

riza vestiging dordrecht
van leeuwenhoekweg 20, 3316 av dordrecht
tel. 078-322500, fax. 078-315003
doorkiesnummer 078-322608
waterloopkundig laboratorium
sector estuaria en zeeën
postbus 177, 2600 mh delft
tel. 015-569353, fax. 015-619674

**SLIB ROND STORTLOCATIE
CROMSTRIJEN: VELDMETING
SEPTEMBER 1992**

WERKDOCUMENT 93.066X
auteur(s) Harm Verbeek (RIZA) en
John Cornelisse (WL)
datum september 1993

Inhoudsopgave		blz
Lijst van bijlagen		4
Lijst van figuren		5
Samenvatting		7
1	Inleiding	9
2	Doelstelling metingen	11
	2.1 Bodembemonstering	11
	2.2 Bodemligging	12
	2.3 Valsnelheid van slib	13
	2.4 Omgevingsparameters	13
3	De meetlocatie	15
	3.1 De stortlocatie Cromstrijen	15
	3.2 De bodem van de stortlocatie	16
	3.3 Lokale omstandigheden	16
4	De stort van baggerspecie	17
	4.1 Theoretische beschouwing	17
	4.2 Meetmethode	17
	4.3 Analyse	18
5	De bodemverandering	21
	5.1 Meetmethode en ijking	21
	5.2 Analyse	21
6	De slibwolk	23
	6.1 De valsnelheid van slibdeeltjes	23
	6.2 Het zwevend stof	23
7	De invloed van de omgevingsparameters	25
	7.1 De stroming	25
	7.2 De wind	25
8	Simulaties met een slib-detailmodel	27
	8.1 Modelopzet en afregeling	27
	8.2 Uitgevoerde simulaties	27
9	Vergelijking met ander onderzoek	29
	9.1 Relevant veldonderzoek in Nederland	29
	9.2 Theoretisch onderzoek	29
10	Conclusies	31
Literatuur		32

Lijst van bijlagen

1. Overzicht metingen Cromstrijen 1992.

Foto I : Side-looking sonarbeeld van 16 september 1992.

Foto II: Side-looking sonarbeeld van 22 september 1992.

Lijst van figuren

- 3.1 Dieptekaart 16/17 juli 1992 van stortgebied Cromstrijen en proefvak met locaties valbommonsters.
- 3.2 De bodemopbouw rond de proeflocatie bemonsterd met de valbom op 8 juli 1992.
- 4.1 Detail van de diepte op 16 september 1992.
- 4.2 Detail van de diepte op 22 september 1992.
- 4.3 Detail van de verschillen tussen de diepte op 16 en 22 september 1992.
- 4.4 De bodemprofielen 1042.6 en 1043.2 uit de echolodgingen, resp. aan het begin en einde van de stort op 16 en 22 september 1992.
- 5.1 Dieptekaart 16 september 1992 met locaties voor bodemconcentratie-metingen in het proefvak.
- 5.2 De ijklijn voor de bodemconcentratiemeter (bepaald op de locaties E15 en I15).
- 5.3 De gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding uit alle metingen op 16 september 1992 met behulp van de akoestische concentratiemeter.
- 5.4 De gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding uit alle metingen op 22 september 1992 (na de eerste stort).
- 5.5 Vergelijking tussen de gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding op 16 en 22 september 1992 rond de plek waar gestort is.
- 6.1 De onderschrijdingspercentages voor de valsnelheid bepaald op (a) 22 en (b) 24 september 1992 met behulp van de Van Geldermalsen-buis.
- 6.2 Zwevend-stofconcentratie in verzamelmonsters aan het wateroppervlak nabij de stortlocatie tussen 22 en 24 september 1992 (o = 12h- en + = 3h-monsters).
- 6.3 De ijklijnen voor de troebelheidsmeters aan boord van de Westergat en Schulpegat.
- 6.4 Troebelheidsmeting op 22 september 1992 met de Westergat (locatie en tijdstip per verticaal aangegeven).
- 6.5 Troebelheidsmeting op 24 september 1992 met de Westergat (locatie en tijdstip per verticaal aangegeven).

Lijst van figuren (vervolg)

- 6.6 Troebelheidsmeting op 22 september 1992 met de Schulpegat (locatie en tijdstip per verticaal aangegeven).
- 6.7 Troebelheidsmeting op 24 september 1992 met de Schulpegat (locatie en tijdstip per verticaal aangegeven).
- 6.8 Vaartocht van de Westergat op (a) 22 september 1992 en (b) 24 september 1992.
- 6.9 Vaartocht van de Schulpegat op (a) 22 september 1992 en (b) 24 september 1992.
- 7.1 Omgevingsparameters in de periode 22-25 september 1992
 - (a) debiet [m^3/s] bij Lobith, Keizersveer en Vuren,
 - (b) geïnterpoleerde waterstand [cm] bij Cromstrijen en
 - (c) windrichting en -snelheid [gr, m/s] bij Hoek van Holland.
- 8.1 Overzicht van het modelgebied van het slib-detailmodel met daarin aangegeven de stortlocatie en de punten voor presentatie.
- 8.2 Simulatie van slibverspreiding (zonder een lozing op de stortlocatie).
- 8.3 Simulatie van slibverspreiding met een lozing van 300 kg/s over 10 minuten op de stortlocatie.
- 8.4 Suspensieconcentratie 1 uur na stort voor (a) zonder en (b) met lozing.

Samenvatting

Aan de veldmetingen rond Cromstrijen van september 1992 liggen twee redenen ten grondslag, namelijk (A) een beheersvraag vanuit de directie Zuid-Holland en (B) een fundamentele vraag vanuit het slibonderzoek. Hieronder worden deze vragen kort toegelicht:

- (A) Door de studies naar de berging van de specie uit de sanering van de waterbodems van het Noordelijk Deltabekken is de belangstelling voor open stortlocaties sterk toegenomen. Eén van de varianten, die bij de MER baggerspeciedepot Hollandsch Diep wordt meegenomen, is een bergingslocatie onder water, welke niet door een ringdijk van de omgeving is afgesloten. Vanuit de directie Zuid-Holland is daarom gevraagd na te gaan wat:
- * het effect van storten in een open stortlocatie is,
 - * met aandacht voor het begin van consolidatie en
 - * de erosie-gevoeligheid van het vers gestorte materiaal.
- (B) Binnen het slibonderzoek is het vloksterktemodel opgeleverd. Voor de verdere toepassing van deze verbeterde sedimentatieformulering is een validatie met behulp van veldgegevens nodig met een hoge zwevendestofconcentratie. Een hoge concentratie komt onder andere voor tijdens het storten van baggerspecie. Eén van de stortlocaties waar in vrij-stromend water nautische bagger gestort wordt, is de stortlocatie Cromstrijen op het Hollandsch Diep.

In september 1992 is een veldmeting uitgevoerd, waarvoor de bovenstaande vragen als uitgangspunten genomen zijn. Met medewerking van de dienstkring Oude Maas is de stort van baggermateriaal uit de Oversteek bij Moerdijk gevolgd. Voorts heeft de Ambachtsheerlijkheid Cromstrijen toegestemd in het plaatsen van waarnemingsmateriaal in haar werkgebied. De metingen zijn uitgevoerd door de meetdienst van directie Zuid-Holland in samenwerking met het RIZA en het Waterloopkundig Laboratorium.

Op de stortlocatie is een proefvak aangegeven, waarbinnen enige malen gestort is. Tijdens het storten is de bodem opgenomen met side-looking sonar om de snelheid van de stort en het horizontale front te kunnen waarnemen. De ontstane slibwolk is gevolgd met troebelheidsmetingen en met de VIS (= video-in-situ systeem, waarmee van individuele slibvlokken een deeltjesgrootte- en een valsnelheidsverdeling bepaald kunnen worden).

Voor en na de stort is de bodem bemonsterd met een akoestische concentratiemeter. Hierdoor worden verschillen in bodemstructuur bepaald, welke ontstaan door het storten van baggerspecie. Opvallend was dat na de stort in de toplaag een laag van gemiddeld 7 cm te onderscheiden was met een lage droge-stofconcentratie (van 200 kg/m³).

De lokale vertroebeling is gevolgd met troebelheidsmeters. De troebelheidsmeting geeft aan dat er nabij de bodem een hoge concentratie zwevend stof aanwezig was na de stort. Van de valsnelheidsverdeling op basis van de Van Geldermalsen-buis volgt, dat 50% van het zwevend stof een valsnelheid heeft kleiner dan 0,01 mm/s. Slechts 10% van het zwevend stof heeft een valsnelheid groter dan 1 mm/s. Aan de hand van de VIS-metingen (welke nog niet beschikbaar zijn) kan de valsnelheidsverdeling nader ingevuld worden.

Gebleken is dat de stort een zeer lokale inslag veroorzaakte van de omvang van het stortschip. Er trad een geringe invloed naar de omgeving op door het overtrekken van een dunne suspensiewolk. Uit analyse van de monsters blijkt dat er veel zand en geen lutum gestort is. De vraag die nu nog overblijft is, wat het verschil is tussen de stort van zanderige materiaal (zoals beschreven in dit onderzoek) en de stort van slib met veel lutum (zoals oorspronkelijk beoogd was).

Uit een vergelijking met elders uitgevoerd onderzoek volgt, dat bij storten geringe vertroebeling aan het oppervlakte gevonden wordt. Wel staat vast dat processen als stroming en golfwerking invloed hebben op de resuspensie van gestorte specie. In een Amerikaans onderzoek is (evenals bij dit onderzoek) gewerkt met gezogen specie. Ook hier werden een krater ter plaatse van de stort en een dunne, nauwelijks detecteerbare laag gestorte specie in de omgeving gevonden.

1 Inleiding

Voorliggend verslag van de veldmetingen rond Cromstrijen uit september 1992 gaat uit van twee vragen ten aanzien van het veldonderzoek. De eerste vraag is afkomstig uit de regionale advisering en luidt: wat is de invloed van **baggerstort** in een vrij-stromend medium in een sedimentatiegebied op het totale slibtransport? De tweede vraag is vanuit het procesonderzoek gesteld, namelijk: kan met het **vloksterktemodel** een betere beschrijving gegeven worden van het sedimentatiegedrag op de zuidrand van het Noordelijk Deltabekken?

Baggerstort in onderwaterdepot

In het Noordelijk Deltabekken vindt stort van baggerspecie onder andere plaats op de stortlocatie Cromstrijen, in het westelijk deel van het Hollandsch Diep. De aanvoer bestaat voornamelijk uit nautische specie uit havens en vaarwegen met een kwaliteitsgrens van maximaal klasse 3. De aanvoerde specie wordt doorgaans vanuit klapbakken of onderlossers gelost.

Afhankelijk van de omvang en de stortmethode kan de concentratie zwevend stof ten gevolge van de stort sterk toenemen. Het soort materiaal dat aanvoerd wordt, bepaalt of de stort zich gedraagt als een vaste massa (samenhangende specie) of een slurry (niet-samenhangende specie). Dit heeft grote invloed op de uiteindelijke verspreiding (Van Heuvel, 1988). Er kan een tweedeling gemaakt worden ten aanzien van de stort: een deel van de stort zal direct naar de bodem zakken en een ander deel zal een suspensiewolk vormen, die zich als een dichtheidsstroming zal gedragen. Het verdere transport van de suspensie vindt plaats ten gevolge van de lokale stroming en diffusie, onder invloed van getij, rivierafvoer en reststroming ten gevolge van wind.

Vloksterktemodel

Het slibonderzoek, dat Rijkswaterstaat (RIZA) in samenwerking met het Waterloopkundig Laboratorium uitvoert, heeft een verbeterde sedimentatieformulering volgens het vloksterktemodel opgeleverd (Verbeek et al., 1992, Kuijper et al., 1993). Dit model is in feite een gefractioneerd sedimentatiemodel, met per fractie een valsnelheid en een vloksterkte. De vloksterkte bepaalt of een fractie sedimenteert dan wel in suspensie blijft en de valsnelheid bepaalt de snelheid waarmee dit gebeurt. Om de indeling in fracties te maken wordt gebruikgemaakt van gemeten vloggrootte- en valsnelheidsverdelingen.

De verbetering van slibtransportmodellen door middel van het vloksterktemodel is vooral van belang in het waterkwaliteits- en saneringsonderzoek. Hierbij wordt gekeken naar de invloed van ingrepen en naar de gewenste verbetering na sanering van water- en waterbodemkwaliteit. Hiervoor is een gedetailleerde modellering van stofstromen noodzakelijk, waarbij het slibtransport een grote rol speelt. Ook zal de verbetering tot uiting komen in een betere beschrijving van de sedimentatie in het Noordelijk Deltabekken.

Binnen deze rapportage zal geen aandacht besteed worden aan de toepassing van het vloksterktemodel, omdat tot nu toe de resultaten van de VIS-metingen ontbreken. Als deze gegevens beschikbaar zijn en voldoen zal een aanvullende notitie hierover uitgebracht worden.

Uitgevoerde veldmeting

Voor de veldmeting uitgevoerd rond de stortlocatie Cromstrijen zijn vooraf twee meetdoelstellingen geformuleerd (Verbeek en Cornelisse, 1992):

De meetdoelstelling ten aanzien van de *slibstort* is:

- Het vastleggen en volgen van een onderwaterstort van baggerslib in een vrije val in een stromend medium met als kernpunten:
 - de verspreiding van het gestorte materiaal over de omgeving en
 - de consolidatie van het gestorte materiaal onder eigen gewicht.

De meetdoelstelling ten aanzien van het *slibtransport* is:

- De verificatie van het vloksterktemodel, waarbij het volgen van een slibwolk met een hoge concentratie in een sedimentatiegebied centraal staat. Hierbij worden de verandering van concentratie, deeltjesgrootte en valsnelheid in de tijd geanalyseerd.

2 Doelstelling metingen

In de voorbereiding van het veldwerk zijn een aantal aandachtsgebieden gedefinieerd, welke tijdens de veldmeting gevolgd moeten worden (Verbeek en Cornelisse, 1992). Per aandachtsgebied zijn de meetapparaten aangegeven en per meetapparaat is een meetdoelstelling opgesteld om aan te geven wat het doel van die meting is en welke nauwkeurigheid gehaald moet worden om een bruikbaar resultaat te kunnen opleveren.

Tijdens de veldmeting zijn onderstaande metingen uitgevoerd over een periode van twee weken. In deze periode zijn in een gemarkeerd deel van de stortlocatie enige storten uitgevoerd. Een overzicht van de gebruikte meetapparatuur uitgesplitst over de verschillende meetdagen staat in bijlage 1.

2.1 Bodembemonstering

De **valbom** is een doorzichtige buis (lengte 75 cm), met aan de onderzijde een versterkte ring. Bij gebruik zal door een vrije val de buis in de bodem doordringen en zo een steekmonster van de bodem nemen. Door een bal aan de bovenzijde wordt bij het ophalen een onderdruk in de buis gecreëerd, waardoor het monster (met een doorsnede van 5 cm) meegetrokken wordt. De indringdiepte is afhankelijk van de inslagsnelheid en het soort bodemmateriaal. In een slibbodem wordt doorgaans de totale 75 cm gevuld.

Valbommonsters worden bij deze meting gebruikt om een globaal beeld te verkrijgen van de bodemopbouw over het gebied. Via visuele waarneming en dia's worden kleur en materiaalsoort vastgesteld en worden de laagdikten opgemeten. De bemonstering leidt tot een indicatie van slibvoorkomens in de top-laag van de bodem.

De **akoestische concentratiemeter** bestaat uit twee keramische cellen die gemonteerd zijn op twee uithouders aan een buis die de bodem ingebracht kan worden. Door het zenden van een hoog-frequente golftrein via de ene cel en het ontvangen van de golftrein met de andere cel kan de verzwakking bepaald worden, welke ontstaat door het materiaal in het tussenliggende meetvolume. Met behulp van een ijklijn kan deze verzwakking worden omgezet naar een concentratie.

Voor de meting is een veldversie gebouwd van de meter, die regelmatig voor experimenteel werk gebruikt wordt in het laboratorium. Deze versie genaamd ISAC (= in-situ akoestische concentratiemeter) bestaat uit een stevige buis met uithouders waarop de sensoren gemonteerd zijn, een vertand-inrichting met aandrijfmotor voor de verticale beweging van de buis en een driepoot waarop het geheel gemonteerd is.

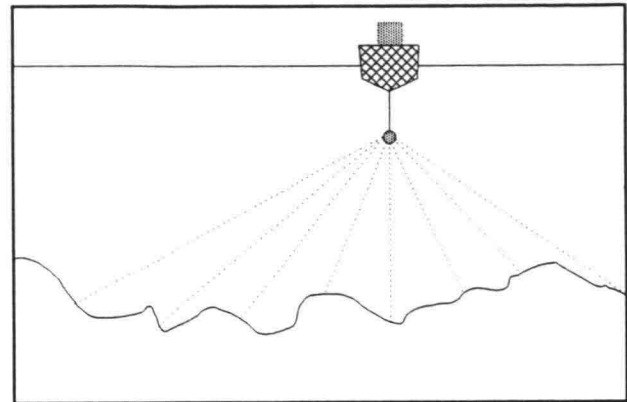
De ISAC wordt gebruikt om de mate van consolidatie en het scheidingsvlak tussen de "oude bodem" en het vers gestorte materiaal vast te stellen. Hiervoor worden zowel voor als na de stort een groot aantal dichtheidsprofielen bepaald. De standaardafwijking voor de droge-stofconcentratie is ongeveer 50 kg/m^3 op een bereik van 0 tot 1.000 kg/m^3 . Het totale verticale bereik is 600 mm met een resolutie van 1,25 mm. Dit bereik wordt echter niet volledig benut, omdat zo'n 100 tot 200 mm hiervan zich boven de bodem bevindt.

2.2 Bodemligging

Echoloding is een meting van de lokale waterdiepte door middel van het uitzenden van een geluidssignaal en het registreren van de looptijd van de reflectie vanaf de bodem. Na correctie voor de waterstand kan de bodemligging ten opzichte van NAP verkregen worden. Op een net van evenwijdige raaien wordt via echoloding recht onder het vaartuig een dieptekaart voor een gebied gemaakt. Uit de verschillen van opeenvolgende kaarten kan erosie of sedimentatie in een gebied vastgesteld worden.

De echolodingen worden hier uitgevoerd om nauwkeurig de locatie van stort en de gestorte hoeveelheden te kunnen verifiëren. De echoloding heeft een nauwkeurigheid in de orde van 0,1 m. De afstand tussen de raaien waarop de detailloding is uitgevoerd is 20 m.

De **side-looking sonar** is gebaseerd op hetzelfde principe als het echolood. Ook hierbij wordt een geluidssignaal uitgezonden en worden reflecties ontvangen. Bij sonar worden zowel tijdstip als intensiteit van alle reflecties meegenomen bij de registratie. Bij side-looking sonar wordt een signaal uitgezonden en zowel links als rechts van de meetvis over 90° in een dun verticaal vlak loodrecht op de vaarrichting opgevangen.



Afb. 2.1 Side-looking sonar.

De ontvangen echo's geven opeenvolgende dwarsdoorsneden van het afgelegde traject. Het ontvangen signaal is een tijdregistratie. Door verrekening van de looptijd van geluid in water kan een plaatsregistratie gemaakt worden. De informatie wordt op een grafische uitvoer als een horizontale lijn weergegeven, waarbij de zwarting van de lijn de intensiteit aangeeft van de ontvangen echo's. De opeenvolging van lijnen geeft het reliëf in de waterbodem aan door sterkere en zwakkere reflecties van de bodem. Deze reflecties worden met een bepaalde grijstint aangegeven. Naarmate de echo sterker is, is de grijstint donkerder. Een vlakke bodem geeft een egale grijstint en een ribbelbodem geeft een zwart-wit patroon. De registraties van de sonar zijn afhankelijk van het reflecterend materiaal, de afstand tot de bron en de hoek waaronder het oppervlak getroffen is. Daarnaast speelt ook de instelling van de apparatuur mee in de zwarting van de opname.

Side-looking sonar wordt tijdens de stort gebruikt voor drie doelstellingen:

- * Het volgen van het gestorte materiaal vanuit het schip naar de bodem. Hierbij wordt geprobeerd om de valsnelheid van het front van het gestorte materiaal en het moment dat al het materiaal op de bodem ligt vast te stellen.

- * Het volgen van het front dat zich na de inslag over de bodem zal verplaatsen. De verplaatsingssnelheid van dit front en de dichtheid hiervan geven een indruk van de grootte van het beïnvloede gebied.
- * Het bepalen van de omvang, diepte en vorm van de krater welke ontstaat door de inslag en het bepalen van het gebied dat door het overtrekkende front verstoord is.

Voor het vaststellen van de diepte van reflecties worden vaste waarnemingspunten in het gebied geplaatst. De vaste waarnemingspunten zijn zowel bij de echoloding als op de sonarbeelden herkenbaar.

2.3 Valsnelheid van slib

De **VIS (= video in-situ systeem)** is een video-systeem waarmee opnamen gemaakt worden van individuele slibvlokken, welke vallen in een smalle cuvette. Uit de opnamen kunnen de vloggrootte en de valsnelheid van individuele deeltjes bepaald worden. Door dit voor een groot aantal deeltjes uit te voeren ontstaat een vloggrootte- en valsnelheidsverdeling. Deze bepaling vindt pas achteraf plaats met behulp van beeldverwerkingstechnieken.

Bij deze veldmeting wordt de VIS vlak na de stort in de slibwolk gebracht. Vanaf dat moment worden er opnamen gemaakt en drijft de VIS met de slibwolk en de stroming mee. Uit analyse van de video-beelden kunnen gegevens voor validatie van het vlogsterktemodel verkregen worden.

Troebelheid wordt gemeten met een MEX-3 troebelheidsmeter. In dit apparaat wordt de lichtuitdoving bepaald van een lichtbron (lichtdiode) over de afstand tot de lichtcel, waarbij een correctie uitgevoerd wordt voor vervuiling en omgevingslicht. Via kalibratie met simultaan genomen watermonsters kan de troebelheid omgezet worden in een zwevend-stofgehalte.

De troebelheid wordt gemeten in de nabijheid van de VIS om de invloed van de concentratie te kunnen waarnemen. Dit is tevens een onafhankelijke parameter voor de latere modelberekeningen. De nauwkeurigheid van de troebelheidsmeting wordt vooral bepaald door de variatie in het materiaal. Voor een goede kalibratie moeten er regelmatig watermonsters genomen worden; in deze situatie ieder uur.

De **Van Geldermalsen-buis** is een speciale waterhapper, waaruit een monster op enige centimeters boven de bodem afgezogen kan worden. Door in de tijd opeenvolgende monsters van een buis-inhoud te nemen kan het uitzakken van slib bepaald worden. Via verrekening van het afgezogen volume en de restconcentratie kan een cumulatieve valsnelheidsverdeling bepaald worden.

De Van Geldermalsen-buis wordt gebruikt bij deze meting om op een onafhankelijke manier de valsnelheid van slib te bepalen. De meting wordt uitgevoerd in de nabijheid van de VIS (zie hierboven). Door het gebruik van deze methode is het mogelijk om een vergelijking met historische gegevens te maken.

