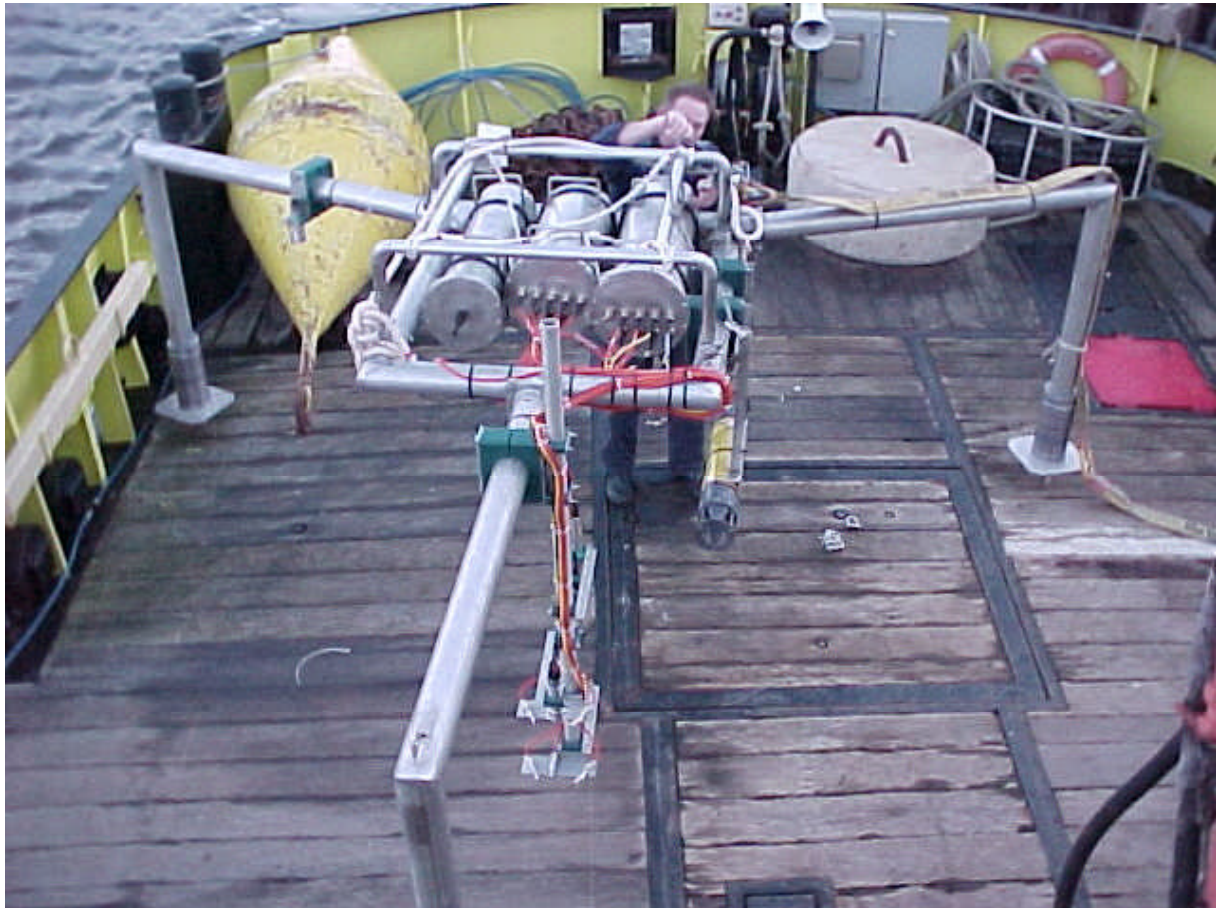


De Autonome Meetfaciliteit voor metingen aan waterbeweging, zand- en slibtransport

Testrapport en leidraad voor toepassing



Dr. W.B.M. ten Brinke, april 2001

Inhoudsopgave:

	<i>blz.</i>
0. Voorwoord	3
1. Inleiding	4
2. Specificaties meetfaciliteit	5
3. Doelstelling leidraad	9
4. Uitvoering testmeting	9
4.1. Testlokatie en meetprotocol	9
4.2. Het programmeren van de meetfaciliteit	10
4.3. Opbouw van het frame	11
4.4. De plaatsing van het frame	11
4.5. Het uitlezen en het format van de data	15
5. Resultaten testmeting	16
5.1. Statusinformatie: oriëntatie en helling	16
5.2. Waterbeweging: waterstand en stroomsnelheid	17
5.3. Zandconcentratie en -transport	23
5.4. Slibconcentratie en -transport	24
5.5. Deeltjesgrootteverdeling	26
5.6. Bodemligging	29
5.7. Stabiliteit meetframe	30
6. Discussie toepassingsmogelijkheden	31
6.1 Instelbaarheid	31
6.2 Meetbereik en meetresolutie	31
6.3 Statusinformatie	32
6.4 User-interface	32
6.5 Montage, plaatsing en ontmanteling	32
6.6 Extra: montage ADCP's	33
7. Eigendom en Beheer meetfaciliteit na oplevering	34

Voorwoord

Dit rapport is de uitwerking van een testmeting met de Autonome Meetfaciliteit, uitgevoerd voor de kust van Walcheren in november 2000. Met het project dat heeft geleid tot de bouw van deze meetfaciliteit is een aantal jaren geleden begonnen in het kader van een LWI samenwerkingsproject tussen een aantal RWS diensten en enkele marktpartijen. Op basis van een enquête naar de behoefte aan informatie over sedimentbeweging bij gebruikers van dergelijke informatie en een verkenning van beschikbare meettechnieken op de markt, is een plan opgesteld voor de bouw van een Autonome Meetfaciliteit. Na het wegvallen van LWI-financiering halverwege de bouw, is de afronding van het project met uitsluitend financiering vanuit Rijkswaterstaat alsnog voltooid. De nu beschikbare Meetfaciliteit is daarmee uitsluitend eigendom van Rijkswaterstaat.

Het overgrote deel van de Regionale Directies en Specialistische Diensten van Rijkswaterstaat die rivieren of kustwateren in hun beheersgebied of onderzoeksactiviteiten hebben, heeft een financiële, en vaak ook inhoudelijke bijdrage, geleverd aan de totstandkoming van de Meetfaciliteit. Hiermee hebben deze partners recht op het gebruiken van het meetsysteem voor hun projecten. In hoofdstuk 7 van dit rapport is aangegeven hoe deze inzet het best kan worden georganiseerd.

In het oorspronkelijke project was ook een plaats toebedacht voor de uitvoering van testmetingen en het schrijven van een testrapport. Met als doel van het testrapport: aan de toekomstige gebruikers een overzicht geven van de mogelijkheden en beperkingen van het meetsysteem. Met het wegvallen van de LWI-financiering viel in principe ook de basis voor het op te leveren testrapport weg. Het RIZA heeft de verantwoordelijkheid op zich genomen om eerdere afspraken met mede-financiers, gemaakt in LWI-kader, alsnog na te komen. Dit heeft geresulteerd in de afronding van het project inclusief de oplevering van dit testrapport. Het RIZA heeft hierbij de ondersteuning gehad van een aantal mensen die ik hier graag wil bedanken:

Tijdens de hele rit, van de eerste ideeën tot en met de uitwerking van dit rapport (deels voormalig) medewerkers van het RIKZ, in het bijzonder Maarten Ebben, Henk Cox en Hans Roberti.

In het beginstadium, voor een kritische blik op de mogelijkheden van autonoom meten: technici van het laboratorium van de afdeling Fysische Geografie van de Universiteit Utrecht, in het bijzonder Theo Tiemissen.

In de begeleiding tijdens de LWI-fase: vele medewerkers van betrokken regionale directies van Rijkswaterstaat (zie hoofdstuk 7).

Bij de uitvoering van de testmetingen: medewerkers van de Meetinformatiedienst van de Directie Zeeland, in het bijzonder Imre Schep, Jan van 't Westeinde en de bemanning van de 'Lodijcke'.

Bij het schrijven van dit rapport: Hans Roberti (RIKZ: bijdrage LISST) en Aart Kroon (UU: bijdrage interferentie frame - stroom).

Bij verschillende fasen van de bouw van het meetsysteem: medewerkers van WL|Delft Hydraulics, in het bijzonder Arjen Schaafsma (trekker in de LWI-tijd) en Rinie Hoff (beheersing van de financiële LWI-spaghetti), en de technici Jan van den Bunt, Bas Blok en Joop van der Pot.

Wilfried ten Brinke
April 2001

1. Inleiding

Voor het beheer van rivieren, estuaria en getijdebekkens is informatie over de hoeveelheid zand en slib in beweging essentieel. Deze sedimentlast varieert in tijd en ruimte doordat factoren als waterbeweging en bodemsamenstelling in tijd en ruimte variëren. Informatie over de sedimentlast betekent in de praktijk het simultaan meten van de sedimentconcentratie en de waterbeweging (stroomsnelheid, waterstand én golven) op meerdere lokaties in een watersysteem gedurende langere tijd.

Voor de monitoring van de sedimentlast zijn verschillende typen sensoren beschikbaar, gebaseerd op verschillende meetprincipes. Deze meetprincipes zijn gericht op een bepaald type sediment, qua deeltjesgrootte, en een van te voren gedefinieerd concentratiebereik. Elke sensor heeft zo zijn eigen specificaties én tekortkomingen. Zo lenen akoestische meettechnieken zich goed voor het meten van zandconcentraties terwijl voor het meten van slibconcentraties optische meettechnieken beter geschikt zijn. Gezien de grote variatie in ruimte en tijd van de grootte van het transport van sediment is het van belang om instrumenten te hebben die én snel kunnen worden verplaatst én gedurende een voldoende lange tijd een tijdreeks van informatie over de sedimentbeweging kunnen inwinnen. Dergelijk instrumentarium is te realiseren door op een frame de gewenste meetsensoren te bouwen in combinatie met elektronica voor de aansturing van het meetproces en de opslag van data (datalogger, computer), en voeding (batterijen). Een dergelijk meetsysteem is breed inzetbaar als de combinatie van sensoren geschikt is voor het meten van zand en slib, bodemligging, en waterbeweging.

In de afgelopen jaren is zo'n meetsysteem gebouwd door WL|Delft Hydraulics onder begeleiding van het RIZA. Aan de bouw van het meetsysteem is financieel bijgedragen door meerdere partners, allen onderdeel van Rijkswaterstaat. Deze partners zijn gezamenlijk eigenaar van het systeem. Het meetsysteem staat in de wandelgangen bekend als de 'Autonome Meetfaciliteit voor Zand- en Slibtransport'. De meetfaciliteit bestaat uit een combinatie van, op de markt beschikbare, meettechnieken, die binnen de configuratie van de Autonome Meetfaciliteit bij elkaar zijn gebracht en die geschikt zijn voor de omstandigheden in rivieren én estuaria.

Bij de start van de bouw van de Meetfaciliteit is destijds als doel gesteld:

het maken van een autonome meetfaciliteit waarin verschillende, thans beschikbare meettechnieken worden geïntegreerd tot één systeem.

Het optimale meetinstrumentarium moest bestaan uit een faciliteit die op de waterbodem kan worden geplaatst en autonoom gedurende een bepaalde periode, b.v. een week, data inwint. Bij deze meetfaciliteit moest een aantal thans beschikbare instrumenten worden ingezet waarbij het centrale doel is de gegevens gezamenlijk, onderling vergelijkbaar beschikbaar te krijgen, en wel zodanig dat de natuurlijke omstandigheden door het meten zo min mogelijk worden verstoord.

De meetfaciliteit moest multifunctioneel zijn. Dus toepasbaar in alle Nederlandse rivieren, estuaria en getijdebekkens, en geschikt voor het meten van verschillende soorten zwevende deeltjes (zand, slib). Met de oplevering van de Meetfaciliteit in november 2000 en het voor u liggende rapport van een testmeting voor de kust van Zeeland is aan deze doelstelling voldaan. Het product is vanaf heden door de betrokken partners inzetbaar voor hun projecten.

2. Specificaties meetfaciliteit

In de beginfase van het project is, aan de hand van een enquête onder potentiële gebruikers, een inventarisatie gemaakt van de eisen waaraan de te bouwen meetfaciliteit zou moeten voldoen. De resultaten van deze enquête zijn samengevat in tabel 1.

Uitgaande van de resultaten van de enquête zijn, in overleg met alle eindgebruikers en ontwikkelaars, de specificaties van de meetfaciliteit vastgesteld (tabel 2). Hierbij is een onderscheid gemaakt in 2 stappen omdat op dat moment volledige financiering van het totale plan niet te verwezenlijken was. De nu beschikbare meetfaciliteit is het eindresultaat van stap 1.

In de eerste stap is een set specificaties van de meetfaciliteit gekozen waarmee in ieder geval aan het eind van de eerste stap een werkbaar instrument beschikbaar kwam. Hierbij is, voor wat betreft de fysieke constructie én de data inwinning en opslag, al rekening gehouden met een potentiële uitbreiding in een tweede stap. Dit betekent bijvoorbeeld dat al is uitgegaan van een totaal aantal inwinkkanalen voor data van 24 (= stap 1 + stap 2).

Bij de data inwinning is er vanuit gegaan dat de instrumenten 2 weken autonoom moeten kunnen meten bij meetbursten van 15 minuten per uur en een meetfrequentie van 2 Hz. Afhankelijk van de wensen van toekomstige gebruikers kunnen in de combinatie van duur meetcampagne, duur meetbursts en meetfrequentie wijzigingen worden aangebracht waarbij een uitbreiding van één van de drie een reductie van (één van) de andere(n) betekent. In principe zullen alle sensoren met 2 Hz of 4 Hz (EMS) meten m.u.v. de pot met kompas en hellingmeters. Deze zullen steeds één keer vóór iedere burst meten.

Vóór het overboord zetten van het meetframe kan een controle worden uitgevoerd van de werking van het systeem (batterij-spanning, data-inwinning).

Wat betreft de sensoren:

- De bemonsteringsfrequentie van de Autonome Meetfaciliteit (AMF) is instelbaar op 4, 2, 1, Hz. Alle instrumenten zelf meten met hun eigen maximum frequentie. Voor de EMS is dat effectief 8 Hz. Voor de echoloden en de drukopnemer is dat sneller dan 4 Hz. Voor de AZTM is dat 2 Hz.
- De EMS is een E40 (elliptisch, meetbereik tot 2.5 m/s). In de elektronica is ruimte gereserveerd voor de montage van een tweede EMS. De EMS meet in principe met een frequentie van 4 Hz.
- De twee echoloden zijn 500 kHz sensoren met een minimale cq maximale afstand tot de bodem van 20 cm resp. 5 m en een bundel van 6 graden. In de elektronica is ruimte gereserveerd voor de montage van nog 2 echoloden.
- De zandconcentratie en de stroomsnelheid (beweegsnelheid van de zandkorrels) worden gemeten met: een tweevoudige AZTM. Dit is de nieuwste versie van de Akoestische ZandTransport Meter (AZTM), ontwikkeld door WL | Delft Hydraulics. Deze nieuwste versie van de AZTM is aanmerkelijk compacter en energievriendelijker uitgevoerd dan zijn eerdere versie waardoor het instrument nu op een autonoom werkend frame kan worden gemonteerd. Het toepassingsgebied van de AZTM betreft die situaties waarin uitsluitend zand van een niet al te sterk variërende deeltjesgrootte voorkomt. Doordat slechts één geluidsfrequentie wordt toegepast, is deze AZTM relatief ongevoelig voor slib. Bij lage concentraties kan de alternatieve extinctie correctie (AEC) de ruis vergroten en deze is daarom bij de opslag van ruwe data niet toegepast. Voor de berekening van gemiddelde en standaardafwijking wordt wel AEC toegepast om bias door alineariteit te voorkomen (ruis is dan minder belangrijk). De ondergrens voor het concentratiebereik is 10 mg/l of lager.
- Voor de slibconcentratie is op de meetfaciliteit een OBS (Optical BackScatter sensor, meetprincipe gebaseerd op verstrooiing van een lichtbundel) gemonteerd. Dit is een robuuste sensor waarmee de troebelheid van het water wordt gemeten. Deze troebelheid kan het gevolg zijn van zwevend zand, slib, of een combinatie van beide. In gebieden waar zowel de zand- als slibconcentratie sterk varieert, is de OBS slecht bruikbaar omdat je niet weet wat je meet. Als de zwevende stof samenstelling wordt gedomineerd door zand (brandingszone b.v.) of slib (delen van estuaria) kan een ijklijn voor de OBS worden bepaald zodat de OBS-registratie kan worden omgerekend in sedimentconcentraties.
- In de elektronica van de meetfaciliteit is ruimte gereserveerd voor de montage van 2 MEX-sensoren en 1 FOSLIM sensor. Beide sensor zijn troebelheidsensoren (uitdoving van licht) en geschikt voor het bepalen van de slibconcentratie. De FOSLIM is een, door WL | Delft Hydraulics ontwikkelde, zeer

compacte optische slibsensor waarmee zeer dicht boven de bodem en zeer dicht bij de stroomsensoren kan worden gemeten. De MEX is een robuustere sensor die elders op de markt verkrijgbaar is.

