

C-2060 950

TNO-rapport
FSP-RPT-960099

3D Karakterisering Waterbodems

TNO Technisch Fysische Dienst
TU Delft

Stieltjesweg 1
Postbus 155
2600 AD Delft

Telefoon 015 269 20 00
Fax 015 269 21 11

Datum

25 maart 1997

Auteur(s)

Ir. U. Stelwagen
Drs. P.P. van 't Veen

Projectnummer

612.035

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 1997 TNO

Aan

RWS-RIKZ
RWS-RIKZ/PB Meetstrategie 2000+
Postbus 20907
2500 EX DEN HAAG



Voorwoord

De driedimensionale (3D) karakterisering van waterbodems is een gebied dat de laatste jaren sterk in ontwikkeling is. Dit betreft zowel de ontwikkeling van in situ en in loco meettechnieken voor de karakterisering van bijvoorbeeld bodemvervuiling, i.e. de chemische samenstelling, als ook technieken voor het sneller en nauwkeuriger vaststellen van met name bodemligging en fysische samenstelling.

Bij deze ontwikkelingen zijn de diverse geledingen van Rijkswaterstaat, zoals RIKZ, MD en de regionale directies, uiteraard nauw betrokken. Daarnaast zijn diverse marktpartijen, zoals baggeraars, inspectiebedrijven en analyselaboratoria, als ook onderzoeksinstellingen zoals TNO en WL betrokken bij de ontwikkeling en evaluatie van nieuwe meettechnieken.

Dit rapport is geschreven in opdracht van RWS-RIKZ¹ vanuit de behoefte bij Rijkswaterstaat aan een overzicht van technieken en ontwikkelingen voor 3D karakterisatie van waterbodems. Naast het bedoelde overzicht geeft dit rapport tevens een inventarisatie van de meetbehoeften bij RWS Directie Zeeland toegespitst op de ophanden zijnde verdieping van de Westerschelde, alsmede van de meetbehoeften bij RWS Directie IJsselmeer toegespitst op de sanering van het Ketelmeer. Op basis hiervan wordt tenslotte een schets van een plan van aanpak gegeven voor demonstratie en validatie, in Westerschelde en Ketelmeer, van technieken in ontwikkeling.

¹ Zie referenties [1] en [2].

Samenvatting

Dit rapport is geschreven in opdracht van RWS-RIKZ² en geeft een overzicht van technieken-in-ontwikkeling voor de 3D karakterisering van waterbodems.

Naast dit overzicht van technieken in ontwikkeling zijn de meetbehoeften van de Directie Zeeland (DZL) en de Directie IJsselmeergebied (RDIJ) met betrekking tot 3D karakterisering van waterbodems geïnventarieerd en weergegeven. Bij DZL lag het accent daarbij op de op handen zijnde uitdieping van de Westerschelde, terwijl bij RDIJ het accent op de sanering van het Ketelmeer lag.

Op basis van het techniekoverzicht en de geïnventarieerde meetbehoeften is een schets van een plan van aanpak gegeven om te komen tot demonstratie en validatie experimenten voor een aantal technieken in 1997.

Delft, maart 1997
UST/ADI

TNO Technisch Fysische Dienst TU Delft



Ir. U. Stelwagen



Drs. P.P. van 't Veen

² Zie referenties [1] en [2].

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting.....	5
Inhoudsopgave	7
1 Inleiding	9
2 Meetbehoeften Rijkswaterstaat.....	12
2.1 Verdieping Westerschelde	12
2.2 Sanering Ketelmeer.....	13
3 Technieken in Ontwikkeling.....	16
3.1 Stramien	16
3.2 Kerngegevens Ontwikkelingen	17
3.3 Bodemligging.....	21
3.3.1 Laser Altimetrie	21
3.3.2 Laser Bathymetrie.....	25
3.3.3 Radar Bathymetrie, RWS-BAS.....	29
3.3.4 Multi Channel Echosounders.....	33
3.3.5 Multi Beam Echosounders.....	37
3.3.6 Optimalisatie Meetcampagnes	41
3.4 Fysische Samenstelling.....	43
3.4.1 Nucleaire Slib Dichtheid Sonde.....	43
3.4.2 Sterna Density Probe.....	46
3.4.3 Sub Bottom Profilers	51
3.4.4 Hoge Resolutie Seismiek	54
3.4.5 RoxAnn Bodem Classificatie.....	55
3.4.6 Nabij Infrarood Reflectie Sonde.....	59
3.5 Chemische Samenstelling	63
3.5.1 Inleiding	63
3.5.2 In Situ Methoden voor Specifieke Verontreinigingen.....	63
3.5.3 In Situ Karakterisatie Grondsoort.....	68
3.5.4 In Loco Chemische Analyse	70
3.6 Biologische Samenstelling.....	78
3.7 Transport Eigenschappen.....	81
3.7.1 Acoustic Current Profiling, ADCP en CCP.....	81
3.7.2 Radar Current Profiling, HF Radar.....	84
3.7.3 Akoestisch Zand en Slib Transport Meten	85
3.7.4 LWI Sediment Transport	86
3.7.5 Cilas Particle Sizer.....	91
3.7.6 Optische Troebelheidsmeting	94
4 Plan van Aanpak	95
Referenties	98
Afkortingen	106

1 Inleiding

Monitoring, Inventarisatie en Sanering Waterbodems

Binnen RWS bestaat een groeiende behoefte aan verbeterde technieken voor de 3D karakterisering van waterbodems³ voor:

1. monitoring waterbodems algemeen;
2. monitoring waterbodem voor, tijdens en na onderhoud;
3. monitoring waterbodem voor, tijdens en na 'bijzondere technische ingrepen'.

Een voorbeeld van het eerste type meten en bemonsteren is het landelijk meetnet van RWS. Periodiek worden landelijk een aantal standaard metingen uitgevoerd volgens vaste procedures en gerapporteerd (zie bijvoorbeeld *'Jaarboek Monitoring Rijkswateren 1994'*, [3]).

Het meest voorkomende onderhoud in Nederland is natuurlijk het op diepte houden van havens en vaargeulen, het zogenoemde nautisch baggeren. Een ander voorbeeld in dit verband is natuurlijk de monitoring van de waterbodems in de directe omgeving van 'kunstwerken' zoals dijken, bruggen, tunnels en sluizen.

Een eerste voorbeeld van een bijzondere technische ingreep is de op handen zijnde verdieping van de Westerschelde (voor nautische doeleinden), welke medio 1997 zal aanvangen, en waarbij vooraf, tijdens en met name na de baggerwerkzaamheden de waterbodem van de uitgebaggerde vaargeul en de onmiddellijke omgeving gevolgd dienen te worden.

Een tweede voorbeeld van een bijzondere technische ingreep is de onder handen zijnde sanering van het sterk vervuilde Ketelmeer. Het zogenoemde sanerings baggeren is natuurlijk vooraf gegaan door een inventarisatie van die vervuiling.

Waarom Verbeterde Karakterisatie Technieken ?

De behoefte aan verbeterde technieken wordt (ondermeer) ingegeven door wensen ten aanzien van:

1. nauwkeurigere en objectievere⁴ gegevens;
2. completere (bijvoorbeeld 3D in plaats van 1- of 2D) gegevens;
3. actuelere gegevens;
4. combineren verschillende soorten gegevens;
5. hogere efficiëntie (van gegevens vergaren);
6. lagere kosten (van gegevens vergaren);
7. verbetering rendement voor het milieu.

³ Zie einde van deze paragraaf voor een nadere uitwerking van het begrip '3D karakterisering waterbodems' zoals gehanteerd in dit rapport.

⁴ Niet alleen op basis van visuele, en derhalve subjectieve, waarneming.

Wensen die ondermeer het direkte gevolg zijn van de toegenomen aandacht voor kwaliteitszorg in het algemeen. Daarnaast speelt de wens om het nemen van bodem- en watermonsters op de zogeheten 'prikpunten' te optimaliseren naar aantal en locatie een steeds grotere rol.

Optimalisatie Bemonstering Waterbodems

Een ander belangrijk aandachtspunt is optimalisatie van monsternames. Het nemen en analyseren van monsters kost over het algemeen veel tijd en geld. Ook blijkt kwaliteitscontrole bij monstername moeilijk. Het totale monstername- en analyseproces is daardoor kwetsbaar en vereist veel aandacht. Door gebruik van effectieve 'in loco' of 'in situ' meettechnieken kan het aantal monsters teruggedrongen worden, waardoor de kosten van meetcampagnes zullen dalen. Daarnaast wordt gewerkt aan methoden voor het optimaliseren van monstername naar aantal en plaats op basis van kennis van de morfologie van het gebied.

Parallele Ontwikkelingen

Modellen voor het gedrag van watersystemen zijn de laatste jaren sterk verbeterd. Gebruik van deze modellen leert dat calibratie op basis van veldmetingen noodzakelijk is om betrouwbare resultaten te krijgen.

Ook remote sensing heeft zich sterk ontwikkeld. Met behulp van remote sensing technieken kan snel en relatief goedkoop een totaal beeld verkregen worden. Ook hier geldt echter dat combinatie met veldmetingen noodzakelijk blijft.

Combinatie van modellen, remote sensing en veldmetingen vereist inzicht in de waarde van de verkregen informatie uit de sterk verschillende methoden voor het bereiken van de gestelde doelen. Bij het opstellen van meetcampagnes dienen integrale keuzes gemaakt te worden ten aanzien van inzet van modellen, remote sensing en veldmetingen.

Om tot optimalisatie van meetcampagnes en afstemming van verschillende methoden te komen zal in toenemende mate gebruik gemaakt worden van informatie systemen en dan met name geografische informatie systemen (GIS). Door inzet van een GIS kunnen de verzamelde gegevens op een efficiënte en doeltreffende wijze worden verwerkt en gepresenteerd en wordt de uitwisseling van informatie tussen betrokken partijen vergemakkelijkt [4]

Van grote invloed op de ontwikkeling van nieuwe meettechnieken is het toegenomen belang van kwaliteitszorg. Doorlopende aandacht voor de kwaliteit van het meetproces leidt tot toenemende behoefte aan kennis over bestaande meettechnieken. Hieruit blijkt dat bestaande technieken vaak te kort schieten, hetgeen weer leidt tot de ontwikkeling en toepassing van nieuwe, verbeterde technieken.

3D Karakterisering Waterbodems

Onder 3D karakterisering moet in dit rapport verstaan worden het vaststellen van de eigenschappen met betrekking tot:

- A. de bodemligging;
- B. de fysische samenstelling;
- C. de chemische samenstelling;
- D. de biologische samenstelling;
- E. de transporteigenschappen (van de bijbehorende waterweg);

en wel in drie ruimtelijke dimensies (3D, i.e. x, y, z). Daarnaast bestaat in toenemende mate behoefte aan vergelijking van metingen met historische informatie en analyse van trends. Hiermee wordt als vierde dimensie de tijd toegevoegd.

Voor ieder van bovengenoemde meettaken bestaat uiteraard reeds een scala van meettechnieken welke op routinebasis of incidenteel worden toegepast door c.q. in opdracht van de meetdiensten van de regionale (RWS) directies. Deze bestaande technieken zijn bekend verondersteld, de inventarisatie concentreert zich op 'de' ontwikkelingen.

Waterbodemeigenschappen

Onderstaand zijn de genoemde waterbodemeigenschappen op beknopte wijze nader gedefinieerd.

Tabel 1.1: Definities Waterbodemeigenschappen.

Eigenschap	Omvat
bodemligging	ligging bovenzijde bodem (onder water), zoals bijvoorbeeld aangepeild met een echolood
fysische samenstelling	bodemsoort (slib, zand, gesteente etc.), gelaagdheid, dichtheid, deeltjesgrootteverdeling
chemische samenstelling	samenstelling bodem (inclusief sliblaag) naar chemische componenten, vaak industriële contaminanten zoals zware metalen, koolwaterstoffen etc., maar ook van nature aanwezige stoffen als bijvoorbeeld kalk of de totale hoeveelheid organische verbindingen
biologische samenstelling	samenstelling bodem (inclusief sliblaag) naar levende organismen en hun metabolieten
transporteigenschappen	stroming (3D) inclusief meegevoerde vaste stoffen, met name zand en slib

2 Meetbehoeften Rijkswaterstaat

2.1 Verdieping Westerschelde

De wensen van de Directie Zeeland met betrekking tot nieuwe c.q. verbeterde meetmethoden voor 3D karakterisatie van de waterbodem zijn sterk gerelateerd aan het volgen van de effecten van de op handen zijnde verdieping van de Westerschelde [5]. Bedoelde effecten hebben vooral betrekking op de bodemligging (en vorm), de bodemsamenstelling (met name fysisch en biologisch) alsmede de transporteigenschappen van die bodem.

In het kader van het meerjarenprogramma MoVe (Monitoring Verdieping Westerschelde) wil men de gevolgen van deze verdieping, welke medio '97 moet aanvangen, in kaart brengen en volgen. Het plan voor de verdieping gaat uit van transport van baggerspecie van oost naar west. Gebaggerd materiaal wordt uit kostenoverwegingen niet gestort op de Noordzee, maar in het oostelijk deel van de Westerschelde. Fijn materiaal uit het oostelijk deel wordt gestort op een plaats met een relatief grover bodemmateriaal in het westelijk deel. Dit zal waarschijnlijk invloed hebben op het systeem. Onvoldoende bekend is welke invloed dit zal hebben. Onduidelijk is verder op welke tijdschaal de verschillende veranderingen zullen optreden.

In het MoVe-programma zijn dan ook meetcampagnes voorzien over een periode van 5 tot 10 jaar. Daarbij wordt gedacht aan één peiling per kwartaal en gedurende 5 jaar elk jaar een grote meetcampagne. Daarna zal waarschijnlijk elke 5 jaar een meetcampagne uitgevoerd worden.

Nieuwe technieken zouden de gewenste gegevens sneller, goedkoper en/of nauwkeuriger moeten kunnen opleveren dan de huidige methoden.

Fysische en Biologische Samenstelling Bodem

Het karakteriseren van de samenstelling van de waterbodem van de Westerschelde, met name in de componenten zand, slib en organische stof, is een onderwerp van groot belang en blijvende interesse voor de Directie Zeeland.

Uitdiepen Vaargeulen en Havenmonden

Momenteel wordt per jaar 8 tot 10 miljoen m³ slib verwijderd voor onderhoud van de bestaande vaargeulen en havenmonden. Bij deze baggerwerkzaamheden zou het mooi zijn als de aanwezige gelaagde deposities van zand en slib gescheiden opgebaggerd en gestort zouden kunnen worden. Het zand kan gebruikt worden voor suppleties en alleen het slib wordt dan afgevoerd naar de Noordzee. Dit vereist dat tijdens het baggeren (met sleephoppers) de lagen gemonitord (en onderscheiden) kunnen worden zodat zand en slib gescheiden omhooggehaald, getransporteerd en gestort kunnen worden.

Momenteel wordt gewerkt met boorkernen. Hiermee kan echter slechts een zeer conservatieve indeling van de specie gemaakt worden.

Transport Zand en Slib

Het meten van het transport van zand en slib is een ander onderwerp van interesse gerelateerd aan de op handen zijnde uitdieping en de daarop volgende monitoring (MoVe).

Vervuiling Bodem

Vervuiling van de waterbodem van de Westerschelde speelt, enkele uitzonderingen daargelaten zoals het kanaal van Gent naar Terneuzen en in de nabijheid van (sommige) havens, geen belangrijke rol.

Zo'n 5 jaar geleden is de vervuiling in de gehele Westerschelde middels monsternamen op een rooster van 500x500 m² geïnventariseerd, waaruit bleek dat hooguit klasse 2 slib voorkomt tot op een diepte van meer dan de te verwijderen laag van 1.5 m dikte, behoudens genoemde uitzonderingen. Aangezien de verdieping in de orde van 1m ligt en klasse 2 slib zonder vergunning (onder water) gestort mag worden is dit in de Westerschelde derhalve geen onderwerp van (groot) belang.

Verwacht wordt dat de verdieping van de Westerschelde geen invloed heeft op de verontreinigingsgraad van de waterbodem. Eventuele veranderingen in de mate van verontreiniging kunnen natuurlijk optreden, maar zullen zeer waarschijnlijk een andere oorzaak hebben.

Voor het monitoren van de verontreinigingsgraad van de waterbodem in de Westerschelde voldoet het huidige bemonsterregime.

2.2 Sanering Ketelmeer

Wat Speelt Er?

Een belangrijk aandachtspunt van de Directie IJsselmeergebied was en is uiteraard de sanering van het Ketelmeer [6]. In de afgelopen jaren is de aard en omvang van de vervuiling van het Ketelmeer intensief geïnventariseerd en ook hebben vier baggerproeven plaatsgevonden. De laatste baggerproef vond plaats in september 1996. De inventarisatie wordt momenteel afgerond. De laatste omvangrijke en momenteel nog lopende activiteit hierbij is het vaststellen van de exacte ligging van de vervuilde laag op een rooster van voorlopig 100x100 m². Hiermee kan een driedimensionaal digitaal terreinmodel (3D-DTM) van de vervuiling gemaakt worden, hetgeen als basis voor het uiteindelijke saneringsmodel zal dienen en waarmee het totaal te verwijderen volume slib⁵ nauwkeurig bepaald zal worden.

⁵ De totale hoeveelheid te verwijderen vervuild slib (klasse 3 à 4) is door RWS geschat op minder dan 20 miljoen m³.

Verder zal in 1997 nog een volledige (echo)loding van het gehele Ketelmeer uitgevoerd worden met de recent aangeschafte multi-channel echosounder. Dit zal tijdens en na de sanering⁶ frequent (wekelijks tot maandelijks) herhaald worden.

Kartering Vervuilde Laag

Het karteren van de vervuilde laag wordt gedaan met behulp van het zogeheten 'vrij-wit' boren, een boormethode waarbij de opbouw van de bodemlagen niet of nauwelijks verstoord wordt bij het nemen van een bodemonmonster. Geboord wordt tot circa 1,5 m diepte en de ligging van de overgang van de laag 'IJsselmeer bruin' naar de laag 'IJsselmeer grijs' (= onderkant vervuilde laag) wordt visueel op kleur bepaald en opgemeten. Voor exacte bepaling van positie en diepte wordt de aflezing gekoppeld aan een 3D (x, y en z !) satellietplaatsbepalingssysteem (DGPS, Sercel KART).

Ervaringen en Wensen

Bodemligging

Voor het bepalen van de ligging van oevers, in dit geval langs de Friese kust van het IJsselmeer, heeft men bij RDIJ/RIZA ervaring met laseraltimetrie.

Fysische Samenstelling, Gelaagdheid

Hoewel het vrij-wit boren op zich goed voldoet is het een zeer tijdrovende en arbeidsintensieve techniek. Omdat het verder wellicht noodzakelijk is dat het rooster op zekere plaatsen, bijvoorbeeld vaargeulen, verfijnd moet worden naar 50x50 m² of zelfs 25x25 m² zou een qua meetsnelheid en kosten verbeterde techniek zeer welkom zijn.

Met 'sub bottom profiling' (X-Star), ondiepe seismiek ('boomers') en penetratie cones is geprobeerd de gelaagdheid in het Ketelmeer sneller in kaart te brengen dan middels het vrij-wit boren. Resolutie en gevoeligheid van deze technieken bleken echter steeds onvoldoende voor het gewenste onderscheid tussen de lagen 'IJsselmeer bruin' en 'IJsselmeer grijs'.

Twee jaar geleden zijn proeven uitgevoerd met 'video' sondering voor het in situ bepalen van de overgang van 'IJsselmeer bruin' naar 'IJsselmeer grijs'. Hoewel deze proeven op zichzelf veelbelovend waren, de gelaagdheid was goed waar te nemen, liet de uitvoering van de sonde nog te wensen over. Zo moesten de sterk vergrote beelden instantaan worden geïnterpreteerd, hetgeen vanwege de beweging van de sonde in de bodem ten gevolge van golfbeweging erg lastig was. Met een nucleaire slibsonde zijn in het Ketelmeer ook reeds enige proeven uitgevoerd, waarbij vooral gekeken is naar het indikken van het slib in een (proef)baggerdepot.

⁶ De eigenlijke sanering zal in september 1998 van start gaan.

Chemische Samenstelling

Voor monitoringsdoeleinden zou men graag het zoutgehalte van het water op betrouwbare wijze, in situ en kontinu kunnen meten.

Biologische Kenmerken

Het karteren van biologische kenmerken, van toenemend belang in het gehele IJsselmeergebied, gebeurt tot op heden nog uitsluitend 'met de hand'. Dat wil zeggen; er worden monsters genomen (bijvoorbeeld met de 'van Veen happer'), eventueel geconserveerd en vervolgens worden deze al dan niet ter plekke geanalyseerd.

Twee jaar geleden is een RoxAnn systeem⁷ aangeschaft, met name met het oog op het karteren van biologische kenmerken als het voorkomen van driehoeksmossels, begroeiing met waterplanten etcetera, in het gehele IJsselmeergebied waaronder het Ketelmeer. Behalve voor wat eerste experimenten, ondermeer bij een baggerproef in het Ketelmeer, is het systeem echter nog niet echt geëvalueerd.

Stroming en Transport

Met het oog op de verkleining van het vrije doorstromingsprofiel van het Ketelmeer door de aan te leggen baggerdepots, wordt de stroming in het Ketelmeergebied met een 'acoustic Doppler current profiler' (ADCP) in kaart gebracht.

Met een optische, in situ deeltjesanalysator⁸ zullen door RDIJ en RIKZ in 1997 metingen aan in het water zwevende deeltjes uitgevoerd worden bij Enkhuizen, alwaar een nieuwe sluis gebouwd gaat worden, alsmede in het Ketelmeer in de nabijheid van de baggerdepots. Tot dusver worden dit soort metingen, ook in het Ketelmeer, met een optische 'troebelheids' meter (MEX) uitgevoerd.

Algemeen

Voor het beheren en gebruiken van de vele gegevens die voor het Ketelmeer zijn ingewonnen en nog zullen worden ingewonnen, is men van plan een geografisch informatiesysteem (GIS) toe te gaan passen.

⁷ Het RoxAnn systeem is een 'add-on' voor echoloden bedoeld voor bodemclassificatie. Zie paragraaf 3.4.5 voor een beschrijving.

⁸ Bijvoorbeeld met de Cilas Particle Sizer, een optisch instrument voor het in situ meten van de deeltjesgrootteverdeling en concentratie van in het water zwevende deeltjes, dan wel met een vergelijkbaar instrument. Zie ook paragraaf 3.7.5.

3 Technieken in Ontwikkeling

3.1 Stramien

Navolgend worden nieuwe ontwikkelingen, zowel lopende als kort geleden afgeronde ontwikkelingen op het gebied van de 3D karakterisatie van waterbodems besproken⁹. Hierbij is ervoor gekozen om allereerst te groeperen al naar gelang de specifieke applicatie, i.e. ter bepaling van de volgende eigenschappen¹⁰:

- A. de bodemligging;
- B. de fysische samenstelling;
- C. de chemische samenstelling;
- D. de biologische samenstelling;
- E. de transporteigenschappen.

Vervolgens worden per applicatie de bijbehorende ontwikkelingen, indien gesignaleerd, beknopt besproken. Hierbij is ervoor gekozen om iedere ontwikkeling volgens een vast stramien te bespreken, onderverdeeld in de volgende hoofd- en deelonderwerpen:

ALGEMEEN

- Techniek
- Resultaat
- Principe
- Uitvoering

TOEPASSINGSGEBIED

- Toepassingen
- Parameters
- Beperkingen

SPECIFICATIES

- Presentatie
- Bereik
- Nauwkeurigheid
- Productie

ONTWIKKELINGEN

- Recent
- Lopend
- Toekomstig

Dit stramien is, enigszins aangepast, 'geleend' uit het CUR rapport "*Geofysische technieken voor grondonderzoek*" [7].

⁹ De voor RWS meest relevante ontwikkelingen zijn geïnventariseerd en beschreven zonder overigens naar volledigheid te streven.

¹⁰ Zie pagina 11 voor in dit rapport gehanteerde definities waterbodemeigenschappen.

De beschrijving van een ontwikkeling bestaat, voor zover mogelijke en toepasselijk, steeds uit vier delen, 'Algemeen', 'Toepassingsgebied', 'Specificaties' en 'Ontwikkelingen', elk weer onderverdeeld in een aantal standaard onderwerpen.

- X Voor de beschrijving van een aantal technieken is uitvoerig geput uit het bij ~~EUR~~ recentelijk verschenen rapport "LWI-Rivieren, Integraal monitoringsysteem voor 3D geometrische informatie van de rivier m.b.v. sonar en remote sensing" [8].

Een overzicht van de geïnventariseerde technieken is gegeven in de navolgende Tabellen 3.1 (pag. 17) tot en met 3.4 (pag. 19).

3.2 Kerngegevens Ontwikkelingen

Tabel 3.1: Kerngegevens Ontwikkelingen 3D Karakterisatie Waterbodems: Bodemligging.