2.4 Omgevingsparameters

Verzamelmonsters zijn watermonsters, welke doorgaans stapsgewijs genomen worden over een langere periode op een bepaalde waterdiepte. De meting geeft hiermee een gemiddeld beeld van de concentratie van zwevend stof. De bemonstering vindt plaats vanaf een wrakkenschip ("bootje" buiten stortgebied, zie figuur 3.1) op een constante diepte. Het wrakkenschip lag net buiten het proefvak aan de rand van het stortgebied. Met deze meting kan de achtergrondconcentratie voor zwevend stof bepaald worden. Over de hele meetperiode is per 12 uur een monster van 1 liter beschikbaar. Op de stortdagen is tevens per 3 uur een monster beschikbaar.

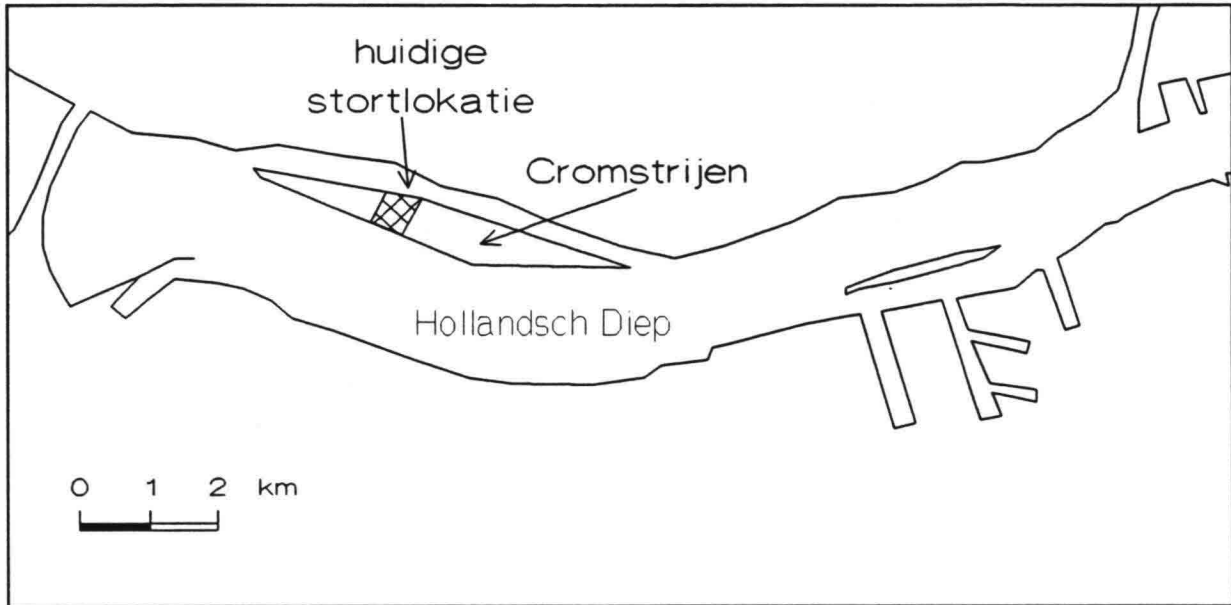
Troebelheid wordt tijdens de stortdagen bepaald met een MEX-3. Er wordt gemeten op een raai aan de rand van het proefvak om de verticale opbouw van het zwevend-stofgehalte te kunnen bepalen, welke voor, tijdens en vlak na de stort in de waterfase aanwezig is.

Stroomsnelheid en -richting worden bepaald met een op de bodem staande akoestische stroommeter (NSW). Tijdens de meetcampagne zijn twee van deze apparaten geïnstalleerd in de nabijheid van het wrakkenschip. Hiermee kan lokaal het slibtransport beter geïnterpreteerd worden.

3 De meetlocatie

3.1 De stortlocatie Cromstrijen

De metingen zijn uitgevoerd op en rond de stortlocatie Cromstrijen in het westelijk deel van het Hollandsch Diep, zoals hieronder is aangegeven.



Afb. 3.1 Stortlocatie Cromstrijen.

In figuur 3.1 is de bodemligging rond de stortlocatie aangegeven. In deze figuur zijn tevens het huidige stortvak en de gekozen proeflocatie aangegeven. Het stortvak is momenteel zo'n 400 bij 600 m groot en varieert in diepte tussen 7 en 20 m. De proeflocatie is in het ondiepere, zuidelijke deel gekozen op een vrij vlakke rug.

In dit gebied wordt regelmatig nautische bagger gestort. Door het aangeven van een proefvak, in overleg met de beheerder, kon binnen het stortvak het storten per gebeurtenis bestudeerd worden. Tijdens de metingen zijn aan het wateroppervlak de hoekpunten van het proefvak met boeien gemarkeerd. De boeien lagen verankerd aan bodemmarkeringen in de vorm van zuigpijpen. De bodemmarkeringen zijn zowel op het echolood als op het sonarbeeld zichtbaar.

3.2 De bodem van de stortlocatie

Om een globale indruk te krijgen van de bodemopbouw is op de stortlocatie op 8 juli 1992 een valbom-bemonstering uitgevoerd. De locaties zijn aangegeven in figuur 3.1 (genummerd CR01 t/m CR32). Drie raaien hieruit zijn gepresenteerd in figuur 3.2. Uit de bemonstering valt op te maken dat (bijna) overal op een diepte van 30 - 50 cm een geconsolideerde sliblaag voorkomt. Hierop ligt een slibhoudende zandlaag van 5 - 15 cm en een zachtere sliblaag met zand en/of gasbellen. De locatie van het proefvak tijdens de veldmeting komt overeen met de locaties CR12, CR13 en CR14. Hier ligt hoofdzakelijk slib in een laag van 50 - 65 cm dikte, waarvan de bovenste 20 cm bestaat uit zandhoudend slib of slibhoudend zand.

3.3 Lokale omstandigheden

Ter plaatse van de stortlocatie is de stroming onder normale omstandigheden vrij gering (0 - 15 cm/s). De stroming is tijdens eb maximaal en tijdens vloed rond het nulpunt (er treedt een wantij op tussen het Spui en de Dordtsche Kil). Hierdoor is de stroomrichting bijna altijd westwaarts met een getijweg van 1 - 2 km. Het verticaal getij is eveneens gering en in de orde van 25 cm. De rivierafvoer (met name van de Rijn) beïnvloedt in grote mate de stromingscondities op het Hollandsch Diep. Door middel van het lozingsprogramma voor de Haringvlietsluizen wordt de waterverdeling tussen de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet geregeld. Bij de heersende rivierafvoer (debiet bij Lobith = $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$) zijn de Haringvlietsluizen dicht. De lokale stroomsnelheid varieert van 10 cm/s westwaarts tot 5 cm/s oostwaarts.

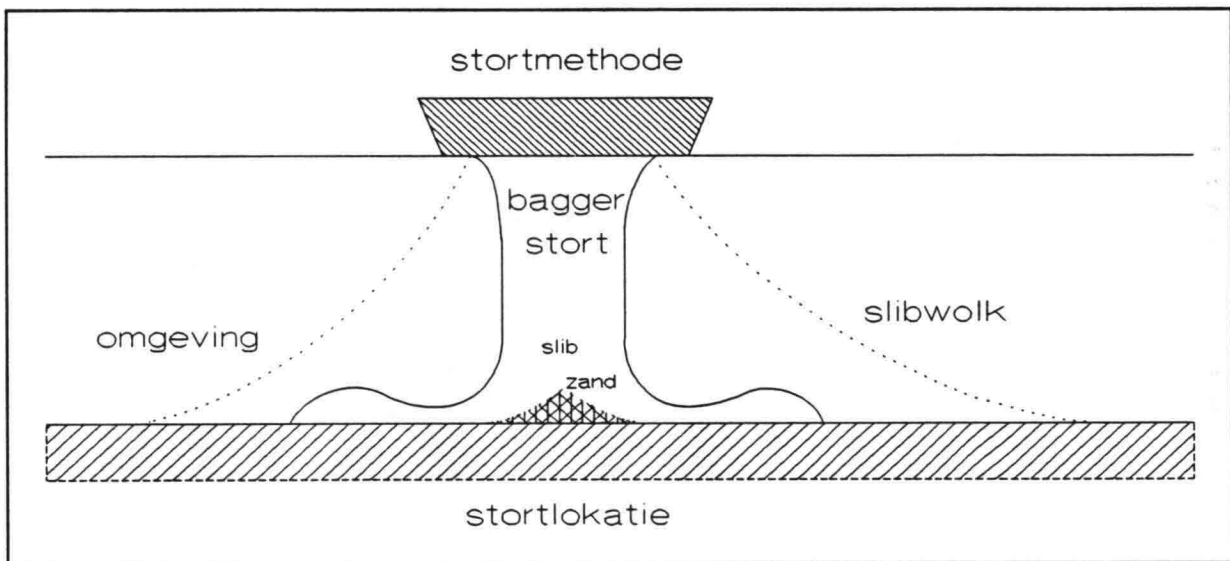
Ter plaatse van de stortlocatie is geen of weinig beroepsscheepvaart aanwezig. In het gebied is een drukke scheepvaartroute tussen de Dordtsche Kil, de Nieuwe Merwede en de Amer aan de ene zijde en de Volkeraksluizen aan de andere zijde, maar deze route volgt de zuidelijke geul. De verstoring van het slibtransport door scheepvaart is daarom nihil.

De invloed van de wind op het slibtransport is gering. Bij westen- en oostenwind zijn de strijklengten wel groot (maximaal 5 km), maar de invloed is dan miniem. De lokale waterdiepte van ongeveer 7 m bij de stortlocatie zorgt ervoor dat zelden erosie door golven kan optreden. Bij zuiden- en vooral zuidwestenwind is de strijklengte kort (ongeveer 1 km) en de invloed bestaat dan uit directe beïnvloeding van banken en oevers. Bij sterke wind kan door golven aldaar erosie en oeverafslag veroorzaakt worden. Bij de overige windrichtingen is geen effect waarneembaar.

4 De stort van baggerspecie

4.1 Theoretische beschouwing

Tijdens het storten van baggerspecie vanuit een klapbak of onderlosser zal de bulk van het gestorte materiaal met grote snelheid naar de bodem vallen (het front gaat met enkele meters per seconde omlaag). Hierbij vindt er entrainment naar het omliggende water plaats. Bij een bovenstaande suspensie in de onderlosser zal deze mee omlaag gezogen worden en terecht komen in de waterkolom. Samen met een suspensie ontstaan uit het entrainment van de gestorte bulk vormt dit de slibwolk. Ook kan door de inslag van de bulk op de bodem een drukgolf in de bodem ontstaan, die een deel van de toplaag laat resuspenderen of door de inslag een krater laat ontstaan. Hierbij zijn de dichtheid en de samenstelling van het stortmateriaal mogelijk van belang. Dit is in een schematische tekening weergegeven.



Afb. 4.1 Schematische weergave van stortmethode en stortlocatie.

4.2 Meetmethode

De stort van baggerspecie is gevolgd met echoloding en side-looking sonar. Vooraf is de bodemligging met echoloding op een fijn net van raaien vastgelegd en is een sonar-scan van de bodem gemaakt. Tijdens de stort is de val van de bulk uit het stortschip gevolgd om de valsnelheid te bepalen. Na de stort zijn de echoloding en de sonar-scan herhaald. Voor nader onderzoek is de eerste stort tijdens de meetperiode uitgekozen. Hiervan zijn de meeste gegevens beschikbaar. Uit de 2 echolodingen op 16 en 22 september 1992 (figuren 4.1 en 4.2) kan een verschilkaart gemaakt worden (figuur 4.3). Zoals te zien is in figuur 4.3 heeft de eerste stort (op 22 september 1992) plaatsgevonden in het oostelijke deel van het proefvak.

Met behulp van de side-looking sonar kan gekeken worden naar de val van de bulk uit het schip, maar ook naar het front dat zich na de inslag in horizontale richting over de bodem verplaatst. Het gaat hier dan om een suspensie, die bestaat uit zowel bodem- als stortmateriaal. Met de sonar-scans is een schatting te maken van de verplaatsingssnelheid van dit front.

4.3 Analyse

Valsnelheid

Uit de side-looking sonarbeelden blijkt dat binnen 20 minuten na de stort al het materiaal op de bodem terechtgekomen is. Bij een waterdiepte van 8,5 m geeft dit een minimale valsnelheid van 7 mm/s voor de regen van individuele slibdeeltjes. Deze bepaling is een absolute ondergrens aangezien het stortschip een diepgang heeft van meer dan 5 m. Het stortfront van de slurry heeft een veronderstelde valsnelheid van enige meters per seconde. Uitgaande van 7 mm/s en de veronderstelling dat er zand gestort wordt, leidt dit tot een kenmerkende diameter van ongeveer 90 μm . Wordt er uitgegaan van slib dan kan gebruikgemaakt worden van de wet van Stokes:

$$W_s = \frac{g}{18\nu} \frac{\rho_d - \rho_w}{\rho_w} d^2$$

met:

W_s	= valsnelheid	[m/s]
g	= valversnelling	[m/s ²]
ν	= viscositeit	[m ² /s]
ρ_d	= dichtheid deeltje	[kg/m ³]
ρ_w	= dichtheid water	[kg/m ³]
d	= diameter	[m]

Met behulp van McCave (1984) leidt dit tot een kenmerkende diameter van ongeveer 1.000 μm . In het geval van slib zal het moeten gaan om sterke clusters die het baggerproces kunnen overleven.

Het aangevoerde materiaal heeft een gemiddelde bulkdichtheid van 1.144 kg/m³ over de verticaal met een standaardafwijking van 22 kg/m³. Vertaald naar droge dichtheid (met een dichtheid voor zand en kleimineralen van 2.650 kg/m³) bevat het stortmateriaal 231 kg/m³ droge stof en 913 kg/m³ water. Uit Malvern-metingen blijkt het materiaal uit de beun een d_{50} van 25 μm te hebben. In het materiaal is vastgesteld: de lutumfractie (< 2 μm) \approx 0%, de siltfractie (2 - 63 μm) \approx 70% en de zandfractie (> 63 μm) \approx 30%. De maximale diameter is ongeveer 110 μm .

Horizontale verplaatsing

Tijdens de stort vaart het meetvaartuig met de side-looking sonar continu langs het proefvak. Op 22 september vond de stort plaats om 08:04 uur. Het front van deze stort had zich om 08:07 uur over een afstand van 150 m horizontaal over de bodem verplaatst. Om 08:12 uur was de bodem weer tot rust gekomen. In de eerste drie minuten was de gemiddelde verplaatsingssnelheid ongeveer 0,8 m/s.

Bij de stort van 24 september wordt gedurende de eerste minuut na de stort een verplaatsingssnelheid van 1,5 m/s gevonden. De bodem is bij deze stort na 8 minuten eveneens tot rust gekomen. In beide gevallen is er sprake van een geringe suspensieconcentratie in het front dat zich verplaatst, hetgeen af te leiden is uit het bijna volledig aanwezig zijn van de oorspronkelijke details in het sonarbeeld van de bodem.

Bodemverandering

Op foto I staat de uitvoer van de side-looking sonar van voor de eerste stort. Er zijn hierop 7 raaien zichtbaar, welke van oost naar west aan elkaar geplakt zijn, zodanig dat de dwarsraaien en de bodemdetails samen vallen. De gridafstand in lengterichting is 25 m en in de breedterichting 10 m. Op foto II staat de situatie na de eerste stort.

Uit de vergelijking van beide foto's is de verandering van de bodemtopografie duidelijk zichtbaar. De stort is te herkennen als twee parallelle vlakken (veroorzaakt door een bakboord- en stuurboordbeun) halverwege markering 3 en 4. Uit de vergelijking blijkt dat de stort alleen zeer lokaal de bodemligging beïnvloedt. Een gedeelte van het gestorte materiaal valt door de toplaag heen en vormt een dal (witte vlek) omringd door een stuwwal (zwarte rand). Gezien de breedte van de rand en het dal moet er een niveauverschil zijn van meerdere decimeters.

De lading van het stortschip bevatte 2.250 m³ specie met een dichtheid van 1.144 kg/m³. Deze 2.574 ton bevat 520 ton droge stof, die zich heeft uitgespreid over een gebied van ongeveer 100 bij 60 m. Een deel van de lading is in de krater en omringende stuwwal terechtgekomen, een ander deel is over de directe omgeving verspreid. De krater met stuwwal beslaat een oppervlak van 100 bij 25 m.

Uit de echoloding volgt dat de maximale verandering in de orde van 30 cm is, wat blijkt uit de profielen (figuur 4.4). Uit de profielen blijkt tevens dat de stort (met een breedte van 12,5 m) een gebied van 60 m beïnvloedt. Ook is te zien dat ter plaatse van de stort geen grote bodemverandering optreedt, maar dat het materiaal in de breedterichting over een geringe afstand verschoven wordt, resulterend in drie opstaande randen aan de twee weerszijden van de stort en één in het midden (figuur 4.4).

De stort is zichtbaar op de lodingsraaien 1042.2 tot 1043.0. Door de verschillen op de raaien voor en na de stort te berekenen, kan de inhoud van de bodemverandering bepaald worden. Hierbij is ervan uitgegaan dat een lodingsraai representatief is voor een strook van 20 m. Per raai is een sommatie gemaakt van het gehele verstoorde gebied (ongeveer 60 m breed) en van het gebied met de krater en stuwwal (ongeveer 25 m breed). Uit de sommatie van de verschillen volgt een bodemverandering van 650 m³ over een oppervlak van 6.250 m². De stuwwal met de krater bevatten hiervan 350 m³ over een oppervlak van 2.750 m².

De valsnelheid van de stort kan berekend worden met een energiebalans. Hierbij wordt uitgegaan van een gering verlies aan kinetische energie tijdens de stort. Voor de schatting van de valsnelheid wordt gebruikgemaakt van:

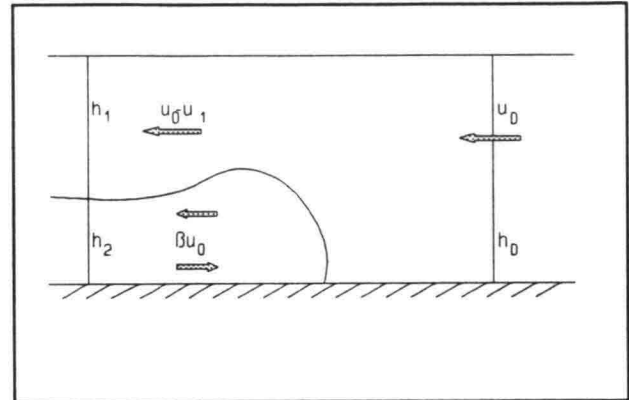
$$W = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} g h}$$

met:

W	= valsnelheid	[m/s]
ρ_1	= dichtheid water	[kg/m ³]
ρ_2	= dichtheid specie	[kg/m ³]
g	= valversnelling	[m/s ²]
h	= valhoogte	[m]

Bij een valhoogte van 5 - 8 m levert dit een valsnelheid van 1,0 - 1,4 m/s nabij de bodem op.

Voor de horizontale verspreiding kan gebruikgemaakt worden van het tweelagen intrusiemodel, zoals hiernaast geschetst is (Van Heuvel, 1988). De transportsnelheid u_0 in deze schets is analoog aan de verplaatsingsnelheid van het front. De factor β is de verliesfactor, welke gekoppeld is aan de voortplantingssnelheid. Hiervoor is de waarde van 0,5 aangenomen (overeenkomstig de literatuurwaarde).



Afb. 4.2 Het tweelagen-intrusiemodel.

De voortplantingssnelheid kan berekend worden volgens (Van Heuvel, 1988):

$$U = Fr \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} g h_2} \quad \text{met} \quad Fr = \sqrt{\frac{1}{h_0} \frac{(h_0 - h_2)(2h_0 - h_2)}{(1 - \beta)h_2 + (1 + \beta)h_0}}$$

met:

U	= voortplantingssnelheid	[m/s]
Fr	= Froude-getal	[-]
ρ_1	= dichtheid water	[kg/m ³]
ρ_2	= dichtheid specie	[kg/m ³]
g	= valversnelling	[m/s ²]
h_0	= totale waterdiepte	[m]
h_1	= dikte bovenlaag	[m]
h_2	= dikte toplaag	[m]
β	= verliesfactor	[-]

Met een waarde voor β van 0,5 levert dit een maximale snelheid van 0,5 - 0,7 m/s bij $h_2 = 0,4 h_0$.

5 De bodemverandering

5.1 Meetmethode en ijking

Tijdens de veldmeting is voor het eerst gewerkt met de ISAC. Er is ervaring met dit type apparatuur onder laboratorium-omstandigheden, maar een goede veldversie bestond nog niet. Het gebruikte apparaat is specifiek voor dit onderzoek vervaardigd. Dit houdt onder andere in dat gedurende de veldmeting aanpassingen aan de meetprocedure noodzakelijk waren; de meting bleek te langdurig te zijn.

De ISAC is toegepast op een rooster dat aangegeven is in figuur 5.1. Gedurende de meting zijn ijkmonsters aangemaakt, bestaande uit bodemmateriaal dat met een box-corer bemonsterd is. De ijklijn is gepresenteerd in figuur 5.2. De nauwkeurigheid van dit apparaat ligt in de orde van 50 kg/m^3 .

Bij de verwerking en onderlinge vergelijking is een aanname toegepast. Er moet namelijk een horizon gedefinieerd worden, aangezien de metingen in de verticale richting uitgevoerd geen horizontale referentie kennen en dus niet vergelijkbaar zijn. Wordt het scheidingsvlak water/bodem genomen als uitgangspunt, dan ontstaan er problemen in de tijd door consolidatie of stort. De diepe ondergrond is niet overal gelijk en soms is niet ver genoeg doorgemeten, dus ook hier kan geen referentievlak gevonden worden. Besloten is om als horizon een vaste waarde ($6V = 420 \text{ kg/m}^3$) te nemen, omdat hier een duidelijke dichtheidsgradiënt aanwezig is. De verticale as is daarmee een relatieve grootte geworden, waarmee alleen laagdikten bepaald kunnen worden.

5.2 Analyse

Op 16 september 1992 is een eerste serie metingen uitgevoerd met de ISAC. Een gemiddelde bodemconcentratie is gepresenteerd in figuur 5.3. Hieruit blijkt dat er een dunne ongeconsolideerde sliblaag aanwezig is van zo'n 3 cm en een gemiddelde dichtheid van 200 kg/m^3 . Hieronder bevindt zich een laag met een dichtheid van rond de 500 kg/m^3 en minimaal 7 cm dik.

Na de stort op 22 september 1992 is de gemiddelde ongeconsolideerde laag toegenomen tot een dikte van zo'n 5 cm en een dichtheid van $100 - 200 \text{ kg/m}^3$ (zie figuur 5.4). Om dit precies te onderzoeken is in figuur 5.5 een vergelijking gemaakt tussen de beide meetdagen voor **alleen** de monsterpunten rond de exacte stortlocatie. Hieruit blijkt dat de toplaag toegenomen is in dikte met zo'n 2 cm. Deze is significant aanwezig met een dichtheid van 200 tot 250 kg/m^3 , terwijl de dichtheid in de toplaag vooraf aan de stort snel met de diepte toeneemt van 100 tot 300 kg/m^3 .

6 De slibwolk

6.1 De valsnelheid van slibdeeltjes

De valsnelheid van slib is op twee manieren bepaald, namelijk met de VIS (video-in-situ systeem) en met de Van Geldermalsen-buis. De VIS maakt video-opnamen van slibvlokken tussen de 10 en 2.000 μm , waaruit vlok-grootte- en valsnelheidsverdelingen bepaald kunnen worden.

