

Verkenning ontwikkelingen natte informatievoorziening

**Innovatieve meettechnieken en -methoden voor
waterbeweging, waterkwaliteit en bodemligging**



Titel

Verkenning ontwikkelingen natte informatievoorziening

Opdrachtgever

KPP 2012 Gerard Blom
thema trekker: Modellen en
monitoring

Project

1206432-001

Kenmerk

1206432-001-ZKS-0001

Pagina's

89

Trefwoorden

Innovatie meten

Samenvatting

RWS DID is verantwoordelijk voor het ondersteunen van RWS bij het natte meten. Meten is een manier om gegevens in te winnen. Het inwinnen van gegevens is onderdeel van de informatiecycclus van Rijkswaterstaat.

RWS DID wil het inzicht verbeteren in innovatieve meetmethoden en -technieken, zodat RWS de benodigde informatie de komende circa 10 jaar efficiënter en effectiever kan verkrijgen.

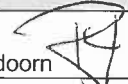
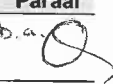
Op basis van RWS-documenten is de informatiebehoefte samengevat voor de drie werkelden. a) waterkwantiteit, b) waterkwaliteit, c) bodemligging en objecten onder water.

De informatiebehoefte, is door RWS vertaald naar een informatiestrategie, waarin is geformuleerd welke parameters bepaald moeten worden, met welke frequentie en op welke locaties. Door Deltares zijn innovatieve meetmethoden en technieken beschreven die kunnen bijdragen aan het uitvoeren van de informatiestrategie. Innovatief is daarbij gedefinieerd als 'niet eerder of weinig in Nederland toegepast voor routinematige gegevensinwinning'.

Hoewel de focus van deze studie op het inwinnen van gegevens door middel van het uitvoeren van metingen, heeft RWS een bredere behoefte aan vernieuwing van de informatievoorziening. Dit leidt tot projecten op het gebied van opslag, verwerking en beheer van (grote hoeveelheden) data, ontwikkeling mathematische modellen en verbetering van rapportages. Waterdienst en DID hebben aangegeven om een deel van hun projecten te willen af stemmen en waar mogelijk bundelen. Dat start met het bundelen van een verkenning naar innovaties in de informatievoorziening vanuit het perspectief van meten en monitoring. Hoewel in het voorliggende document alleen de verkenning voor de DID over meetmethoden en meettechnieken zijn uitgewerkt is het op verzoek van de DID opgehangen in een breder kader dat betrekking heeft op de informatiecycclus. Dit, met de intentie om dit deel in 2013 verder in te vullen.

Referenties

KPP2012 MM017 Thema Modellen en Monitoring

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf Goedkeuring	Paraaf
1.0	sept. 2012	Drs. M. Schroevers		Dr. R.M. Hoogendoorn		Ir. T. Schilperoort 

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
1.1 Kader	1
1.2 Doel	2
2 Informatievoorziening RWS moet efficiënter en goedkoper.	5
2.1 Van informatiebehoefte naar gegevensinwinning	5
2.1.1 Roadmap for innovative monitoring of the water quality in the Dutch coastal part of the North Sea.	6
2.2 Algemene ontwikkelingen in meetstrategie, meetmethoden en meettechnieken: goedkoper en effectiever.	7
2.2.1 Meetnetten en meetstrategie ontwerpen en aanpassen op basis van mathematische modellen.	8
2.2.2 Gevolgen van sensor ontwikkeling: van wat je kan meten naar wat je moet weten.	9
2.2.3 Optimale combinatie in situ, remote sensing en model	9
2.2.4 Meetplatforms, maar dan anders	11
2.3 Verwerking van gegevens	15
2.4 Overdracht van gegevens	16
3 Veiligheid en economische belangen (scheepvaart) leidend in de vraag naar informatie van waterkwantiteit.	17
3.1 Informatiebehoefte waterkwantiteit	17
3.1.1 Vastleggen karakteristieken watersysteem	18
3.1.2 Bepalen Hydraulische randvoorwaarden	18
3.1.3 Internationale verplichtingen en afspraken	18
3.1.4 Kustlijnhandhaving	19
3.1.5 Interpreten van gegevens van andere landelijke monitoringprogramma's	19
3.1.6 Beheer en toetsing van waterkeringen	19
3.1.7 Informatie voor landelijke berichtendiensten	19
3.1.8 Ondersteunende variabele bij het meten van afvoeren en bodemligging (waterstand)	20
3.1.9 Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast	20
3.1.10 Informatie benodigd voor onderzoek en voor ontwikkeling van modellen	20
3.1.11 Regionale/locale informatie voorziening: Scheepvaartbegeleiding	22
3.1.12 Operationeel waterbeheer : Sturing kunstwerken, al dan niet door een Beslissings Ondersteundend Systeem (BOS)	22
3.1.13 Voorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen/ grote projecten	22
3.1.14 Emissie-immissie studies	23
3.2 Gaten in de informatievoorziening waterkwantiteit	23
3.3 Informatiestrategie waterkwantiteit:	24
3.4 Ontwikkelingen in de meetstrategie voor waterkwantiteit	24
3.5 Ontwikkelingen in meetmethoden en –technieken waterkwantiteit.	25
3.5.1 Watertemperatuur	25
3.5.2 Boot als sensor	25
3.5.3 Waterstanden: Laseraltimetrie vanuit een vliegtuig	25
3.5.4 Waterstanden en golven: Satelliet radar altimetrie en scatrometers	26
3.5.5 Waterstanden: Plaatsbepaling van een schip (z positie)	28

