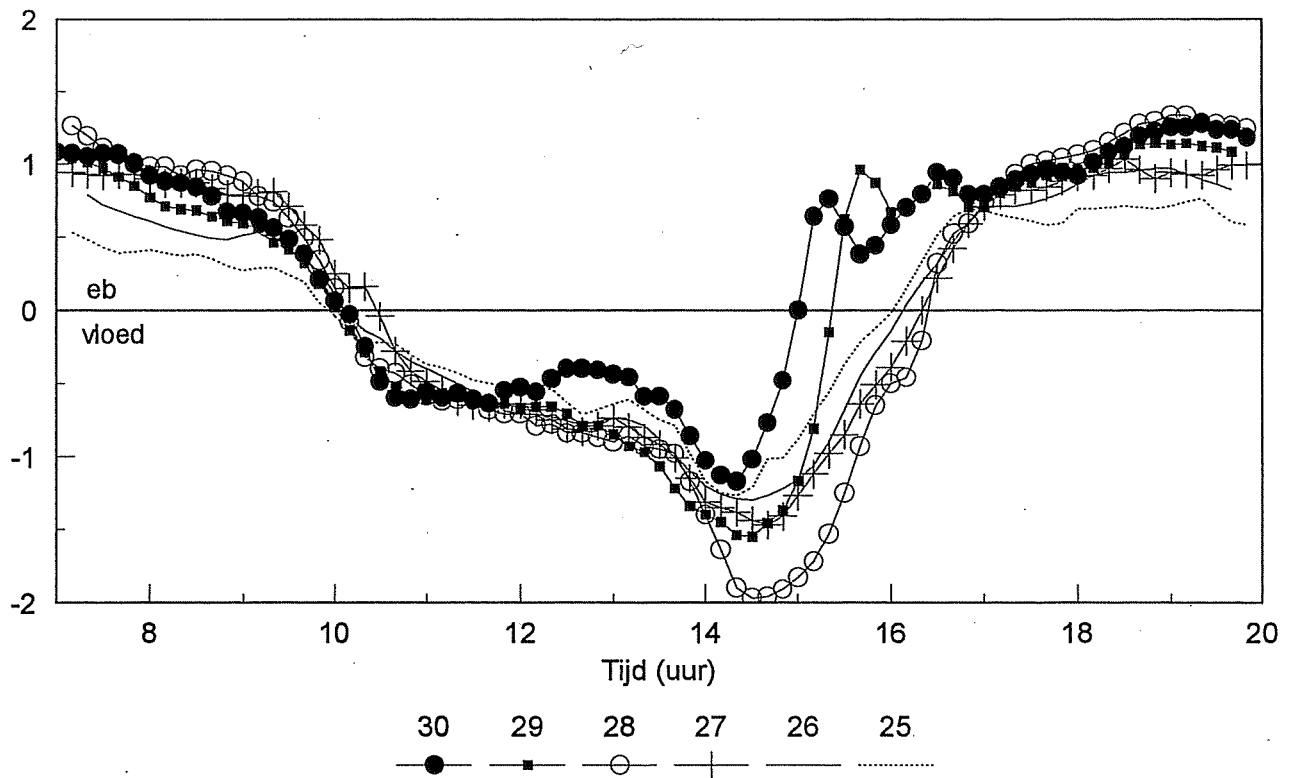


Figuur 3.4

Raai C Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 251095 GC = 1.14

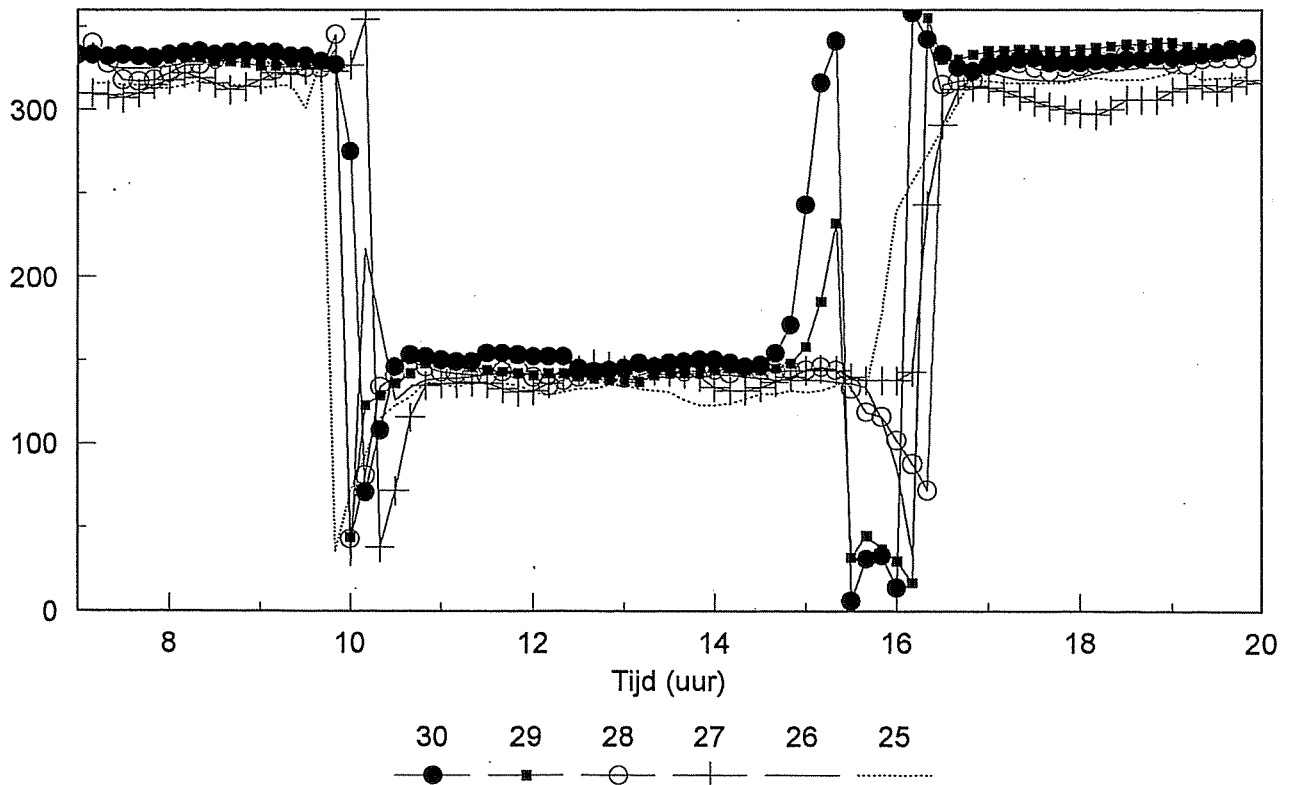
w (m/s)



Raai C Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 251095

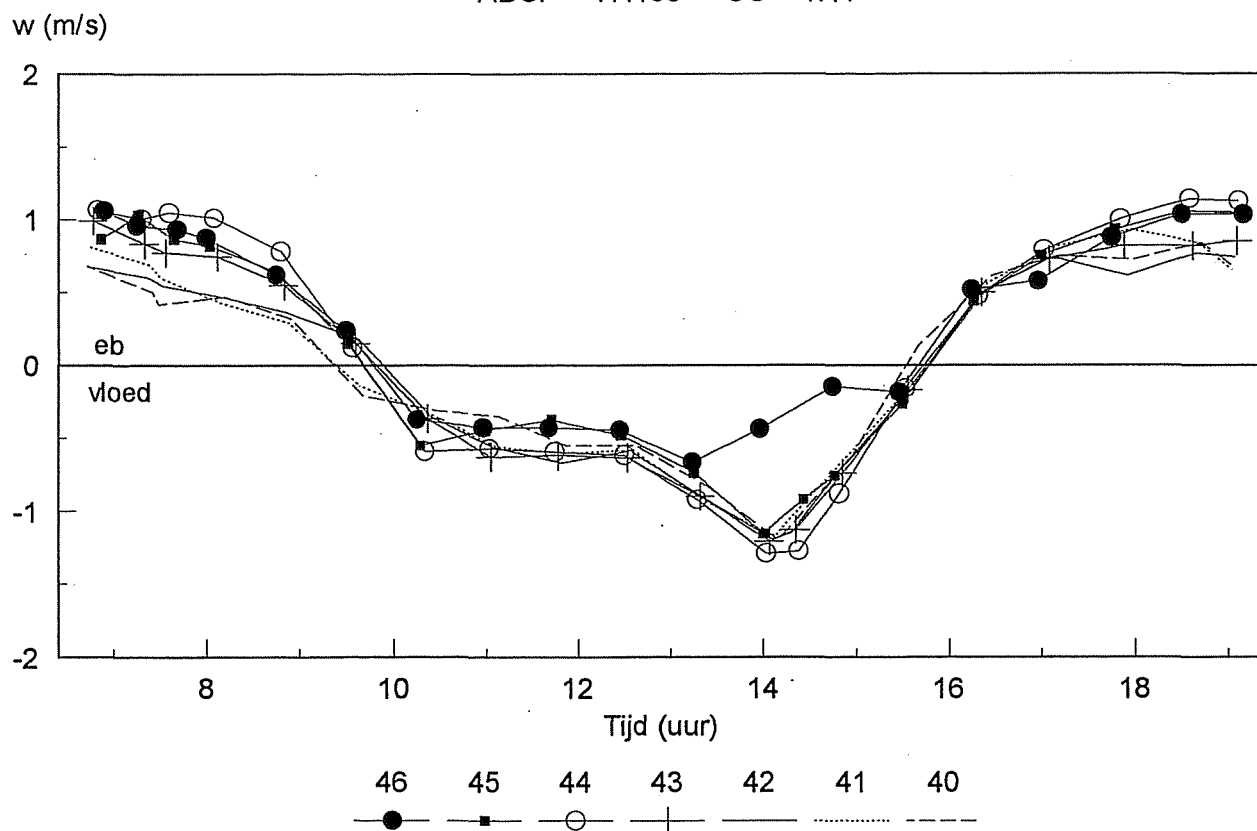
r (grd)



Figuur 3.5

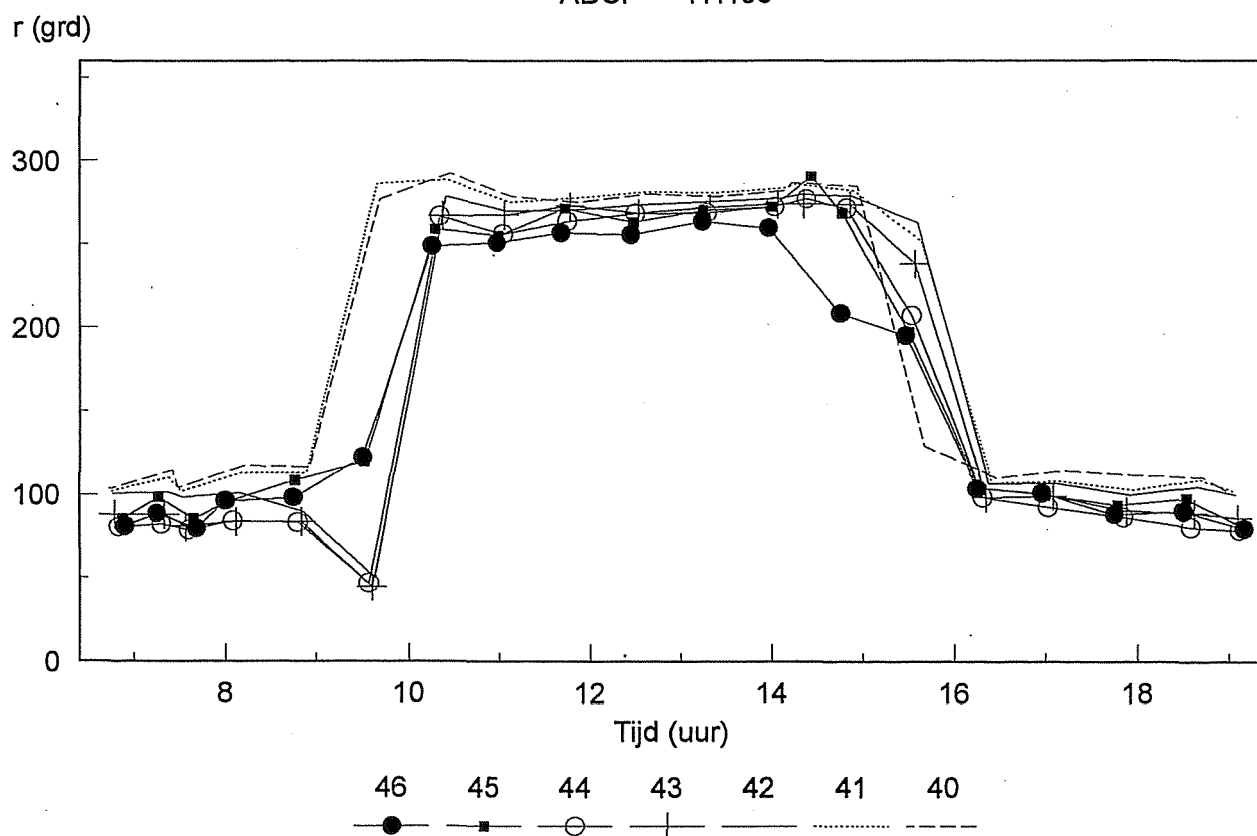
Raai D Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ADCP 111196 GC = 1.11



Raai D Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ADCP 111196

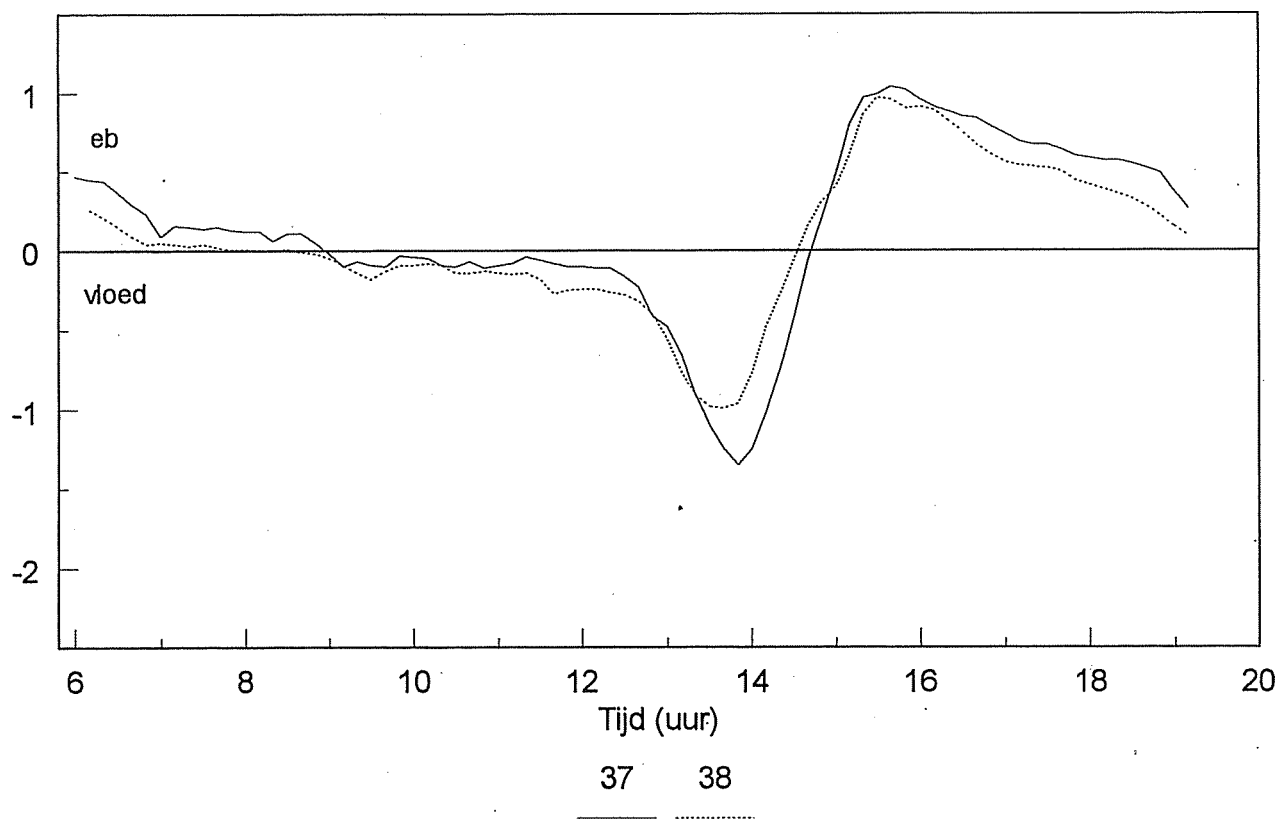


Figuur 3.6

Raai Dz Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 170496 GC = 1.18

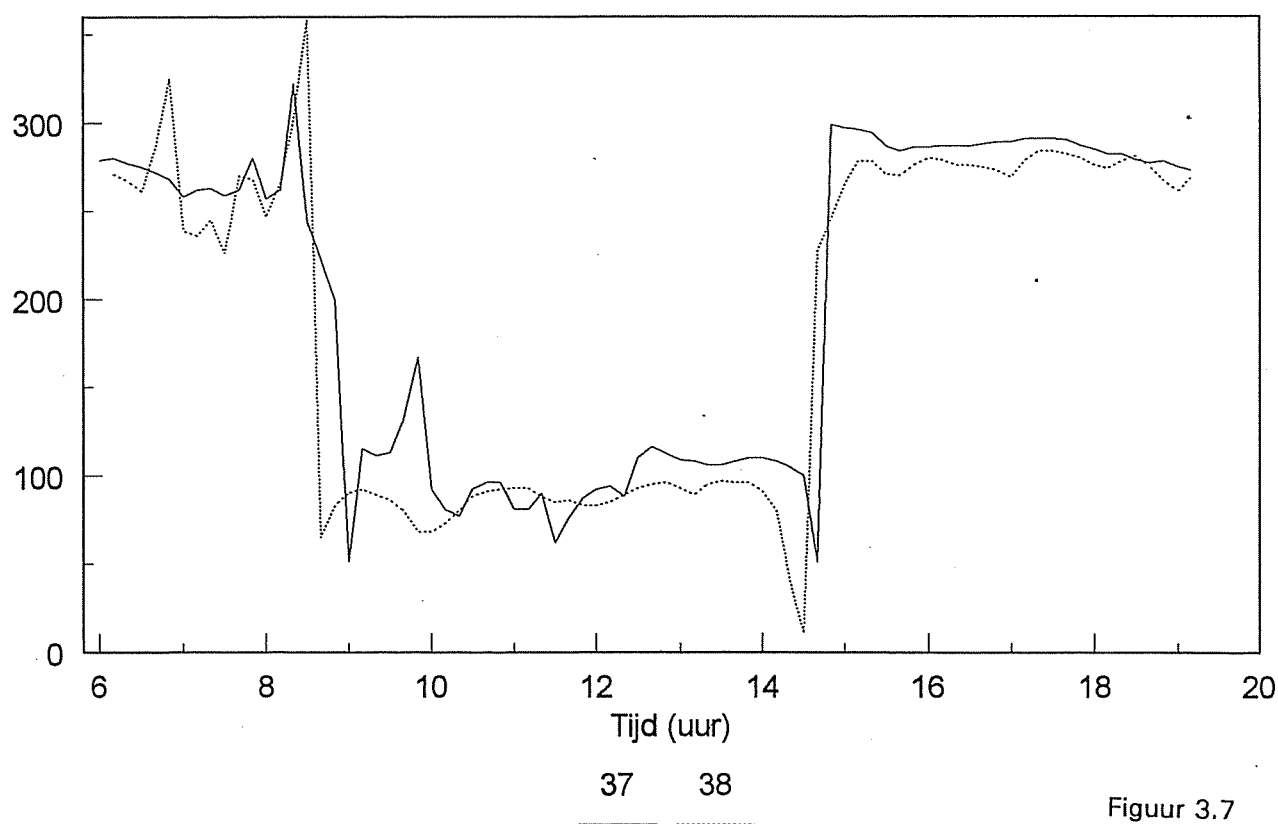
w (m/s)



Raai Dz Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 170496

r (grd)

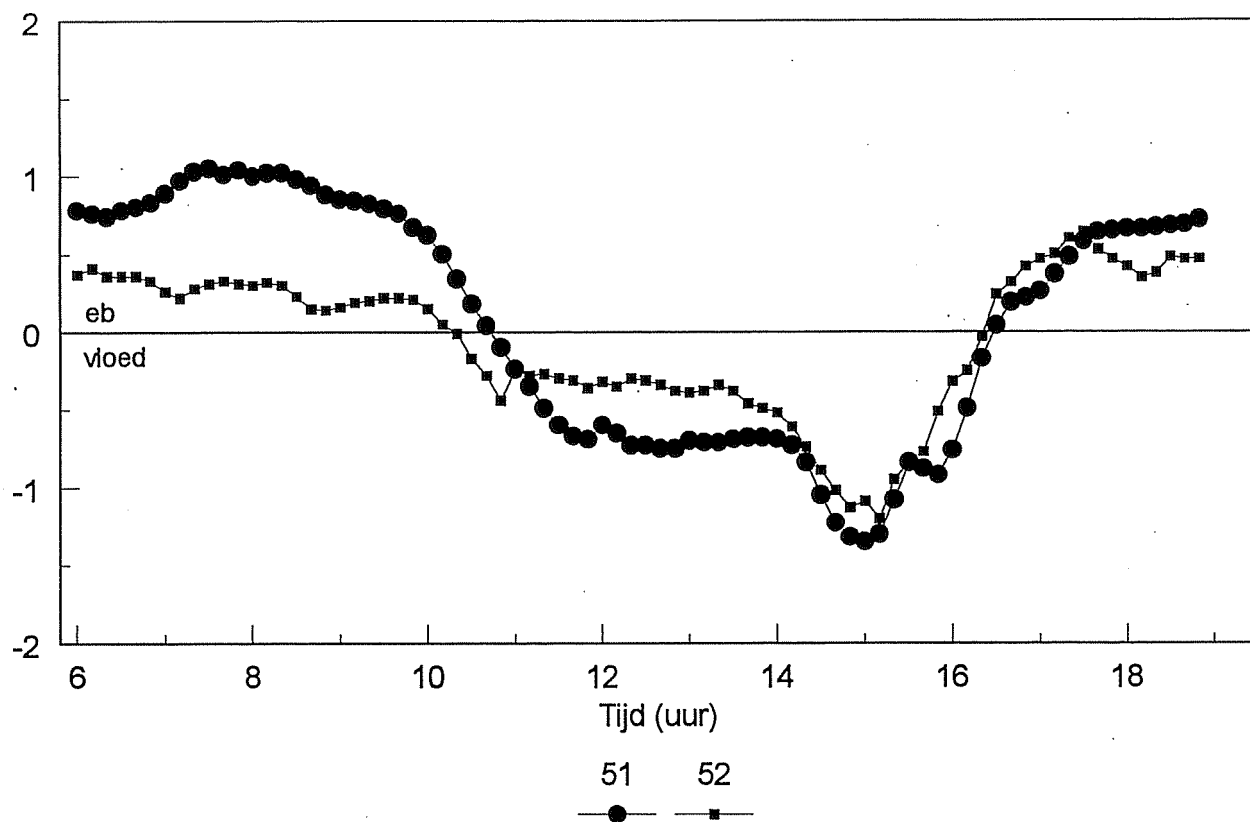


Figuur 3.7

Raai 5A - Zuidergat Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 140695 GC = 1.19

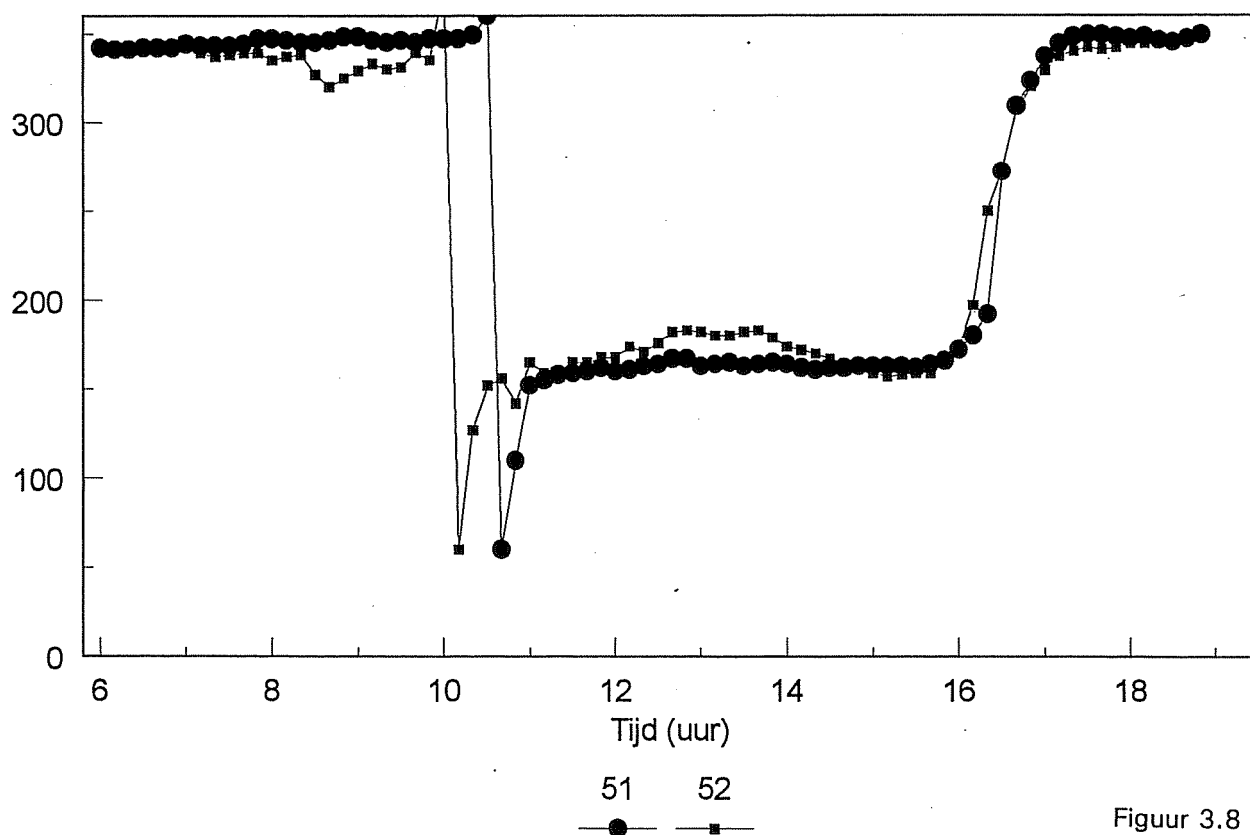
w (m/s)



Raai 5A - Zuidergat Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 140695

r (grd)

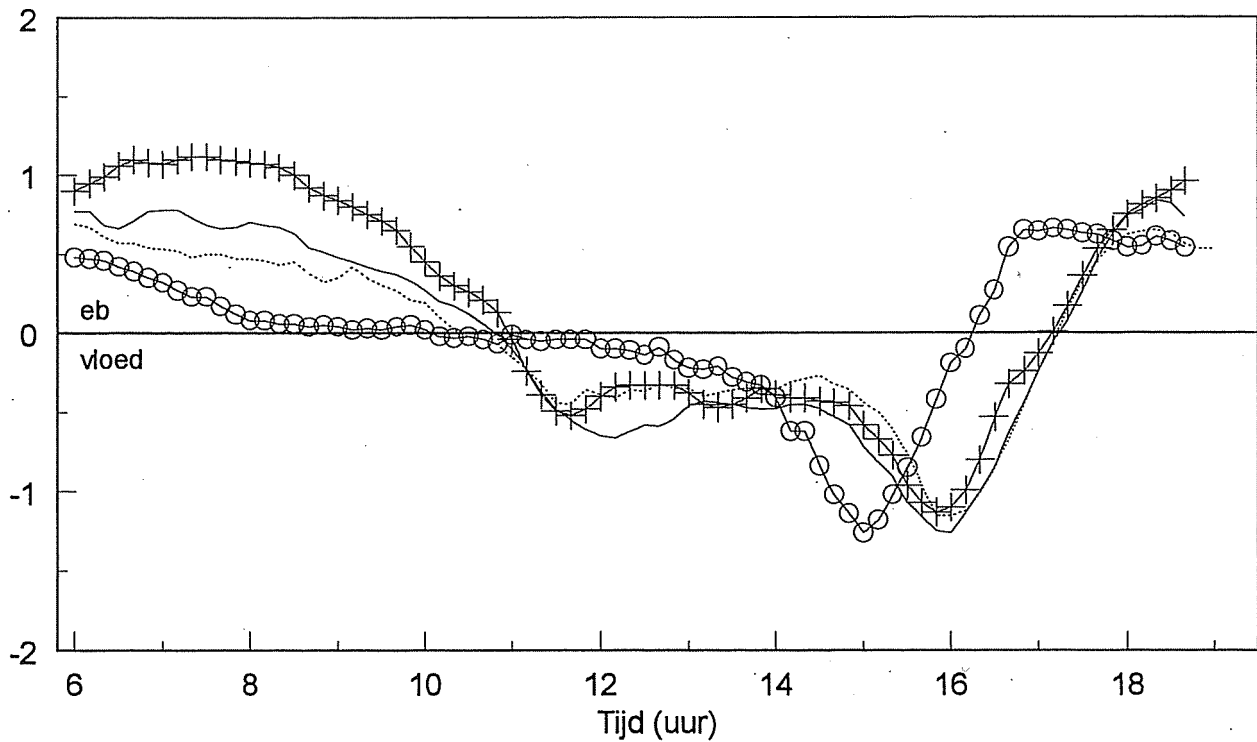


Figuur 3.8

Raai 5A - Schaar v Waarde Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 14/150695 GC = 1.19

w (m/s)

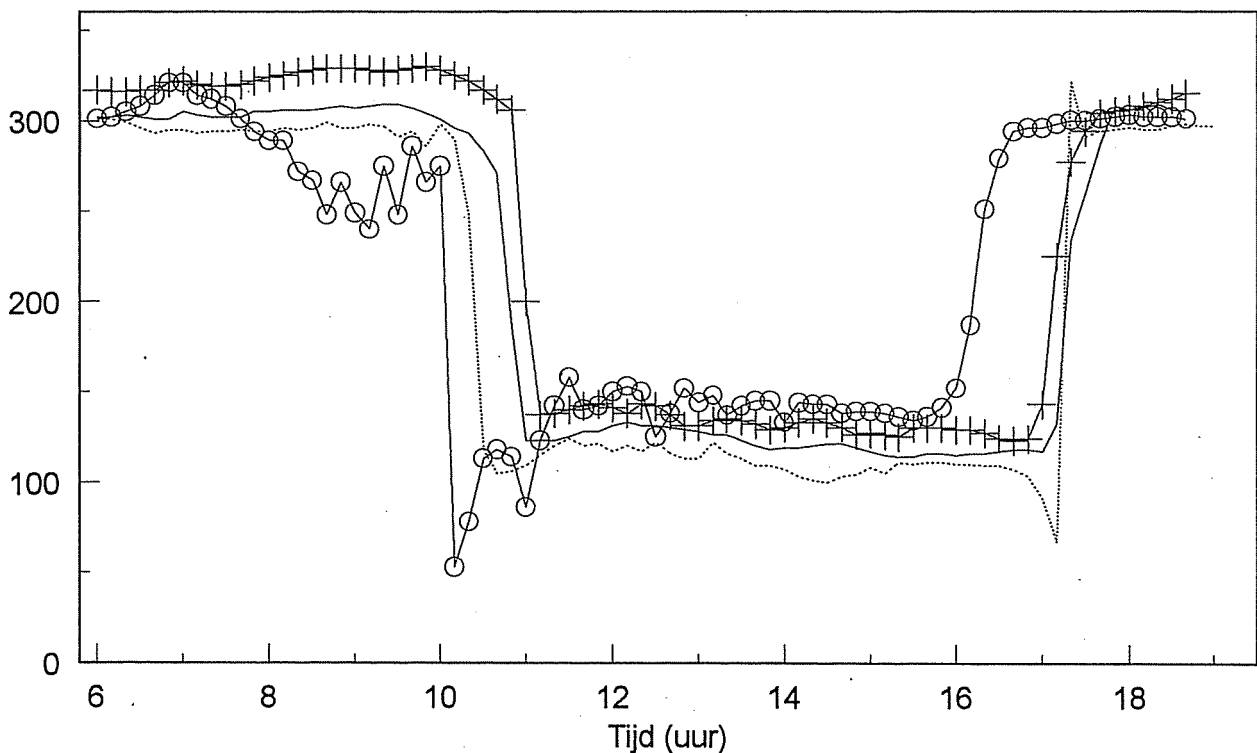


53 54 55 56
—○— —+— ——— —····—

Raai 5A - Schaar v Waarde Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 14/150695

r (grd)



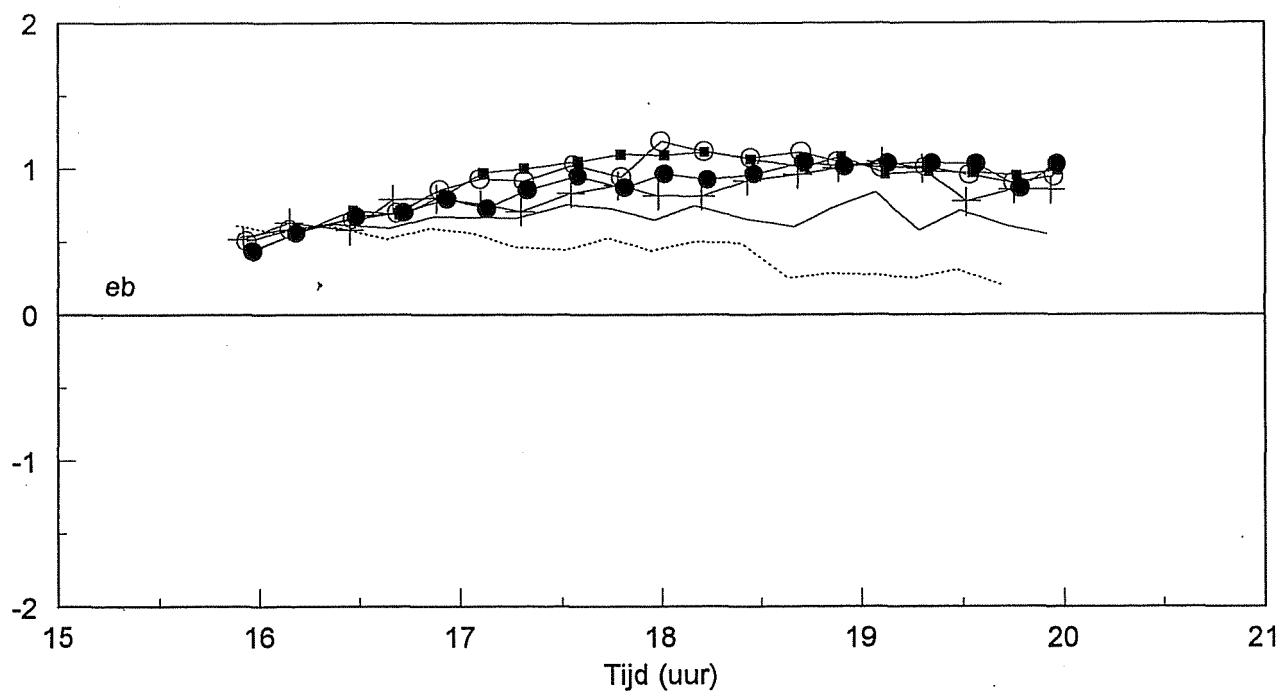
53 54 55 56
—○— —+— ——— —····—

Figuur 3.9

Raai E Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ADCP 061195 GC = 1.08

w (m/s)



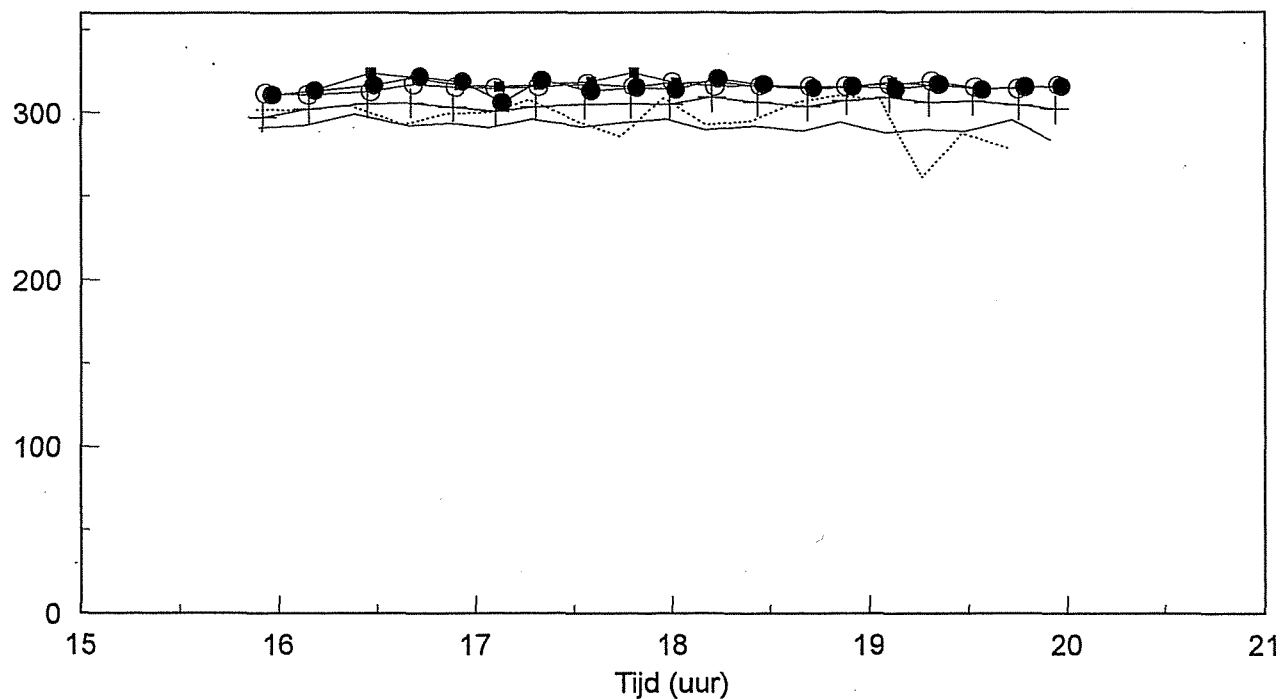
95 94 93 92 91 90

● ■ ○ + — ···

Raai E Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ADCP 061195

r (grd)