Met de Van Geldermalsen-buis is in het verleden veel ervaring opgedaan. Ondanks de beperkte nauwkeurigheid is dit apparaat ingezet bij deze veld-meting. Deze onnauwkeurigheden zijn vaak het gevolg van de moeilijke en arbeidsintensieve methode van werken. Ook moet rekening gehouden worden met afwijkingen door vervuiling in flessen en monsterbuizen bij lage zwevend-stofconcentraties.

De resultaten van dit apparaat zijn weergegeven in figuur 6.1. Voor de twee meetdagen is een verdelingsfunctie gemaakt voor de valsnelheid van slib. Uit de diagrammen blijkt dat de 50%-waarde voor de valsnelheid ligt op 0,01 mm/s. Slechts 10% van het zwevend materiaal in de watermonsters heeft een valsnelheid groter dan 1 mm/s. Op de eerste dag is de bandbreedte groter dan op de tweede meetdag. Mogelijk komt dit doordat op de eerste meetdag niet precies in de slibwolk gevaren is.

6.2 Het zwevend stof

De aanvoer van zwevend stof is afkomstig uit de Rijn via de Waal en de Nieuwe Merwede en uit de Maas via de Amer. Het Hollandsch Diep is een sedi-mentatiebekken, waarbij de sterkste gradiënt ter hoogte van de Sassenplaat ligt. Het restant aan zwevend materiaal is in het westelijk-Hollandsch Diep nog aanwezig en heeft een gemiddelde vloggrootte van 64 μm en een valsnelheid van 0,22 mm/s (Verbeek, 1991). Tijdens de veldmeting is continu zwevend stof bemonsterd door middel van verzamelmonsters. Figuur 6.2 geeft aan dat de achtergrondconcentratie voor zwevend stof van 10 tot 20 mg/l laag is ten opzichte van de stortconcentratie van enige honderden mg/l.

Ter plaatse van de stort is het zwevend stof gemeten met een troebelheidsmeter (MEX-3). De ijklijn (figuur 6.3) geeft een lineair verband tussen de uitslag van de troebelheidsmeter en de zwevend-stofconcentratie. Uit de figuren 6.4 t/m 6.7 volgt de verdeling van het zwevend stof rond de stortlocatie. In de figuren 6.8 en 6.9 zijn de vaartochten van respectievelijk de Westergat en de Schulpegat weergegeven met de tijdstippen, waarop een troebelheidsprofiel genomen is.

Uit de troebelheidsverticalen blijkt, dat na de stort alleen aan de bodem een verhoogde zwevend-stofconcentratie te vinden is. In de onderste meters van de verticalen loopt de concentratie op tot zo'n 200 mg/l. In een aantal extreme gevallen komt de concentratie zelfs ver boven de 400 mg/l. Er is dus duidelijk sprake van een verstoring van het lokale slibtransport door de stort van baggerspecie, maar om dit te kunnen kwantificeren moet er een verband gelegd worden tussen de horizontale verplaatsing van het front en de verhoogde zwevend-stofconcentraties.

Uit de tweede (niet gedocumenteerde) stort op 22 september 1992, welke buiten het proefvak plaatsvond, kan de omvang van de slibwolk geschat worden. De wolk is zo'n 200 m in doorsnede, met een hoogte van zo'n 3 m. De concentratie in de wolk is gemiddeld 200 mg/l. De totale inhoud van de wolk kan geschat worden op 19 ton oftewel 3 - 4% van de stort. Dit is echter wel een bovengrens, omdat de slibwolk tijdens de meting met de stroming meebewoog en de omvang moeilijk te schatten is.

7 De invloed van de omgevingsparameters

7.1 De stroming

Gezien het debiet bij Lobith (ongeveer $1.100 \text{ m}^3/\text{s}$, figuur 7.1a) en het gehanteerde spuiregime van de Haringvlietsluizen, is de stroming in het westelijk deel van het Hollandsch Diep gering (de Haringvlietsluizen waren gesloten). Ook de waterstandsvariatie van zo'n 20 cm geeft aan dat de stroming gering was (figuur 7.1b). De stroommeting is wel uitgevoerd bij de wrakkenbak. De geplaatste stroommeters hebben geen bruikbaar resultaat opgeleverd.

7.2 De wind

Alleen op 23 en 24 september 1992 in de namiddag is er van enige wind sprake geweest (figuur 7.1c). Er stond een zuidwestenwind van 5 - 6 Bft (10 - 15 m/s). Hierbij ontstonden er golven met een lengte van 2 m en een hoogte van 30 cm (visuele waarneming). Deze golven zijn niet in staat bodemmateriaal in suspensie te brengen.

8 Simulaties met een slib-detailmodel

8.1 Modelopzet en afregeling

Voor de zuidrand van het Noordelijk Deltabekken is een 2dh-slibmodel gebouwd, genaamd SINODE (Slibtransport in het Noordelijk Deltabekken, Collard, 1992). Dit model is een DELWAQ-toepassing, gebaseerd op het rechtlijnige WAQUA-model ZUIDRAND, met een roosterafstand van 100 m. Het slibmodel bestaat uit drie lagen, namelijk een waterfase, een beperkte toplaag (droge dichtheid van 75 kg/m^3) en een oneindige onderlaag (dichtheid 300 kg/m^3). Processen die in dit model gesimuleerd kunnen worden zijn sedimentatie, erosie, consolidatie en fluïdisatie. De formuleringen die in dit kader gebruikt zijn, zijn te eenvoudig. Aan verbetering van de verschillende procesformuleringen wordt momenteel gewerkt.

Met behulp van het model voor de zuidrand is een detailmodel gemaakt voor het westelijk deel van het Hollandsch Diep, met centraal hierin de stortlocatie Cromstrijen (Ter Haar, 1993). Dit detailmodel kent 1.659 rekenpunten van 100 bij 100 m en beslaat een traject van 6 km van oost naar west (figuur 8.1). De breedte is gemiddeld 3 km (noord-zuid). De waterbeweging is cyclisch gemaakt met een periode van 12 uur en 25 minuten. Met dit model is een studie met een gevoeligheidsonderzoek uitgevoerd naar de invloed van baggerstort op de slibverspreiding in de directe omgeving (Ter Haar, 1993).

8.2 Uitgevoerde simulaties

In dit kader is gekeken naar een tweetal situaties, waarin waarden uit het voorliggende meetverslag gebruikt zijn. Uitgegaan is van een situatie met een constante zwevend-stofconcentratie van 10 mg/l over het gehele gebied en van 20 mg/l op de oostrand (instroomrand). De valsnelheid van slib (volgens de formulering van Krone) is vrij klein genomen, namelijk $0,1 \text{ mm/s}$ bij een kritieke bodemschuifspanning voor sedimentatie van $0,1 \text{ N/m}^2$. Voor erosie volgens de formulering van Partheniades is een kritieke bodemschuifspanning genomen van $0,5 \text{ N/m}^2$ (vrij hoog, geldend voor geconsolideerd slib) met een erosieparameter M van $0,2 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{s}$. Er wordt geen erosie verwacht in dit gebied.

In figuur 8.2 is de achtergrondsituatie gepresenteerd zonder lozing van baggerspecie op de stortlocatie. In deze figuur is zichtbaar, dat er over het gebied een gradiënt te zien is van 20 mg/l aan de oostrand tot 5 mg/l aan de westrand.

In de achtergrondsituatie is een lozing van 300 kg/s over een periode van 10 minuten gesimuleerd. Dit komt overeen met een stort van 2.250 ton, waarvan 8% in de waterfase achterblijft direct na de stort. De overige 92% van de stort wordt verondersteld direct op de bodem terecht te komen en niet deel te nemen aan het slibtransport. Dit resulteert in het beeld van figuur 8.3. Op de stortlocatie loopt de concentratie op tot zo'n 180 mg/l . Na enige uren is de slibwolk ten gevolge van het storten uitgezakt en niet meer herkenbaar in de omgeving. In figuur 8.4 is duidelijk te zien in hoeverre de slibwolk zich over de directe omgeving verspreidt. Een gebied van ongeveer 1 km doorsnede rond de stortlocatie heeft een duidelijk verhoogde slibconcentratie.

9 Vergelijking met ander onderzoek

9.1 Relevant veldonderzoek in Nederland

Rond de stortlocatie Cromstrijen is eerder onderzoek uitgevoerd om het effect van de stort van baggerspecie vast te stellen. In 1984 is een onderzoek uitgevoerd door Rijkswaterstaat (Mol, 1984). Tijdens dit onderzoek is slechts een geringe verhoging van het zwevend stof vastgesteld. De maxima die gevonden zijn, waren 82 mg/l bij de stort vanuit een knijperschip en 163 mg/l bij de stort vanuit een onderlosser. In een laag van 2 - 3 m boven de bodem is een suspensie gevonden van 1 - 2% van de gestorte hoeveelheid.

In het Lateraalkanaal Linne-Buggenum is gekeken naar de invloed van stort van materiaal uit de Maas (Van Vuuren, 1988). Hierbij is vastgesteld dat significante hoeveelheden slib vrij in het oppervlaktewater voorkomen in de vorm van een slibwolk. Door de doorspoeling van het kanaal (nodig voor de handhaving van de waterkwaliteit) komt de fijne fractie niet tot bezinking. Helaas zijn deze metingen op basis van troebelheid niet doorvertaald naar zwevend-stofconcentraties.

In de Eems-Dollard is een groot onderzoek uitgevoerd naar de invloed van baggerspeciestortingen. In tegenstelling tot Cromstrijen speelt het getij (en vooral de hierdoor optredende snelheden) hier een veel grotere rol. Een vergelijking is moeilijk te maken. Het onderzoek heeft vastgesteld dat de verhoging van de slibconcentratie meer in verband gebracht kan worden met golven dan met stortingen (Van der Heide en Ploeg, 1992). De pieken in het slibconcentratie-patroon nemen wel toe tijdens de stortperioden ten opzichte van normale perioden (met zo'n 15%). Wordt er meer gestort, dan komen incidenteel zeer hoge concentraties voor. Hieruit volgt dat meerdere stortingen of een grote windbelasting ervoor zorgen dat de concentratie zwevend stof sterk toeneemt.

Rond Loswal-noord is met behulp van semi-permanente stations onderzoek gedaan naar het transport van vers gestort materiaal (Verlaan en Spanhoff, 1992). Op basis van deze metingen zijn schattingen gemaakt van de transportflux van gestort baggermateriaal. Vastgesteld is dat slechts een deel van het gestorte materiaal op de stortlocatie achterblijft. Een groot deel zal met de reststroom mee richting Waddenzee trekken en een klein deel draagt bij aan een retourstroom richting Maasmond. Tevens is vastgesteld dat bij erosie van vers gestort materiaal onder bepaalde omstandigheden een slibdeken gevormd wordt.

9.2 Theoretisch onderzoek

Van Heuvel (1988) heeft voor een programma om het storten van baggerspecie te volgen onderzoek gedaan naar de verschillende fasen in het baggerproces. De opeenvolgende fasen zijn:

1. De baggerspecie opslaan in de beun van een stortschip en het transport naar de stortlocatie.
2. De baggerspecie wordt gelost op de stortlocatie via de onderzijde van de beun.
3. De baggerspecie raakt de bodem en wordt radiaal verspreid.
4. De ontstane suspensie verspreidt zich als een dichtheidsstroom over de bodem en zakt uit.

Hieronder wordt op ieder van deze fasen ingegaan.

ad 1) Opslag en transport

Bij het gebruik van een (sleep)hopperzuiger wordt relatief veel water meegezogen waardoor de dichtheid van de specie afneemt. De zwaardere componenten (zand) zullen onderin de beun terechtkomen, de lichtere fractie aan het oppervlak. Indien het toegestaan is, wordt de beun tot de rand gevuld met zware specie door gebruik te maken van de AMOB (arm mengsel over boord - pijp). In de praktijk is de bulkdichtheid onderin de beun 1.200 - 1.500 kg/m³.

ad 2) Storten

De snelheid waarmee de specie (bestaande uit sediment en water) het schip verlaat tijdens het openen van de beun wordt bepaald door de openingsgrootte en de viscositeit van het mengsel. De potentiële energie (het dichtheidsverschil tussen water en specie vermenigvuldigd met de storthoogte) wordt omgezet in kinetische energie en beperkt door de wrijving. Vaak gaat de beun niet direct in zijn geheel open, maar in stappen. Dit zorgt voor een grotere weerstand tijdens de stort en een lagere vertrek-snelheid. Op basis van een eenvoudige energiebalans is de vertreksnelheid te schatten.

ad 3) Val van de specie

Vanuit het schip zal de specie versneld worden door de zwaartekracht. Dit leidt vrij snel tot een evenwichtssnelheid door de wrijving met het water. Bij een storthoogte van zo'n 10 m kan een snelheid bereikt worden van 1,5 m/s. Tijdens de val wordt omringend water aangezogen en opgenomen door entrainment. Dit zorgt voor een extra verdunning van de specie. Individuele brokken in de specie kunnen door het stortfront heen breken en met een grotere snelheid op de bodem terecht komen. Door lokale stroming kan de verticale stortkolom afgebogen worden, waarbij vervorming optreedt. Uit verschillende metingen is bepaald dat zo'n 1 - 5% van de specie in suspensie gaat tijdens de val. Verder kan aan het wateroppervlak enige vertroebeling ontstaan door doorspoeling van de beun na de stort. Vastgesteld is dat bij onderlossers de oppervlakte-vertroebeling nauwelijks tot verhoging van het zwevend-stoftransport leidt.

ad 4) Uitspreiding

Door de inslag van de stort op de bodem ontstaat door de plotselinge blokkade een ombuiging van de verticale beweging naar een radiale, horizontale verspreiding. Hierbij gaat een deel van de kinetische energie verloren door de grote interne turbulentie. Er treedt in het ombuigingstraject een "super-kritische" stroming op met een Froude-getal van groter dan 1. Als de aanvoer stopt, zal door de radiale verspreiding een ring met veel gesuspendeerd materiaal ontstaan zijn met een centrum met minder sediment. Bij verdunde specie kan dit resulteren in een kuil ter plaatse van de stort en een nauwelijks traceerbare laag (kleiner dan 0,1 m) in de directe omgeving (Bokuniewicz en Gordon, 1980).

10 Conclusies

Met deze veldmeting is aangetoond, dat de stort van baggerspecie in een onderwaterdepot goed te onderzoeken is met behulp van echoloding en sonartechnieken. De stort kan gevolgd worden en uit verschilberekeningen kan de omvang van de stort bepaald worden. Door gebruik te maken van de ISAC (= in-situ akoestische concentratiemeter) kan de dichtheid van de gestorte laag vastgesteld worden. Hieruit kan de mate van consolidatie bepaald worden.

Opvallend is dat de stort, welke gevolgd is tijdens de meting, voornamelijk bestond uit fijn zand en niet-cohesief slib (quartz-deeltjes). Het lutumgehalte was nihil. Dit beïnvloedt de valsnelheid van de slibwolk en de consolidatie van het bodemmateriaal in grote mate. Zeker de spreiding in de valsnelheid is groot.

Met de ISAC kon de consolidatie in de tijd niet gevolgd worden, omdat deze te snel verliep. Er is dagelijks gemeten, terwijl de primaire consolidatie ongeveer 1 dag duurde. Wel is gebleken dat in de omgeving dunne afzettingen lagen. Een probleem dat ten aanzien van de ISAC nog opgelost moet worden, is de definitie van een horizontale referentie voor de onderlinge vergelijking van metingen.

Met de echoloding en de sonarbeelden is vastgesteld, dat de stort leidde tot een inslagkrater omringd door een stuwwal direct onder het stortschip. In de krater en de stuwwal is 350 m^3 materiaal terechtgekomen. In de directe omgeving is een lichte neerslag van suspensiemateriaal gevonden (ongeveer 300 m^3). De overige $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$ is, ondanks de nauwkeurige meetmethode, niet teruggevonden. Bij toekomstige metingen moet hier meer aandacht aan besteed worden.

Met de sonarbeelden was het mogelijk schattingen te maken van de verplaatsingssnelheid van het front over de bodem. De gevonden snelheden van $0,8 - 1,5 \text{ m/s}$ komen overeen met de verwachte waarden van enige meters per seconde. Ook gaven de sonarbeelden aan, dat de verstoring van de omgeving buiten de stuwwal gering was. Een verbetering van de sonarresultaten kan bereikt worden door inwinning van de registraties op een PC.

Aan de hand van de simulaties is het mogelijk de invloed van slibstort na te rekenen. Er kunnen principesommen mee uitgerekend worden (het model is niet geijkt op een reële situatie), waarmee de verspreiding van stortmateriaal naar de omgeving vast te stellen is. Ondanks het feit dat het model niet geijkt is, kan een redelijke schatting gemaakt worden van de omvang van het beïnvloede gebied.

Uit ander onderzoek blijkt, dat gezogen specie bij stort leidt tot een dunne, horizontaal verspreide laag over een gebied dat groter kan zijn dan de stortlocatie. Hierbij komt $1 - 5\%$ van de specie in suspensie. Dit komt overeen met de schattingen gemaakt op basis van de geregistreerde slibwolk.

De uitgevoerde meting heeft aangetoond dat het goed mogelijk is om onderwaterstort te volgen met de huidige of prototype-apparatuur. Door modificatie aan te brengen aan de meting en de verwerking van sonar en echolood, kan een aanzienlijk beter eindresultaat verkregen worden.

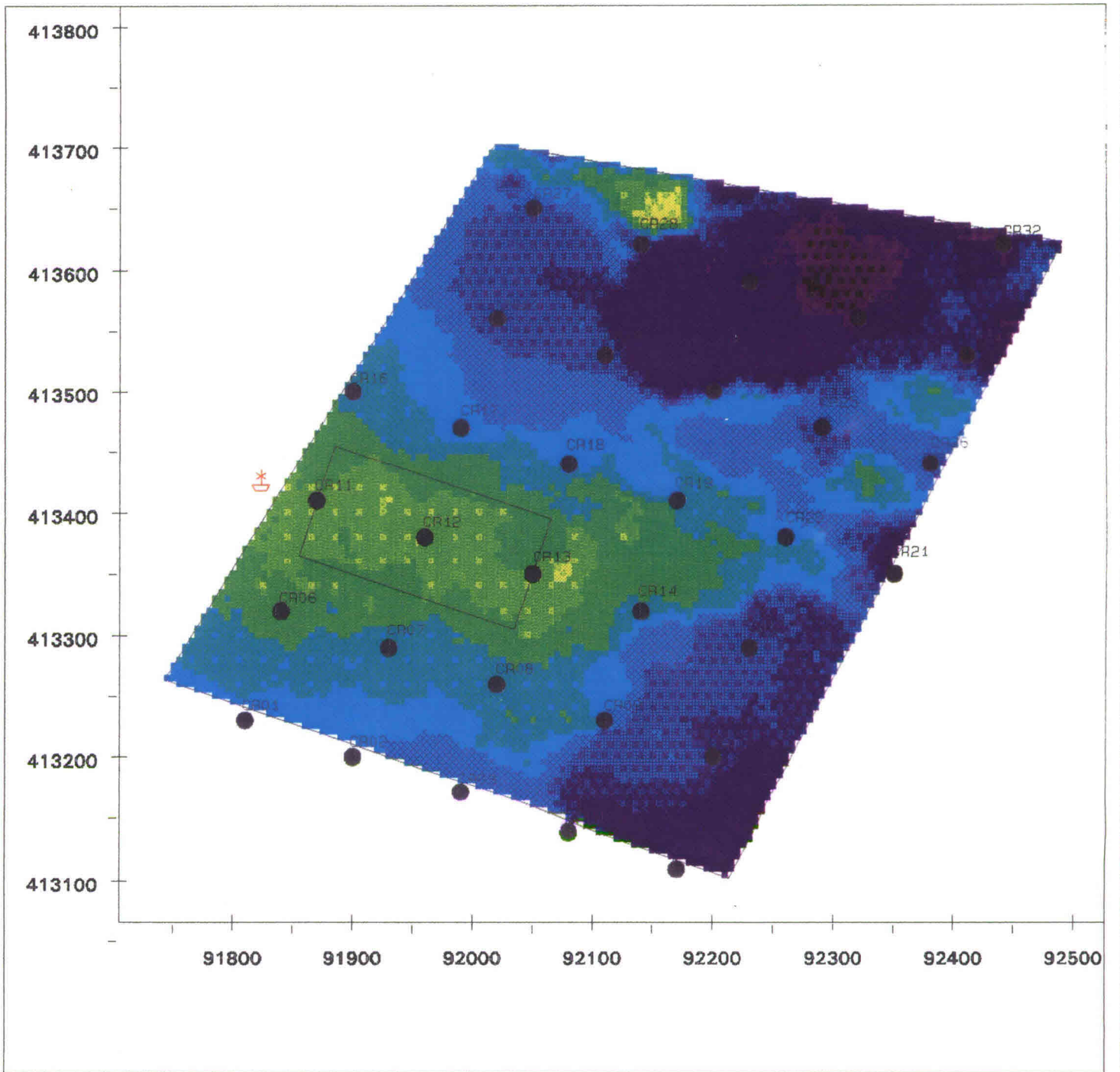
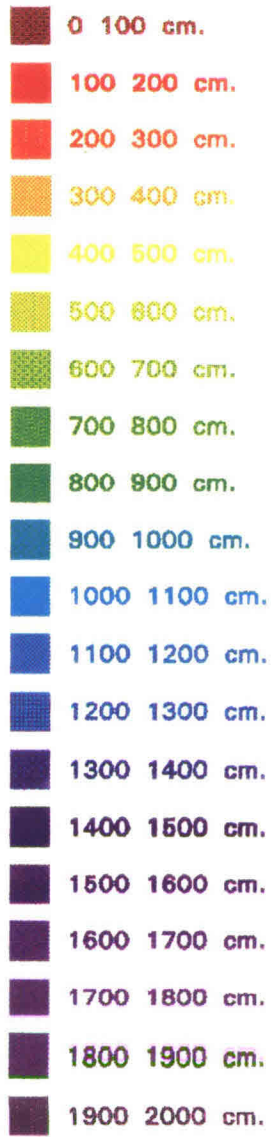
Literatuur