3.5.6	Golven en stroming - Scheepsradar (navigatieradar)	28
3.5.7	Golven en stroming HF VHF (coherente) radar en coherente navigatieradar	30
3.5.8	Stroming en afvoeren: Rivieradar/ Ultra-high frequency Radar	32
3.5.9	Stroming en afvoeren: Meten vanaf veerponten met een ADCP	33
3.5.10	Stroming en afvoeren: Horizontale ADCP van snelheidsmeting naar debiet	34
3.5.11	Stroming, bodemligging en sediment transport - Akoestische apparatuur met meer bundels en meer frequenties.	35
3.5.12	Stroming en afvoeren: Looptijdmeters variatie op een bekend principe	35
3.5.13	Stroming en afvoeren: Correlatiemethode (scintillatie methode)	36
3.5.14	Stroming en afvoeren: Camera's voor meten bij hoge afvoer (LSPIV, Large Scale Particle Image Velocimetry)	37
3.5.15	Meten van afvoeren - combineren van technieken schept kansen en meerwaarde!	38
3.5.16	Golven - golf ADCP.	38
3.5.17	Golven- puntstroommeters en de PUV methode	39
3.5.18	Golven – dataverwerking golfboeien	39
3.6	Samenvattend advies meetmethoden waterkwantiteit.	40
3.7	Verwerking van waterkwantiteitsgegevens	41
3.8	Overdracht van waterkwantiteitsgegevens	41
4	Technische innovaties bieden verbetering in bepaling waterkwaliteit	43
4.1	Informatiebehoefte waterkwaliteit	43
4.2	Informatiestrategie waterkwaliteit	44
4.3	Meetstrategie waterkwaliteit	47
4.4	Meetmethoden en –technieken waterkwaliteit	50
4.4.1	In situ sensoren	50
4.4.2	Passive sampling	52
4.4.3	Sorbicells	54
4.4.4	On site analyses: Auto-analysers	55
4.4.5	Remote sensing: het verzamelen van gegevens van het aardoppervlak door middel van bijvoorbeeld satellieten, luchtballonnen en schepen.	58
4.4.6	qPCR (Quantitative Polymerase Chain Reaction)	59
4.4.7	Environmental DNA (eDNA)	60
4.4.8	Water Insight SPectrometer WISP	61
4.4.9	Watertemperatuur met glasvezel	61
4.4.10	Watertemperatuur met infrarood camera's	62
4.4.11	Onderwater energie (geluid)	62
4.4.12	Gelaagdheid en mixing in zoet-zout water- stappenbaak	63
4.4.13	Gelaagdheid en mixing in zoet-zout water- ondersteuning door ADCP data	63
4.4.14	Monitoring microplastics	64
4.5	Meetmethoden en –technieken waterbodempkwaliteit	64
4.5.1	Hand held XRF	64
4.5.2	Medusa “under water” sediment lab	65
4.5.3	SOFIE	65
4.6	Advies	66
4.7	Overdracht van waterkwaliteitsgegevens	69
	Referenties	69
5	Scheepvaart vraagt steeds nauwkeuriger inzicht in bodemligging en -type	71
5.1	Informatiebehoefte bodemligging	71
5.2	Informatiestrategie bodemligging en -type	72