Project/ Ontwikkeling	Partners RWS/Markt	Principe	Status ¹¹
Laser Altimetrie	MD, RDIJ/divers	laser altimetrie	operationeel; in evaluatie bij RDIJ
Laser Bathymetrie	MD/divers	laser bathymetrie	operationeel; niet in Nederland
RWS-BAS	MD,RIKZ/Argoss	radar + echoloding	in ontwikkeling en evaluatie bij RIKZ en MD
Multi-Channel Echosounders	RDIJ/ divers	multi-beam echoloding	operationeel ('97) bij RDIJ
Multi-Beam Echosounders	DNH, DON, DZH, DZL, MD/TNO-TPD, divers	multi-beam echoloding	operationeel; in evaluatie bij DNH, DON, DZH, DZL en MD
Optimalisatie Meetcampagnes	DZH/TNO-TPD	akoestisch meten (sonar e.d.) + puntmetingen	in voorbereiding

¹¹ in ontwikkeling:

in evaluatie:

operationeel:

nog geen instrument commercieel verkrijgbaar

commercieel verkrijgbaar instrument wordt geëvalueerd

commercieel verkrijgbaar instrument of dienst

Tabel 3.2: *Kerngegevens Ontwikkelingen 3D Karakterisatie Waterbodems: Fysische Samenstelling.*

Project/ Ontwikkeling	Partners RWS/Markt	Principe	Status ¹²
Nucleaire Slib Dichtheid Sonde	DZH/TNO-TPD, Seabed	absorptie gammastraling	operationeel; in evaluatie bij DZH
Stema Density Probe	?/STEMA	demping stemvork	operationeel (STEMA)
Sub Bottom Profilers	n.v.t.	penetrerend echolood	operationeel
Hoge Resol. Seismiek	n.v.t.	hoge resolutie seismiek	n.v.t.
RoxAnn	RDIJ/Marine Micro Systems	echolood + signaalverw.	operationeel; operationeel ('97) bij RDIJ
NIR Sonde	POSW, RIKZ/ Delta Consult, VBKO, TNO- TPD, MEP	infrarood absorptie	in ontwikkeling

¹² in ontwikkeling:
in evaluatie:
operationeel:

nog geen instrument commercieel verkrijgbaar
commercieel verkrijgbaar instrument wordt geëvalueerd
commercieel verkrijgbaar instrument of dienst

Tabel 3.3: Kerngegevens Ontwikkelingen 3D Karakterisatie Waterbodems: Chemische Samenstelling.

Project/ Ontwikkeling	Partners RWS/Markt	Principe	Status ¹³
NIR Sonde	POSW, RIKZ/ Delta Consult, VBKO, TNO- TPD, MEP	infrarood absorptie	in ontwikkeling
XRF In Loco	RIKZ/Delta Consult, TNO- TPD	röntgen- fluorescentie	in ontwikkeling

Tabel 3.4: Kerngegevens Ontwikkelingen 3D Karakterisatie Waterbodems: Transport Eigenschappen.

Project/ Ontwikkeling	Partners RWS/Markt	Principe	Status
ADCP, CCP	RIKZ/OCN, RDI, TNO-TPD	akoestisch: Doppler, correlatie	operationeel
HF-Radar	RIKZ/GHR, OCN	radar	in ontwikkeling
AZTM, USTM	n.v.t./WL	akoestisch	n.v.t.
LWI Sediment Transport	RIKZ, RIZA/ WL, TNO-TPD	akoestisch, spectraalanalyse	in ontwikkeling
Cilas Particle Sizer	RIKZ/TNO-TPD	optisch	in evaluatie, operationeel
Optische Troebelheid	RIKZ/TNO-TPD	optisch	voorgesteld

¹³ in ontwikkeling:

in evaluatie:

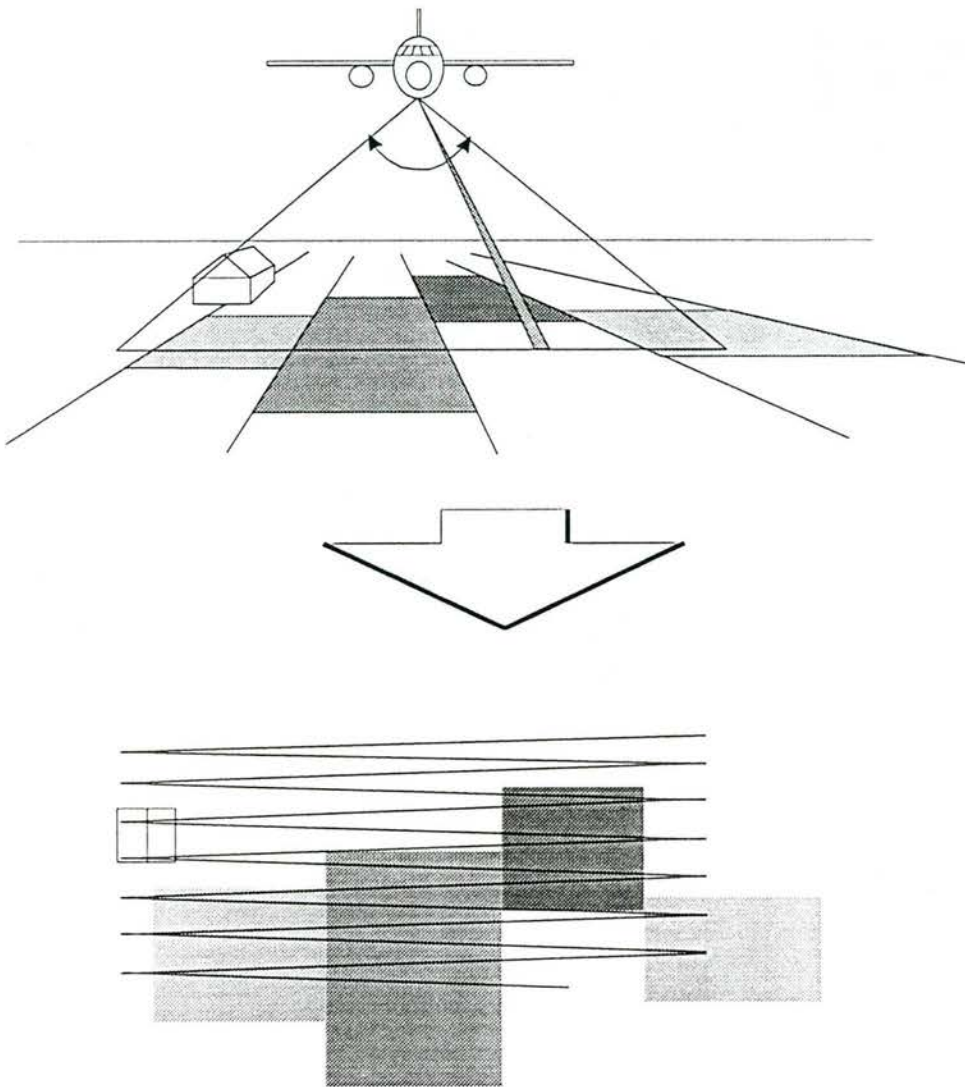
operationeel:

nog geen instrument commercieel verkrijgbaar

commercieel verkrijgbaar instrument wordt geëvalueerd

commercieel verkrijgbaar instrument of dienst

laser altimetrie



Figuur 1

Laser altimetrie berust op een gecombineerde afstand/hoek meting met een laserstraal. Door de straal te laten 'scannen', via een roterende spiegel, wordt een lijn afgetast. Door het 'meetplatform', bijvoorbeeld een vliegtuig te laten bewegen wordt een geheel gebied lijn voor lijn afgescand (afbeelding uit ref. [8]).

3.3 Bodemligging

3.3.1 Laser Altimetrie¹⁴

ALGEMEEN

Techniek

Laseraltimetrie is een techniek, waarbij een laserstraal vanuit een vliegtuig of helicopter het aardoppervlak (niet onder water !) in afzonderlijke slagen loodrecht op de vliegrichting aftast. Deze scanbeweging die de laserbundel maakt wordt bereikt door de laserbundel te laten invallen op een bewegende spiegel. Al vliegend wordt een strook terrein met een bepaalde breedte aan weerszijde van het toestel bemeten. Door het vliegen van parallelle, deels overlappende stroken, zijn ook grotere gebieden op eenvoudig wijze op te nemen.

Resultaat

Met laseraltimetrie kan een gedetailleerd digitaal hoogtemodel (DHM) van een terrein worden vervaardigd.

Principe

De laserstralen worden gereflecteerd en de tijd tussen uitzenden en terugontvangst van het signaal wordt geregistreerd. Deze looptijd is een maat voor de gemeten afstand. In combinatie met stand- en plaatsbepalingsgegevens van het vliegtuig vormen de waarnemingen de basis voor een digitaal hoogtemodel van het gescande terrein.

Uitvoering

Afhankelijk van de scanhoek, de scanfrequentie en de vlieghoogte wordt een gemiddelde punt dichtheid bereikt van 1 punt per 4 - 16 m².

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Laseraltimetrie wordt al enkele jaren toegepast om de Nederlandse kuststrook een fijnmazig DHM te meten, het zogenaamde strand-DHM. Dit levert een veel gedetailleerder beeld op van het aanwezige zandvolume dan de huidige strandprofielen, die jaarlijks met behulp van fotogrammetrie ingemeten worden. Het ligt in de bedoeling om ook andere gebieden in Nederland met laseraltimetrie te gaan bemeten.

Parameters

¹⁴ Overgenomen uit referentie [8].

Naast de looptijd van de lasersignalen worden plaats en stand van het vliegtuig bepaald. Met een videocamera worden gelijktijdig opnamen gemaakt van het gescande gebied. De video-opnamen kunnen informatie geven omtrent de begroeiing en objecten op het aardoppervlak.

Beperkingen

Op wateroppervlakken en besneeuwde terreinen presteert de laserscanner slecht. Daarnaast is het systeem gevoelig voor bewolking en mist. In gebieden met dichte vegetatie en bij sterk geaccidenteerde terreinen zijn de resultaten ook minder betrouwbaar.

Vanwege de beperkte indringdiepte van het (meestal) toegepaste infrarode laserlicht kan de ligging van een waterbodem niet bepaald worden.

SPECIFICATIES

Presentatie

De berekende hoogten worden verwerkt tot een digitaal hoogte model (DHM). Voor de weergave bestaan verschillende mogelijkheden: contourkaarten, 3D-visualisatie, etc..

Bereik

Op grond van veiligheidsoverwegingen (oogletsel) en de minimale te detecteren laserreflectie is de vlieghoogte in de praktijk beperkt tot circa 1500 m. Hierdoor wordt bij een bepaalde scanhoek tevens de maximale breedte van de terreinstrook, die kan worden afgescand begrensd.

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid is in de orde van enkele decimeters, afhankelijk van het soort terrein (95% betrouwbaarheidsinterval).

Productie

De opname wordt verricht door een dienstverlenend bedrijf, dat een laseraltimetriesysteem exploiteert. De data-analyse en -verwerking vinden plaats na de opnames.

ONTWIKKELINGEN

Afgerond

Sinds de introductie van de laserscanning techniek in 1993 zijn door Rijkswaterstaat Meetkundige Dienst (RWS-MD) verschillende proeven uitgevoerd om deze technologie operationeel toepasbaar te maken. Momenteel wordt laserscanning al toegepast voor kustmetingen (strand- en duin-DHM).

Lopend

In 1996 is laseraltimetrie onder meer ingezet voor de kartering van wadplaten en de oevers van het IJsselmeergebied en voor projecten op het gebied van tracéstudies en wegontwerp en voor wegconstructie.

Er bestaan plannen¹⁵ om te onderzoeken wat de mogelijkheden van laseraltimetrie zijn voor het actualiseren van het WAQUA model.

Met betrekking tot het actualiseren van de WAQUA modellen is gebleken dat er een groot gebrek is aan actuele gedetailleerde hoogte-informatie. Omdat het rivierengebied tot de wateroverlast van 1993 en 1995 minder in de belangstelling heeft gestaan, is er te weinig aandacht besteed aan het actualiseren van de hoogte-informatie. Hierdoor moet men nu terugvallen op informatie die vaak decennia oud is. Zeker gezien het feit dat vanaf nu eenmaal per vijf jaar een geactualiseerd hoogtebestand vervaardigd moet worden, is de invoering van snelle en kosteneffectieve technieken essentieel.

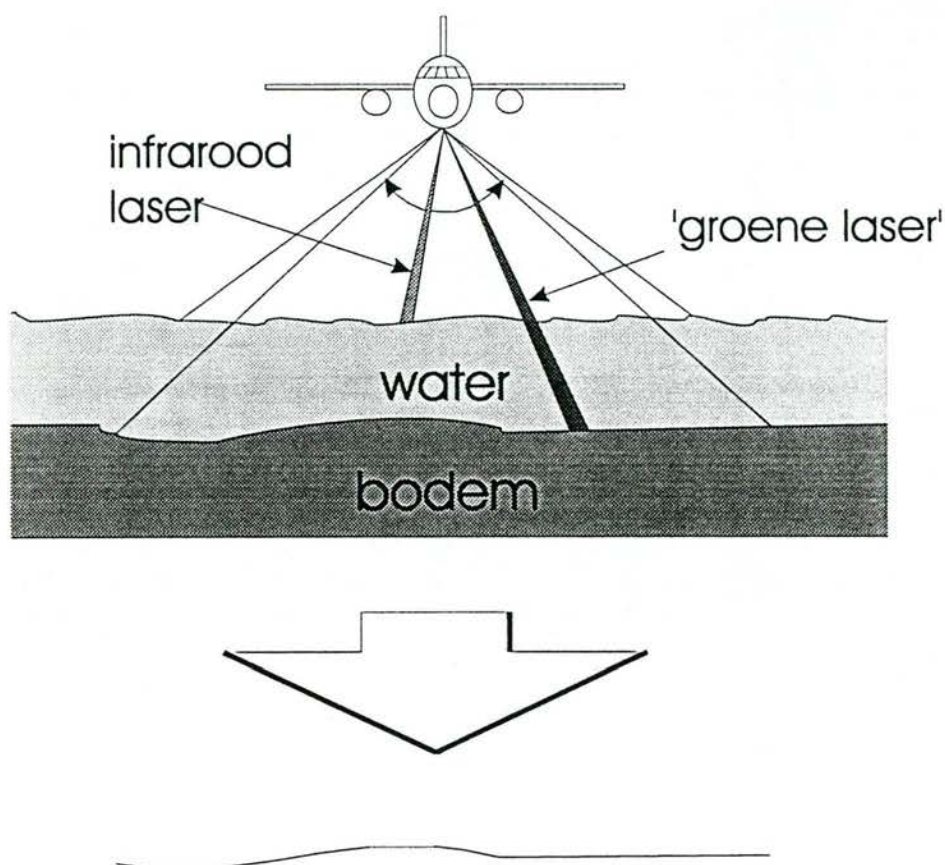
Waarschijnlijk is laseraltimetrie de enige techniek waarmee deze herhalingsfrequentie (praktisch en financieel) haalbaar is.

Toekomstig

Laseraltimetrie zal voor DHM-bepaling de fotogrammetrie meer en meer gaan vervangen.

¹⁵ Het is bij TNO-TPD onbekend wat de status van deze plannen is.

laserbathymetrie



al vliegend wordt bij laserbathymetrie
het beeld lijn voor lijn opgebouwd

Figuur 2

Laser bathymetrie maakt net als laser altimetrie gebruik van laserlicht voor het afscannen van het land-, water- en bodemoppervlak. Het belangrijkste verschil is dat voor bepaling van de ligging van de bodem een 'groene' laser toegepast wordt om voldoende penetratie in water te garanderen. Desalniettemin zijn de mogelijkheden voor toepassing in Nederland uiterst beperkt vanwege de troebelheid van het water (afbeelding uit ref. [8]).

3.3.2 Laser Bathymetrie¹⁶

ALGEMEEN

Techniek

Laserbathymetrie is een techniek, waarbij een laserstraal vanuit een vliegtuig of helikopter het wateroppervlak aftast in afzonderlijke slagen loodrecht op de vliegrichting. Hiertoe wordt de laserstraal heen en weer bewogen met hulp van een bewegende spiegel. Er wordt speciaal laserlicht toegepast dat doordringt in het water en zodoende reflecteert op de bodem. Al vliegend wordt een strook waterbodem met een bepaalde breedte aan weerszijde van het toestel bemeten. Door het vliegen van parallelle, deels overlappende stroken, zijn ook grotere gebieden op eenvoudige wijze op te nemen.

Resultaat

Het resultaat van een bathymetrievlucht is een digitaal dieptemodel, resolutie ongeveer $1 \times 1 \text{ m}^2$, van de onderwaterbodem.

Principe en Uitvoering

Vanuit een vliegtuig (of helikopter) wordt met behulp van een groene laserafstandsmeter de afstand naar de onderwaterbodem gemeten. Een aparte infraroodlaser (golflengte 1064 nm) meet tegelijk de afstand naar het wateroppervlak, zodat uit de verschillen direct een waterdiepte afgeleid kan worden.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Een laserbathymetriesysteem werkt zowel op droogliggende als onderwaterliggende delen, zodat van een gebied in één vlucht zowel boven- als onderwater gelegen delen kunnen worden gemeten.

Parameters

Het laserlicht dient een golflengte van ongeveer 530 nanometer ('groene laser') te hebben in verband met optimale doordringbaarheid van het water. De meetfrequentie van de groene laser is relatief laag in vergelijking met de infraroodlasers bij laseraltimetrie. Per uur kan slechts een gebied van een tiental vierkante kilometer worden afgewerkt.

¹⁶ Overgenomen uit referentie [8].

Beperkingen

De waterdiepte moet minimaal een halve meter zijn. Gebieden zoals de Westerschelde, waar het doorzicht van water gering is, lenen zich in het algemeen slecht voor deze techniek.

In verband met de troebelheid in de Nederlandse wateren lijkt bathymetrie niet inzetbaar.

SPECIFICATIES

Presentatie

De berekende dieptes kunnen op verschillende manieren worden weergegeven: dieptecijferkaarten, contourkaarten, kleuren- of grijswaardenplots, 3D visualisatie, etc..

Bereik

De maximale strookbreedte is ongeveer gelijk aan 0,85 maal de vlieghoogte. De vlieghoogte is maximaal 800 m, hetgeen leidt tot een maximale strookbreedte van 680 m.

Nauwkeurigheid

De X, Y-precisie is 2 tot 4 m en de Z-precisie 0,2 tot 0,4 m.

Productie

Deze technologie is, onder de geschetste randvoorwaarden, direct inzetbaar.

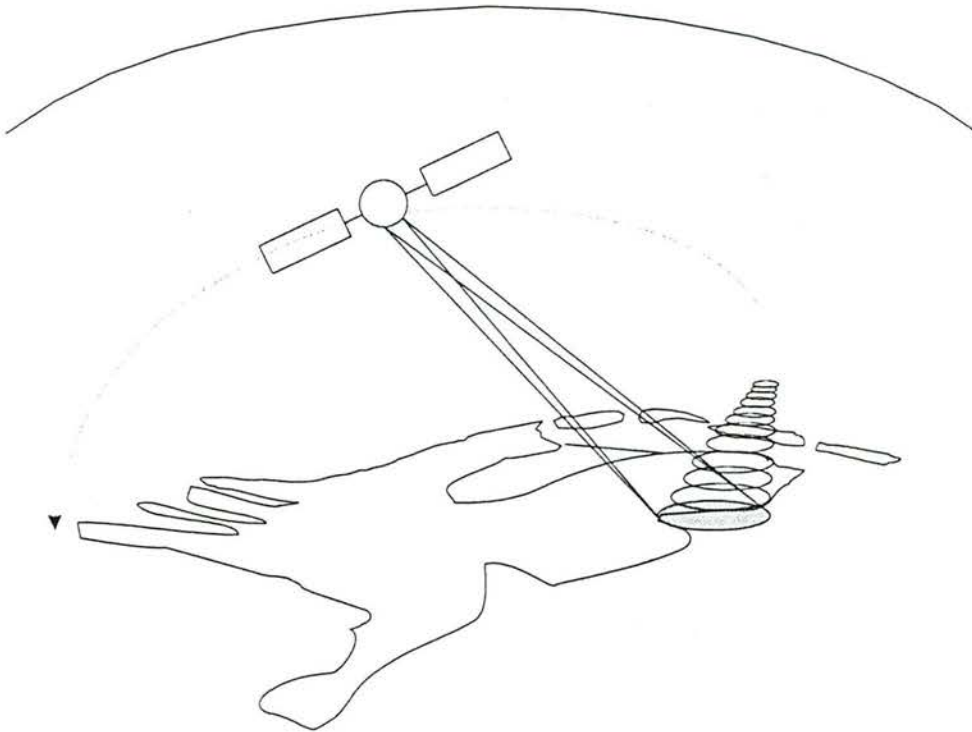
ONTWIKKELINGEN

Toekomstig

Toekomstige ontwikkelingen richten zich onder andere op een integratie van optische- en radartechnieken.

Radar Bathymetrie met ERS-1,2

Radar Beelden



Figuur 3

RWS-BAS is gebaseerd op de vertaling van met een satelliet (ERS-1 of 2) opgenomen radarbeelden van een (stromend) wateroppervlak naar diepte. Hierbij worden echolodingen als referentie gebruikt.

3.3.3 Radar Bathymetrie, RWS-BAS¹⁷

ALGEMEEN

Techniek

Onder gunstige omstandigheden (zwakke tot matige wind en sterke getijstroom) kunnen bodemstructuren zichtbaar zijn op radarbeelden. In het Rijkswaterstaat Bathymetry Assessment System (RWS-BAS) worden dieptekaarten voor kustwateren verkregen uit zulke radarbeelden en een beperkte aantal raaien met echolodingen. Op basis van een model voor het beeldvormend mechanisme worden de radarbeelden numeriek geïnverteerd, waarbij de echolodingen als randvoorwaarden dienen [10, 11, 12]

Resultaat

Een digitaal dieptebestand op een roostergrootte van 12.5 x 12.5 m. De horizontale nauwkeurigheid is 10 m, de verticale nauwkeurigheid ongeveer 20 cm bij een raaiafstand van ongeveer 500 m.

Principe en Uitvoering

Radarbeelden opgenomen door de ERS-2 satelliet worden verkregen van de Europese Ruimtevaartorganisatie ESA. Echter, ook radarbeelden opgenomen vanuit vliegtuigen kunnen worden gebruikt. De radarbeelden worden bij voorkeur simultaan met de lodingen opgenomen, doch zes weken verschil tussen beide opnames is doorgaans geen probleem.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Voor monitoringslodingen in kustwateren met een diepte van 0 tot 20 m, met name de Voordelta, de kuststrook en de Waddenzee.

Parameters

Een ERS radarbeeld beslaat ongeveer 100 km x 100 km.

¹⁷ Met dank aan de heer Vogelzang van RWS-RIKZ voor deze bijdrage.

Beperkingen

Kleine objecten zoals wrakken en zandgolven met een golflengte van 50 m of minder kunnen niet worden waargenomen. De bruikbaarheid van de radarbeelden hangt af van wind en stroming; deze kunnen ongunstig zijn tijdens overkomst van de satelliet. Gevlogen systemen hebben deze beperking niet of minder, doch zijn duurder.

SPECIFICATIES

Presentatie

De dieptekaarten komen in digitale vorm beschikbaar. Het format is compatibel met DONAR, zodat alle standaard presentatiemethoden bruikbaar zijn.

Bereik

Getijdewateren met een diepte van 0 tot 20 m. Een ERS radarbeeld beslaat 100 km bij 100 km.

Nauwkeurigheid

10 m in X en Y, 20 cm in Z.

Productie

Het systeem kan rond 1999 operationeel zijn.

ONTWIKKELINGEN

Afgerond

Het systeem is voor alle kustdirecties van RWS gedemonstreerd.