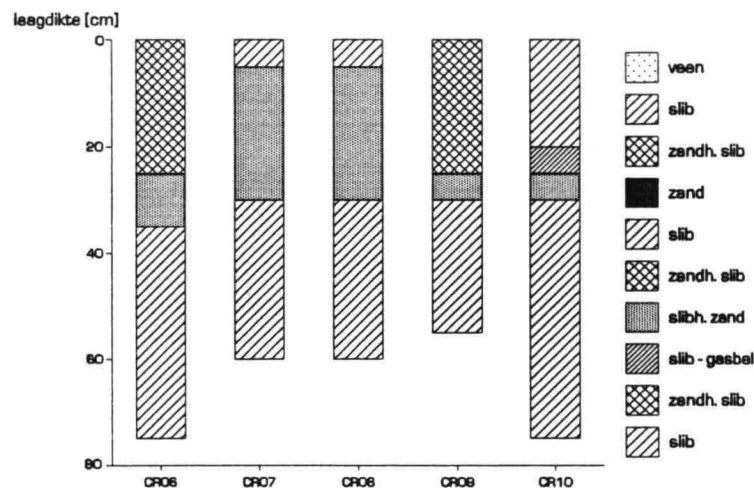
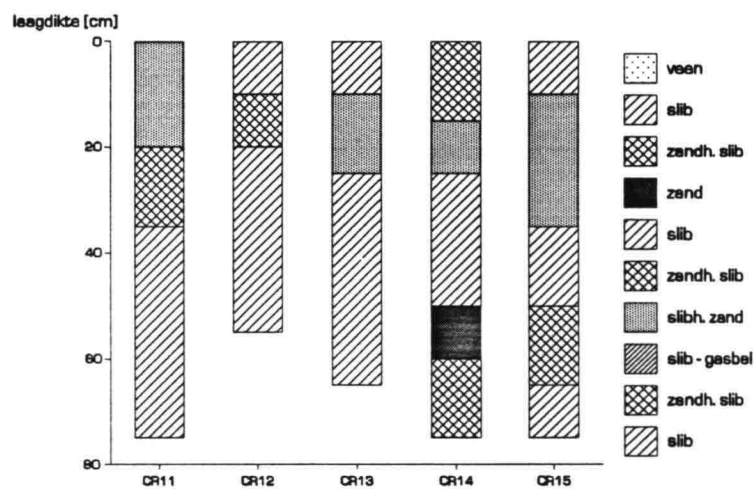
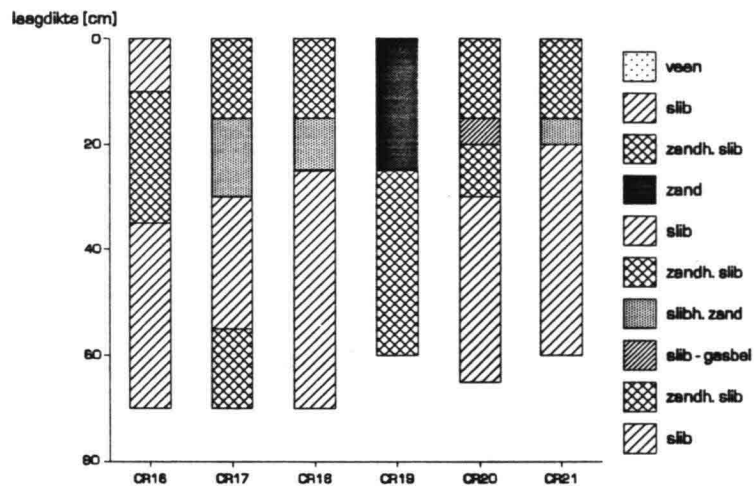
- H.J. Bokuniewicz en R.B. Gordon [1980],
Deposition of dredged sediment at open water sites,
 Estuarine and Coastal Marine Science, 10, 289-303.
- E.A. Collard [1992],
SINODE, een 2dh DELWAQ-model voor het Hollandsch Diep/Haringvliet:
modelbouw en gevoeligheidsonderzoek,
 Rijkswaterstaat, RIZA en Ingenieursbureau Svasek,
 werkdocument 92.104X, augustus 1992.
- M. ter Haar [1993],
Simulatie van een lozing van slib in het Hollandsch Diep,
 Rijkswaterstaat, RIZA, werkdocument 93.036X, februari 1993.
- T.A. van der Heide en I.W. Ploeg [1992],
Onderzoek naar de invloed van de baggerspeciéstortingen op
de slibconcentratie in het Groote Gat,
 Rijkshogeschool Groningen, Civiele Techniek, afstudeerverslag,
 mei 1992.
- Tj. van Heuvel [1988],
Verspreiding van baggerspecie tijdens en na het storten vanuit
een baggerschip (voorstudie voor een numeriek stortmodel),
 Rijkswaterstaat, dienst Getijdewateren, nota GWAO-88.034,
 november 1988.
- C. Kuijper, J.M. Cornelisse en J.C. Winterwerp [1993],
Toepassing vloksterkteverdeling in DELWAQ en gevoeligheidsonderzoek,
 Rijkswaterstaat en Waterloopkundig Laboratorium, cohesive sediments
 report 45?, maart 1993.
- Frederic R. Harris b.v. [1992],
Baggerspeciedepot Hollandsch Diep, onderwatervariant west-locatie,
 concept-rapport, juni 1992.
- Heidemij Adviesbureau en Waterloopkundig Laboratorium [1988],
Milieu-effect-onderzoek baggerstortingen Cromstrijen,
 projectnummer 630-39901, rapport 01CHR14/15, juni 1988.
- I.N. McCave [1984],
Size spectra and aggregation of suspended particles in the deep
ocean, Deep-Sea Research, 31(4), 329-352.
- G.A.J. Mol [1984],
Onderzoek naar de gevolgen op de waterkwaliteit van het
Hollandsch Diep ten gevolge van slibstortingen te Cromstrijen,
 Rijkswaterstaat, RIZA, juni 1984.
- H. Verbeek [1991],
Metingen met de "VIS" (= video-in-situ systeem) in het
Hollandsch Diep en het Volkerakmeer,
 Rijkswaterstaat, RIZA, werkdocument 91.178X, november 1991.

Literatuur (vervolg)

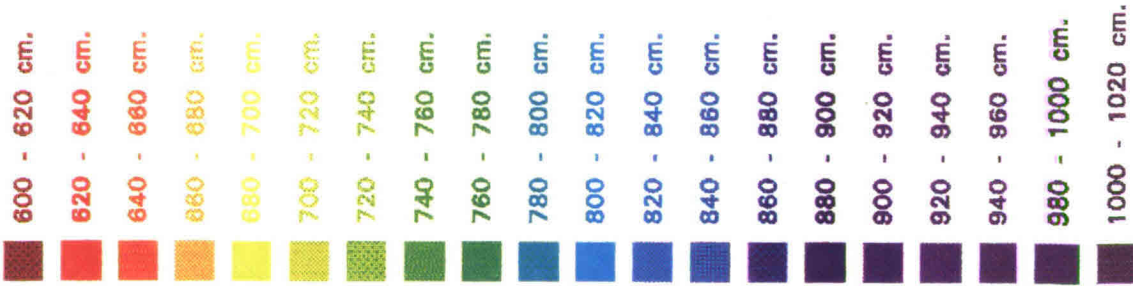
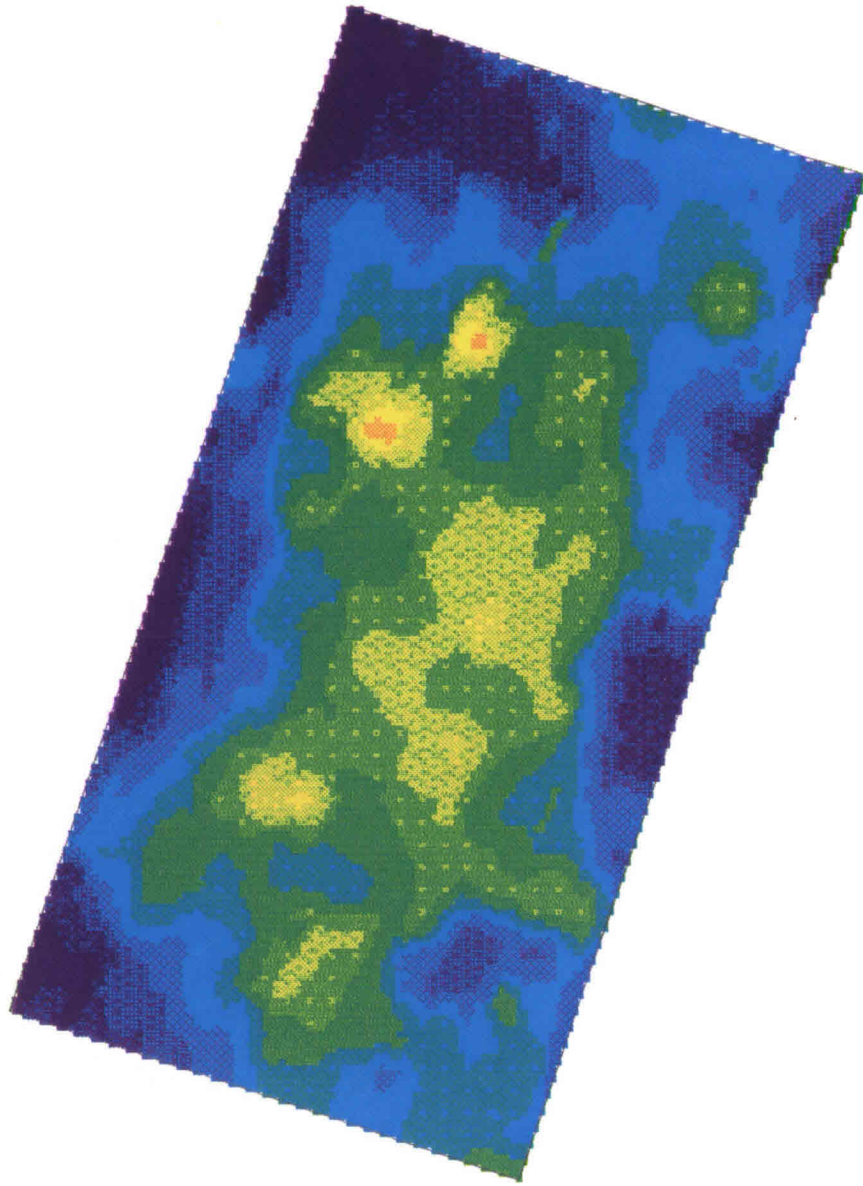
- H. Verbeek en J.M. Cornelisse [1992],
Veldmeting Zuidrand: slib rond stortlocatie Cromstrijen,
Rijkswaterstaat, RIZA, werkdocument 92.064X, juli 1992.
- H. Verbeek, C. Kuijper, J.M. Cornelisse en J.C. Winterwerp [1992],
Deposition of graded natural muds in the Netherlands,
Proceedings of the Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment
Transport Workshop, April 9-12, 1991, St. Petersburg, Florida, USA,
ed. A.J. Mehta, AGU, december 1992.
- P. Verlaan en R. Spanhoff [1992],
**In-situ procesonderzoek aan slibtransporten met duurmetingen bij
de zeebodem (implicaties voor slibtransport vanaf Loswal-noord,
het optreden van slibdekens),**
Rijksuniversiteit Utrecht, Instituut voor Marien en Atmosferisch
Onderzoek Utrecht, R92-1, februari 1992.
- W.E. van Vuuren [1988],
**Waterkwaliteitseffecten slibstort Lateraalkanaal,
interimrapportage uitgevoerd onderzoek,**
Rijkswaterstaat, dienst Binnenwateren/RIZA, nota 88.013,
september 1988.

Dieptekaart 16/17 juli 1992 van stortgebied Cromstrijen en proefvak met lokaties valbommonsters





de bodemopbouw rond de proeflocatie bemonsterd met de valbom op 8 juli 1992



Detail van de diepte op 16 september 1992

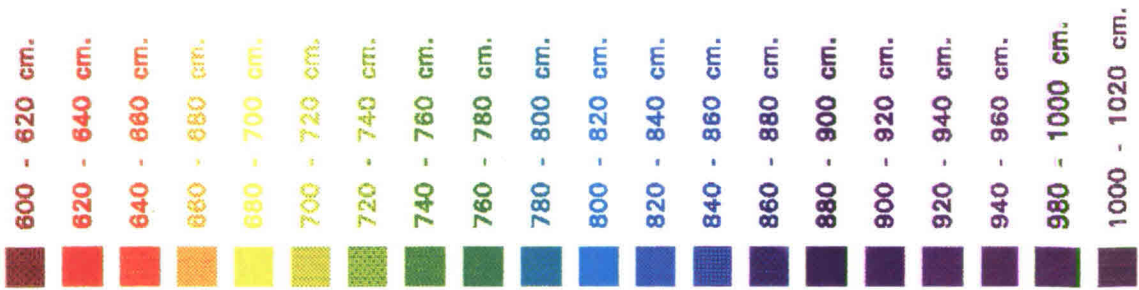
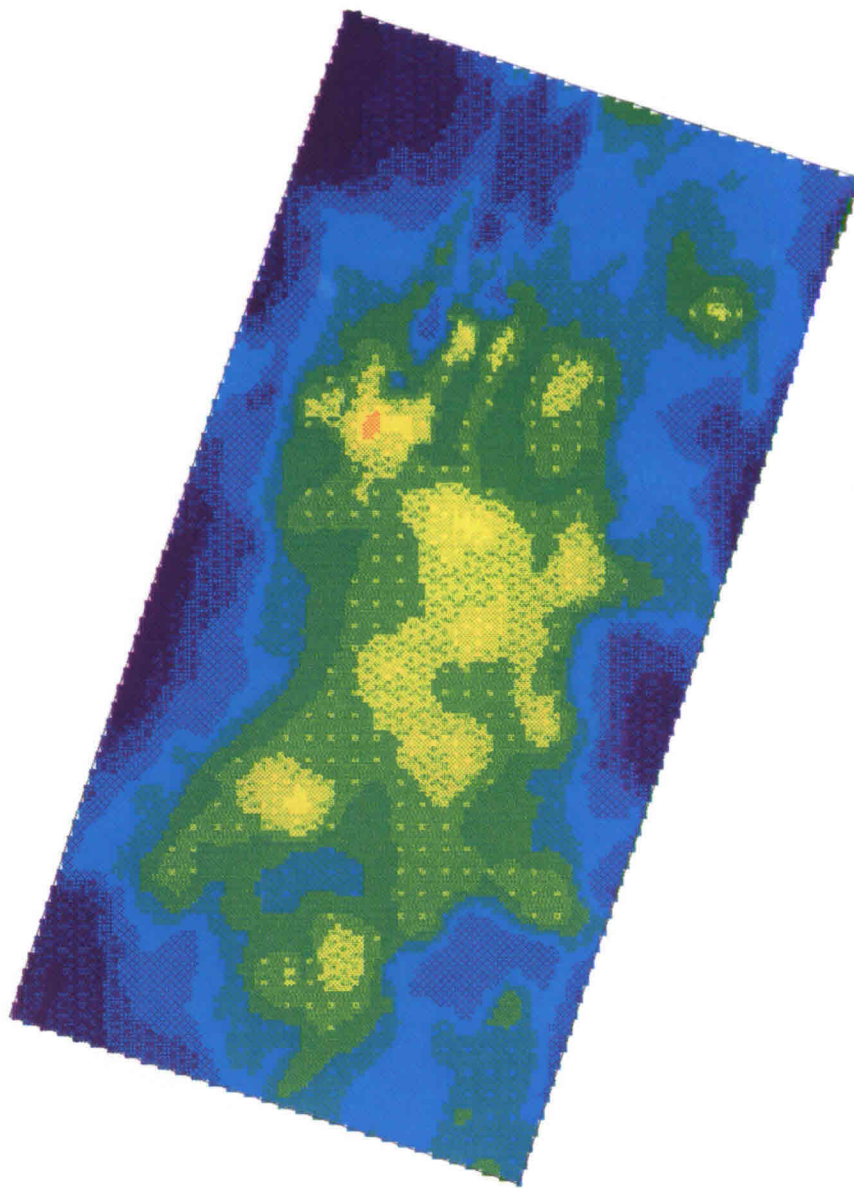
rijkswaterstaat

riza

Afdeling AOFD

Werkdocument 93.066X

Figuur 4.1

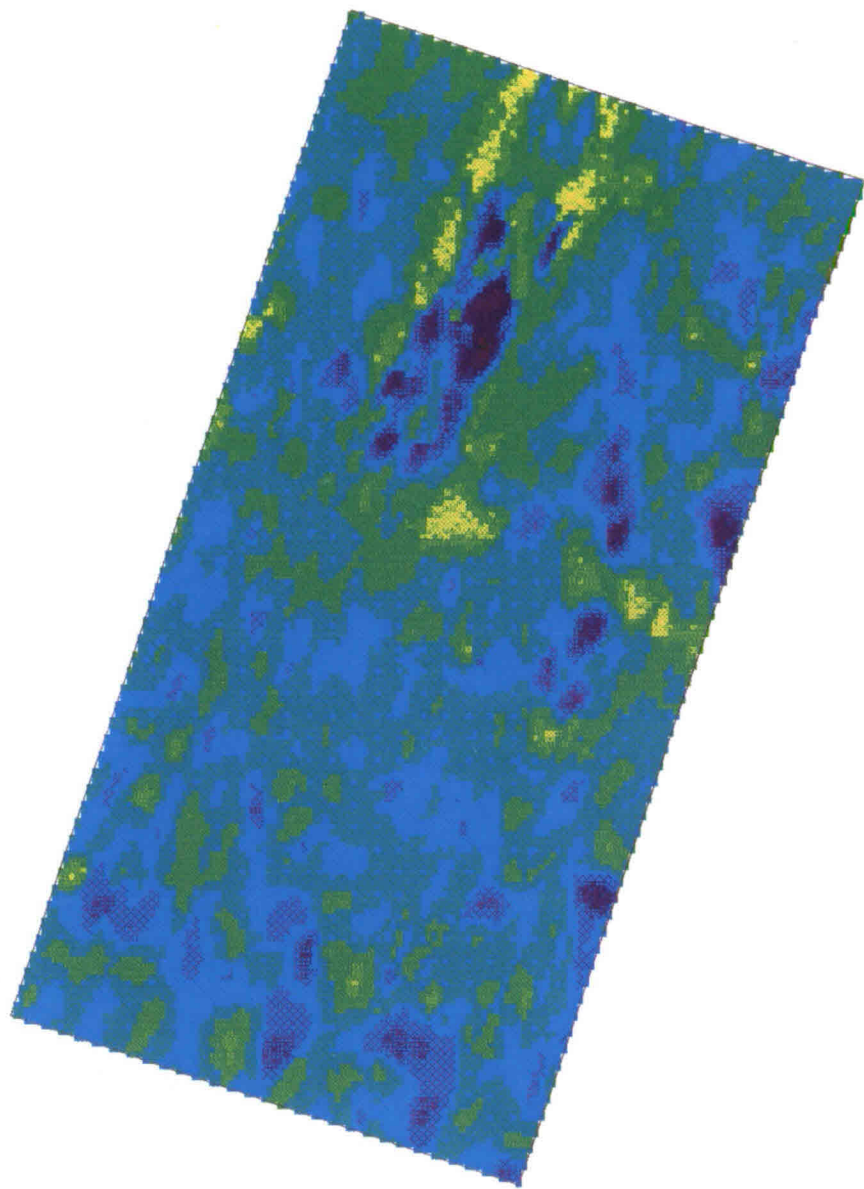


Detail van de diepte op 22 september 1992

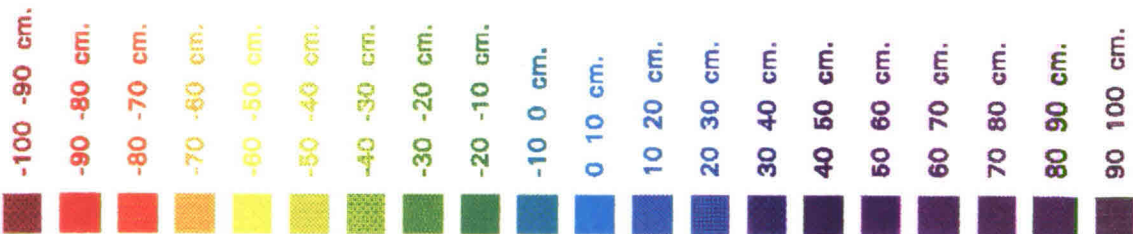
rijkswaterstaat
riza
 Afdeling AOFD

Werkdocument 93.066X

Figuur 4.2



0 10 20 30 m

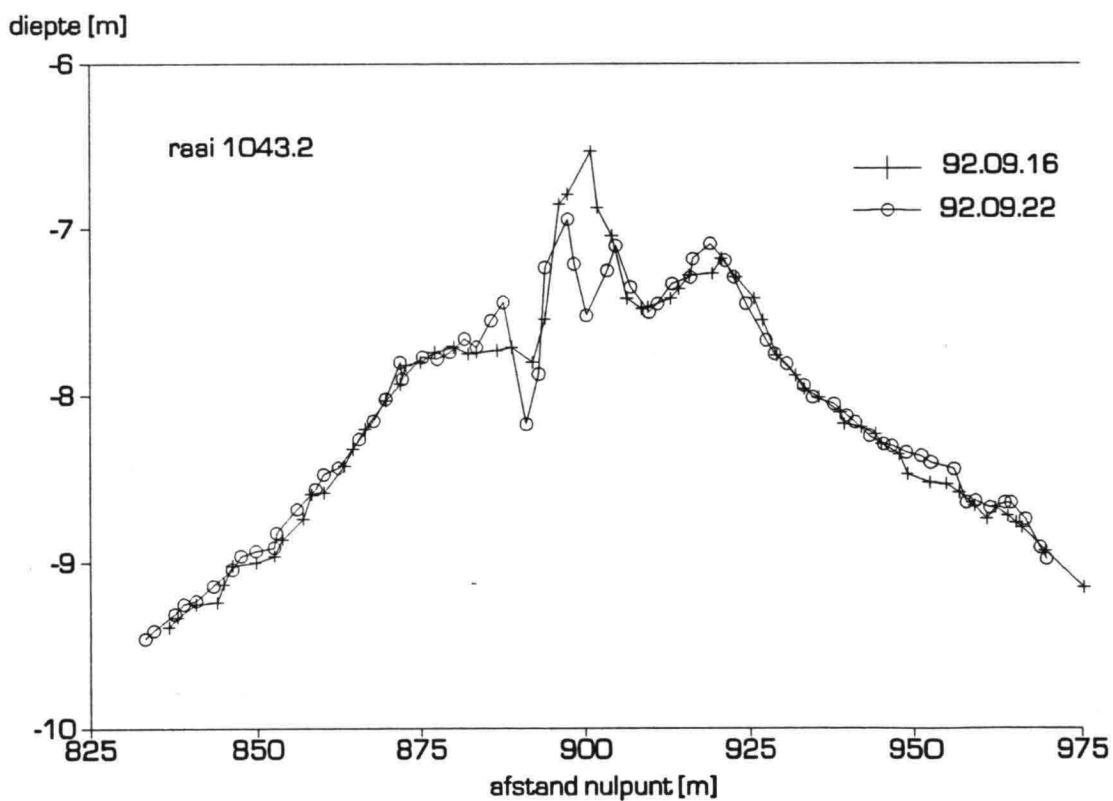
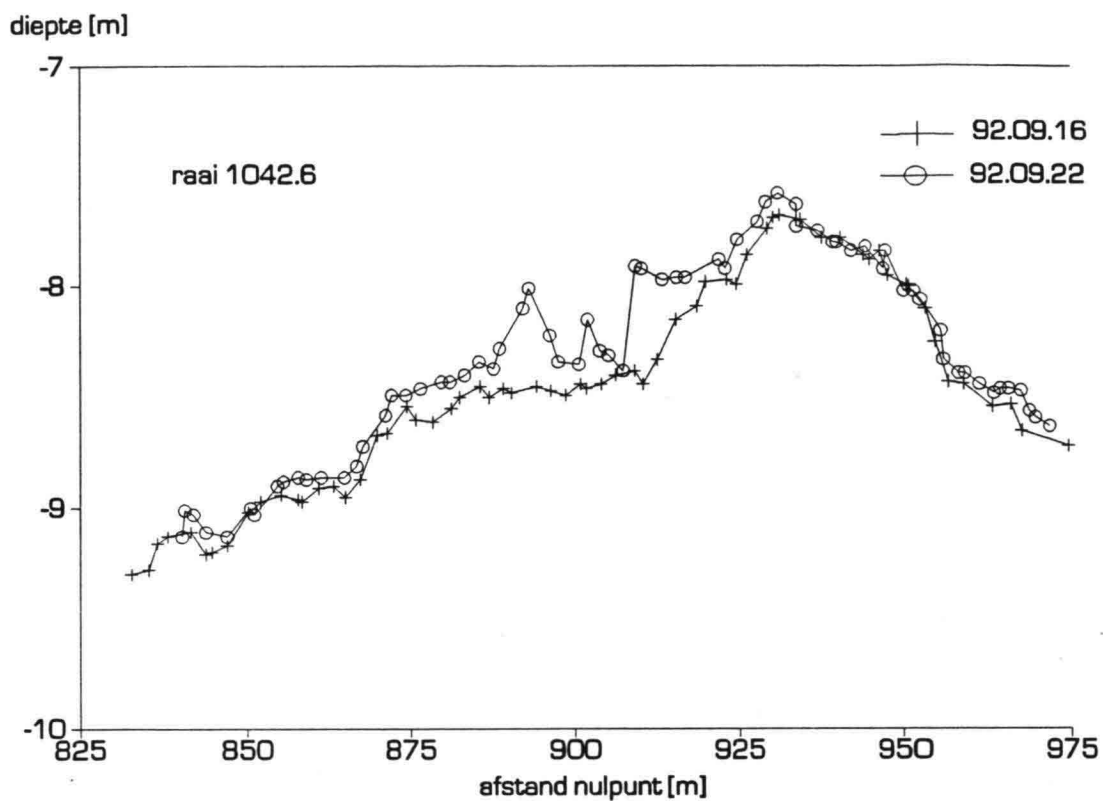