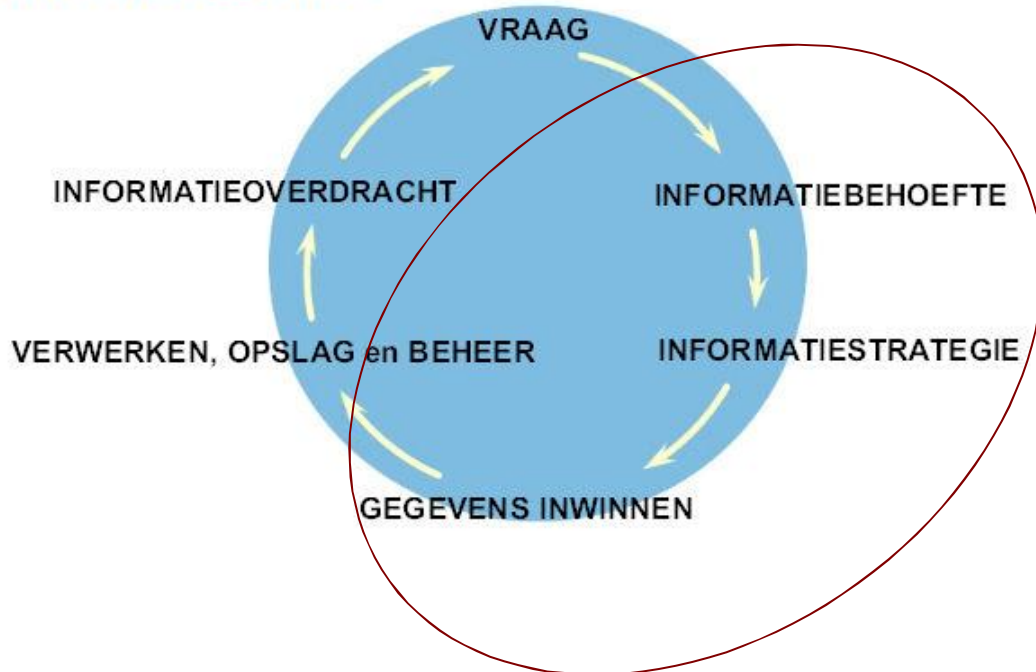
5.3	Meetstrategie bodemligging en -type	72
5.3.1	Algemene normen meetstrategie bodemligginginformatie en bevaarbaarheid	72
5.3.2	Verbeteren nauwkeurigheid bodemligging metingen bij zachte slibbodems	73
5.3.3	Verbetering efficiëntie metingen	74
5.3.4	Vergroten van de systeemkennis	74
5.3.5	Inzicht in objecten onder water	74
5.4	Ontwikkelingen in meetmethoden en –technieken bodemligging	74
5.4.1	Achtergrond en soorten technieken	74
5.4.2	Akoestische technieken	75
5.4.3	Andere geofysische meettechnieken op water	77
5.4.4	In-situ meettechnieken	78
5.4.5	Dynamiekmetingen DTS (glasvezel)	79
5.4.6	Indirecte technieken uit vliegtuigen en satellieten	80
5.5	Ontwikkelingen in verwerking bodemliggingsgegevens	82
5.5.1	Validatieonderzoek naar meetstrategie aan de hand van verwerkte bodemligging gegevens	82
5.5.2	Plaatsbepalingen	82
5.5.3	Correcties in hoogte en ligging	82
5.6	Advies inwinning bodemliggingsgegevens	82
5.7	Ontwikkelingen in overdracht bodemliggingsgegevens	83
5.8	Referenties	83
	Bijlage A Technology Readiness Level	85
	Bijlage B Projecten overzicht bij Deltares 2010 2012	87
	Concept - onvolledig	87

1 Inleiding

1.1 Kader

Rijkswaterstaat (RWS) speelt in Nederland een belangrijke rol in het voorzien in gegevens over wegen, vaarwegen en watersystemen. Zowel voor haar eigen processen als voor andere ministeries, de markt en het publiek. Voor het efficiënt invullen van de benodigde informatie maakt RWS gebruik van de informatiecycclus zoals weergegeven in Figuur 1.1.