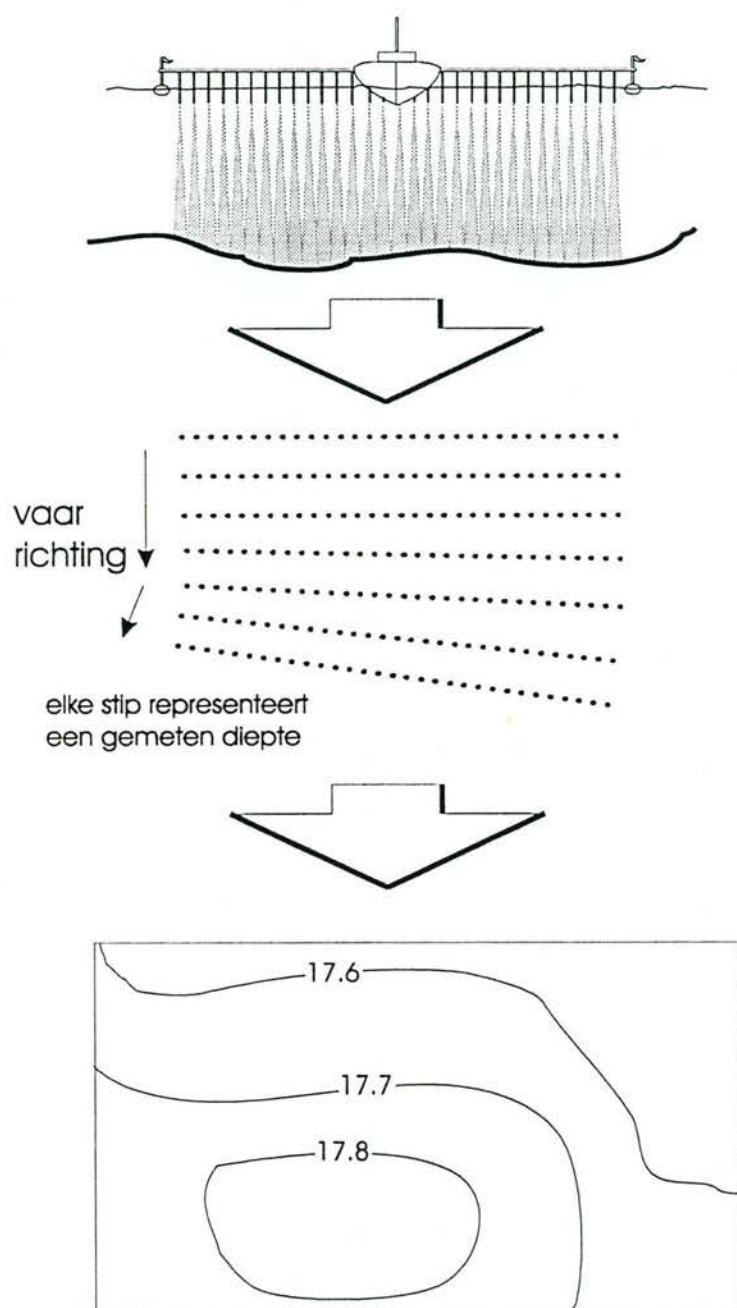
Lopend

Een pre-operationeel systeem zal in 1997 bij de Meetkundige Dienst beschikbaar zijn voor een proefbedrijf op enkele vaklodingen. Een aantal componenten van het systeem is nog in ontwikkeling.

Toekomst

Bouw van een volledig operationeel systeem, dat door de meetdiensten bediend kan worden.

multichannel echosounder



Figuur 4

De multichannel echosounder bestaat uit een groot aantal (circa 50) single beam echosounders op draagarmen aan weerszijden van een schip. Het resultaat is een dieptekaart, bijvoorbeeld in de vorm van een contourplot (afbeelding uit ref. [8]).

3.3.4 Multi Channel Echosounders¹⁸

ALGEMEEN

Techniek

Een multichannel echosounder is een verzameling van enige tientallen singlebeam echosounders die bevestigd zijn op draagarmen aan weerszijden van een schip. De padbreedte komt overeen met de breedte van de draagarmen, maximaal zo'n 50 m. De padbreedte is dus onafhankelijk van de diepte.

Resultaat

Een verticaal diepteprofiel in een gebied ter breedte van de draagarmen aan weerszijden van het schip.

Principe

Een geluidspuls wordt opgewekt in elke transducent, reist naar de bodem, reflecteert, keert terug en wordt gedetecteerd. Er zijn twee grootheden die gemeten worden:

1. De looptijd van de echo (deze is gerelateerd aan de afstand tot de bodem).
2. De sterkte van de echo (deze is gerelateerd aan de eigenschappen van de bodem).

Uitvoering

Geluidspulsen worden opgewekt door zo'n vijftig bron/ontvangercombinaties die bestaan uit piëzomateriaal en bevestigd zijn aan twee draagarmen aan weerszijden van een schip. De padbreedte komt derhalve overeen met de maat van de draagarmen: zo'n 50 m. De bronnen/ontvangers zijn verticaal gericht. De puls reist omlaag door het water naar de bodem. De puls weerkaatst op de bodem, reist terug naar de bron/ontvanger. Hier wordt met behulp van een piekdetektor de looptijd vastgesteld. Het product van deze looptijd en de geluidssnelheid onder water is een maat voor de diepte onder de bewuste bron/ontvanger. De geluidssnelheid onder water kan desgewenst worden gemeten met een sonde.

De toegepaste frequenties zijn in de orde van 200 kHz. De gemeten dieptes worden grafisch weergegeven en kunnen daarnaast ook digitaal worden opgeslagen. De nauwkeurigheid is in de orde van een decimeter.

Tijdens het meten vaart het schip in raaien, meestal in de lengterichting van de rivier. Het grote voordeel van de multichannel echosounder boven een singlebeam echosounder is dat in principe een volledige bedekking mogelijk is. Het eindresultaat is een kaart waarop de door de echosounder gemeten dieptes zijn weergegeven (bathymetrie).

¹⁸ Overgenomen uit referentie [8].

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De multichannel echosounder wordt vooral toegepast voor het meten van dieptes van rivieren en havens waar een volledige bedekking interessant is. Vooral in relatief ondiep water is de multichannel echosounder goed toepasbaar, immers, de padbreedte wordt uitsluitend bepaald door de breedte van de draagarmen. Dit in tegenstelling tot de multibeam echosounder, waarvan de padbreedte lineair evenredig is met de waterdiepte. Merk op dat dit nadeel van de multibeam echosounder omslaat in een voordeel bij een grotere diepte.

Een ander pluspunt voor de multichannel echosounder is dat de geluidbundels als regel loodrecht invallen op de bodem, hetgeen goede reflectiesignalen tot gevolg heeft.

Parameters

Reflecties worden veroorzaakt door veranderingen in de akoestische impedantie (het product van dichtheid en geluidsnelheid). Naast reflectie treedt ook verstrooiing op aan kleine inhomogeniteiten op of net in de bodem.

De reflectiesterkte is dus een maat voor eigenschappen van het bodemmateriaal: dichtheid, geluidsnelheid en homogeniteit.

De looptijd is een maat voor de afstand tot de bodem. De omrekeningsfactor is de geluidsnelheid in het water.

Beperkingen

De uitgezonden geluidbundel heeft een zekere openingshoek. Hierdoor treffen de bundels de bodem niet op een enkel punt, maar op een zeker gebied. Bij een niet-horizontale bodem kunnen hierdoor afwijkingen optreden.

Vanwege de ver uitstekende draagarmen en de daarmee samenhangende moeizame manoeuvreerbaarheid is de multichannel echosounder slecht toepasbaar op druk bevaren water. Ook aan de weersomstandigheden worden strengere eisen gesteld dan bij de andere typen sonars: het moet 'kalm' weer zijn met weinig golven op het water.

De padbreedte komt overeen met de breedte van de draagarmen en deze ligt dus vast. Bij diep water is de multibeam echosounder in het voordeel omdat bij dit type de padbreedte evenredig toeneemt met de waterdiepte.

SPECIFICATIES

Presentatie

De gemeten dieptes worden gepresenteerd als profielen, contourplots of als getallen (vaak in decimeters) op een kaart.

Bereik

De multichannel echosounder is bedoeld voor ondiep water, tot zo'n 10 à 20 meter, en heeft een padbreedte van ongeveer 50 m, onafhankelijk van de waterdiepte.

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de multichannel echosounder bedraagt 8 centimeter (90% betrouwbaarheidsniveau). Hierbij is verondersteld dat de geluidsnelheid in water bekend is. Voor de kleine dieptes van de rivier is het goed mogelijk om regelmatig met een sonde de geluidsnelheid te meten.

Productie

De opname wordt verricht door een operator en een schipper.

ONTWIKKELINGEN

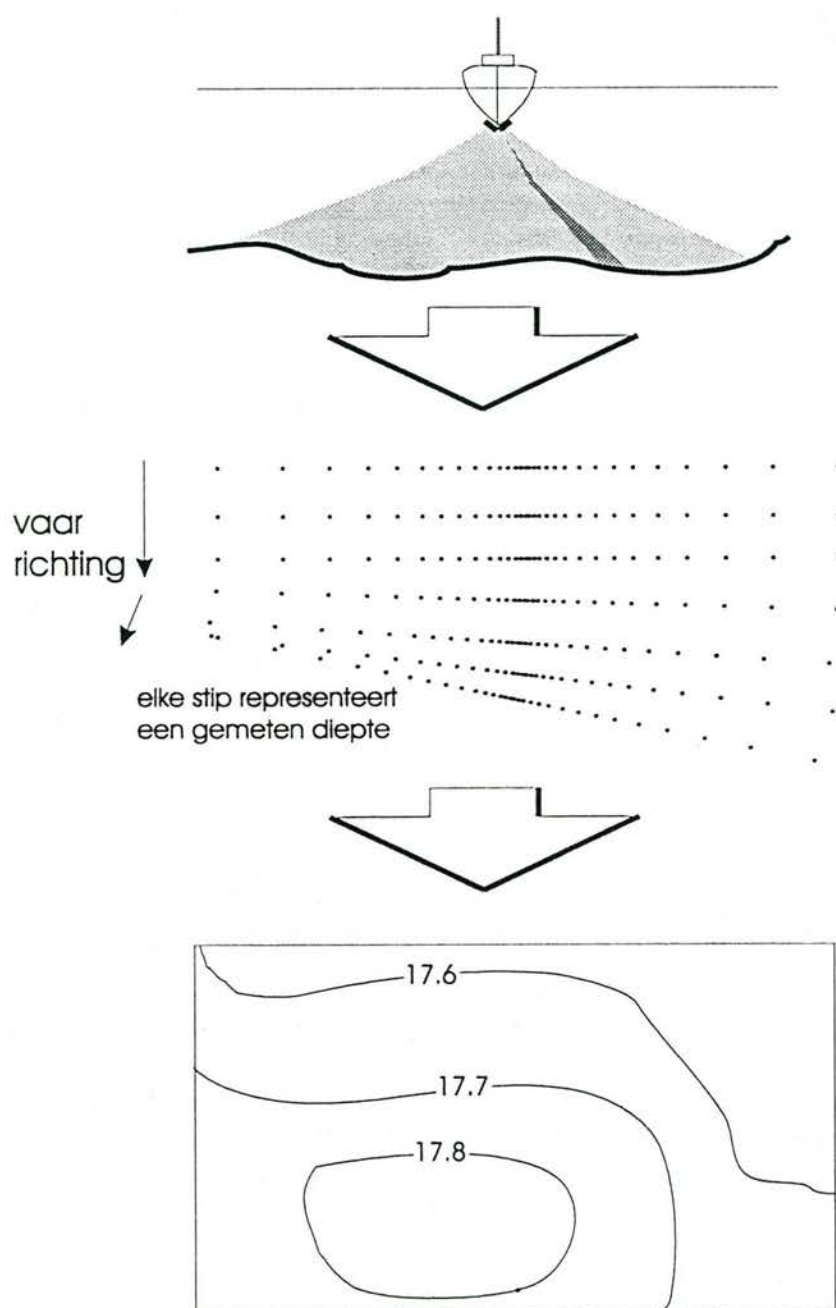
Recent

De multichannel echosounder is reeds vele jaren op de markt en zal naar alle verwachting niet veel verder ontwikkeld worden. Met de komst van de multibeam echosounder is het marktaandeel van de multichannel echosounder sterk verkleind. Slechts in ondiep water wordt soms de voorkeur gegeven aan de multichannel echosounder vanwege zijn diepte-onafhankelijke padbreedte.

Toekomstig

Directie IJsselmeergebied (RDIJ) heeft recent een multichannel echosounder aangeschaft waarmee ondermeer de sanering van het Ketelmeer gevolgd gaat worden.

multibeam echosounding



Figuur 5

Een multibeam echosounder meet dieptes in een waaivormig gebied onder het schip met behulp van vele bundels (slechts 1 getekend). Het resultaat is een dieptekaart, bijvoorbeeld in de vorm van een contourplot (afbeelding uit ref. [8]).

3.3.5 Multi Beam Echosounders¹⁹

ALGEMEEN

Techniek

Een multibeam echosounder meet op een echo-akoestische manier dieptes in een waaivormig gebied onder het schip, zie de figuur voor de oriëntatie. De breedte van dit gebied varieert van drie tot tien maal de waterdiepte. Al varende wordt dus een brede strook bodem aan weerszijde van het schip bemeten. De multibeam echosounder vormt via het antennepincipe een aantal smalle bundels. Binnen een waaier varieert het aantal bundels van enkele tientallen tot meer dan honderd. Elke bundel levert één x, y, z waarde op.

Het aantal meetwaarden in de vaarrichting wordt bepaald door de vaarsnelheid in combinatie met het aantal metingen per seconde. De nauwkeurigheid van de gemeten dieptes (x, y, z waarden) is in de orde van een decimeter recht onder het schip tot een aantal decimeters voor de meetpunten aan de randen van de waaier. Het aantal metingen per oppervlakte-eenheid is een functie van de waterdiepte en de vaarsnelheid; de orde is één meting per m².

Resultaat

Een groot aantal dieptemetingen in brede strook onder en aan weerszijden van het schip. Na dataprocessing wordt het resultaat gepresenteerd in kaartvorm: op een regelmatig grid, als contourplot, als kleuren- of grijswaardenplot, enz..

Principe

De werking van een multibeam echosounder berust op het principe van de echo-akoestiek: geluid wordt uitgezonden, weerkaatst op de bodem, keert terug en wordt gedetecteerd. De looptijd van de echo is een maat voor de afstand. Wanneer de richting en de geluidssnelheid bekend zijn, kan de echolocatie worden vastgesteld en is het resultaat een dieptemeting. Een multibeam echosounder bevat een transducent die bestaat uit een groot aantal (tientallen) elementen van piezomateriaal. Via het antennepincipe worden bundels gevormd. Er zijn daarbij twee mogelijkheden: bundelvorming na ontvangst van de echo's of bundelvorming bij het uitzenden van het geluid. Een discussie daarover valt buiten het kader van deze beschrijving. De richting van de bundel kan zeer nauwkeurig worden bepaald. Dit betekent automatisch dat ook een nauwkeurige plaats- en standbepaling van het schip zeer belangrijk zijn voor het uiteindelijke resultaat, net als het bekend zijn van de geluidssnelheid als functie van de diepte. Het mechanisme dat voor een bodemecho zorgt is vooral akoestische verstrooiing (backscatter); daarnaast speelt reflectie een rol in het gebied verticaal onder het schip.

Elke bundel levert een dieptemeting op. Deze dieptes zijn meestal niet regelmatig over de bodem verspreid (zie figuur): er zijn meer metingen in het gebied onder het schip dan in het gebied ver daarbuiten.

¹⁹ Overgenomen uit referentie [8].

Uitvoering

Principe: een geluidspuls wordt opgewekt in een transducent die een array van elementen van piëzomateriaal bevat. De vorm is meestal cilindrisch of V-vormig. Een multibeam echosounder is bevestigd onder een schip. Soms maakt men voor de bevestiging van de transducent gebruik van een gestabiliseerd platform.

De toegepaste frequenties variëren van 100 kHz tot 500 kHz.

Het aantal pulsen dat per seconde gegenereerd kan worden hangt af van de diepte en de breedte van de strook bodem die in beeld gebracht wordt. Voor toepassingen op de rivier is het aantal pulsen per seconde in de orde van tien. Per puls worden enkele tientallen bundels gevormd. De hoeveelheid meetpunten per oppervlakte-eenheid hangt behalve van de puls frequentie en het aantal bundels sterk af van de vaarsnelheid.

Omdat het aantal meetresultaten derhalve zeer groot is, wordt aan de wal een uitgebreide dataverwerking toegepast. Processingstappen zijn onder andere: het verwijderen van uitschieters, het berekenen van dieptes op een regelmatig grid via gewogen middeling, 'smoothing', enz..

De gemeten dieptes kunnen worden weergegeven op alle manieren die daarvoor beschikbaar zijn: contour, kleur, grijswaarde, '3D', animatie, etc..

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De multibeam echosounder wordt toegepast voor het efficiënt en nauwkeurig meten van de diepte in rivieren, havens en op zee. De multibeam echosounder heeft een volledige bedekking, in tegenstelling tot de single beam echosounder die slechts raaien bemeet.

Parameters

De echo's worden veroorzaakt door reflectie op de bodem of door verstrooiing aan kleine inhomogeniteiten op of net in de bodem. De looptijd van deze echo's wordt gemeten. De richting van de echo's wordt bepaald via bundelvorming (antenneprincipe). Verder worden plaats en stand van het schip bepaald en wordt er regelmatig een verticaal geluidsnelheidsprofiel opgenomen. Al deze informatie is nodig om de echolocatie vast te stellen, ofwel om een diepte te meten. Behalve de looptijd wordt ook de sterkte van de echo gemeten. Deze is gerelateerd aan de bodemsoort.

Beperkingen

Aangezien het echomechanisme vooral berust op verstrooiing, komt er weinig tot geen signaal terug in het geval van een zeer vlakke bodem, bijvoorbeeld bij slib. De x, y, z informatie afkomstig van de schuine bundels is beduidend minder nauwkeurig dan de informatie afkomstig van de min of meer verticale bundels. Afhankelijk van de gevraagde nauwkeurigheid beperkt dit de breedte van de strook die bemeten kan worden. Merk op dat hiermee eventueel weer een deel van het voordeel van een multibeam echosounder t.o.v. een single beam echosounder teniet gedaan wordt.

De padbreedte is evenredig met de waterdiepte. Dit betekent dat de padbreedte klein is in het geval van ondiep water. In dat geval kan de multichannel echosounder beter geschikt zijn, omdat dit type een padbreedte heeft die onafhankelijk is van de waterdiepte.

SPECIFICATIES

Presentatie

De berekende dieptes worden verwerkt tot een digitaal hoogte model (DHM). Voor de weergave bestaan diverse mogelijkheden: contour plots, kleuren- of grijswaardenplots, dieptes op een (on)regelmatig grid, 3D visualisatie, animatie, etc..

Merk op dat de hoeveelheid opgenomen data erg groot is. Er is speciale verwerkingssoftware en veel rekenkracht nodig voor het bewerken van de gegevens.

Bereik

Afhankelijk van de frequentie bereikt de multibeam echosounder een diepte die varieert van een meter tot enkele kilometers.

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid is in de orde van een decimeter voor de min of meer verticale bundels tot enkele decimeters voor de meer naar buiten gelegen bundels. Deze waarden zijn geldig voor dieptes tot zo'n dertig meter. Voor grotere dieptes gelden ook grotere afwijkingen.

Productie

De opname wordt verricht door een operator en een schipper. De data processing vindt plaats aan de wal. De data processing neemt ongeveer even veel tijd in beslag als de data acquisitie.

Om tot een volledige bedekking te komen moeten raaien gevaren worden (meestal in de lengterichting van de rivier) die ongeveer net zover uit elkaar mogen liggen als het bereik van de multibeam echosounder, dat wil zeggen, zo'n vier tot zeven maal de waterdiepte.

Het is heel goed mogelijk dat de traditionele manier van meten - met een single beam echosounder waarbij de raaien loodrecht op de vaarrichting uitgezet zijn met een onderlinge afstand in de orde van honderd meter - efficiënter is dan het meten met een multibeam echosounder. Ook de dataverwerking is bij een single beam echosounder veel eenvoudiger en sneller.

Het voordeel van de volledige bedekking dient daarom te worden afgewogen tegen het nadeel van een kleinere efficiëntie.

ONTWIKKELINGEN

Toekomstig

De multibeam echosounder wordt geschikt voor het meten van steeds bredere stroken. Met de komst van betere plaats- en standbepaling wordt ook de nauwkeurigheid hoger. Het aantal bundels neemt toe en daarmee het aantal meetpunten, waardoor de resolutie van de resultaten verhoogd wordt. De multibeam echosounder beelden gaan daardoor meer en meer op sidescan beelden lijken. Het voordeel is dat de meetwaarden niet alleen een kwalitatief aantrekkelijk beeld opleveren, maar ook kwantitatief betrouwbaar zijn.

3.3.6 Optimalisatie Meetcampagnes

Bij het opzetten van meetcampagnes moeten de nodige kritische keuzen gemaakt worden. Dit betreft ondermeer:

1. de toe te passen meetmethode c.q. de combinatie van toe te passen meetmethoden;
2. het aantal en precieze locatie van de meetpunten.

Een 'meetpunt' is hierbij ieder punt waarop een bepaalde bodemeigenschap gemeten is.

Omdat afhankelijk van de meettechniek het aantal meetpunten natuurlijk meer of minder beperkt is, door de nauwkeurigheid van een techniek maar ook vanwege de bijbehorende kosten, ligt het voor de hand om te optimaliseren zowel naar de combinatie van toe te passen technieken als naar het aantal en de locatie van de meetpunten.

Relatief dure puntmetingen, zoals monsternamen in combinatie met laboratoriumanalyse bijvoorbeeld of 'prikken' met een dichtheidssonde, zal men trachten te minimaliseren en alleen gebruiken ter 'ijking' of referentie van per afzonderlijk meetpunt aanzienlijk goedkopere methoden, zoals bijvoorbeeld sub bottom profiling of in situ dan wel in loco (analyse)technieken. Op deze wijze zijn in principe grote kostenbesparingen en tijdswinst mogelijk bij gelijk blijvende of zelfs hogere kwaliteit van de vergaarde informatie.

De meest eenvoudige keuze voor de locatie van meetpunten is uiteraard een uniform rooster met een vaste onderlinge afstand tussen de puntmetingen. Daarbij wordt echter geen gebruik gemaakt van kennis over bijvoorbeeld de vorm van het gebied. Optimalisatie van het aantal meetpunten op basis van extra informatie over de structuur van een gebied kan eveneens leiden tot significante kostenbesparingen.

Dit optimalisatieprobleem speelt uiteraard bij karakterisatie van de waterbodem met betrekking tot bodemligging maar zeker ook bij de andere eigenschappen als fysische, chemische en biologische (bodem)samenstelling alsmede de transporteigenschappen.

In plaats van meettechniek is hier eerder sprake van (computer) ondersteuning bij het voorbereiden van meetcampagnes. Deze problematiek, de keuze van methoden en meetpunten, speelt bij een aantal concrete toepassingen, waaronder:

- monitoring vaargeuldiepte;
- saneringsonderzoek;
- speciale meetcampagnes.

Combinatie Dichtheidsmeting en Akoestische Methoden

Bij TNO-TPD is een project in voorbereiding op het gebied van optimalisatie van de combinatie van dichtheidsmeting met een nucleaire sonde en akoestische afbeeldingstechnieken, gericht op onderhoudsbaggerwerkzaamheden [13].

Om tot een efficiënte surveymethode te komen worden twee bouwstenen ontwikkeld: een planningmodule en een koppelmodule. Door de planningmodule worden, via beeldanalyse van de bodem (en subbodem), coördinaten voor het nemen van puntmetingen gegenereerd. Dit zijn plaatsen waar de bodemstructuur op basis van akoestiek niet ingevuld kon worden of waar veranderingen optreden. In de planningmodule kunnen ook gegevens uit het (recente) verleden en overige kennis op basis van ervaring meegenomen worden. Na het uitvoeren van de puntmetingen worden deze gekoppeld met de akoestische metingen met behulp van de koppelmodule. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een akoestisch model voor het gedrag van de gebruikte echoloden. Het resultaat kan uitgevoerd worden naar een GIS applicatie (bijvoorbeeld CARIN) voor het maken van een drie-dimensionale dichtheidskaart.

Het project omvat tevens de ontwikkeling en evaluatie van het akoestisch model voor het gedrag van de gebruikte echoloden (inclusief inwendige signaalverwerking). Een goed model is van belang om een betere voorspelling van de bodemopbouw te kunnen doen en voor een beter begrip van de akoestische metingen.

Analyse Baggerkosten met FAST

In het kader van het "*Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems*" (POSW) is door Aveco het computerprogramma FAST (Fouten Analyse Sanerings Traject) ontwikkeld voor het optimaliseren van waterbodemsaneringen [14, 15]. Het programma is een hulpmiddel bij het vooraf (!) evalueren van een saneringsscenario inclusief het (middels simulaties) doorrekenen van onzekerheden alsmede het optimaliseren van meetplannen. De gebruiker kan kosten, nauwkeurigheden van meten, baggeren etcetera specificeren en door het uitproberen van diverse meet- en baggerscenario's komen tot een optimale verhouding van kosten en resultaten.

Het programma kan in alle fasen van een sanering, van oriënterend onderzoek tot evaluatie van een uitgevoerde sanering, toegepast worden en levert als belangrijkste (eind)resultaten ondermeer:

1. de verwachte hoeveelheid schone grond die weggehaald wordt;
2. de verwachte hoeveelheid vervuilde grond die blijft liggen;
3. de totale hoeveelheid gebaggerde grond;
4. de totale kosten van de sanering (van onderzoek tot en met verwerking);
5. het milieurendement.

3.4 Fysische Samenstelling

3.4.1 Nucleaire Slib Dichtheid Sonde

ALGEMEEN

Techniek

Door TNO-TPD, Interfacultair Reactor Instituut van de TU Delft (IRI) en Seabed (IJmuiden) is in samenwerking met RWS Directie Zuid-Holland, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR), Boskalis Westminster Dredging en Van Oord ACZ een slibdichtheidssonde ontwikkeld [16]. De eerste prototype sonde is eind 1996 afgeleverd. In de loop van 1997 zullen ten minste twee systemen worden afgeleverd.

Resultaat

Per 'prik'punt een dichtheidsprofiel van de bodem als functie van de diepte. Daarnaast levert het instrument het dichtheids-, temperatuur- en saliniteitprofiel van de totale waterkolom.