- De druksensor is een 3 bar sensor met een maximale meetdiepte van 20 m. Volgens de specificaties van de fabrikant is de meetnauwkeurigheid in waterspiegelveranderingen 0.25%. Met de meetdiepte van 20 m wordt vermoedelijk aan de wensen van alle gebruikers voldaan. Bij specifieke meetwensen kan de druksensor eenvoudig worden omgewisseld met een 10 m of 30 m sensor.
- De hellingmeters en het kompas zijn in de pot van de datalogger met bijbehorende elektronica gebouwd. De meetnauwkeurigheden zijn voor het kompas ca. 5° en voor de hellingopnemers ca 0.3°.
- Voor wat betreft de voeding is uitgegaan van het concept van een pot gevuld met aan elkaar gesoldeerde (doorgelaste) batterijpakketten.
- Er wordt een standaard plan voor data inwinning gehanteerd waarbij ook voor sensoren die (nog) niet op het frame zitten toch een dummy-waarde wordt geregistreerd.
- Dataopslag geschiedt op een makkelijk verwisselbare 40 Mb schijf in de vorm van een credit card. In de toekomst komen waarschijnlijk dezelfde cards met veel meer capaciteit (120 Mb) op de markt waardoor dataopslag een steeds minder groot probleem wordt.
- Bij de meetfaciliteit hoort een user-interface

Tabel 1. Samenvatting van de resultaten van de enquête naar wensen ten aanzien van meetinstrumenten op het gebied van zand- en slibtransport.

1. Informatie meetgebied

- Meetgebied:
 - hoofdgeul
 - intergetijdgebied
 - 5-10 m waterdiepte
- Waterbeweging:
 - 0-3 m getijrange
 - hoge (> 200 cm/s) én lage stroomsnelheden (< 50 cm/s)
 - golven > 20 cm
- Bodemsamenstelling:
 - belangrijk: zand
 - vrij belangrijk: slibbig zand - slappe slib
 - onbelangrijk: gemengd zand en grind
- Concentratie zwevend sediment:
 - belangrijk: zand/slib 0-500 mg/l
 - vrij belangrijk: zand tot 10 g/l, slib tot 1 g/l
 - minder belangrijk: slib tot 10 g/l
- Korrelgrootte:
 - belangrijk: < 200 µm
 - vrij belangrijk: 200-400 µm
 - onbelangrijk: > 400 µm

2. Type projecten

- Waterbeweging:
 - belangrijk: getijstroom
 - vrij belangrijk: debiet- en afvoermetingen, schuifspanning en turbulentie
 - minder belangrijk: menging zout-zoet
- Sediment:
 - erosie/sedimentatie, balans, morfologie: alles belangrijk
- Bodemvormen:
 - vrij belangrijk: ribbels < 10 cm, duinen > 1 m
 - minder belangrijk: vlak, bodemvormen van 10 cm - 1 m hoog

3. Wensen instrumenten

- Meetduur:
 - vrij belangrijk: enkele dagen - 2 weken meten
 - minder belangrijk: < 1 dag, ± 1 maand
 - onbelangrijk: > 1 maand
- Meetfrequentie:
 - vrij belangrijk: continu/in intervallen, 10-minutengemiddelde
 - minder belangrijk: hogere frequentie
- Meetniveau's:
 - evenveel sensoren voor stroom, zand en slib
 - geen specifieke voorkeur voor aantal meetniveau's
 - belangrijk: vrij instelbaar tot 1 m + bodem
 - vrij belangrijk: instelbaar tot 2 m + bodem
 - laagste meetniveau tot op 5 cm + bodem volstaat
- Meetnauwkeurigheid:
 - stroom: 1 cm/s
 - waterstand: < 5 cm
 - zand/slib: < 10 mg/l
 - bodemligging: 1-2 cm
- Oriëntatie sensoren:
 - geen voorkeur vast versus draaibaar frame
 - belangrijk: 2 hellingmeters, X-Y
- Deeltjesgrootte bepaling als onderdeel meetframe:
 - vrij belangrijk

4. Bedieningswensen:

- Voorprogrammeren meetprogramma:
 - belangrijk: op kantoor
 - vrij belangrijk: op schip
- Controle meetproces:
 - bij voorkeur online
 - eventueel na optakelen frame aan boord schip
 - niet wachten tot kantoor
- Format data:
 - bij voorkeur gecomprimeerd, omzetbaar in ASCII

Tabel 2. Schematische weergave van het meetframe, met aangegeven de geïnstalleerde sensoren in de eerste stap en de optie voor uitbreiding met meer sensoren (stap 2).

Instrument	Niveau	Bereik	Resolutie	Aantal kanalen
Stap 1				
2-voudige AZTM	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-500 mg/l	<10 mg/l	6
EMS-sensor	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-250 cm/s	1-2 cm/s	2
OBS-sensor	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-500 mg/l	<10 mg/l	1
2 echolood sensoren	vast niveau tussen 20 en 50 cm +bodem		1-2 cm	2
druksensor	keuze WL	0-20 m	afhankelijk van maximale bereik	1
2 hellingmeters + 1 kompas	keuze WL			3
1 uithouder LISST	keuze WL			
ruimte voor 2 MEX-sensoren	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem			
ruimte voor 1 FOSLIM	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem			
Statusinformatie voeding				
Stap 2				
tweede EMS-sensor	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-250 cm/s	1-2 cm/s	2
nog 2 echolood sensoren	vast niveau tussen 20 en 50 cm +bodem		1-2 cm	2
2 MEX-sensoren	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-500 mg/l	<10 mg/l	2
1 FOSLIM	vrij instelbaar tussen 5 en 100 cm +bodem	0-500 mg/l	<10 mg/l	1

3. Doelstelling testrapport en leidraad:

Dit rapport beoogt een overzicht te geven van de mogelijkheden en beperkingen van de Autonome Meetfaciliteit bij metingen aan de water- en sedimentbeweging in rivieren, estuaria en kustwateren. Dit overzicht wordt gegeven door een testmeting uit te werken die in november 2000 voor de Zeeuwse kust is uitgevoerd. Bij deze uitwerking is, bij de evaluatie van meetresultaten, een koppeling gelegd met de specificaties die aan het begin van het project waren opgesteld. Op basis van dit rapport kunnen projectleiders van regionale directies en specialistische diensten, en medewerkers van meet(informatie)diensten goed inschatten voor welke type onderzoeks- en monitoringprojecten de meetfaciliteit kan worden ingezet, en welke kwaliteit meetinformatie kan worden verwacht.

4. Uitvoering testmeting

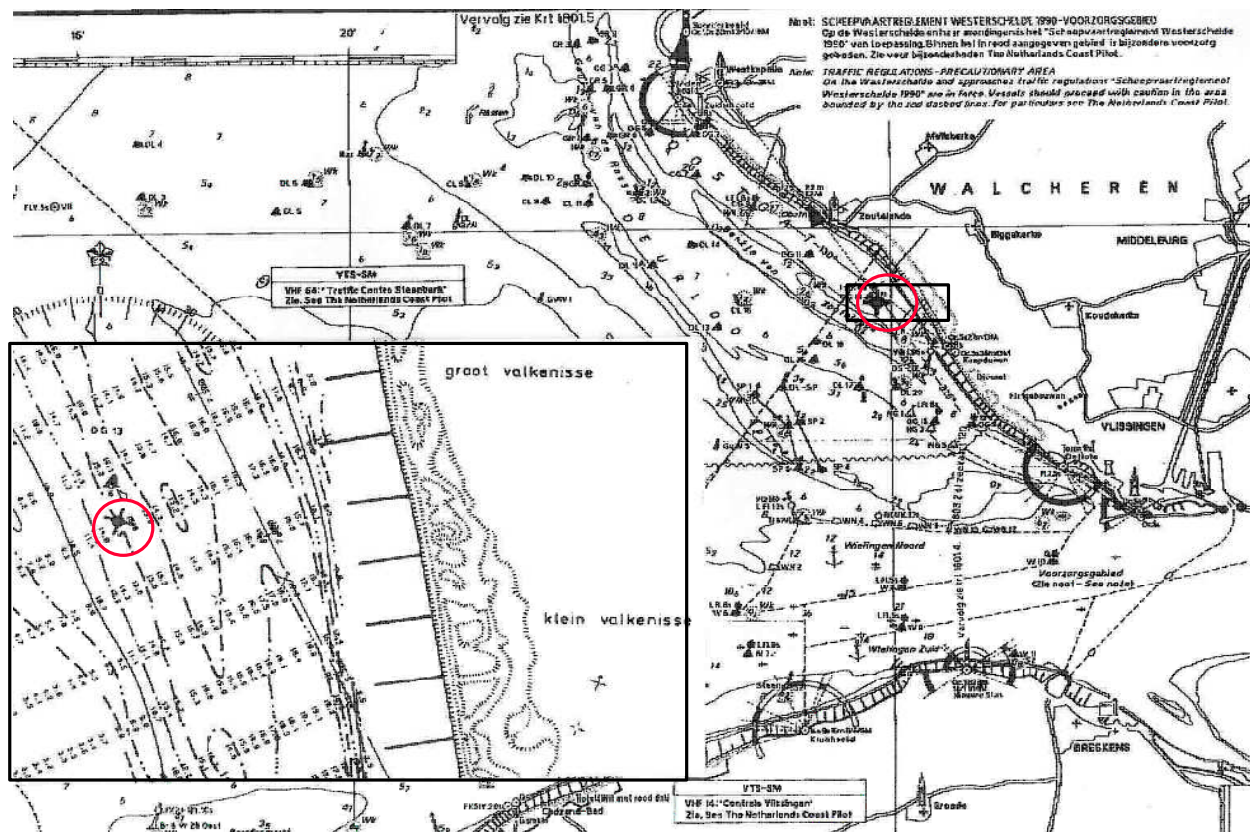
4.1. Testlokatie en meetprotocol

De testmeting is uitgevoerd voor de kust van Walcheren in de geul 'het Oostgat' (figuur 1). Deze geul ligt vlak voor de kust en is een belangrijke vaargeul voor de scheepvaart van en naar Vlissingen. De geul is ter plaatse tot meer dan 30 meter diep. Omdat het meetframe is ontworpen voor een diepte tot maximaal 20 meter is de testmeting uitgevoerd aan de westrand van de geul, met een bodemdiepte van 15 meter t.o.v. NAP. Overigens zijn de, voor waterdruk essentiële, onderdelen van het frame uiteindelijk gebouwd voor een grotere waterdruk dan 20 meter, zodat in principe nog wel een meter of 10 dieper kan worden gemeten. Omdat bij de testmeting de specificaties van het frame (o.a. tot 20 meter meetdiepte) moesten worden getest, is bewust niet voorbij deze specificaties gemeten. De coördinaten van de meetlocatie zijn X = 23470 en Y = 390000 (51°29,07' Noord en 03°29,69' Oost). Dit is dichtbij boei OG-13. De locatie was voorzien van een waakboei. De scheepvaart was ingelicht .

De testmeting is uitgevoerd van dinsdag 14 tot vrijdag 17 november 2000. Het frame is 's ochtends op 14 november geplaatst met de Lodycke van de Meetinformatiedienst van de Directie Zeeland (na de voorgaande dag te zijn opgebouwd en getest) en 's ochtends op 17 november weer uit het water gehesen.

Bij het meetprotocol is er voor gekozen om zoveel mogelijke data in zo kort mogelijke tijd te verzamelen. Dit betekent dat alle sensoren m.u.v. de sensoren voor de statusinformatie continu hoogfrequent hebben gemeten. Al deze data zijn met deze hoge frequentie weggeschreven in een file. Daarnaast is het meetprotocol zodanig ingesteld dat iedere 10 minuten van alle meetvariabelen een gemiddelde waarde + standaarddeviatie over die 10 minuten werd weggeschreven.

Datum	Tijdstip hoogwater	Waterstand (cm)	Tijdstip laagwater	Waterstand (cm)
14 november 2000	02.53	243	09.16	-170
	15.10	247	21.40	-179
15 november 2000	03.33	231	09.54	-170
	15.51	240	22.26	-170
16 november 2000	04.18	213	10.46	-168
	16.38	224	23.16	-157
17 november 2000	05.07	188	11.40	-163



Figuur 1. De locatie van de testmeting voor de kust van Walcheren.

4.2. Het programmeren van de Meetfaciliteit

Met de meetfaciliteit kan een meetprogramma worden uitgevoerd dat door een datalogger wordt aangestuurd. Het meetprogramma moet van te voren op een PC worden opgegeven en vervolgens in de datalogger van de meetfaciliteit worden geladen.

De interactie tussen de gebruiker en de meetfaciliteit verloopt via een gebruikersinterface op een (laptop)PC. De gebruikersinterface ondersteunt de gebruiker bij de voorbereidingen van een meetserie (testen, calibratie), het instellen van het meetsysteem, het volgen van meetprocessen en het ophalen van de opgeslagen meetwaarden. Voor de communicatie van de laptop met de datalogger in de meetfaciliteit is een speciale kabel beschikbaar.

In werkelijkheid zijn er twee gebruikersinterfaces. De ene, de AMF-user (AMF = Autonome MeetFaciliteit) bevat de kennis van het totale meetsysteem, de ander de kennis van de datalogger (PC9000). De AMF-user is het gebruikersinterface dat speciaal voor deze meetfaciliteit is ontwikkeld en waarmee een gebruiker snel uit de voeten kan. Een ervaren gebruiker kan de AMF-user interface vermijden en direct met de interface van de datalogger aan de slag.

Met AMF-USER worden de instellingen van het meetprogramma gemaakt. Hierbij zijn 2 stappen te onderscheiden:

- keuze van de meetsensoren met de bijbehorende verwerking
- invoer van de specifieke programma parameters zoals timing en meetduur (burstlengte)

De gebruikerinstellingen worden door AMF-USER in de broncode (source) van het datalogger programma aangebracht waarna dit programma geladen kan worden. AMF-USER roept hiertoe PC9000 aan.

Bij beide interfaces zijn handleidingen beschikbaar. De handleiding van de AMF-USER is opgesteld door WL|Delft Hydraulics. De handleiding van PC9000 is de handleiding van het bedrijf dat de datalogger heeft geleverd (Campbell).

4.3. De opbouw van het frame (foto 1)

Het frame bestaat uit roestvrij staal. De buizen zijn hol en met gaten doorboord zodat bij plaatsing de buizen vollopen met water. Het frame is een driepoot en demontabel. De drie poten, het middenstuk en de uithouders kunnen in een aanhangwagen of bestelbusje worden vervoerd. Het geheel kan eenvoudig in elkaar worden geschroefd. De poten worden slechts op één punt aan het middendeel geschroefd. Er is dus geen sprake van dwarsspanten. Dergelijke dwarsspanten zouden de stroming teveel beïnvloeden, met name bij metingen onder getijomstandigheden (omdraaiende stroomrichting). De poten kunnen worden verzwaaard door hier loden strips om te wikkelen. Onder de poten zitten flensen (platte stukken staal) zodat de poten niet in de bodem wegzakken.

Op het middendeel, dus bovenin het frame, worden de 3 stalen potten van het frame gemonteerd: 1 pot voor de voeding, 1 pot voor de datalogger en elektronica van een aantal sensoren, en 1 pot voor de elektronica van de AZTM. Over deze potten heen is een stalen buiswerk gemonteerd. Deze dient als 'crashring' ter bescherming van de potten.

Het staalwerk van het frame wordt in elkaar geschroefd door het middendeel met een vorkheftruck op te tillen en de poten er met de hand tegen aan te zetten en vast te schroeven. Twee van de poten worden aan hoekpunten van het middendeel geschroefd, de derde centraal aan een zijstang van het middendeel. Hierdoor staat het verticale deel van deze poot wat verder van het middendeel af en leent het horizontale deel van deze poot zich het beste voor het bevestigen van de uithouders met de sensoren (is het verst van verstoringen verwijderd).

De sensoren worden met speciale kunststof Stauff-klemmen aan de uithouders, en deze uithouders met vergelijkbare klemmen aan het frame gemonteerd. De sensoren worden met bijbehorende, gelabelde kabels op de pot met de datalogger geschroefd. Een beetje vet op de schroefdraad zorgt er voor dat alles waterdicht wordt afgesloten. De kabels worden met tyraps strak langs het frame gebonden. De 'LISST particle sizer' wordt horizontaal op een eigen uithouder gemonteerd en niet met kabels aan de centrale potten in het middendeel gemonteerd. Deze LISST werkt op eigen batterijen.

Na montage van frame en sensoren wordt een laptop computer met een speciaal kabeltje op de datalogger van de pot in het frame aangesloten en wordt het meetprotocol van de laptop naar de datalogger gekopieerd.

4.4. De plaatsing van het frame

De wijze van plaatsing van het frame zal in de praktijk sterk afhangen van de locatie waar wordt gemeten (rivier-estuarium-kustzone). Essentieel is dat het frame beschermd is tegen bijvoorbeeld scheepvaart (afbakening met een wrakkenbootje of boei) of voldoende diep ligt en dat het frame verbonden is met een boei. De boei is dan verbonden met het frame via een kabel waarmee het frame weer kan worden opgetakeld.

Bij de plaatsing voor de testmeting (foto 2) is het frame uitgezet in combinatie met een ankerblok en een boei. Eerst gaat de boei overboord (stap 1), dan het ankerblok (stap 2). Vervolgens wordt enkele tientallen meters ankerketting uitgevaren (stap 3) en wordt het frame overboord gezet (stap 4-6).

Het frame wordt weer opgetakeld door eerst de boei binnen te halen, het ankerblok op te hijsen en dan de ankerketting. Als het frame eenmaal boven water is, kunnen touwen om de 2 poten worden geslagen en kan het frame beheerst aan dek worden gebracht (stap 7-8).