Detail van de verschillen tussen de diepte op 16 en 22 september 1992

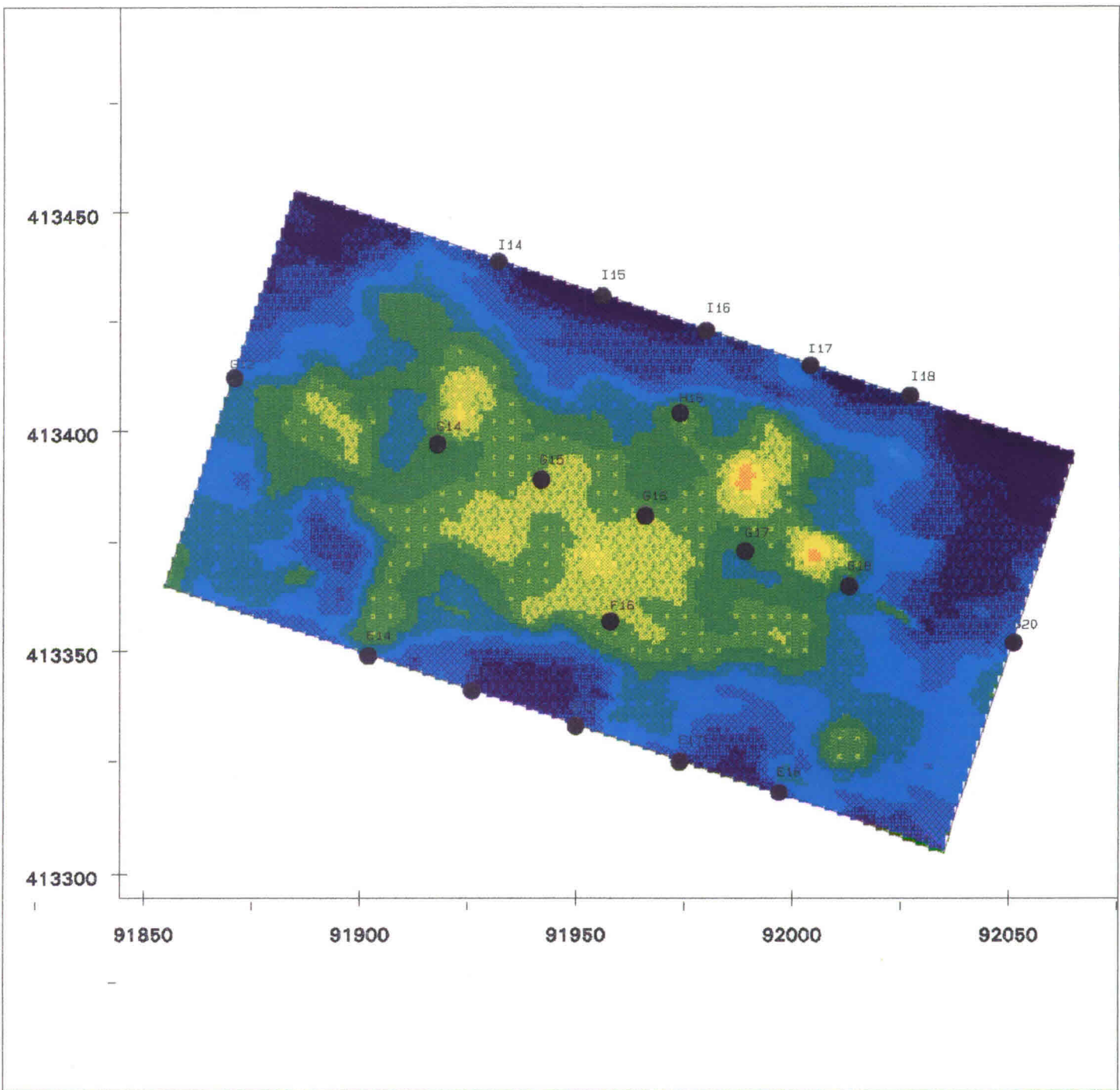
rijkswaterstaat
riza
 Afdeling AOFD

Werkdocument 93.066X

Figuur 4.3



de bodemprofielen 1042.6 en 1043.2 uit de echolodgingen, resp.
aan het begin en einde van de stort op 16 en 22 september 1992



- 600 - 620 cm.
- 620 - 640 cm.
- 640 - 660 cm.
- 660 - 680 cm.
- 680 - 700 cm.
- 700 - 720 cm.
- 720 - 740 cm.
- 740 - 760 cm.
- 760 - 780 cm.
- 780 - 800 cm.
- 800 - 820 cm.
- 820 - 840 cm.
- 840 - 860 cm.
- 860 - 880 cm.
- 880 - 900 cm.
- 900 - 920 cm.
- 920 - 940 cm.
- 940 - 960 cm.
- 980 - 1000 cm.
- 1000 - 1020 cm.

Dieprekaart 16 september 1992 met lokaties voor bodemconcentratiemetingen in proefvak

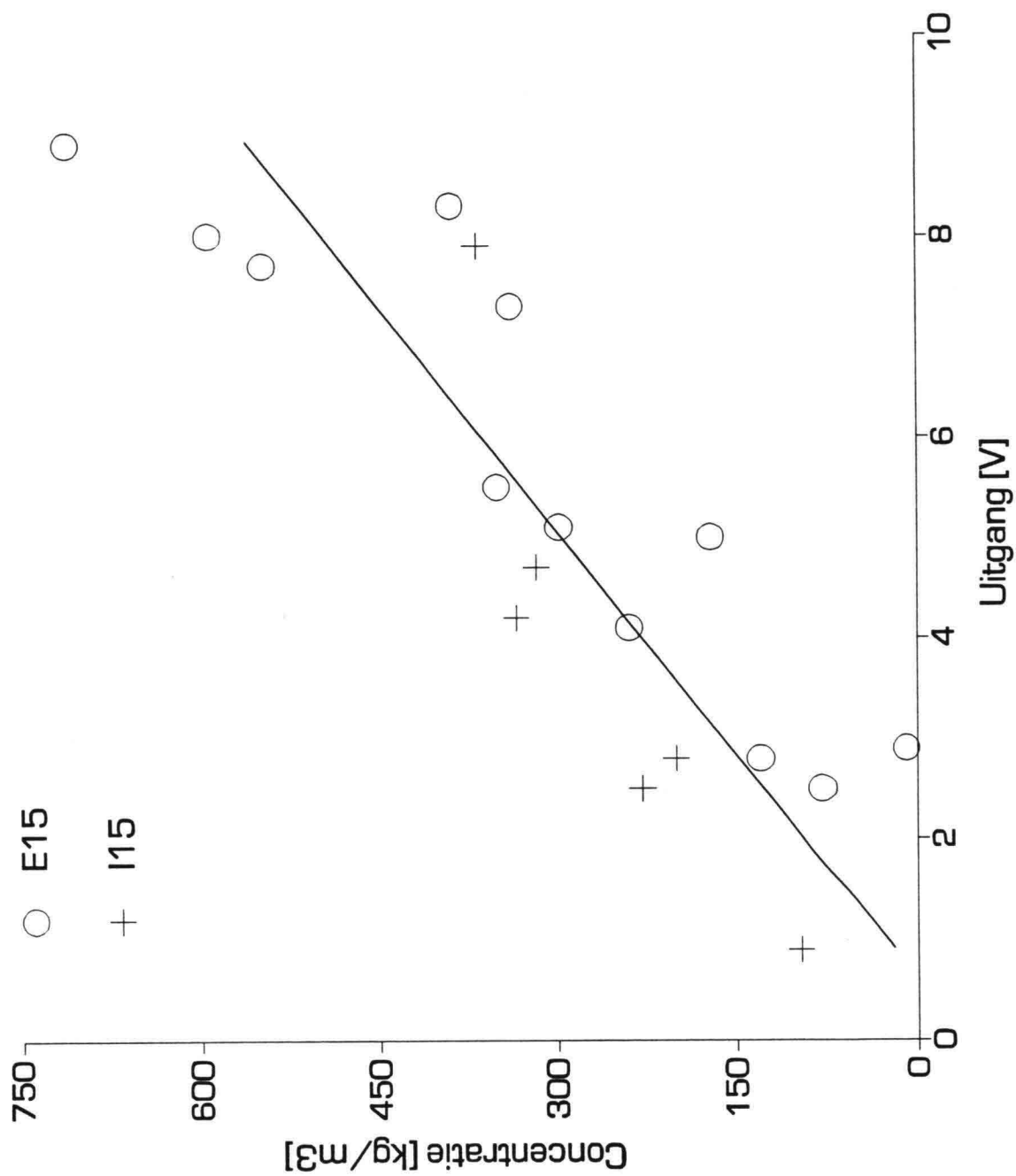
rijkswaterstaat

riza

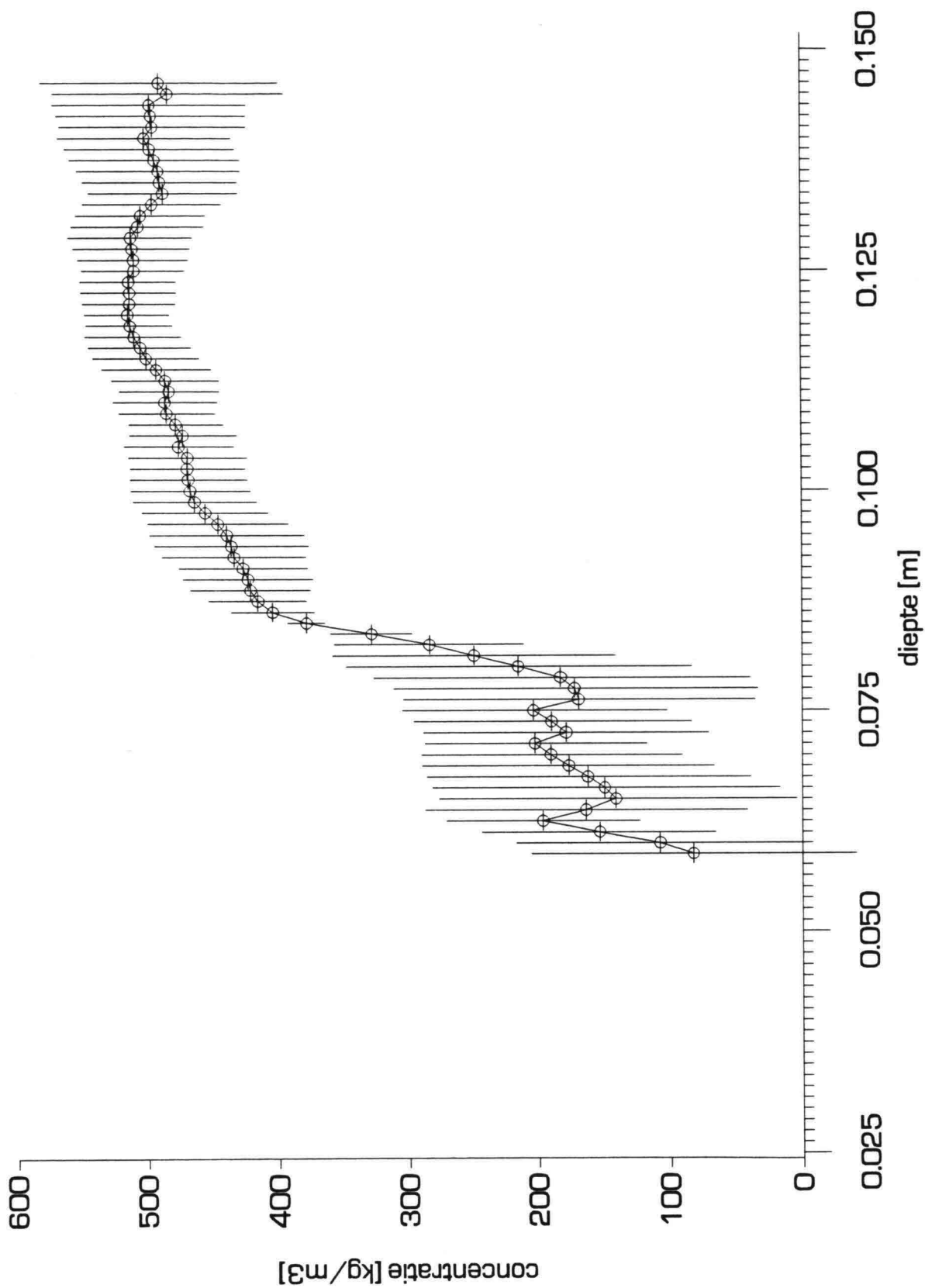
Afdeling AOFD

Werkdocument 93.068X

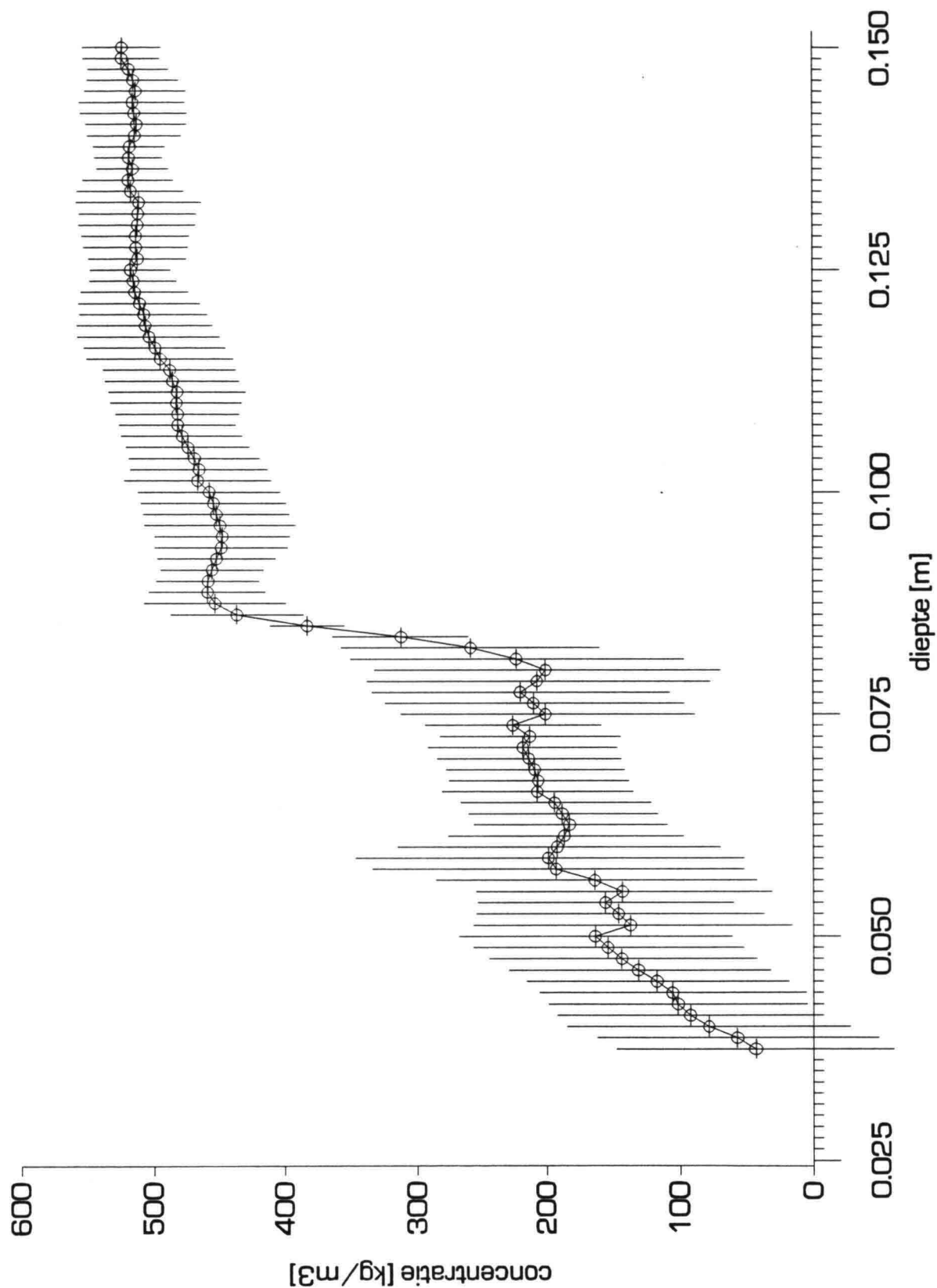
Figuur 5.1



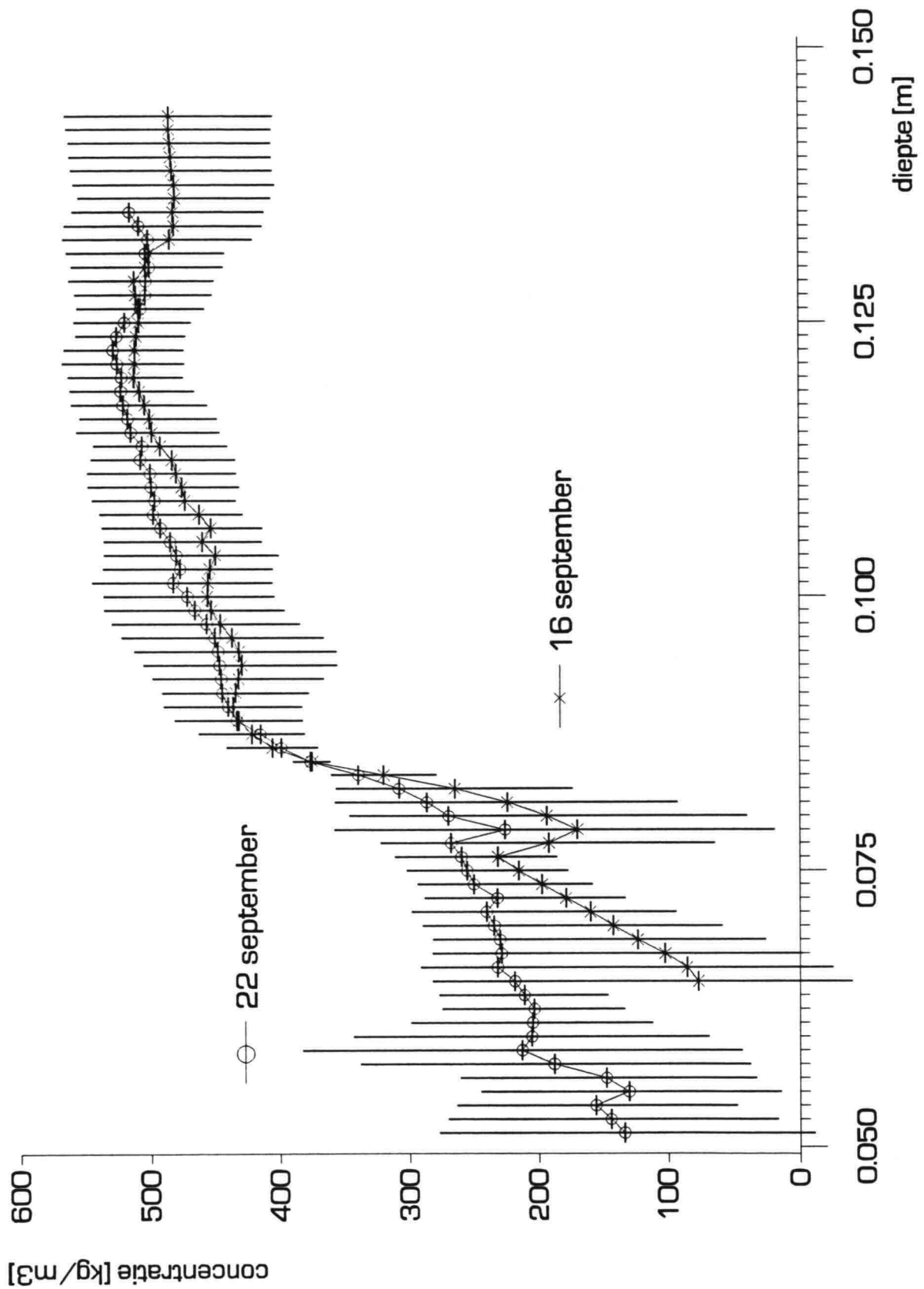
de ijklijn voor de bodemconcentratiemeter
(bepaald op de locaties E15 en I15)



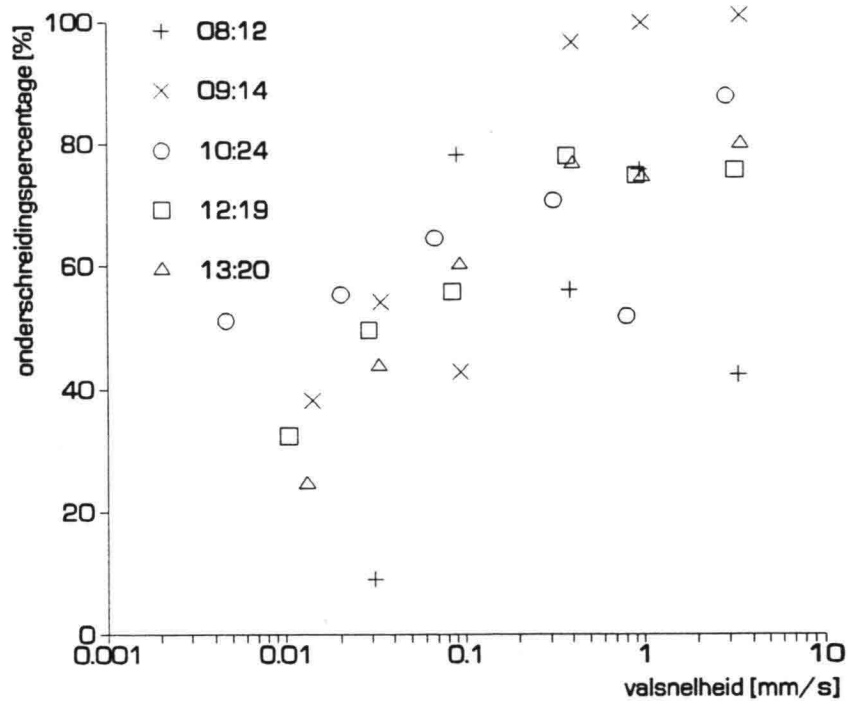
de gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding uit alle metingen op 16 september 1992 m.b.v. de akoestische concentratiemeter