Principe

De slibdichtheidsonde meet de absorptie van gammadeeltjes uitgezonden door een isotope bron. De hoeveelheid geabsorbeerde gammadeeltjes is vrijwel logaritmisch afhankelijk van de dichtheid van het materiaal.

Uitvoering

De sonde wordt gebruikt voor het uitvoeren van puntmetingen vanaf een schip. De sonde wordt met de bijbehorende computerbestuurde lier over boord gezet en zo snel mogelijk neergelaten tot vlak boven de bodem (maximale viersnelheid is 1,5 m/s). Daar aangekomen wordt de viersnelheid aangepast en zakt de sonde op zijn eigen gewicht (ongeveer 80 kg) in de bodem. Tijdens het neerlaten en het penetreren van de bodem wordt een dichtheidsprofiel opgenomen. De sonde wordt periodiek geijkt in twee tot drie vaten met een bekende dichtheid.

De prototype apparatuur omvat de sonde, een lier met kabel, een lierbesturing en een PC met besturingssoftware. Het prototype wordt beheerd en toegepast door Seabed (IJmuiden).

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De slibdichtheidsonde wordt toegepast voor het bepalen van de diepteafhankelijke dichtheid in sliblagen. Voornaamste doel is het vaststellen van de nautische diepte in het kader van het onderhoud van vaarwegen in havens. Daarnaast worden slibdichtheidssondes incidenteel voor andere doelen gebruikt, bijvoorbeeld voor het bepalen van de indikking van slib in opslagbekkens.

Parameters

Bepaald wordt de dichtheid als functie van de diepte van de sliblaag. Daarnaast worden saliniteit en temperatuur van het water bepaald als functie van de diepte bepaald. Uit saliniteit en temperatuur wordt de dichtheid van het water als functie van de diepte afgeleid.

Beperkingen

De slibdichtheidsonde penetreert in principe op eigen gewicht de bodem. De indringdiepte is hierdoor beperkt.

SPECIFICATIES

Presentatie

Per prikpunt een lijngrafiek met de dichtheid als functie van de diepte.

Bereik

Gecalibreerde dichtheidsbereik is 1000 kg/m^3 tot 1600 kg/m^3 .

Nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van de slibdichtheidsmeting is afhankelijk van de ingestelde meettijd. Bij een meettijd van 100 ms (10 metingen per seconde) is de nauwkeurigheid beter dan 4%. Bij langere meettijd neemt de nauwkeurigheid toe.

Productie

Metingen worden verricht vanaf een meetvaartuig door twee operators.

ONTWIKKELINGEN

Afgerond

Door TNO-TPD, Interfacultair Reactor Instituut van de TU Delft (IRI) en Seabed (Ijmuiden) is in samenwerking met RWS Directie Zuid-Holland, Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (GHR), Boskalis Westminster Dredging en Van Oord ACZ een slibdichtheidssonde ontwikkeld. De eerste prototype sonde is eind 1996 afgeleverd.

Lopend

In de loop van 1997 zullen ten minste nog twee systemen worden afgeleverd.

Toekomstig

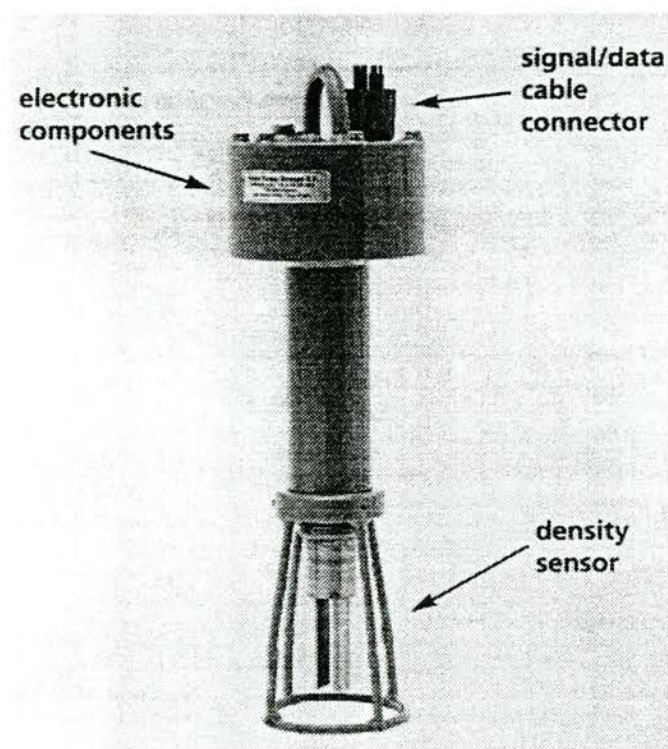
Door TNO-TPD is een onderzoeksvoorstel opgesteld voor het koppelen van slibdichtheidsmetingen en akoestische metingen (zie § 3.3.6).

3.4.2 Stema Density Probe

ALGEMEEN

Techniek

De STEMA 'density probe' is gebaseerd op een trillende stemvork en ontworpen om in situ de dichtheid en viscositeit van sliblagen te meten. Het apparaat is commercieel verkrijgbaar en met name wordt het meten zelf aangeboden door STEMA Survey Services. De dichtheidsprobe wordt door STEMA toegepast in combinatie met software voor data-acquisitie met een akoestische subbottom profiler (bijvoorbeeld ATLAS DESO 25), alsmede software voor de verwerking en presentatie van dergelijke data. Het instrument levert dan de referentiewaarden waarmee het hele akoestische profiel geschaald wordt, voor wat betreft de dichtheid en de viscositeit van de sliblaag/lagen [17].



Figuur 6

De STEMA in situ slibdichtheidsprobe (afbeelding uit ref. [17]).

Resultaat

Per prikpunt een diepteprofiel van de dichtheid en de viscositeit.

Principe

De trillingsfrequentie en demping (Q-factor) van een trillende stemvork veranderen onder invloed van de dichtheid en de viscositeit van het medium waarin de stemvork zich bevindt.

Uitvoering

De STEMA dichtheidsprobe is vrij robuust uitgevoerd en bestaat uit een roestvast stalen stemvork gemonteerd aan de waterdichte behuizing van de sensor-elektronica. De probe wordt aan een kabel afgevierd en zakt ten gevolge van het eigen gewicht (10 kg) in het slib. Tijdens het afvieren (maximaal 40 m) wordt naast de dichtheid en de viscositeit tevens de diepte gemeten. Een met de probe verbonden PC verzorgt uitlezing, opslag, bewerking en presentatie van de gemeten data. Er worden 20 metingen per seconde uitgevoerd.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Hoofdtoepassing is uiteraard het per prikpunt in situ meten van de diepteafhankelijke dichtheid en viscositeit van sliblagen. In combinatie met akoestische subbottom profiling kan het systeem gebruikt worden om referentiewaarden te genereren voor het akoestisch profiel.

Parameters

Dichtheid en viscositeit zijn direkt van invloed op het trillingsgedrag, met name frequentie en demping, van de stemvork.

Beperkingen

Zeer waarschijnlijk treden in slib meetfouten op door ontmenging en is de deeltjesgrootteverdeling ongetwijfeld van invloed. Verder is de theorie voor het bepalen van dichtheid en viscositeit met een stemvork maar beperkt geldig voor niet-Newtonse vloeistoffen. Correctie van de dichtheid voor de viscositeit is daardoor maar beperkt mogelijk.

SPECIFICATIES

Presentatie

Per prikpunt een lijngrafiek met de dichtheid en viscositeit als functie van de diepte.

Bereik

Gecalibreerde dichtheidsbereik: 0,6 - 1,6 kg/l.

Viscositeitsbereik: 0 - 500 cP.

Nauwkeurigheid

Dichtheidsnauwkeurigheid: 0.001 kg/l (T@ 20° C, P@ 1 bar, η @ 1 cP).

Viscositeit: niet gespecificeerd.

Productie

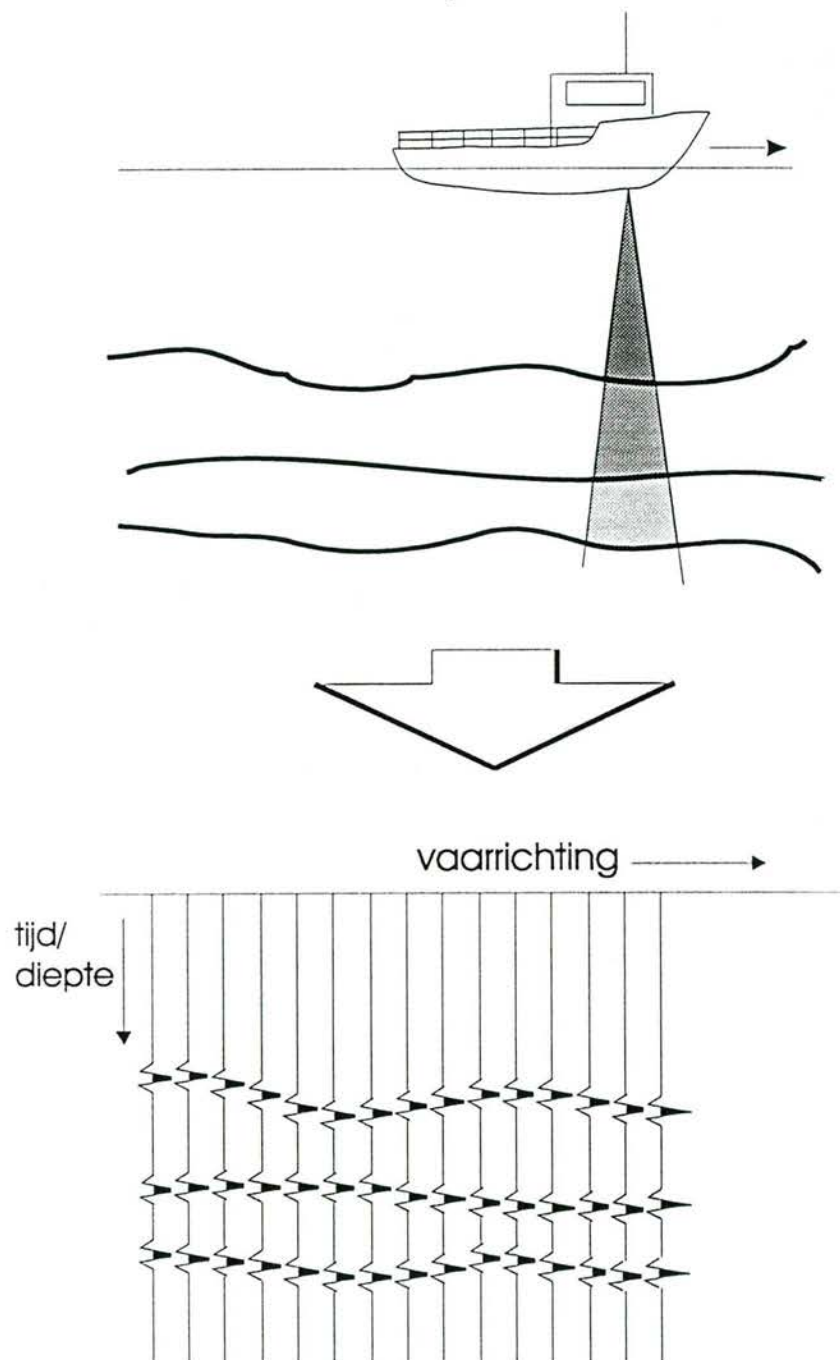
Toepassing en bediening van het instrument vanaf een meetboot zijn vrij eenvoudig.

Het afvieren van het instrument is wel tijdrovend.

ONTWIKKELINGEN

Het is onduidelijk of en zo ja wat voor ontwikkelingen er, zowel binnen als buiten RWS, spelen of gaan spelen ten aanzien van de Stema density probe.

subbottom profiler

*Figuur 7*

De (sub)bodemecho's worden geregistreerd en, bijvoorbeeld in lijngrafiek, als doorsnede kaart gepresenteerd waarbij de looptijd omgerekend wordt naar diepte (afbeelding uit ref. [8]).

3.4.3 Sub Bottom Profilers²⁰

ALGEMEEN

Techniek

Dit type sonar lijkt op een single beam echosounder, dus met één gecombineerde bron /ontvanger, maar de gebruikte frequentie is veel lager (orde: 5 kHz), waardoor de akoestische energie doordringt tot in de bodem. De Nederlandse naam luidt dan ook penetrerend echolood. Er wordt dan ook niet alleen een diepte bepaald, maar een bodemprofiel waarin de gelaagdheid tot uiting komt. In die zin heeft de subbottom profiler een uitzonderingspositie in dit overzicht. De methode is toch opgenomen vanwege zijn gelijkenis met de echosounder.

Resultaat

Een verticaal bodemprofiel langs een meetraai.

Principe

Een geluidspuls wordt opgewekt, reist naar de bodem en dringt daarin door, reflecteert op de bodem en op de diverse lagen in de bodem, keert terug en wordt gedetecteerd. Het gehele echosignaal wordt opgenomen. Om een conversie van tijd naar diepte te kunnen uitvoeren is kennis van de geluidssnelheid in de diverse lagen nodig. Deze kennis is meestal gebaseerd op ervaring, maar wordt soms vergaard via sonderingen of boorgegevens.

Uitvoering

Een geluidspuls wordt opgewekt in een bron/ontvanger die bestaat uit piëzomateriaal en bevestigd is aan een schip. De bron/ontvanger is verticaal gericht. De puls reist omlaag door het water naar de bodem. De puls weerkaatst op de bodem en op diverse lagen in de bodem, reist terug naar de bron/ontvanger. Hier het volledige signaal opgenomen. Interpretatie van dit signaal leidt tot inzicht in de bodemstructuur.

De toegepaste frequenties zijn in de orde van 2 kHz tot 30 kHz. In plaats van een kortdurende geluidspuls wordt soms een chirp gebruikt. Dit signaal heeft een zekere tijdsduur waarbinnen alle gewenste frequenties worden doorlopen. Een ander naam is 'sweep'. Met correlatietechnieken -veelal digitaal - kan een chirp-signaal achteraf worden omgezet naar een pulssignaal. Het voordeel van een chirp-signaal is dat men meer energie de bodem in kan sturen.

²⁰ Overgenomen uit referentie [8].

De gemeten signalen worden grafisch weergegeven en worden daarnaast ook digitaal worden opgeslagen. De metingen worden regelmatig (bijvoorbeeld tien per seconde) uitgevoerd terwijl het schip vaart. Op deze manier wordt een diepteprofiel verkregen van het gebied onder de raai. De nauwkeurigheid/resolutie is in de orde van decimeters.

Het eindresultaat is een kaart waarop de door de echosounder gemeten diepteprofielen zijn weergegeven (subbottom profiles).

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De subbottom profiler wordt al sinds tientallen jaren toegepast voor het meten van diepteprofielen van rivieren, havens en op zee. Specifieke toepassingen zijn pijp detectie, kabel localisering, baggerwerkzaamheden en zoekacties.

Lagere frequenties dringen beter door tot grotere dieptes, maar daar staat een lagere nauwkeurigheid/resolutie tegenover. De frequentiekeuze is dus een afweging tussen nauwkeurigheid/resolutie en indringdiepte.

Parameters

Reflecties worden veroorzaakt door veranderingen in de akoestische impedantie (het product van dichtheid en geluidsnelheid). De reflectiesterkte is dus een maat voor eigenschappen van het bodemmateriaal: dichtheid, geluidsnelheid en homogeniteit. De tijdsignalen zijn een maat voor de diktes van de diverse lagen in de bodem. Als omrekeningsfactor wordt meestal de geluidsnelheid in het water genomen.

Beperkingen

Zoals voor alle akoestische technieken vormt gas in de bodem een duidelijke beperking vanwege de vrijwel totale reflectie van energie welke optreedt aan een gas/vaste stof c.q. een gas/vloeistof overgang.

Er zijn situaties waarin de bodem een gradiënt bevat: er is dan niet sprake van duidelijke overgangen in de gelaagdheid, maar van een geleidelijke overgang. In dat geval is er geen sprake van reflectie en kan het subbottomresultaat onbevredigend zijn. Meervoudige reflecties kunnen de interpretatie bemoeilijken.

Omdat de subbottom profiler slechts één verticaal gerichte bron/ontvanger heeft is de bodemdekking gering. Het uitvoeren van een survey waarbij de gehele bodem bemeten wordt is daarom geen reële optie. Er zijn ons geen succesvolle 'multibeam subbottom profilers' bekend.

SPECIFICATIES

Presentatie

De gemeten dieptes worden gepresenteerd als lijnplots of als grijswaarden of in kleur. De resultaten vragen een interpretatie door een deskundige.

Bereik

Afhankelijk van de frequentie en de gevraagde resolutie tot enkele tientallen meters.

Nauwkeurigheid

Bij een signaal van 2 kHz tot 15 kHz: resolutie (laagscheidend vermogen) orde 1 decimeter.

Productie

De opname wordt verricht door een operator en een schipper.

ONTWIKKELINGEN

Toekomstig

De subbottom profiler is reeds vele jaren op de markt en zal naar alle verwachting niet spectaculair verder ontwikkeld worden. Wel is het zo dat het subbottom concept wordt uitgebreid naar een *multibeam* uitvoering, zodat een pad bemeten kan worden.

3.4.4 Hoge Resolutie Seismiek

Meerkanaals reflectieseismiek te land en te water wordt tegenwoordig veelal aangeduid als *hoge resolutie seismiek* (HRS). Ofschoon HRS-technieken de afgelopen tien jaar een grote ontwikkeling doorgemaakt hebben (zie bijvoorbeeld ref. [7]), zijn deze technieken qua resolutie en dieptebereik nog niet geschikt voor ondiepe, minder dan enkele tientallen meters²¹, toepassingen.

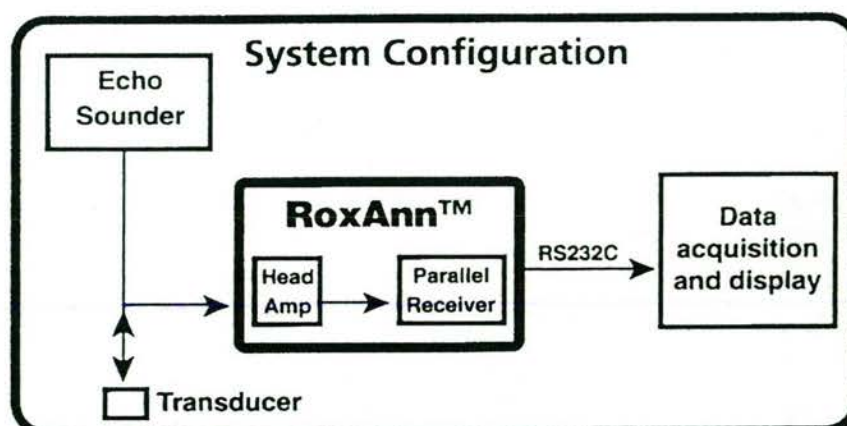
²¹ In het CUR rapport “*Geofysische technieken voor grondonderzoek*” [7] wordt aangegeven (blz. 103) dat in het dieptebereik van 30 tot 300 m diepte weliswaar belangrijke ervaring is opgedaan maar dat verdere verkleining van het dieptebereik met een factor 10 nog ontwikkeling vereist.

3.4.5 RoxAnn Bodem Classificatie

ALGEMEEN

Techniek

RoxAnn™ is een zogeheten 'add-on' voor bodemclassificatie met een akoestisch echolood. Het systeem 'luistert' mee met de echo's en bepaalt aan de hand van de 'hardheid' en de 'ruwheid' van het signaal, in feite de amplitude en de frequentie-inhoud, en na calibratie het bodemtype waarvan de ontvangen reflecties afkomstig zijn. Het systeem wordt geleverd door de Britse firma Marine Micro Systems 18.



Figuur 8

Systeemconfiguratie voor echolood met RoxAnn bodemclassificatie (afbeelding uit ref. 18).

Bij Rijkswaterstaat zijn diverse evaluaties/proeven uitgevoerd met het systeem, ondermeer in de Wester- en Oosterschelde en ook in het Ketelmeer (zie verder onder 'Ontwikkelingen').

Resultaat

De bodemclassificatieresultaten worden meestal in de vorm van een kleurgecodeerde dieptekaart weergegeven.

Principe

Het materiaal waaruit een bodem is samengesteld en daarnaast de morfologie van een bodem zijn van invloed op de vorm en sterkte van de echosignalen die daarvan met een echolood opgevangen kunnen worden. Door het analyseren van de eigenschappen van de reflecties zijn derhalve in principe uitspraken te doen over het bodemtype. Voor uitspraken over het bodemtype in absolute zin is overigens wel calibratie nodig.

Dat wil zeggen dat de door het systeem als verschillend geclassificeerde bodemtypen minimaal één keer door de toepasser geclassificeerd dienen te worden. Verder dient de toepasser de instellingen van de programmatuur te verzorgen²², op basis waarvan de verschillende bodemsoorten geclassificeerd worden.

Uitvoering

Zoals gezegd is het systeem een add-on voor echoloden. De met het echolood ontvangen signalen worden daarvan afgetakt, na voorversterking gedigitaliseerd en geanalyseerd en vervolgens via RS232c doorgegeven aan het presentatie-programma RoxMap draaiend op een PC. Dit programma verzorgt tevens opslag en teruglezen van de data.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Met het systeem zijn uiteenlopende surveys mogelijk, waarbij naast de bodemligging het bodemtype, in relatieve dan wel absolute (na calibratie) zin, in kaart gebracht wordt.

Parameters

Uiteraard zijn naast het bodemtype en de bodemmorfologie de eigenschappen van het echolood van belang. Dit betreft ondermeer het zendvermogen en de pulslengte, van invloed op maximaal en minimaal haalbare waterdiepte en signaalkwaliteit, alsmede de frequentieinhoud en de bundelvorm.

Beperkingen

Het onderscheid tussen een aantal bodemtypen is slechts marginaal en/of vereist onpraktisch veel calibratie (door monsternamen). Verder is in gebieden met veel stroming de reproduceerbaarheid matig tot zeer slecht.

SPECIFICATIES

Presentatie

Pseudo-driedimensionale dieptekaart met bodemtype in de vorm van kleur-codering.

²² In feite betekent instellen het definiëren van de afmetingen van de rechthoekige bodemsoortgebieden ('boxes' of doosjes) in de twee-dimensionale ruimte opgespannen door de hardheid en ruwheid van het signaal. Ieder rechthoekig gebied representeert dan een andere bodemsoort.

Bereik

Uiteraard afhankelijk van het echolood dat gebruikt wordt.

Frequentie: 15 - 210 kHz.
Diepte: 1 - 1500 m.
Bodems: maximaal 10 - 15 typen.

Nauwkeurigheid

Niet gespecificeerd.

Productie

Het systeem is real-time, met andere woorden net zo snel als het echolood waarmee gemeten wordt. Instelling van de classificatieprogrammatuur is niet-triviaal en vereist de nodige scholing en ervaring.

ONTWIKKELINGEN

Afgerond

Eind jaren '80 zijn op de Oosterschelde en Westerschelde met het toenmalige systeem enkele demonstratieproeven uitgevoerd door de Meetdienst Zeeland in samenwerking met de fabrikant. Met name de reproduceerbaarheid was toen onvoldoende om van praktisch nut te kunnen zijn. Waarschijnlijk werd dit veroorzaakt door het zandtransport in deze wateren, als gevolg waarvan de bodemreflecties niet constant (genoeg) waren voor een goed reproduceerbaarheid.

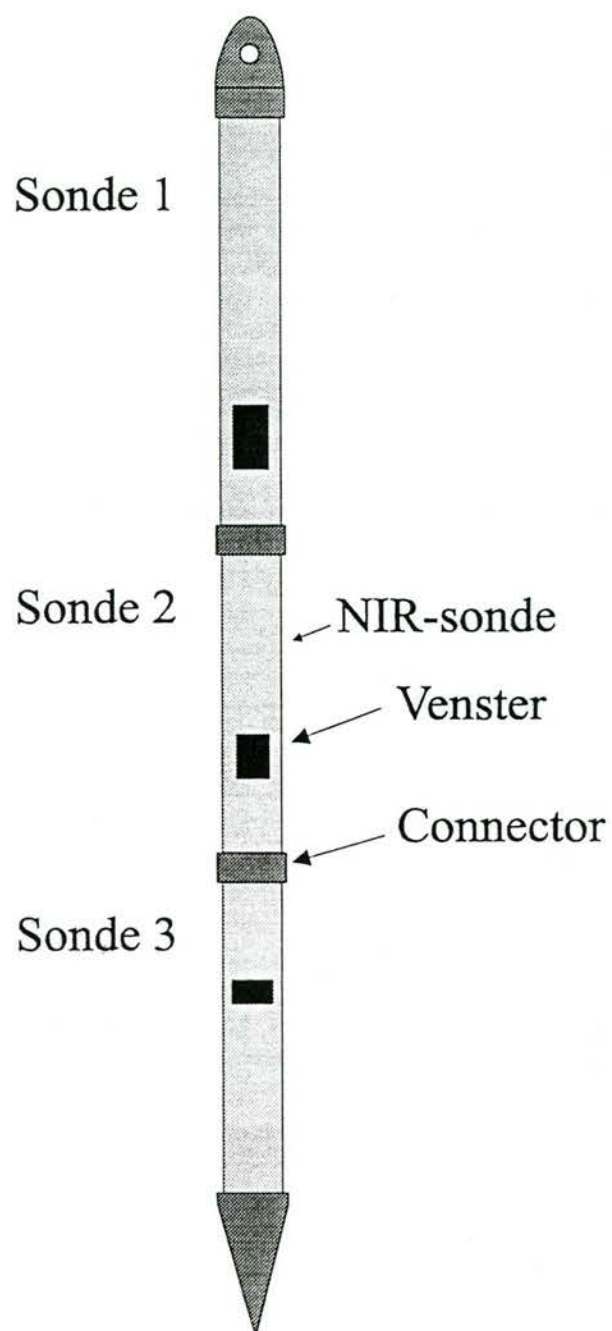
RDII heeft het recent aangeschafte systeem tot dusver nog niet uitgebreid kunnen evalueren. Wel zijn enkele experimenten bij baggerproeven uitgevoerd (zie § 2.2).