Informatiecycclus



Figuur 1.1 De informatiecycclus van Rijkswaterstaat met de focus van dit rapport in de ovaal.

Deze cyclus kent 6 stappen. Bovenaan staat de (beleids)vraag. Deze vraag kan niet alleen beantwoord worden met informatie en kennis. De benodigde informatie wordt geformuleerd in de informatiebehoefte.

De volgende stap is het vertalen van de informatiebehoefte naar een informatiestrategie. In de informatiestrategie wordt vastgelegd welke gegevens worden verzameld en op welke manier. Meten is een manier om de benodigde informatie te verzamelen, maar het raadplegen van gegevens van anderen of het gebruik maken van modellen kan ook een manier zijn.

Vervolgens worden de gegevens daadwerkelijk verzameld en moeten deze worden verwerkt, opgeslagen en beheerd. De interpretatie van alle opgeslagen gegevens bevredigt de informatiebehoefte en draagt bij aan de beantwoording van de beleidsvraag.

De kern van het werk van de Data en ICT Dienst (DID) van RWS ligt onderin de informatiecycclus; bij het inwinnen en opslaan van gegevens. Dit kan echter niet los gezien worden van de overige onderdelen van deze cyclus.

Kennis bij de DID over de informatiebehoefte van RWS aan de ene kant en het informatieaanbod aan de andere kant is noodzakelijk om nu en in de toekomst effectief en efficiënt data in te winnen en te beheren.

De afdeling Hydrometrie en Hydrografie (DSDH) van de DID is verantwoordelijk voor het ondersteunen van RWS in het meten in en aan de watersystemen. Voor informatie over de watersystemen wint RWS veelal zelf meetgegevens in, maar koopt ook steeds meer gegevens in van derden. Voor beide wijzen van dataverwerving is kennis over (technische) ontwikkelingen in de markt van groot belang. Om ofwel het beheer van de eigen instrumentatie op peil te houden, ofwel over voldoende deskundigheid te beschikken om de juiste vraag aan de markt te kunnen stellen en aanbiedingen te kunnen beoordelen.

Aangezien ontwikkelingen van meetmethoden en -technieken, en implementatie in werkprocessen een doorlooptijd van jaren hebben, is het noodzakelijk om enkele jaren vooruit te kijken naar de ontwikkelingen op dit gebied.

De afdeling DSDH heeft Deltares benaderd voor een overzicht van de ontwikkelingen in de meettechnieken en meetmethoden voor water. Dit specifiek in de context van de informatiecycclus vanwege het besef dat iedere wijziging in één onderdeel van de informatiecycclus gevolgen kan hebben voor de andere delen van de cycclus.

1.2 Doel

- RWS DID wil het inzicht verbeteren in innovatieve meetmethoden en -technieken, zodat RWS de benodigde informatie de komende circa 10 jaar efficiënter en effectiever kan verkrijgen.
- Een aanzet maken tot een overzicht van innovaties over de gehele informatiecycclus vanuit het perspectief van meten en monitoring.

Afbakening

Door beperkte tijd en beperkt budget heeft RWS voor dit document een aantal bewuste keuzes gemaakt.

- Er is voor gekozen om Deltares op dit moment alleen om advies te vragen over de mogelijke vernieuwingen op het gebied van meetmethoden en -technieken zodat RWS op een efficiënte en effectieve manier kan voldoen aan de meetinformatiebehoefte. Hoewel de focus van deze studie op dat deel van de informatiecycclus ligt, heeft RWS een bredere behoefte aan vernieuwing van de informatievoorziening. Zoals op het gebied van opslag, verwerking en beheer van (grote hoeveelheden) data, ontwikkeling mathematische modellen en verbetering van rapportages. Hoewel in het voorliggende document alleen de verkenning voor de DID over meetmethoden en meettechnieken zijn uitgewerkt is het op verzoek van de DID wel opgehangen in een breder document dat betrekking heeft op de informatiecycclus. Dit, met de intentie om deze delen in 2013 verder in te vullen. In elk hoofdstuk zijn daarom nog enkele paragrafen opgenomen, die (vrijwel) leeg zijn, maar ze geven wel de intentie van het vervolgdocument weer.
- De RWS informatiebehoefte is afgeleid uit de onderstaande lijst documenten. Deze documenten zijn geschreven door of in opdracht van RWS. Een deel van deze documenten is gedateerd en bevat niet de gehele informatiebehoefte van RWS. Hierbij ontbreekt vooral de behoefte uit projecten. Er is bij de RWS Waterdienst een document in de maak waarin de informatiebehoefte van alle drie de werkvelden wordt beschreven. Dit nieuwe document wordt eind 2012 verwacht. Daar waar noodzakelijk heeft Deltares aanvullingen gedaan, zoveel mogelijk met verwijzingen naar RWS projecten of documenten.