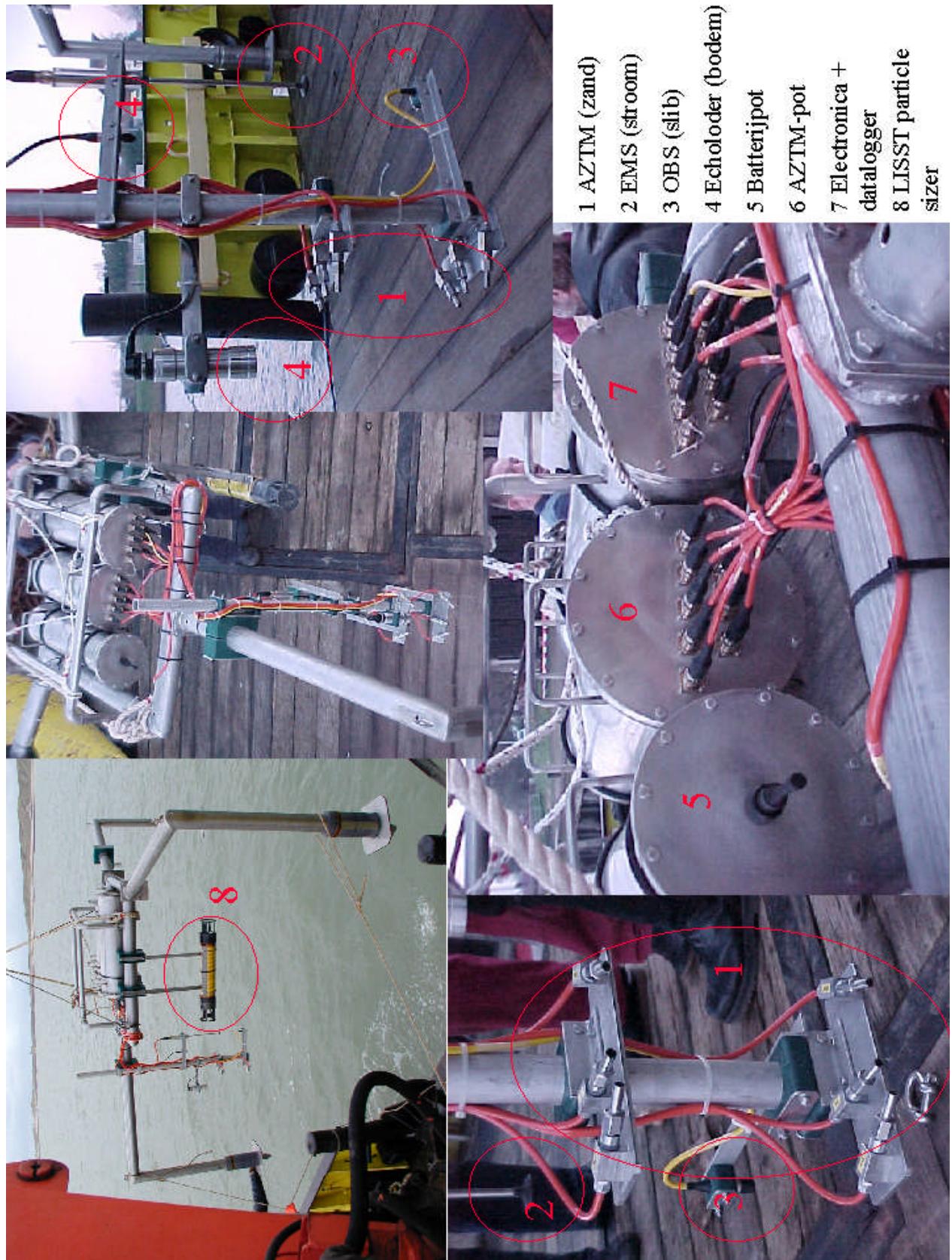
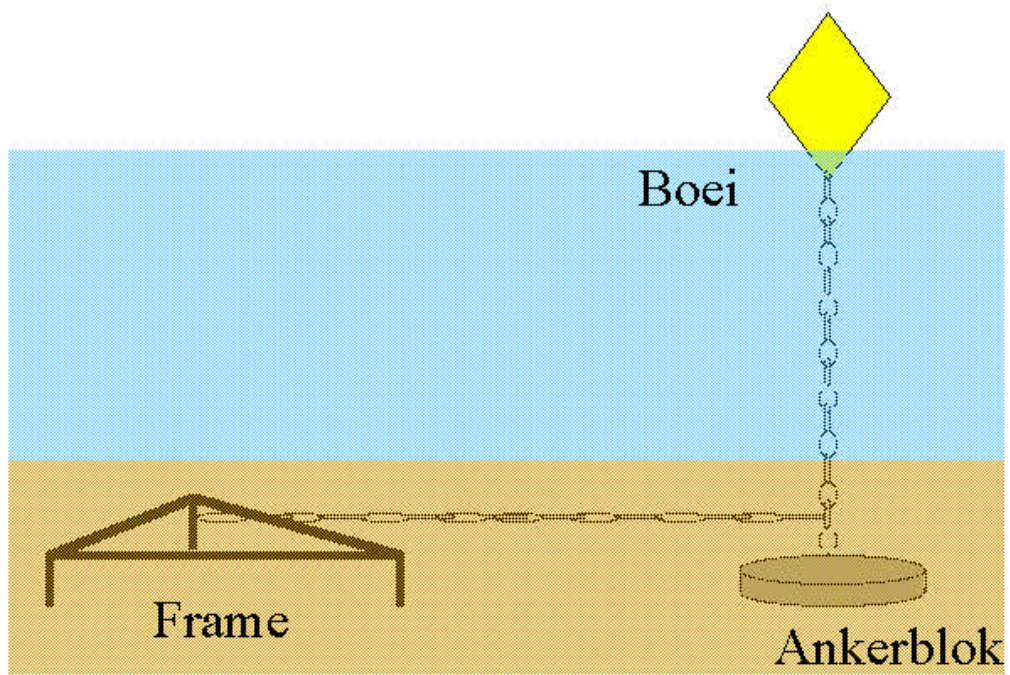
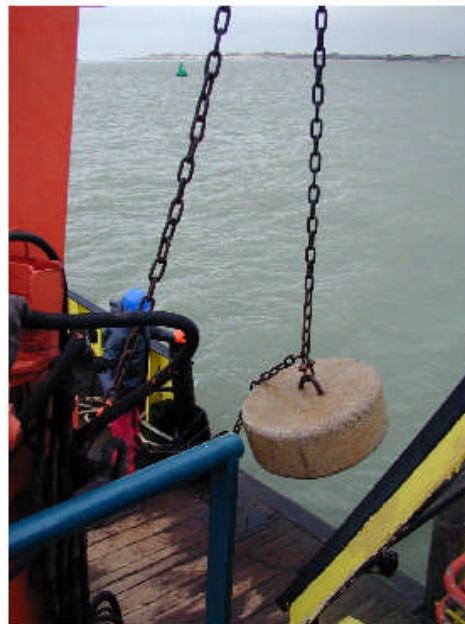


Foto 1. De opbouw van de Autonome Meetfaciliteit.



Stap 1



Stap 2

Foto 2A. De plaatsing van de Autonome Meetfaciliteit voor de Zeeuwse kust.



Stap 3



Stap 4



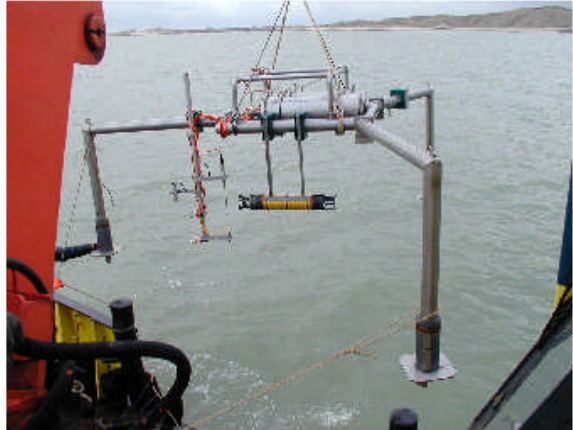
Stap 5



Stap 6



Stap 7



Stap 8

Foto 2B. De plaatsing van de Autonome Meetfaciliteit voor de Zeeuwse kust (vervolg).

4.5. Het uitlezen en het format van de data

Voor het uitlezen van de data moet de laptop-PC weer, via de speciale kabel, aan de elektronicapot (met daarin de datalogger) worden gekoppeld waarna middels AMF-USER met de datalogger kan worden gecommuniceerd. Zo kunnen de datafiles met meetgegevens, opgeslagen op de datalogger, worden overgehaald naar de laptop PC. Er moeten in totaal 3 files worden overgehaald:

- een file met statusinformatie over het meetproces: oriëntatie en helling van het frame, waterdruk, batterij-spanning en temperatuur.
- een file met gemiddelde waardes + standaarddeviatie van de gemeten variabelen, waarbij de middeling betrekking heeft op een van te voren opgegeven tijdsduur (b.v. 10 minuten).
- een file met alle data van de sensoren in de frequentie waarin is ingewonnen.

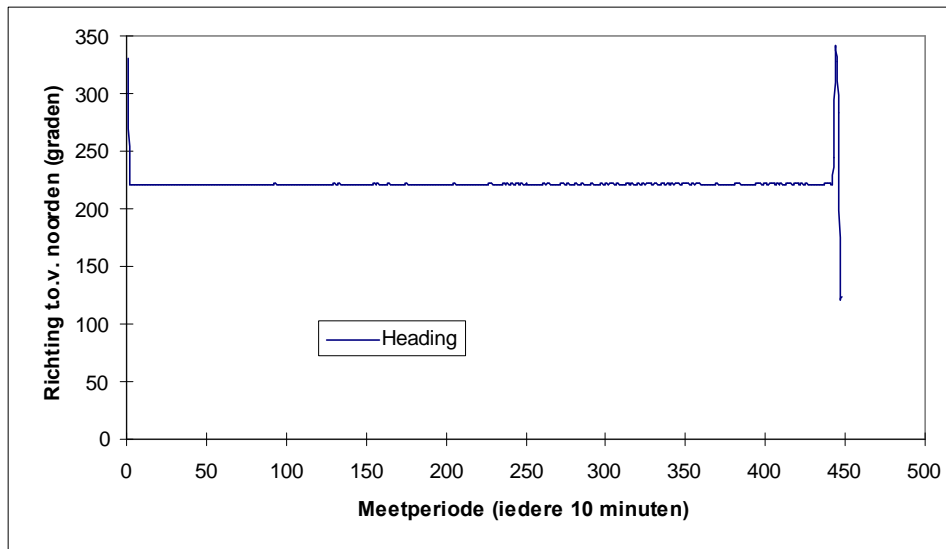
De eerste 2 files zijn klein en kunnen snel worden overgehaald (veelal binnen 1 minuut) zodat een eerste indruk van het succes van de meetcampagne kan worden verkregen. De derde file met alle data zal veelal zeer groot zijn. Het overhalen van deze file kan langer dan 1 uur duren. Het verdient dan ook de voorkeur om, in ieder geval voor wat betreft deze grote file, het overhalen van de data naar een laptop-PC pas uit te voeren als men zeker weet dan men 1-2 uur vooruit hier rustig de tijd voor kan nemen.

De procedures voor het overhalen van de data (en het weer leegmaken van de datalogger) staan vermeld in de al eerder genoemde handleiding bij de AMF-USER interface.

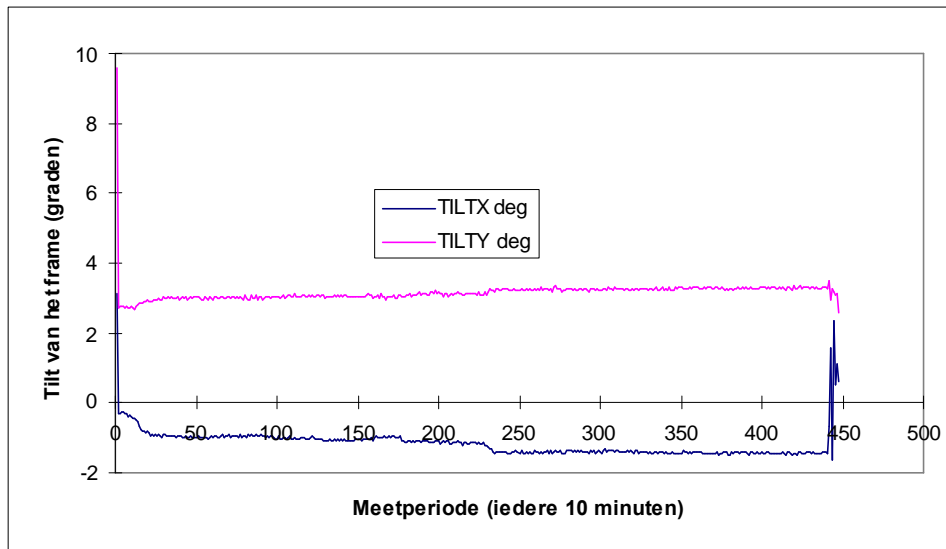
5. Resultaten testmeting

5.1. Statusinformatie: oriëntatie en helling

Volgens het gehanteerde meetprotocol is ieder 10 minuten de oriëntatie van het meetframe t.o.v. het magnetische noorden (de heading) en de helling van het frame in X- en Y-richting (de tilt) gemeten. Onderstaande figuren laten duidelijk de momenten van plaatsing en ophijsen zien. In de periode daartussen in is de oriëntatie van het frame niet veranderd. De veranderingen in de helling van het frame zijn verwaarloosbaar. De helling van enkele graden is dermate gering dat hiervoor bij de berekening van sedimenttransporten niet hoeft te worden gecorrigeerd.



Figuur 2. De oriëntatie van het meetframe t.o.v. het noorden.



Figuur 3. De helling van het meetframe in X- en Y-richting.

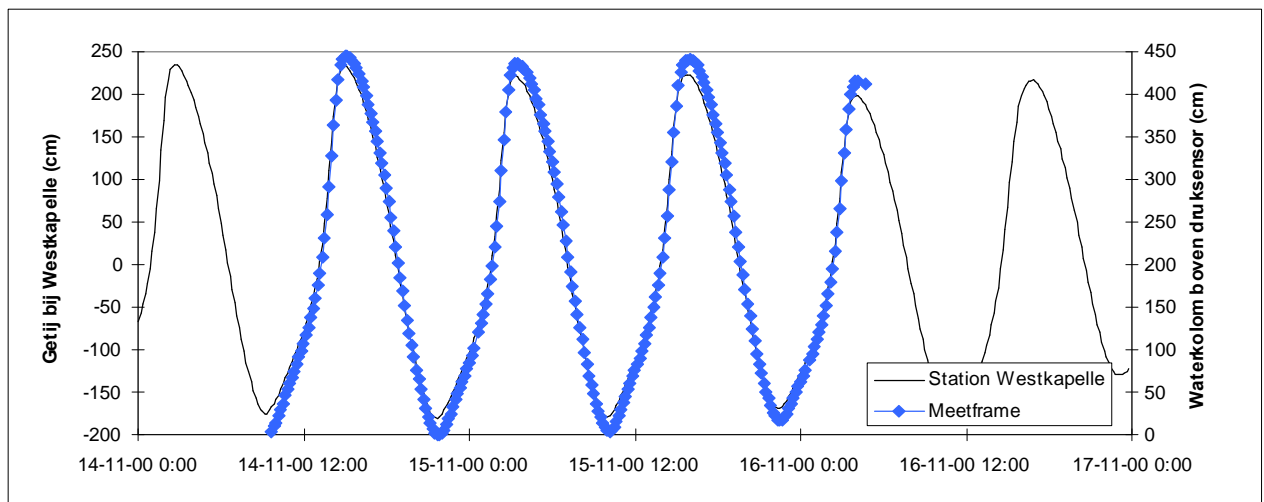
5.2. Waterbeweging

Waterstand:

De waterstand wordt gemeten als druk, hPa. Deze druk is de som van de waterdruk en de luchtdruk. Uit het verschil van de gemeten druk, de luchtdruk en de dichtheid van het water kan de waterstand worden berekend, volgens:

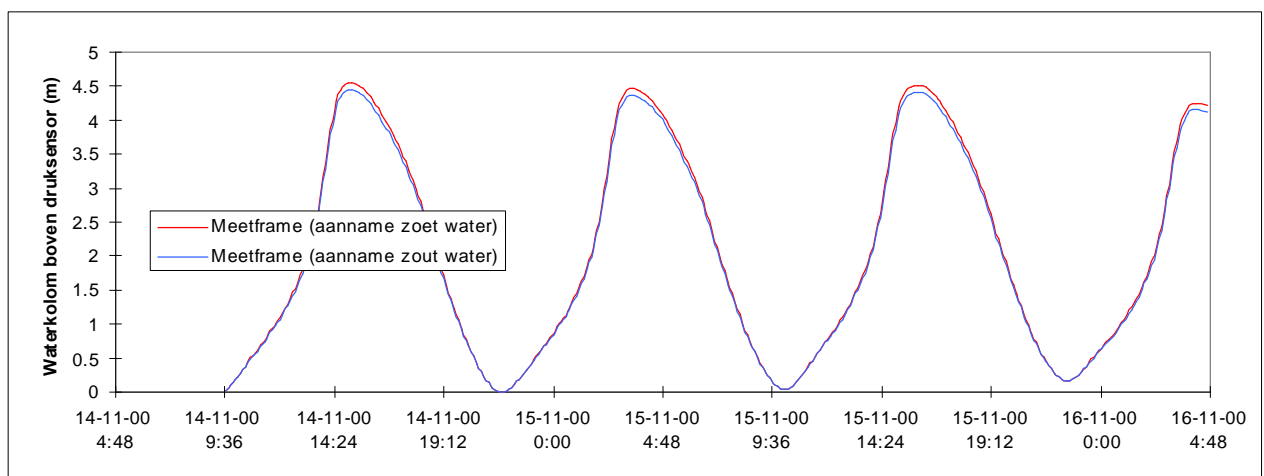
$$\{[\text{gemeten druk (hPa)}] - [\text{luchtdruk (hPa)}]\} * 100 / \{\text{dichtheid (kg/m}^3\} * 9.81\}$$

In onderstaande figuur is de variatie in de waterstand weergegeven tijdens de meetserie (rechter verticale as). Hierbij is, in plaats van de luchtdruk, de laagst gemeten druk in de formule ingevuld. Op de linker verticale as staat de gemeten waterstand t.o.v. NAP op het meetstation bij Westkapelle. De gemeten amplitude ter plaatse van het meetframe is iets hoger dan bij Westkapelle, hetgeen waarschijnlijk resulteert uit de natuurlijke ruimtelijke variatie in het getij.