95 94 93 92 91 90

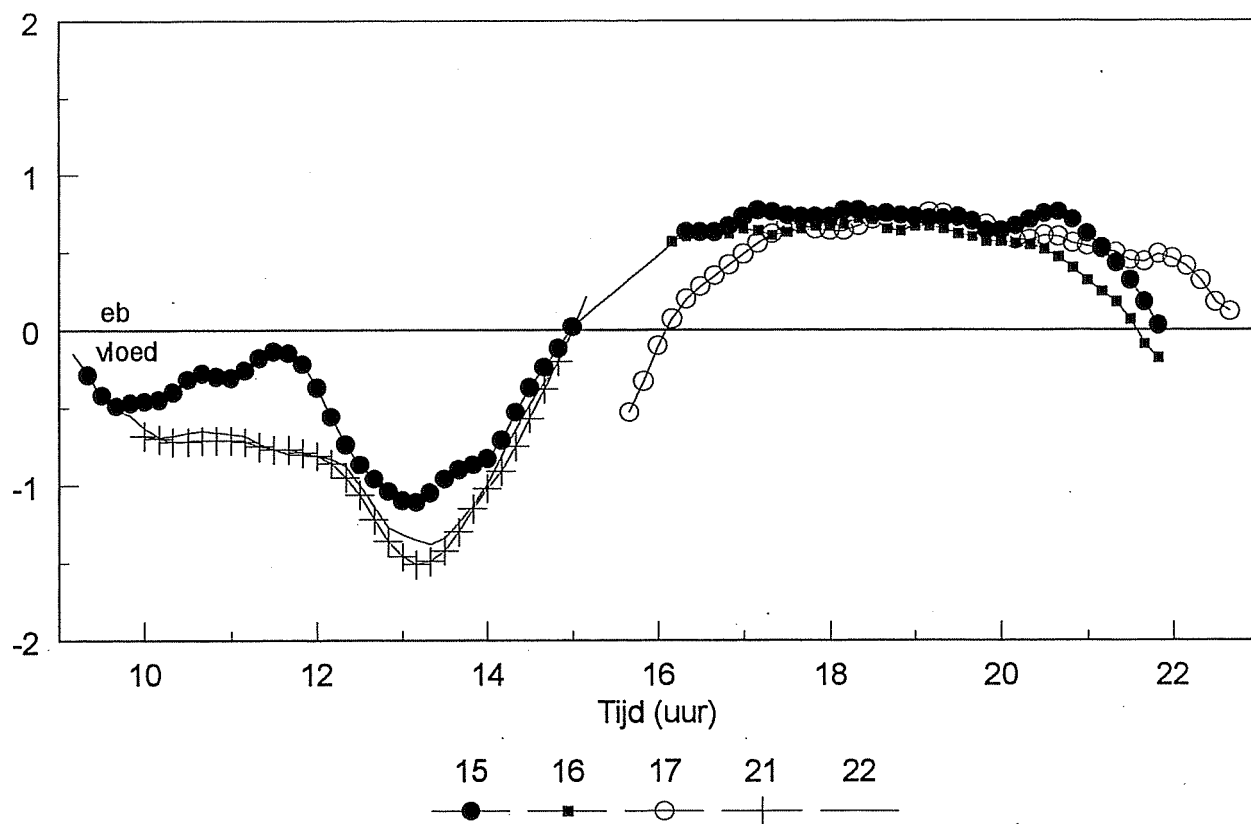
● ■ ○ + — ···

Figuur 3.10

Raai F en H Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 231095 GC = 1.07

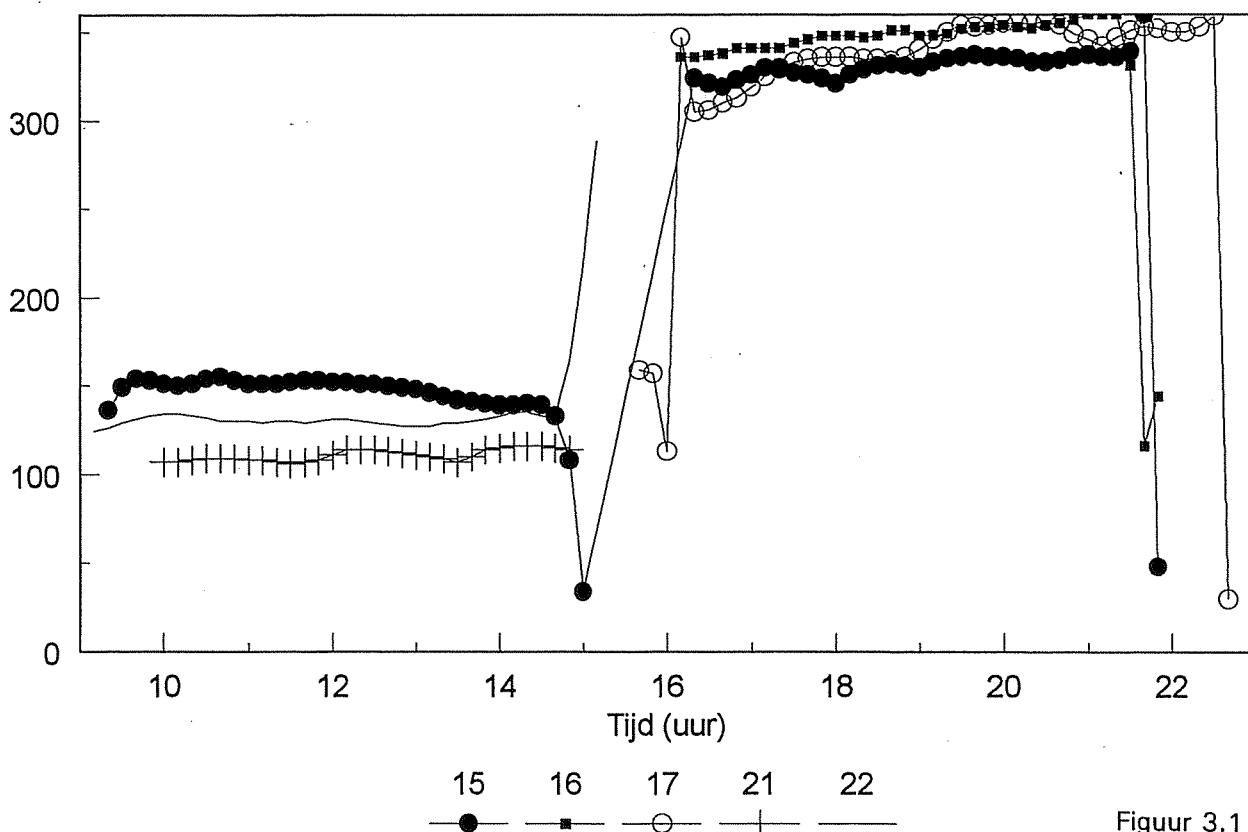
w (m/s)



Raai F en H Richting diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 231095

r (grd)

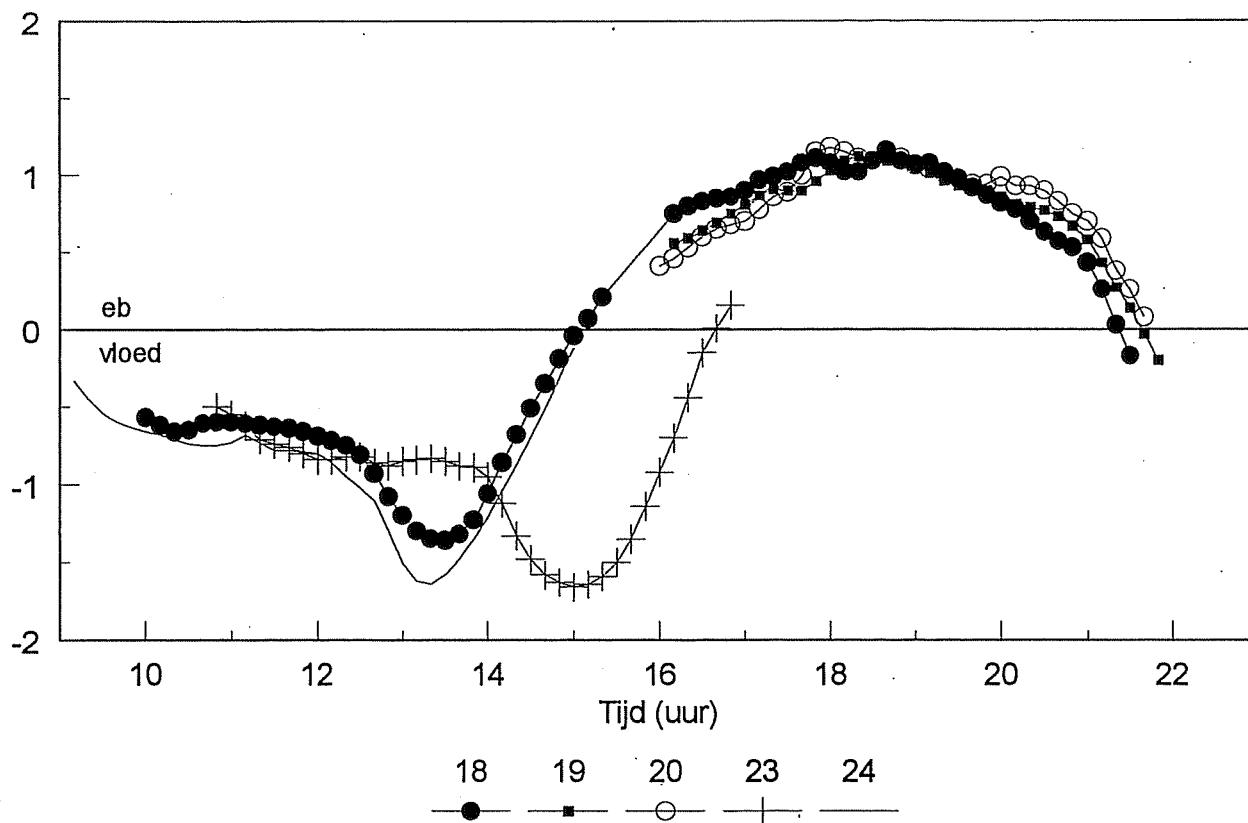


Figuur 3.11

Raai G en J Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 231095 GC = 1.07

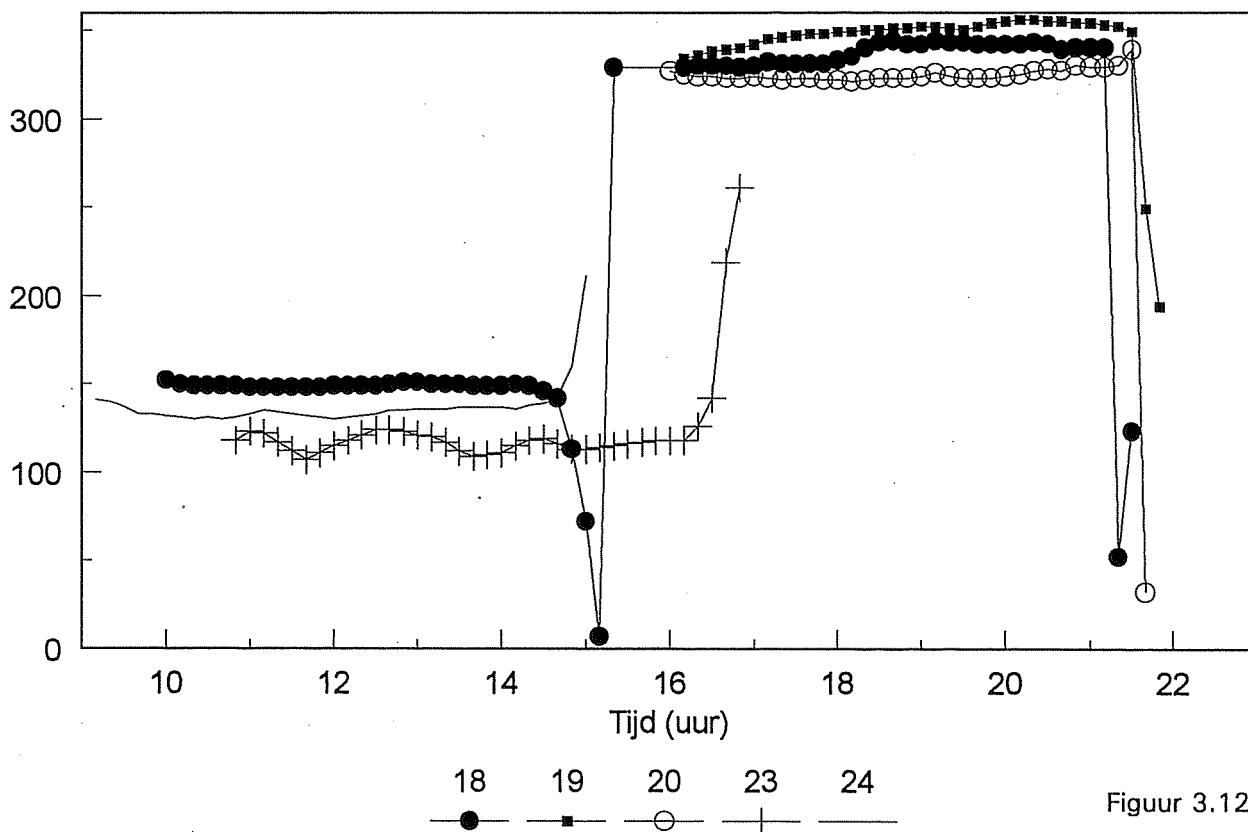
w (m/s)



Raai G en J Diepte gemiddelde stroming (r)

ELMAR 231095

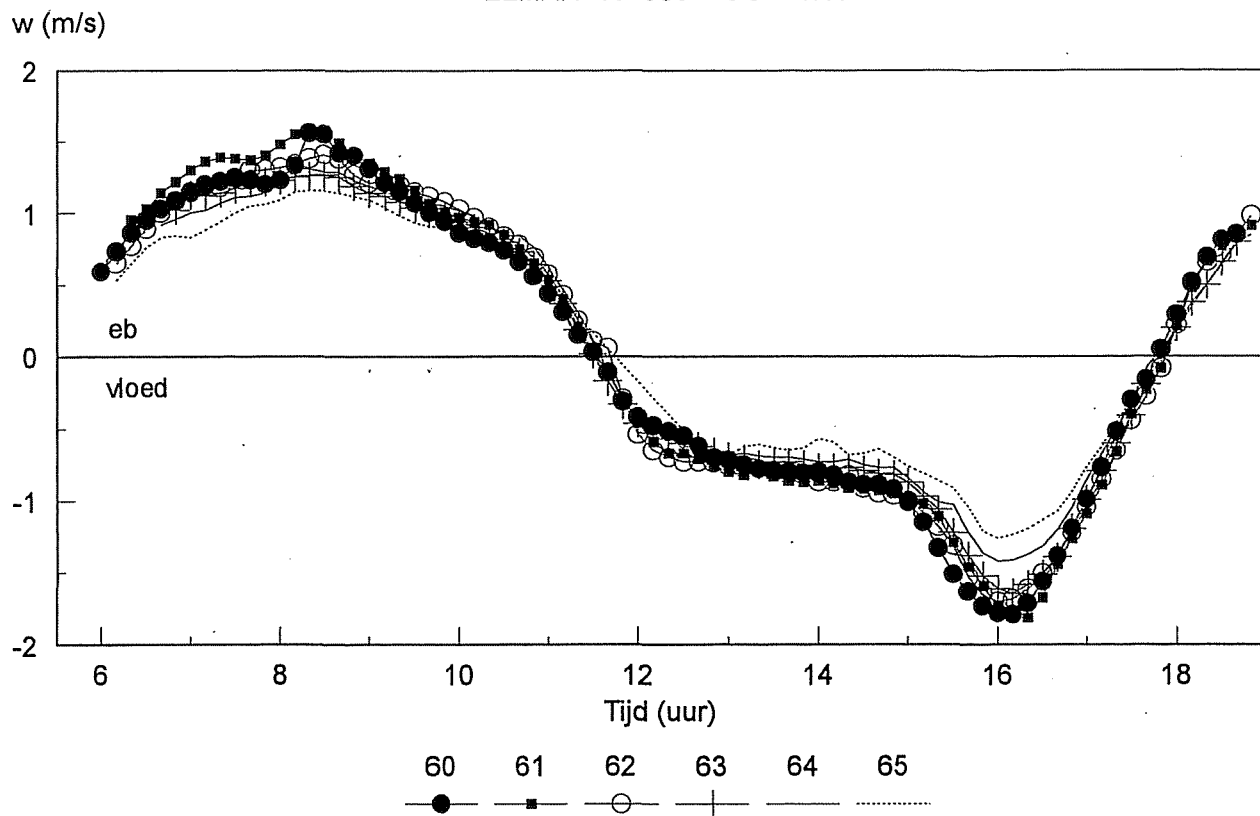
r (grd)



Figuur 3.12

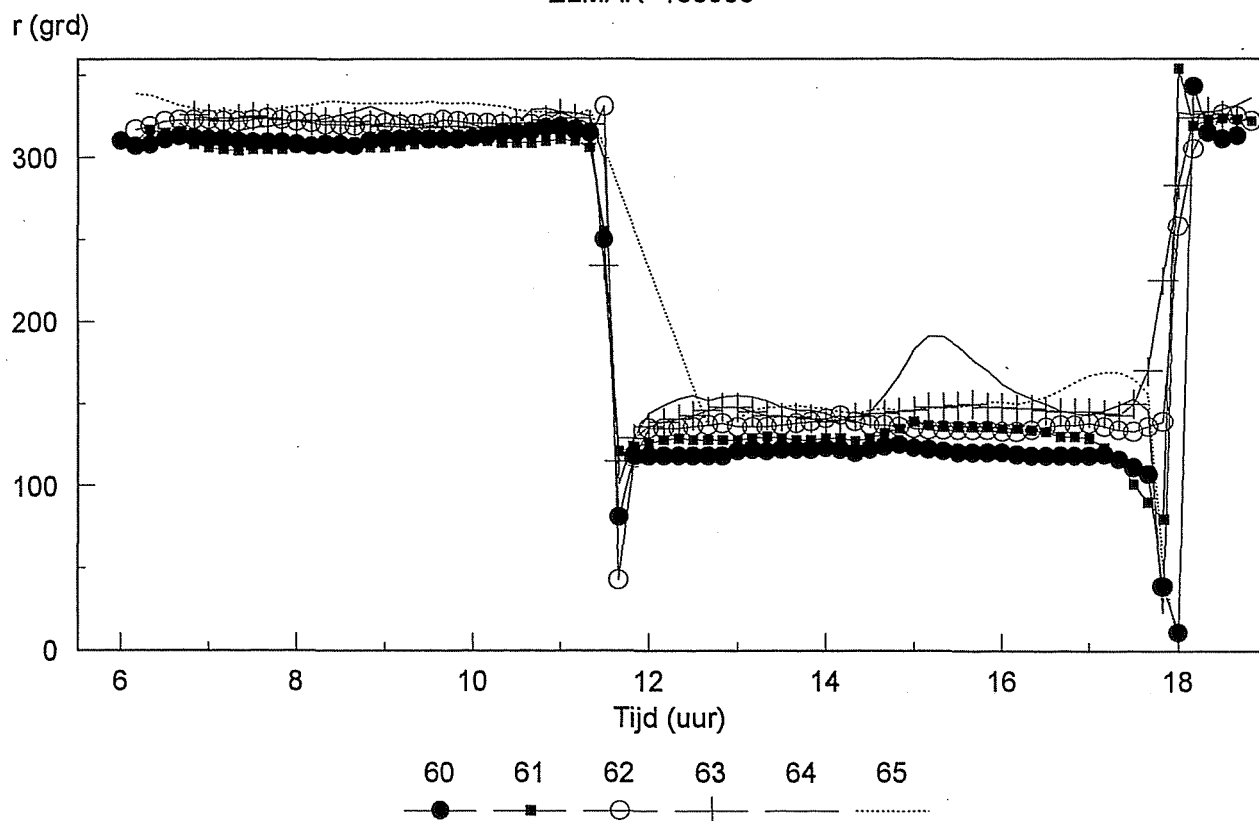
Raai M Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w)

ELMAR 160996 GC = 1.11

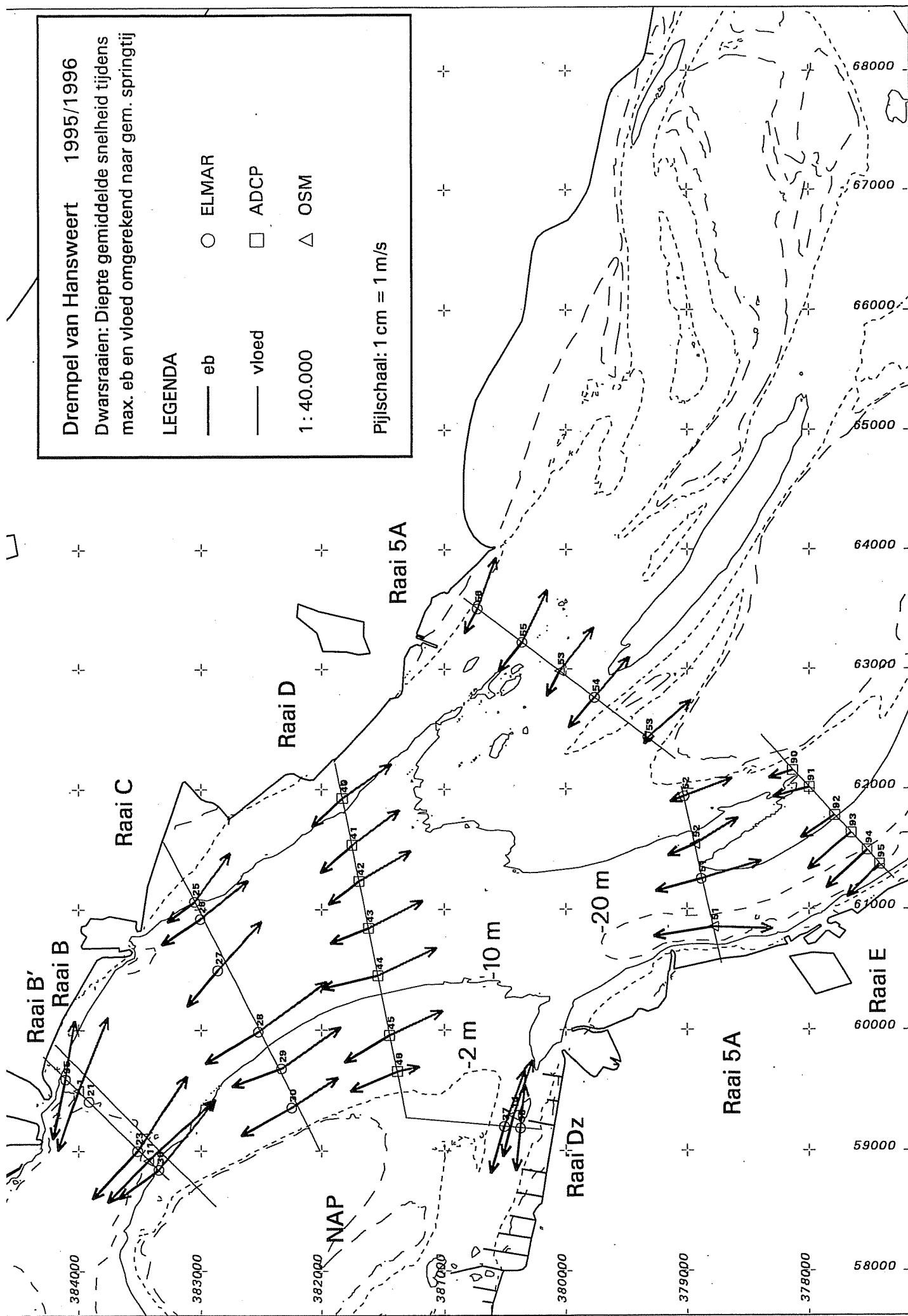


Raai M Richting diepte gemiddelde stroming (r)

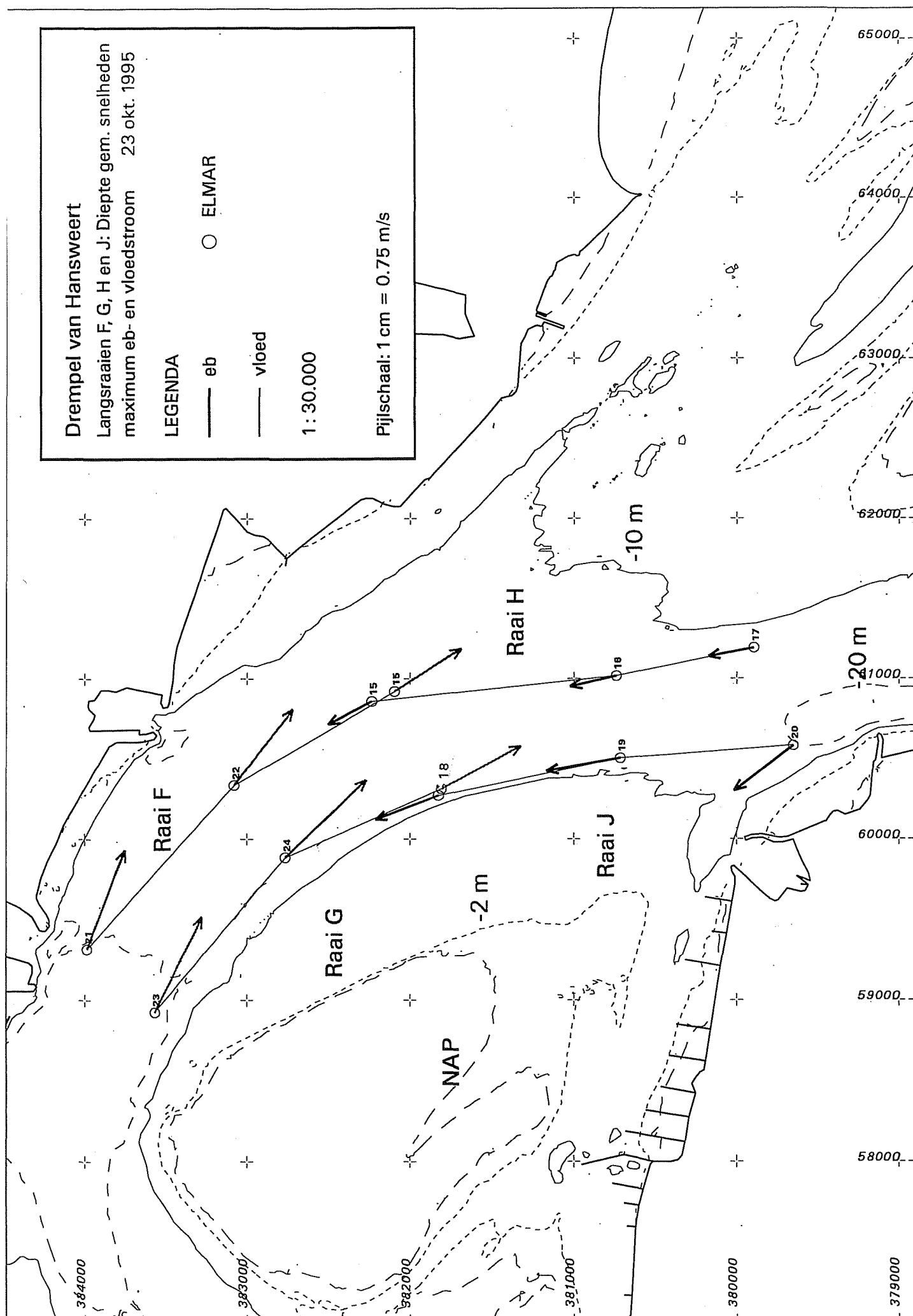
ELMAR 160996



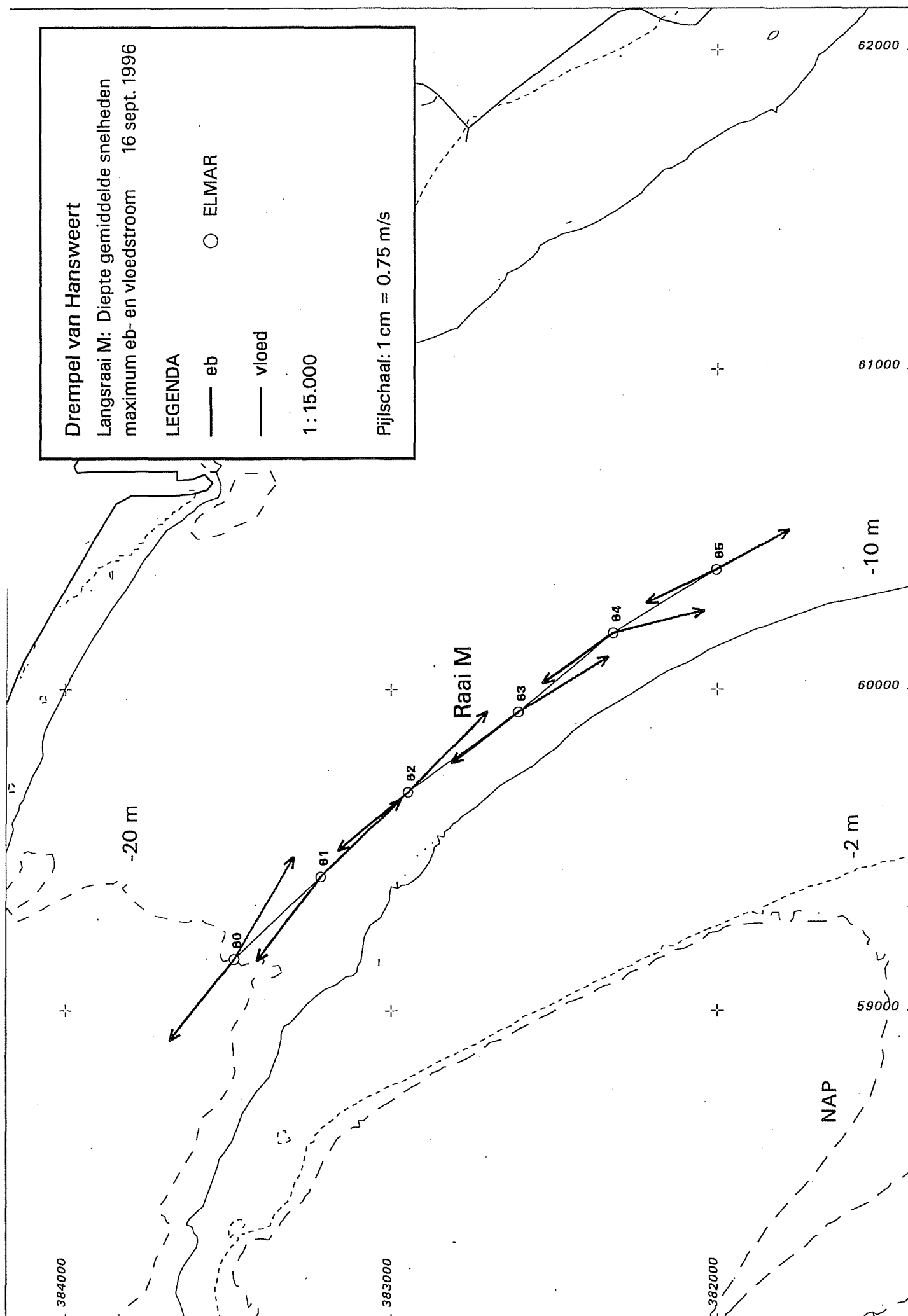
Figuur 3.13



Figuur 3.14



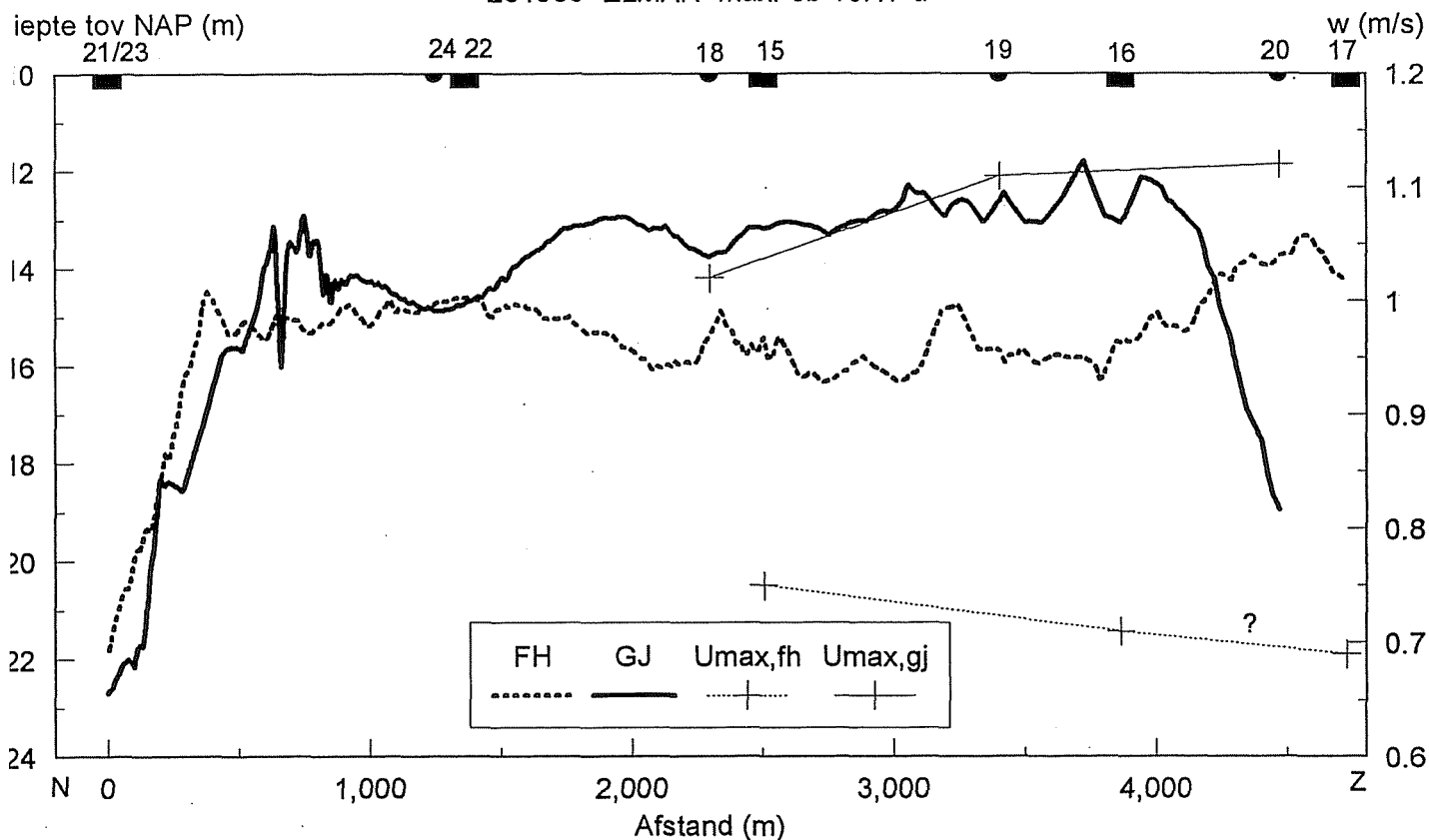
Figuur 3.15



Figuur 3.16

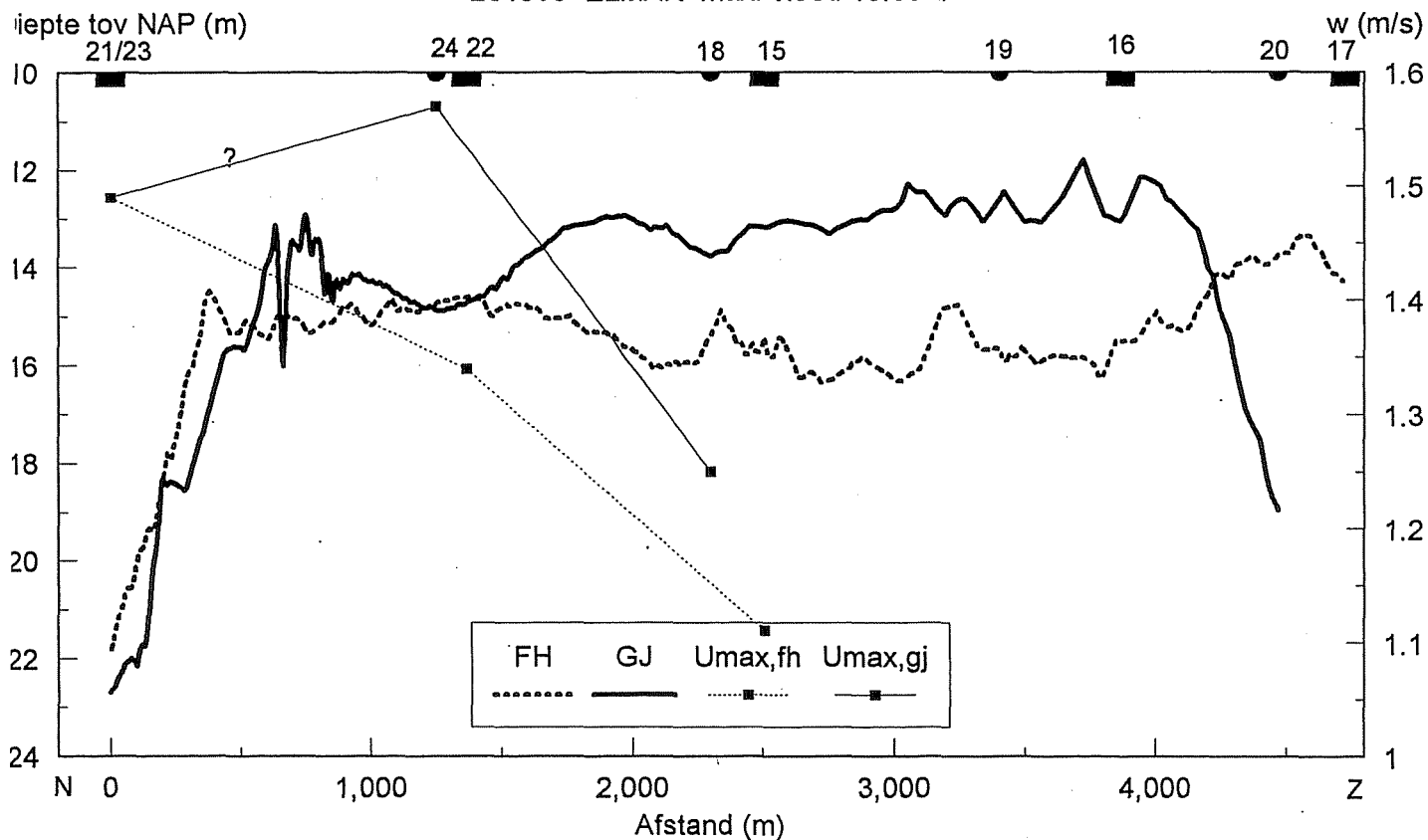
Raai F H (oost)/G J (west) Diepte gem. snelheid max. eb