- Informatiebehoefte en programmering bodemhoogte (HWS en HWVN), Uitgave Rijkswaterstaat 13 april 2011, wd0411zh039.
 - Actualisatie Informatiebehoefte Waterkwaliteit, RWS memo, directeuren overleg nat, 26 oktober 2011.
 - Actualisatie informatiebehoefte waterkwaliteit: geactualiseerde informatiebehoefte 2011 per primair proces, RWS memo, directeuren overleg nat, 5 april 2012.
 - Informatie behoefte totaal LMW, P. Heinen, 2011 Excel bestand.
 - Specifieke gebruiksdoelen Landelijk meetnet golven, D.Dillingh, 1205515-000-HYE-0004, Deltares.
 - Uitwerking informatiebehoefte waterstanden, Behrens, RWS Waterdienst, rapport 2008.039
 - Informatiebehoefte afvoeren Rijkswateren, Vermeulen, Behrens HKV, PR1049, 2005
 - Informatiebehoefte stromingen Rijkswateren, Vermeulen, Behrens HKV 2007.
- De ontwikkelingen in de informatiebehoefte en gevolgen daarvan op de rest van de informatiecycclus inclusief het meten zijn nog niet benoemd (al worden ze hier en daar wel aangeroerd).
 - Nieuwe ontwikkelingen in de informatiestrategie komen nog beperkt aan bod en zijn beperkt tot de projecten die nu door RWS bij Deltares zijn uitgezet.
 - De verkenning naar innovaties is beschreven vanuit het perspectief van meten en monitoring.

Daarnaast heeft Deltares de volgende keuzes gemaakt om de opdracht te kunnen uitvoeren:

- Innovatief is in dit rapport gedefinieerd als 'niet eerder of weinig in Nederland toegepast voor routinematige gegevensinwinning'.
- Innovatie in monitoring en informatievoorziening is vooral gericht op efficiëntie (betere prijs - kwaliteitverhouding), maar bovenal kostenreductie. Deltares heeft echter beperkt zicht in de kosten van monitoring van RWS en de kosten van implementatietrajecten van nieuwe technieken binnen RWS. De adviezen die Deltares kan geven zullen dan ook vooral kwalitatief van aard zijn.
- Het document is en kan op dit moment niet volledig zijn in de onderzoeken die er op dit moment lopen naar informatiebehoefte, informatiestrategieën en meettechnieken. Dat is ook niet de intentie; het document geeft de trend weer en benoemt de (in de ogen van Deltares) meest kansrijke ontwikkelingen. Een lezer die goed op de hoogte is van de huidige ontwikkelingen in haar/zijn werkveld zal dus zaken missen.

Werkwijze

Op basis van de in de vorige paragraaf genoemde documenten is de informatiebehoefte bepaald, waarna innovatieve methoden en technieken zijn geïnventariseerd die kunnen bijdragen aan het uitvoeren van de informatiestrategie. Voor deze inventarisatie zijn binnen Deltares de volgende mensen benaderd: Pascal Boderie, David Burger, Caroline Gautier, Marco Kleine, Pauline Kruiver, Remi Laane, Ruurd Noordhuis, Sofia Nunes de Caires, Bob Paap, Simon Paul, Joachim Rozemeijer, Foppe Smedes, Marc Verheul.

De verkregen informatie is door de auteurs beoordeeld, geordend en eventueel aangevuld met informatie uit de literatuur en informatie van externe experts in het veld, waaronder Herman Peters, Brett Webb en Marinna Martini.