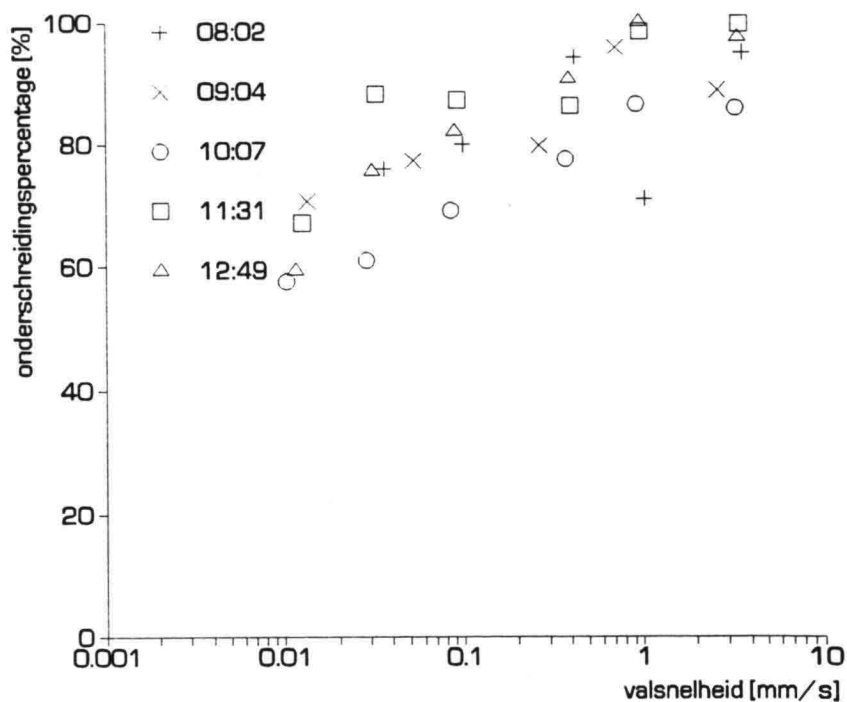
de gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding uit alle metingen op 22 september 1992 (na de eerste stort)



vergelijking tussen de gemiddelde bodemconcentratie in de toplaag van de bodem met spreiding op 16 en 22 september 1992 rond de plek waar gestort is

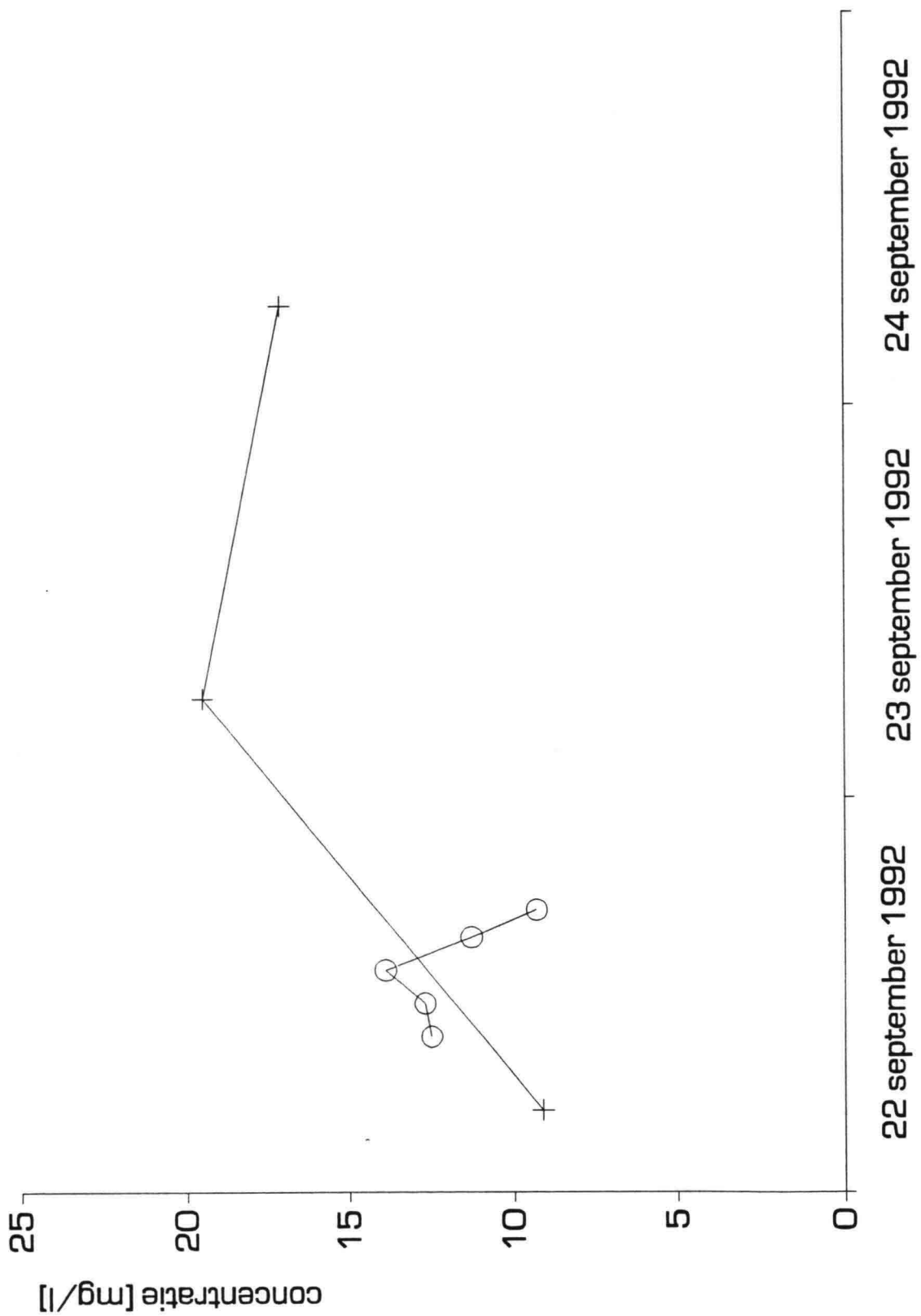


(a)

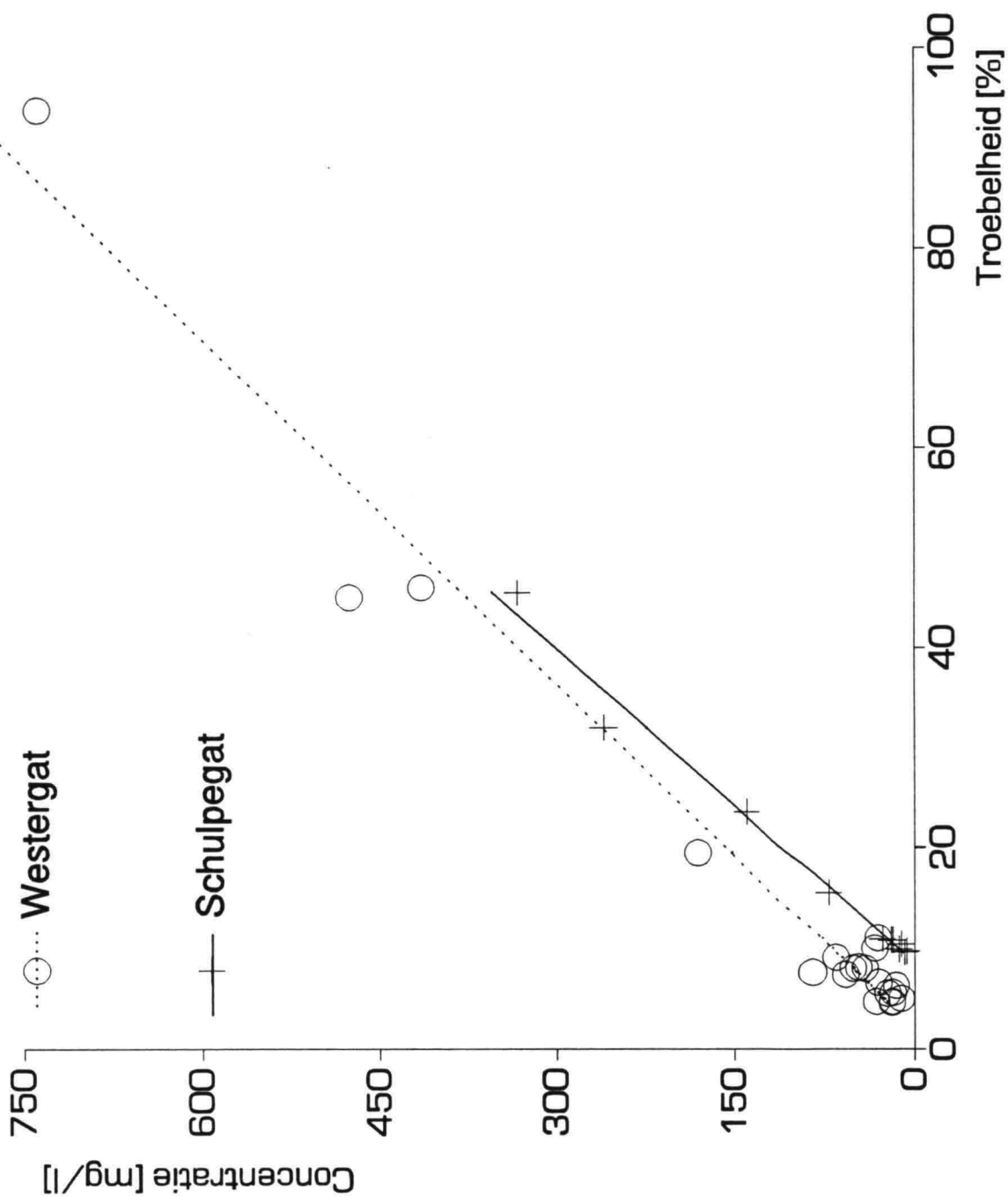


(b)

de overschrijdingspercentages voor de valsnelheid bepaald op (a) 22 en (b) 24 september 1992 met behulp van de Van Geldermalsen-buis

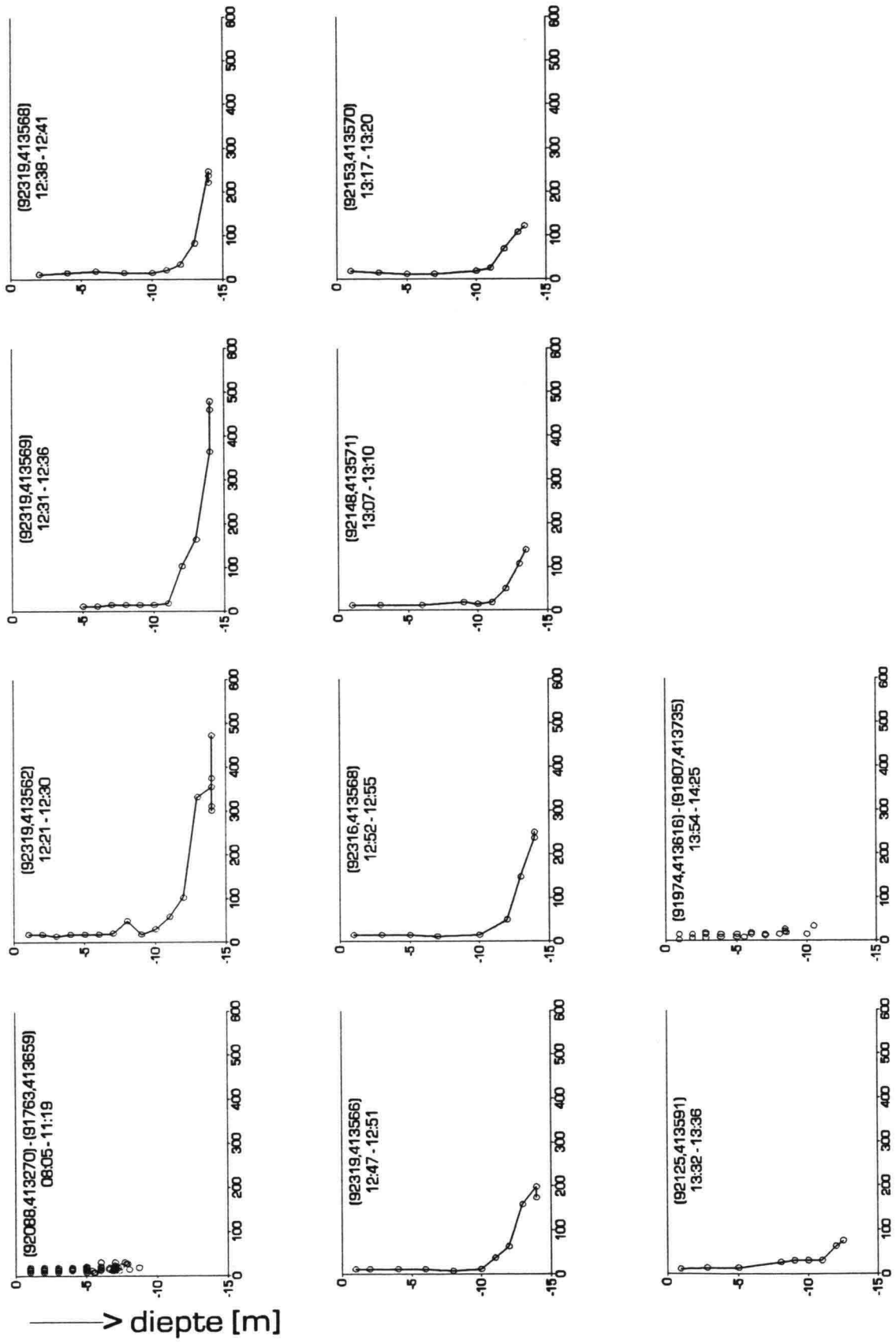


zwevend-stofconcentratie in verzamelmonsters aan het wateroppervlak nabij de stortlocatie tussen 22 en 24 september 1992 (o = 12h- en + = 3h-monsters)



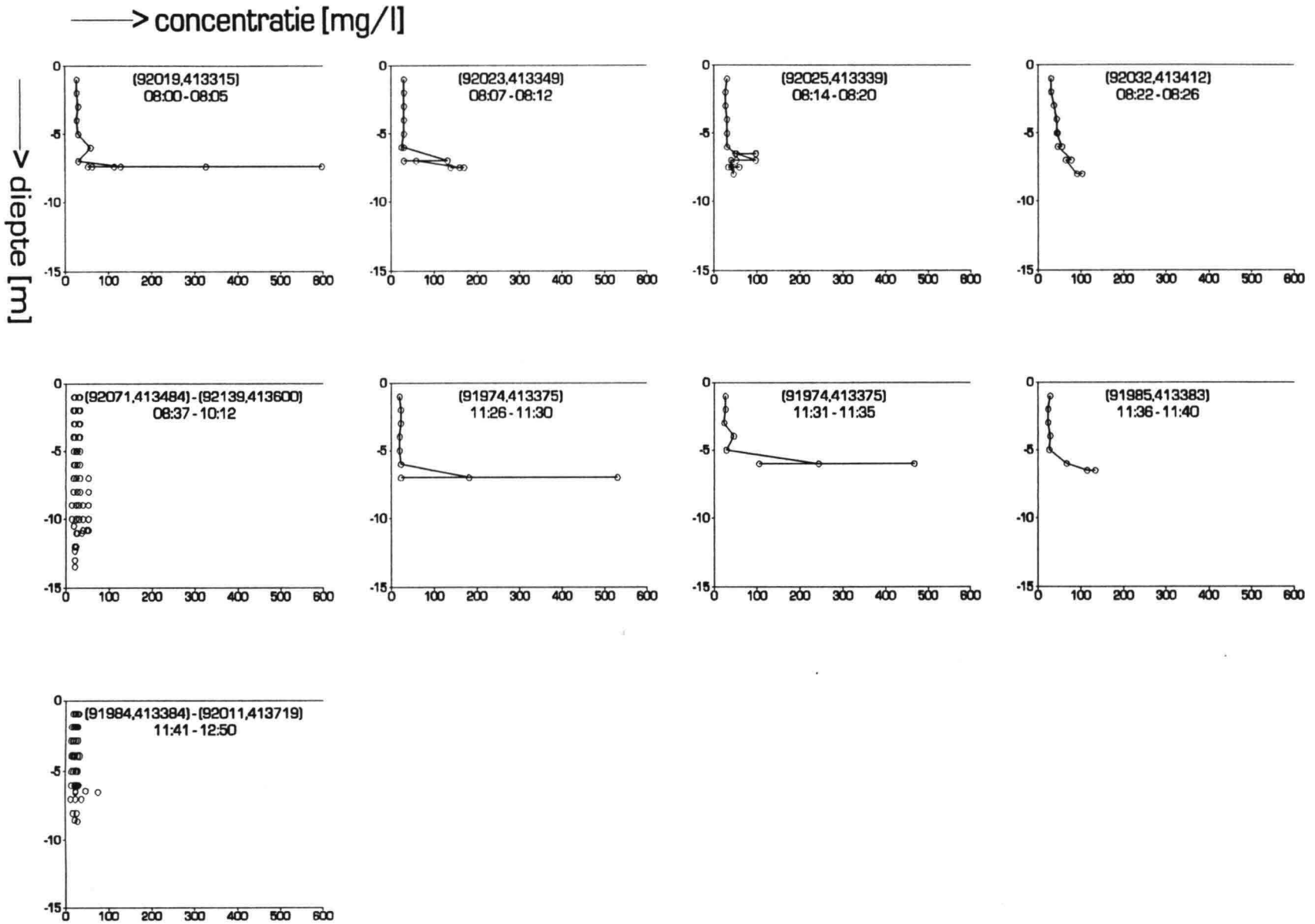
de ijklijnen voor de troebelheidsmeters aan boord van de Westergat en de Schulpegat

→ concentratie [mg/l]

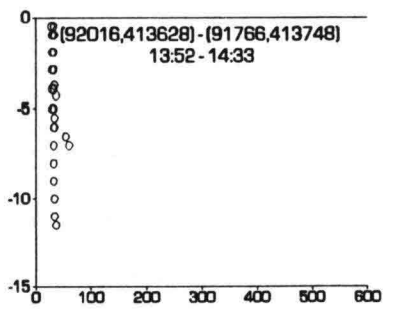
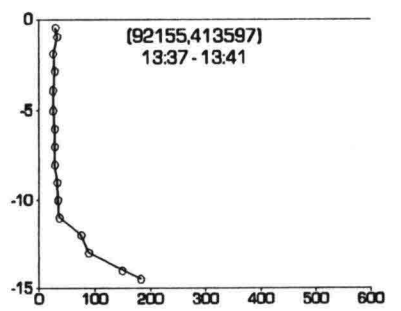
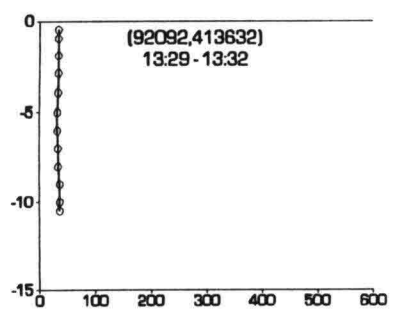
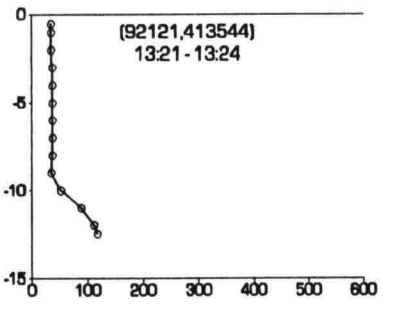
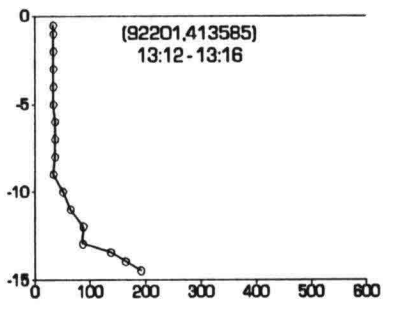
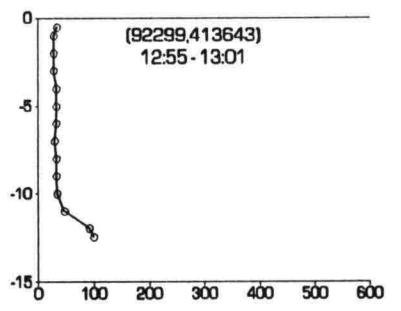
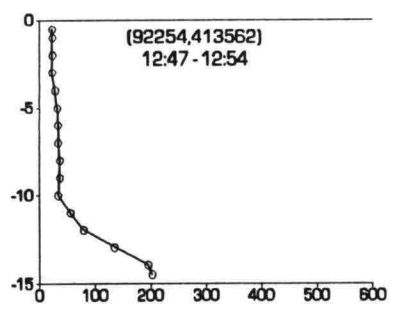
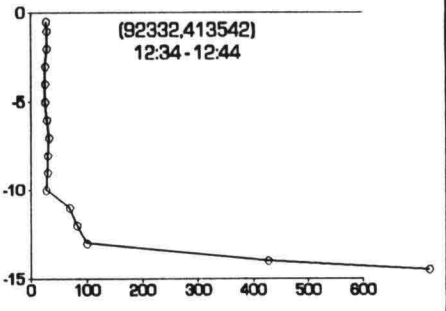
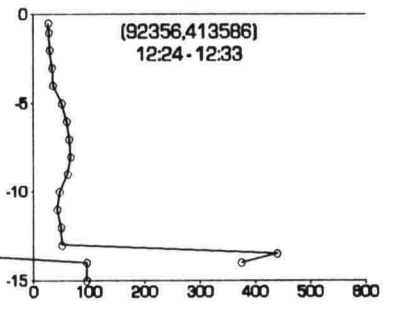
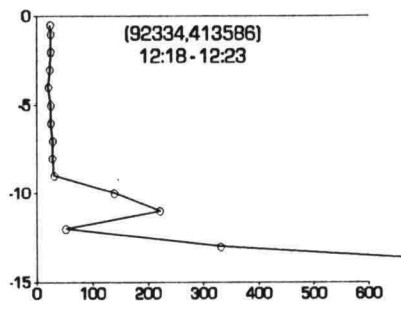
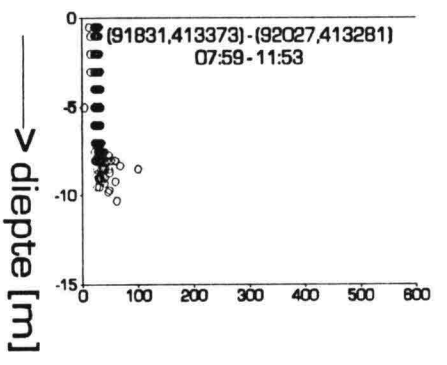


troebelheidsmeting op 22 september 1992 met de Westergat
(locatie en tijdstip per verticaal aangegeven)

troebelheidsmeting op 24 september 1992 met de Westergat
 (locatie en tijdstip per verticaal aangegeven)