231095 ELMAR max. eb 18.17 u



Raai F H (oost)/G J (west) Diepte gem. snelheid max. vloed

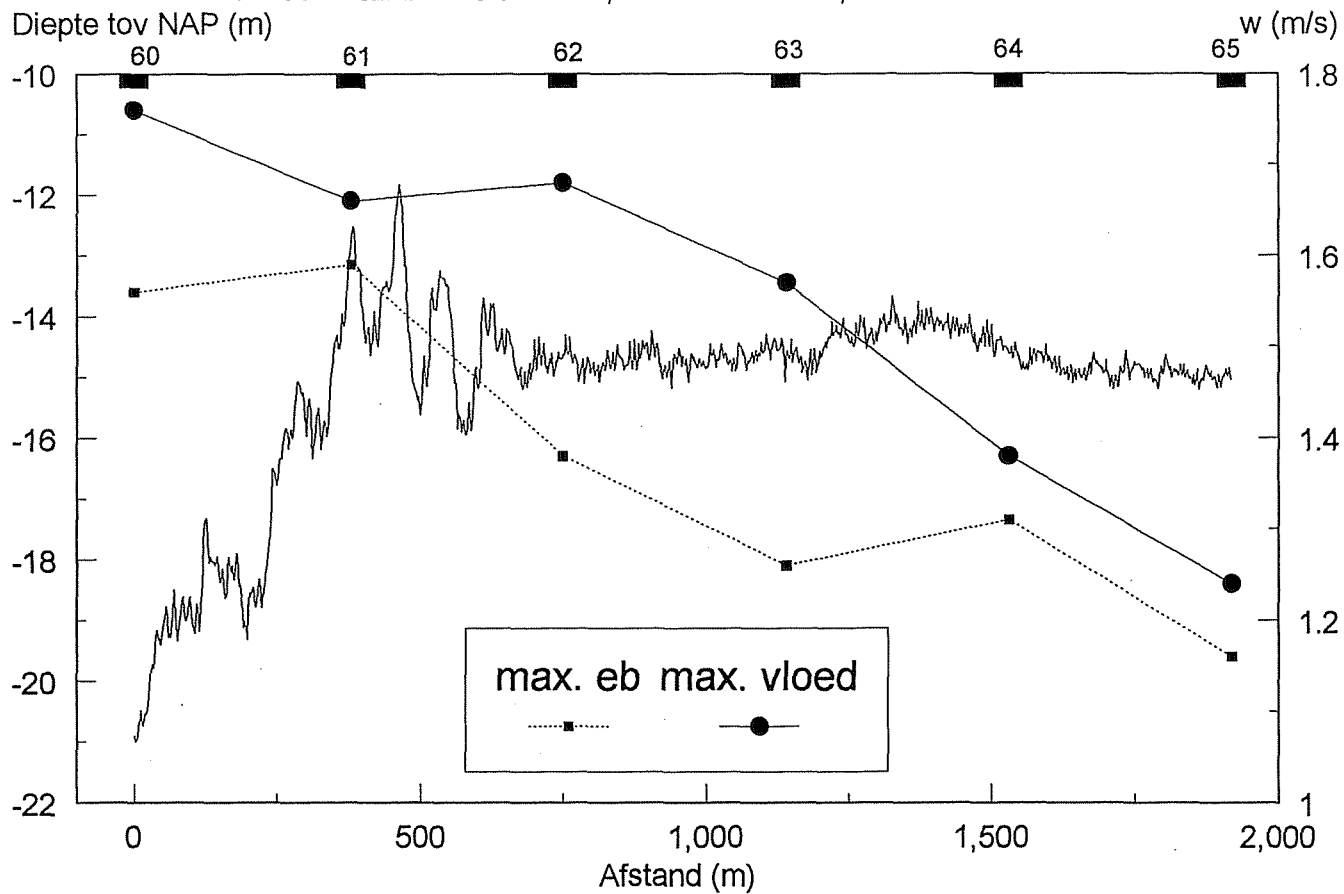
231095 ELMAR max. vloed 13.05 u



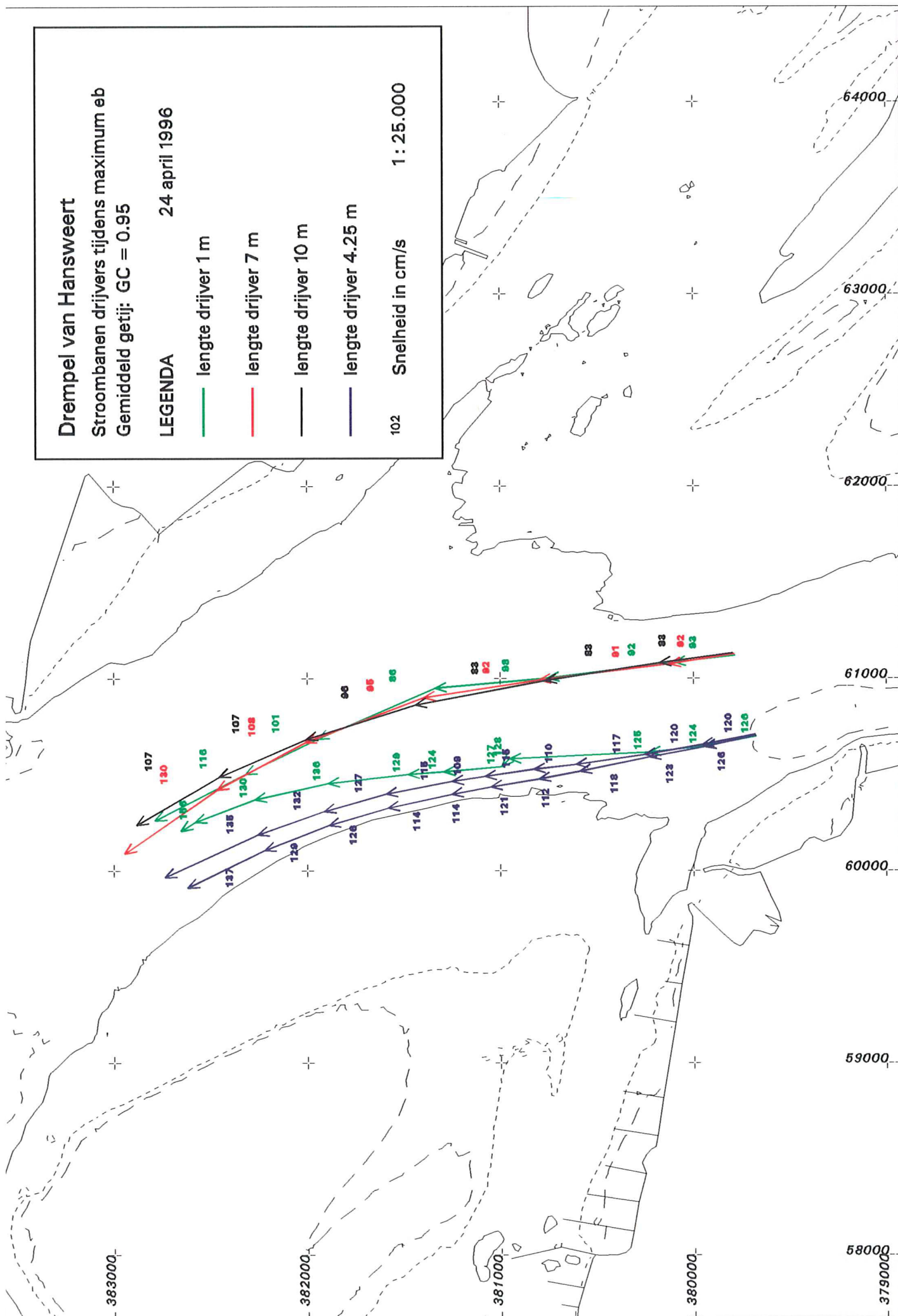
Figuur 3.17

Raai M Langsprofiel Diepte gem. snelheid max. stroom

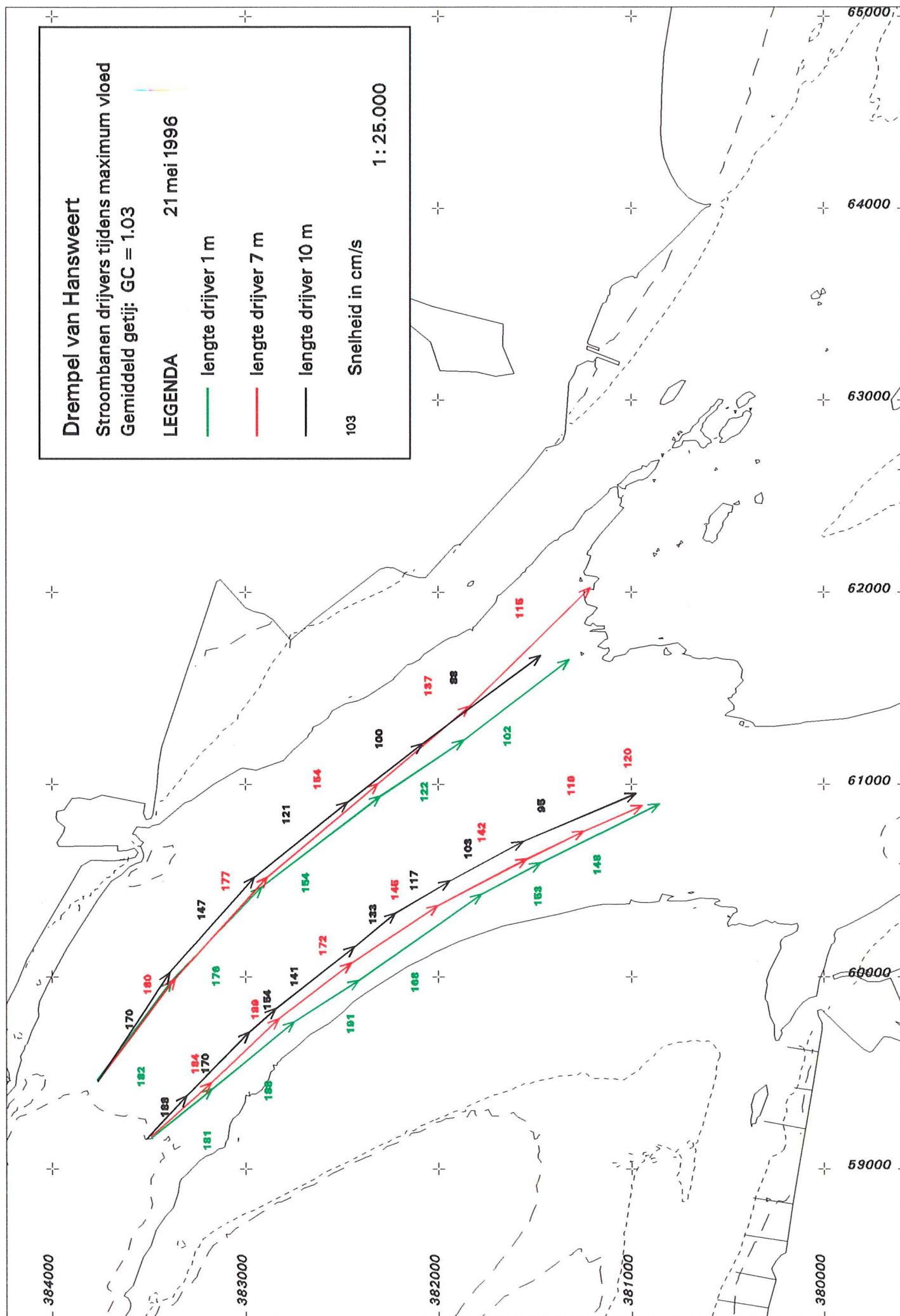
160996 ELMAR GC = 1.11; max. eb: 8.21 u; max. vloed: 15.55 u



Figuur 3.18

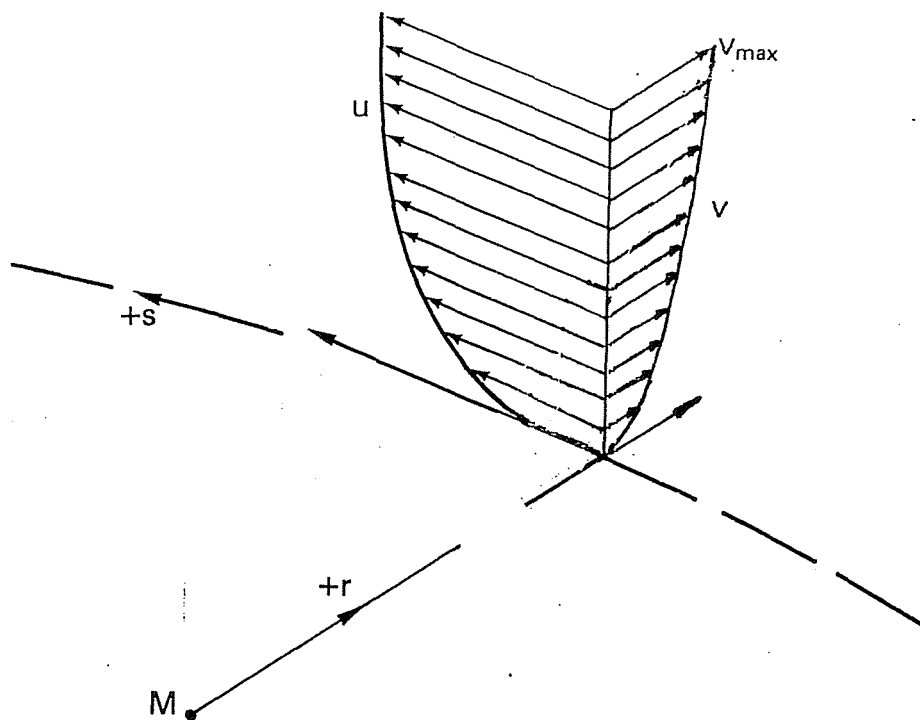


Figuur 3.19



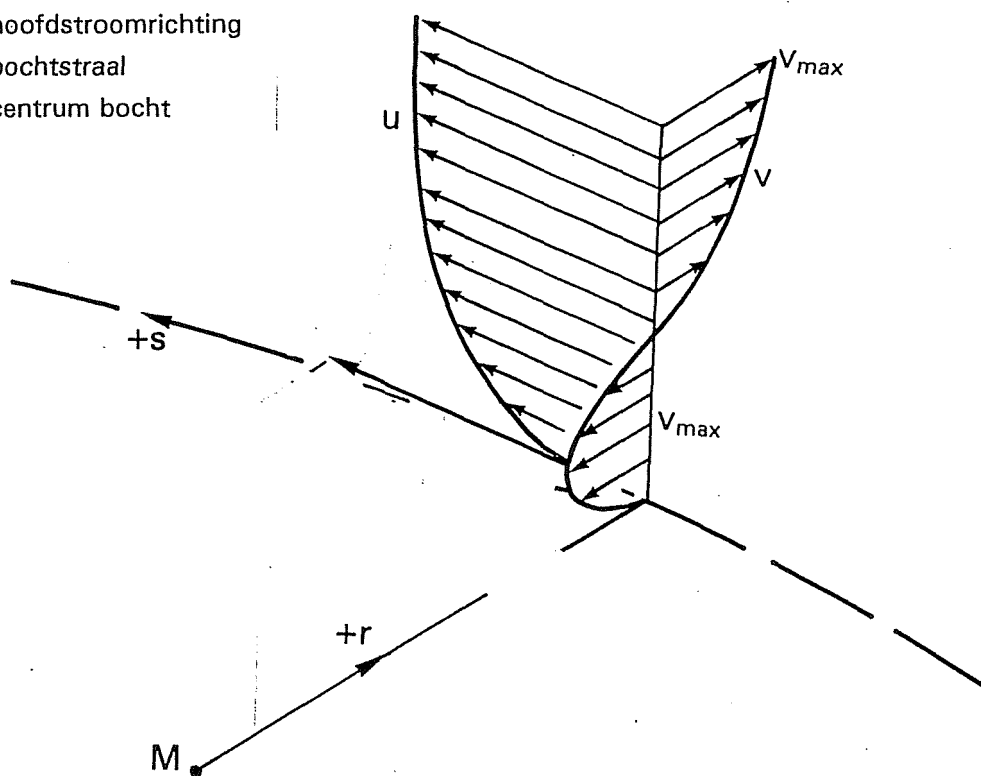
Figuur 3.20

B



s = hoofdstroomrichting
r = bochtstraal
M = centrum bocht

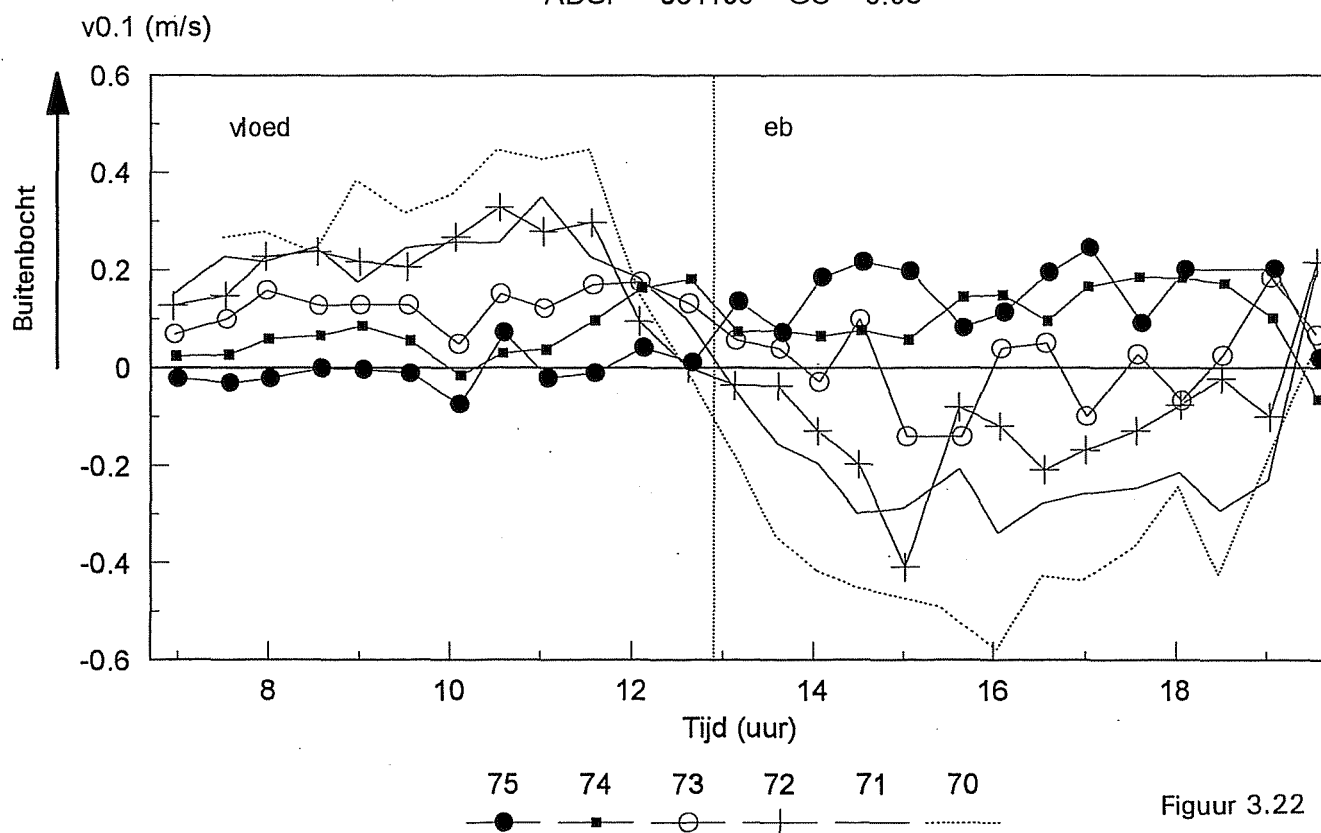
A



Figuur 3.21 Defintieschets a. transversale stroming en b. secundaire stroming (uit: Van Rijn, 1990)

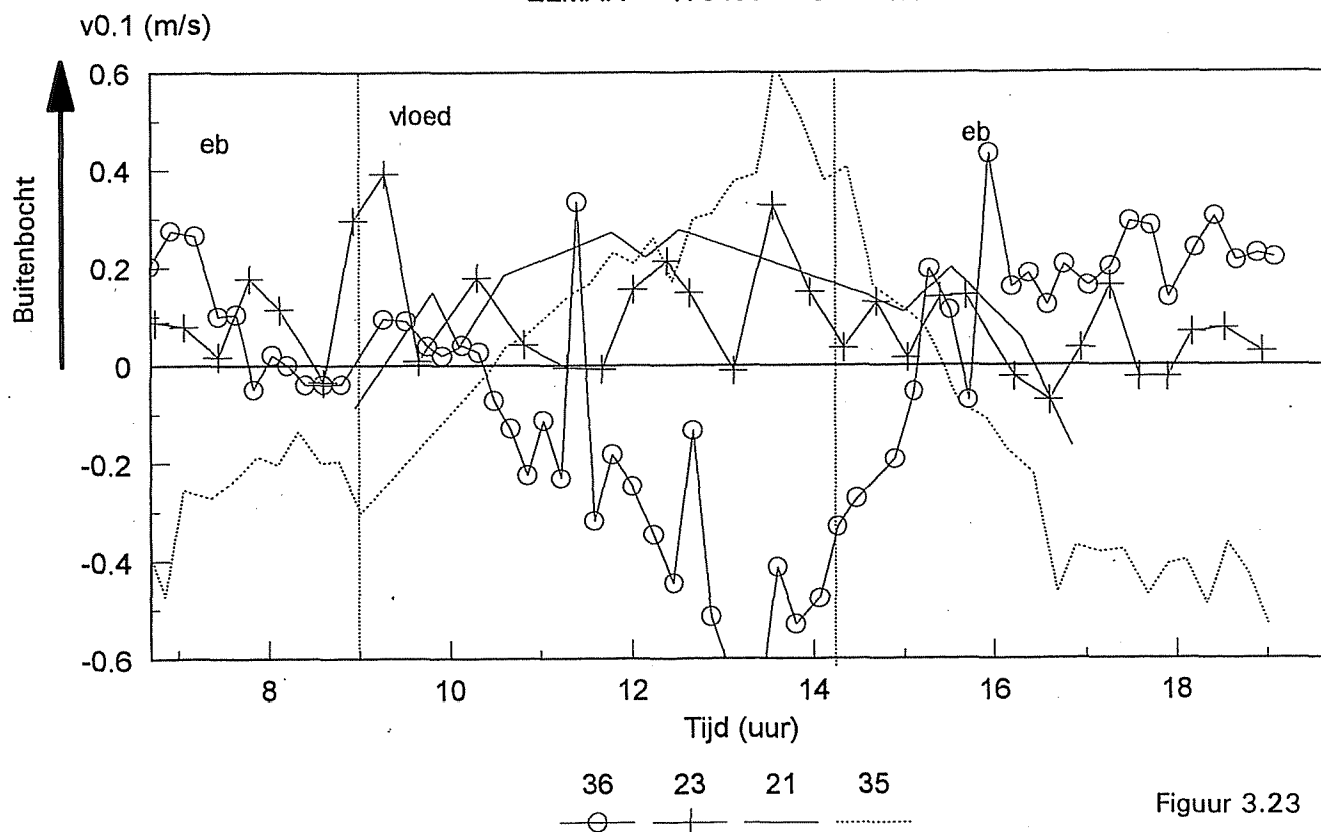
Raai B Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

ADCP 031195 GC = 0.93



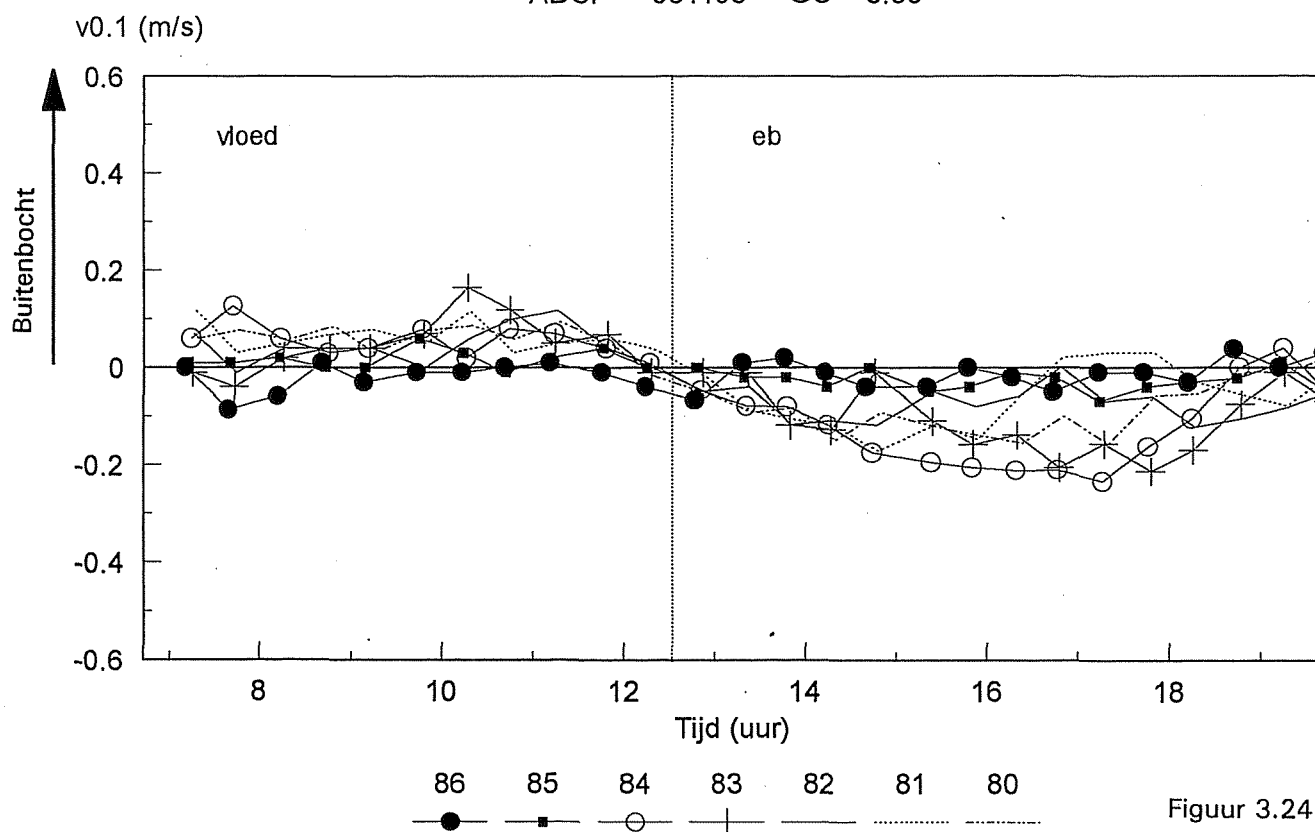
Raai B' Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

ELMAR 170496 GC = 1.18



Raai C Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

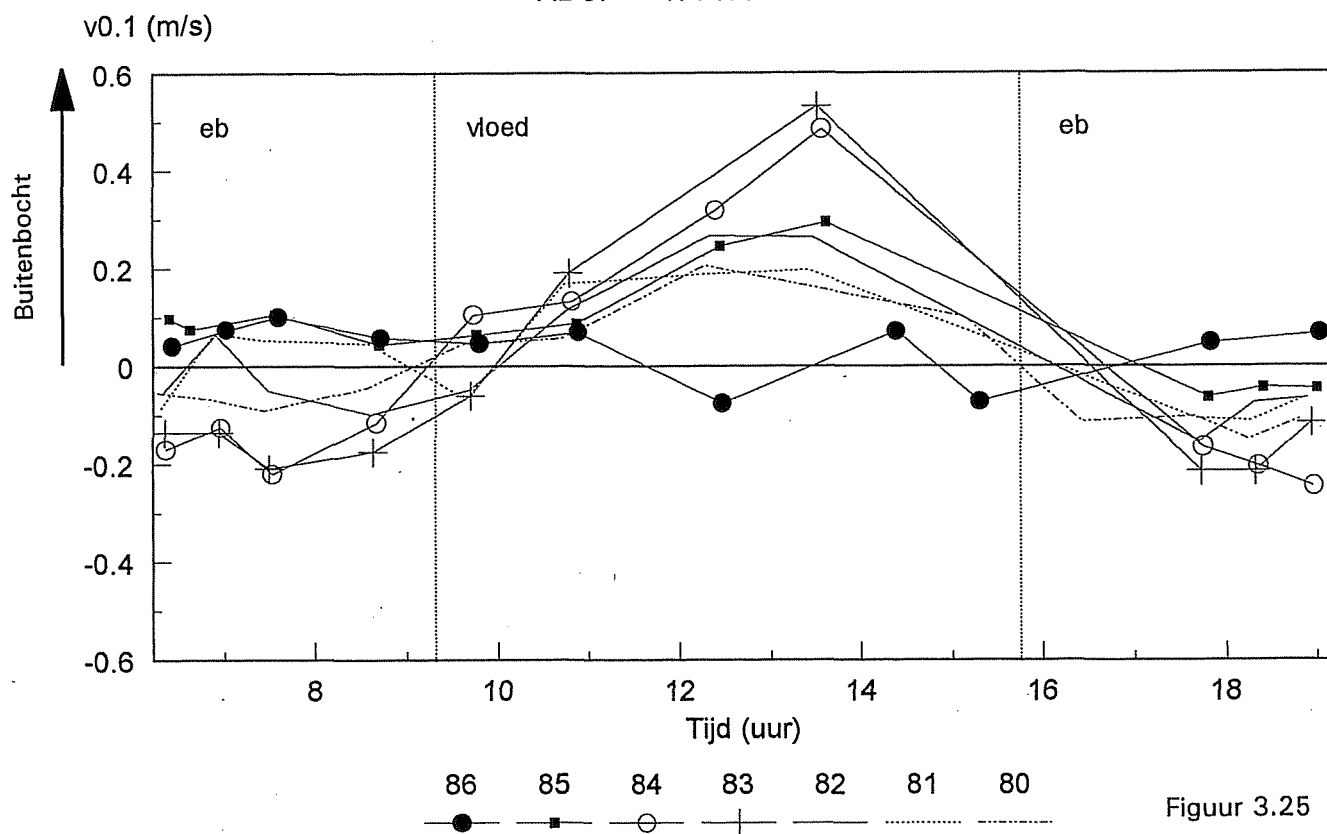
ADCP 031195 GC = 0.93



Figuur 3.24

Raai C Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

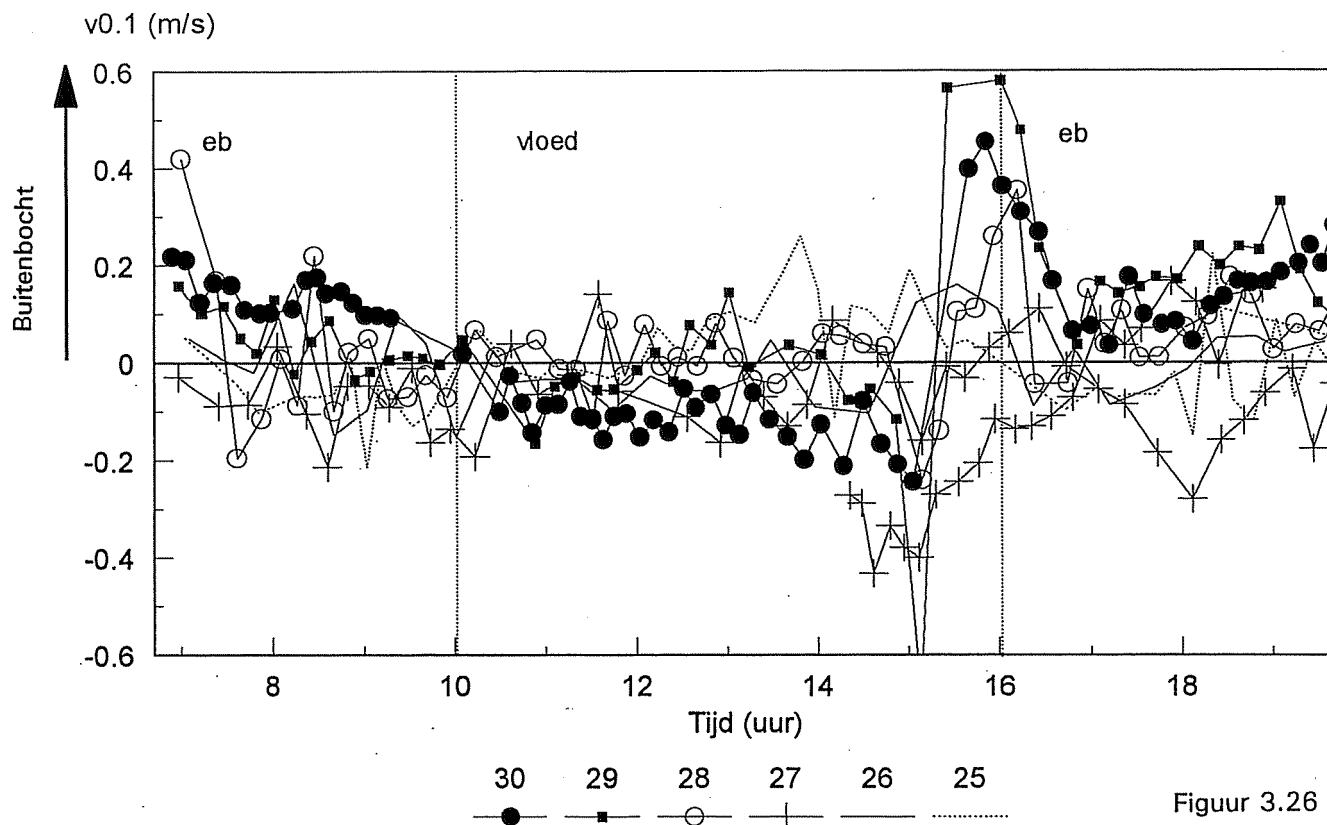
ADCP 170496 GC = 1.18



Figuur 3.25

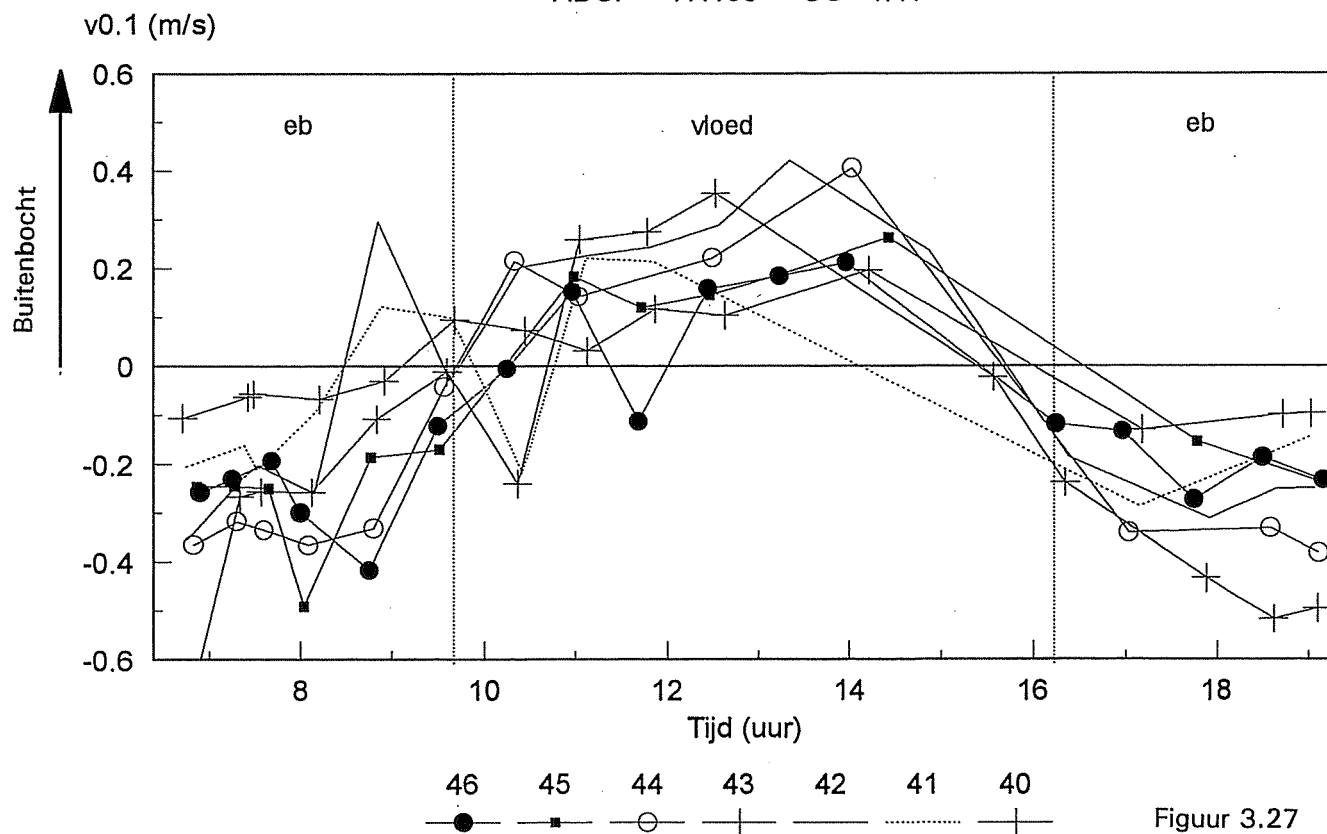
Raai C Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