Lopend

Een recente demonstratie van het nieuwste systeem eind '96 op de Westerschelde leerde dat de reproduceerbaarheid nog altijd onvoldoende is. Herhaald varen van een zelfde raai gaf steeds verschillende beelden te zien.

Toekomstig

RDII zal het recent een aangeschafte systeem ondermeer evalueren voor het monitoren van begroeiing zoals planten, mossels en dergelijke (zie § 2.2).



Figuur 9

De nabij infrarood reflectie sensor is bedoeld voor toepassing in een modulair opgebouwde sonde voor (water)bodemonderzoek.

3.4.6 Nabij Infrarood Reflectie Sonde

ALGEMEEN

Techniek

Door Delta Consult (Kapelle) wordt in samenwerking met VBKO en POSW een sonde ontwikkeld voor het in situ karakteriseren van de waterbodem. Deze sonde is gebaseerd op een nabij-infrarood (NIR) reflectiemeting. Experimenten zijn uitgevoerd met een laboratoriuminstrument aan monsters uit een saneringsgebied. Op basis van deze experimenten is besloten een prototype te ontwikkelen voor in situ metingen. Dit prototype wordt begin 1997 gerealiseerd, waarna een evaluatie in het veld is gepland.

Resultaat

Per 'prik' punt een spectrum dat kenmerkend is voor het bodemtype c.q. een serie spectra als functie van de indringdiepte van de sonde.

Door Delta Consult zijn met een laboratoriumversie van het instrument in 1996 metingen uitgevoerd aan monsters uit een saneringsgebied. Van deze monsters zijn volgens NEN 5104 enkele karakteristieke eigenschappen bepaald, namelijk: drogestofgehalte (NEN 5747), organisch stofgehalte (NEN 6620), lutumgehalte (NEN 5753), korrelgrootte en indirect (namelijk afgeleid uit andere grootheden) het calciatgehalte. Uit de experimenten blijkt dat de nauwkeurigheid van de nabij-infrarood meting niet significant afwijkt van de nauwkeurigheid van de gestandaardiseerde analysemethoden.

Geconcludeerd wordt dat de nabij-infrarood meting over het algemeen een goed beeld geeft van de bodemsamenstelling. Met name lijkt de methode geschikt voor het vaststellen van bodemovergangen tussen bijvoorbeeld ziltige klei, zandige klei, zand en veen.

Principe

Nabij-infrarood licht wordt geabsorbeerd en verstrooid door de bodem. Het spectrum van een reflectiemeting over een zekere indringdiepte blijkt te correleren met bodemsamenstelling c.q. bodemsoort (bijvoorbeeld ziltige of zandige klei, zand en veen).

Uitvoering

Uit het nabij-infrarood licht afkomstig van een halogeen lamp wordt met een polarisatie interferometer een interferogram gemaakt. In de polarisatie interferometer wordt gebruik gemaakt van dubbele breking van gepolariseerd licht in kwarts kristallen om een interferogram te maken. Vervolgens wordt het licht via een bundel random verdeelde glasvezels naar het monster geleid.

Daar vindt interactie van het nabij-infrarood licht met het monster plaats. Het licht penetreert in het monster en wordt gedeeltelijk geabsorbeerd of diffuus gereflecteerd. Het gereflecteerde licht wordt via de glasvezelbundel naar een loodsulfide detector geleid. Uit het gedetecteerde licht wordt met behulp van Fourier transformatie een spectrum bepaald.

Om kwantitatief eigenschappen van de waterbodem te bepalen moet een correlatie aangetoond worden tussen vorm van de gemeten spectra en deze eigenschappen. Daartoe worden in eerste instantie metingen uitgevoerd aan een serie ijkmonsters. De ijkprocedure verloopt als volgt:

1. Monsternamen (in de praktijk zouden dit monsters van een vorig onderzoek kunnen zijn);
2. Metingen met nabij-infrarood instrument aan monsters;
3. Laboratoriumanalyse van ijkmonsters, de calibratie;
4. Verdelen van meetresultaten in ijkset en testset;
5. Instellen multivariaatanalyse met ijkset;
6. Evaluatie multivariaatanalyse met testset.

Voor het uitvoeren van een meting wordt de meetkop in het monster gestoken. Het opnemen van een spectrum kost ongeveer 1 seconde. Voor het uitvoeren van in situ metingen zal gebruik gemaakt worden van een 20 m lange glasvezelkabel en een robuuste meetkop aan een stang, die vanaf een schip in de bodem wordt gestoken.

Input van de multivariaatanalyse is het complete spectrum verdeeld in banden van 4 nm. Het spectrum wordt niet voorbewerkt. Output van de multivariaatanalyse is een schatting van de karakteristieke eigenschappen van het monster met een bijbehorende schatting van de nauwkeurigheid.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De NIR sonde wordt met name ontwikkeld voor het in detail in kaart brengen van saneringsgebieden. Gebruik van de NIR sonde moet leiden tot een vermindering van het aantal chemische analyses en monsternamen.

Parameters

Op basis van het infrarood spectrum worden drogestofgehalte, vochtgehalte, organisch stofgehalte en korrelgrootteverdeling bepaald. Afgeleide grootte is het calciatgehalte.

Beperkingen

De penetratie van het infrarood licht in slib is waarschijnlijk gering. Voor sterk inhomogeen slib zal derhalve een (in situ) meetwaarde maar beperkt representatief zijn.

SPECIFICATIES

Aangezien de NIR sonde zich nog in een prototype stadium bevindt zijn de specificaties, zoals presentatie, productie, bereik en nauwkeurigheid, nog niet bekend.

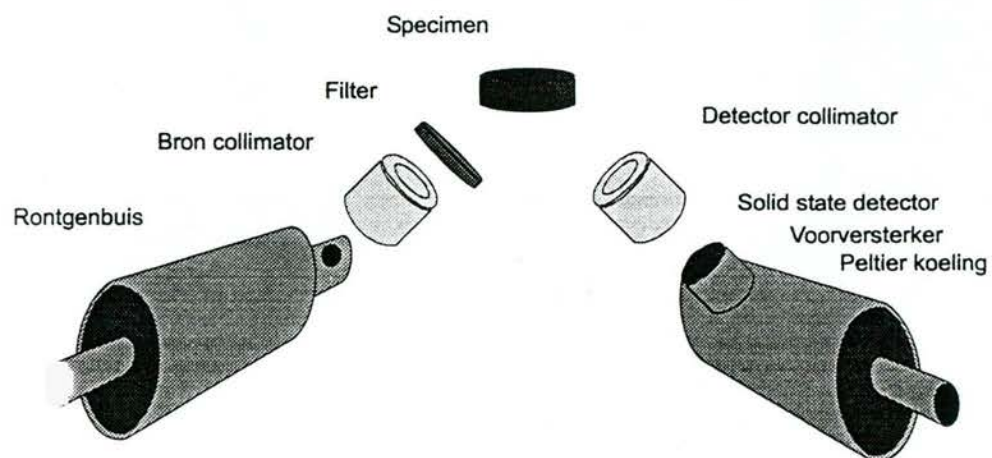
ONTWIKKELINGEN

Afgerond

Laboratoriummetingen waarmee werkingsprincipe is aangetoond zijn in 1996 uitgevoerd.

Toekomstig

Veldexperimenten zullen in 1997 volgen.



Figuur 10

De röntgenfluorescentiesonde is vrij complex en volumineus van opbouw en derhalve 'slechts' geschikt voor toepassing 'in loco'.

3.5 Chemische Samenstelling

3.5.1 Inleiding

In deze paragraaf worden niet zozeer nieuwe ontwikkelingen en lopende projecten behandeld als wel de stand van de techniek. Het stramien zoals elders gehanteerd is niet gebruikt om zo de omvang van deze paragraaf nog enigszins beperkt te houden. In plaats daarvan is gekozen voor een opdeling van methoden in drie klassen [9]:

1. In situ methoden voor specifieke verontreinigingen.
2. In situ methoden voor karakterisatie grondsoort.
3. In loco methoden.

Bij situ methoden worden sondes gebruikt, die in de waterbodem worden gestoken en ter plekke metingen uitvoeren. Monsternamen zijn bij deze methoden niet nodig. Nauwkeurige bepaling van de concentratie van specifieke verontreinigingen in de waterbodem met in situ sondes is vaak moeilijk en ook niet altijd nodig. Een alternatief vormen in situ sondes voor karakterisatie van het type grond.

Bij in loco methoden worden bodemonsters na monsternamen direct in het veld geanalyseerd. De meeste in loco methoden zijn snel, goedkoop en draagbaar. Een aantal in loco methoden voldoen niet aan deze kenmerken en vereisen gebruik van een veldlaboratorium (een tijdelijke behuizing, container of bestelbus).

Vrijwel alle chemische analyse methoden zijn sterk in ontwikkeling. Geprobeerd is de stand van de techniek weer te geven voor de analyse van bodemonsters. Sterke en zwakke punten van de verschillende methoden worden belicht.

3.5.2 In Situ Methoden voor Specifieke Verontreinigingen

In situ metingen worden uitgevoerd met een sonde die in de waterbodem penetreert en waarmee ter plekke in korte tijd één of meer kwaliteitsparameters van de waterbodem bepaald worden. Voordelen van in situ methoden ten opzichte van laboratoriumanalyses en in loco methoden zijn: de korte meettijd, het onverstoorde meten aan de bodem, het achterwege blijven van monsternamen en de lage kosten per bemonsterpunt. Een nadeel van in situ methoden is dat de resultaten over het algemeen van lagere kwaliteit zijn en dat de kosten van de ontwikkeling en realisatie van geschikte apparatuur aanzienlijk kunnen zijn.

Een onderscheid wordt gemaakt tussen methoden voor het bepalen van de concentratie van een specifieke verontreiniging en methoden voor het bepalen van karakteristieke eigenschappen van de grond. In deze paragraaf worden in situ methoden voor specifieke verontreinigingen behandeld. Een overzicht van de behandelde in situ methoden voor specifieke verontreinigingen wordt gegeven in Tabel 3.5 (pag. 64).

Tabel 3.5: *In Situ Methoden voor Specifieke Verontreinigingen.*

Methode	Parameter	Apparatuur	Onderzoek
Fluorescentie	olieproducten	hydrocarbon probe, GD	TNO-MEP
Fluorescentie	olieproducten	ROST, Fugro	
levensduur	som PAK	--	
FOCS	som PAK organochloor- verb.	Petrosense, FCI Environmental	Lawrence Livermore TNO-MEP
XRF	zware metalen		Delta Consult TNO-TPD
Chipsensoren	K, Na, Cl, O e.a.		GD TU Twente

Navolgend worden deze methoden kort besproken.

Fluorescentie

Fluorescentie spectra geven de elektronische overgangen in een molecuul weer. In het bijzonder in de gasfase leidt dit tot scherpe emissiebanden. Fluorescentiespectra worden opgenomen door de emissiegolflengte te scannen bij een vaste excitatiegolflengte. Met name het ultraviolet (UV) spectrum (< 400 nm) is geschikt voor de detectie van aromatische verbindingen, zoals benzeen, toluen, xylene, PAK, en PCB.

Detectiegrenzen in het ppb gebied zijn al haalbaar met een optische weglengte van enkele centimeters. Een dergelijke lange weglengte is vanzelfsprekend alleen haalbaar in water of gas. Voor vaste stoffen en dus ook bodemonsters moet in reflectie gemeten worden en ligt de detectiegrens duidelijk hoger.

Omdat het signaal recht evenredig is met de intensiteit van de excitatie lichtbron, worden vaak lasers toegepast. Ook hoge intensiteit kwiklampen (254 nm) kunnen worden gebruikt. Hoewel de gevoeligheid van UV fluorescentie veel hoger is dan bijvoorbeeld van infrarood absorptie, is de selectiviteit vaak veel slechter. De techniek wordt daarom over het algemeen toegepast voor de detectie van groepen van verbindingen, zoals bijvoorbeeld (minerale) olie.

Hydrocarbon probe (Grondmechanica Delft)

Een voorbeeld van een bestaande in situ fluorescentiesonde is de hydrocarbon probe van Grondmechanica Delft [19]. Deze sonde is gebaseerd op de ultraviolet fluorescentiemethode en is ontworpen voor het detecteren van lichte niet in water opgeloste koolwaterstoffen. Daarbij moet gedacht worden aan druppels in poriën, zoals die voorkomen onder chemische fabrieken en tankstations.

De sonde heeft een diameter van 55 mm. Gebruik wordt gemaakt van een UV lamp (250 nm) achter een safier venster. Het fluorescentie licht (390 nm) dat door de

koolwaterstoffen wordt uitgezonden wordt gedetecteerd met een photomultiplier. De detectielimiet is ongeveer 50 mg/kg d.s.. De intensiteit van de fluorescentiestraling is een maat voor de concentratie van het pure product in de bodem. Om kwantitatieve uitspraken te doen, moet het instrument gecalibreerd worden.

Voor het karakteriseren van de mate van verontreiniging in waterbodems is de detectielimiet van deze sonde aan de hoge kant. In hoeverre het mogelijk is deze detectielimiet te verlagen is onbekend. Experimenten zijn uitgevoerd door Grondmechanica Delft met het injecteren van aceton als oplosmiddel. Op deze wijze kan de detectielimiet drastisch verlaagd worden. Deze experimenten zijn echter niet uitgewerkt.

Fluorescentielevensduur

Een bijzondere vorm van fluorescentie detectie is fluorescentielevensduur detectie, ook wel tijdsopgeloste fluorescentie, time-gated fluorescentie genoemd. In principe wordt bij deze technieken de fluorescentie gemeten na een korte excitatiepuls. De fluorescentielevensduur is gedefinieerd als de 1/e vervaltijd en is karakteristiek voor een verbinding.

Deze techniek is vooral interessant om de selectiviteit te verhogen ten opzichte van 'gewone' fluorescentie detectie. De meeste aromatische verbindingen, zoals PAK, hebben vervaltijden in de orde van 10 tot 100 ns.

Voor de meting worden over het algemeen gepulste lasers of intense Xenon flitslampen als excitatiebron gebruikt. Voor monitoring doeleinden kan vaak gebruik gemaakt worden van een detectie in een beperkt aantal vaste tijdsvensters, aangelegd na de excitatiepuls. De vervaltijden zijn net als bij 'gewone' fluorescentie afhankelijk van de matrix, die dus redelijk constant moet zijn.

ROST (Unisys, Fugro)

Een instrument dat gebruik maakt van deze technologie is ontwikkeld door Unisys onder de naam ROST (Rapid Optical Screening Tool) en wordt momenteel gebruikt door Fugro BV voor sonderingsdoeleinden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een normale sondeerconus die met 2 cm/s in de bodem wordt gedrukt. Een profiel van 10 meter kan in minder dan 20 minuten worden opgenomen.

In ROST wordt gebruik gemaakt van een pulsed laser met een variabele golflengte (50 Hz Hd:YAG pump laser) of een speciale robuuste dye laser. De golflengte van de laser varieert tussen 260 nm en 600 nm. Het licht wordt getransporteerd door een glasvezelkabel.

Met behulp van ROST kunnen verschillende olieproducten (kerosine, diesel, teer) en semi-vluchtige organische verbindingen worden onderscheiden op basis van een karakteristieke respons.

Onderzoek TNO-MEP

Door TNO-MEP is een haalbaarheidsstudie [20] uitgevoerd naar de toepasbaarheid van een andere vorm van fluorescentie levensduur detectie, waarbij wordt gemeten in een aantal tijds- en spectraalvensters. Vooralsnog is hierbij uitgegaan van een N2-laser waarmee detectiegrenzen in de orde van enkele ppb's gehaald werden. In een volgende onderzoeksfase zal een ontwerp worden gemaakt waarin onder andere de N2-laser is vervangen door een solid-state laser.

Fiber Optic Chemical Sensors (FOCS)

Een nieuwe ontwikkeling vormen Fiber Optic Chemical Sensors (FOCS). De meting vindt hier plaats in de coating van een optische fiber of met een fiberoptische probe. Twee varianten kunnen van belang zijn voor een eventuele in situ sonde.

Fiber Optic Chemical Sensor voor koolwaterstoffen

In het eerste geval wordt gemeten in de coating van een fiber, waardoor een verrijking van organische stoffen met factor 100 a 1000 wordt verkregen. De meting vindt plaats met het evanescente veld van het licht in de lichtgeleider.

Vervolgens kan de verzwakking van het licht bij een vaste golflengte worden gemeten of er kunnen absorptiespectra worden opgenomen. Meting bij een of twee vaste golflengtes is meer geschikt voor de detectie van groepen van verbindingen (weinig selectief), met het opnemen van volledige spectra in combinatie met patroonherkenning kan een meer specifieke detectie worden verkregen. Afhankelijk van de keuze van de coating en van het spectrale gebied kunnen hiermee verschillende koolwaterstoffen worden gemeten. Omdat de signalen in het NIR relatief zwak zijn, wordt meestal gekozen voor een gewonden fiber met een lengte van enkele meters.

Door FCI Invironmental Inc. zijn een aantal instrumenten ontwikkeld voor de detectie van koolwaterstoffen, die gebruik maken van de optische verzwakking in de coating van een fiber die zich in een probe bevindt.

Fiber Optic Chemical Sensor voor organochloorverbindingen

Andere bedrijven hebben prototypes ontwikkeld, waarbij absorptiespectra van (apolaire) organohalogen verbindingen in een coating worden opgenomen en geanalyseerd. In potentie biedt dit de mogelijkheid voor multi-component analyse tijdens sondering.

Deze prototypes zijn gebaseerd op een specifieke kleurreactie (Fujiwara reactie) van trihalogen verbindingen. De reactie vindt plaats in een micro-cuvet die zich aan het einde van een optische fiber bevindt. Het principe kan zowel in een fluorescentie als in een absorptie mode gewerkt worden. De cuvet staat in verbinding met de oplossing door middel van een membraan, vaak poreus teflon, waardoor alleen de

meer vluchtige organohalogenen verbindingen in de oplossing worden gemeten. Op vergelijkbare wijze kunnen ook bodemgassen worden gemeten.

Een nadeel van de membranen is, dat hierdoor de methode diffusie beperkt is (traag). Bovendien is de kleurreactie irreversibel, waardoor moet worden uitgegaan van een disposable cuvetgedeelte dat bijvoorbeeld elke dag vervangen moet worden. In beginsel is de methode niet selectief en worden trihalogenen verbindingen als groep gemeten.

In het Lawrence Livermore Nat. Lab. in Californië is een prototype ontwikkeld voor vluchtige organohalogenen verbindingen in bodemlucht. Hiermee zijn succesvolle demonstraties uitgevoerd.

Bij TNO-MEP is onderzoek gedaan naar toepasbaarheid van de Fujiwara methode [21], waarbij vooral de mogelijkheden van calibratie en van een selectieve detectie zijn onderzocht. De gevonden detectiegrenzen liggen in het sub-ppm gebied, de gemeten reponsetijden in de orde van 10 - 20 minuten. De conclusie was dat dit principe geschikt is (te maken) voor het monitoren trihalogenen verbindingen in oplossing bij trage processen. Bovendien is het mogelijk gebleken om de methode specifiek te maken voor onder andere trichloorethyleen, hetgeen een belangrijke bodemverontreiniger is.

XRF

Door TNO-TPD is in samenwerking met DeltaConsult, VBKO en POSW gewerkt aan het ontwerp van een prototype in situ sonde [22]. Ontwikkeling van een in situ XRF-sonde blijkt niet triviaal. Een aanzienlijke onderzoeksinspanning en uitgebreide evaluaties zijn zondermeer noodzakelijk.

Chipsensoren

Voor het meten van verschillende elementen en verbindingen in de vloeistoffase (het poriënwater) zijn een aantal zogenaamde chipsensoren ontwikkeld. Aandacht is besteed aan het meten van zuurstof, kalium, natrium, nutriënten, zouten, ammoniak en zware metalen.

Door Grondmechanica Delft is in het verleden een ontwerp gemaakt voor een prototype sonde voor landbodems [23]. Tot nu toe is het echter bij een prototype gebleven. De meeste chipsensoren zijn kwetsbaar. Verder bestaan voor de genoemde stoffen over het algemeen alleen nog prototypes [24].

Het meest uitontwikkeld zijn op dit moment chipsensoren voor het bepalen van de concentratie zuurstof, chloride, kalium en natrium. Deze ontwikkeling vindt met name plaats bij de TU Twente [25, 26, 27]. Door Grondmechanica Delft is vastgesteld dat deze sensoren robuust zijn en ook in de bodem gebruikt kunnen worden (zie ook § 3.5.3 onder 'chemosonde').

3.5.3 In Situ Karakterisatie Grondsoort

Naast de methoden die zich specifiek richten op een bepaalde verontreiniging wordt ook gebruik gemaakt van sondes voor het bepalen van andere waterbodemonkenmerken. Met name indien deze kenmerken als gidsparameters gebruikt kunnen worden voor de aanwezigheid en mate van verontreiniging is een dergelijke meting zinvol.

Op basis van de karakteristieke kenmerken van de grond op een bepaalde locatie moet een keuze gemaakt worden uit de verschillende technieken die in deze paragraaf worden genoemd. Combinatie van technieken is wellicht noodzakelijk om een voldoende eenduidig onderscheid te kunnen maken.

Chemosonde

Door Grondmechanica Delft is de chemosonde ontwikkeld voor het in situ meten van geleidbaarheid, redox en pH [23]. Uit de geleidbaarheid kan de dichtheid afgeleid worden. De redox meting is van belang voor het maken van een onderscheid tussen aeroob en anaeroob milieu. Deze sonde kan eventueel uitgebreid worden met sensoren voor zuurstof, chloor, natrium en kalium.

Spectrale respons (zichtbaar gebied)

Voor het bepalen van de spectrale respons van de waterbodem zou gebruik gemaakt kunnen worden van optische sensoren. Uit de spectrale respons kan de kleur van de bodem afgeleid worden. De technologie voor de ontwikkeling van een prototype sonde voor het optische spectrum is beschikbaar.

Spectrale respons (NIR)

Voor een beschrijving van deze techniek en huidige stand van zaken wordt verwezen naar § 3.4.6.

CCD-camera

Een CCD-camera kan mogelijk gebruikt worden voor het in situ bepalen van de diepte van visueel waarneembare laagovergangen.

Met behulp van een CCD-camera kan daarnaast mogelijk een uitspraak gedaan worden over de deeltjesgrootteverdeling van het slib.

Met name lijkt het mogelijk om de aanwezigheid van zand vast te stellen en een uitspraak te doen over de deeltjesgrootte van het zand.

Magnetische susceptibiliteit

De eerder genoemde meting van de magnetische susceptibiliteitsmeting zou ook in situ uitgevoerd kunnen worden. Voor het in situ bepalen van magnetische eigenschappen zijn sondes verkrijgbaar.

Natuurlijke radioactiviteit

Kalium is één van de weinige elementen met een radioactief isotoop (^{40}K) dat in de natuur van oorsprong in goed meetbare concentraties voorkomt. In de bodem is kalium vooral aanwezig in kleideeltjes. De aanwezigheid van kalium in kleideeltjes leidt tot een verhoogde radioactiviteit van slib. Hierdoor is de mate van natuurlijke radioactiviteit van slib een maat voor de concentratie kleideeltjes. Ook andere radioactieve isotopen kunnen worden gebruikt. Andere radioactieve isotopen vertonen andere verspreidingen dan kalium. Op basis van analyse van de aanwezige natuurlijke radioactiviteit kan een vingerafdruk van een bepaald type bodem bepaald worden.

Met relatief eenvoudige apparatuur (scintillator kristal met fotomultiplier buis) kan de mate van natuurlijke radioactiviteit bepaald worden [28]. Een beperkende factor is wellicht de meettijd per positie van 1 minuut.

Een alternatieve methode voor het uitvoeren van metingen aan de natuurlijke radioactiviteit maakt gebruik van een zogenaamde sleepsonde. Hierbij wordt een scintillator kristal met fotomultiplier buis achter een schip aangesleept over de bodem. Op deze wijze wordt een vingerafdruk verkregen van het bodemtype. Een dergelijk systeem is ontwikkeld door het Kernfysisch Versneller Instituut (KVI) van de Rijksuniversiteit Groningen voor onderzoek naar transportverschijnselen.