→ concentratie [mg/l]

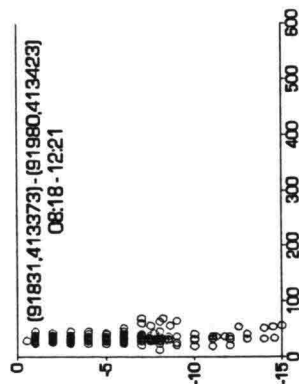
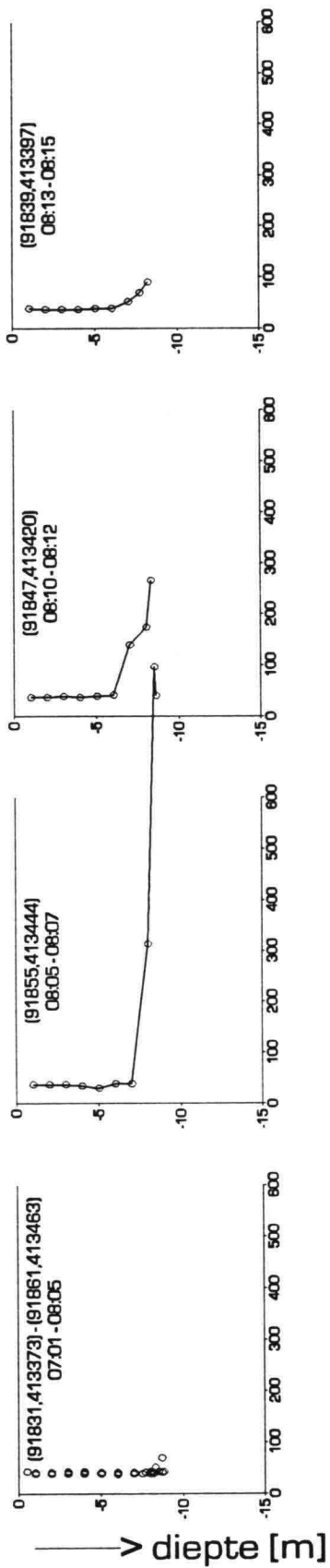


troebelheidsmeting op 22 september 1992 met de Schulpegat
(locatie en tijdstip per verticaal aangegeven)

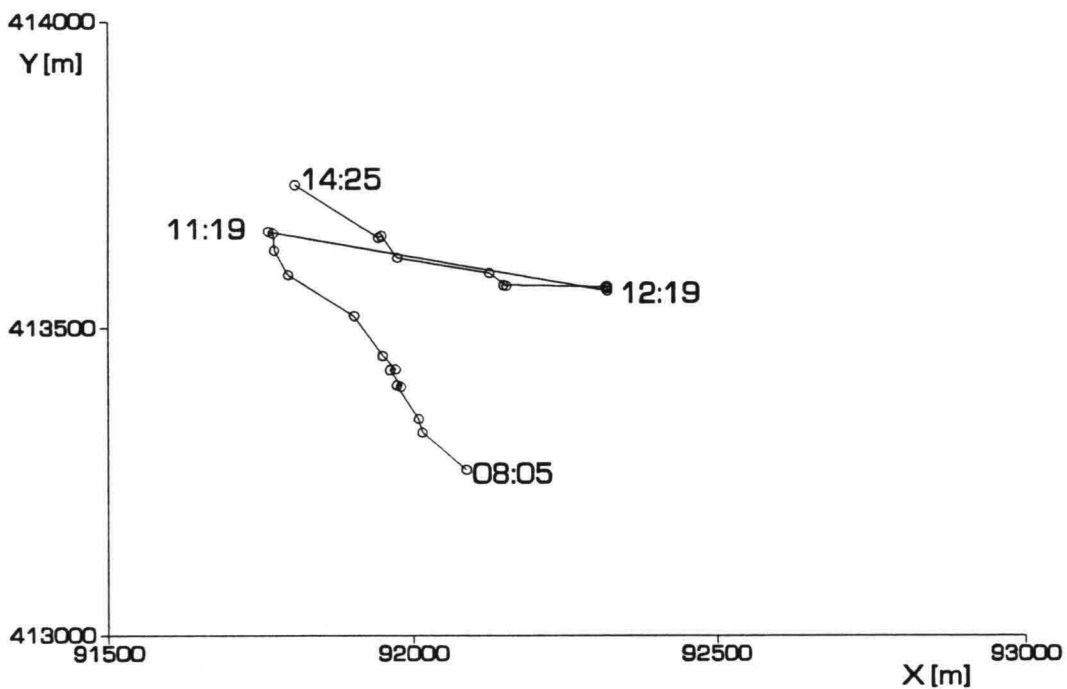
rijkswaterstaat
riza
hoofdafdeling algemeen onderzoek

RIZA werkdocument 93.066X
figuur 6.6

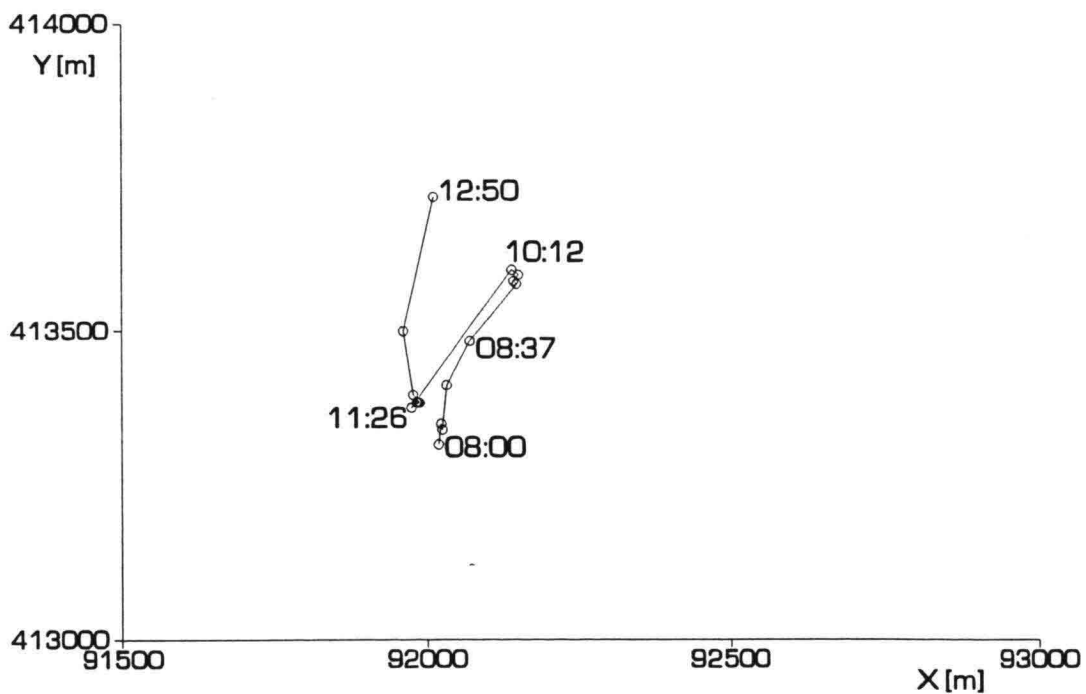
→ concentratie [mg/l]



troebelheidsmeting op 24 september 1992 met de Schulpegat
(locatie en tijdstip per verticaal aangegeven)

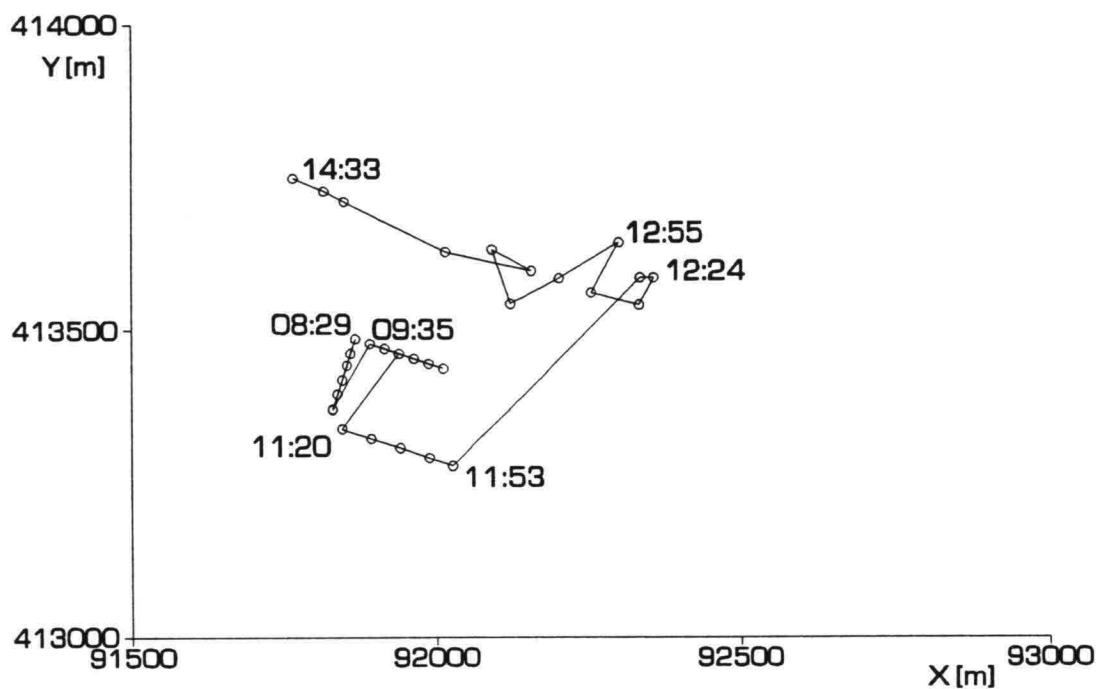


(a)

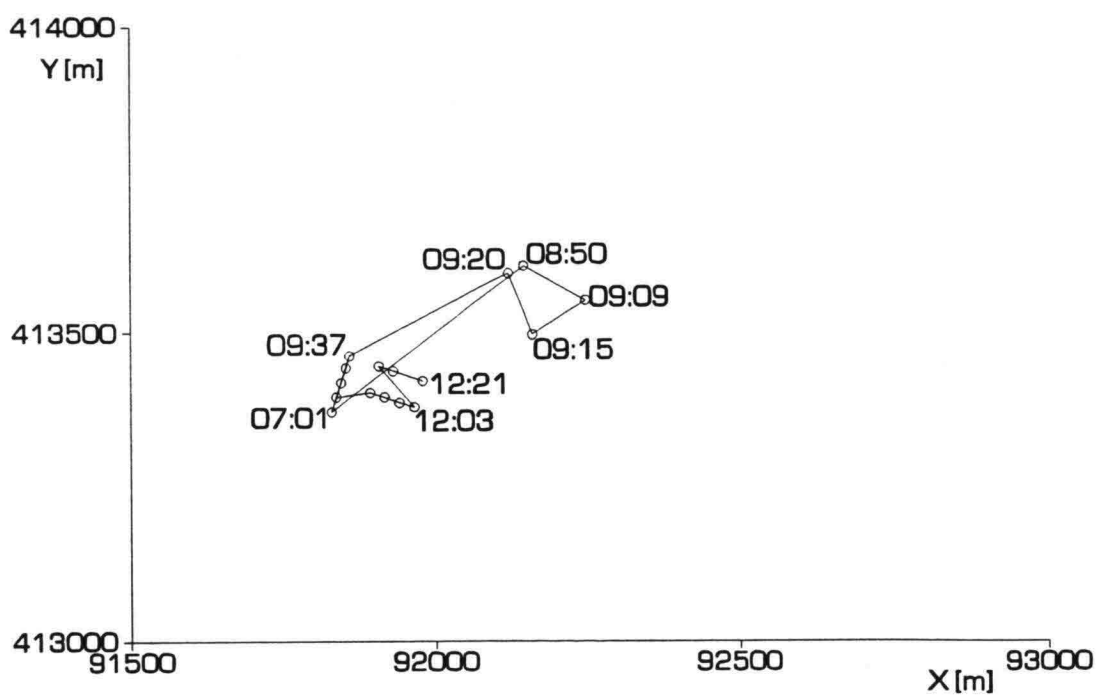


(b)

vaartocht van de Westergat op (a) 22 september 1992
en (b) 24 september 1992

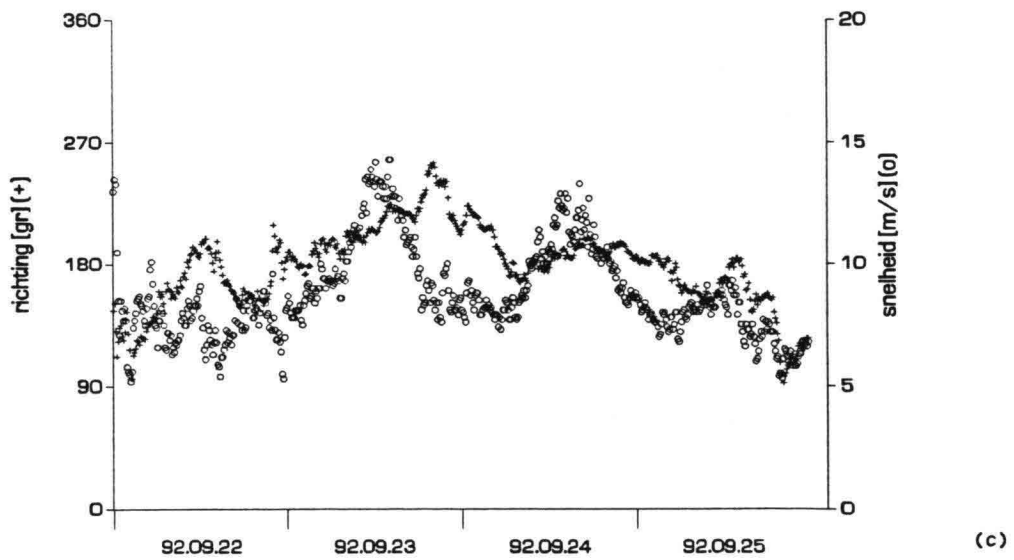
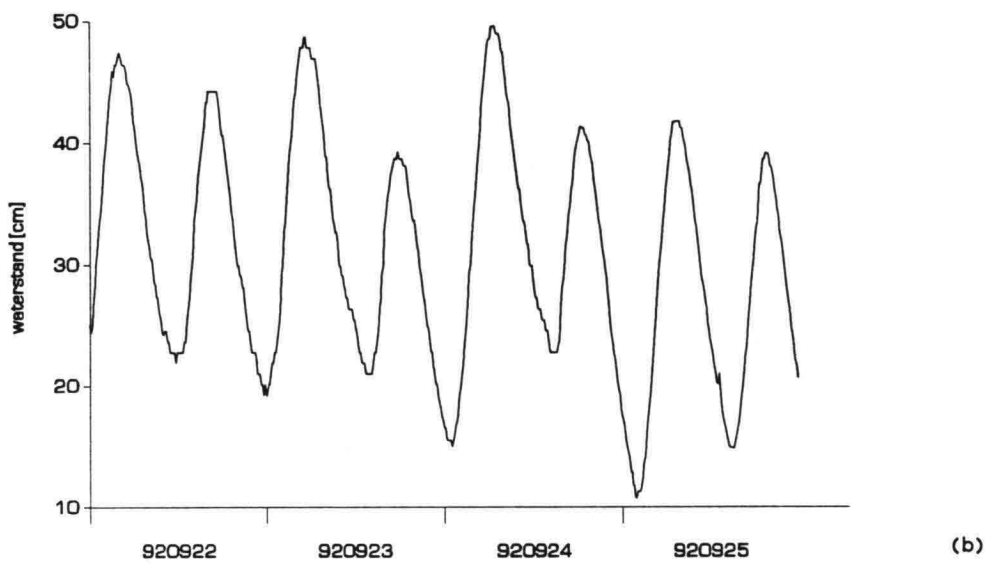
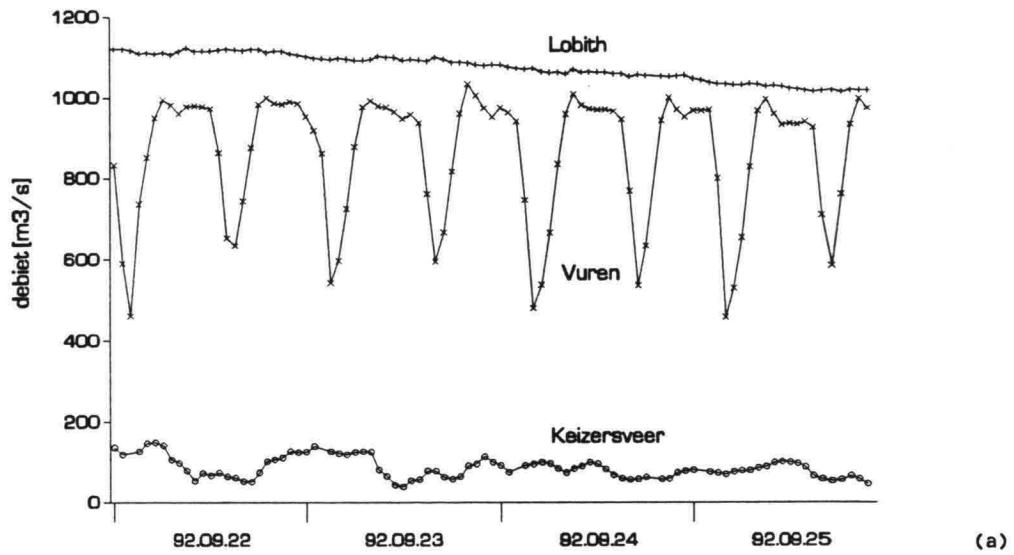


(a)

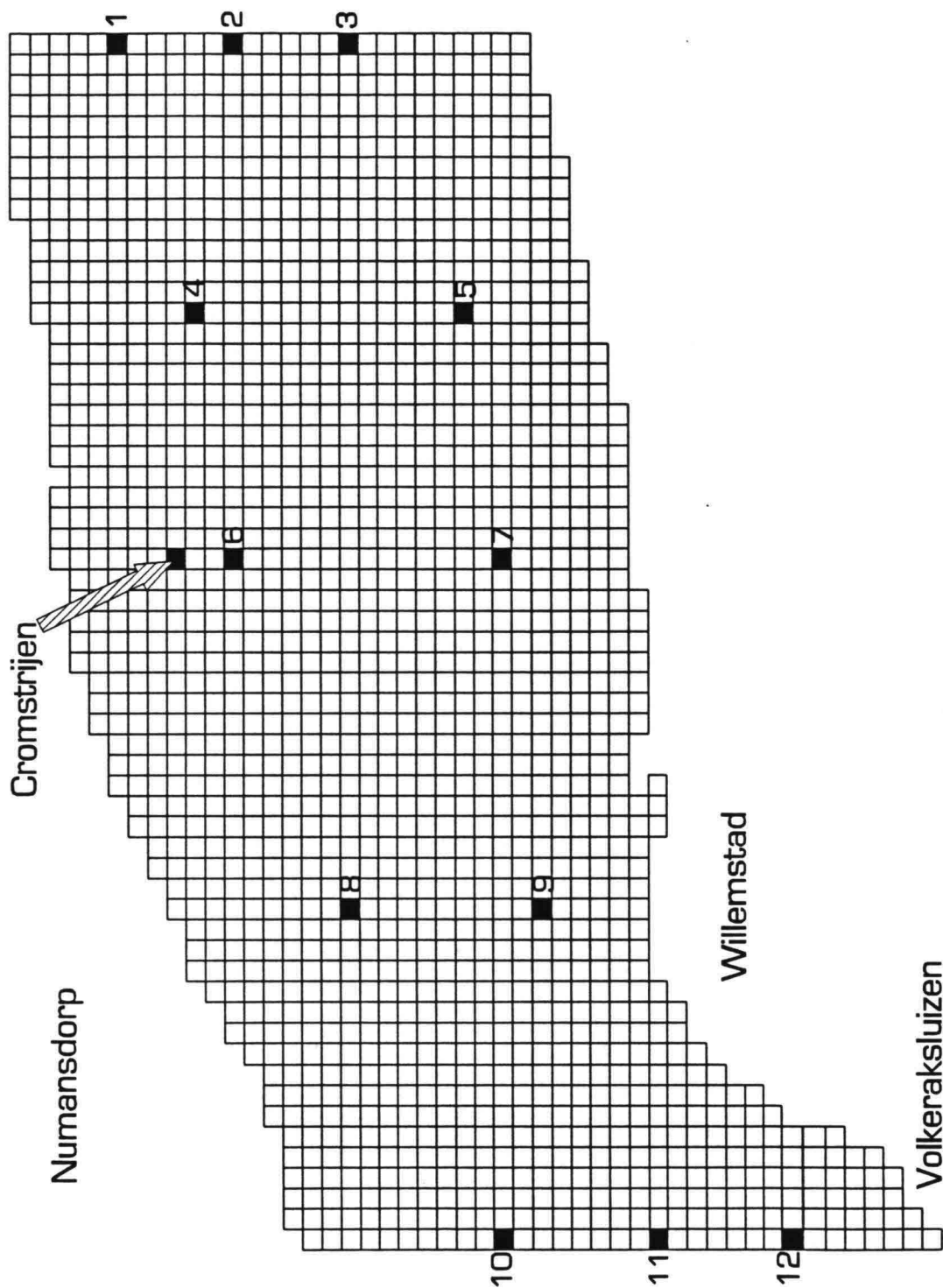


(b)