ELMAR 251095 GC = 1.14



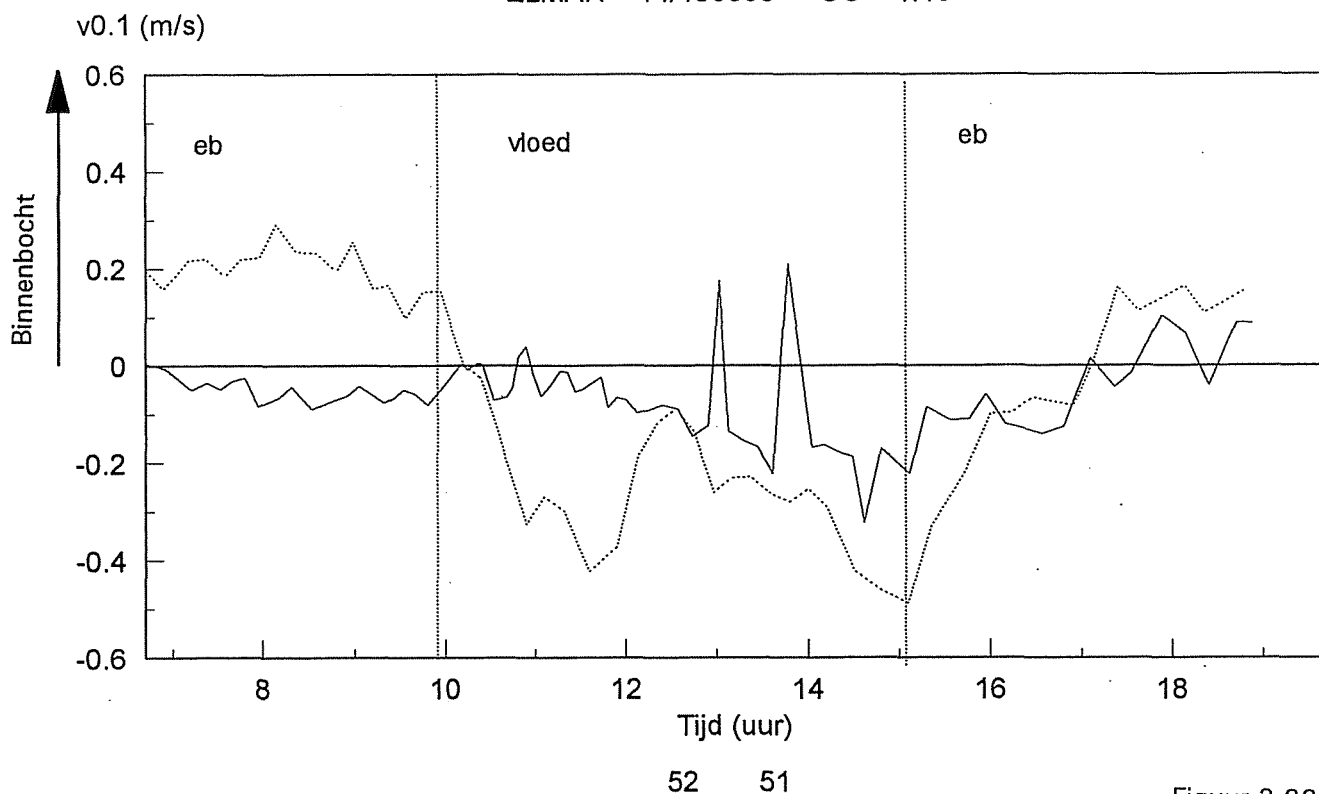
Raai D Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

ADCP 111196 GC= 1.11



Raai 5A - Zuidergat Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

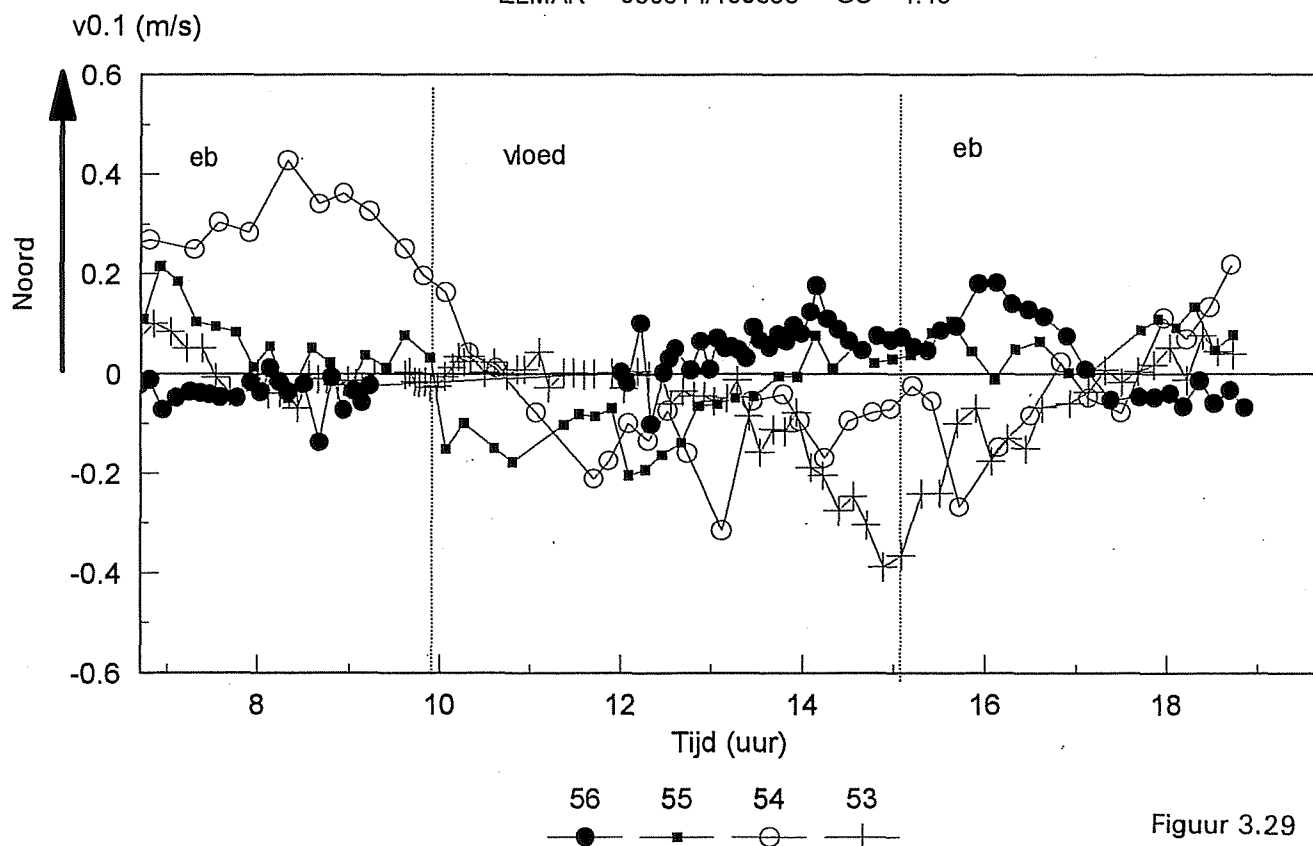
ELMAR 14/150695 GC = 1.19



Figuur 3.28

Raai 5A - Schaar v Waarde Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

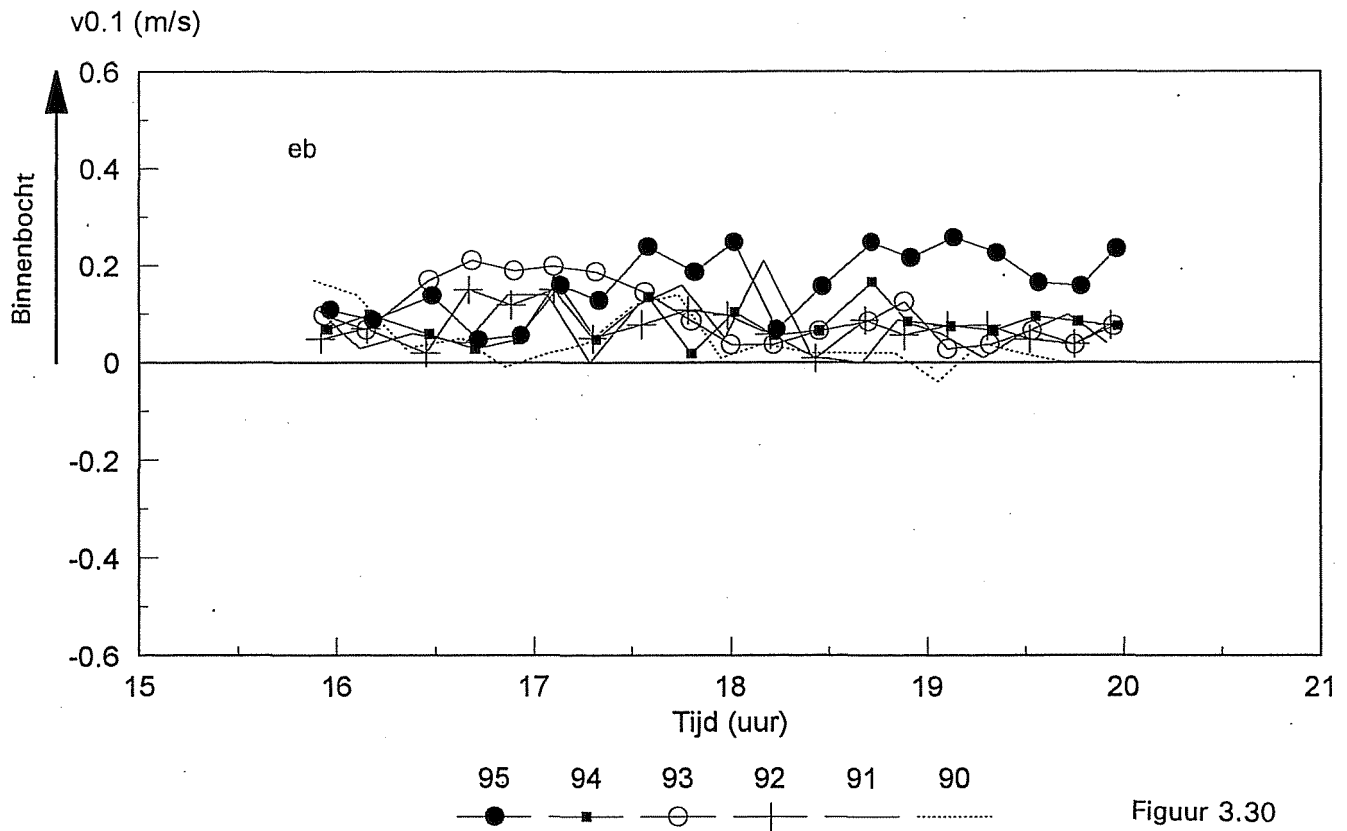
ELMAR 950614/150695 GC = 1.19

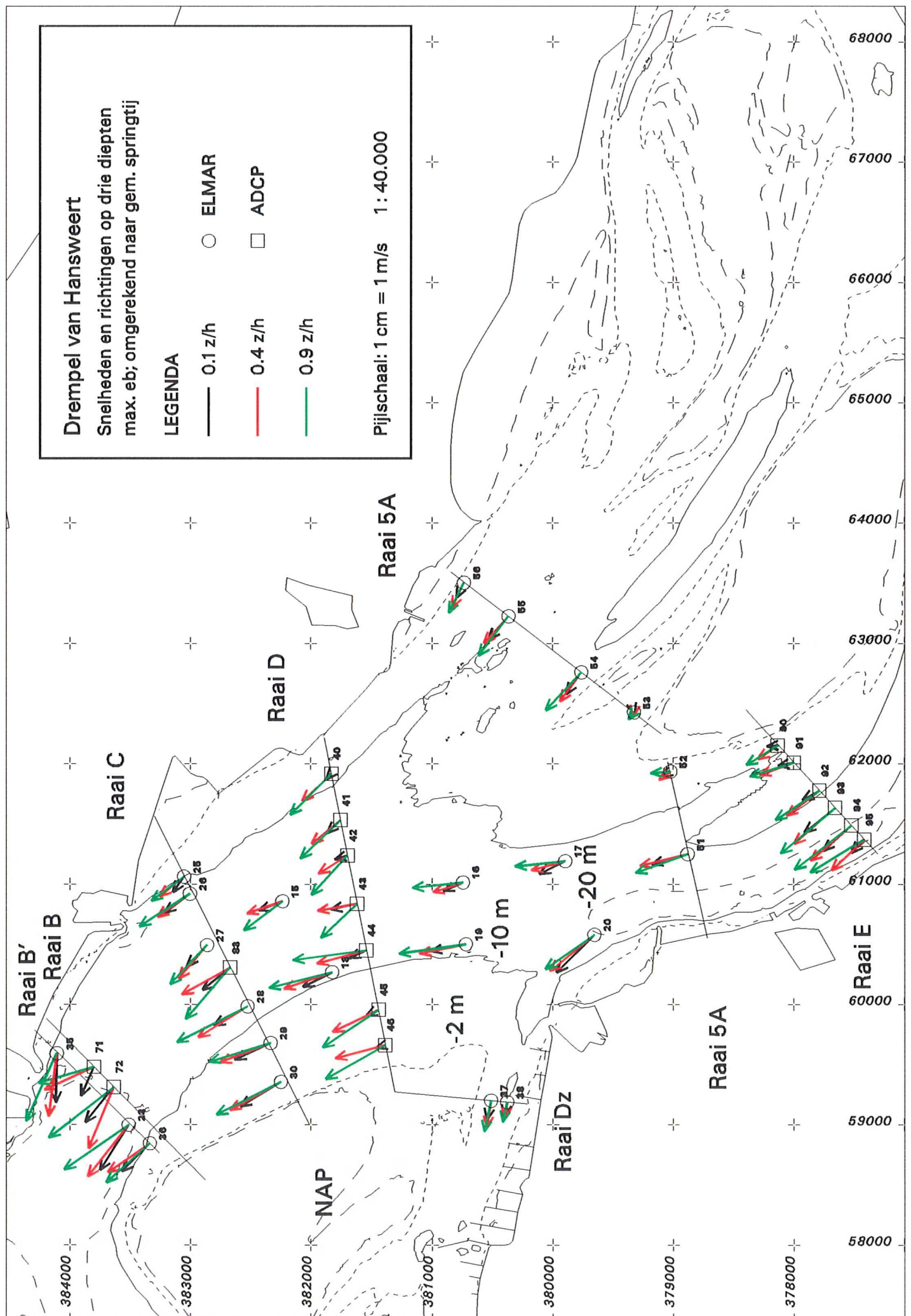


Figuur 3.29

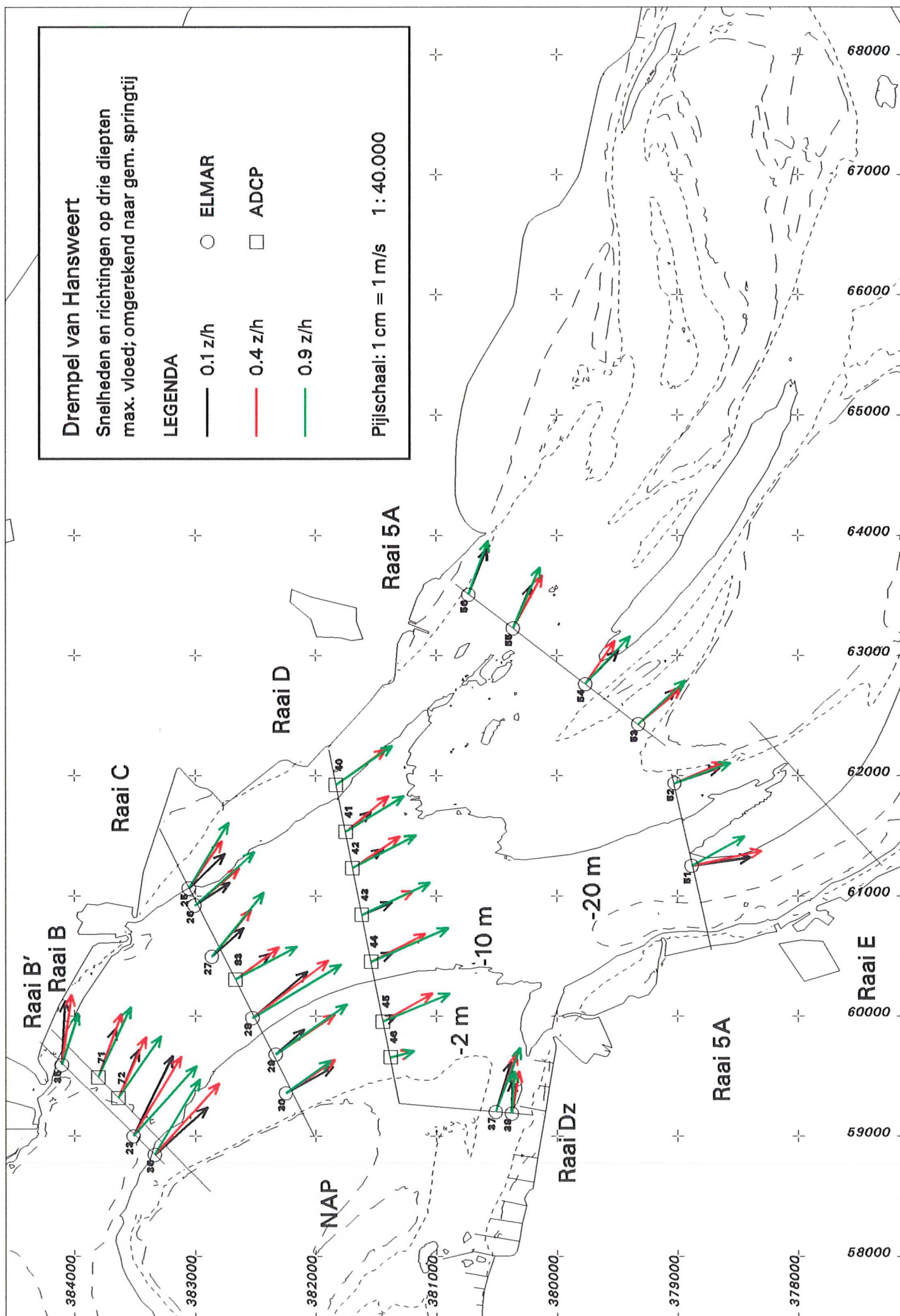
Raai E Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1)

ADCP 061195 GC = 1.08





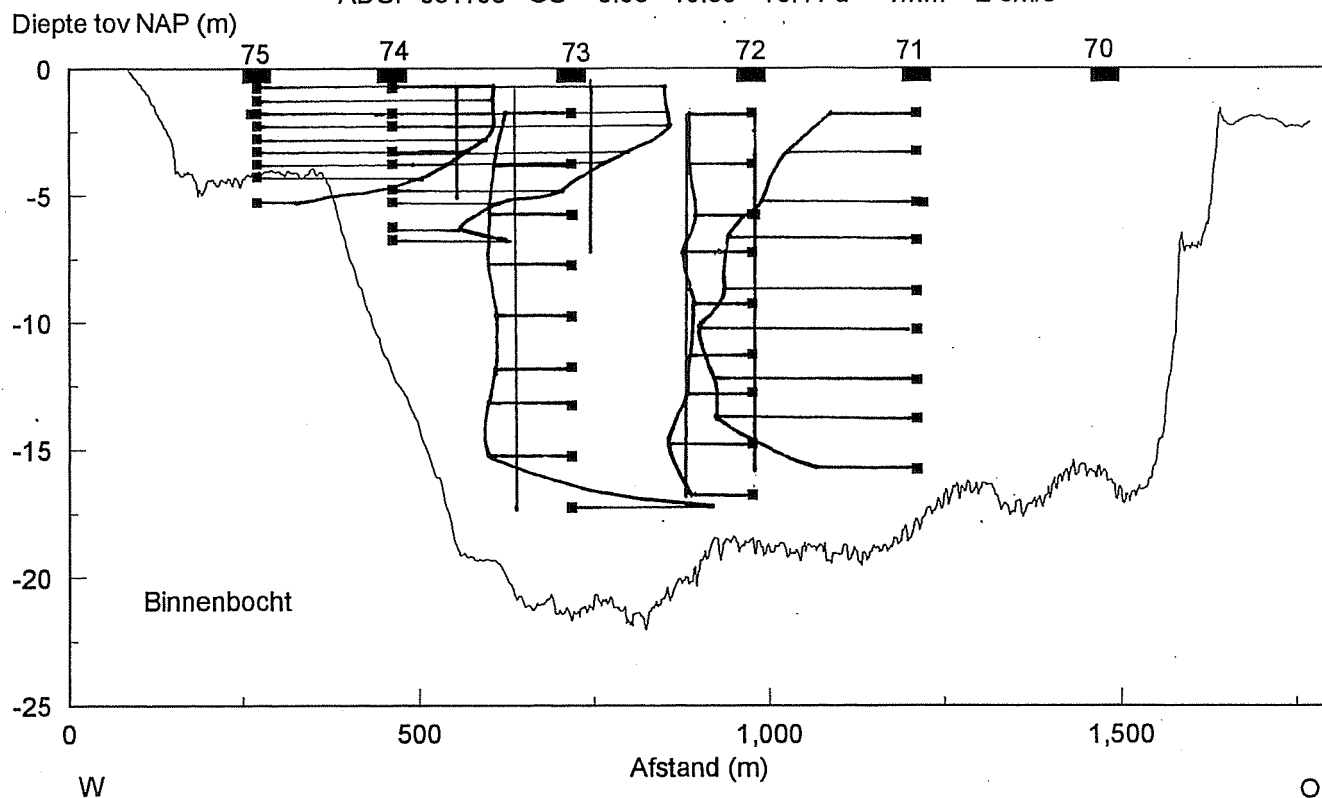
Figuur 3.31



Figuur 3.32

Raai B Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

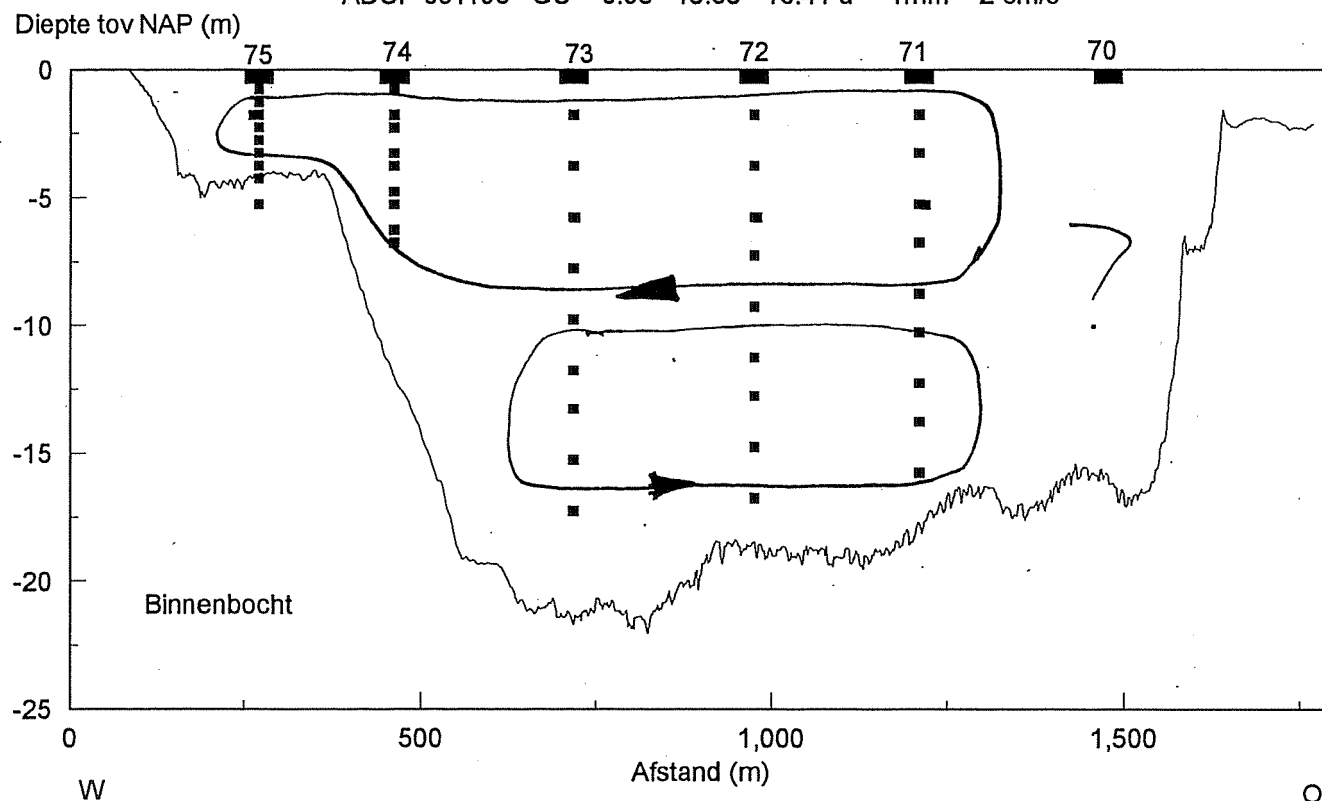
ADCP 031195 GC = 0.93 15.35 - 15.41 u 1mm = 2 cm/s



Figuur 3.33a

Raai B Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 15.35 - 15.41 u 1mm = 2 cm/s

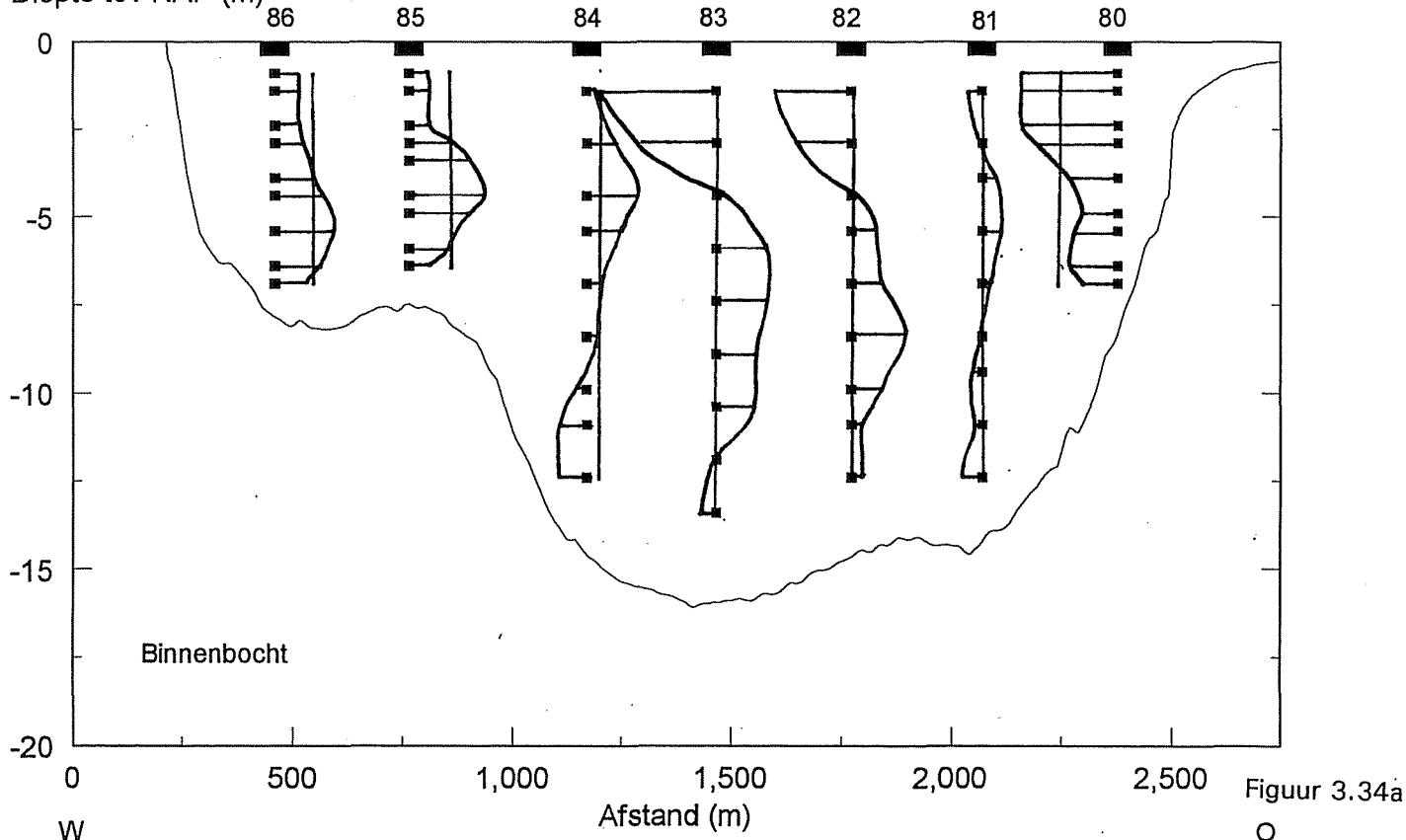


Figuur 3.33b

Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 15.47 - 15.56 u 1mm = 2 cm/s

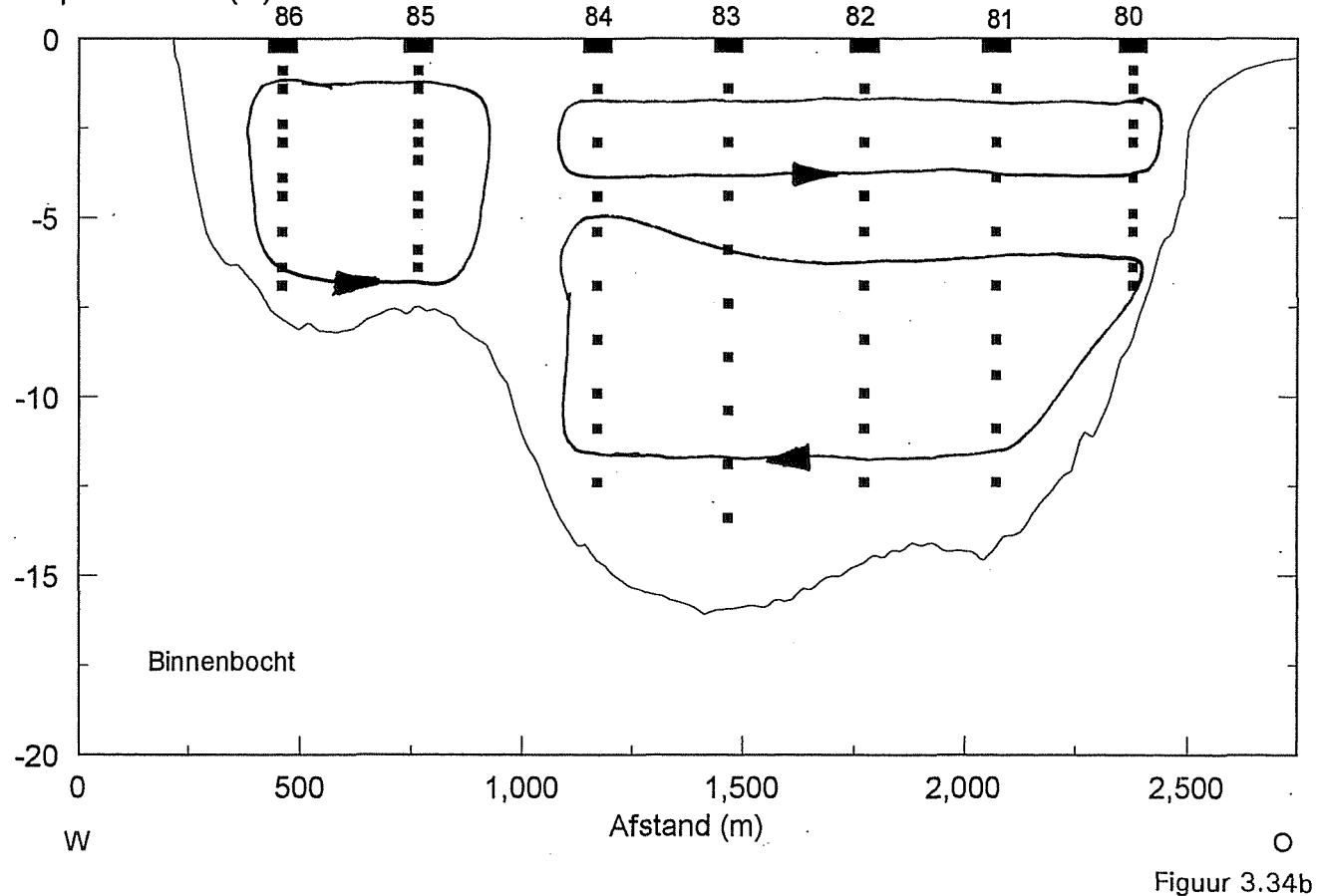
Diepte tov NAP (m)



Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 15.47 - 15.56 u 1mm = 2 cm/s

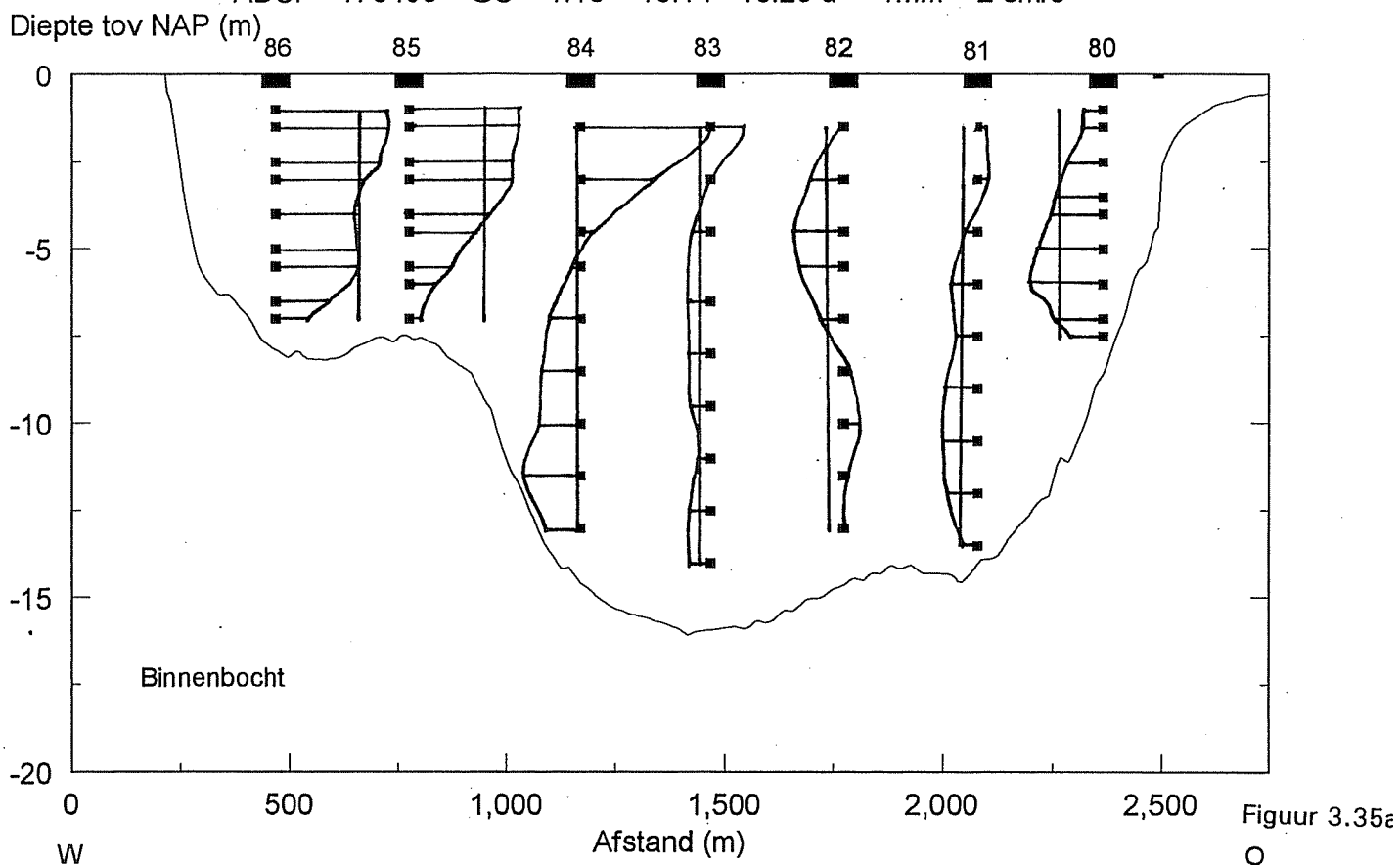
Diepte tov NAP (m)



Figuur 3.34b

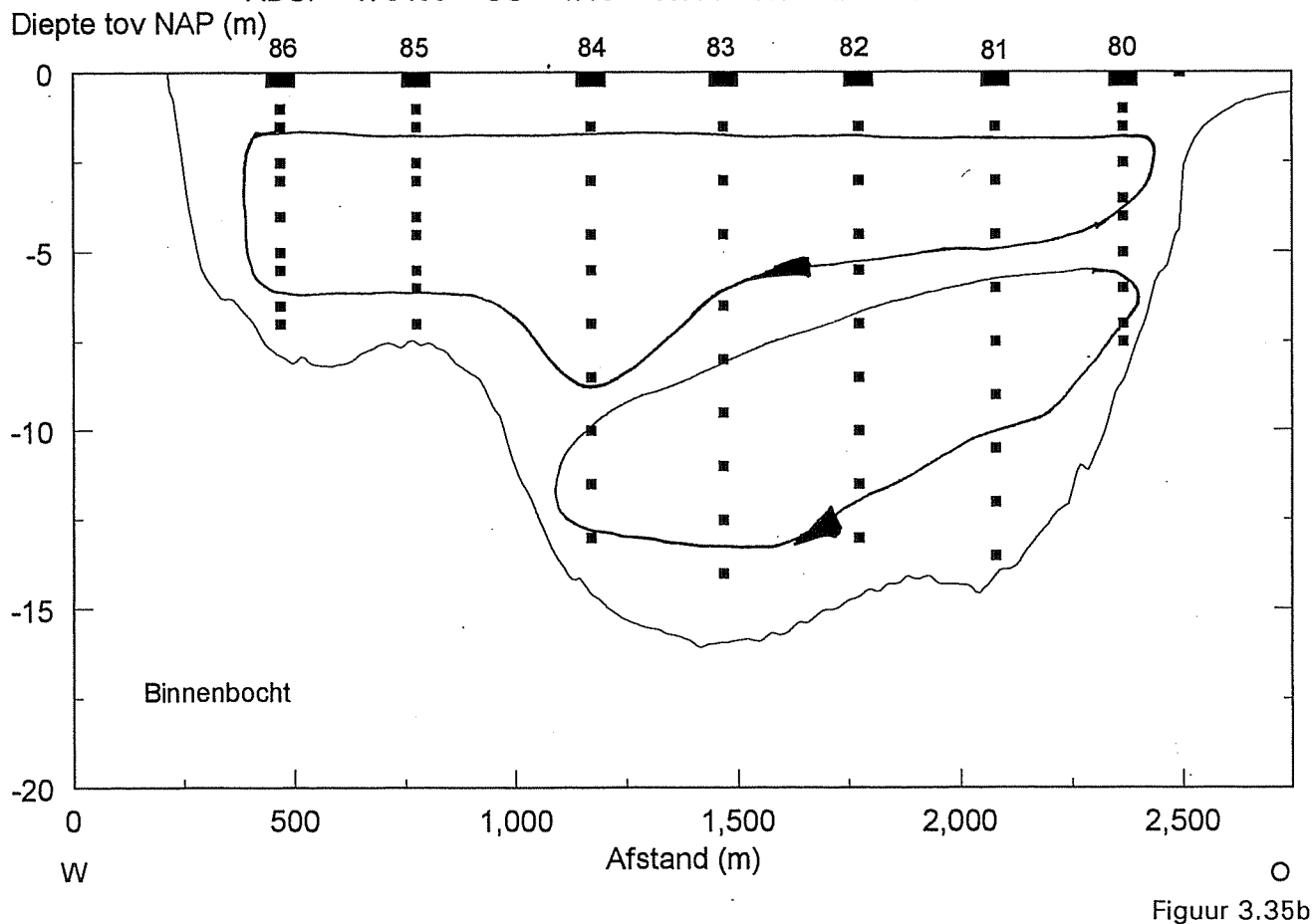
Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 170496 GC = 1.18 18.14 - 18.26 u 1mm = 2 cm/s



Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

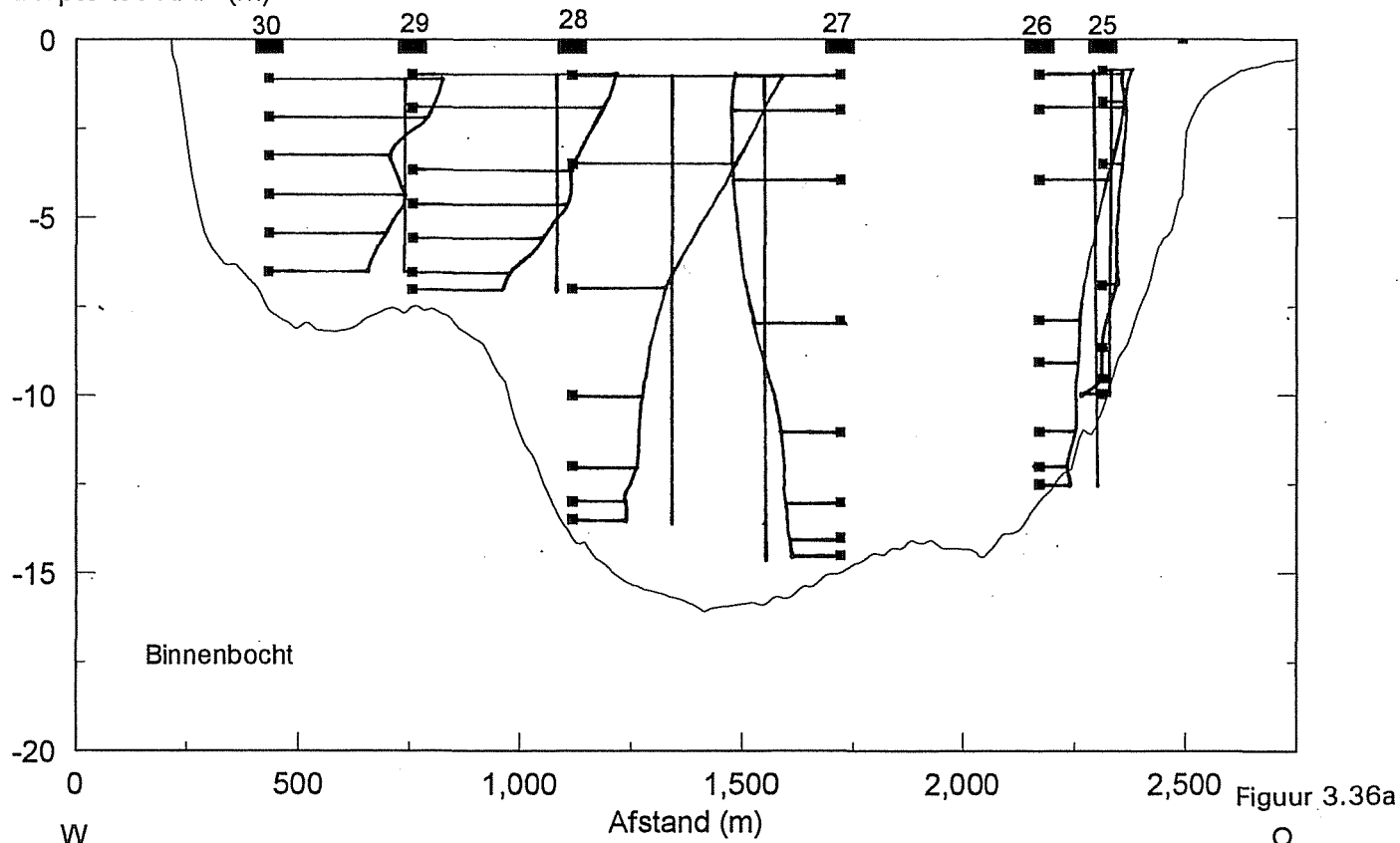
ADCP 170496 GC = 1.18 18.14 - 18.26 u 1mm = 2 cm/s



Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ELMAR 251095 GC = 1.18 18.26. - 19.25 u gem. 1mm = 2 cm/s

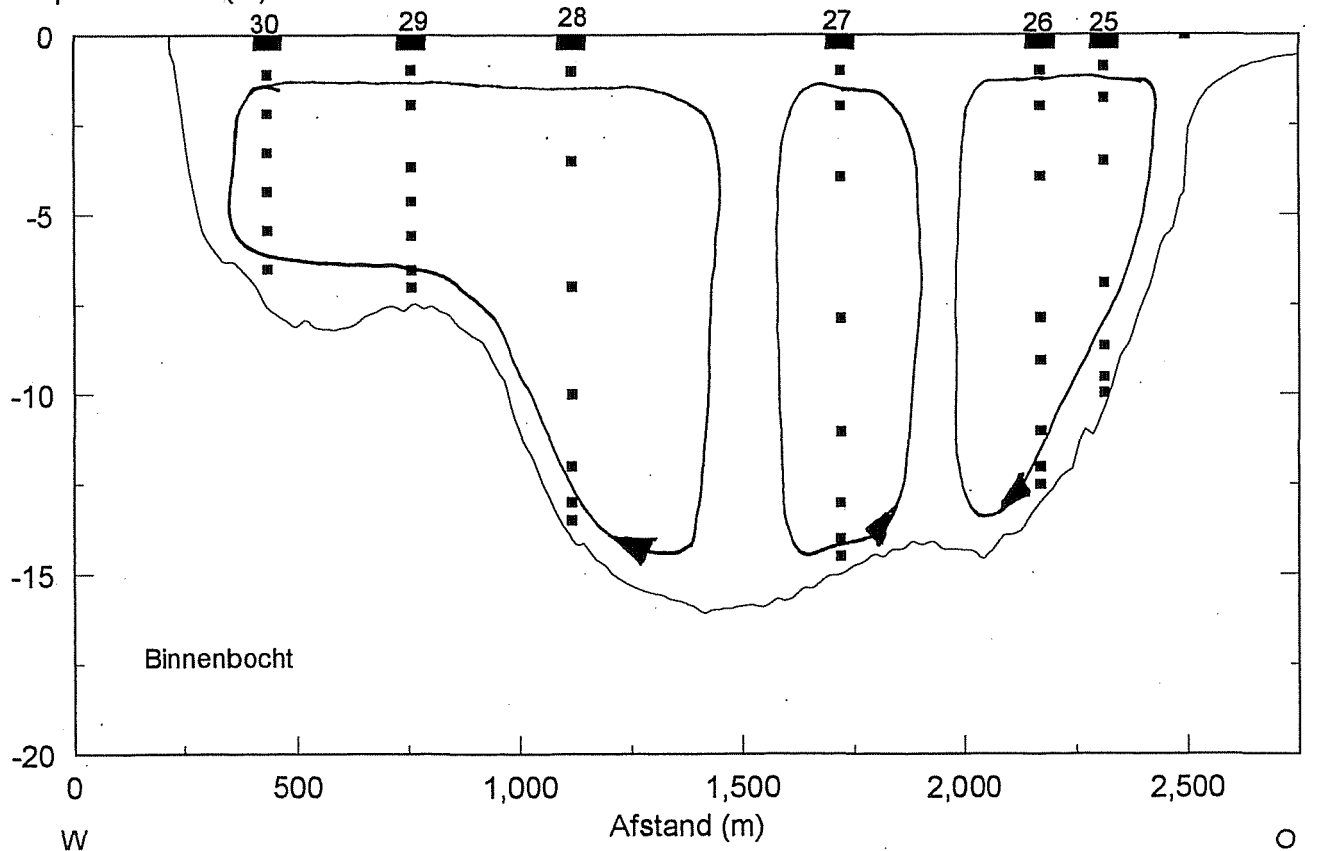
Diepte tov NAP (m)



Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ELMAR 251095 GC = 1.18 18.26. - 19.25 u gem. 1mm = 2 cm/s

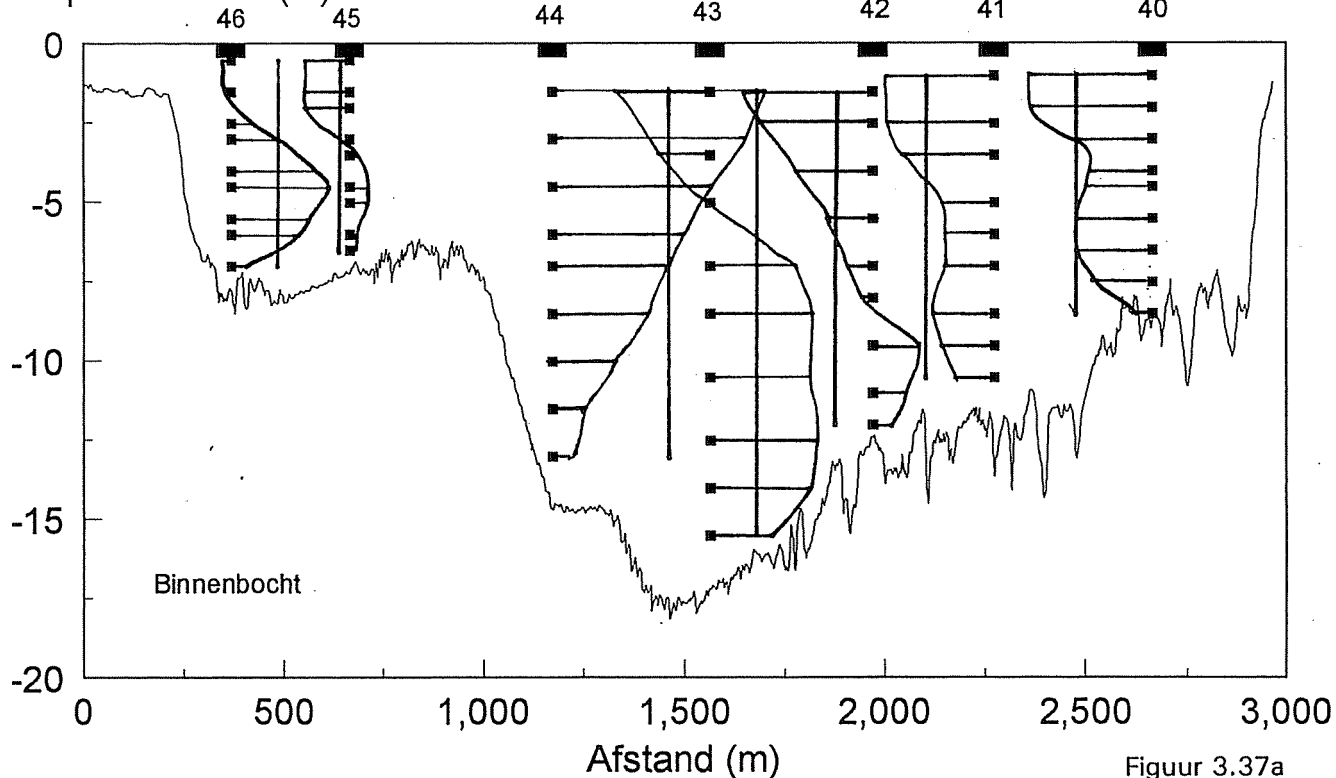
Diepte tov NAP (m)



Raai D Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 111196 18.30 - 18.44 u GC = 1.11

Diepte tov NAP (m)

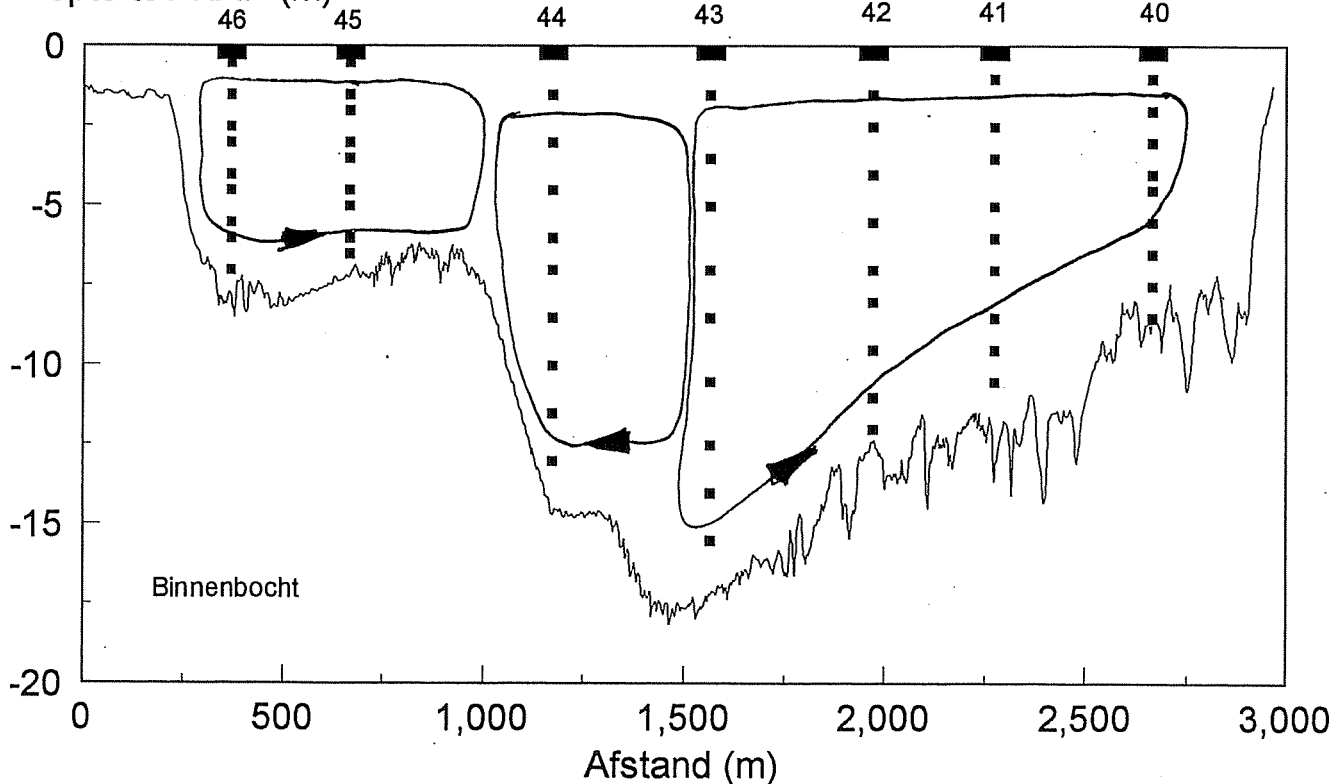


Figuur 3.37a

Raai D Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ADCP 111196 18.30 - 18.44 u GC = 1.11

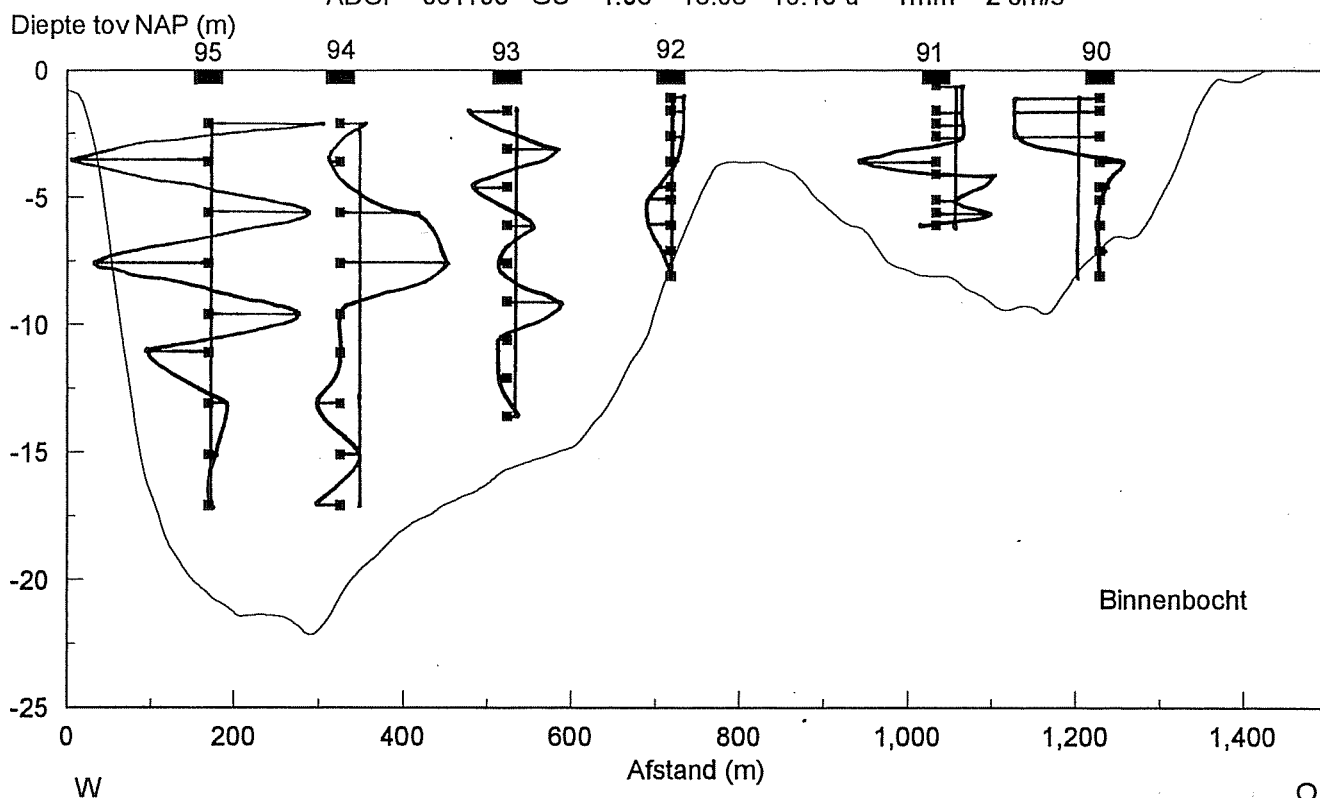
Diepte tov NAP (m)



Figuur 3.37b

Raai E Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

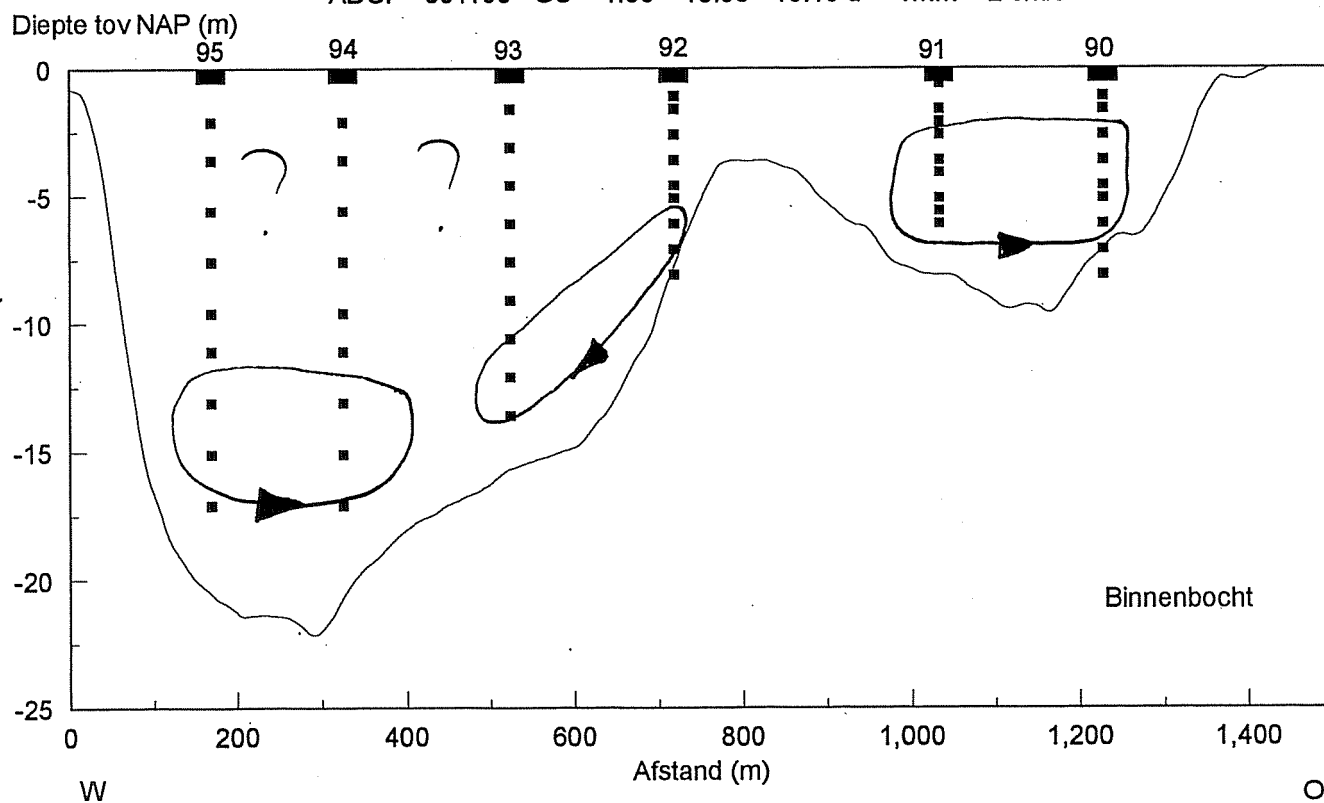
ADCP 061195 GC = 1.08 18.08 - 18.15 u 1mm = 2 cm/s



Figuur 3.38a

Raai E Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. ebstroom

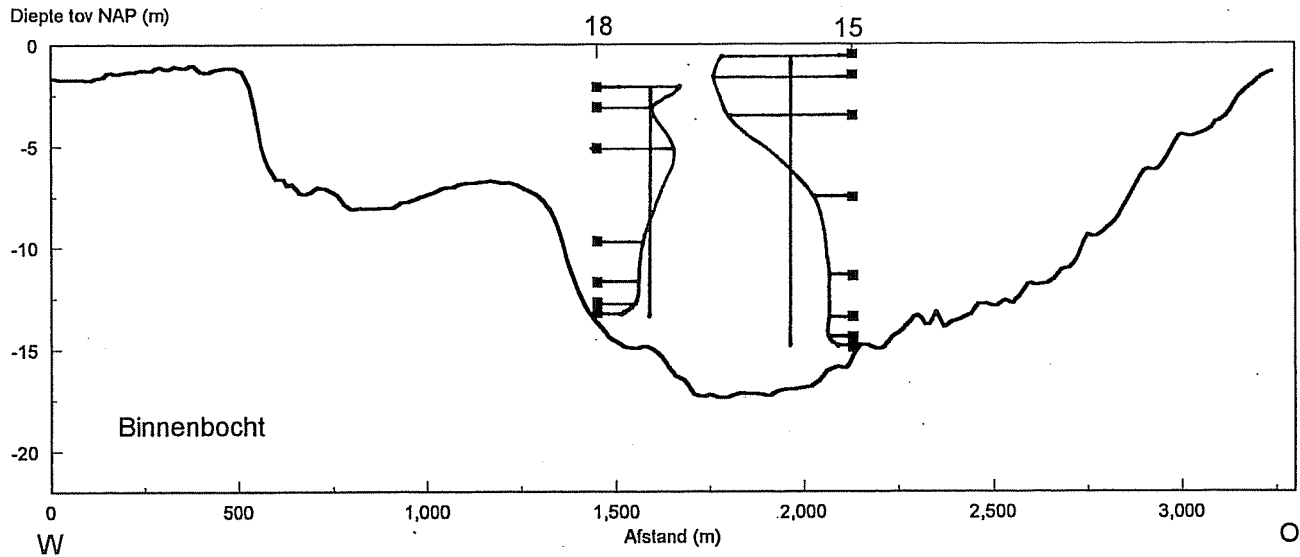
ADCP 061195 GC = 1.08 18.08 - 18.15 u 1mm = 2 cm/s



Figuur 3.38b

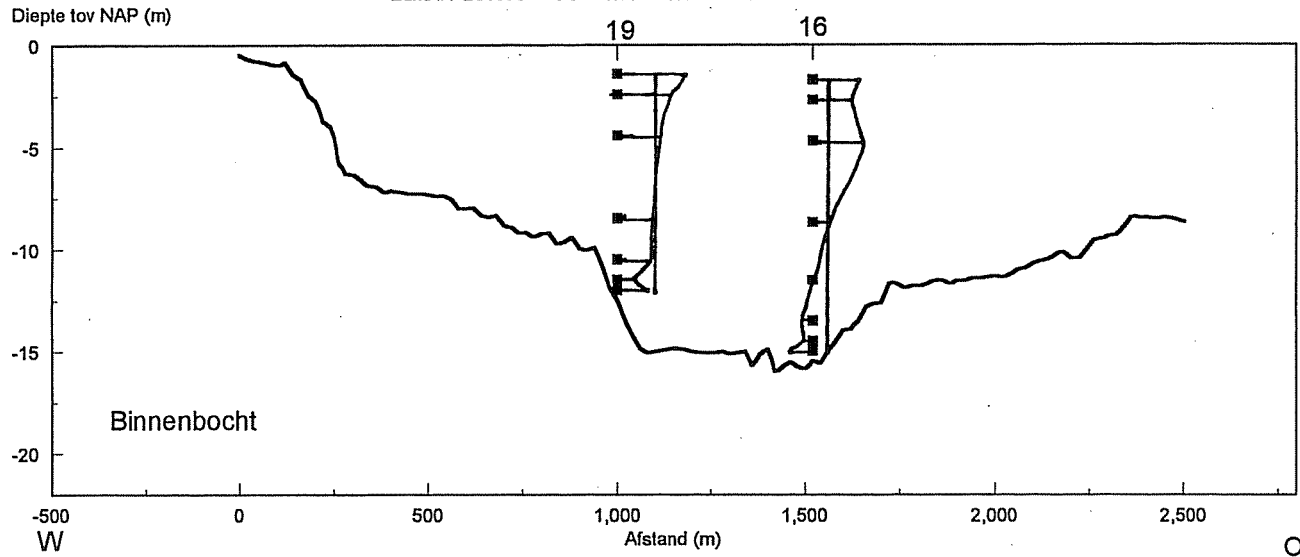
Raai H & J Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 17.33 - 19.04 uur 1 mm = 2 cm/s



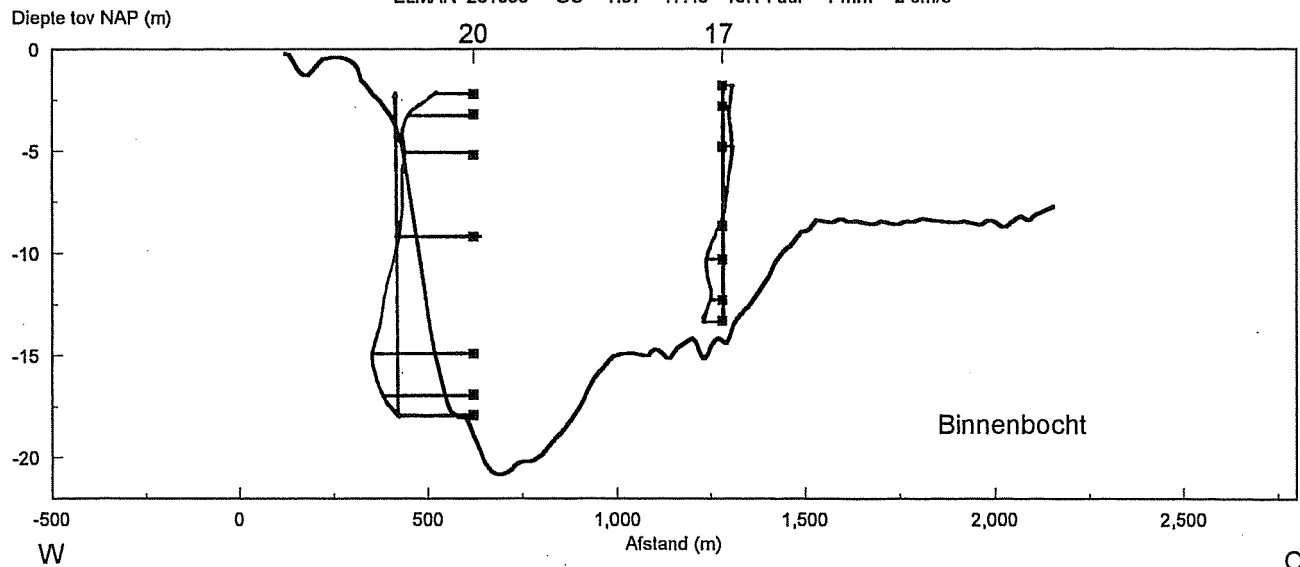
Raai H & J Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 17.19 - 18.58 uur 1 mm = 2 cm/s



Raai H & J Transversale en secundaire stroming tijdens max. ebstroom

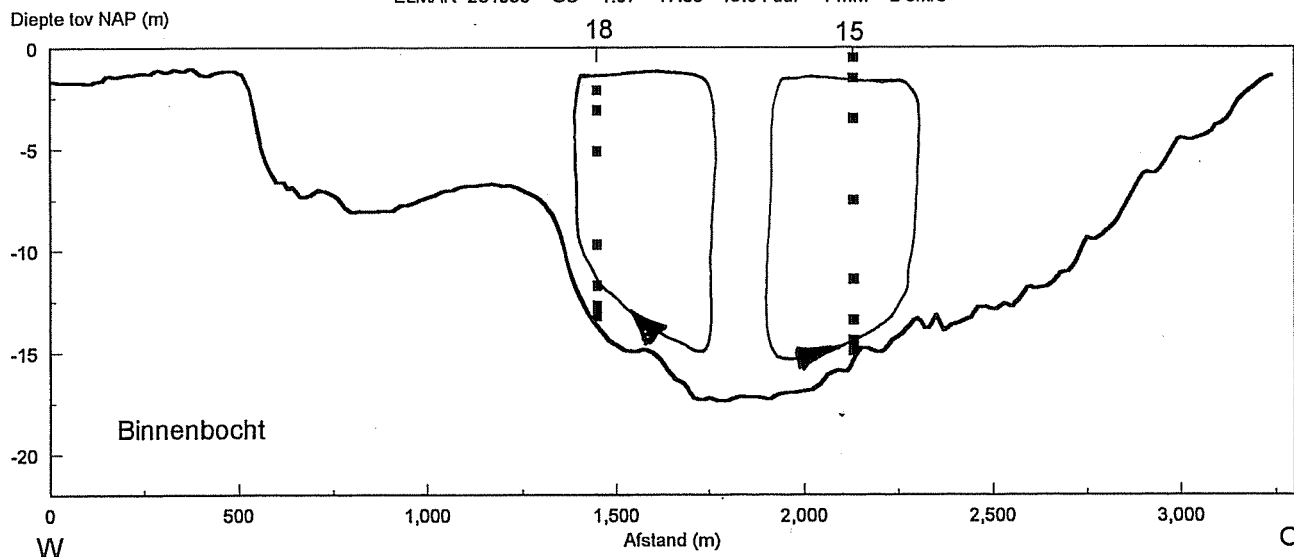
ELMAR 231095 GC = 1.07 17.45 - 19.14 uur 1 mm = 2 cm/s



Figuur 3.39a

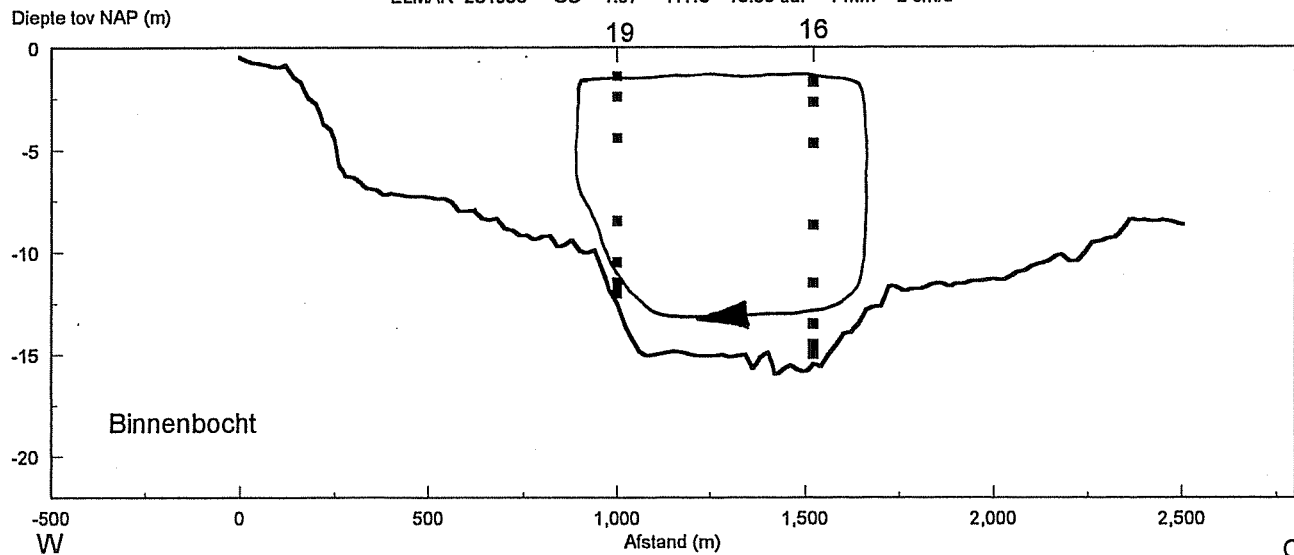
Raai H & J Circulatiepatronen met secundaire stroming max. ebstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 17.33 - 19.04 uur 1 mm = 2 cm/s



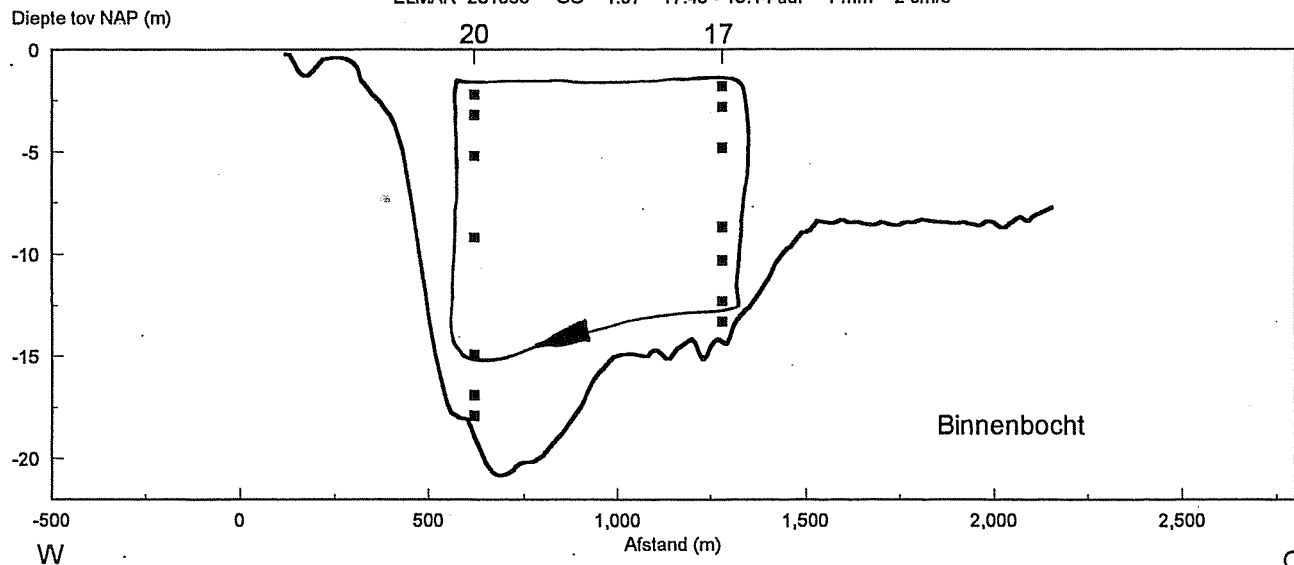
Raai H & J Circulatiepatronen met secundaire stroming max. ebstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 17.19 - 18.58 uur 1 mm = 2 cm/s