Penetratie conus metingen

Met de standaard penetratie conus wordt een indruk verkregen over de sterkte van de bodem. Een uitbreiding op de standaard penetratie conus is de zogenaamde piëzoconus. In de piëzoconus wordt naast de weerstand van de conus met behulp van een drukmeter de poriëndruk gemeten. De piëzoconus is zeer gevoelig voor de detectie van dunne kleilagen [23].

Een tweede uitbreiding op de standaard penetratie conus is de pressiometer. Een pressiometer bepaalt in situ de mechanische eigenschappen van de bodem door op een bepaalde diepte een blad in de grond te drukken en tijdens het drukken het verloop van de benodigde kracht te registreren [23].

3.5.4 In Loco Chemische Analyse

Door Ramsay [29] wordt een overzicht gegeven van meetmethoden voor het analyseren van bodemonsters in het veld (Tabel 3.6 pag. 71). Ramsay [29] geeft aan dat in loco methoden snel, goedkoop en draagbaar moeten zijn om te kunnen concurreren met laboratoriumanalyses. Daarbij wordt onder snel verstaan dat met een in loco methode binnen 60 minuten een monster geanalyseerd kan worden. Goedkoop heeft in eerste instantie alleen betrekking op de prijs per monster. De prijs van het instrument mag aanzienlijk hoger liggen. Onder draagbaar wordt verstaan dat de apparatuur door één persoon verplaatst kan worden, bestand is tegen gebruik in het veld en geen externe voeding gebruikt. Merk op dat mobiele laboratoria niet aan deze voorwaarden voldoen.

Indien aan één of meer van bovenstaande randvoorwaarden wordt voldaan dan hebben in loco methoden ten opzichte van laboratoriumanalyses een aantal voordelen. Een belangrijk voordeel is de snelle beschikbaarheid van het resultaat van analyses. Een ander voordeel is het grote aantal monsters dat verwerkt kan worden met als resultaat een gedetailleerder ruimtelijk beeld van de verontreiniging.

Het volgende overzicht van methoden is voor een groot deel gebaseerd op het overzicht van Ramsay [29]. Een aantal methoden is toegevoegd die niet geheel aan de strenge criteria van Ramsay voldoen: magnetische susceptibiliteitsmeting, combinatie van gaschromatografie en massaspectrometrie.

Bij het merendeel van de genoemde in loco methoden is sprake van een chemische analyse waarbij door extractie de verontreiniging wordt vrijgemaakt (extract-colour comparison, colour reaction kits, immunoassay, infraroodspectroscopie, gaschromatografie, luminescentie spectrometrie en ASV). Daarnaast meet aantal methoden alleen vluchtige verontreinigingen in de gasfase (vloeistof opgeloste aan gehomogeniseerde bodemonsters).

Opgemerkt dient te worden dat een groot aantal van de genoemde in loco methoden ontwikkeld is voor de analyse van landbodemmonsters. Toepassing op waterbodemmonsters is vrijwel altijd mogelijk zonder ingrijpende aanpassingen. Over het algemeen is toepassing van in loco methoden alleen zinvol in situaties waar zich een specifieke verontreiniging voordoet in de waterbodem.

Geen van de genoemde in loco methoden is zondermeer geschikt voor het uitvoeren van in situ metingen in de waterbodem.

Door Delta Consult zijn in samenwerking met VBKO en POSW een groot aantal van onderstaande methoden geëvalueerd. Op basis van deze evaluatiestudies is vastgesteld dat met name GC/MS en XRF kansrijke in loco technieken zijn voor karakterisatie van de mate van verontreiniging in waterbodemmonsters.

Tabel 3.6: *In Loco Methoden voor Analyse van Bodemonsters [29].*

Methode	Parameters
Extract-colour comparison	teer en andere zware petroleumproducten
Colour reaction kits	olie, gasoline, PCB's, chlorinated solvents, lood, kwik etc.
Immunoassay	pesticiden, PCB's, PCP, teer en petroleumproducten
Infraroodspectroscopie	zware petroleumproducten met een kleine fractie vluchtige bestanddelen die niet op andere wijze gemeten kunnen worden
Gaschromatografie	vluchtige of extraheerbare organische bestanddelen
PID en FID probes	vluchtige organische bestanddelen
Röntgenfluorescentie (XRF)	zware metalen en arseen
Gasdetectorbuizen	vluchtige organische verbindingen, waaronder aceton, benzeen, toluen, trichloorethyleen en tetrachloorethyleen
Fibre Optic Chemical Sensors (FOCS)	in water opgeloste koolwaterstoffen
Anodic Stripping Voltammetrie (ASV)	zware metalen
Scanning spectrum fluorometrie	olie (onderzoek naar PAK's, PCB's e.a.)
Magnetische susceptibiliteitsmeting	magnetische (ijzer)deeltjes
GC/MS	minerale olie en PAK's
Bioluminescentie	toxiciteit

Navolgend worden deze methoden kort besproken.

Extract-colour comparison

Parameters	Deze methode wordt gebruikt voor het bepalen van de concentraties van teer en andere zware petroleumproducten.
Procedure	Een bodemonster wordt geëxtraheerd met dichloormethaan en de kleur van het extract wordt bepaald op een schaal van 0 tot 5.
Voordeel	De methode is snel en goedkoop.
Nadeel	Dichloormethaan vormt een gevaar voor de gezondheid.

Colour reaction kits

Parameters	Commerciële kits voor het produceren van kleurenreacties zijn ontwikkeld voor een aantal kwaliteitsparameters, waaronder olie, gasoline, PCB's, chlorinated solvents, lood, kwik, etc..
Procedure	Over het algemeen wordt een bodemonmonster geëxtraheerd met een organisch oplosmiddel, waarbij een kleuren reagent wordt toegevoegd. De resulterende kleur wordt vergeleken met een kleurenkaart.
Voordeel	De methode is sneller dan laboratorium analyse en kan in het veld uitgevoerd worden.
Nadeel	De methode vereist laboratorium ervaring.

Immunoassay

Parameters	Deze methode is ontwikkeld voor bepaalde pesticiden, PCB's, PCP, teer componenten en petroleum producten.
Procedure	Over het algemeen wordt een bodemonmonster geëxtraheerd. Het extract wordt overgebracht in een test tube en voorbehandeld met een specifiek antigeen en een kleuren reagent.
Voordeel	De methode is zeer specifiek en heeft vaak een lage detectielimiet en hoge nauwkeurigheid.
Nadeel	De methode vereist laboratorium ervaring.

Infrared spectroscopy

Parameters	Deze methode wordt voornamelijk gebruikt voor zware petroleumproducten met een kleine fractie vluchtige bestanddelen, die daarnaast niet op andere wijze kunnen worden gemeten.
Procedure	Een bodemonmonster is geëxtraheerd met freon of een ander oplosmiddel. Het extract wordt doorgemeten met een infrarood spectrometer.
Voordeel	De methode is een van de weinige methoden waarmee petroleum producten met een lage concentratie vluchtige bestanddelen bepaald kunnen worden.
Nadeel	De methode vereist laboratorium ervaring. De nauwkeurigheid van de methode kan in bepaalde situaties onvoldoende zijn.

Gas chromatografie

Parameters	Deze methode wordt gebruikt voor het bepalen van vluchtige organische bestanddelen indien de headspace methode wordt gebruikt of extraheerbare organische bestanddelen indien de extractiemethode wordt gebruikt.
Procedure	Bij de headspace methode wordt gas van een grondmonster in het instrument gepompt, waarna de verschillende componenten worden gescheiden.

Bij de extractiemethode wordt het monster behandeld met een organisch oplosmiddel (bijvoorbeeld dichloromethaan) en het extract wordt geïnjecteerd in het instrument. Detectie vindt plaats met een photoionisatie detector (PID) of een vlam ionisatie detector (FID).

Voordeel	De methode is specifiek en heeft een lage detectielimiet.
Nadeel	Het instrument is duur. De methode vereist laboratorium ervaring. De extractiemethode is minder draagbaar doordat elektrische verwarming noodzakelijk is. Voor de headspace methode kunnen langdurige equilibraties nodig zijn.

PID en FID probes

Parameters	Deze methode meet de meeste vluchtige organische verbindingen. Methaan wordt alleen met FID probes gemeten.
Procedure	Gas uit de headspace van een grondmonster wordt in de probe gepompt en gemeten met behulp van een photoionisatie detector (PID) of vlam ionisatie detector (FID).
Voordeel	De methode is draagbaar, snel en goedkoop. Daarnaast heeft de methode een lage detectielimiet.
Nadeel	De methode is niet specifiek, en rapporteert één waarde. Aangezien verschillende verbindingen verschillende responsfactoren hebben kan de methode geen kwantitatieve informatie leveren in mengsels. Langdurige equilibratie van het monster kan nodig zijn.

XRF

Parameters	De methode meet de elementen tussen 20 en 92. De detectielimiet voor cadmium en kwik is te hoog.
Procedure	Een klein aliquot van een gehomogeniseerd grondmonster wordt in het instrument geplaatst. Het monster wordt bestraald met röntgenstraling, waardoor de elementen in het monster secundaire röntgen gaan uitzenden.
Voordeel	De methode meet verschillende metalen in een meting en is snel.
Nadeel	De detectielimiet is enigszins aan de lage kant en een grotere nauwkeurigheid kan in bepaalde gevallen noodzakelijk blijken. Het instrument zelf is duur.
Status	Door Delta Consult is in samenwerking met VBKO en POSW onderzocht in hoeverre XRF geschikt is voor het in loco bepalen van de concentratie zware metalen. Metingen zijn uitgevoerd aan met zware metalen verontreinigde monsters met standaard laboratoriuminstrumenten. Op basis van deze metingen is geconcludeerd dat in loco bepaling van zware metalen concentraties mogelijk is. Door Delta Consult wordt momenteel een studie uitgevoerd naar de economische haalbaarheid van in loco metingen.

Gas Detector Tubes

Parameters	De methode is ontwikkeld voor een aantal vluchtige organische verbindingen, waaronder aceton, benzeen, toluen, trichloorethyleen en tetrachloorethyleen.
Procedure	Gas uit de headspace van een bodemonster wordt door een buis gepompt met een handpomp. De buis verkleurt en de kleur van de buis wordt vergeleken met een kleurenkaart.
Voordeel	De methode is snel, goedkoop, draagbaar en vaak specifiek.
Nadeel	De methode heeft een hoge detectielimiet en een beperkte nauwkeurigheid. False-positives kunnen voorkomen in sommige buizen. Langdurige equilibraties van het monster kan nodig zijn.

Fiber Optic Chemical Sensors I (FOCS)

Parameters	De methode is zowel ontwikkeld voor in water opgeloste koolwaterstoffen als ook voor de combinatie opgeloste en vluchtige koolwaterstoffen.
Procedure	De meting is gebaseerd op de verzwakking van de lichtintensiteit in een lichtgeleider in een zeker spectraal gebied als functie van de aanwezigheid van koolwaterstoffen. De lichtgeleider is hiertoe voorzien van een chemische coating waar de koolwaterstoffen reversibel in oplossen. De keuze van de coating en van het spectrale gebied bepalen welke koolwaterstoffen gedetecteerd worden.
Voordeel	De methode is snel (orde 1-5 minuten), goedkoop, draagbaar en in te bouwen in een sonde.
Nadeel	De methode is niet specifiek en meet alleen opgeloste (apolaire) koolwaterstoffen.

Fiber Optic Chemical Sensors II (FOCS)

Parameters	De methode is ontwikkeld voor in water opgeloste (apolaire) gehalogeneerde koolwaterstoffen.
Procedure	De meting is gebaseerd op een absorptiemeting in het nabije infrarood in de coating van een lichtgeleider. De coating is over het algemeen een silicone-achtig materiaal waarin deze stoffen goed oplossen. Met name apolaire gehalogeneerde koolwaterstoffen kunnen op deze manier gemeten worden.
Voordeel	De methode is relatief snel (orde 5-15 minuten), specifiek, goedkoop, draagbaar en in te bouwen in een sonde.
Nadeel	De methode is lastig te calibreren, heeft een grote optische weglengte nodig om voldoende lage concentraties te kunnen meten (tot 10 m 'gecoilde' fiber) en bevindt zich nog in een ontwikkelstadium.

Fiber Optic Chemical Sensors III (FOCS): Fujiwara sensor

Parameters	De methode is ontwikkeld voor in water opgeloste (vluchtige) gehalogeneerde koolwaterstoffen.
Procedure	De meting is gebaseerd op een absorptiemeting in het nabije infrarood in een micro-cuvet die enerzijds met een permeatie membraan in verbinding staat met het meetmedium en anderzijds met een lichtgeleider waarmee zowel absorptie- als fluorescentie metingen kunnen worden uitgevoerd. In de micro-cuvet vindt een, voor gehalogeneerde koolwaterstoffen, specifieke kleurreactie plaats (Fujiwara reactie). Met name vluchtige gehalogeneerde koolwater-stoffen kunnen op deze manier gemeten worden.
Voordeel	De methode is specifiek voor gehalogeneerde verbindingen, goedkoop, draagbaar en in te bouwen in een sonde. De methode is in principe specifiek te maken voor bepaalde verbindingen, zoals bijvoorbeeld trichloorethyleen.
Nadeel	De methode is relatief traag (orde 10-20 minuten), irreversibel (waardoor bijvoorbeeld elke dag de disposable micro-cuvet vervangen moet worden), is alleen geschikt voor vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen en bevindt zich nog in een prototype stadium.
Status	Door TNO-MEP is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van de Fujiwara sensor voor in loco metingen aan waterbodemonsters [21].

Anodic Stripping Voltammetrie (ASV)

Parameters	De methode is geschikt voor het bepalen van de concentratie zware metaalionen. Ongeveer 6 tot 10 metaalionen kunnen geïdentificeerd en gekwantificeerd worden.
Procedure	Anodic stripping voltammetrie is een elektro-analytische techniek, waarbij de metaalionen uit de oplossing worden gestript door ze 'op te lossen' in een kwik(film) elektrode. Dit gebeurt gedurende een van te voren vastgestelde periode. Vervolgens worden de metalen weer in oplossing gebracht middels een (snelle) anodische potentiaal stap, waarbij de gemeten stroom een maat is voor de concentratie. Deze potentiaal stap kan op verschillende wijzen uitgevoerd worden.
Voordeel	De methode is snel (i.h.a. < 1 min.), goedkoop en draagbaar.
Nadeel	Alleen in oplossing aanwezige metaalionen worden gemeten. Milieu onvriendelijke chemicaliën (kwik) worden gebruikt.

Magnetische susceptibiliteitsmeting

Parameters	Sediment in rivieren bevat metallische deeltjes. Deze deeltjes ontstaan bij verbrandingsprocessen. Belangrijke bronnen zijn het verkeer en de industrie. Analyse van de magnetische eigenschappen van het sediment kan gebruikt worden voor het bepalen van de concentratie van deze deeltjes. Hiermee wordt een beeld verkregen van de hoeveelheid stof afkomstig van verkeer en industrie.
Procedure	Een monster wordt genomen en in een magnetometer geanalyseerd. Het instrument bepaalt in enkele seconden een maat voor de magnetische susceptibiliteit.
Voordeel	De methode is snel, goedkoop en draagbaar.
Nadeel	De methode is specifiek voor magnetische deeltjes en dient gecalibreerd te worden om kwantitatieve uitspraken te kunnen doen.

Gas chromatografie in combinatie met massa spectrometrie (GC/MS) [30]

Parameters	Concentratie minerale olie en PAK's tot op ppb niveau.
Procedure	Een bodemonster wordt opgelost in bijvoorbeeld Aceton en gedurende enkele minuten geëxtraheerd. Vervolgens wordt het monster in het instrument gebracht. Met gaschromatografie kunnen gassen en dampen van vluchtige stoffen geanalyseerd worden. Een monster van de te onderzoeken stof wordt in een gasstroom gebracht en doorstroomt in een zuil met een speciale vulling. Stofafhankelijke wisselwerkingen in de zuil zorgen voor verschillen in doorstroming. Bij de combinatie van GC en MS wordt het uittredende gas geanalyseerd met een massa spectrometer. Daarmee kunnen de gassen gekarakteriseerd worden en kan de hoeveelheid van de verschillende substanties bepaald worden. In de massa spectrometer worden de uittredende deeltjes geïoniseerd en in een magneetveld gescheiden op basis van hun verhouding massa/lading. Elke stof kan apart herkend worden in het resulterende spectrum.
Voordeel	De methode is specifiek. Minerale olie en PAK's kunnen tot op ppb niveau bepaald worden.
Nadeel	De apparatuur voldoet niet aan de gestelde eisen voor in loco methoden. De apparatuur is duur en niet draagbaar (ten minste een bestelwagen noodzakelijk) De apparatuur vereist laboratorium ervaring.
Status RIZA	Door het RIZA wordt in loco GC/MS binnenkort ingezet op 2 meetpotons bij Lobith (Rijn) en Eijsden (Maas) voor de analyse van watermonsters. Het gaat hier om drijvende laboratoria, waarin monsters door een laborant geanalyseerd worden. Volledige automatisering wordt nagestreefd.

Status DC Door DeltaConsult zijn in het verleden experimenten uitgevoerd met thermische desorptie MS aan waterbodemmonsters. Ook hier was de doelstelling het bepalen van de concentratie minerale olie en PAK's. Alhoewel voor landbodemmonsters voor bepaalde applicaties goede resultaten zijn behaald bleken voor waterbodemmonsters toch complicaties op te treden. Ook de analysetijd van ongeveer 30 minuten leidde tot beperkte toepasbaarheid. Dit onderzoek is door Delta Consult stop gezet.

Bioluminescentie test (LUMISmini, Dr. Lange) [30]

Parameters	Een groot aantal bioluminescentie testmethoden is beschikbaar. Een representatief voorbeeld is de LUMISmini test van Dr. Lange. Bij deze test wordt de toxiciteit van monsters indirect bepaald door te kijken naar de hoeveelheid bioluminescentie die geproduceerd wordt door bacteriën. (Photobacterium Phosphoreum) gebruikt. Bij de stofwisseling van deze bacteriën veroorzaakt het enzym Luciferase bioluminescentie. Toename van de toxiciteit leidt tot verlaging van de bioluminescentie. Aangezien de bacteriën alleen in wateropgeloste stoffen eten is de methode beperkt tot stoffen die inderdaad in water oplossen en daarnaast door de bacteriën gegeten worden.
Procedure	Een waterig bodemonster wordt aangemaakt (2 g bodem-monster met 8 ml 2% NaCl oplossing wordt 10-15 min. schudden). Het monster wordt vervolgens in het meetinstrument gebracht. Het resultaat is een waarde voor de vermindering van de bioluminescentie ten opzichte van een referentiemonster.
Voordeel	De methode is goedkoop en draagbaar.
Nadeel	De nauwkeurigheid van de methode is laag en de methode heeft een trage respons.

Scanning spectrum fluorometrie [31]

Parameters	Olieproducten en mogelijk PAK's, PCB's en andere stoffen.
Procedure	Een monster wordt geëxtraheerd en vervolgens wordt het extract in het instrument gebracht. In het instrument wordt met behulp van een flits lamp en een monochromator het monster belicht met monochromatisch licht. Vervolgens wordt het door het monster geëmitteerde licht opgevangen met behulp van een tweede monochromator en een photomultiplier buis. Golflengte van het licht kan veranderd worden, waardoor een spectrum gescand kan worden. De methode bevindt zich in een prototype stadium. Verschillende veldtesten worden in de VS uitgevoerd.

Voordeel	De methode is geschikt voor in loco metingen aan met name zware (niet-vluchtige) organische verbindingen.
Nadeel	De nauwkeurigheid van de methode is vooralsnog laag. Verder onderzoek en veldtest worden uitgevoerd. Toepassing van de methode vereist laboratorium ervaring.

3.6 Biologische Samenstelling

RoxAnn

De enige ontwikkeling welke in dit verband tot dusver gesignaleerd is, is de inzet van het RoxAnn systeem voor de karakterisering van begroeiing van waterbodems. Zie paragraaf 3.4.5 voor een beschrijving van dit systeem. Volgens de fabrikant van het systeem zouden begroeide van onbegroeide bodems te onderscheiden zijn en men maakt zelfs melding van het onderscheid tussen levend en dood zeegras [18].

RDII heeft recent een systeem aangeschaft ondermeer voor het monitoren van begroeiing zoals planten, mossels en dergelijke (zie § 2.2).

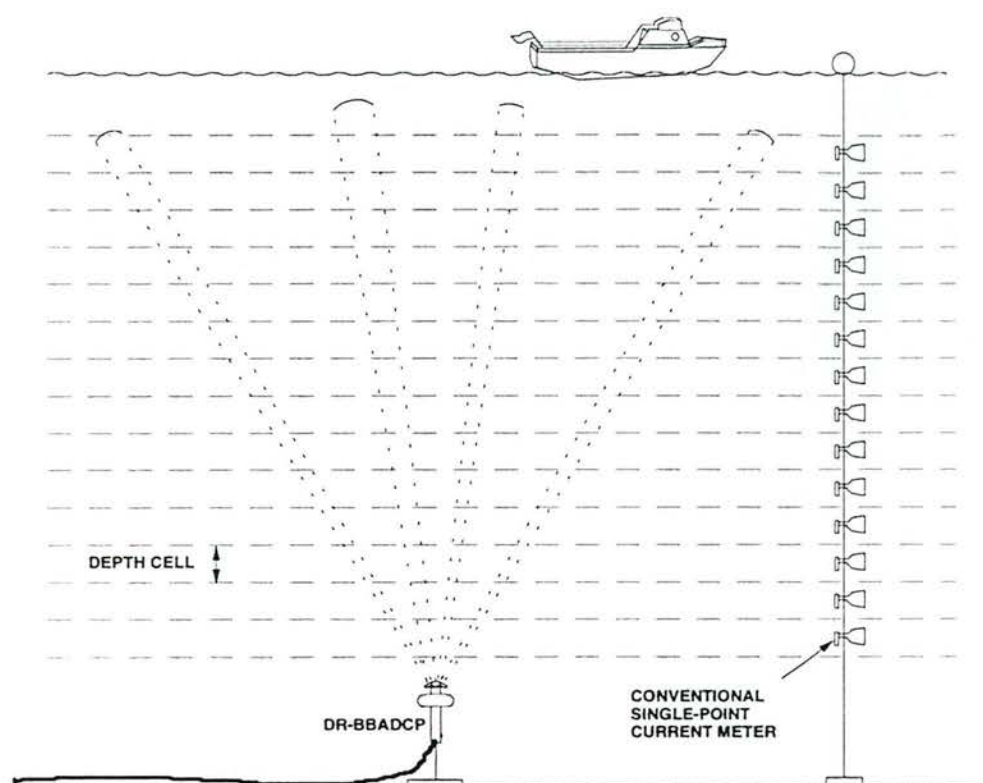
Andere Ontwikkelingen

Bij het RIZA²³ in samenwerking met de UvA loopt onderzoek betreffende het meten van de microfauna in de bodem (algen, bacteriën) om de bentisch-pelagische koppeling beter te kunnen monitoren. Tijdige opname van materiaal over dit onderzoek in dit rapport bleek helaas niet mogelijk.

Geen ontwikkeling maar een al langer bestaande methode [32] voor het biologisch karakteriseren van de waterbodem is 'Sediment Profile Imaging' (SPI). Hierbij wordt een sonde over enkele tientallen centimeters de bodem ingedrukt en vervolgens worden via een schuin geplaatst venster met een (video)camera (doorsnede)opnamen van de bodem gemaakt. Uit deze sediment doorsneden is met name informatie te halen over de macrofauna in de bodem, naast overigens ook informatie over de fysisch-chemische samenstelling van de bodem.

Meer materiaal betreffende andere ontwikkelingen op dit gebied bleek niet voorhanden.

²³ Contactpersoon: de heer K. van der Gugten, RIZA Lelystad.



Figuur 11

Toepassing van een RD Instruments ADCP vanaf de bodem van een waterweg (afbeelding overgenomen uit [40]).

3.7 Transport Eigenschappen

Een nuttige meer algemene referentie met betrekking tot het meten van de transporteigenschappen in rivieren is de in 1996 verschenen literatuurstudie “(Semi-) Automatische meetsystemen voor het sedimenttransport in rivieren” [33] van het Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek (ICG). Een aantal van de navolgend besproken technieken (in ontwikkeling) komen ook daarin aan bod.

3.7.1 Acoustic Current Profiling, ADCP en CCP

ALGEMEEN

Techniek

Stroming kan goed met akoestische methoden in kaart gebracht worden. De twee belangrijkste principes, waarvan ook diverse systemen commercieel verkrijgbaar zijn, zijn de zogeheten ‘Acoustic Doppler Current Profiler’ (ADCP) en de ‘(Acoustic) Correlation Current Profiler’ ((A)CCP). Met beide wordt de 3D stroming c.q. componenten daarvan als functie van de plaats in kaart gebracht, bijvoorbeeld als functie van de waterdiepte of een complete stromingsdoorsnede (met name in rivieren en geulen).

Resultaat

Het resultaat is bijvoorbeeld de stroomsnelheid op zekere plaats als functie van de diepte dan wel een complete twee dimensionale doorsnede van de stroomsnelheid.