Figuur 4. De waterstandsvariatie volgens de druksensor in het meetframe en de waterstand van een RWS-meetstation bij Westkapelle.

Omdat de waterdruk afhangt van de dichtheid van het water, zal een vergelijkbare waterdruk voor zeewater en rivierwater een verschillende waterstand boven het meetframe betekenen. In onderstaande figuur is aangegeven wat het gevolg is als bij de gemeten serie wordt uitgegaan van zeewater of van zoet water. Het verschil is weliswaar niet groot, maar voldoende merkbaar om meetresultaten te kunnen beïnvloeden.



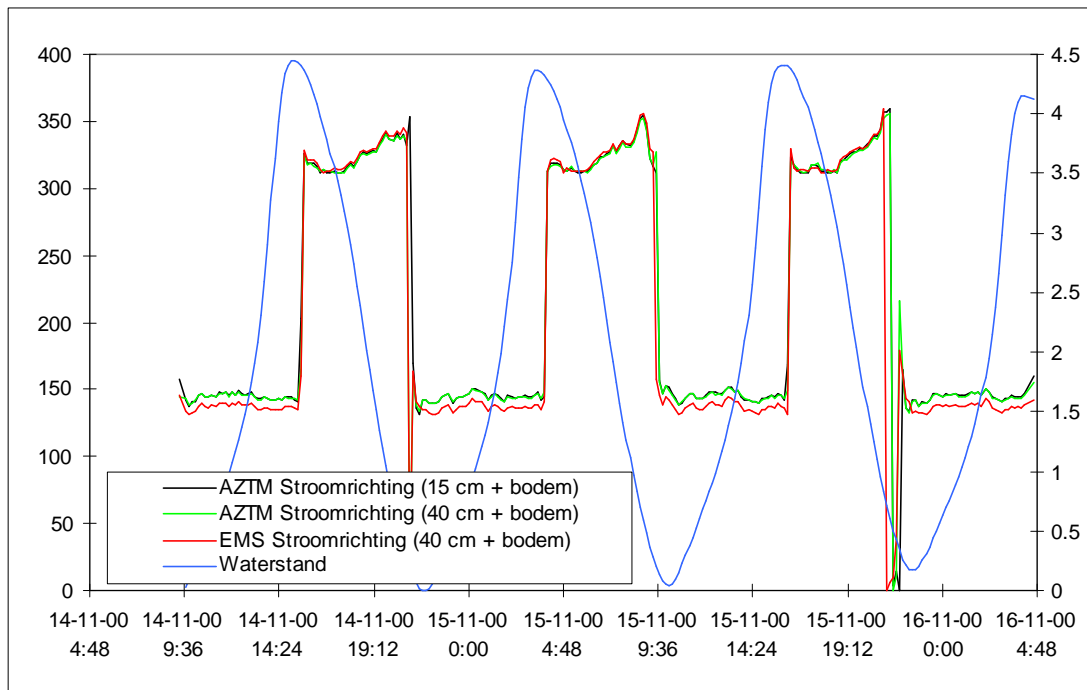
Figuur 5. De invloed van de dichtheid van het water op de omrekening van waterdruk naar waterstand, uitgaande van de registratie van de druksensor in het meetframe.

Stroomrichting:

De stroomrichting wordt niet direct gemeten maar moet worden berekend uit gemeten stroomsnelheidscomponenten in X- en Y-richting en de oriëntatie van het frame t.o.v. het noorden. Uit de stroomsnelheidscomponenten kan de hoek van de resultante stroomvector t.o.v. een referentie-as in het frame worden berekend (in principe het vlak van de sensoren aan de uithouder). De oriëntatie van het referentievlak t.o.v. het noorden werd tijdens de testmetingen iedere 10 minuten met een kompas gemeten. Dit kompas zit in de elektronicapot van de datalogger. De oriëntatie van de sensoren t.o.v. het referentievlak wordt gewaarborgd doordat de sensoren op een standaard wijze aan de uithouder moeten worden gemonteerd. De berekening van de stroomrichting kan dan met een simpele formule in de datafile met de X- en Y-stroomsnelheden worden uitgevoerd.

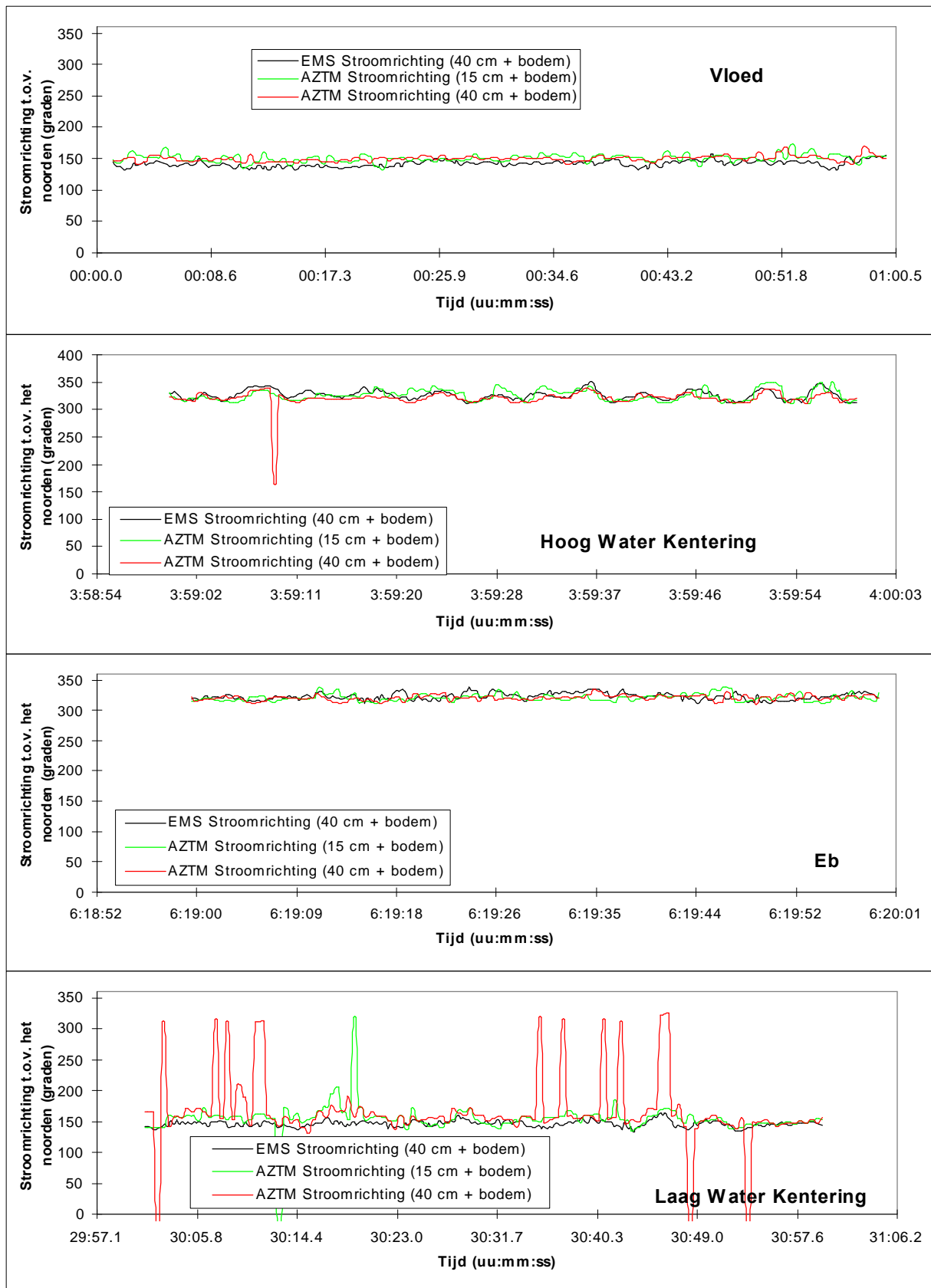
In onderstaande figuur 6 is de stroomrichting volgens de metingen met de tweevoudige AZTM en de EMS weergegeven. De omkeringen van de stroomrichtingen bij hoog- en laagwaterkentering zijn goed herkenbaar. Opvallend is

- ⇒ een, zij het gering, systematisch verschil in stroomrichting tijdens de vloed volgens de EMS versus de AZTM. De reden hiervan is onbekend, maar moet (waarschijnlijk) worden gezocht in de uitlijning van de opnemers en/of de gehinderde aanstroming van het AZTM-meetvolume.
- ⇒ een verandering in de stroomrichting in de tweede helft van de ebfase voor EMS én AZTM. Dit is een reëel verschijnsel in de waterbeweging ter plaatse.



Figuur 6. De stroomrichting ter plaatse van het meetframe volgens de X-Y-stroomsnelheidscomponenten van de EMS en de AZTM.

In figuur 7 is de stroomrichting op 4 momenten in het getij, volgens de hoogfrequente dataset van AZTM (2 Hz) en EMS (4 Hz) weergegeven. Ieder moment is een registratie van 1 minuut. De figuur laat zien dat bij maximale stroom tijdens eb en vloed de stroomrichting vrij constant een kant op staat. Tijdens de geselecteerde minuut rond hoogwaterkentering is de stroom al gekeerd. Tijdens laagwaterkentering schiet de stroomrichting volgens de metingen met de AZTM nog heen en weer en is de stroom nog niet echt gekeerd.



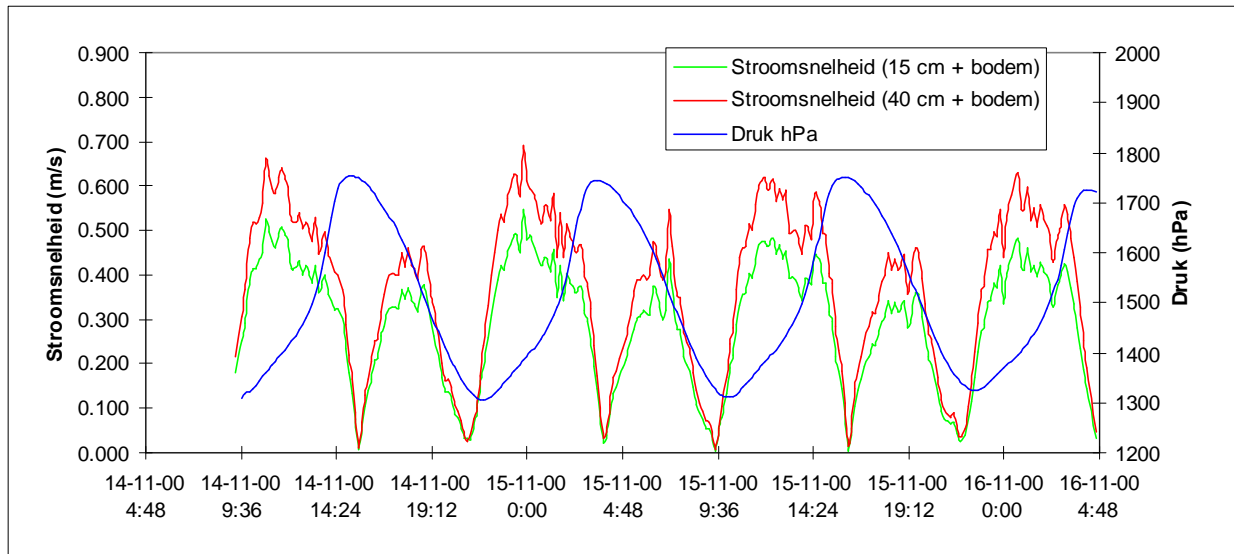
Figuur 7. De variatie in stroomrichting gedurende één minuut op 4 momenten tijdens een eb-vloedcyclus.

Stroomsnelheid:

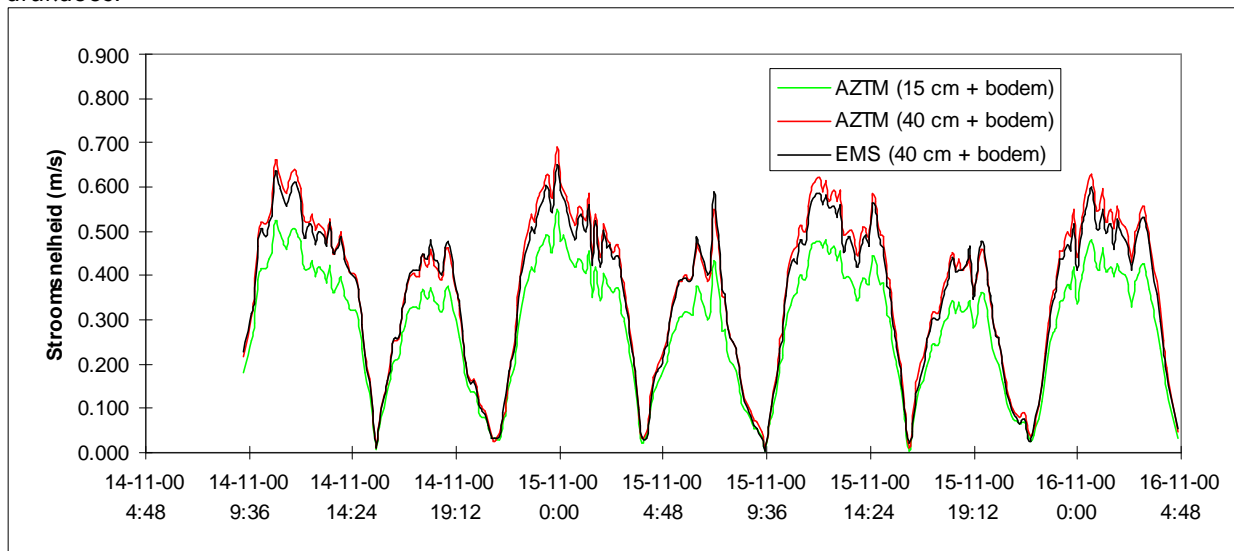
De resultante stroomsnelheid wordt volgens de Wet van Pythagoras berekend uit de stroomsnelheidscomponenten in X- en Y-richting.

Onderstaande figuur 8 toont de stroomsnelheidsvariatie uit de signalen van de tweevoudige AZTM (meetniveau's 15 en 40 cm + bodem). De figuur toont geheel realistisch de getijvariatie, de afname van de stroomsnelheid naar de bodem toe, en de hogere stroomsnelheden bij vloed dan bij eb.

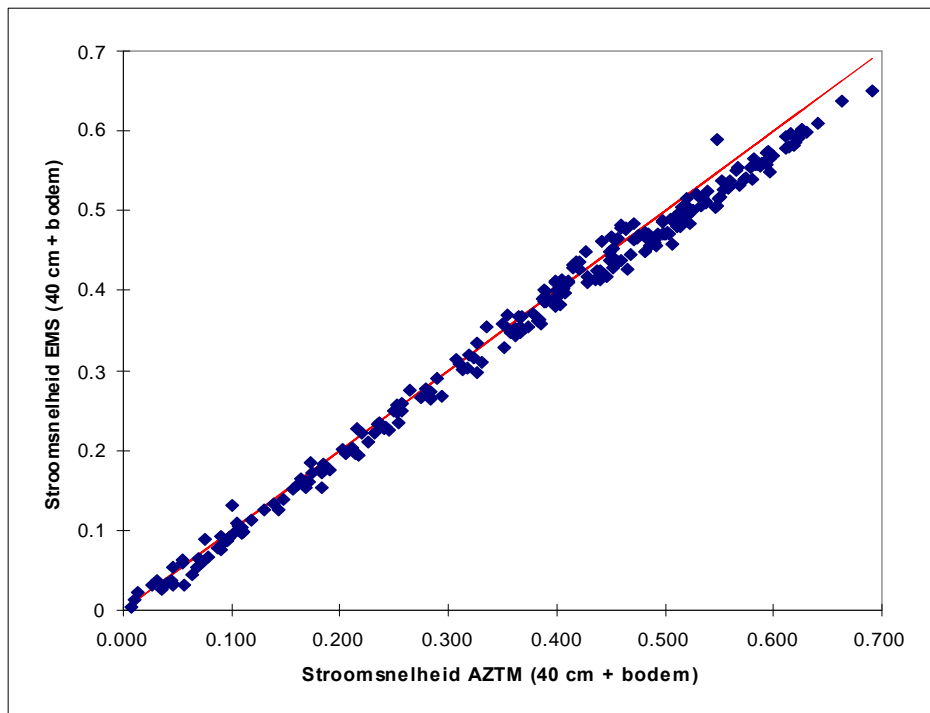
In figuur 9 is ook de resultante stroomsnelheid volgens de signalen van de EMS weergegeven. Deze EMS heeft op hetzelfde niveau gemeten als de bovenste sensor van de tweevoudige AZTM. De meetsignalen van beide sensoren blijken heel goed overeen te komen (zie ook figuur 10), hetgeen aantoont dat, in ieder geval onder deze meetomstandigheden, de AZTM ook prima kan worden gebruikt voor het meten van de stroomsnelheid.



Figuur 8. De resultante stroomsnelheid volgens de AZTM en de variatie in de waterstand volgens de drukdoos.