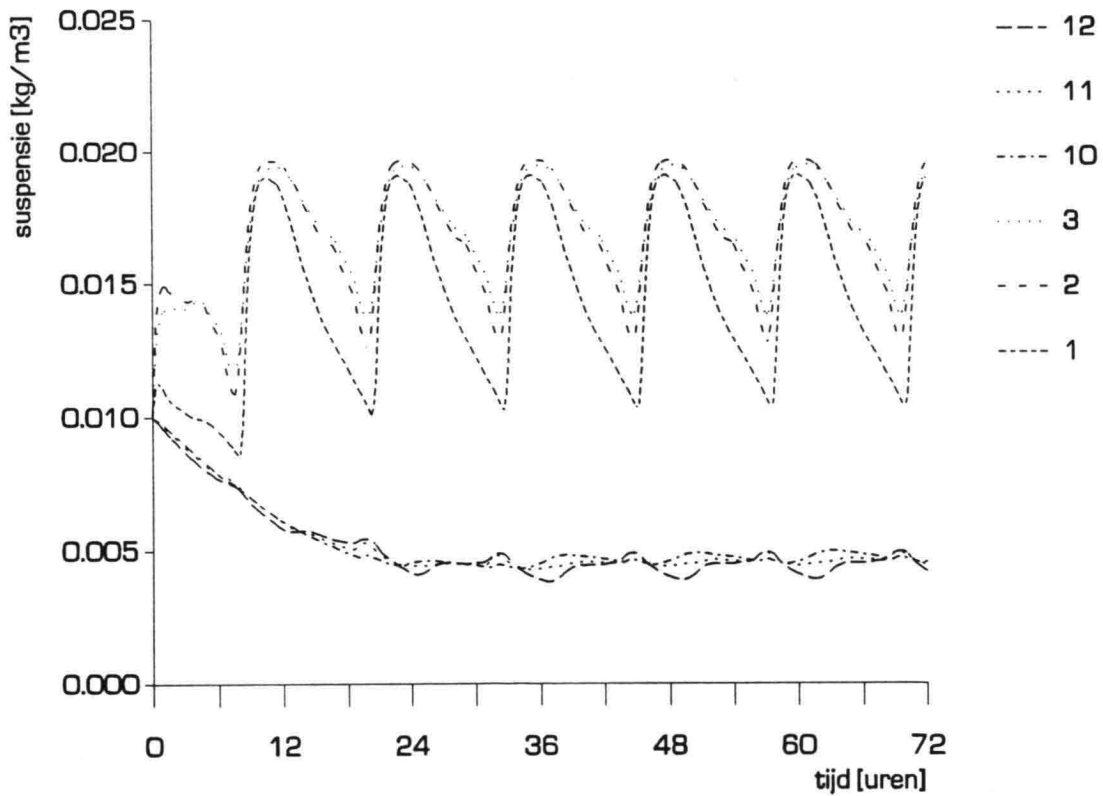
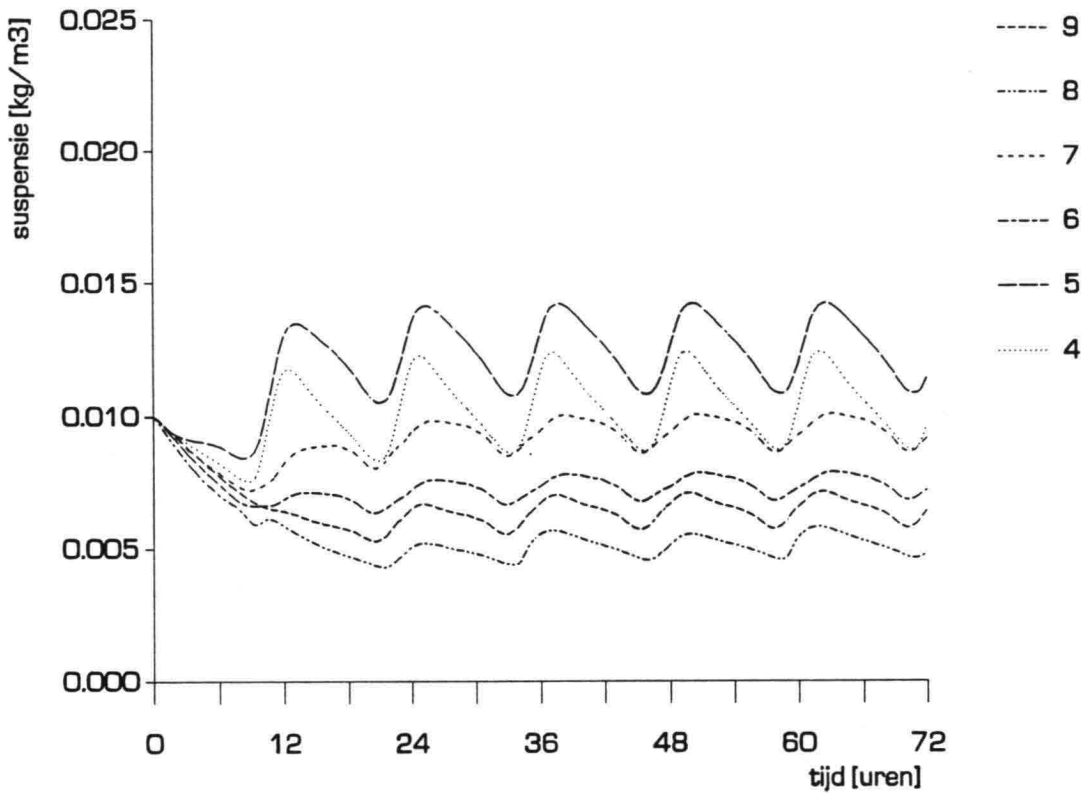
vaartocht van de Schulpegat op (a) 22 september 1992
en (b) 24 september 1992



omgevingsparameters in de periode 22-25 september 1992
 (a) debiet [m^3/s] bij Lobith, Keizersveer en Vuren, (b) geïnterpoleerde waterstand [cm] bij Cromstrijen
 en (c) windrichting en -snelheid [gr, m/s] bij Hoek van Holland



overzicht van het modelgebied van het slib-detailmodel met daarin
aangegeven de stortlocatie en de punten voor presentatie

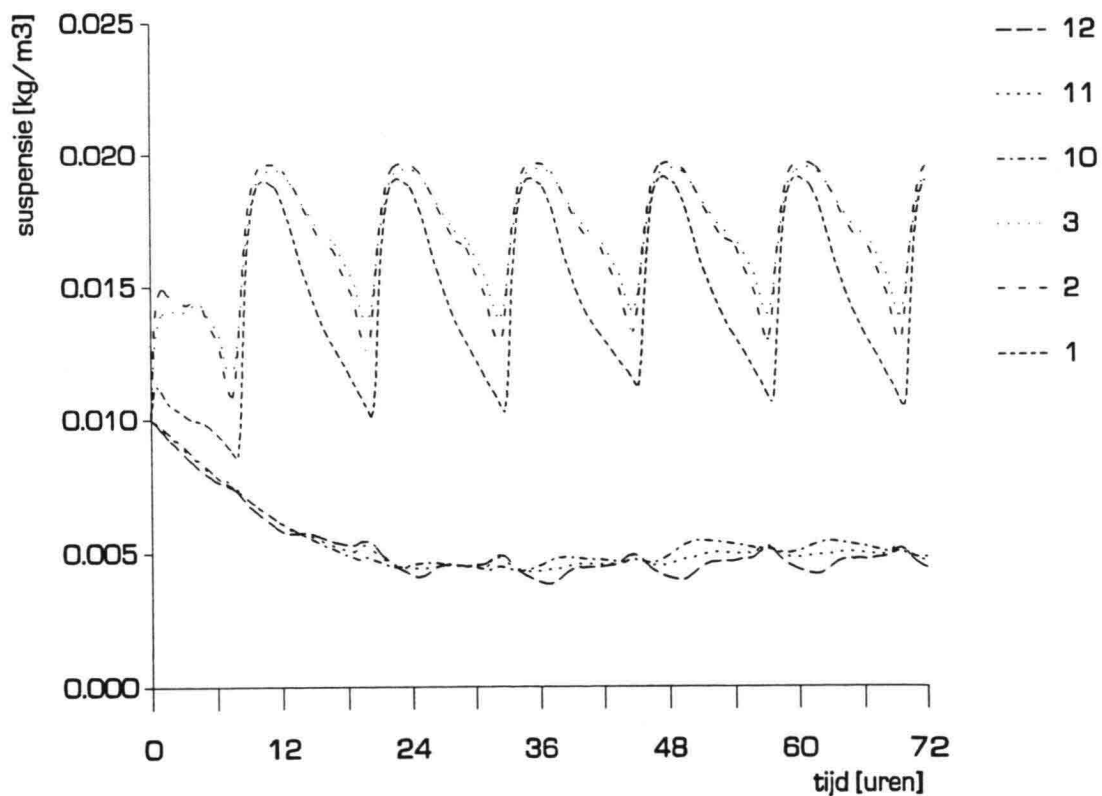
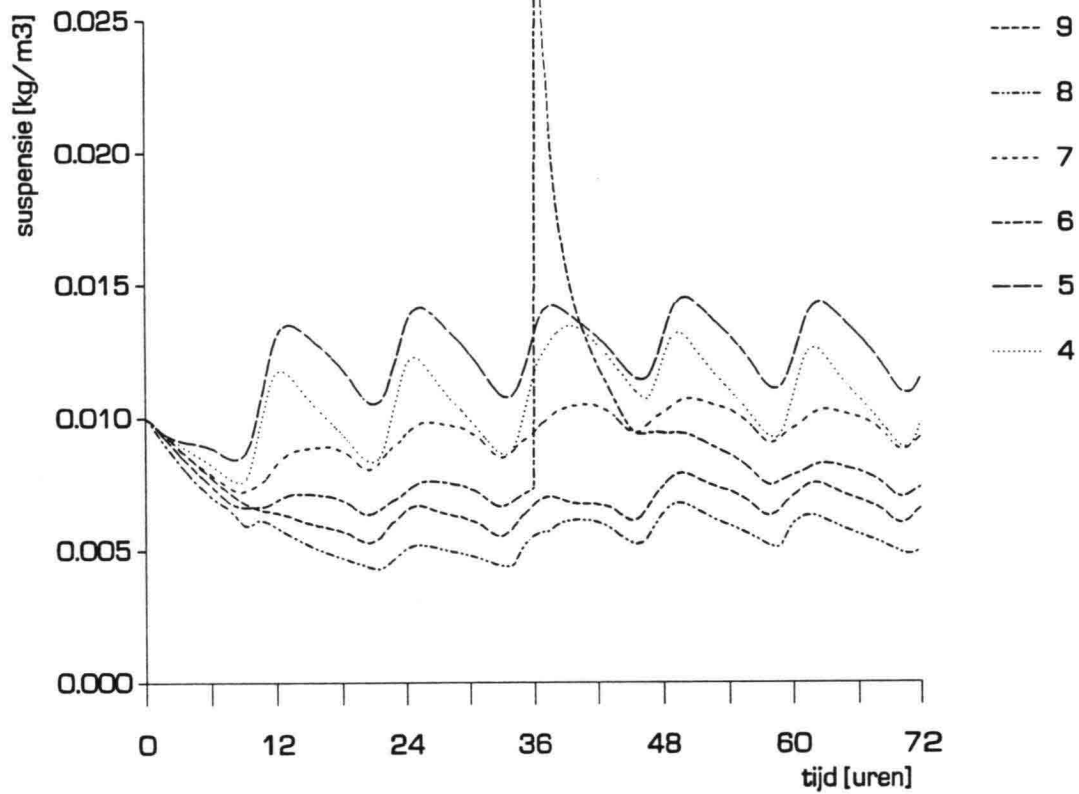


simulatie van slibverspreiding
(zonder een lozing op de stortlocatie)

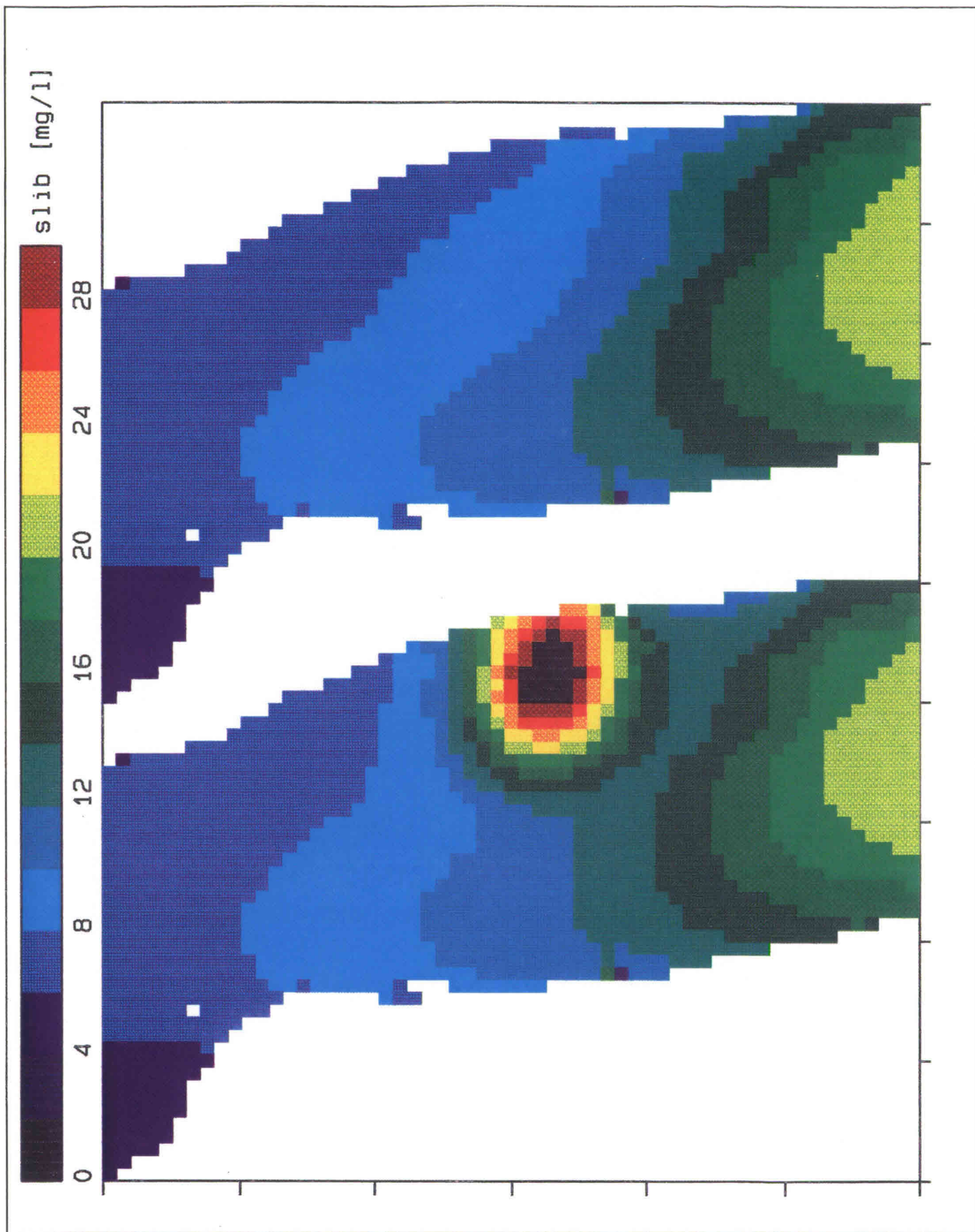
rijkswaterstaat
riza
hoofdafdeling algemeen onderzoek

RIZA werkdokument 93.066X

figuur 8.2



simulatie van slibverspreiding met een lozing van 300 kg/s
over 10 minuten op de stortlocatie



suspensieconcentratie 1 uur na stort voor (a) zonder en (b) met lozing

rijkswaterstaat

riza

hoofdafdeling algemeen onderzoek

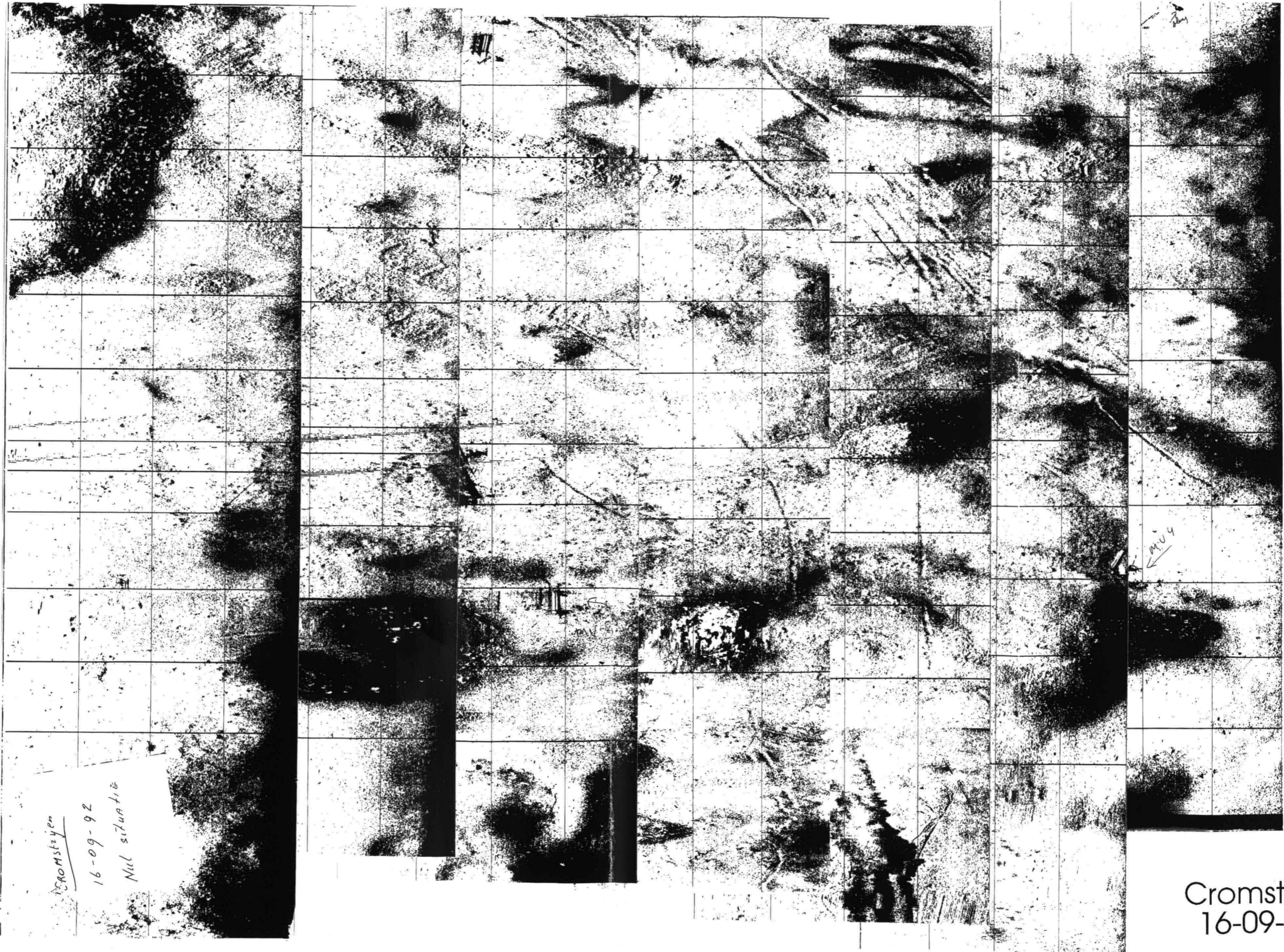
RIZA werkdocument 93.066X

figuur

8.4

92.07.08 Oriëntatie Valbom-monsters beschreven	De Nes
92.08.27 Testmeting Acoustische Concentratie Probe (ISAC)	Smit Waalhaven I
92.09.16 T₀-meting Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926290 en Side-looking Sonar	De Nes De Rasse
92.09.22 1^e-meting, stort Fomalhaut in proefvak Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926291 en Side-looking Sonar Video-in-situ systeem (VIS) Van Geldermalsenbuis en troebelheid Troebelheid Stroomsnelheid (continu) en golfhoogte	De Nes De Rasse Westergat Westergat Schulpegat Wrakkenbak
92.09.23 1^e-herhaling Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926292 en Side-looking Sonar	De Nes De Rasse
92.09.24 2^e-meting, stort Fomalhaut en Maria in proefvak Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926335/926336 en Side-looking Sonar Video-in-situ systeem (VIS) Van Geldermalsenbuis en troebelheid Troebelheid Stroomsnelheid (continu) en golfhoogte	De Nes De Rasse Westergat Westergat Schulpegat Wrakkenbak
92.09.25 2^e-herhaling Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926337 en Side-looking Sonar	De Nes De Rasse
92.10.01 T_{eind}-meting Acoustische Concentratie Probe (ISAC) Detailloding 926338 en Side-looking Sonar	De Nes De Rasse

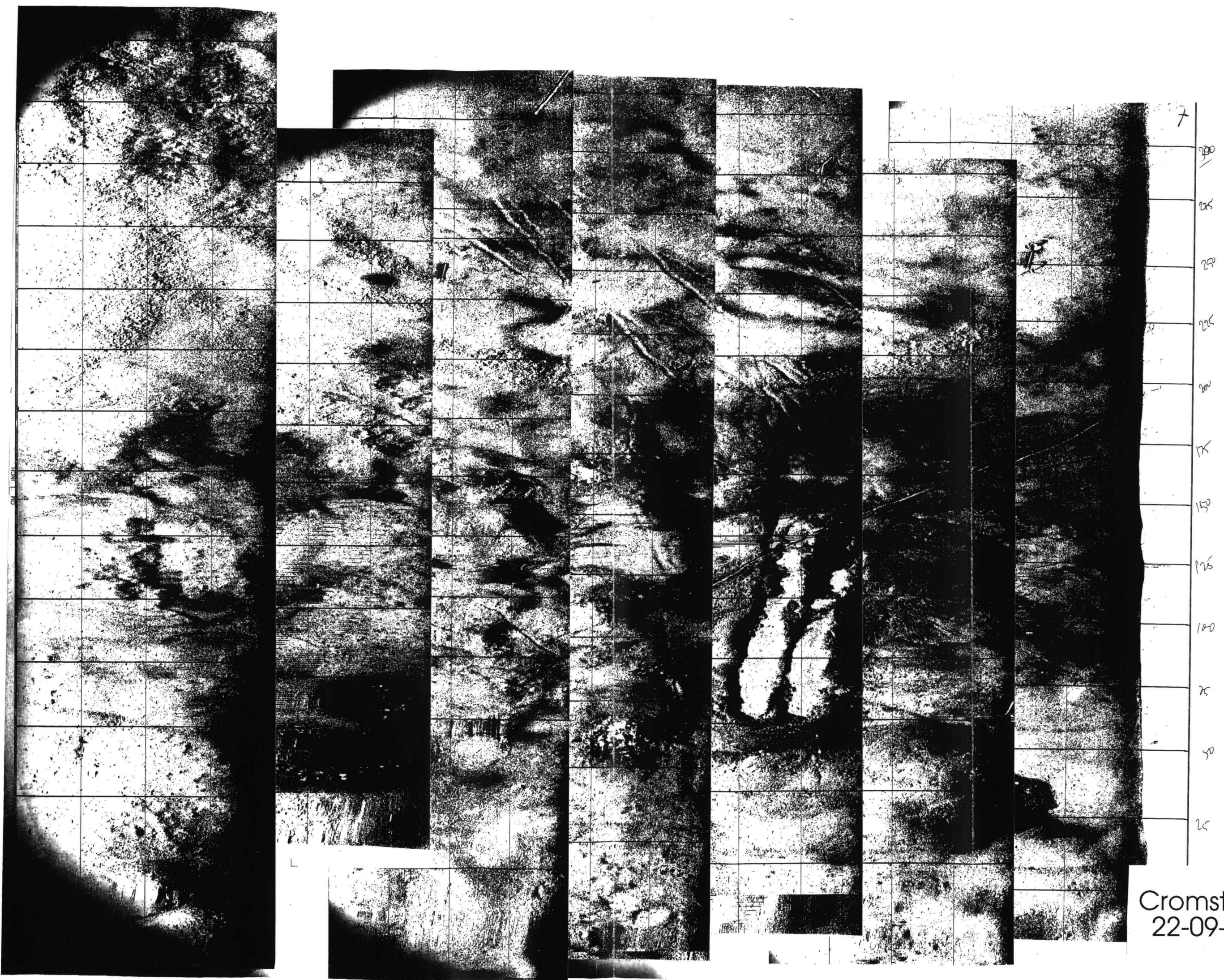
overzicht metingen Cromstrijen
1992



Cromstrijen
16-09-92
Nid situatie

MU 4

Cromstrijen
16-09-'92



7

120
115
110
105
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25

Cromstrijen
22-09-'92