Principe en Uitvoering

ADCP

ADCP's worden zowel ‘varend’²⁴ als stationair, bijvoorbeeld opgesteld op de bodem of aan een boei, toegepast. Het meetprincipe is gebaseerd op de Dopplerverschuiving welke optreedt bij de verstrooiing van geluid aan met het water meegevoerde deeltjes (zand, slib, algen etc.). Er zijn diverse systemen commercieel verkrijgbaar, bijvoorbeeld de Broadband en Workhorse Sentinel ADCP's van RD Instruments²⁵, welke ook reeds binnen RWS toegepast worden. De basisprincipes van ADCP's in het algemeen, en van de toepassing van die van RD Instruments in het bijzonder, worden helder uitgezet in een ‘technical paper’ van RD Instruments [40].

²⁴ Dat wil zeggen gemonteerd onder een schip, waarbij het schip overigen meestal gedurende een zekere tijd stil ligt voor een meting.

²⁵ Zie bijvoorbeeld de website van RD Instruments: <http://www.rdinstruments.com/>.

CCP

CCP's worden feitelijk alleen 'varend' toegepast en zijn gebaseerd op het vergelijken, 'correleren', van de (tijd)signalen van twee vlak naast elkaar opgestelde bron/ontvangers welke kort na elkaar een korte geluidspuls uitsturen (meestal richting bodem) en de aan in het water aanwezige deeltjes verstrooide signalen registreren. RD Instruments levert ook een CCP.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De toepassing van ADCP en CCP's betreft uiteraard het in kaart brengen van waterstromen, stationair dan wel varend, en hiervoor worden deze instrumenten dan ook al de nodige jaren gebruikt. De stationaire opstellingen zijn ook geschikt voor het in de tijd volgen van stromingen en meten aldus ook de door- c.q. uitstroming, bijvoorbeeld in een riviermonding.

Parameters

Bij ADCP's is de Dopplerverschuiving een maat voor de stroomsnelheid. Bij CCP's is dat de tijdverschuiving tussen (delen van) de twee tijdsignalen welke vergeleken worden.

De verticale of dieptereresolutie wordt bepaald door het aantal cellen wat zinvol gedefinieerd kan worden, hetgeen weer afhankelijk is van de toegepaste bandbreedte en centrumfrequentie. Voor beide geldt in dit opzicht: 'hoe hoger hoe beter'.

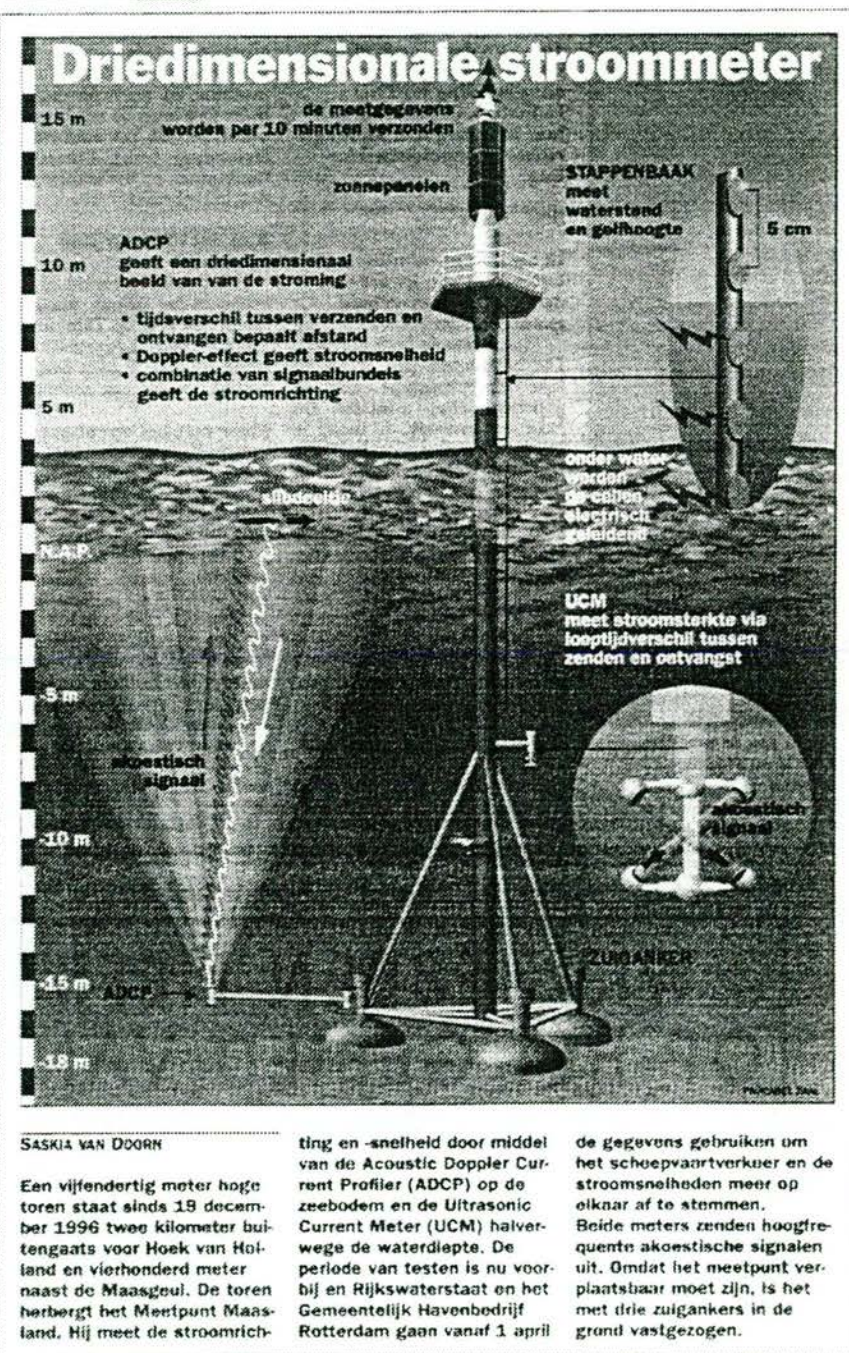
De maximaal haalbare diepte is evenredig van het zendvermogen en omgekeerd evenredig met de toegepaste centrumfrequentie.

Beperkingen

De Dopplersignalen van ADCP's worden in de buurt van de bodem c.q. het wateroppervlak sterk gestoord door de bodem- respectievelijk oppervlaktereflectie. Als gevolg hiervan geven ADCP's geen goede resultaten in de buurt van de bodem en het wateroppervlak, alwaar ze dus een soort 'dode zone' hebben.

CCP's hebben het nadeel van dode zones niet zo sterk en kunnen over het algemeen tot op grotere diepte meten dan ADCP's.

Tenslotte zijn beide technieken afhankelijk van in het water aanwezige deeltjes die met de stroming meegevoerd worden. Indien de snelheid van de deeltjes belangrijk lager is die van het water wordt natuurlijk een te lage stroomsnelheid gemeten.



Figuur 12

Rijkswaterstaat en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam meten sinds december 1996 het driedimensionale stromingsprofiel 2 km voor de kust van Hoek van Holland met een ADCP.

SPECIFICATIES

Op basis van het beschikbare materiaal was het niet mogelijk zinvolle specificaties volgens het stramien te geven. De lezer zij hiervoor verwezen naar de documentatie van de commercieel verkrijgbare systemen.

ONTWIKKELINGEN

Behalve referenties [34, 36, 37] met betrekking tot ADCP en [38, 39] over CCP ontwikkelingen in het verleden, met behulp van het RWS-SWS (Sonar WorkStation), geen ander materiaal beschikbaar over recente dan wel lopende of toekomstige ontwikkelingen met/voor RWS.

De indruk bestaat dat ADCP en CCP technieken zich reeds in de implementatie-fase bevinden. Een indruk die versterkt wordt door een recente publikatie over een 3D stromingsmeettoren van Rijkswaterstaat (n.a.w. DZH) en het Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam voor de kust van Hoek van Holland, zie Figuur 12.

3.7.2 Radar Current Profiling, HF Radar

Behalve referentie [41] geen materiaal voorhanden over ontwikkelingen met/voor RWS. Deze ontwikkeling is derhalve niet verder uitgewerkt.

3.7.3 Akoestisch Zand en Slib Transport Meten

Navolgend besproken AZTM en USTM zijn ontwikkelingen uit het recente verleden welke de voorlopers zijn van het in de volgende paragraaf besproken programma '*LWI Sediment Transport*'. Volledigheidshalve zijn (de resultaten van) deze ontwikkelingen derhalve hier meegenomen, zij het in zeer beknopte vorm (dus niet volgens 'het stramien').

Door met een akoestische multi-transducerconfiguratie (minimaal 3) in een zeker meetvolume tegelijkertijd de Dopplerverschuiving aan meegevoerde sediment-deeltjes en de mate van verstrooiing te meten (transmissieverzwakking en/of terugstrooiing) kan in principe het sedimenttransport gemeten worden. Immers, de Dopplerverschuiving geeft de snelheid, c.q. een component van de snelheid van de deeltjes en de mate van verstrooiing is (na calibratie) om te rekenen naar een massaconcentratie.

AZTM en USTM

De door het Waterloopkundig Laboratorium in Delft (WL) ontwikkelde 'akoestische zandtransportmeter' (AZTM) en 'ultrasonic sediment transportmeter' (USTM) werken volgens dit principe en zijn primair bedoeld om zandtransport (AZTM) respectievelijk zand- en slibtransport (USTM) te meten.

De specificaties van de AZTM [42] zijn als volgt:

- stroom/deeltjessnelheid < 2.5 m/s;
- toepasbaar tot diepte < 20 m;
- deeltjesconcentratie 10 - 5000 ppm²⁶.

Voor de USTM [43] wordt opgegeven:

- stroom/deeltjessnelheid 0,03 - 3,0 m/s;
- toepasbaar tot diepte 20 m;
- deeltjesconcentratie 50 - 10.000 ppm²⁷.

²⁶ Wordt niet gespecificeerd als massa per volume-eenheid, ofschoon calibratiecurves getoond worden voor concentraties van 0 tot 4 kg/l (lab) en van 0 tot 400 mg/l (Oosterschelde).

²⁷ Wordt niet gespecificeerd als massa per volume-eenheid, ofschoon calibratiecurve getoond wordt voor concentraties van 0 tot 5 kg/l (lab ?).

3.7.4 LWI Sediment Transport

ALGEMEEN

Techniek

Door middel van akoestische transmissiemetingen kan de (massa)concentratie en deeltjesgroottedistributie van zand- en slibdeeltjes in een suspensie worden bepaald. Vanwege het feit dat hiervoor de spectrale informatie van de signalen gebruikt wordt staat deze techniek ook bekend als de 'akoestische spectroscopie sediment meettechniek' (ASSM). Door herhaald meten is het transport als functie van de tijd te volgen. Het principe van de techniek is ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium (WL, [44, 45, 46]), de voorlopers zijn de in de vorige paragraaf behandelde AZTM en USTM. De benodigde data-acquisitie hardware en verwerkingssoftware worden momenteel ontwikkeld door TNO-TPD.

Resultaat

Twee maal per seconde wordt een meting gepresenteerd van de deeltjesconcentratie en deeltjesgroottedistributie (bijvoorbeeld) in de vorm van een histogram. De verandering van deeltjesconcentratie en deeltjesgroottedistributie is in de tijd te volgen, zodat bijvoorbeeld ook de beweging en verplaatsing van sediment in golven in kaart gebracht kan worden. De statistische betrouwbaarheid van de metingen wordt aangegeven.

Principe

Het meetprincipe is gebaseerd op het feit dat deeltjes in een suspensie geluid verzwakken door verstrooiing en demping. De totale verzwakking (inclusief verstrooiing) van een vloeistof met of zonder deeltjes kan worden gemeten door het uitzenden van ultrageluid door een zendtransducent, en het opvangen van het geluid door een ontvangertransducent, geplaatst recht tegenover de zendtransducent. Door de spectrale inhoud van het signaal zonder deeltjes te vergelijken met een signaal bij aanwezigheid van deeltjes wordt de netto verzwakking afgeleid. Met behulp van een mathematisch model voor verstrooiing van deeltjes in een suspensie worden uit de spectrale verzwakkingscurves de gewenste parameters (deeltjesgrootte en concentratie per deeltjesklasse) geschat.

Uitvoering

Het instrument bestaat uit een sensoreenheid, front-end elektronica, data-aquisitie hardware en presentatie/bediening hardware. De sensoreenheid en front-end elektronica bevinden zich onder water. De sensoreenheid bestaat uit een array van maximaal 7 transducentenparen, waarbij elk paar een bepaald frequentiegebied bemeet. Het frequentiebereik van het systeem loopt van 0.5 tot 100 MHz. De front-end elektronica bevat voorversterkers, een zendpuls versterker en elektro-nische schakelaars om te schakelen tussen de verschillende transducentparen.

De data-aquisitie eenheid bevindt zich op een meetplatform boven water en is door middel van een kabel verbonden met de front-end elektronica. Om de beoogde nauwkeurigheid te behalen worden er tenminste 1000 metingen²⁸ per seconde uitgevoerd, welke in real-time verwerkt moeten worden. Dit vereist een zeer hoge verwerkingscapaciteit welke waarschijnlijk alleen met speciale hardware gerealiseerd kan worden. De presentatie van gegevens gebeurt op een standaard PC, waar ook het gebruikersinterface op draait.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

De belangrijkste toepassingen zijn het karakteriseren van zand- en slibdeeltjes in rivieren en kustwateren en het monitoren van zand- en slibtransport, bijvoorbeeld in rivierbochten, de branding en bij baggerwerkzaamheden. Andere (niet-hydrografische) toepassingen van de meettechniek zijn te vinden in het karakteriseren van zeer inhomogene media, het monitoren van tweefase stromingen en slurries en het monitoren van industriële processen zoals kristallisatie van deeltjes.

Parameters

De totale verzwakking van een transmissiesignaal hangt af van de temperatuur, de viscositeit, het zoutgehalte, de grootte en vorm van aanwezige deeltjes en de concentratie van de deeltjes. De gemeten verzwakking is relatief; de absolute verzwakking wordt verkregen door het systeem regelmatig te calibreren met schoon water en met suspensies, met bekende temperatuur, zoutgehalte, deeltjesconcentratie en deeltjesgroottedistributie.

Beperkingen

Nog niet bekend.

SPECIFICATIES

Presentatie

Eenvoudige lijnenplots van deeltjesgrootte en concentratie voor elke deeltjes-klasse.

Bereik

- deeltjesconcentratie: 0.05 - 5 kg/m³ (=50 mg/l - 5 g/l);
- deeltjesgrootte: 5 - 500 µm, verdeeld over 8-10 klassen.

²⁸ Waarbij één enkele meting overigens een tijdsignaal van circa 1000 punten (8 bit/punt) betreft.

Nauwkeurigheid

- 10 - 20%.

Productie

De meettechniek is bedoeld als een prototype ontwikkeling. Het systeem moet in staat zijn om zelfstandig gegevens te verzamelen en op te slaan, over langere tijd. Regelmatige calibratie en onderhoud aan de transducenten (in verband met aanslag, algengroei) is vereist.

ONTWIKKELINGEN

Recent

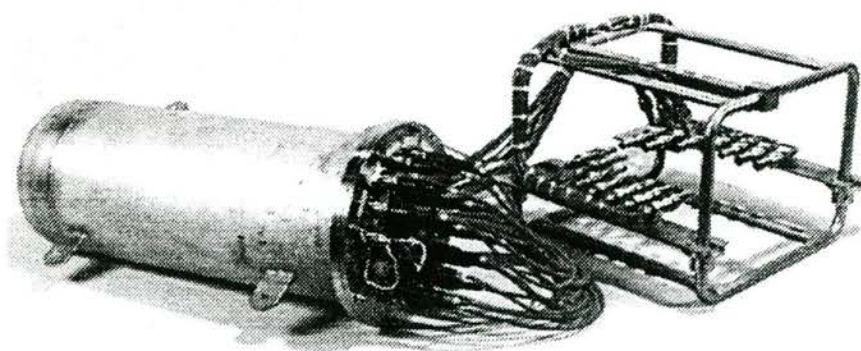
Haalbaarheid van het instrument is aangetoond. Het meetframe en de front-end elektronica zijn reeds ontwikkeld.

Lopend

Systeemontwikkeling (detailspecificatiefase) van het prototype instrument, resulterend in een werkend systeem wat nog niet de gestelde specificaties haalt met betrekking tot de meetsnelheid of de nauwkeurigheid (sneller meten betekent minder nauwkeurigheid en andersom).

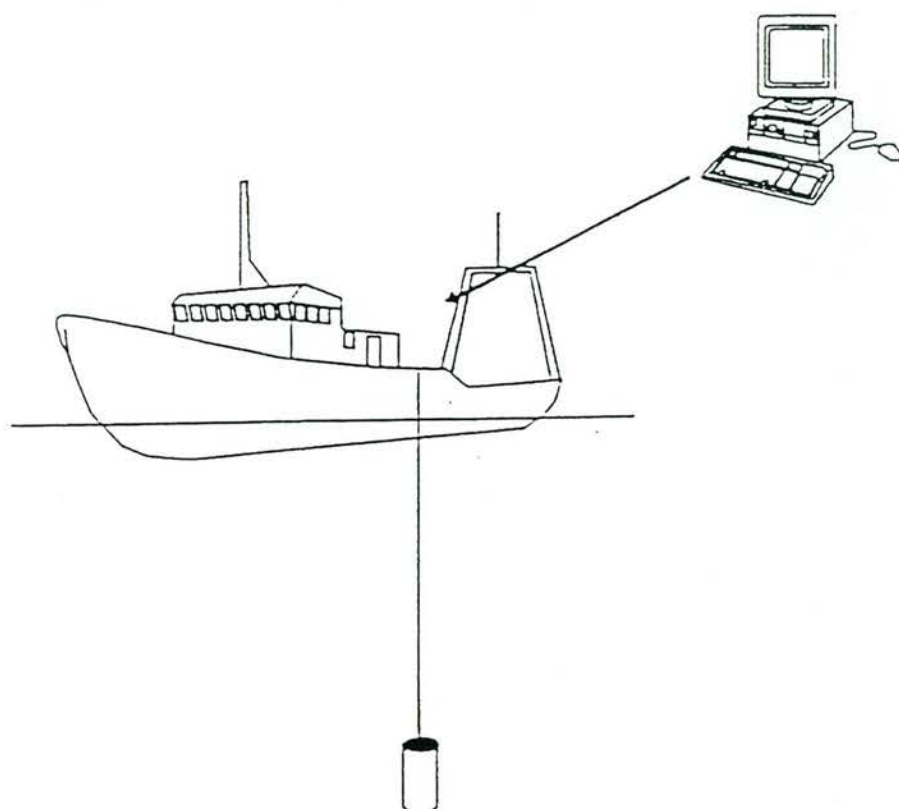
Toekomstig

Robuust veldinstrument wat aan alle specificaties met betrekking tot de meetsnelheid en de nauwkeurigheid voldoet.



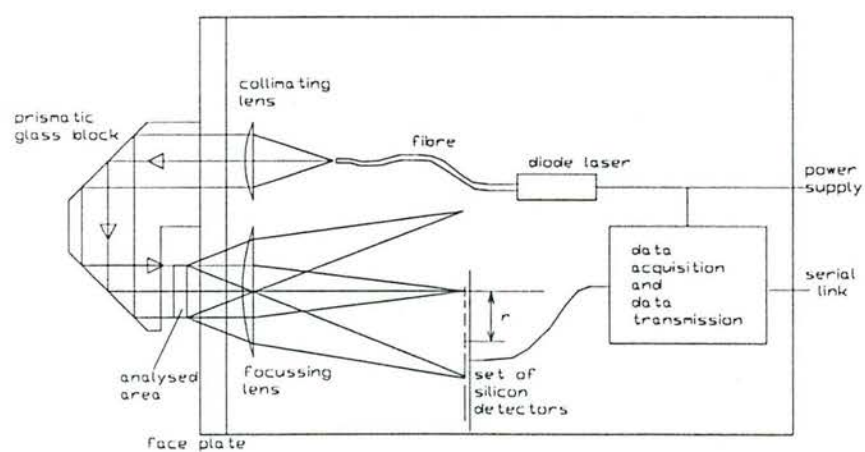
Figuur 13

Sensoreenheid met zeven transducentparen en bijbehorende front-end elektronica, ontwikkeld door het Waterloopkundig Laboratorium (foto WL).



Figuur 14

De CILAS 925 particle sizer wordt afgevierd naar de gewenste diepte(n).



Figuur 15

Optisch principe van de CILAS 925 particle sizer (afbeeldingen uit ref. [47]).

3.7.5 Cilas Particle Sizer

ALGEMEEN

Techniek

Een belangrijke parameter bij het transport en de sedimentatie van vaste stoffen, zand en slib, in kust- en rivierwateren is de deeltjesgrootteverdeling als functie van de diepte, plaats en tijd.

Het tot voor kort²⁹ enige bekende instrument voor in situ (i.e. onder water) toepassing dat deze parameter kan meten is de CILAS 925 Particle Sizer. Dit instrument bepaalt de deeltjesgrootteverdeling uit het optisch verstrooiingspatroon veroorzaakt door de gesuspenderde deeltjes. Het instrument is ontwikkeld door CILAS (Compagnie Industrielle des Lasers) en IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer) in het kader van het EG-project Eureka-Euromar-Mermaid-MRT.

In opdracht van RWS-RIKZ is het systeem in 1995 door TNO-TPD geëvalueerd [47]. In aansluiting hierop heeft TNO-TPD in 1996 voorstellen gedaan voor verbetering van het instrument [48]. Tevens is het instrument in 1996 door RWS-RIKZ ingezet voor veldexperimenten om de mogelijkheden in de praktijk te verkennen.

Resultaat

Deeltjesgrootteverdeling van in het water gesuspenderde deeltjes. Tevens wordt een concentratiegetal gegeven dat een schatting is van de totale deeltjesmassa per volume-eenheid (mg/l).

Principe

Het meetprincipe is gebaseerd op de Fraunhofer diffractie van licht. Gemeten wordt de hoekafhankelijke verstrooiing van infrarood (830 nm) laserlicht aan in het water zwevende deeltjes.

Uitvoering

Het meetvolume wordt deels omsloten door een optische meetkop welke het laserlicht in- en uitkoppelt in het water. De meetkop is aan drie (van de zes) zijden open voor 'natuurlijke' doorstroming en is gemonteerd aan het einde van een aluminium drukcilinder (diam. 225 mm, lengte 750 mm) met daarin alle overige optische en elektronische componenten. De lengte van het optisch pad door het meetvolume is afhankelijk van de uitvoering en bedraagt of 10 mm of 30 mm. Het diffractiepatroon wordt gemeten met een lineair array van 17 siliciumdetectoren.

²⁹ Het Amerikaanse bedrijf Sequoia Scientific blijkt inmiddels een vergelijkbaar systeem aan te bieden, de LISST - 100. Zie Internet: <http://www.sequoiasci.com/>.

Het instrument wordt via een RS 422 seriële bus aan een PC gekoppeld voor besturing en data opslag, bewerking en presentatie. Voorafgaand aan een meetserie dient eerst een calibratie in schoon water zonder deeltjes uitgevoerd te worden, gevolgd door een calibratie aan water met een bij het instrument geleverd poeder met bekende deeltjesgrootteverdeling.

TOEPASSINGSGEBIED

Toepassingen

Het systeem is bedoeld voor in situ meting van de deeltjesgrootteverdeling van in ondiep en diep (tot 300 m) water zwevende deeltjes (1 - 400 μm , 5 - 200 mg/l). Het systeem kan zowel voor 'profilometrie', dat wil zeggen diepte-afhankelijk meting, gebruikt worden (tot 300 m) als voor 'monitoring' op één vaste diepte.

Parameters

Het patroon van het aan de zwevende deeltjes verstrooide licht wordt direct beïnvloedt door en is dus een maat voor: de optische eigenschappen van het materiaal waaruit de deeltjes bestaan; de afmetingen en vorm van de deeltjes; de hoeveelheid deeltjes (per volume-eenheid).

Beperkingen

Het instrument moet gecalibreerd worden voor het soort deeltjes waaraan gemeten wordt. Bij sterk wisselende samenstelling, zowel naar deeltjessoort als naar deeltjesgroottedistributie, treden snel afwijkingen op waarvoor nauwelijks te calibreren valt. Onduidelijk is hoe gevoelig de meting is voor vervuiling van c.q. 'aangroeiing' aan de meetkop.

SPECIFICATIES

Presentatie

Histogram van de deeltjesgrootteverdeling van in het water gesuspendeerde deeltjes, eventueel als functie van de tijd in kleurgecodeerde (per grootteklasse) weergave. Tevens wordt een concentratiegetal gegeven dat een schatting is van de totale deeltjesmassa per volume-eenheid (mg/l).

Bereik

Het systeem is bedoeld voor in situ meting van de deeltjesgrootteverdeling van in ondiep en diep (tot 300 m) water zwevende deeltjes: afmetingen 1 - 400 μm ; concentratie 5 - 200 mg/l. Het bereik en de nauwkeurigheid, zowel voor bepaling van de deeltjesgrootteverdeling als voor de concentratie, zijn overigens afhankelijk van die aanwezige deeltjesgrootteverdeling.