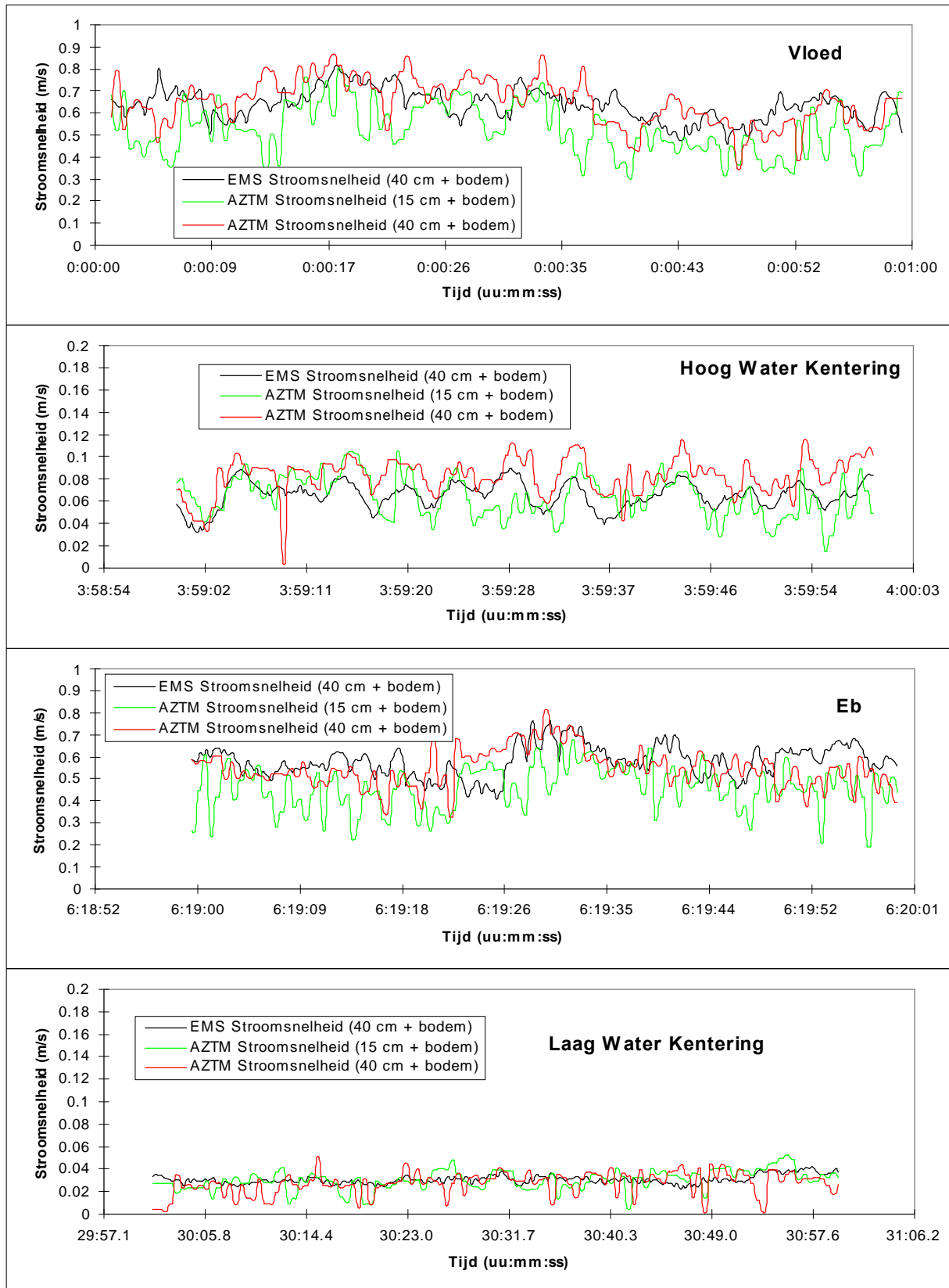
Figuur 9. De stroomsnelheid volgens de EMS in relatie tot de stroomsnelheid volgens de AZTM.



Figuur 10. De stroomsnelheid van de EMS versus de stroomsnelheid van de AZTM, beide op een meetniveau van 40 cm boven de bodem.

In figuur 11 is de stroomsnelheid op 4 momenten in het getij volgens de hoogfrequente dataset van AZTM (2 Hz) en EMS (4 Hz) weergegeven. Ieder moment is een registratie van 1 minuut. Bij deze figuur is het met name interessant om te kijken hoe de stroomsnelheidsvariaties bij kentering er uit zien. Dit om te zien of ook bij zeer lage stroomsnelheden de verschillende sensoren nog een vergelijkbaar stroombeeld laten zien. Hieruit kan de betrouwbaarheid van de meetresultaten bij zeer lage stroomsnelheden worden afgeleid.

Uit de registratie tijdens hoogwaterkentering blijkt dat EMS en AZTM dezelfde variaties laten zien, zelfs bij zeer lage stroomsnelheden. Hieruit blijkt dat variaties in de stroomsnelheid van enkele cm's per seconde door zowel EMS als AZTM goed kunnen worden gemeten.



Figuur 11. De variatie in stroomsnelheid gedurende één minuut op 4 momenten tijdens een eb-vloedcyclus.

5.3. Zandconcentratie en -transport

De zandconcentratie wordt met de tweevoudige AZTM op 2 niveaus gemeten. De meting bestaat, per meetniveau, uit het meten van 2 backscatter signalen. Immers de AZTM heeft per meetniveau 1 zender en 2 ontvangers. De verstrooiing (backscatter) van een signaal, door een zandwolkje, wordt dus 2 keer gemeten. In de datafile van de datalogger worden deze signalen per meetniveau opgeslagen als signalen S1 en S2, in de eenheid IU. Uit deze signalen wordt in 2 stappen de zandconcentratie berekend:

stap 1: combinatie van S1 en S2 tot één getal: $S1^4/S2^2$ (IU)

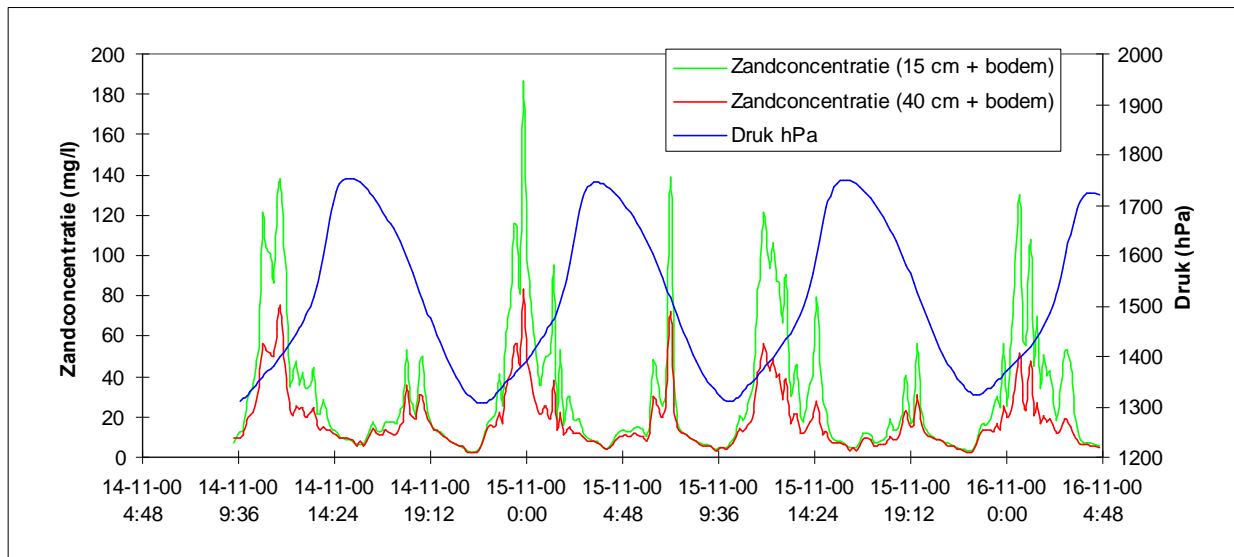
stap 2: omrekening naar zandconcentratie via ijklijn:

onderste meetniveau: concentratie = $89.78 \cdot IU$ (mg/l)

bovenste meetniveau: concentratie = $191.75 \cdot IU$ (mg/l)

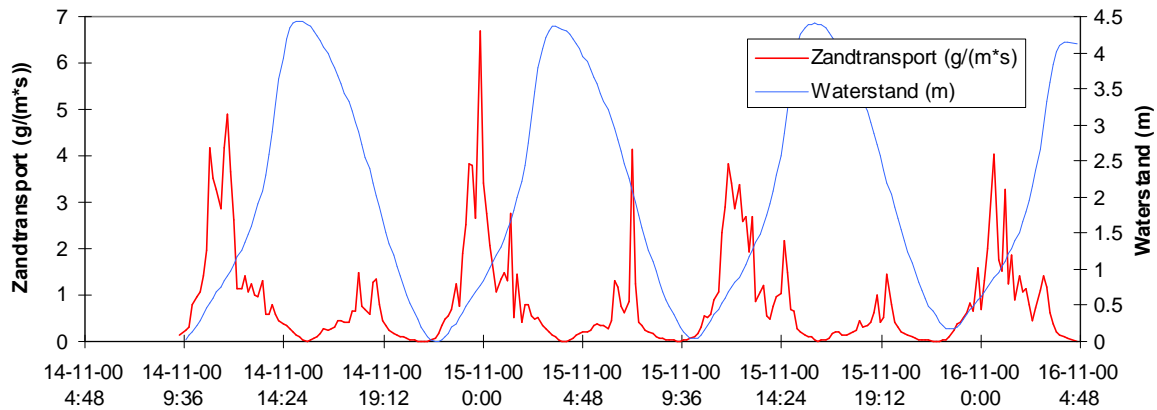
Deze omrekening is uitgevoerd op de 10-minuten gemiddelde waarden, hetgeen resulteert in onderstaande figuur 12. De resultaten zien er prima uit:

- ⇒ hoge concentraties bij maximale stroom, lage bij kentering
- ⇒ veel hogere concentraties bij vloed (door hogere stroomsnelheden) dan bij eb.
- ⇒ hogere concentraties dicht bij de bodem.
- ⇒ betrouwbare concentratieverlopen in hoogte en tijd, zelfs bij lage concentraties (10-30 mg/l)



Figuur 12. De variatie in de zandconcentratie met het getij op de 2 meetniveaus van de AZTM.

Het zandtransport ter plaatse van het meetframe kan, als transport per strekkende meter, worden berekend uit het product van de momentane zandconcentratie- en stroomsnelheidsverdeling over de verticaal en de diepte waarover het zandtransport optreedt. Een snelle indicatie kan worden verkregen door de gemiddelde waarde van de twee meetniveaus van de AZTM voor zandconcentratie en stroomsnelheid met elkaar én met een hoogtemaat voor het zandtransport (b.v. 40 cm) te vermenigvuldigen. Het resultaat staat in onderstaande figuur 13. Duidelijk is dat het zandtransport op de meetlocatie tijdens vloed veel groter is dan tijdens eb, en dat dit transport met name in de eerste helft van de vloed optreedt. Het sedimenttransport op de meetlocatie is vloedgedomineerd.



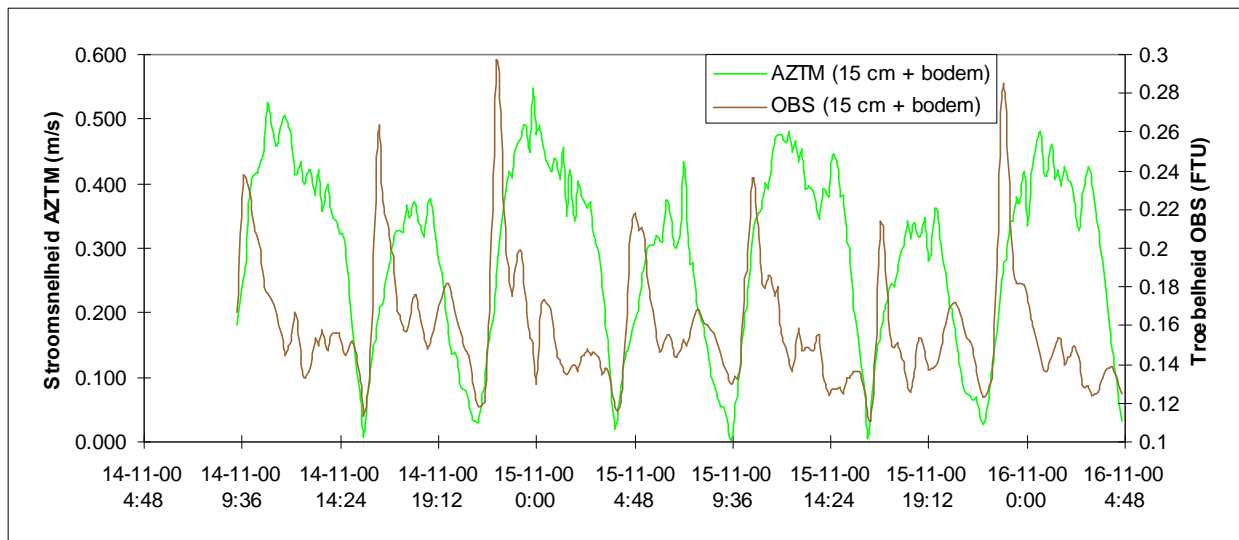
Figuur 13. De variatie in de grootte van het zandtransport volgens de AZTM met het getij.

5.4. Slibconcentratie en -transport

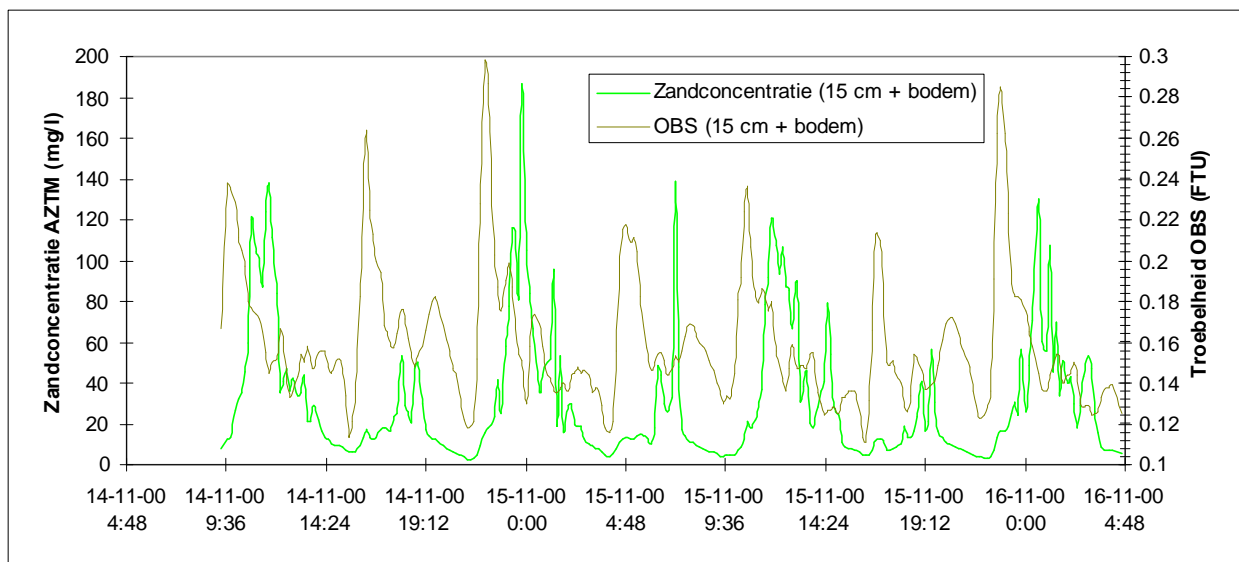
Op het meetframe zit een Optical Backscatter Sensor (OBS) waarmee de troebelheid wordt gemeten. Het meetprincipe is gebaseerd op de hoeveelheid terugkaatsing (backscatter) van een uitgezonden signaal. Terugkaatsing treedt op bij zowel zand als slib. Door de aard van het meetprincipe is de sensor gevoeliger voor slib dan voor zand. Bij een mengsel van zand en slib, dat ook nog eens in mengverhouding varieert, is dit een probleem. Je weet dan niet wat je meet. Als de zandconcentratie hoog is en sterk varieert, en het slibgehalte een constante lage achtergrondwaarde (b.v. in de branding langs de kust), dan kan de sensor worden gebruikt voor zandconcentratiemetingen. In andere omstandigheden, b.v. estuaria, zal het veel meer een slibsensor zijn.

Bij de testmeting heeft de OBS gemeten op een hoogte van 15 cm boven de bodem. In onderstaande figuur 14 is de gemeten troebelheid weergegeven samen met de stroomsnelheid van het onderste meetniveau van de AZTM. Bij de OBS was geen ijklijn bepaald. De eenheid is daarom in 'Turbidity Units' (FTU). De troebelheid neemt steeds na kentering snel toe en zakt dan weer in terwijl de stroomsnelheid nog verder toeneemt. Dit gebeurt bij zowel eb als vloed, zij het bij vloed iets sterker. Het ziet er naar uit dat de OBS slib heeft gemeten. Het slib zal tijdens kentering later dan zand zijn uitgezakt en dus bovenop liggen. Dit komt meteen in beweging zodra de stroom weer aantrekt. Doordat het slib, bij verdere toename van de stroomsnelheid, hoger op de waterkolom in wordt gevoerd en al het slib al van de bodem is opgewoeld (geen nieuwe aanvoer), zakt de slibconcentratie op het meetniveau bij de bodem, ondanks de hogere stroomsnelheden, weer in.