Raai H & J Circulatiepatronen met secundaire stroming max. ebstroom

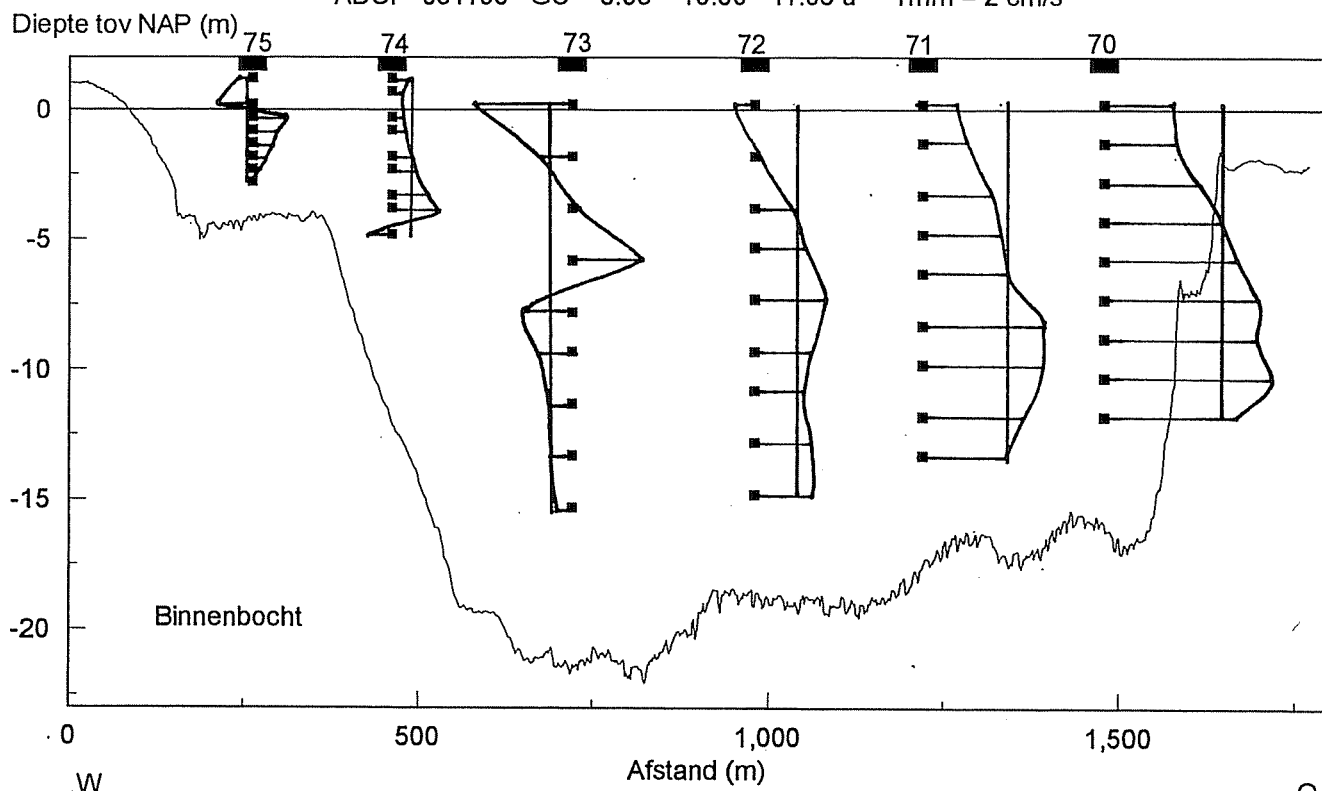
ELMAR 231095 GC = 1.07 17.45 - 19.14 uur 1 mm = 2 cm/s



Figuur 3.39b

Raai B Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

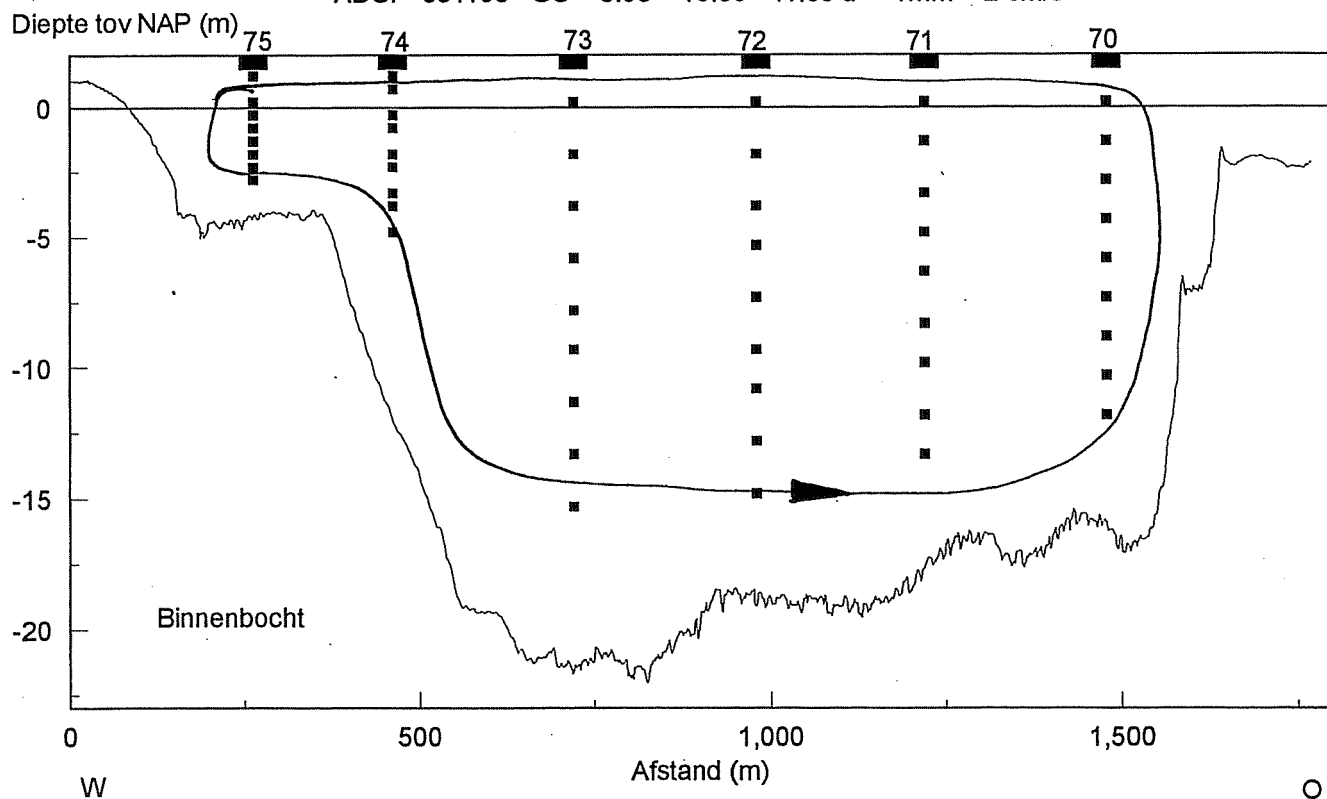
ADCP 031195 GC = 0.93 10.59 - 11.06 u 1mm = 2 cm/s



Figuur 3.40a

Raai B Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 10.59 - 11.06 u 1mm = 2 cm/s

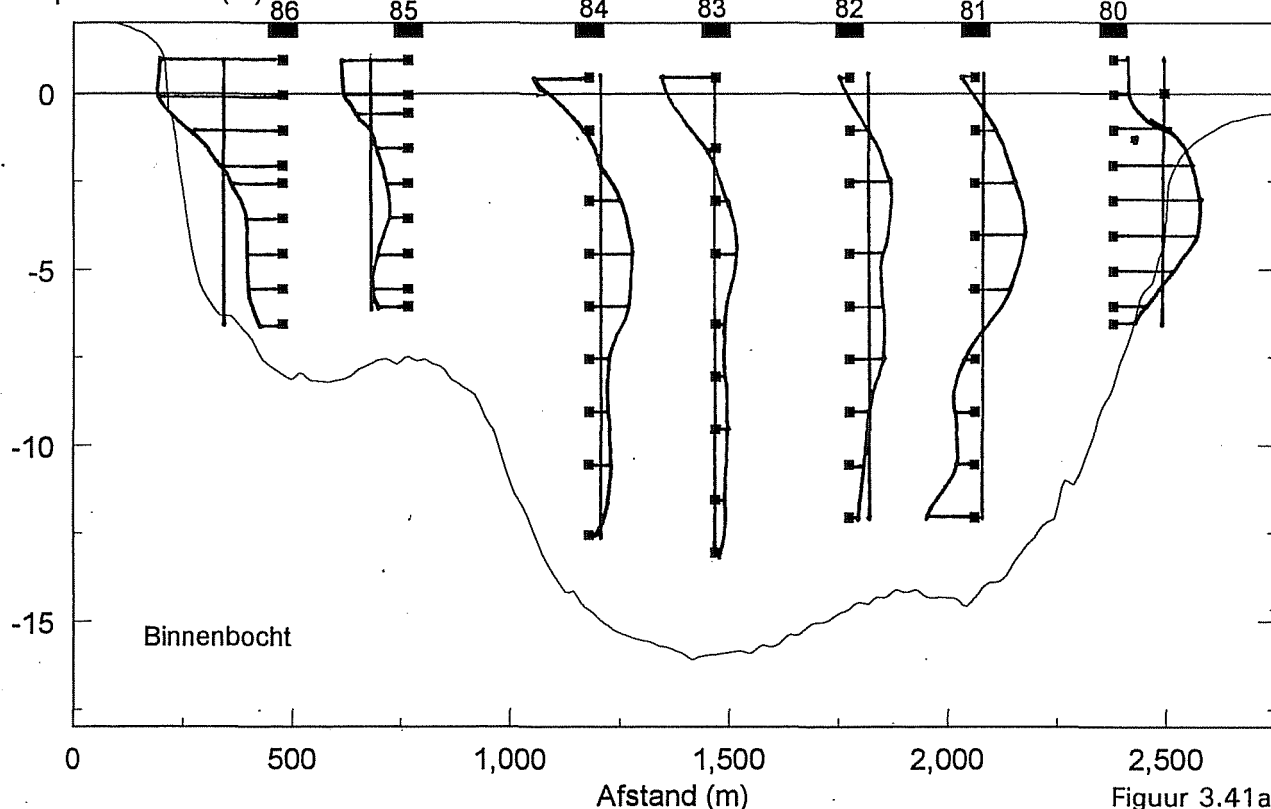


Figuur 3.40b

Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 10.40 - 10.50 u 1mm = 2 cm/s

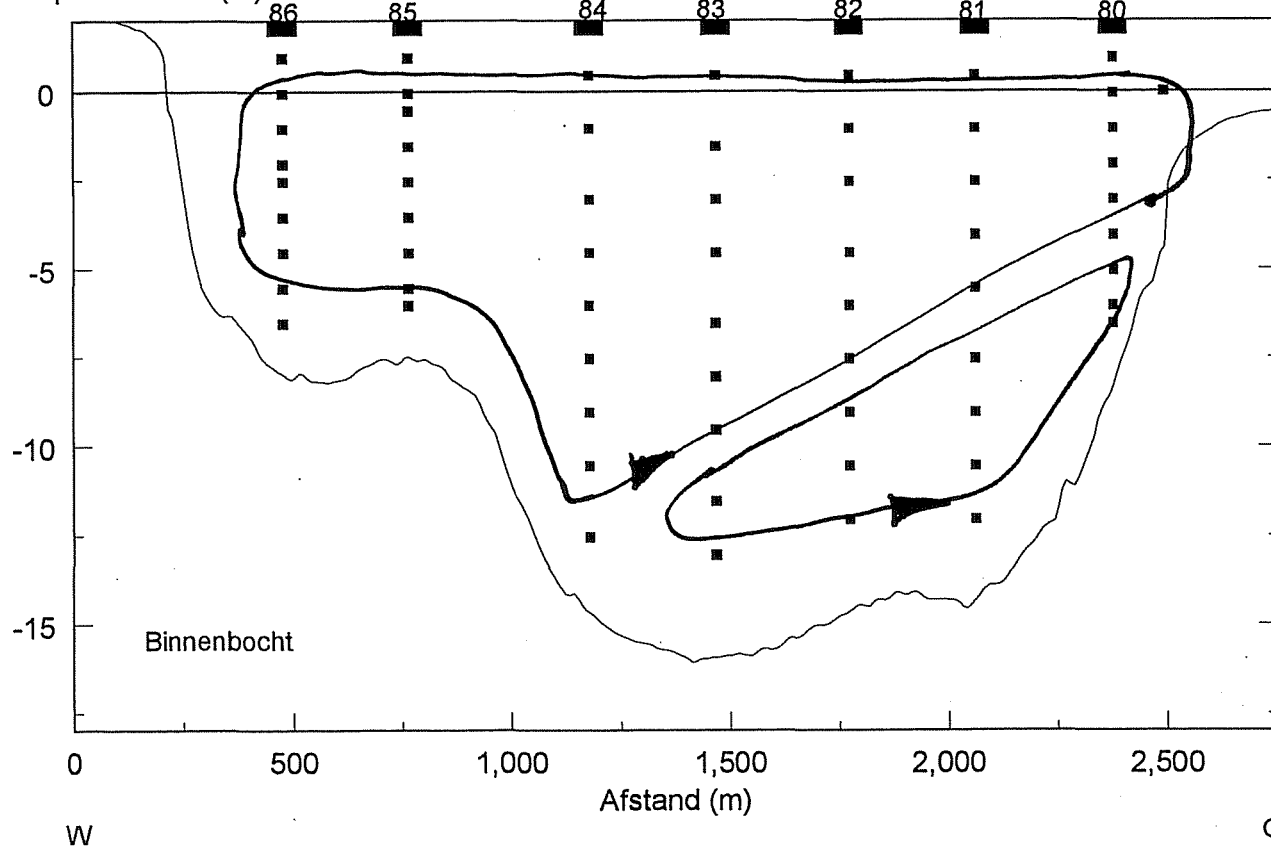
Diepte tov NAP (m)



Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 031195 GC = 0.93 10.40 - 10.50 u 1mm = 2 cm/s

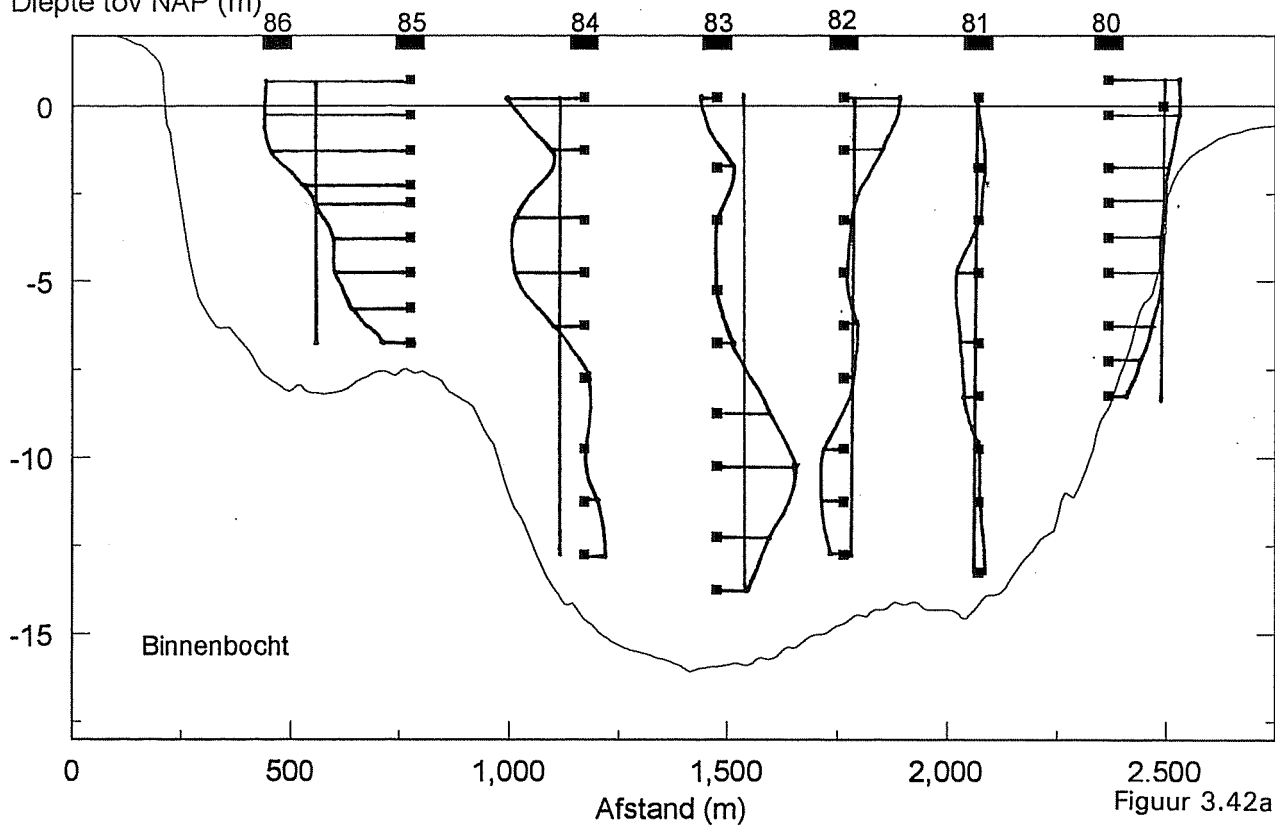
Diepte tov NAP (m)



Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 170496 GC = 1.18 13.23 - 13.38 u 1mm = 2 cm/s

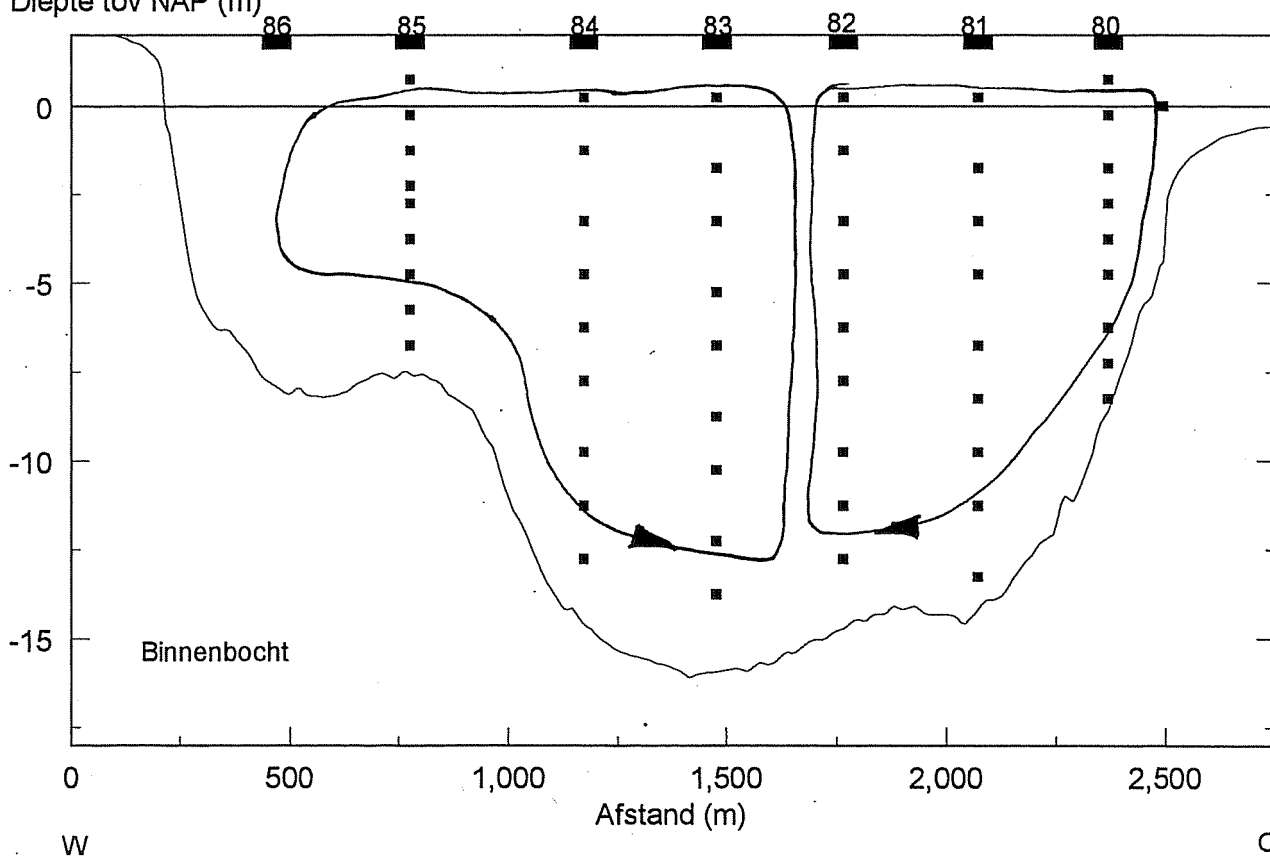
Diepte tov NAP (m)



Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 170496 GC = 1.18 13.23 - 13.38 u 1mm = 2 cm/s

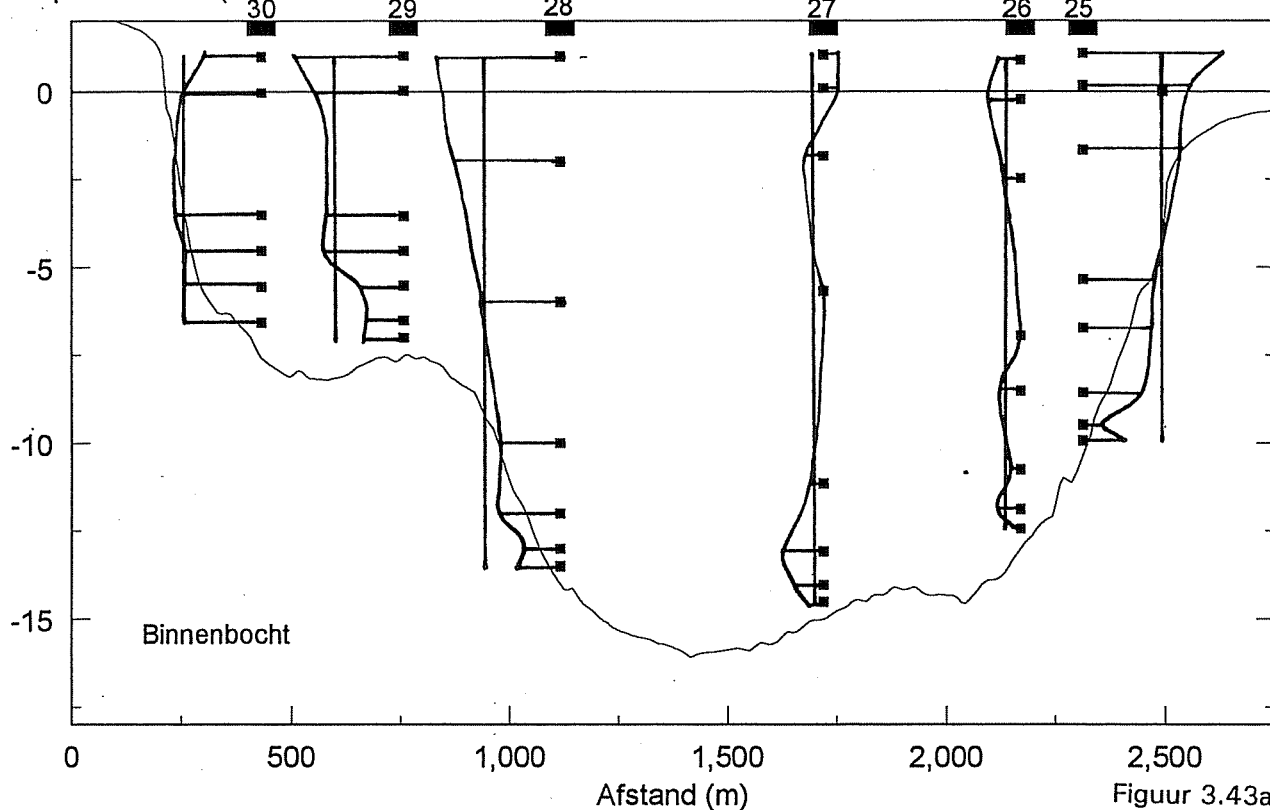
Diepte tov NAP (m)



Raai C Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ELMAR 251095 GC = 1.18 13.58 - 14.51 u 1mm = 2 cm/s

Diepte tov NAP (m)

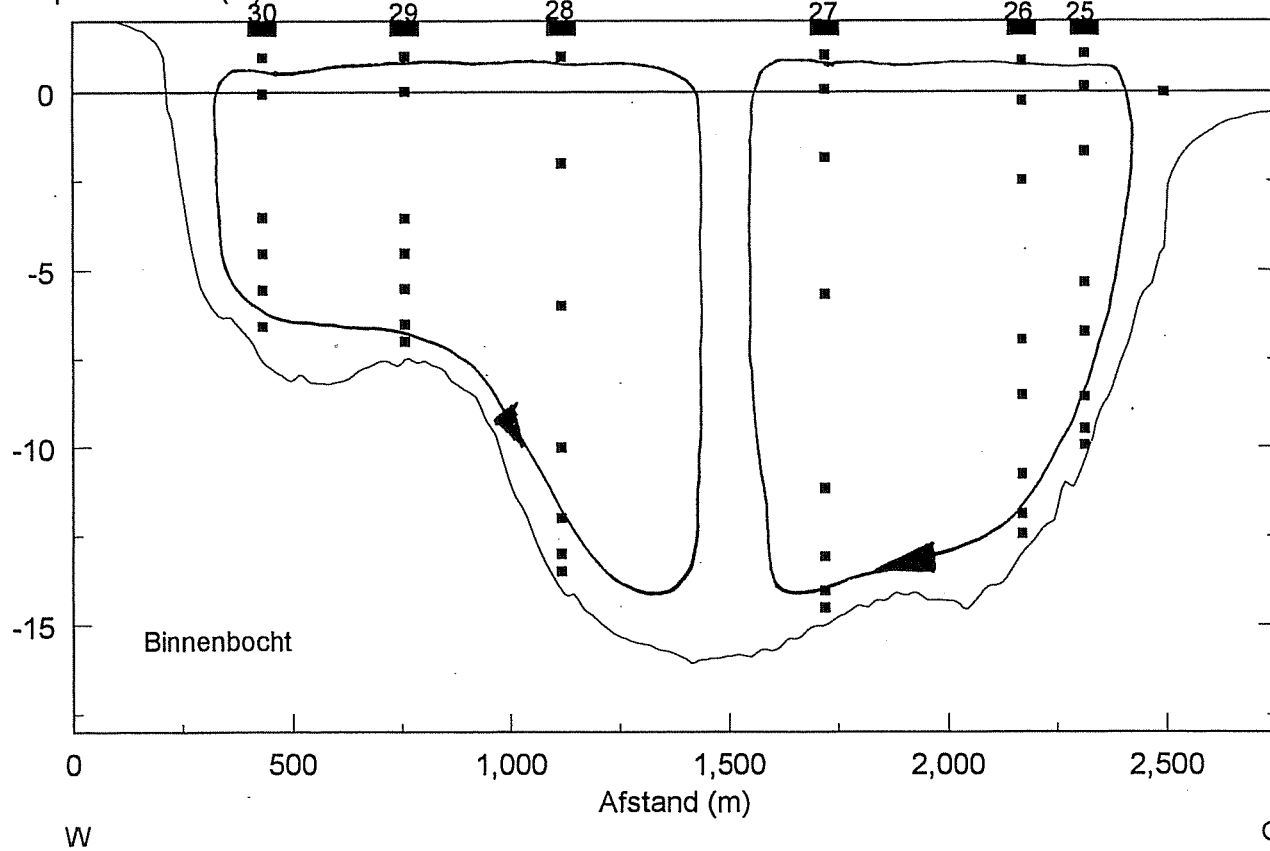


Figuur 3.43a

Raai C Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ELMAR 251095 GC = 1.18 13.58 - 14.51 u 1mm = 2 cm/s

Diepte tov NAP (m)

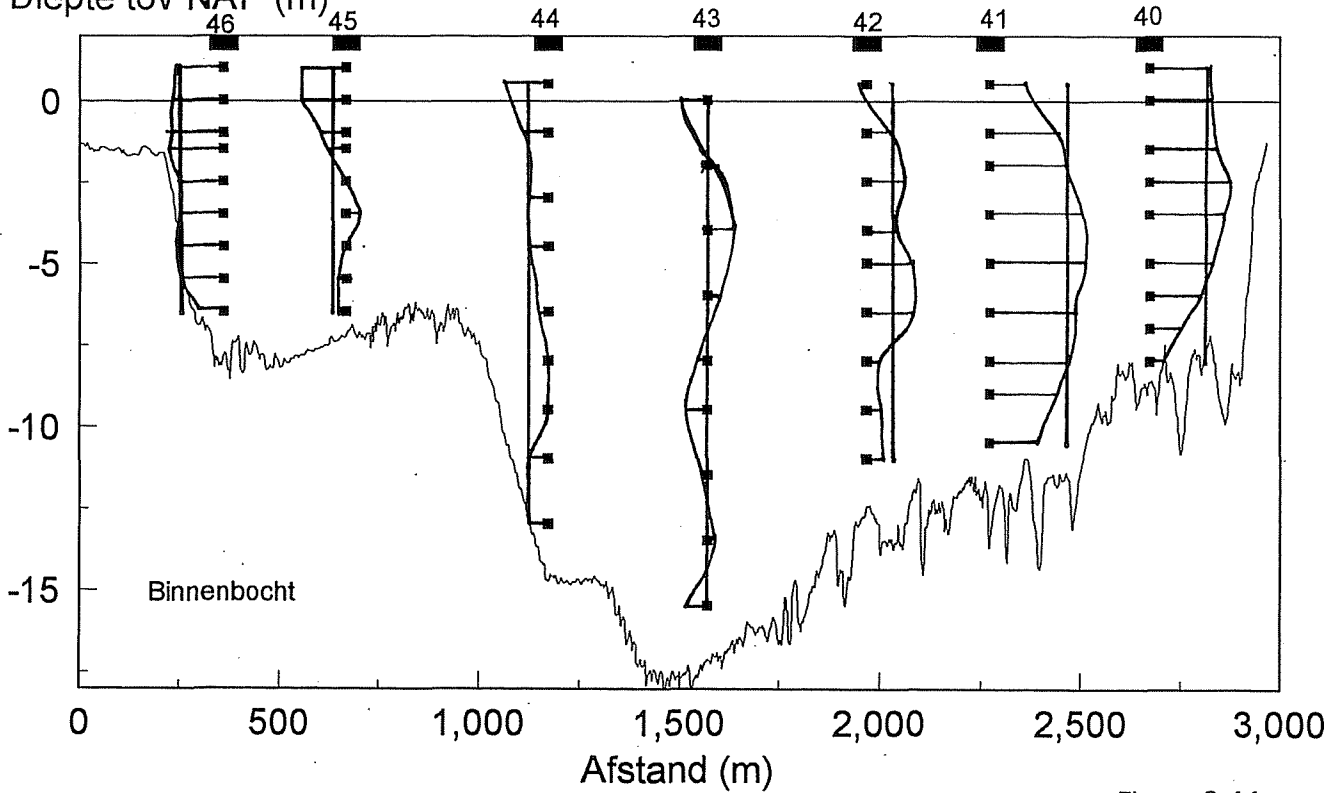


Figuur 3.43b

Raai D Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 111196 13.57 - 14.10 u GC = 1.11

Diepte tov NAP (m)

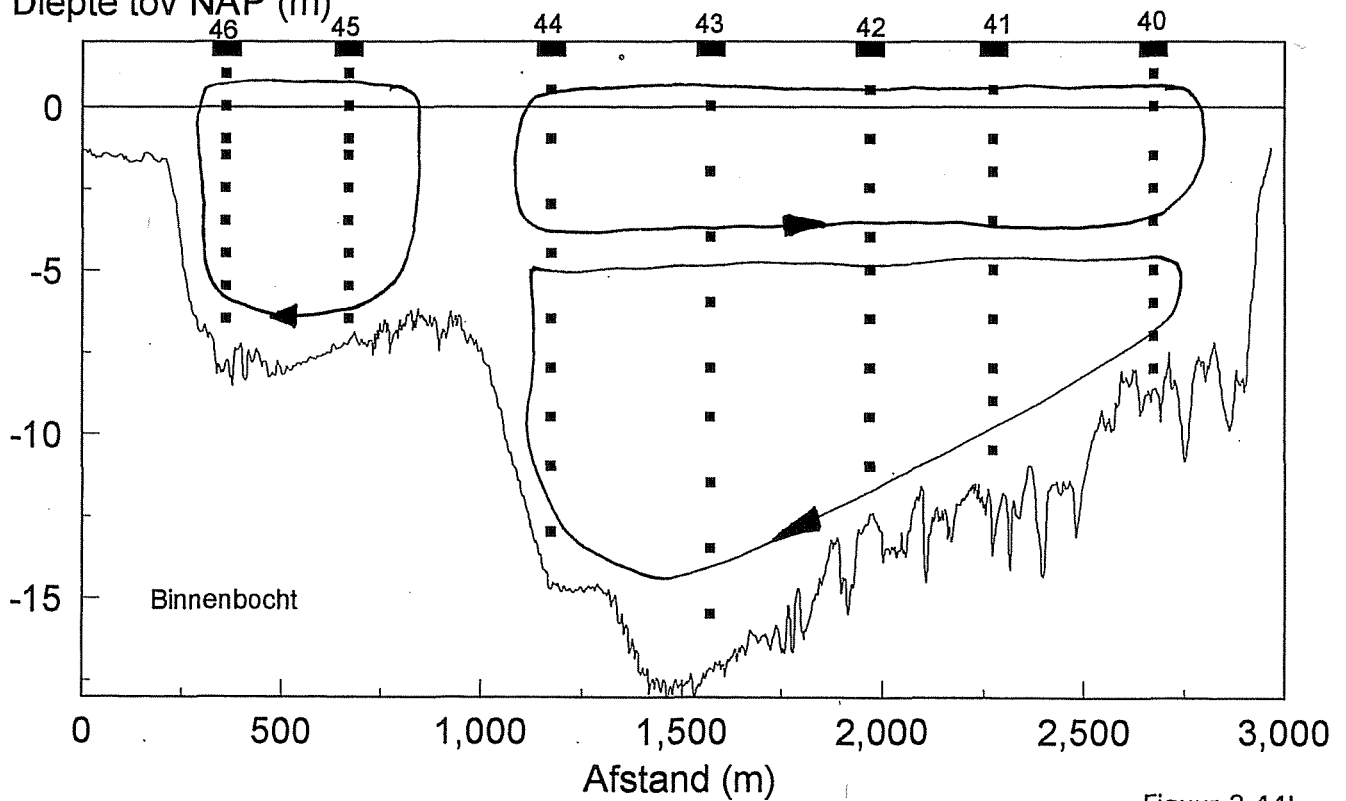


Figuur 3.44a

Raai D Circulatiepatronen met secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ADCP 111196 13.57 - 14.10 u GC = 1.11

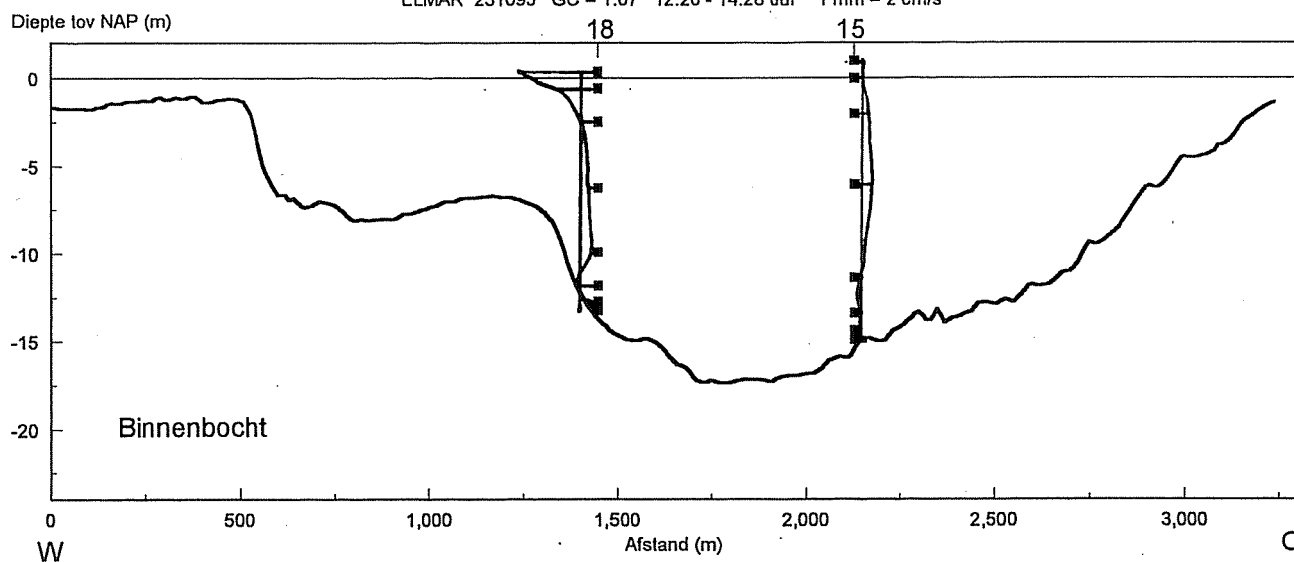
Diepte tov NAP (m)



Figuur 3.44b

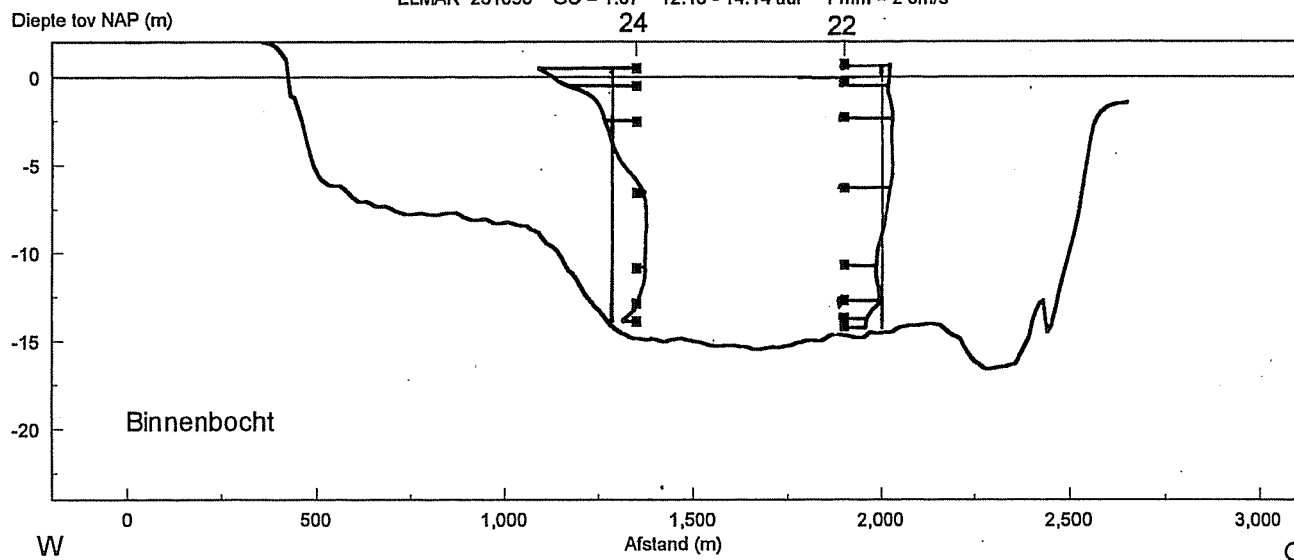
Raai F & G Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 12.20 - 14.28 uur 1 mm = 2 cm/s