Nauwkeurigheid

De deeltjesgrootteverdeling wordt gegeven in 30 (logaritmisch verdeelde) klassen tussen 1 en 400 μm bij concentraties van 5 tot 200 mg/l. De nauwkeurigheid wordt niet nader gespecificeerd door CILAS. Volgens TNO-TPD [47] is een betrouwbare meting echter slechts mogelijk voor deeltjes van 3 tot 75 μm groot, waarbij er bovendien geen deeltjes groter dan 75 μm aanwezig mogen zijn.

Productie

De kortste middelingstijd van de 17 detectoren, waarmee het diffractiepatroon gemeten wordt, is 1 seconde. Derhalve is de grootste meetsnelheid 1 Hz, dat wil zeggen dat de detectoren kunnen maximaal 1 keer per seconde uitgelezen worden waarna de data via de RS422 verbinding doorgegeven wordt aan de PC voor opslag en verwerking tot een deeltjesgrootteverdeling en concentratiegetal.

ONTWIKKELINGEN

Afgerond

In opdracht van RWS-RIKZ is het systeem in 1995 door TNO-TPD geëvalueerd [47]. In aansluiting hierop heeft TNO-TPD in 1996 voorstellen gedaan voor verbetering van het instrument [48].

Lopend

Ontwerp van en laboratoriumtests met een alternatief detectorsysteem teneinde over een meetbereik van 5 tot 500 μm een acceptabele meetnauwkeurigheid te kunnen bereiken.

Toekomstig

Realisatie van een in situ optical particle sizer met het alternatieve detectiesysteem en veldexperimenten met dit systeem.

3.7.6 Optische Troebelheidsmeting

Door TNO-TPD is begin 1996 een voorstel [49] aan RWS gedaan voor onderzoek betreffende het in situ meten van de massaconcentratie van zwevend stof in oppervlaktewater. Een dergelijke meting wordt ondermeer optisch, met zogeheten transmissometers, en ook wel visueel uitgevoerd en wordt derhalve ook wel aangeduid als troebelheidsmeting.

Na een korte verkenning van de stand der techniek en de fysische mogelijkheden is voorgesteld om de middels optische transmissie bepaalde massaconcentratie zwevend stof te verbeteren door ook de hoekafhankelijke optische verstrooiing te meten. Hiermee kan in principe gecorrigeerd worden voor onnauwkeurigheden als gevolg van variatie in de deeltjesgrootteverdeling. Calibratie blijft hierbij overigens noodzakelijk.

In 1996 is het voorstel getemporeerd maar het zal in 1997 naar verwachting weer opgepakt worden.

4 Plan van Aanpak

Op basis van de geïnventariseerde meetbehoeften bij RWS (Hoofdstuk 2) en de gesignaleerde ontwikkelingen (Hoofdstuk 3) worden de volgende aandachtsgebieden onderscheiden:

1. Bodemligging.
2. Samenstelling: fysisch, chemisch en biologisch.
3. Transporteigenschappen.
4. Bemonsterstrategie.

Bodemligging

Voor het bepalen van de bodemligging zijn een groot aantal technieken beschikbaar. Elk van deze technieken heeft voor- en nadelen. Recent is in het kader van LWI-Rivieren een inventarisatiestudie [8] afgerond. Als vervolg wordt binnen het LWI programma een evaluatiestudie overwogen naar combinatie van laser altimetrie en multi-beam echosounding.

Aanbevolen wordt te onderzoeken in hoeverre evaluatie van deze combinatie van technieken in de Westerschelde zinvol zou zijn voor het monitoren van de ligging van geulen, platen en kustlijn. Voor gebieden waar aan de manoeuvreerbaarheid van het systeem geen strenge eisen worden gesteld, zou in plaats van een multi-beam echosounder een multi-channel echosounder overwogen kunnen worden. Binnen Rijkswaterstaat zijn verschillende multi-beam echosounders operationeel. Door Directie IJsselmeergebied is recent een multi-channel echosounder aangeschaft. Dit systeem is echter nog niet operationeel. Het uitvoeren van laser-altimetrie wordt regelmatig uitbesteed aan derden.

In dit kader wordt aanbevolen aandacht te besteden aan de verdere verwerking, opslag en rapportage van metingen. Door Blacquière [8] wordt geconcludeerd dat voor verwerking en presentatie diverse software pakketten op de markt zijn, maar dat de functionaliteit van deze pakketten beperkt is. Aanbevelingen worden gedaan voor het toevoegen van nieuwe functionaliteit.

Samenstelling: fysisch en chemisch

Sondeer Technieken

Voor het in situ bepalen van fysische en chemische samenstelling van de waterbodem zijn slechts zeer beperkte middelen beschikbaar. Operationeel binnen Rijkswaterstaat zijn slibdichtheidssondes gebaseerd op nucleaire verstrooiing dan wel absorptie.

Een zeer interessante ontwikkeling is de NIR-sonde. Begin 1997 wordt een prototype sonde verwacht. Evaluatie van deze sonde in praktijk wordt aanbevolen.

Onderzocht kan worden in hoeverre de NIR-sonde uitgebreid kan worden met andere (optische) sensoren of gecombineerd kan worden met andere sondes om het onderscheidend vermogen te verhogen. Voorgesteld wordt de NIR-sonde te evalueren in combinatie met penetrerend echolood, slibdichtheidsonde en stemvorksonde in de Westerschelde en het Ketelmeer.

Doelstelling is de ontwikkeling van een effectieve methode voor het bepalen van de gelaagdheid. Deze methode moet goedkoper en sneller in uitvoering zijn dan de huidige monsternamen technieken (bijvoorbeeld vrij-wit boren).

Globale Technieken

Naast in situ technieken bestaat ook duidelijk behoefte aan een globale techniek voor het bepalen van de bodemopbouw en samenstelling. In het verleden zijn verschillende experimenten uitgevoerd met penetrerende echoloden. Voor het karakteriseren van de toplaag is RoxAnn geëvalueerd. Resultaten van deze experimenten zijn tegenstrijdig. Succes van deze technieken blijkt sterk afhankelijk van doel van de meting en lokale omstandigheden. Aanbevolen wordt mogelijkheden en beperkingen van beide technieken beter in kaart te brengen. Onderzoek zou zich daarnaast kunnen richten op optimalisatie van bestaande apparatuur en verwerking van metingen op basis van verbeterde modellen voor de akoestische respons van de waterbodem.

Doelstelling is de ontwikkeling van een effectieve methode voor de interpolatie van puntmetingen en het optimaliseren van het aantal puntmetingen op basis van globale gegevens over bodemligging en bodemopbouw. Daarbij wordt een verbinding gelegd met statistische technieken voor de evaluatie van bemonstercampagnes.

Ook voor dit aandachtsgebied geldt dat aandacht dient te worden besteed aan de verdere verwerking, opslag en rapportage van metingen. Bestaande software pakketten bieden de mogelijkheid om puntmetingen en echolood metingen te combineren. De functionaliteit van deze pakketten is echter beperkt.

Samenstelling: Biologisch

Behoeft bestaat aan globale technieken voor het bepalen van de biologische samenstelling van de bodem. Doelstelling is het verminderen van het aantal monsters dat genomen dient te worden.

Door Directie IJsselmeer is getracht met RoxAnn de aanwezigheid van driehoeks mosselen te registreren. Deze experimenten zijn door gebrek aan tijd nog niet afgerond. Aanbevolen wordt deze experimenten voort te zetten en wellicht uit te breiden naar andere biologische kenmerken. Ook kan overwogen worden de techniek verder te optimaliseren. De huidige apparatuur gebruikt slechts een beperkt aantal karakteristieken van de akoestische responsie.

Mogelijk kan met een meer geavanceerde analyse beter gedifferentieerd worden tussen verschillende bodemtypen.

Transporteigenschappen

Transporteigenschappen zijn met name voor de Westerschelde van belang. Door de verdieping en het verplaatsen van materiaal zal de stromingsverdeling in het gebied veranderen. Dit zal ook invloed hebben op transport van zand en slib. Behoeft bestaat aan technieken om stroming en transport van zand en slib te bepalen.

Voor het monitoren van stroming kan gebruik gemaakt worden van ADCP. Deze techniek is operationeel.

In het kader van LWI-Rivieren wordt gewerkt aan de ontwikkeling van de ASSM, een akoestisch instrument voor het bepalen van zand en slibtransport. Naar verwachting zal eind 1997 een eerste prototype beschikbaar komen. Voorgesteld wordt de ASSM te evalueren in de Westerschelde.

Bemonsterstrategie

Behoeft bestaat aan software voor het optimaliseren van meetcampagnes. Momenteel wordt incidenteel de hulp van een statisticus ingeschakeld. Vooralsnog wordt bij het opzetten van meetcampagnes slechts in geringe mate gebruik gemaakt van kennis over het gebied en de processen die zich af spelen.

Aanbevolen wordt een studie uit te voeren naar de specificaties waaraan optimalisatiesoftware zou moeten voldoen. Daarbij dient een koppeling gemaakt te worden met ontwikkelingen op het gebied van modellen, informatiesystemen en GIS.

Overige aanbevelingen

De probleemstellingen dienen nader te worden geconcretiseerd om daadwerkelijk tot een kosten-baten analyse te komen en een gedetailleerd plan van aanpak. Dit kan waarschijnlijk het beste per aandachtsgebied worden gedaan.

Om tot daadwerkelijke implementatie te komen dient in de evaluatiefase al afstemming plaats te vinden met bestaande meetprocedures, regelgeving, kwaliteitbeheersingssystemen en informatiesystemen.

Om de evaluatie en implementatie van nieuwe technieken te versnellen zou meer afstemming plaats kunnen vinden tussen verschillende onderzoekscusters. Gedacht kan worden aan gemeenschappelijke evaluaties, gemeenschappelijke probleemanalyses en de ontwikkeling van open software. De koppeling met modellen en remote sensing dient explicieter te worden gemaakt.

Referenties

Gegroepeerd per onderwerp en/of hoofdstuk en vervolgens chronologisch.

Project

- [1] Oort, R.C. van (1996)
Offerte-aanvraag Waterbodems
RIKZ offerte-aanvraag, TNW*MILISS-1, ref.nr. 967256, 24 oktober 1996, pp. 3.
- [2] Veen, P.P. van 't, U. Stelwagen (1996)
3D Karakterisering Onderwaterbodem
TNO-TPD Aanbieding, ref.nr. FSP-AAN-960723, 4 november 1996, pp. 2.

1. Inleiding

- [3] Rijkswaterstaat, RIKZ, RIZA (1994)
Jaarboek Monitoring Rijkswateren 1994, Presentatie van Fysische, Chemische en Biologische Kenmerken
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal
Rijkswaterstaat, RIKZ, RIZA, ISSN nummer 0928-4214, Den Haag 1996, pp. 163.
- [4] Hees, J.C. van, M.R. Hoogerwerf, N.H.D.T. Cremers (1996)
Het gebruik van GIS bij waterbodemsaneringen
GIS Nieuws, 2 1996, pp. 4-8.

2. Meetbehoeften RWS

- [5] Stelwagen, U. (1997)
3D karakterisering van de onderwaterbodem van de Westerschelde
Besprekingsverslag overleg d.d. 29 november 1996 van TNO-TPD met vertegenwoordigers van MD Zeeland, Directie Zeeland, RIKZ en PB
Meetstrategie 2000+, FSP-MOM-960188, d.d. 17 januari 1997, pp. 3.
- [6] Stelwagen, U. (1997)
3D Karakterisering waterbodems en sanering Ketelmeer
Besprekingsverslag overleg d.d. 6 februari 1996 van TNO-TPD met vertegenwoordigers van Directie IJsselmeergebied, HAI-MOM-970274, d.d. 13 februari 1997, pp. 4.

3. Technieken in Ontwikkeling

Algemeen/Divers

- [7] CUR (1996)
Geofysische technieken voor grondonderzoek
CUR rapport 182, 1996, pp. 167.
- [8] Blacquière, G. (1996)
LWI-Rivieren, Integraal monitoringsysteem voor 3D geometrische informatie van de rivier met behulp van sonar en remote sensing
LWI-rapport FSP-RPT-960057, CUR/LWI 15 juli 1996, pp. 90.
- [9] Veen, P.P. van 't (1996)
In situ bepalen van waterbodem-kwaliteit: probleemstelling en inventarisatie meetmethoden
TNO-TPD rapport, FSP-RPT-960028, 25 maart 1996, pp. 42.

3.3 Bodemligging

Laser Altimetrie

Zie referentie [8].

Laser Bathymetrie

Zie referentie [8].

Radar Bathymetrie, RWS-BAS

- [10] Nifterik, G. (1996)
Ruimtevaart in offshore, Satelliet ziet zeediepte en golfhoogte
PetroChem, Issue 8/9, August/September 1996, pp. 13-15.
- [11] Wensink, G.J., G.H.F.M. Hesselmanns, C.J. Calkoen, J. Vogelzang (1996)
The Bathymetry Assessment System
Proceedings Hydro '96, The 10th Biennial International Symposium of the Hydrographic Society, 24-26 September 1996, Rotterdam, pp. 113-120.
- [12] Greidanus, H. (1997)
The use of radar for bathymetry in shallow seas
The Hydrographic Journal, Number 83, January 1997, pp. 13-18.

Multi Channel Echosounders

Zie referentie [8].

Multi Beam Echosounders

Zie referentie [8].

Optimalisatie Meetcampagnes

- [13] Os, P.J. van, J.A. van Woerden, G. Blacquière, P.P. van 't Veen (1996)
New survey techniques for silt density measurement systems
Proceedings Hydro '96, The 10th Biennial International Symposium of
the Hydrographic Society, 24-26 September 1996, Rotterdam, pp. 155-
160.
- [14] Aveco BV (1995)
Doorwerking meetfouten in de waterbodemsanering, Model fouten
analyse saneringstraject
Handleiding FAST, versie 1.0 in opdracht van Rijkswaterstaat RIZA en
POSW, augustus 1995, pp. 65+fig..
- [15] Aveco BV (1996)
Risico-analysemodel FAST helpt bij keuze van baggerscenario
Brochure over FAST van Aveco, 1996, pp. 2.

3.4 Fysische Samenstelling

Nucleaire Slib Dichtheid Sonde

- [16] Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam (1995)
Botlek Mond, Resultaten backscatter in Botlek Mond
Rapport Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam, 32-95-072, 21 juli 1995,
pp. 2+fig..

Zie met name ook referentie [13].

Stema Density Probe

- [17] Mars, S. (199?)
Silt measurements with modified acoustic subbottom signal processing
system to identify and measure material
STEMA brochure 199?, pp. 20.

Sub Bottom Profilers

Zie referentie [8].

Hoge Resolutie Seismiek

Zie referentie [7].

RoxAnn Bodem Classificatie

- [18] Marine Micro Systems Ltd (1994)
RoxAnn Report
News from Marine Micros Systems Ltd. Autumn 1994, pp. 4.

Nabij Infrarood Reflectie Sonde

Zie referentie [9].

3.5 Chemische Samenstelling

Zie ook referentie [9].

- [19] Olie, J.J., J.B. Sellmeijer (1995)
Floating layer detection with the hydrocarbon probe: results, calibration, and sampling strategy
Contaminated Soil '95, W.J. van den Brink, R. Bosman, en F. Arendt (eds.), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1995, pp. 531-532.
- [20] Draayer, A. (1996)
Oriënterend onderzoek naar de ontwikkeling van een sensor voor de detectie van PAK op basis van fluorescentie spectrometrie met fluorescentie levensduur discriminatie
TNO rapport TNO-MT, R96/045.
- [21] Van Veen, J., H. König (1993)
Organohalogen sensor gebaseerd op Fujiwara reactie
TNO-rapport, IMWR93-180, 1993.
- [22] Van 't Veen, P.P., E.M. Schooneveld (1996)
XRF sonde: evaluatie laboratoriumopstelling
TNO-rapport FSP-RPT-960052, 19 juni 1996, pp. 84.

- [23] Stienstra, P., J.K. van Deen (1994)
Field data collection techniques - unconventional sounding and sampling methods
Engineering Geology of Quarternary Sediments, Rengers (ed.),
Balkema, Rotterdam, 1994, pp. 41-56.
- [24] Sprangers, D.J., H. Leeuwis, A.A. van Dijk (1992)
Milieusensoren: inventarisatie van technologische, markttechnische en infrastructurele aspecten
CME, 1992, pp. 111.
- [25] Hesselink G.L.J., P.V. Lambeck, T.J.A. Popma, H.J. van de Bovenkamp, J.F.J. Engbersen (1996)
Luminescence quenching for chemo-optical sensing
Proceedings 1996 national sensor conference, Delft, 20/03/1996, pp. 239-242.
- [26] Brunink, J.A.J.; Lugtenberg, R.J.W.; Brzozka, Z.; Engbersen, J.F.J.; Reinhoudt, D.N. (1994)
The design of durable Na⁺-selective CHEMFETs based on polysiloxane membranes
J. Electroanal. Chem., 1994, 378, pp. 185.
- [27] Lugtenberg, R.J.W.; Brunink, J.A.J.; Cobben, P.H.L.M.; Egberink, R.J.M.; Engbersen, J.F.J.; Reinhoudt, D.N. (1994)
Selective Ion Detection by Chemically Modified Field Effect Transistors (CHEMFETs)
Sensor Technology 1994; Lambeck, P.V. (Ed.); STW: Utrecht, The Netherlands, 1994, pp. 225.
- [28] Kolar, Z., E. Horvat, P. van der Veer (1995)
Soil investigation for civil engineering purposes by penetration gamma-logging
Delft Progress Report, Series E: Geosciences, 1, 1975, pp. 33-36.
- [29] Ramsay, L. (1995)
Quality trade-offs in site investigations: advantages of using test methods instead of laboratory analyses
Contaminated Soil '95, W.J. van den Brink, R. Bosman, en F. Arendt (eds.), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1995, pp. 113-123.

- [30] Eberle, C. (1995)
Case study: the use of field screening methods with the sensor technique
Contaminated Soil '95, W.J. van den Brink, R. Bosman, en F. Arendt
(eds.), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 1995, pp. 463-472.
- [31] Gerlach, C.L. (1996)
New instrument brings PAH analysis to the field
Environmental Science & Technology, Vol. 20 (6), 1996, pp. 252-254.

3.6 Biologische Samenstelling

RoxAnn

Zie referentie [18].

Andere Ontwikkelingen

- [32] Rhoads, D.C., J.D. Germano (1982)
Characterization of organism-sediment relations using sediment profile imaging: An efficient method of remote ecological monitoring of the seafloor (Remots™ System)
Marine Ecology - Progress Series, Vol. 8, 7 May 1982, pp. 115-128.

3.7 Transport Eigenschappen

Transporteigenschappen, Algemeen

- [33] Boer, A.G. de (1996)
(Semi-) Automatische meetsystemen voor het sedimenttransport in rivieren, Literatuurstudie
Rapport van het Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek (ICG), ICG 96/6, 1996, pp. 25+>100.

Acoustic Current Profiling

- [34] Bos, W.G. (1987)
Implementatie akoestische waterstroomsnelheidsmeter in SWS
Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Notitie GWIO-87.404, februari 1987, pp. 6.
- [35] Bos, W.G. (1987)
Metingen met het Sonar WerkStation
Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Report no GWIO-87.416, juni 1987, pp. 35+fig..

- [36] Bos, W.G. (1988)
Sonar Workstation, Measurements in a flume
Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst
Getijdewateren, Report no GWIO-88.418, June 1988, pp. 24+fig..
- [37] Ouden, O. van den, W.G. Bos (1989)
Sonar Work Station, Two Acoustic Current Profilers
Rapport Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst
Getijdewateren, Afdeling Hydro-Instrumentatie, Report no GWIO-
89.414, June 1989, pp. 28+fig..
- [38] Unen, R.F. van (1995)
Straight sand flume correlation measurements
OCN Report for RIKZ, July 1995, pp. 36+2.
- [39] Os, P.J. van, C. van den Berg (1996)
Systeemanalyse van de Correlation Current Profiler
TNO-TPD rapport voor OCN, TPD-HAI-RPT-960085, 9 december
1996, pp. 21.
- [40] RD Instruments (1996)
Broadband ADCP advanced principles of operation
RD Instruments Field Service Technical Paper 001 (FST-001), 1 oktober
1996, pp. 15.
Paper kan van RDI website (<http://www.rdinstruments.com/>) worden
gedownload (FST-001.zip, Word document).

Radar Current Profiling

- [41] Peters, H.C., C. Deelen, A.J.M. v.d. Vlugt (1996)
*The application of shore based HF radar systems for mapping sea
surface currents in the Dutch coastal zone*
Proceedings Hydro '96, The 10th Biennial International Symposium of
the Hydrographic Society, 24-26 September 1996, Rotterdam, pp. 91-
100.

Akoestisch Zand en Slib Transport Meten

- [42] Waterloopkundig Laboratorium (1995?)
AZTM, Acoustic Sediment Transport Meter
AZTM-brochure van het Waterloopkundig Laboratorium Delft,
Measuring Sediment Transport in Sand-Bed Rivers, E.8.1-8.3, Q1996,
April 1995, pp. 3.

- [43] Waterloopkundig Laboratorium (1995?)
2-D USTM, Ultrasonic Sediment Transport Meter
AZTM-brochure van het Waterloopkundig Laboratorium Delft,
Measuring Sediment Transport in Sand-Bed Rivers, E.9.1-9.3, Q1996,
April 1995, pp. 3.

LWI Sediment Transport

- [44] Brinke, W.B.M. ten, M.H.M. Ebben, A.S. Schaafsma, A.M. Lafort,
E.J.M. Giling, D. Guyomar, A. Chabod (1996)
LWI-rivieren ProductontwikkelingsPlan 2, Eindrapport fase 2A:
technisch voorontwerp en projectplan voor fase 2B
Rapport Waterloopkundig Laboratorium Delft, 1996.
- [45] Giling, E.J.M. (1996)
Projectplan akoestische spectroscopie sediment meettechniek (ASSM) -
basisontwerp data-acquisitie module
TNO-TPD memo, FSP-MEM-960281, 1996.
- [46] Schaafsma, A.S., A.M. Lafort, D. Guyomar (1996)
Development of an acoustic method and prototype instrumentation for
size and concentration measurement of suspended sediment
First internat. Conf. on EuroGOOS, The Hague, 1996.

Cilas Particle Sizer

- [47] Groote Schaarsberg, J.J.M., A.J.A. Bruinsma (1995)
Evaluation of underwater particle size analyzer CILAS 925.
Measurements and simulation
TNO-TPD report TPD-HOI-RPT-950011, 1 March 1995, pp. 37+.
- [48] Cheng, L.K., A.J.A. Bruinsma, J.J.M. Groote Schaarsberg (1996)
Verbetering van de eigenschappen van de Cilas 925 Particle Sizer met
een alternatief detectorsysteem
TNO-TPD rapport TPD-HOI-RPT-960023, 5 maart 1996, pp. 28.

Optische Troebelheidsmeting

- [49] Bruinsma, A.J.A. (1996)
In situ meten van het zwevende stof gehalte in oppervlaktewater.
Verkenning van de toepassing en mogelijkheden voor verbetering van
de betrouwbaarheid van de meting.
TNO-TPD memo, 5-01-1996, pp. 8.

Afkorting

3D	drie dimensionaal (x,y,z)
ADCP	acoustic Doppler current profiler
ASSM	akoestische spectroscopie sediment meettechniek
AZTM	akoestische zandtransportmeter
CCP	correlation current profiler
CUR	Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
DGPS	differential global positioning system
DHM	digitaal hoogtemodel ook wel aangeduid als DTM
DTM	digitaal terreinmodel
DNH	Directie Noord-Nederland
DON	Directie Oost-Nederland
DONAR	systeem voor het verbinden van regionale databases
DZL	Directie Zeeland (RWS)
DZH	Directie Zuid-Holland (RWS)
ERS, ERS1,2	earth remote sensing satellite
ESA	European Space Agency
GHR	Gemeentelijk Havenbedrijf Rotterdam
FAST	Fouten Analyse Sanerings Traject
GIS	geografisch informatie systeem
HF, hf	hoog frekwent
HRS	hoge resolutie seismiek, meerkanaals reflectieseismiek (land/water)
ICG	Interuniversitair Centrum voor Geo-ecologisch Onderzoek
IRI	Interuniversitair Reactor Instituut
LWI	Land Water Initiatief
MD	Meetkundige Dienst (RWS)
MEP	TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie
MoVe	Monitoring Verdieping Westerschelde
NIR	near infrared, nabij-infrarood
OCN	Oceanographic Company of the Netherlands
PC	personal computer, meestal 'IBM compatible'
POSW	Programma Ontwikkeling Saneringsprocessen Waterbodems
RDI	RD Instruments
RIKZ	Rijks Instituut voor Kust en Zee
RWS	Rijkswaterstaat
RDIJ	Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied
RIZA	Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
SWS	Sonar WorkStation
TNO	Nederlandse organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TNO-TPD	TNO Technisch Fysische Dienst TU Delft
VBKO	Vereniging van Waterbouwers VBKO
WL	Waterloopkundig Laboratorium
XRF	X-Ray Fluorescence, i.e. röntgenfluorescentie