Dat de OBS geen zand heeft gemeten, is ook te zien als het OBS signaal en de AZTM zandconcentratie in één figuur (figuur 15) worden weergegeven. De OBS piekt eerst (opwervelen slib), neemt dan af, en vervolgens piekt de AZTM omdat bij de hogere stroomsnelheden het zand pas in beweging komt.



Figuur 14. De variatie in de troebelheid volgens de OBS met de variatie in de stroomsnelheid volgens de AZTM op het meetniveau van 15 cm boven de bodem.



Figuur 15. De variatie in de zandconcentratie volgens de AZTM en de troebelheid volgens de OBS op een meetniveau van 15 cm boven de bodem.

5.5. Deeltjesgrootteverdeling

Tijdens de testmetingen was de LISST-100 op de Autonome Meetfaciliteit gemonteerd. Het systeem was zodanig geprogrammeerd, dat er om de minuut een meting zou worden uitgevoerd. Elk van de metingen was steeds het gemiddelde van een set van 16 metingen die op hun beurt samen in circa 4 seconden werden ingewonnen

Voorafgaand aan de meting was er een andere batterij in het systeem geplaatst. Helaas per abuis geen nieuwe, zodat er met de LISST-100 geen drie dagen maar slechts 14 uur en 26 minuten gemeten is. Dit leverde desalniettemin toch een mooie meting op (een hele eb-vloed-cyclus):

Starttijd: 14 November 2000 10:00:13

Stoptijd: 15 November 2000 2:26:00

De data van de LISST-100 zijn in figuur 16 weergegeven. In deze figuur zijn, van boven naar beneden, weergegeven:

- watertemperatuur
- verloop van de waterstand (druk, hier niet gecalibreerd)
- de transmissie, hoe hoger de transmissie, hoe lager de troebelheid
- de bundelverzwakkingscoëfficiënt, wordt berekend uit de transmissie aan de hand van Lambert-Beer. Hoe hoger deze coëfficiënt, hoe troebeler het water.
- de volumeconcentratie van zwevende deeltjes in microliter per liter
- de gemiddelde deeltjesgrootte
- genormeerde in-situ deeltjesgrootteverdeling
- in-situ deeltjesgrootteverdeling in microliter per liter
- ruwe LISST-100 data; lichtintensiteit op de detectorringen, hoekafhankelijke lichtverstrooiingsverdeling

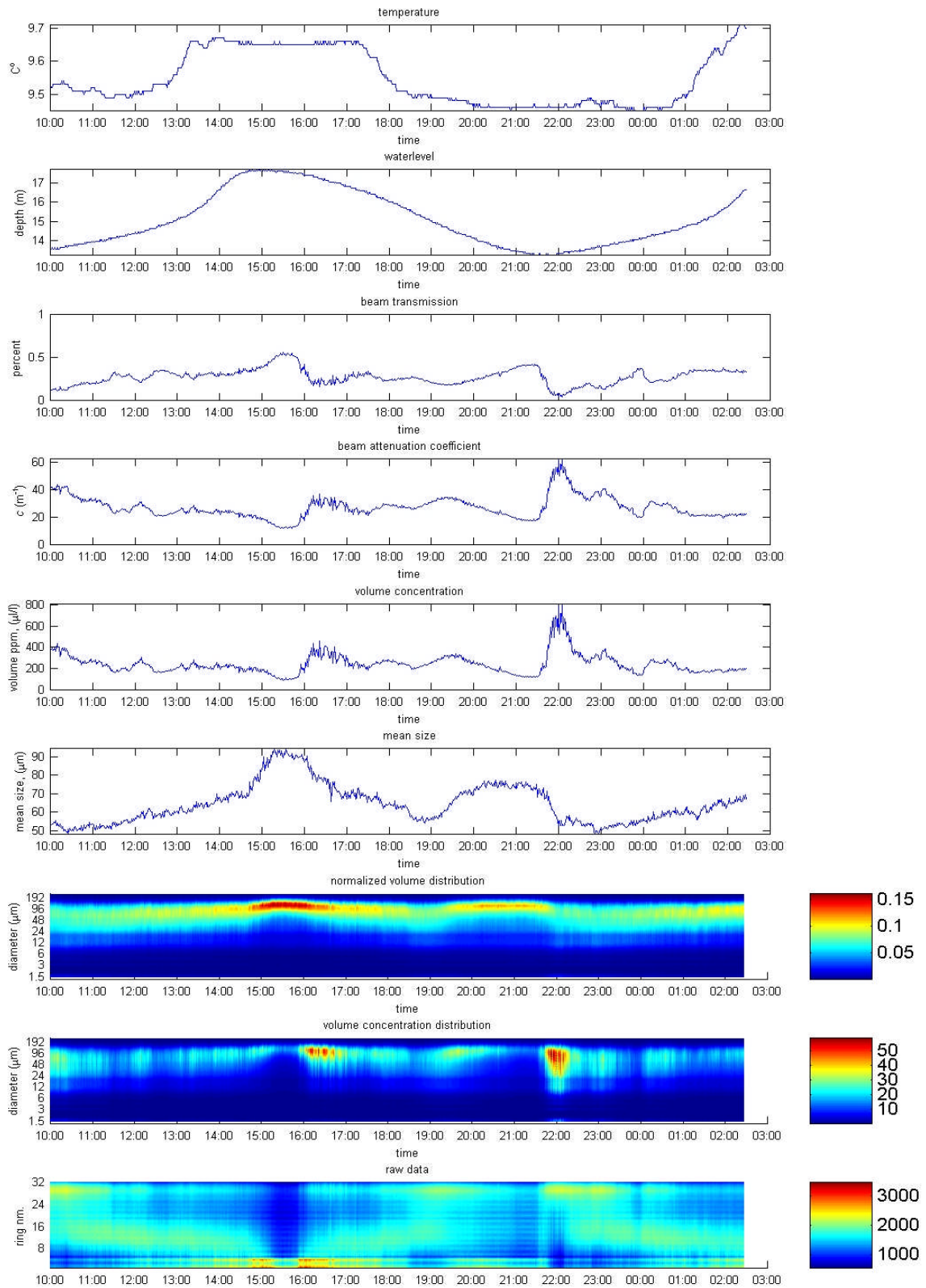
De transmissie van de laserbundel over het optisch pad van vijf centimeter varieert tussen de 10 en 50%. Dit komt overeen met hoge troebelheidswaarden. Dit blijkt ook uit de totale bundelverzwakkingscoëfficiënt c , die wordt berekend uit de transmissiedata. De totale bundelverzwakking is de som van de bundelverzwakkingscoëfficiënten van absorptie a en verstrooiing b . Deze coëfficiënt varieert tussen de 10 en 65. De bundelverzwakkingscoëfficiënt van de LISST-100 is een maat voor de troebelheid. Omzetting naar troebelheid (FTU,'s) is mogelijk, zij het dat de kleur van het laserlicht niet volgens de voorgeschreven ISO-norm voor troebelheid is.

De LISST-100 levert ook een getal voor de hoeveelheid volume, die de deeltjes innemen per eenheid van meetvolume: de volumeconcentratie van de deeltjes (in ppm, ofwel microliter per liter). Een volumeconcentratie van 1 ppm met een dichtheid van zand (2,6 kg/liter) komt overeen met 2.6 milligram/liter. Uitgaande van een gemiddelde sedimentdichtheid voor de Westerschelde van circa 1 kg/liter, betekent dit een volume concentratie tussen 85 en 810 mg/liter. In principe is de volumeconcentratie volledig gecorrigeerd voor variaties in de optische grootte van de deeltjes. Variaties in de effectieve dichtheid voor verschillende grootteklassen van de deeltjes worden echter niet ondervangen. Dit zou kunnen betekenen dat er onder omstandigheden waarbij slibvlokken en zand dezelfde grootte hebben er geen onderscheid kan worden gemaakt tussen slib- en zanddeeltjes.

Figuur 16 laat zien, dat de hoogste volumeconcentratie optreedt kort na hoog en laag water. Tijdens deze twee pieken varieert de concentratie sterk. De correlatie tussen dit signaal en de bundelverzwakkingscoëfficiënt (troebelheid) is hoog (0.95). Dit betekent dat 95% van de variatie in het ene signaal beschreven kan worden met het andere signaal.

De gemiddelde grootte van de deeltjes varieert van 47 tot 95 micrometer. De grootste deeltjes komen voor tijdens hoogwater, de kleinste kort na laagwater. De pieken in deeltjesgrootte gaan vooraf aan de pieken in concentratie.

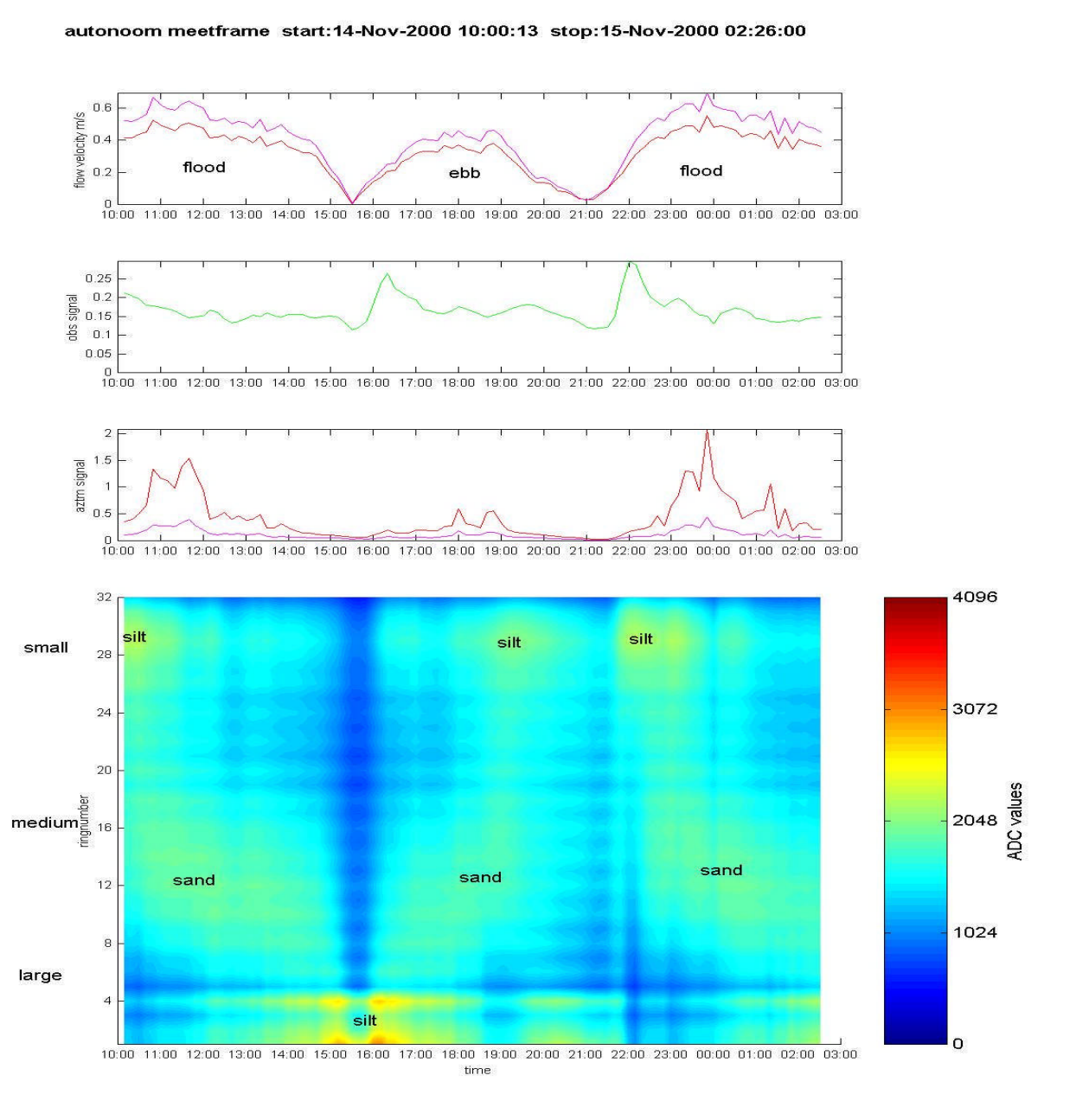
autonoom meetframe start:14-Nov-2000 10:00:13 stop:15-Nov-2000 02:26:00 LISST-100B



Figuur 16. De meetgegevens van de LISST-100 particle-sizer.

De ruwe LISST-100 data en in-situ deeltjes grootte verdeling bieden meer informatie over het gedrag van het zwevend materiaal in de getijcyclus. Deze data is weergegeven in de onderste grafieken van figuur 16. Er kan informatie uit worden gehaald over de deeltjesgrootteverdeling en de variatie van deze verdeling in de tijd.

De LISST-100 gebruikt laserdiffractie voor deeltjesgrootte bepalingen, hierbij wordt gebruik gemaakt van het feit, dat de hoek waaronder het laserlicht wordt verstrooid door deeltjes gerelateerd is aan de grootte van deeltjes; grote verstrooiingshoeken voor kleine deeltjes en kleine verstrooiingshoeken voor grote deeltjes. Uit de ruwe LISST-data, lichtintensiteit als functie van de verstrooiingshoek, wordt de in-situ deeltjesgrootteverdeling berekend.



Figuur 17. In de grafieken van boven naar beneden zijn de volgende signalen weergegeven als functie van de tijd resp. stroomsnelheid gemeten door de twee AZTM's, signaal van de OBS, zandconcentraties gemeten door de twee AZTM's en de signalen van de 32 ringdetectoren van de LISST-100. De grootte van de ringdetectoren, dus de schaal op de y-as, is een maat voor de grootte van de zwevende deeltjes: hoe groter de ringdetector, hoe kleiner de deeltjes.

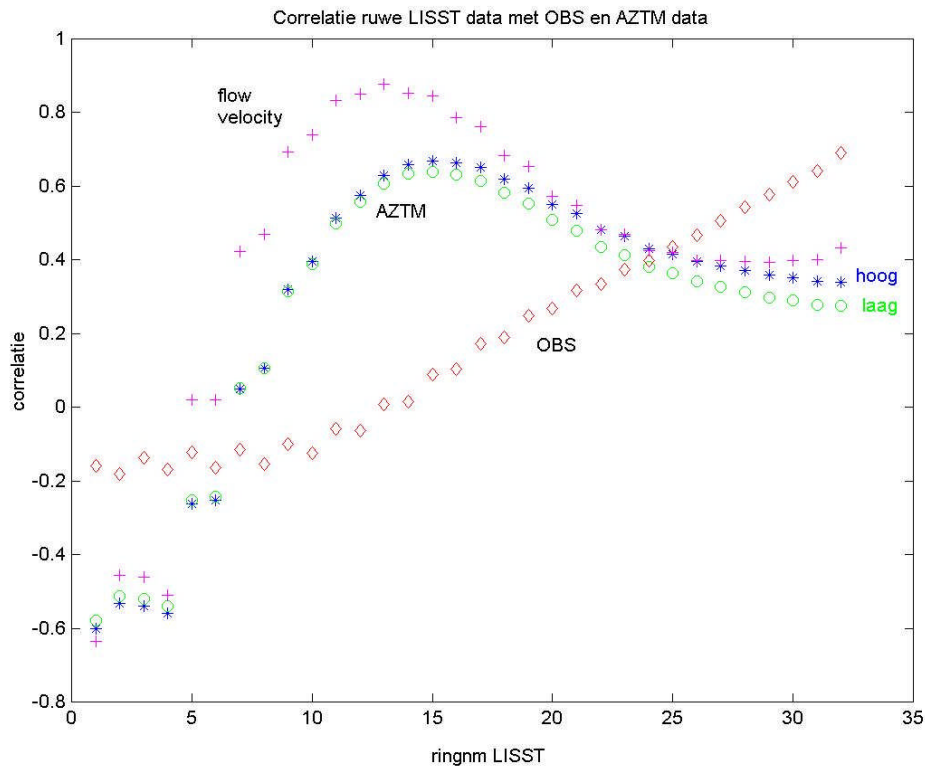
Beschouwing van de ruwe LISST-100 data levert het beeld op zoals weergegeven in figuur 17. Voor de kleinste deeltjes trad een minimum in concentratie op tijdens hoogwater en maxima vlak voor en na laag water. De concentratie aan middelgrote deeltjes vertoonde minima bij kentering zowel bij hoog- als laagwater. Bij de overgang van hoog- naar laagwater liep de concentratie middel-grote deeltjes rustig op naar een maximum en zakte daarna weer in. Ook de overgang van laag- naar hoogwater vertoonde een dergelijk beeld, zij het met een dip tijdens het absolute maximum van de totale volumeconcentratie. Deze dip zou veroorzaakt kunnen zijn doordat meervoudige verstrooiing als gevolg van hoge concentraties een verschuiving van het verstrooide licht hebben veroorzaakt naar de grotere hoeken (kleine deeltjes).

De grootste deeltjes hadden een maximum rond hoogwater dit vormt een aanwijzing voor de vorming van slibvlokken. Daarna zakte de concentratie in en voor laagwater nam de concentratie weer wat toe. Kort ná laag water, tijdens het maximum in de volumeconcentratie trad was deze concentratie voor de grootste deeltjes minimaal. Ook dit zou een effect kunnen zijn van meervoudige verstrooiing. De enige manier waarop meervoudige verstrooiing voorkomen kan worden is de padlengte van de laserbundel door het water te verkorten. Hiervoor is een speciale module beschikbaar, deze is echter tijdens de meting niet gebruikt.