De interne toets op dit document is uitgevoerd door Robert Trouwborst en Bob Hoogendoorn namens Deltares en Wim Uijttewaai van TU Delft (in opdracht van Deltares)

De toets door RWS is uitgevoerd door:

Martijn Andernach, Kees Boogaard, Marc Hartogs, Andrea Houben, Peter Heinen, Petra Jeurissen, Mando de Jong, Herman Peters en Stephany de Maaijer.

Dit document is opgesteld door Rinus Schroevers, Miguel Dionisio Pires, Leonard Osté, Guido Rutten en Rogier Westerhoff.

Leeswijzer

Voorliggend document bestaat uit tot 5 hoofdstukken en beslaat drie werkvelden: waterkwantiteit, waterkwaliteit en bodemligging (waaronder objecten onder water).

Hoofdstuk 2 is een algemeen hoofdstuk, waarin overkoepelende aspecten worden besproken over de informatiecycclus die van toepassing zijn op alle drie de werkvelden, daaronder valt onder meer een stuk over innovaties in inwinning van gegevens die geldig is voor alle drie de werkvelden. In de hoofdstukken 3 tot en met 5 is dieper ingegaan op de werkvelden.

Elk hoofdstuk start daarbij met een samenvatting van de informatiebehoefte, zoals beschreven door RWS> Deze behoefte is hier en daar aangevuld met inzichten van Deltares, dit is apart benoemd. Vervolgens is die informatiebehoefte zo goed mogelijk vertaald naar een informatiestrategie, waarin is geformuleerd welke parameters bepaald moeten worden, met welke frequentie en op welke locaties. Vervolgens worden alle innovatieve methoden en technieken beschreven die kunnen bijdragen aan het uitvoeren van de informatiestrategie.

De informatie over de meetmethoden bestaan uit de volgende onderdelen:

1. een beschrijving van de methode waarin wordt uitgelegd hoe de methode werkt en welke parameters gemeten kunnen worden. Daarnaast wordt iets vermeld over de juistheid, de nauwkeurigheid en de actualiteit (hoe snel is de informatie beschikbaar en met welke frequentie kan worden gemeten).
2. de ervaring die met de techniek is opgebouwd, in het algemeen, door RWS en door Deltares.
3. de mate van rijp of groen aangegeven in een Technology Readiness Level (zie bijlage A). Dit laatste punt was een expliciete wens van de opdrachtgever.

Tenslotte is per hoofdstuk een advies gegeven over welke technieken het meeste perspectief bieden.

Omdat de inhoud van het document breed is, is er voor gekozen om aan het eind van ieder onderwerp de betreffende literatuurverwijzingen op te nemen. Dit maakt het eenvoudiger voor de lezer die wil teruggrijpen naar onderliggende literatuur om de betreffende verwijzingen te vinden.

2 Informatievoorziening RWS moet efficiënter en goedkoper.

In dit hoofdstuk zijn een aantal aspecten opgenomen in de informatiecycclus die over de gehele breedte van het werkveld van fysica, biologie en chemie toepasbaar zijn.

Daarin is een onderdeel algemene ontwikkelingen in meettechnieken en meetplatforms opgenomen dat geldt voor alle werkvelden. Aspecten die specifiek gelden voor een bepaald werkveld zijn opgenomen in de betreffende hoofdstukken.

2.1 Van informatiebehoefte naar gegevensinwinning

Om vanuit informatiebehoefte tot gegevensinwinning te komen is een informatiestrategie nodig die een aantal onderdelen omvat:

- 1 de informatiebehoefte wordt in beeld gebracht. Daarbij worden eisen gesteld aan de formulering van de informatievragen.
- 2 de vragen worden gewogen en gebundeld. Dit vereist een wegingsinstrument gekoppeld aan een visie op het watersysteem.
- 3 er wordt geïnventariseerd wat gemeten gaat worden of op een andere wijze ingevuld kan worden gezien de informatiebehoefte, de eigenschappen van het watersysteem en de beschikbare inwinmethoden.
- 4 als er gemeten gaat worden moet bepaald worden met welke meetfrequentie en welk aantal locaties worden gehanteerd in relatie tot welke betrouwbaarheid en toepassingsmogelijkheden van het meetresultaat in combinatie met de beschikbare financiën.