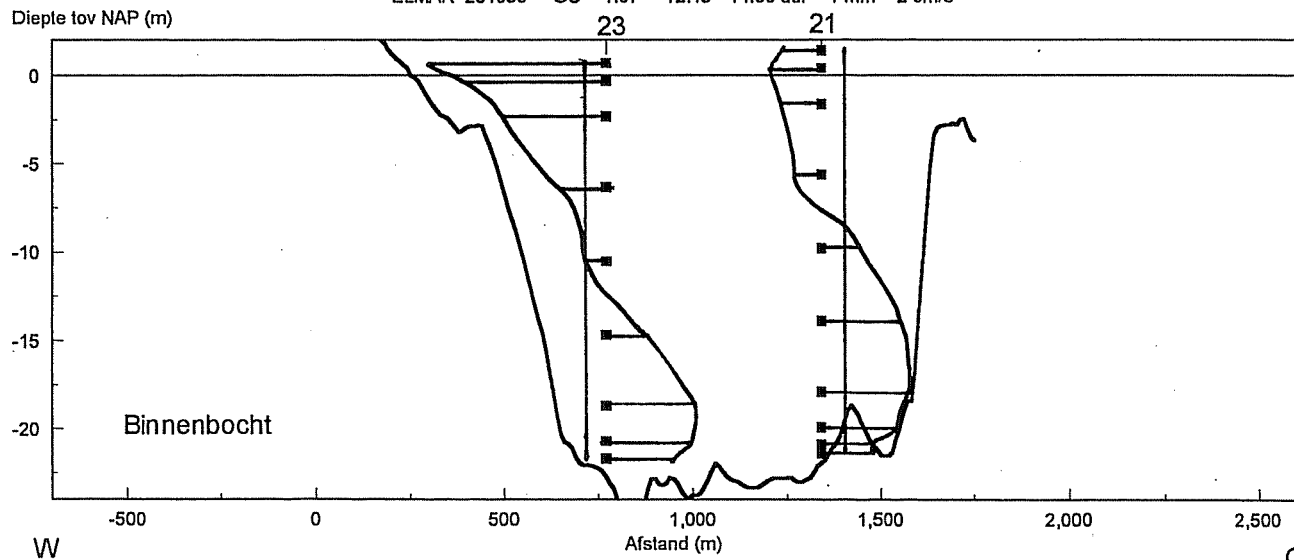
Raai F & G Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 12.13 - 14.14 uur 1 mm = 2 cm/s



Raai F & G Transversale en secundaire stroming tijdens max. vloedstroom

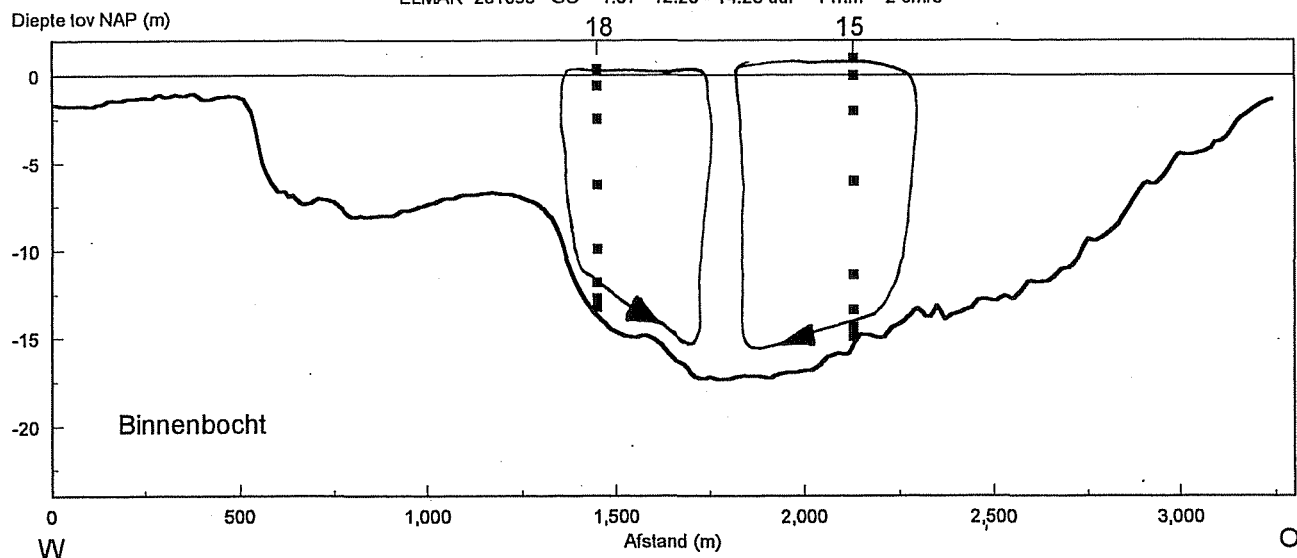
ELMAR 231095 GC = 1.07 12.19 - 14.00 uur 1 mm = 2 cm/s



Figuur 3.45a

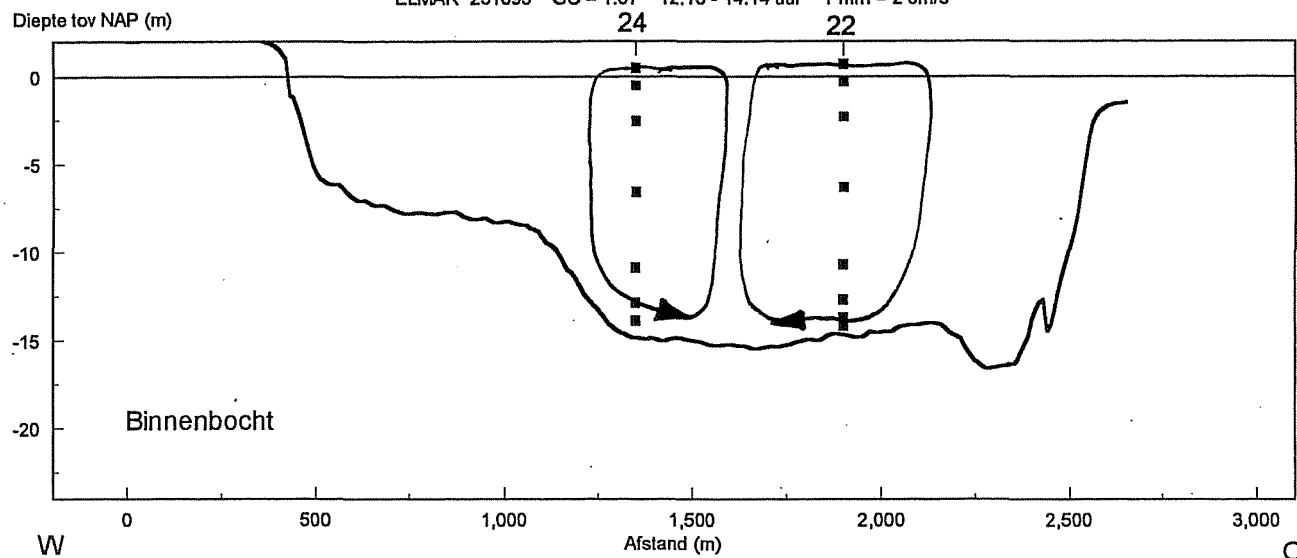
Raai F & G Circulatiepatronen met secundaire stroming max. vloedstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 12.20 - 14.28 uur 1 mm = 2 cm/s



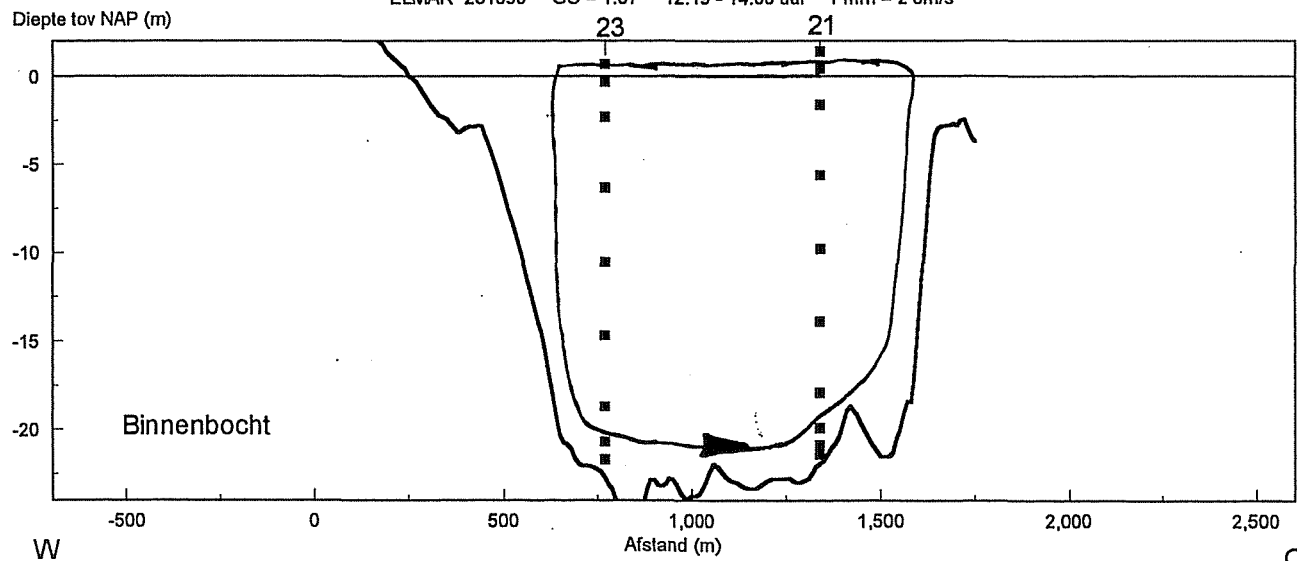
Raai F & G Circulatiepatronen met secundaire stroming max. vloedstroom

ELMAR 231095 GC = 1.07 12.13 - 14.14 uur 1 mm = 2 cm/s

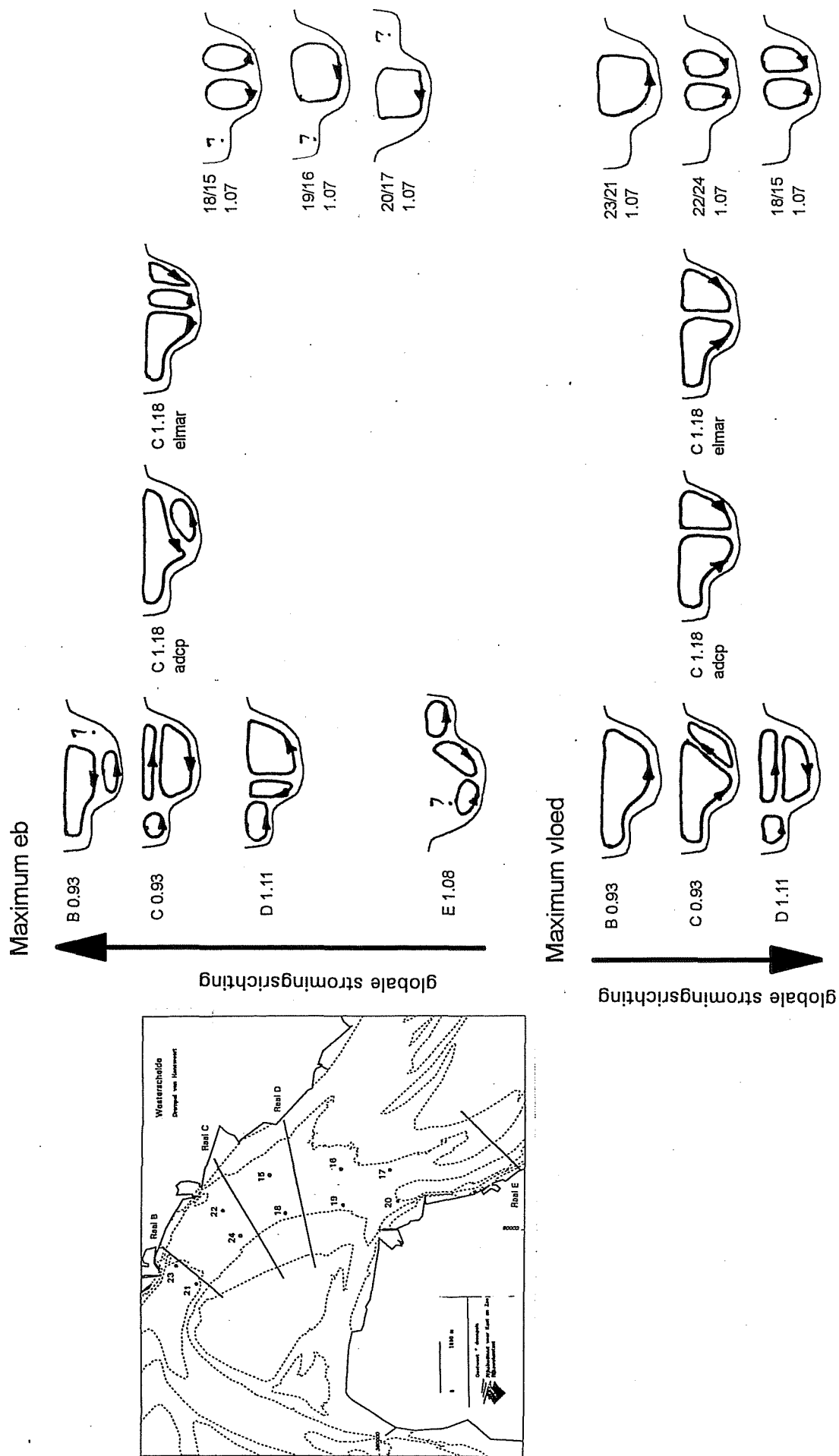


Raai F & G Circulatiepatronen met secundaire stroming max. vloedstroom

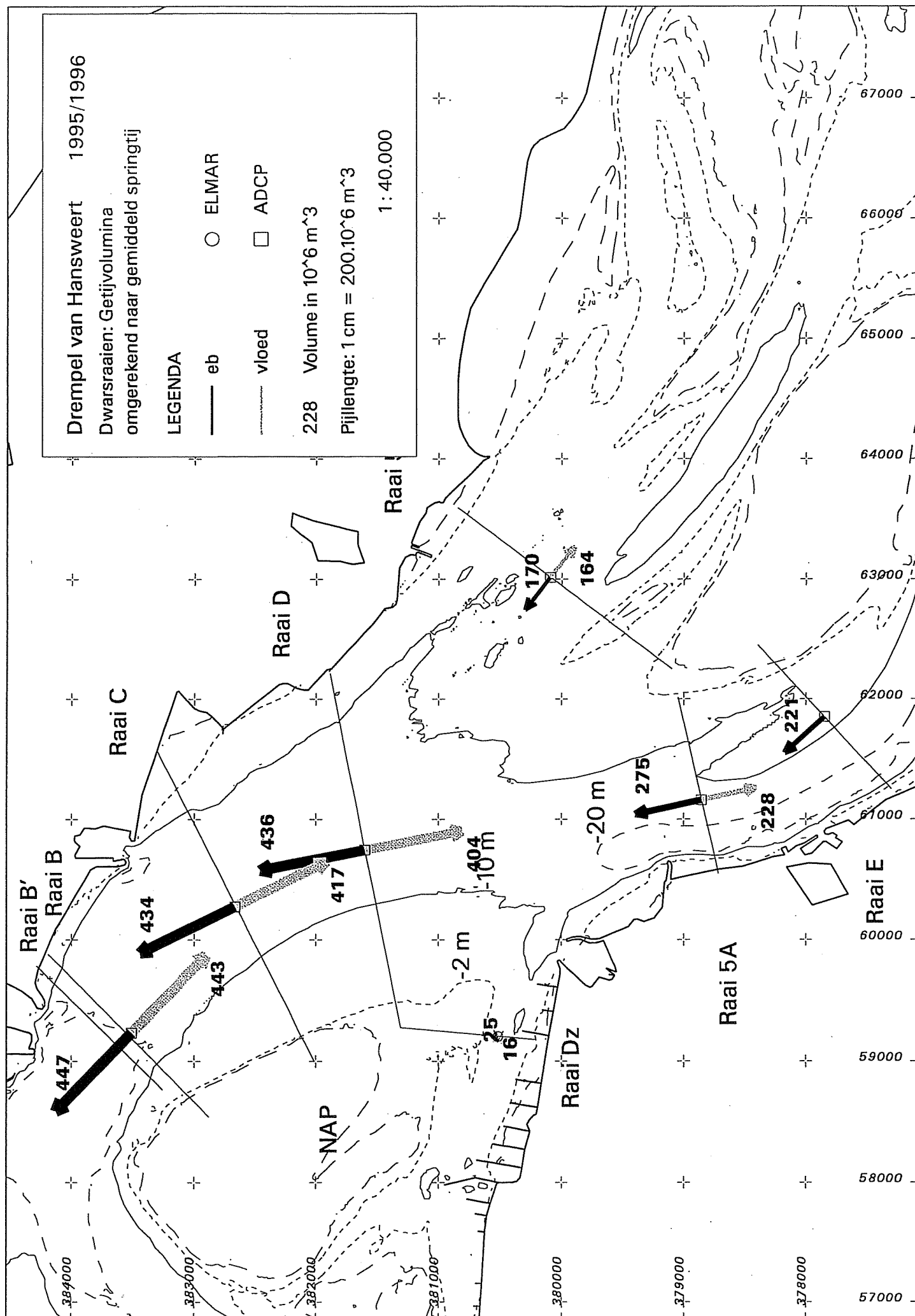
ELMAR 231095 GC = 1.07 12.19 - 14.00 uur 1 mm = 2 cm/s



Figuur 3.45b



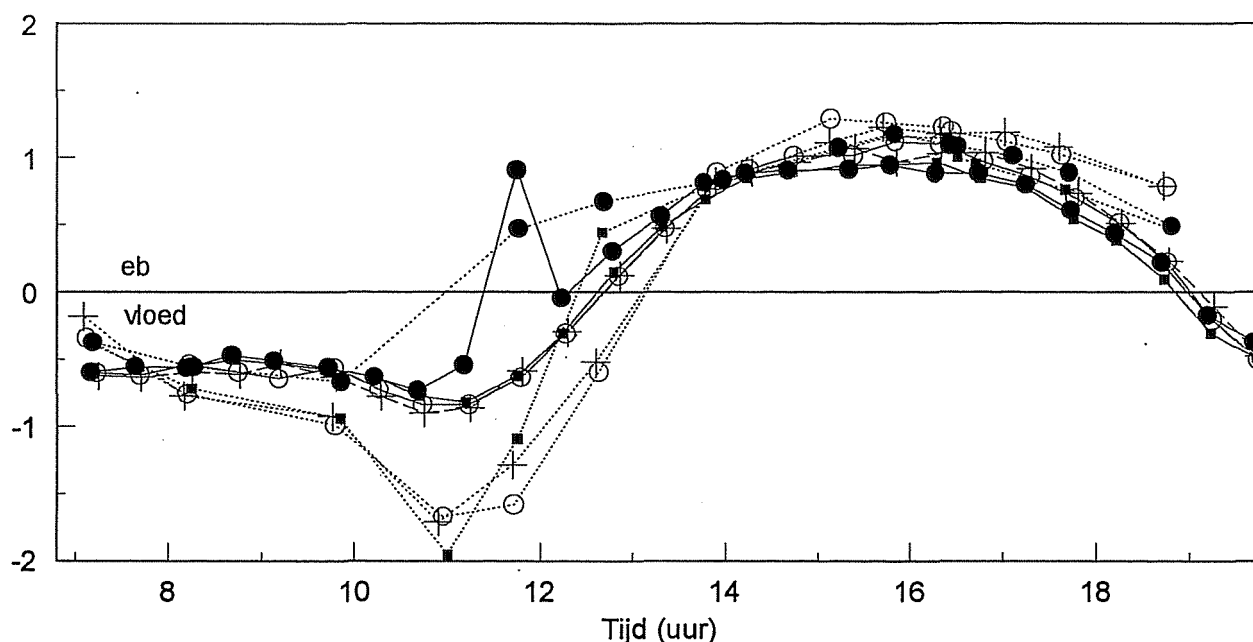
Figuur 3.46 Het verloop van cellen met secundaire stroming op de Drempel van Hansweert tijdens maximum eb en maximum vloed



Figuur 3.47

Raai C Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w) mp 86 t/m 83 Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP

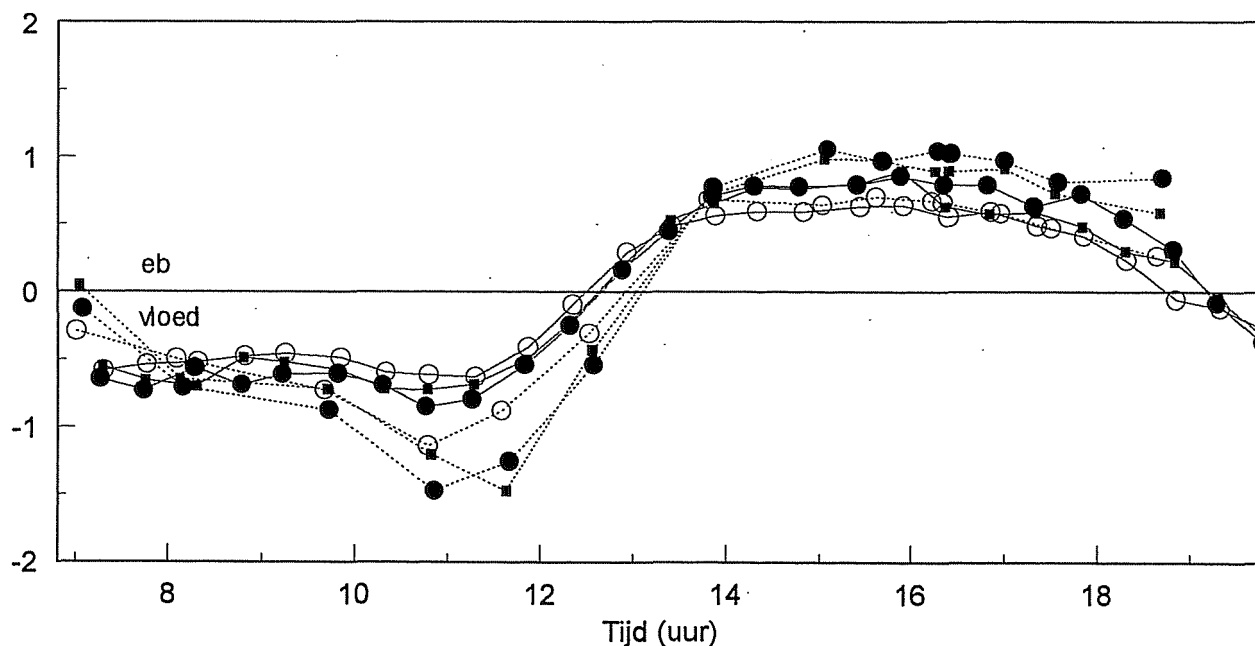
w (m/s)



DT	ST	DT	ST	DT	ST	DT	ST
86	86	85	85	84	84	83	83

Raai C Diepte gemiddelde stroomsnelheid (w) mp 82 t/m 80 Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP

w (m/s)



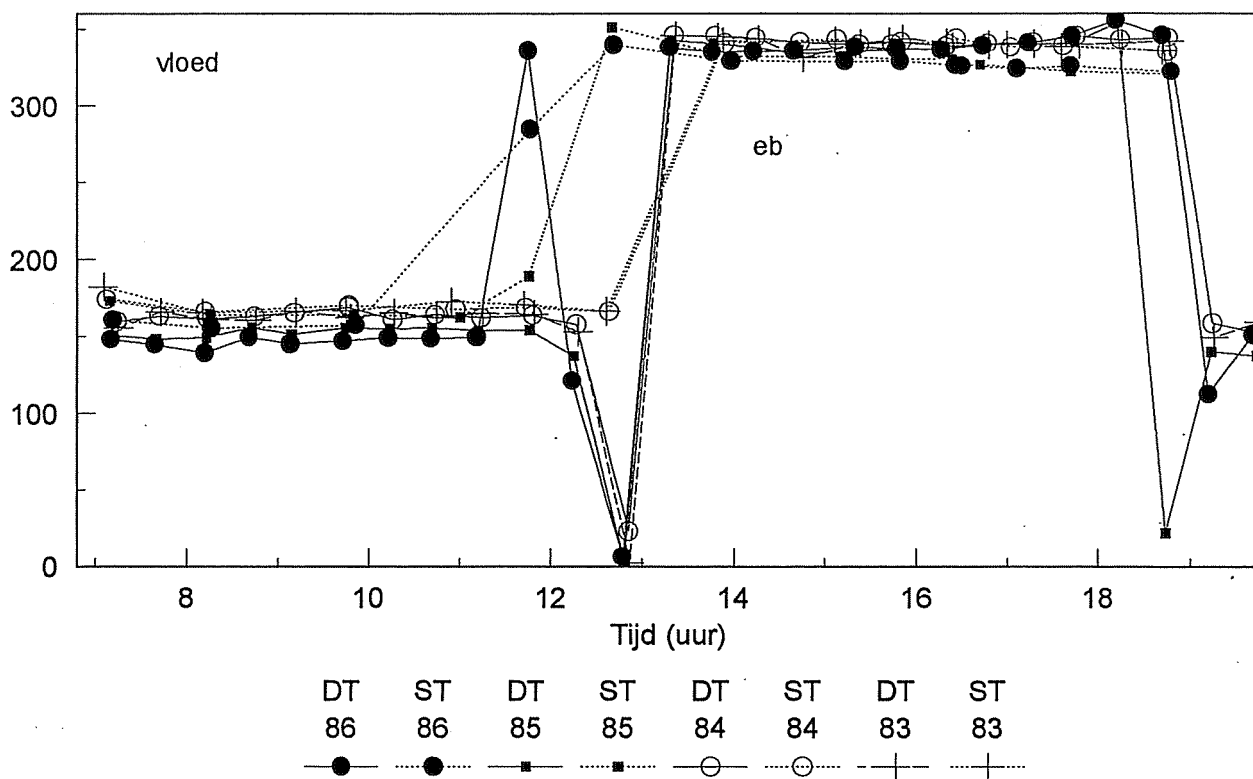
DT	ST	DT	ST	DT	ST
82	82	81	81	80	80

Figuur 3.48

Raai C Richting diepte gemiddelde stroming (r) mp 86 t/m 83

Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP

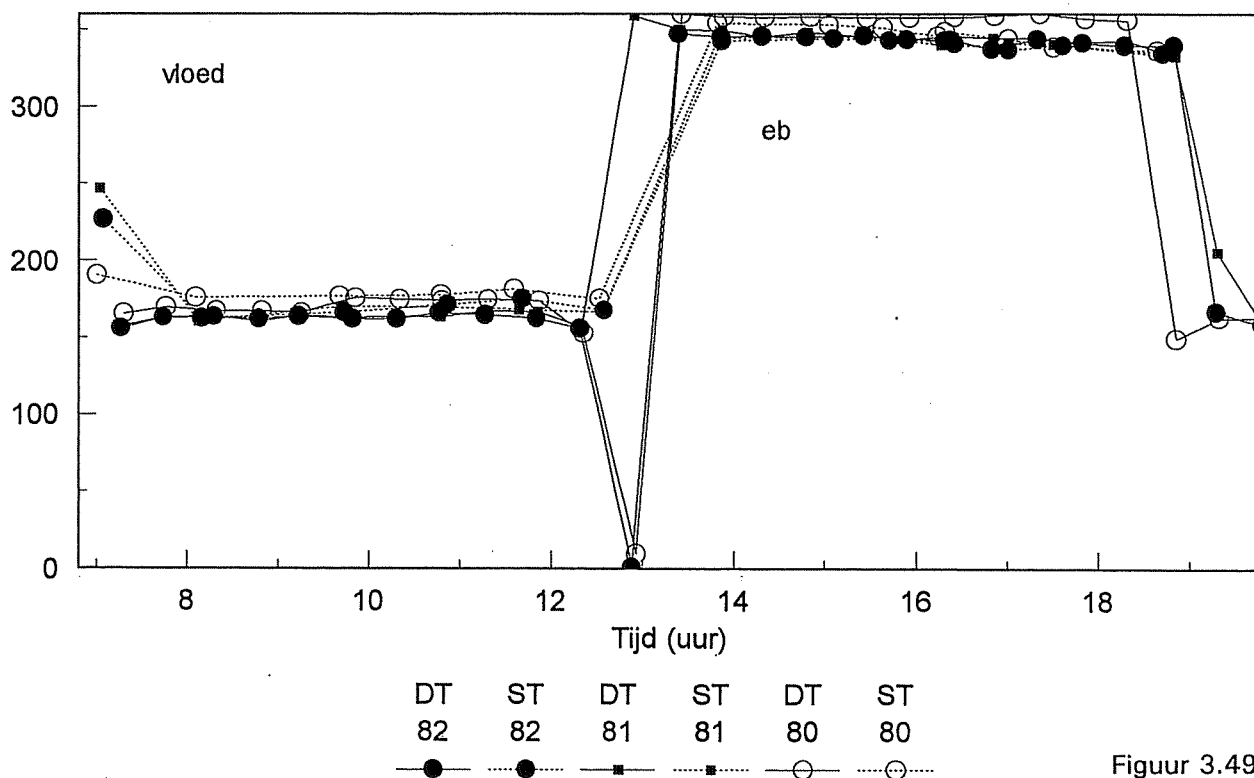
r (grd)



Raai C Richting diepte gemiddelde stroming (r) mp 82 t/m 80

Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP

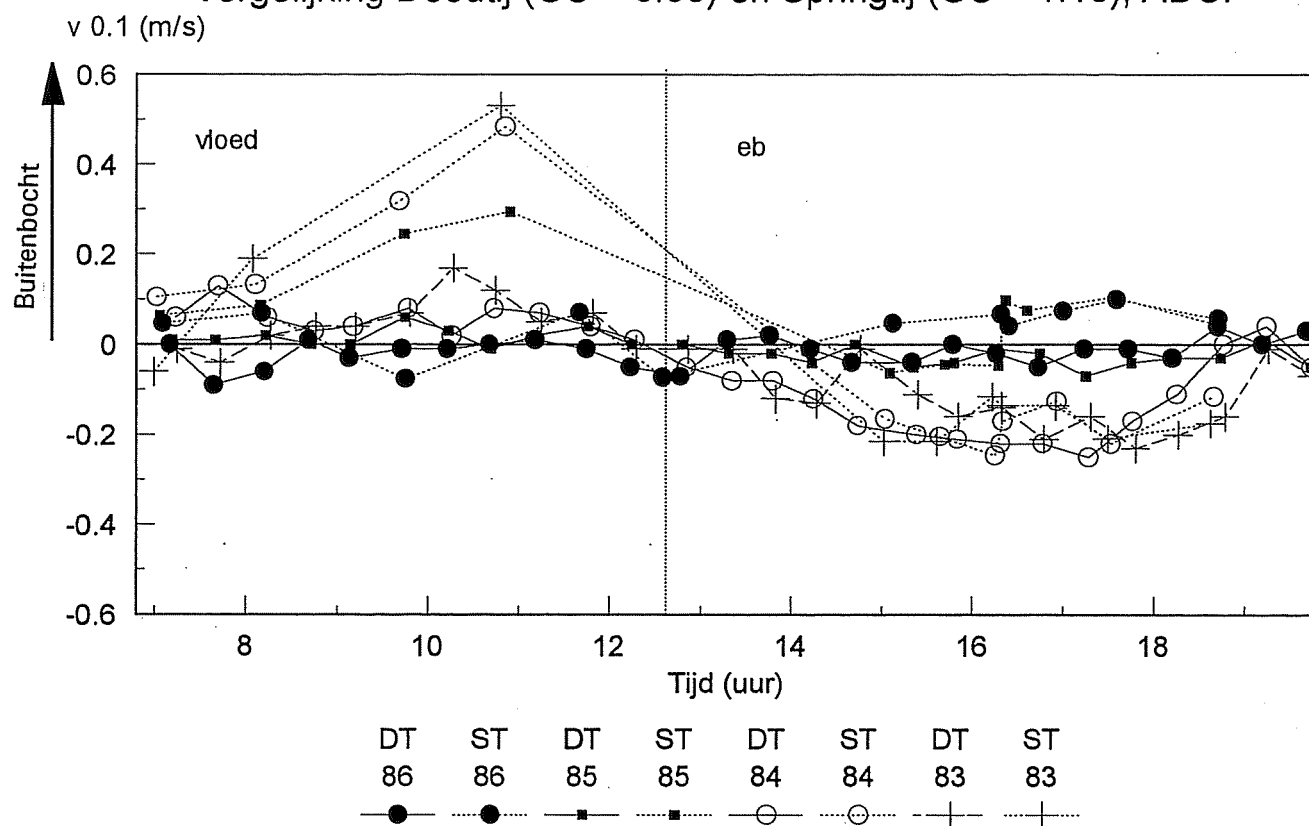
r (grd)



Figuur 3.49

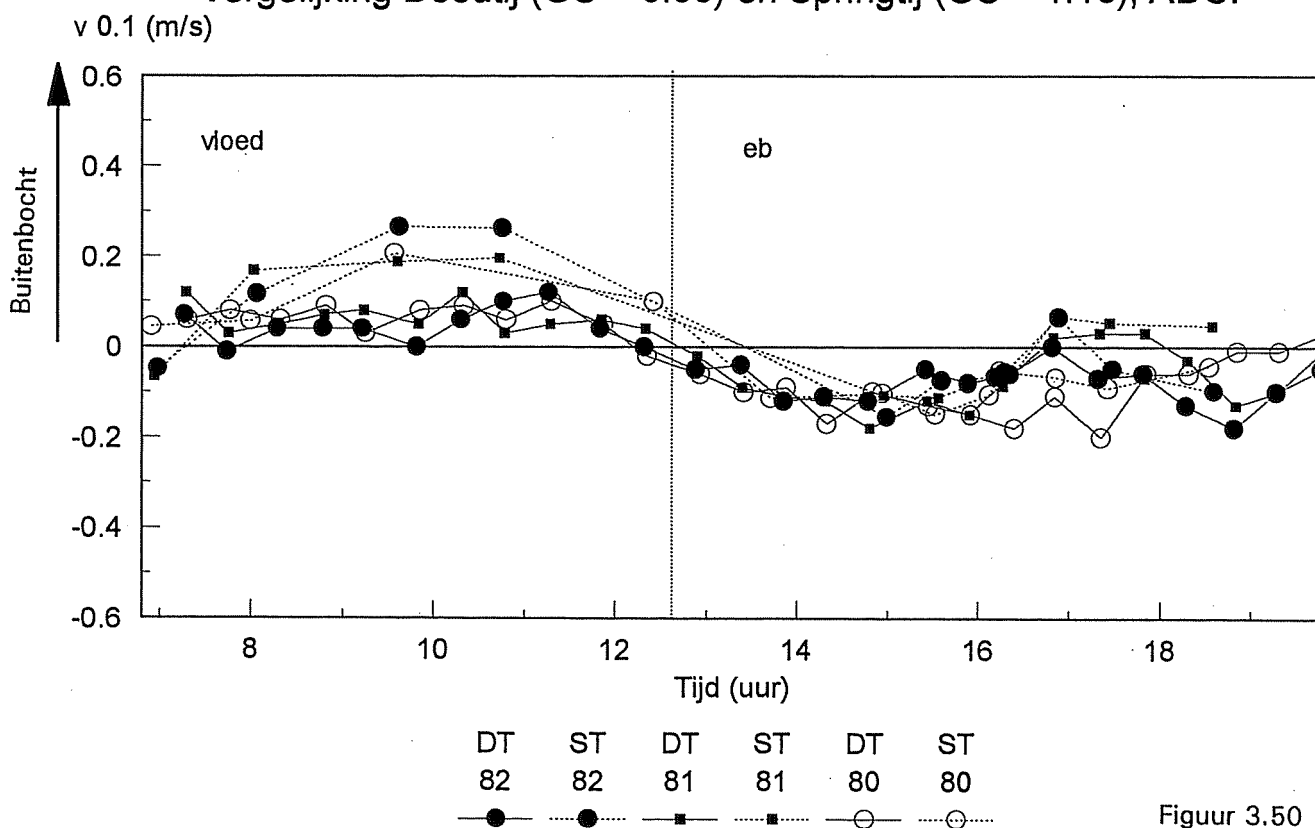
Raai C Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1) mp 86 t/m 83

Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP

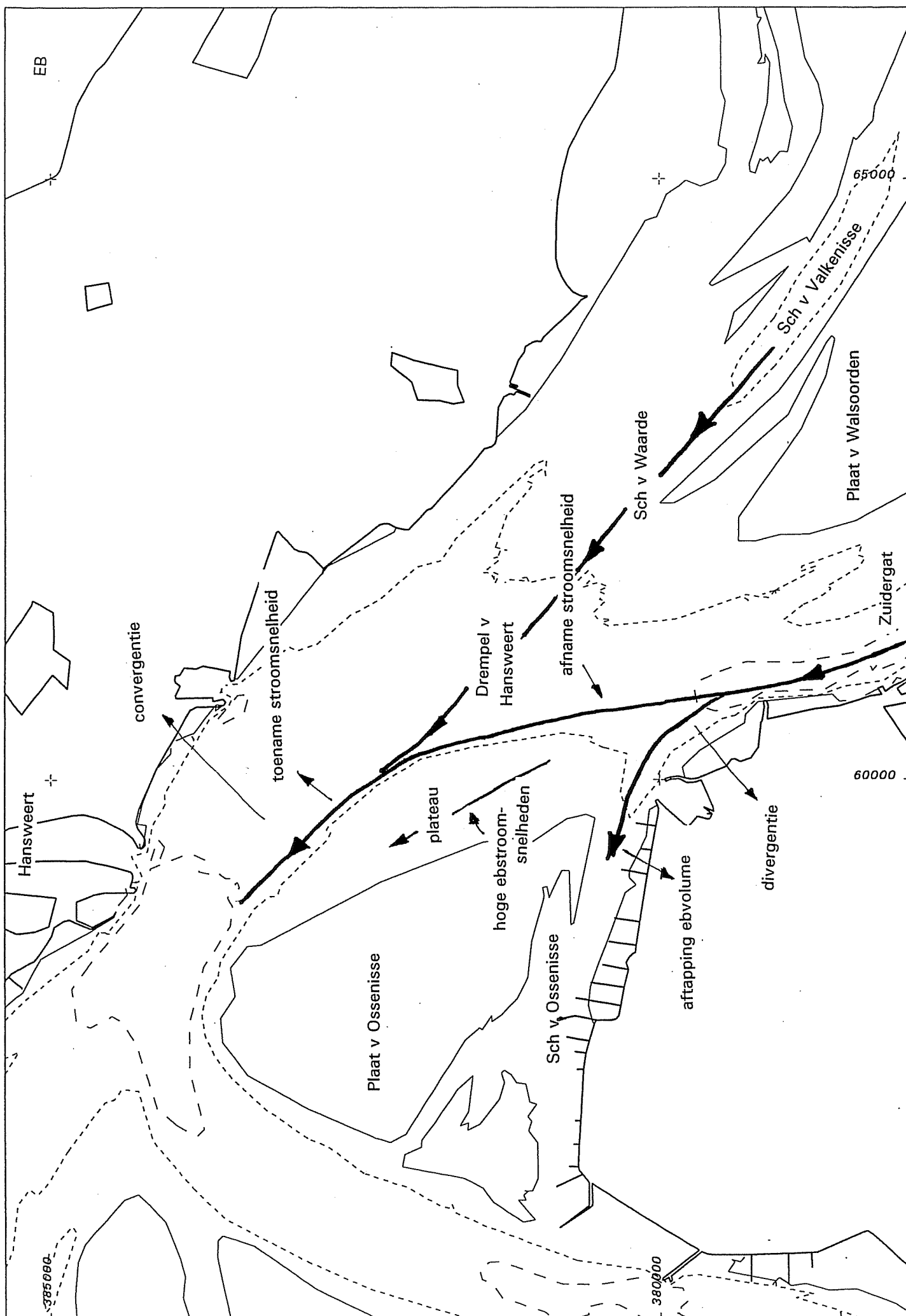


Raai C Dwarsstroming op 0.1 h + bodem (v0.1) mp 82 t/m 80

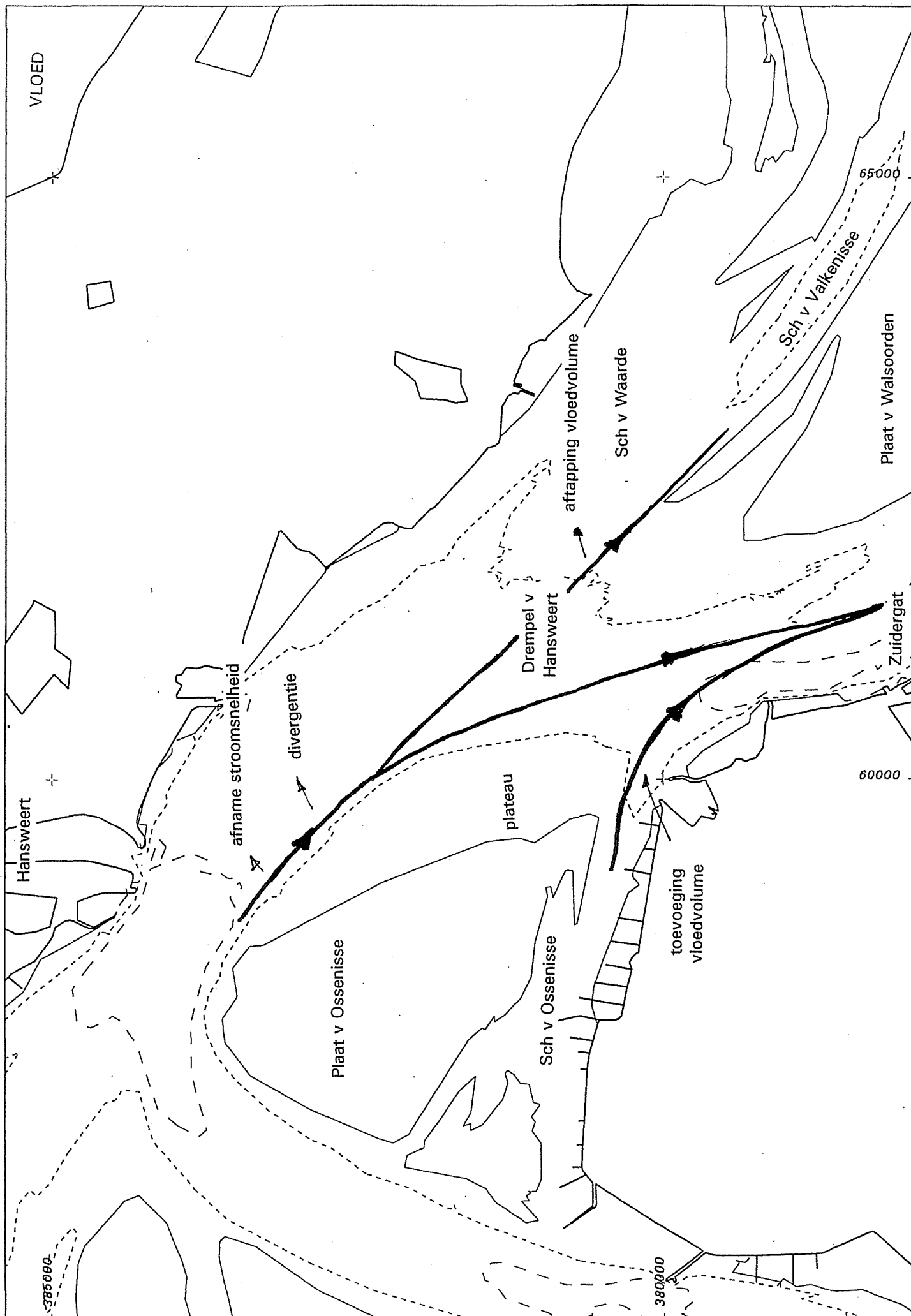
Vergelijking Doodtij (GC = 0.93) en Springtij (GC = 1.18); ADCP



Figuur 3.50



Figuur 4.1 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens eb



Figuur 4.2 Kenmerkende elementen in de stroming op en rondom de Drempel van Hansweert tijdens vloed

Bijlagen

Bijlage A

Uitgebreid overzicht stroommetingen op de Drempel van Hansweert en de bijbehorende getij- en weersomstandigheden

- A.1 Overzicht dwarsmetingen waterbeweging
- A.2 Overzicht langsmetingen waterbeweging
- A.3 Overzicht drijvermetingen

Bijlage A.1.1

Raai	Datum	Instrument	GC (-)	Duur (uur)	Weer	Opmerkingen	Rapport
B	170496	ADCP	eb 1.159 vloed 1.217 eb 1.152	13	aanvankelijk ZO, 4 Bft; later W, 4 Bft	-	Aqua Vision, 1996a
B	031195	ADCP	eb 0.886 vloed 0.982	13	aanvankelijk NW, 6 Bft, later draaiend naar N, NO en afnemend naar 2 Bft	-	Meetdienst Zeeland, 1996c
B/D ₂	170496	ELMAR	eb 1.159 vloed 1.217 eb 1.152	13	aanvankelijk ZO, 4 Bft; later W, 4 Bft	meetpunt 35 storing 9-10 u; meetpunt 21 storingen van 6-9, 11-12, 1230-14.30, 17-19 u	Meetdienst Zeeland, 1996e
C	170496	ADCP	eb 1.159 vloed 1.217 eb 1.152	13	aanvankelijk ZO, 4 Bft; later W, 4 Bft		Aqua Vision, 1996a
C	031195	ADCP	vloed 0.886 eb 0.982	13	aanv. NW, 6 Bft, later draai- end naar N, NO en afne- mend naar 2 Bft	-	Meetdienst Zeeland, 1996c
C	251095	ELMAR	eb 1.110 vloed 1.135 eb 1.175	13	overdag ZW, 6 Bft; s'avonds Z, 3 Bft	geen storingen	Meetdienst Zeeland, 1996b

Tabel 1 (deel 1) Overzicht dwarsmetingen waterbeweging

GC = getijcoëfficiënt afgeleid uit waterstanden van het waterstandsstation Hansweert

Bijlage A.1.2

Raai	Datum	Instrument	GC (-)	Duur (uur)	Weer	Opmerkingen	Rapport
D	111196	ADCP	eb 1.103 vloed 1.096 eb 1.110	13	draait van Z, 0 Bft naar NO, 1 Bft	-	Aqua Vision, 1996b
E	061195	ADCP	eb 1.083	7	ZW, 4 Bft	-	Meetdienst Zeeland, 1996d
5A	130695	ADCP	eb 1.191 vloed 1.179 eb 1.182	13	13 juni: aanvankelijk N, 2 Bft; draaiend NNW, 4 Bft	-	Meetdienst Zeeland, 1996h
	140696		vloed 1.20 eb 1.186 vloed 1.186 eb 1.195		14 juni: NNW, draaiend naar W, 4 Bft		
5A	140695	ELMAR	eb 1.186 vloed 1.186 eb 1.195	13	14 juni: aanvankelijk NNW, 4 Bft; geleidelijk W, 4 Bft	geen storingen	Meetdienst Zeeland, 1995b
	150695		eb 1.182 vloed 1.146 eb 1.204		15 juni: W, 4 Bft		

Tabel 1 (deel 2) Overzicht dwarsmetingen waterbeweging

GC = getijcoëfficiënt afgeleid uit waterstanden van het waterstandsstation Hansweert

Bijlage A.2

Raai	Datum	Instrument	GC (-)	Duur (uur)	Weer	Opmerkingen	Rapport
F	231095	ELMAR	vloed 1.022 eb 1.110	7	aanvankelijk Z, later ZZO, 4 Bft	mp 15 9-12 u af en toe storingen	Meetdienst Zee- land, 1995c
G	231095	ELMAR	vloed 1.022 eb 1.110	7	idem	mp 23 gemeten op 1010- 95; GC = 1.094 mp 24 storingen 13-14 u	idem
H	231095	ELMAR	vloed 1.022 eb 1.110	7	idem	mp 17 gemeten op 0910- 95; GC = 1.209	idem
J	231095	ELMAR	vloed 1.022 eb 1.110	7	idem	geen storingen	idem
M	160996	ELMAR	eb 1.101 vloed 1.087 eb 1.144	13	aanvankelijk O, 2 Bft; later ONO, 3 Bft	geen storingen	Meetdienst Zee- land, 1996i

Tabel 2 Overzicht langsmetingen waterbeweging

Bijlage A.3

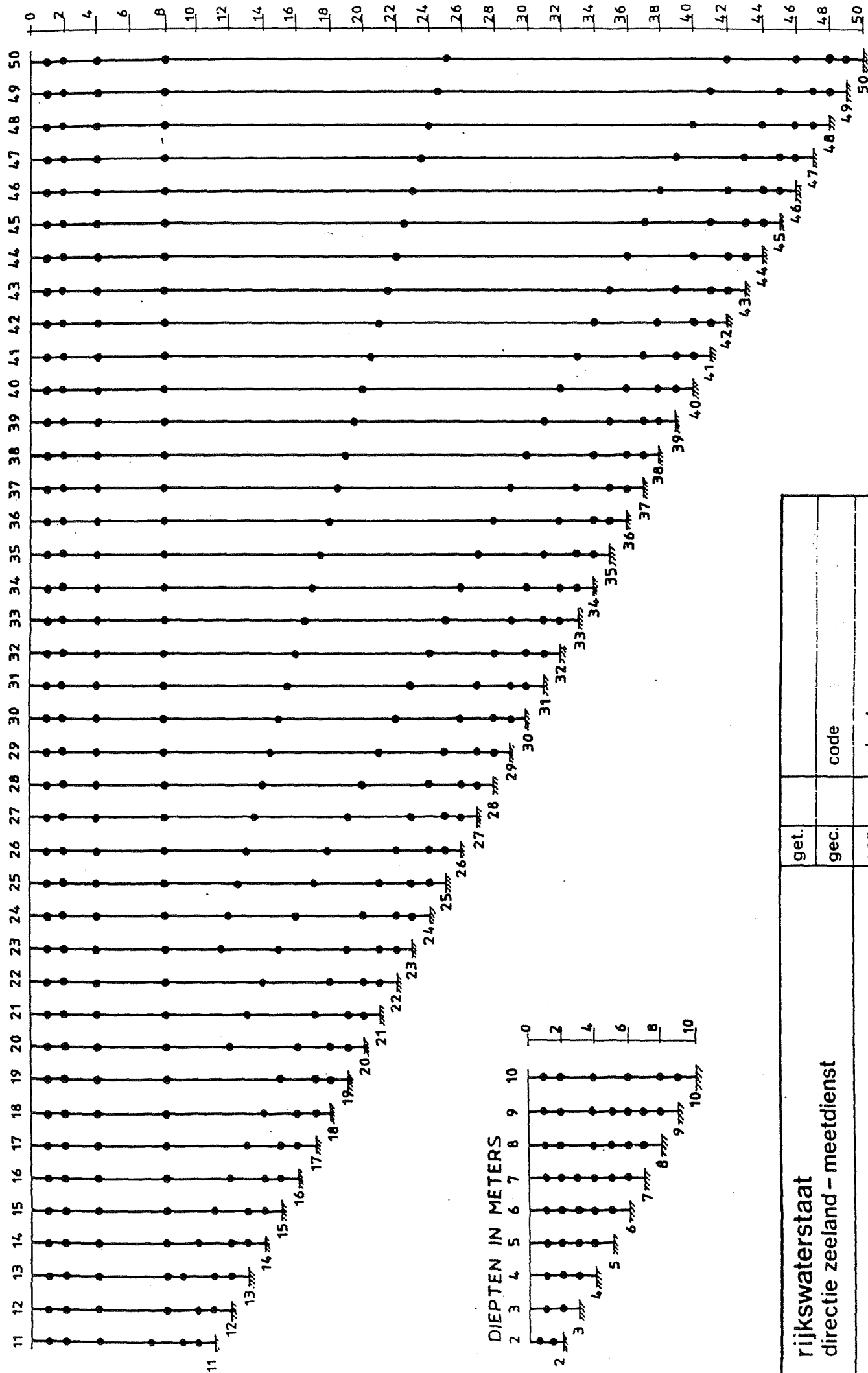
Getijfase	Datum	GC (-)	Weer	Opmerkingen	Rapport
Eb	240496	0.951	aanvankelijk ZW, 3 Bft; aan het eind: W, 5 Bft	vanaf serie 3, vlak voor max. st- room zijn de westelijke drijvers van 7 en 10 m ingekort tot 4.25 m	Meetdienst Zee- land, 1996f
Vloed	210596	1.029	aanvankelijk WZW, 4 Bft; later NNW, 1 Bft; eind WZW, 3 Bft		Meetdienst Zee- land, 1996g

Tabel 3 Overzicht drijvermetingen

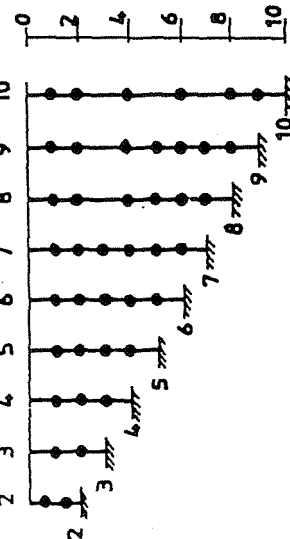
Bijlage B

Diepte schema ELMAR stroommetingen

DIEPTEN IN METERS



DIEPTEN IN METERS



rijkswaterstaat directie zeeland – meetdienst	get.	
	gec.	code
	gez.	schaal
ELMAR DIEPTESCHEMA • MEETNIVEAU	akk.	nr.
		Bijlage B

Bijlage C

Drijvers gebruikt bij de stroombaanmetingen

e

Drijver 1 m lengte

Drijver 7 m lengte

Drijver 10 m lengte

DRIVERS

$\phi 250 \text{ mm}$

CILINDER $\phi 250 \text{ mm}$

LUSSEN F.V. INKORTEN
MEET DIEPTE

P.V.C. PIP $\pm 80\% \phi$

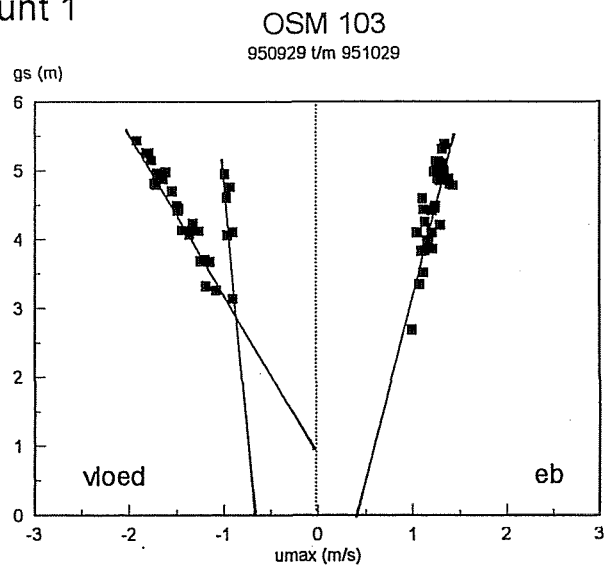
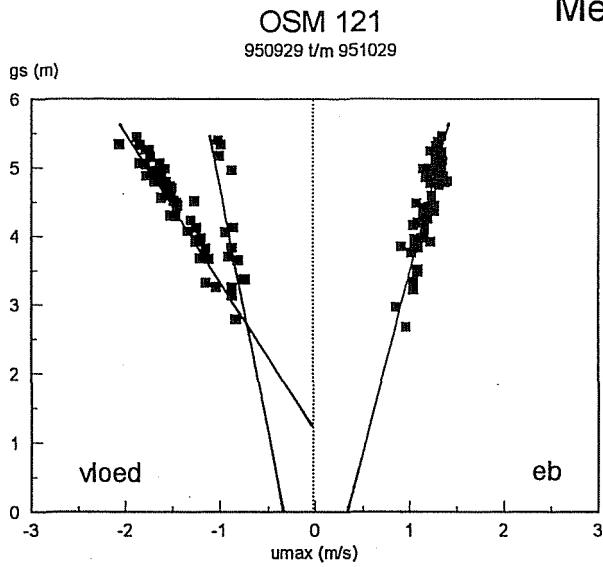
NYLON ROORD

Bijlage D

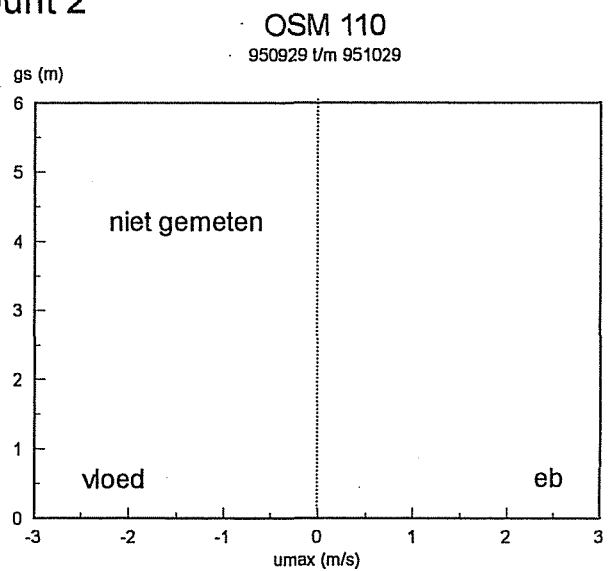
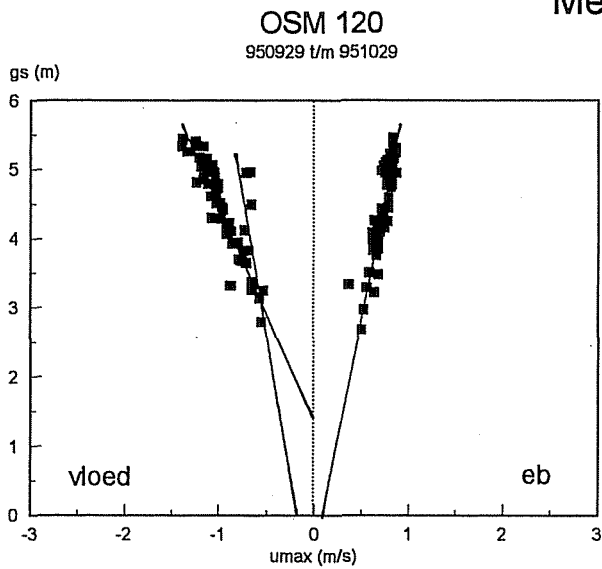
OSM's: getijslag (gs) versus maximum stroomsnelheid (u_{max}) per getijfase

Bijlage D.1	OSM's meetpunt 1 t/m 4
Bijlage D.2	OSM's meetpunt 5 t/m 7
Bijlage D.3	OSM's meetpunt 8 t/m 10
Bijlage D.4	OSM's meetpunt 1 t/m 10: getijslag vs. maximum stroomsnelheid
	OSM's meetpunt 1 t/m 10: getijcoëfficiënt vs. maximum stroomsnelheid

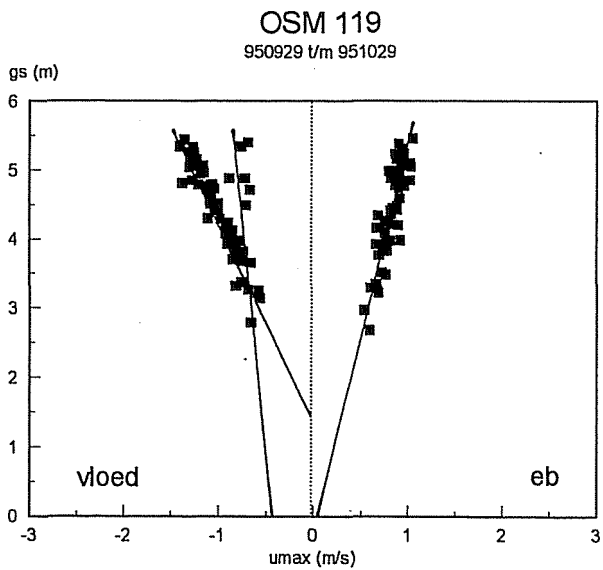
Meetpunt 1



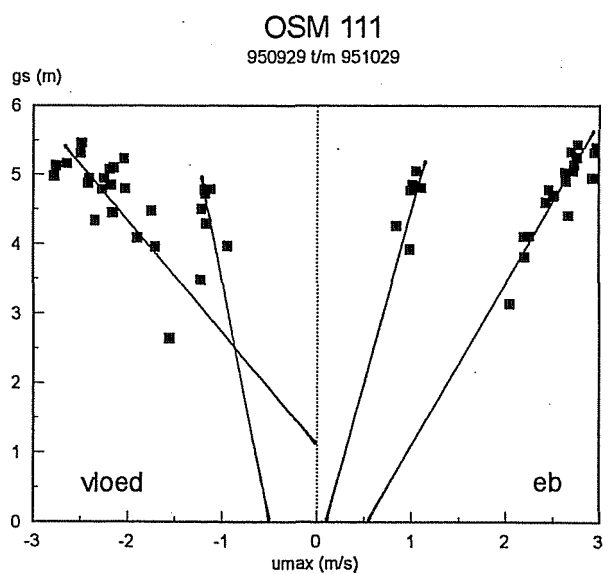
Meetpunt 2



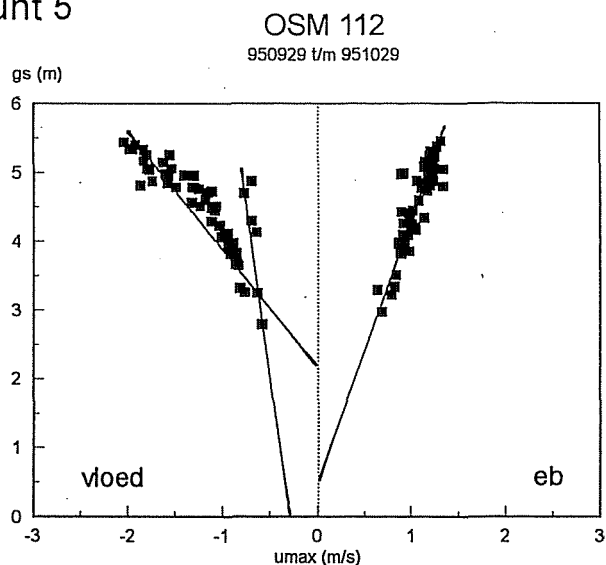
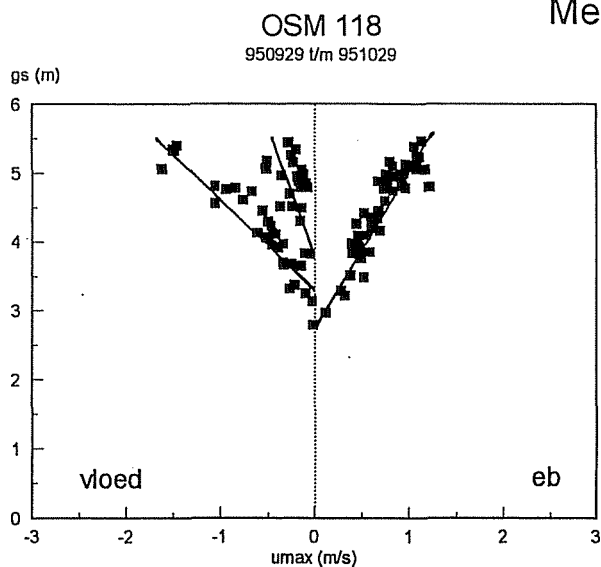
Meetpunt 3



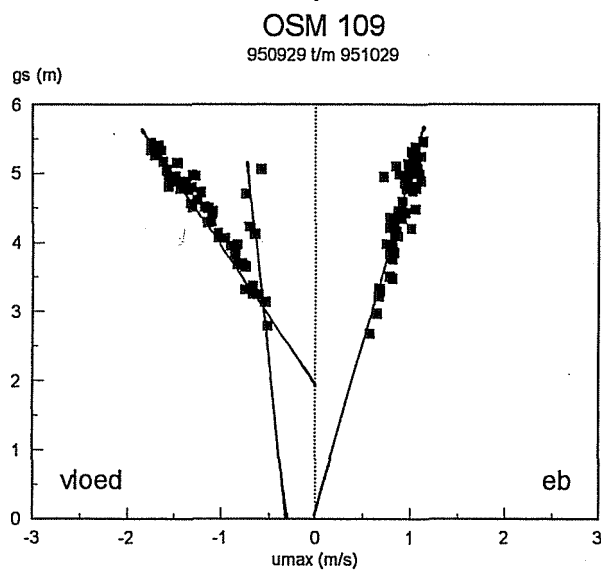
Meetpunt 4



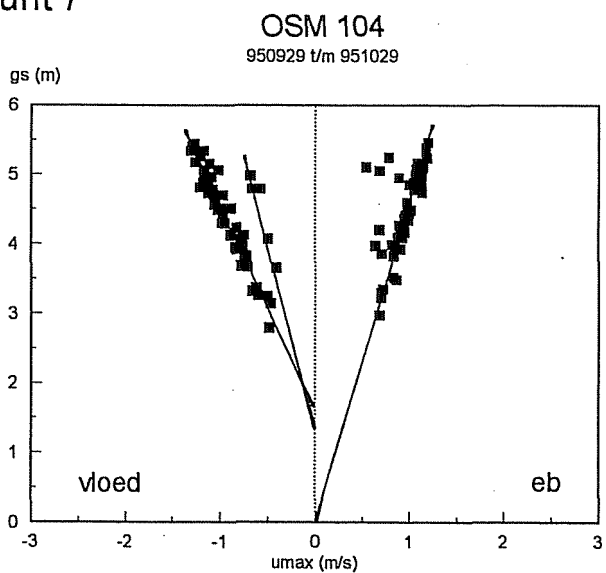
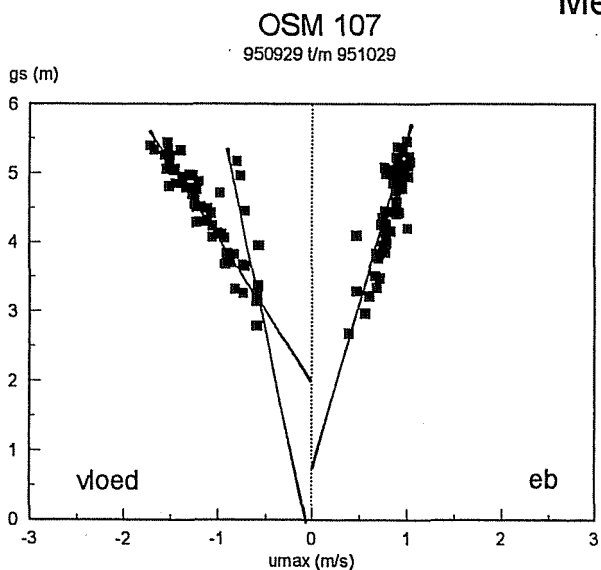
Meetpunt 5



Meetpunt 6

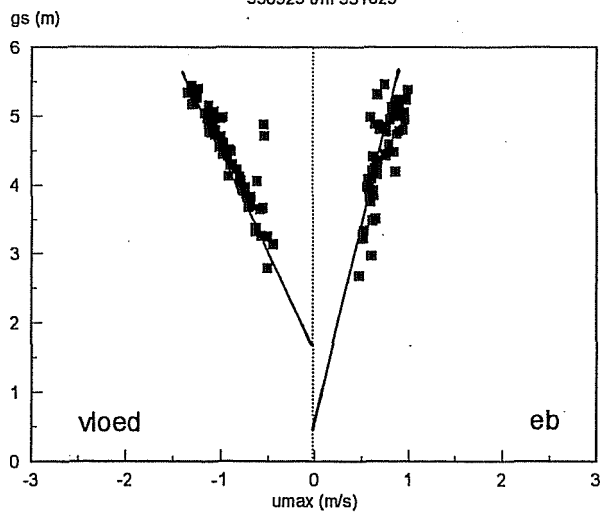


Meetpunt 7

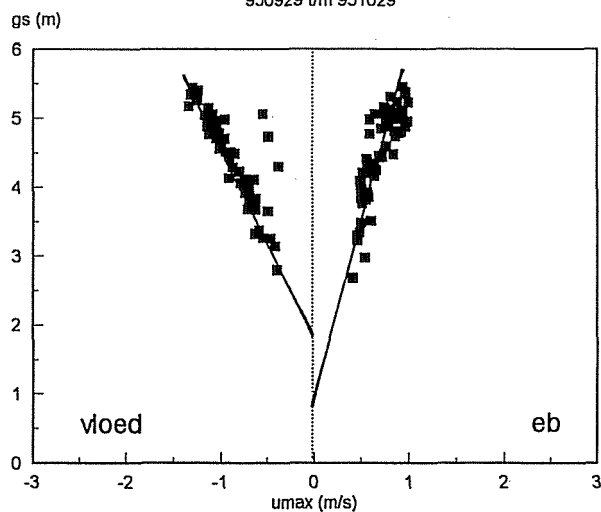


Meetpunt 8

OSM 106
950929 t/m 951029

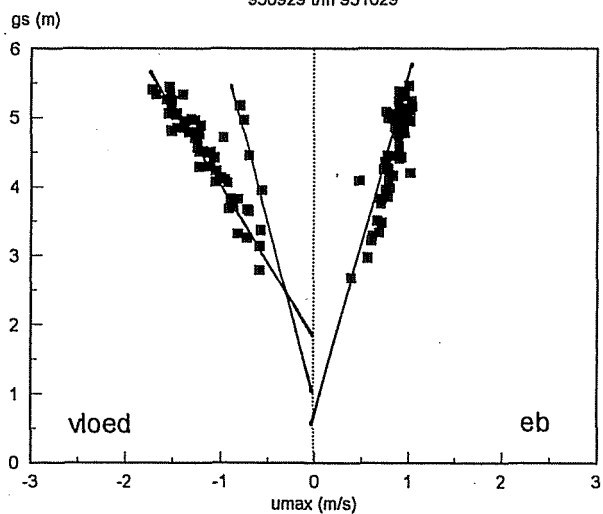


OSM 102
950929 t/m 951029

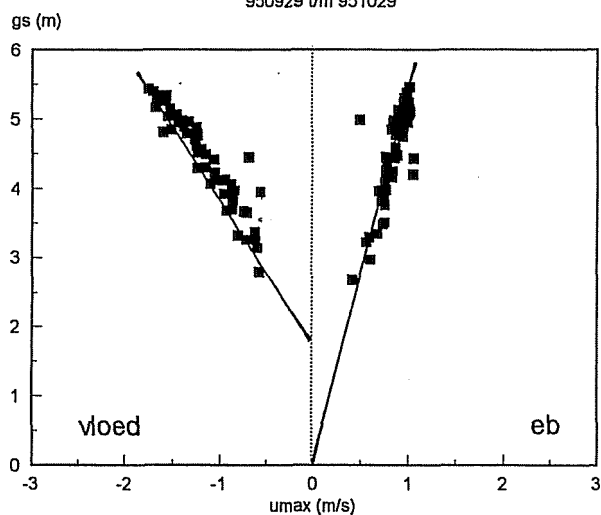


Meetpunt 9

OSM 108
950929 t/m 951029

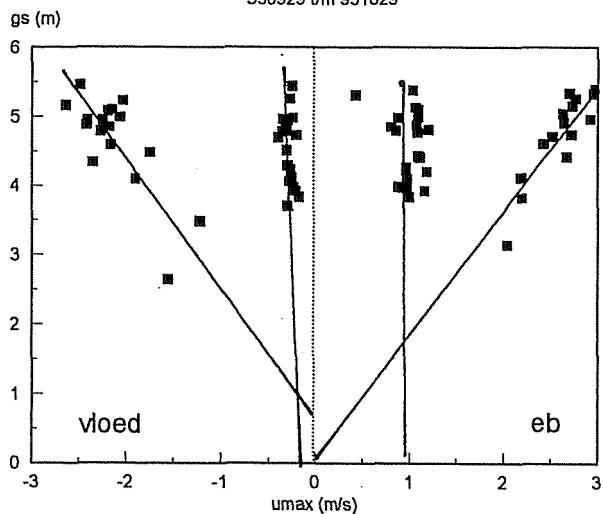


OSM 117
950929 t/m 951029

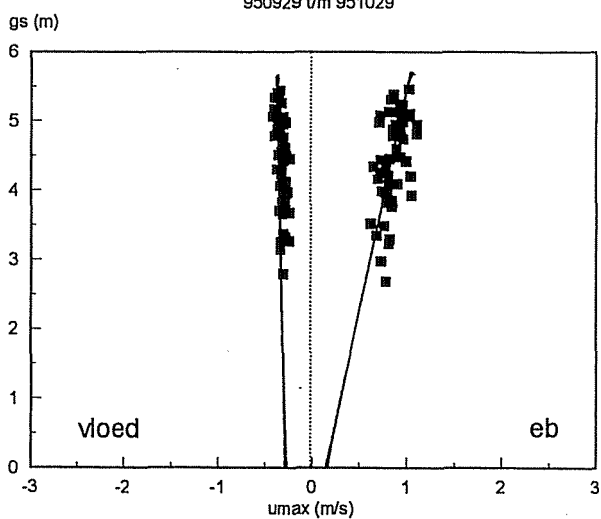


Meetpunt 10

OSM 123
950929 t/m 951029

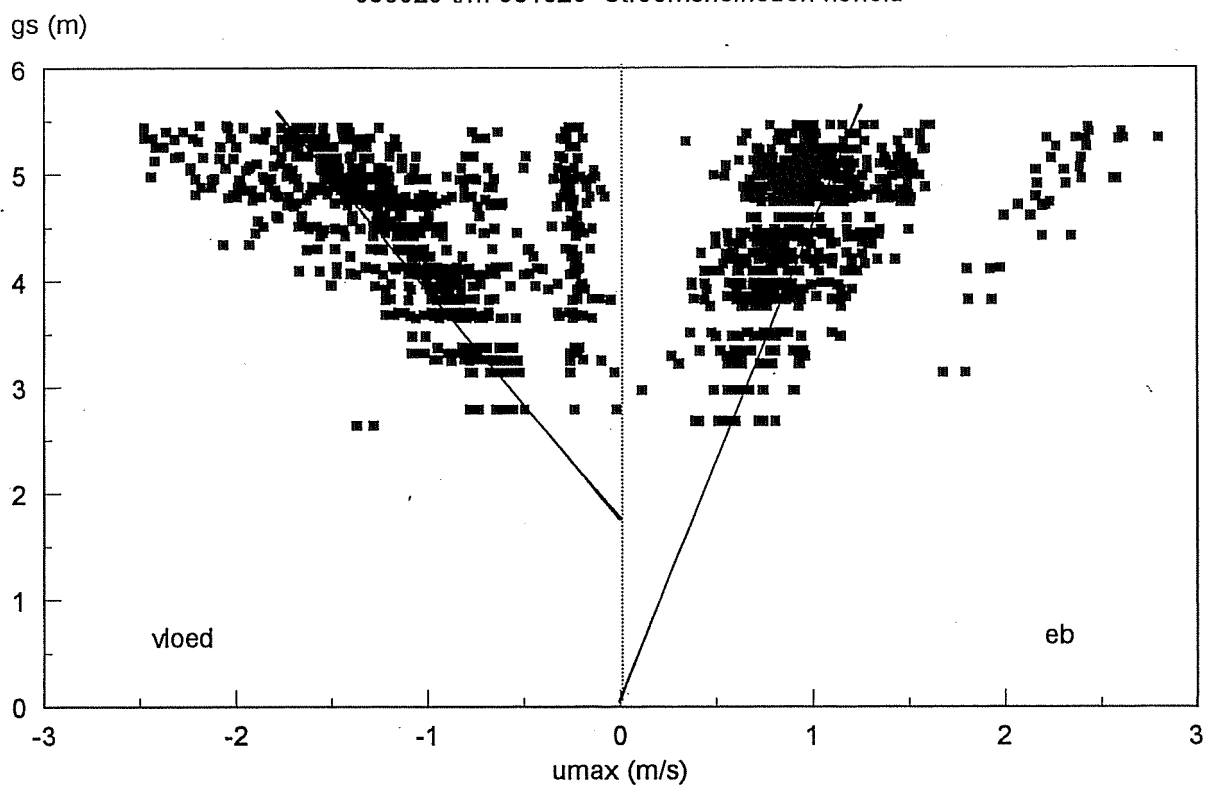


OSM 105
950929 t/m 951029



OSM mp 1 t/m 10 Getijslag vs. max. stroomsnelheid

950929 t/m 951029 Stroomsnelheden herleid



OSM mp 1 t/m 10 Getijcoefficient vs. max. stroomsnelheid

950929 t/m 951029 Stroomsnelheden herleid