In figuur 17 zijn ook de signalen van de twee AZTM's voor stroom en zandconcentratie en de troebelheid gemeten door de OBS weergegeven. De signalen van de OBS en de AZTM's lijken niet op elkaar. De correlatie tussen deze signalen is slechts 0.01. De correlatie van de OBS met bundelverzwakking van de LISST-100 is 0.85. Vergelijking van de OBS met de volume concentratie van de LISST-100 geeft zelfs een correlatie van 0.94. Op grond hiervan zou je kunnen concluderen dat de LISST-100 ongevoelig is voor de zandfractie. Waarbij wel de kanttekening moet worden geplaatst dat LISST-100 verder van de bodem was geplaatst (circa 50 cm).

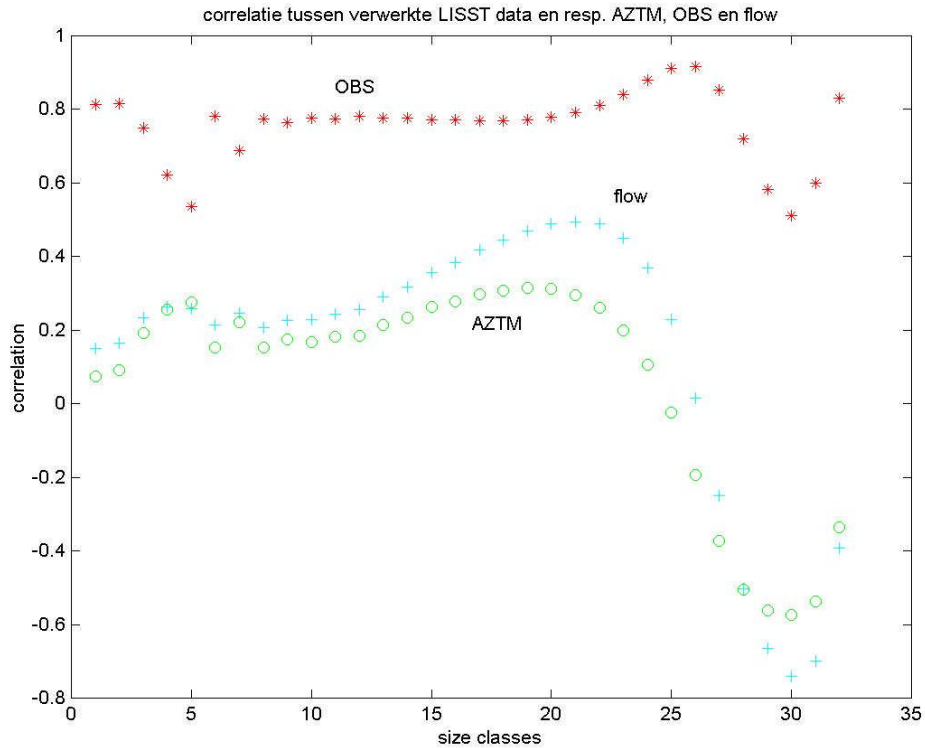
Toch moeten we voorzichtig zijn, want vergelijking met de ruwe LISST-100 waarden onderaan lijkt te wijzen op een correlatie tussen de AZTM en de middelgrote deeltjes. Het gedrag van de OBS lijkt gedomineerd te worden door de kleine deeltjes met uitzondering van de kentering bij hoogwater. In figuur 18 zijn voor het signaal van elk van de detectorringen van de LISST-100 de correlatiecoëfficiënten gegeven van de vergelijking met AZTM, OBS en stromingsnelheidsmetingen. Deze grafiek bevestigt het vermoeden dat het signaal van de middelste ringen (middelgrote deeltjes) redelijk goed correleert met de AZTM. De hogere ringnummers, die overeenkomen met het verstrooide licht van de kleine deeltjes correleren het best met de OBS. Voor de kleine verstrooiingshoeken (lage ringnummers) vinden we een negatieve correlatiecoëfficiënten. We hebben hier dus grote deeltjes op het moment dat er weinig of geen stroming is, waarbij het andere zwevende materiaal, met name zand, afwezig is. Dit vormt weer een sterke aanwijzing voor het optreden van flocculatie van slibdeeltjes.

Na omzetting van de ruwe LISST-100 data naar in-situ deeltjesgrootteverdelingen blijft er van dit beeld weinig over. Dit blijkt uit figuur 19. In deze figuur 19 zijn voor elk van 32 deeltjesgrootteklassen van de LISST-100 weer de correlatiecoëfficiënten na vergelijking met AZTM, OBS en stroomsnelheid weergegeven. Over het hele deeltjesgrootte bereik geeft vergelijking met de OBS de hoogste waarden voor de correlatie. De correlatie van de LISST-100 met de AZTM en stroomsnelheid is heel laag geworden. Het maximum in correlatie wordt nog wel gevonden voor de middelgrote deeltjes. Verder vormt de steeds sterk negatieve correlatie van de LISST-100 met de AZTM opnieuw een bevestiging van het beeld dat er sprake is van flocculatie bij kentering.

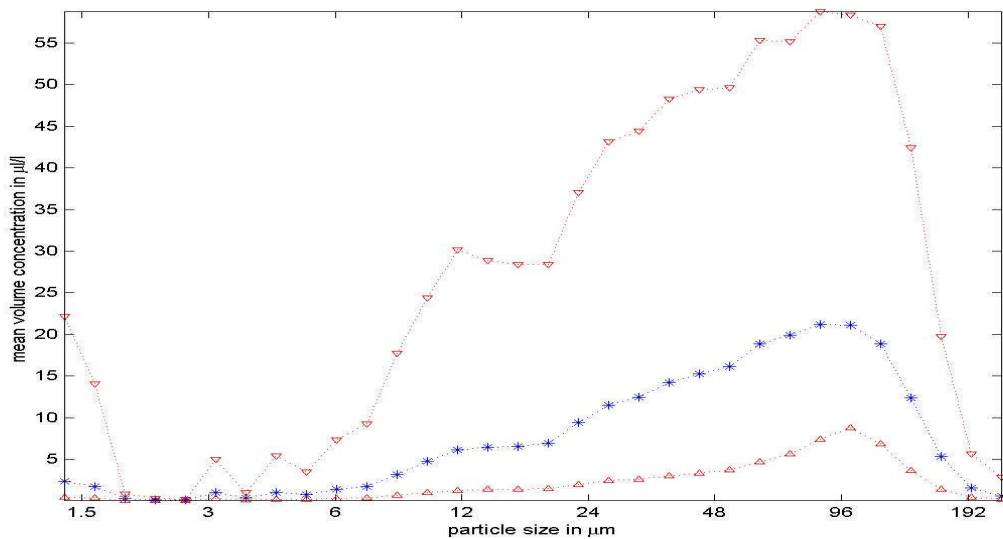


Figuur 18. Weergegeven is de correlatie in de tijd tussen het ruwe signaal van elk van de detectorringen van de LISST-100 en respectievelijk de OBS, de AZTM en de stroomsnelheid. De lage ringnummers komen overeen met kleine lichtverstrooiingshoeken en daarmee met grof materiaal. De hoge ringnummers komen overeen met grote lichtverstrooiingshoeken en daarmee met fijn materiaal. Het signaal van AZTM is gerelateerd aan de grovere zandfractie. De OBS is het meest gevoelig voor het fijnste zwevende materiaal, dat verantwoordelijk is voor de hoogste mate van vertroebeling bij gelijke concentratie. De negatieve correlatie, die wordt gevonden bij de grofste fracties (laagste ringnummers) is een aanwijzing voor de vorming van grote slibvlokken tijdens kentering en de desintegratie van deze vlokken in stromend water.

Op basis van de voorliggende gegevens moet geconcludeerd worden dat het signaal van de LISST-100 gemonteerd op deze hoogte gedomineerd wordt door het slib, ondanks de goede correlaties die gevonden werden tussen de ruwe LISST-100 signalen van de middelgrote deeltjes en de AZTM. De maximale zandconcentratie gemeten met de AZTM op 40 cm van de bodem was circa 80 mg/l met een dichtheid van 2.6 kg/l voor zand komt dit overeen met een volume concentratie van 30 microliter/liter. Vergelijken we dit met de totale volume concentratie van de LISST-100 die varieerde tussen een minimum van 85 microliter/liter bij kentering en maximum van 810 microliter/liter. Gemiddeld over de hele meting was de volume concentratie van het zwevend stof op 50 cm boven de bodem 250 microliter/liter. Ten opzichte van dit gemiddelde vormt de piek in de zandconcentratie volume op 40 cm van de bodem slechts 10 % van totale zwevende stofvolume. Waarbij de opmerking moet worden geplaatst dat de AZTM maximaal gevoelig is voor zand met korrelgrootte rond 100 micrometer. Kijken we naar de gemiddelde deeltjesgrootteverdeling over de meetperiode (figuur 20), dan zien we dat deze gepiekt is in de buurt van deeltjes met een grootte van 90 micrometer. Precies in het gebied, waar ook de korrelgrootte van zand zit. Zand is dus nauwelijks detecteerbaar, omdat de bulk van het zwevend stof dezelfde grootte heeft. Daar slechts een klein deel van het zwevend stof zand is, moet de bulk van het zwevend stof slib zijn in de vorm van vlokken met een identieke grootte. Zonder aanvullende informatie over de effectieve dichtheden is het onmogelijk om met de LISST-100 onder deze gemixte omstandigheden uitspraken te doen over zandtransport. Wel kan veel informatie worden verkregen over de dynamiek in de aggregatie van slibdeeltjes gedurende de getijcyclus



Figuur 19. Weergegeven is de correlatie in de tijd tussen de 32 logaritmisch verdeelde deeltjesgrootteklassen van de LISST-100 over het bereik van 1.25 t/m 250 micrometer en respectievelijk de OBS, de AZTM en de stroomsnelheid. De lage klassennummers komen overeen met kleine deeltjes. De hoge klassennummers komen overeen met grote deeltjes.



Figuur 20. Weergegeven is de gemiddelde deeltjesgrootte voor elke deeltjesgrootte klasse voor de meetreeks in blauw, daarnaast zien we in de grafiek in rood voor elke deeltjesgrootte klasse ook de maximale en de minimale volume concentratie

Duidelijk is wel dat door het gebruik van fundamenteel verschillende meetmethoden in het autonome meetframe een sterk verbeterd inzicht kan worden verkregen in de dynamiek van het zwevend stof transport onder omstandigheden waar zand en slib in gemengde vorm voorkomen. Waarbij in dit geval met name de informatie, die men krijgt, over de flocculatie van slibdeeltjes tot nog toe buiten bereik was.

5.6. Bodemligging

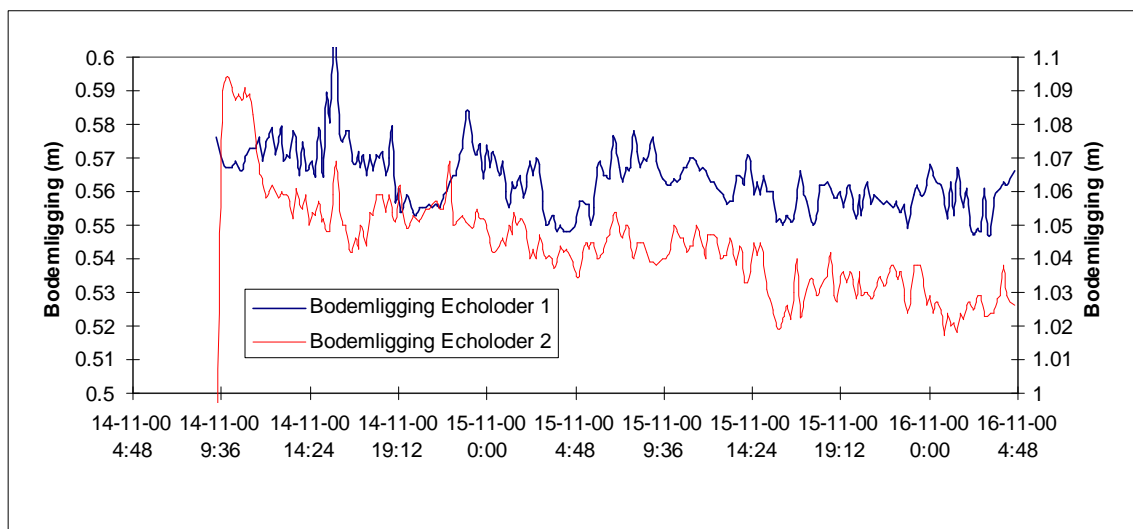
Voor het meten van de hoogte van het bodemniveau zijn in het frame 2 hoogfrequente echolood sensoren aanwezig. Deze meten de afstand tussen de sensor en de bodem. Voor de metingen waren de 2 sensoren op verschillende hoogtes in het frame gemonteerd. Hoe verder de sensor van de bodem af staat, hoe groter de 'footprint' van de uitgezonden akoestische bundel, en hoe minder goed kleine details aan het bodemoppervlak (ribbels) zichtbaar zijn.

In onderstaande figuur 18 is de variatie in de bodemligging volgens de echoloodsignalen weergegeven (let op beide verticale schalen over een bereik van 10 cm).

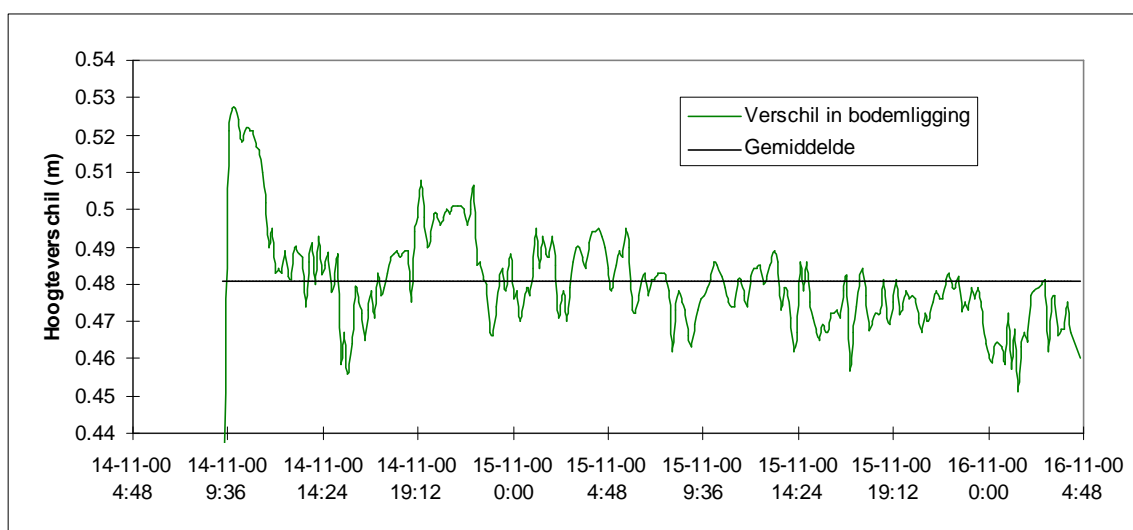
Op het eerste gezicht kan worden opgemerkt dat

- ⇒ beide sensoren vergelijkbare variaties in de bodemligging (en dus bodemvormen) waarnemen.
- ⇒ het verschil in afstand tot de bodem het meetresultaat niet lijkt te beïnvloeden.
- ⇒ gemeten hoogteverschillen ribbels zijn met een hoogte van enkele cm's.

In de volgende figuur 19 is het verschil tussen de gemeten afstanden volgens beide echoloden weergegeven. Het ene echolood stond 48 cm hoger in het frame dan het andere. Het afstandsverschil wordt in de tijd wat kleiner, hetgeen wijst op aanzanding onder de hoogste of erosie onder de laagste sensor. Overigens speelt ook het nazakken van het frame een rol (de registratie van de hellingopnemers geeft een kleine verandering van helling aan).



Figuur 18. De variatie in de bodemligging onder de meetsensoren volgens de 2 echoloden.



Figuur 19. Het verschil in bodemligging onder de meetsensoren volgens de 2 echoloden.

5.7. Stabiliteit meetframe

Bij de constructie van het meetframe is er voor gekozen om geen dwarsspanten tussen de poten aan te brengen. Dergelijke dwarsspanten zouden het frame ogenschijnlijk steviger maken, maar zij hebben als nadeel dat ze de vrije aanstroming van de sensoren verstoren. Het frame lijkt daardoor zeer beweeglijk. De vraag is of het frame in trilling kan raken door aanstroming onder water.

Dit aspect is onderzocht door in detail te kijken naar de hoog frequente (4 Hz) registratie van de stroomsnelheden in X- en Y-richting van de EMS-sensor. Dit is gedaan door een medewerker van de Universiteit Utrecht (Fysische Geografie) die veel ervaring heeft met het interpreteren van ingewonnen tijdreeksen van meetframes.

Uit een analyse van de opbouw van de 4Hz registratie van de stroomsnelheid blijkt het volgende:

Opbouw signaal:

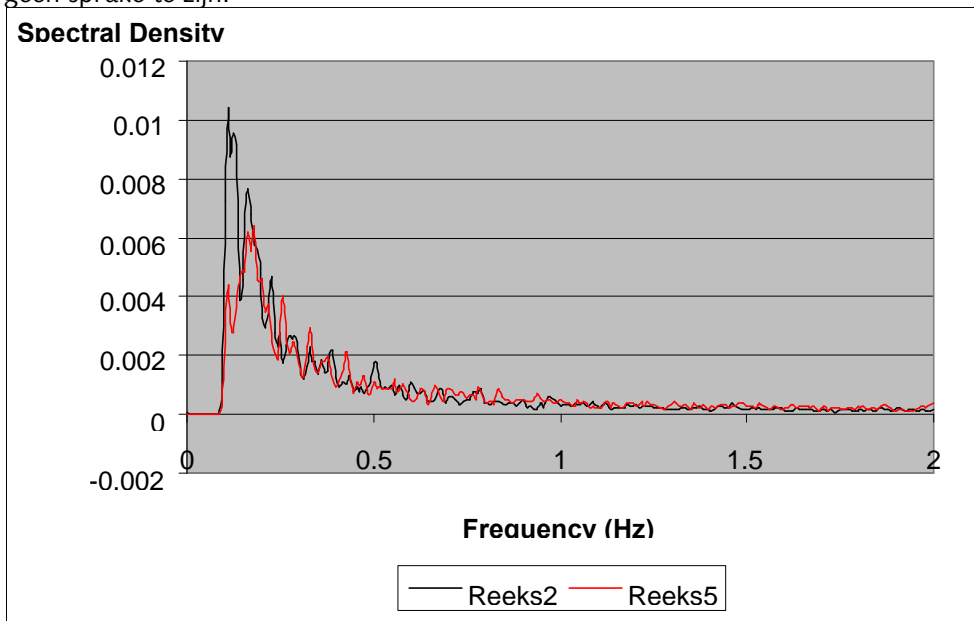
De gemeten stroomsnelheid in de X-richting (EMFx) laat duidelijk een fluctuatie zien richting de langere golven. Waarschijnlijk is hier sprake van secundaire stroming die ervoor zorgt dat het signaal in de minutenband fluctueert. Deze fluctuatie is niet het gevolg van een eventueel meetrillen van het frame. Bij meetrillen zouden de fluctuaties een veel kortere periode hebben (0.5-10 seconde). In de gemeten stroomsnelheid in de Y-richting is de fluctuatie van langere golven veel minder duidelijk aanwezig.

Invloed golven versus stroming:

Er is wat meer in detail gekeken naar de variaties in de stroomsnelheid met een korte periode door de lang periodieke componenten weg te filteren. Zo kan ook de bijdrage van de orbitaalbeweging van golven aan het stroomsnelheidsignaal in verhouding tot de bijdrage van stroming worden berekend. De analyses laten zien dat het orbitaalsignaal in X- en Y-richting ongeveer even klein zijn. Er is dus geen dominante richting voor de orbitaalsnelheid. Dit betekent dat golven op de meetlocatie een geringe rol spelen, en dus dat diep is gemeten en de orbitaalbeweging van de golven al behoorlijk is uitgedempt. Deze conclusie klopt met de realiteit.

Meetrillen frame met de waterbeweging:

Het frequentiespectrum (figuur 20) laat zien dat de meeste energie in de lagere frequenties zitten en dat het geheel afloopt naar de hogere frequenties zonder echt duidelijk significante pieken. Er zit in ieder geval geen piek bij de hogere frequenties (orde 1 seconde). Hoogstwaarschijnlijk treedt er dan ook geen interferentie op tussen frame en waterbeweging in dit bereik. Van meetrillen van het frame lijkt dus geen sprake te zijn.



Figuur 20. Spectrale dichtheidfunctie.

6. Discussie toepassingsmogelijkheden

In tabel 2 zijn de specificaties vermeld waaraan de sensoren zouden moeten voldoen. Het gaat bij deze specificaties om instelbaarheid op verschillende niveau's, meetbereik en meetresolutie. Op grond van de testresultaten in dit rapport kan voor al deze aspecten en alle sensoren hierover een uitspraak worden gedaan.

6.1. Instelbaarheid:

Dit is voor alle sensoren goed geregeld. Die sensoren die vrij instelbaar moeten zijn, zijn dat ook. En wel middels zogenaamde Stauff-klemmen. Dit is een makkelijke verbinding aan uithouders cq staalwerk van het frame, traploos instelbaar tot dicht boven de bodem. Hellingmeters en kompas zitten in de elektronicapot boven in het frame en werken goed. De LISST-100 is op dit moment niet in hoogte instelbaar maar heeft zijn vaste positie in het frame. Dit kan natuurlijk eenvoudig met een aanpassing van de beugels voor de bevestiging aan het frame worden veranderd.

6.2. Meetbereik en meetresolutie:

De bovengrens van het gespecificeerde meetbereik kon voor geen van de sensoren worden gecontroleerd omdat dergelijke hoge waarden op de meetlocatie niet werden bereikt. Er is echter geen enkele reden om aan te nemen dat hier een probleem zou kunnen ontstaan: de gespecificeerde bovengrens betreft voor alle sensoren waarden waar de sensoren geen probleem mee zouden moeten hebben. Bovendien zijn deze bovengrenzen voor de meetpraktijk uitzonderingen.

Veel kritischer is de ondergrens, en daar is dan ook met name naar gekeken. De AZTM zou een resolutie van < 10 mg/l moeten halen. De meetresultaten geven aan dat dit in de praktijk haalbaar is. De AZTM-registraties zijn sowieso van hoge kwaliteit. De AZTM is ook prima te gebruiken als stroomsnelheid sensor. De vergelijking met de EMS pakt goed uit. De resultaten van beide verschillende meettechnieken zijn goed vergelijkbaar. De gespecificeerde meetresolutie voor de EMS van 1-2 cm/s is gerealiseerd. Dit geldt feitelijk zelfs ook voor de AZTM. De echolood sensoren halen de gespecificeerde resolutie van 1-2 cm. De kleinste ribbels aan het bodemoppervlak zullen hiermee kunnen worden gemeten. Van verstoringen bij het meten van het bodemoppervlak door veel zwevend zand is bij de testmetingen niets gebleken. Dit zou bij hele hoge zandconcentraties incidenteel wel voor kunnen komen, maar is geen probleem bij de toepassing van de meetfaciliteit.

Het patroon van de, uit de snelheidscomponenten berekende, stroomrichting laat een realistisch beeld zien. De oorzaak van het systematische verschil in de stroomrichting tijdens vloed voor de registraties met de EMS en de AZTM dient nader onderzocht te worden. Mogelijk kan dit probleem worden verholpen. Zo niet, dan dient in ieder geval duidelijk te worden op welke meetresultaten, die van de EMS of die van de AZTM, men voor de stroomrichting het best kan vertrouwen.

De druksensor geeft de waterstandsvariatie goed weer. Vergelijking met een waterstand meetstation in de buurt (Westkapelle) geeft verschillen in de orde van cm's. Dit is waarschijnlijk de ruimtelijke variatie van het getij. De druksensor kan 20 meter waterdruk aan. Bij het inzetten van de meetfaciliteit op grotere waterdieptes kan weliswaar een andere drukdoos met een groter meetbereik worden ingezet, maar is voorzichtigheid geboden in relatie tot de drukbestendigheid van de andere onderdelen van de meetfaciliteit. De stalen potten voor AZTM, voeding en electronica zijn ontworpen om een grotere diepte aan te kunnen. 30 m zou geen probleem moeten zijn. Nog dieper wordt ten strengste afgeraden. De OBS is duidelijk een slibsensor en geen zandsensor. Dit geldt feitelijk ook voor de LISST-100. De resultaten voor OBS en LISST-100 zijn onderling goed vergelijkbaar en dit geeft vertrouwen. Calibraties met slibconcentraties zijn niet uitgevoerd.

De combinaties van de registraties met OBS cq LISST-100 en de AZTM geven een mooi, en vanuit de proceskennis van sedimenttransport realistisch beeld van het sedimenttransport:

- tijdens kentering zakt het zwevend sediment uit, eerst het zware zand, dan het lichte slib. Aan het eind van de kentering ligt het slib dus als een dekentje op het bodemoppervlak.

- kort na kentering, bij het aantrekken van de stroomsnelheid, wervelt dit slib op. Dit is te zien in een snelle toename van het OBS-sigitaal terwijl de AZTM nog lage waardes laat zien.
- bij een verdere toename van de stroomsnelheid is inmiddels het dekentje slib in zijn geheel opgewerveld en dit verdeelt zich over de hele waterkolom. Hierdoor neemt de concentratie nabij de bodem sterk af. Dit wordt door de OBS keurig weergegeven door een sterke daling van het signaal.
- en dan wordt een kritische schuifspanning bereikt waarbij ook het zand wordt opgewerveld en het AZTM-sigitaal fors gaat toenemen.

6.3. Statusinformatie

De werking van kompas en hellingmeters is bij de test prima gebleken. De registraties zijn stabiel en realistisch. De temperatuur in de elektronicapot blijft redelijk constant en laag. De batterijspanning blijft vrij constant tijdens het meetproces. Wel is gebleken dat minder lang continu kon worden gemeten dan vooraf was berekend. Kennelijk was het energieverbruik van de sensoren toch hoger dan vooraf was berekend. Daarbij valt op te merken dat de capaciteit van de batterijen bij een hogere watertemperatuur, en met name ook bij discontinu meten, verbetert. Bij een cyclus van 10 minuten aan, 10 minuten uit wordt de levensduur van de batterijen duidelijk méér dan 2 maal zo lang. Overigens biedt de stalen pot voor de batterijen meer ruimte aan batterijen dan de hoeveelheid batterijen die bij de meting is gebruikt (en volgens het oorspronkelijke ontwerp was gespecificeerd) (400 Ah in plaats van ruim 200 Ah). Afhankelijk van het meetprotocol dat men wil draaien, moet van te voren goed worden nagedacht over de hoeveelheid batterijen die nodig zijn. Bij twijfel moet de maximale vulcapaciteit van de batterijpot worden benut.

6.4. User-interface

Het opstellen van een meetprotocol op een laptop PC en het doorsturen van dit protocol naar de datalogger is, zeker aan de hand van de handleiding, niet moeilijk. Dit zou in principe door b.v. een technicus van de Meet(informatie)dienst van een regionale directie moeten kunnen worden uitgevoerd. Maar wellicht kan de onbekendheid met het omgaan met een meetframe hier toch wel een probleem vormen. Een interessante optie is het beheer onder te brengen bij één van de Meet(informatie)diensten van Rijkswaterstaat en daar ook de deskundigheid onder te brengen voor het inzetten van de Meetfaciliteit. Zie hiervoor hoofdstuk7.

De optie om de waardes van parameters, na weglating van grote uitschieters, als gemiddelden over een in te stellen tijdsinterval op te slaan, biedt de mogelijkheid tot een snelle indruk van de grootte van optredende processen. Voor veel projecten zal zo al snel de informatie beschikbaar zijn waar men mee verder kan. In korte tijd kunnen de resultaten van de meetfaciliteit dan al gepresenteerd worden. Voor monitoringsdoeleinden (veelal inzet regionale directies) zal dit veelal voldoende zijn. De file met alle hoogfrequent ingewonnen data zal voor meer specifieke onderzoeksdoeleinden gebruikt worden (RIKZ, RIZA en Nederlandse onderzoeksinstituten).

6.5. Montage, plaatsing en ontmanteling

Doordat de Meetfaciliteit, inclusief het frame zelf, uit componenten is opgebouwd, is het geheel makkelijk naar een meetlocatie te vervoeren. Een aanhanger of bestelbus volstaat. Montage aan de wal nabij de meetlocatie is snel te realiseren. De inzet van een vorkheftruck is gewenst om het middendeel op te tillen zodat de poten hier tegen aan kunnen worden geschroefd. Met 2 mensen kan men in een halve dag het geheel in elkaar zetten en meetklaar maken. Relatief veel tijd gaat hierbij zitten in het strak langs de uithouders en het frame leiden, en middels tyrapen vastklemmen, van de kabels. Dit moet goed gebeuren opdat kabels niet mee gaan klapperen met de stroom. Bij het opbinden van de kabels moet men beginnen bij de sensoren en vervolgens stap voor stap naar de aansluitingen op de stalen potten toe werken.

Voor de plaatsing moet een schip worden ingezet met voldoende dekruimte (afstand tussen de poten is 4 m) en een kraan met voldoende hijsvermogen. De Meetfaciliteit weegt ongeveer 250 kg. Met name voor het weer optakelen van het frame is hijsvermogen nodig omdat het frame (met onder andere de horizontale flensen bij de poten) dan deels in het zand kan zitten. Om het frame weer te kunnen optakelen moet het frame middels een kabel/ketting aan een boei worden verbonden waar dan een

hijsoog zit. De bij de testmeting gehanteerde methode met boei en ankerblok bleek zeer efficiënt en snel te werken. Het plaatsen van het geheel inclusief het uitleggen van de ankerketting duurde slechts een kwartier. Het weer optakelen duurde ongeveer 2 keer zo lang. Het frame was bij de testmeting niet verzand en kwam zonder problemen boven water. Bij de plaatsing dient men er op te letten dat het vlak met de instrumenten niet stroomafwaarts achter een van de poten van het frame komt te zitten. Het aanstroomoppervlak moet vrij zijn. Het frame is zo ontworpen dat een vrij aanstroomoppervlak ook bij kerende stroom (getij) realiseerbaar is.

6.6. Extra: montage ADCP's

Op het frame kunnen ook ADCP's worden gemonteerd. In het bijzonder interessant is de optie om 2 ADCP's aan het frame te monteren, waarbij een ADCP omhoog kijkt en de ander naar beneden. Door de ADCP die naar beneden kijkt in een zogenaamde 'high resolution mode' in te stellen, kan de stroomsnelheidsverticaal tot dicht bij de bodem (afstand van centimeters) worden gemeten. Combinatie van de meetresultaten van beide ADCP's levert een volledige stroomsnelheidsverticaal op ter plaatse van de meetfaciliteit. Deze informatie, in combinatie met de informatie van de sensoren van de meetfaciliteit levert een zeer volledig beeld op van water- en sedimentbeweging ter plaatse. Belangrijke meerwaarde van de ADCP hierbij is dat zo het verloop van de stroomsnelheidsverticaal nabij de bodem bekend is, zodat betrouwbaar schuifspanningen van het water op de bodem kunnen worden berekend. Een eerste test van deze combinatie is onlangs op de Merwede uitgevoerd (foto 3). De ADCP's maken geen onderdeel uit van de Autonome Meetfaciliteit en moeten dus van elders worden geleend/gehuurd.



Foto 3. De montage van 2 ADCP's aan de Autonome Meetfaciliteit.

7. Eigendom en beheer meetfaciliteit ná oplevering

De Autonome Meetfaciliteit is eigendom van 5 regionale directies en 2 specialistische diensten van Rijkswaterstaat (zie tabel 3). Daarnaast is ook vanuit Meetstrategie 2000+ financieel aan de bouw van de faciliteit bijgedragen. Het verdient sterk de voorkeur om de meetfaciliteit bij een meet(informatie)dienst van één van deze directies te laten beheren. Dit beheer zou moeten betekenen:

- fysiek beheren van frame, instrumenten, elektronica, bekabeling e.d.
- logistiek coördineren van de inzet van de meetfaciliteit in den lande
- verkrijgen en behouden van deskundigheid voor opbouw, programmeren en inzet van de meetfaciliteit
- verzorgen van het onderhoud en calibraties van elektronica en sensoren middels een te sluiten onderhoudscontract met WL|Delft Hydraulics

Het is van groot belang dat één organisatie zich verantwoordelijk voelt voor de meetfaciliteit en dat andere dienstonderdelen van Rijkswaterstaat bij een gewenste inzet van de meetfaciliteit voor deskundigheid en coördinatie op deze organisatie een beroep kunnen doen. De financiering van deze inzet en de kosten van een onderhoudscontract bij WL|Delft Hydraulics zou via het POHM (Periodiek Overleg Hoofden Meetdiensten) over de belanghebbenden kunnen worden verdeeld op een wijze die nu ook geldt voor onderhoudscontracten van andere meetsystemen.

In overleg met de Meetinformatiedienst van de Directie Zeeland is besloten dat zij het beheer van de Autonome Meetfaciliteit gaan verzorgen. Dit betekent dat men voor informatie over de meetfaciliteit en een gewenste inzet van de meetfaciliteit bij projecten in de regio contact dient op te nemen met de afdeling Support van deze Meetinformatiedienst. De van belang zijnde gegevens:

Meetinformatiedienst Zeeland, Prins Hendrikweg 3, 4382 NR Vlissingen.
 Hoofd onderafdeling Support: Ing. Lucien de Maat (0118-422232)
 Wnd. Hoofd afdeling Support Jan van 't Westeinde (0118-422253)

Tabel 3. Financiers en daarmee mede-eigenaren van de Autonome Meetfaciliteit voor zand- en slibtransport.

Instituut	Contactpersoon	Adres	Rol betrokkene
Directie Noord-Holland	Hoofd Meetdienst (v.h. F. Keuper)	Meetdienst Postbus 175 1970 AD Ijmuiden	Eindgebruiker
Directie Oost-Nederland	J.H.L. Tacke	Meetdienst Postbus 9070 6800 ED Arnhem	Eindgebruiker
Directie Zeeland	ing. M. Lazar (v.h. ing. J. de Jong)	Postbus 5014 4330 KA Middelburg	Eindgebruiker
Directie Limburg	R. Simons	Meetdienst Postbus 25 6200 MA Maastricht	Eindgebruiker
Directie Zuid-Holland	ir. R. Bol F. van de Zeeuw	Boompjes 200 3011 XD Rotterdam Meetdienst Sluisjesdijk 155 3087 AG Rotterdam	Eindgebruiker
RIKZ	dr.ir. H.L.H. Cox ir. H. Roberti	Postbus 20907 2500 EX Den Haag	Ontwikkelaar en eindgebruiker
Meetstrategie 2000+	ir. W.H. Mulder	Postbus 20907 2500 EX Den Haag	Moderator
RIZA	dr. W.B.M. ten Brinke D. Kos drs. E.J. Houwing	Postbus 9072 6800 ED Arnhem Van Leeuwenhoekweg 20 3316 AV Dordrecht	Ontwikkelaar en eindgebruiker