Op dit moment valt er nog te verbeteren aan het proces dat RWS hier voor heeft ingericht:

De vraagformulering door de RD's is momenteel te beperkt onderbouwd en onvoldoende actueel. De vraagbundeling wordt onvoldoende getoetst aan een visie op het watersysteem en de werking van het watersysteem. Momenteel is het MWTL-meetprogramma vrij statisch. Op dit moment weegt het feit dat een watersysteem waarvan de informatie nodig is dynamisch of statisch is nagenoeg niet mee in de meetintensiteit.

Om optimaal informatie te verzamelen moest in dit licht opnieuw gekeken worden naar de informatiebehoefte om vervolgens een samenhangend meetprogramma van MWTL en projectmonitoring te kunnen ontwerpen.

In 2011 is in opdracht van RWS een van plan van aanpak uitgewerkt voor informatiestrategie voor waterkwaliteit in mariene wateren: (Laane, R.W.P.M., 2011). Hierin is ook een concept verwoord voor de uitwerking van informatiestrategie waarbij de kennis van het systeem een prominente rol heeft. Dit concept beschreven in de volgende paragraaf (overgenomen uit het document van Laane). Het concept is in 2012 in opdracht van RWS toegepast voor de voor de biologische aspecten van de kwaliteit van de Rijkswateren. Als gedachtegoed is het concept ook terug te vinden in het RWS onderzoek naar een optimale meetstrategie van bodemligging en bodemeigenschappen. De resultaten van deze onderzoeken zijn nog niet formeel beschikbaar, maar de trend is duidelijk: informatievoorziening en monitoring kan efficiënter als rekening gehouden wordt met de werking van het systeem en gediversificeerd wordt per systeem. Dit geldt voor zowel voor de wijze van het inwinnen wijze van informatie als het uitleveren informatie.

In het kader van gediversificeerde inwinning loopt parallel een project waarin gekeken wordt hoe en welke modelresultaten (van waterstanden) kan worden voldaan aan de informatiebehoefte. Door het gebruik van de modellen is een groot deel van de systeemkennis expliciet meegenomen in de informatievoorziening.

RWS heeft het genoemde concept overgenomen door haar informatiebehoefte en voorziening te beschrijven met drie pijlers: vraag, aanbod en systeem.

Projecten:

KPP2012 informatie strategie biologie en chemie

KPP2012 Onderzoek bodemdynamiek (Odyn)

KPP 2012 Informatiestrategie waterkwantiteit.

2.1.1 Roadmap for innovative monitoring of the water quality in the Dutch coastal part of the North Sea.

Overgenomen uit: Laane, R.W.P.M., 2011. Roadmap for innovative monitoring of the water quality in the Dutch coastal part of the North Sea. Rapport nr 1204469-000. Deltares, Delft

Monitoring networks are necessary and have been applied worldwide. The International Council of Science Union's (ICSU) Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) defined monitoring as "the collection, for a predetermined purpose, of systematic, inter-comparable measurement for observations in space-time series, of any environmental variable or attribute which provides a synoptic view or a representative sample of the environment (global, regional, national or local). Such a sample may be used to assess existing and past states and to predict likely trends on environmental features (Holdgate and White, 1977). Monitoring is thus repeated measurement of key aspects of the state of the environment at key locations.

The final result is always a compromise between what is really wanted and what is possible. As stated: a monitoring network should, within economic limits, match the user's information requirements and the phenomenon to be monitored (Van Bracht, 2001).

There are three essential parts that need to be considered mutually during the design of a monitoring network (Van Bracht, 2001). A monitoring network should match:

- The variable behaviour of the indicator of the water system that has to be monitored.
- The information on the water-management system that is required. (e.g. Scientific knowledge of the seas is the indispensable basis for all marine management", is stated in the OPSAR Agreement 2010-4; OSPAR, 2010).
- The boundary conditions of the given measurements- and analysis methods used in the measurement –analysis system.

Examples of properties of a system that have to be taken into account are for instance horizontal and vertical gradients. The Dutch (coastal) part (of the North Sea for instance) is characterized by large gradients due to the mixing of river and sea water. Lepom and Hanke (2008) recommend to avoid sampling in gradients because the variability is rather high and more samples need to be taken to get a proper result. System knowledge includes also that the causal relation(s) between the pressures and the chosen indicators are known for each system.

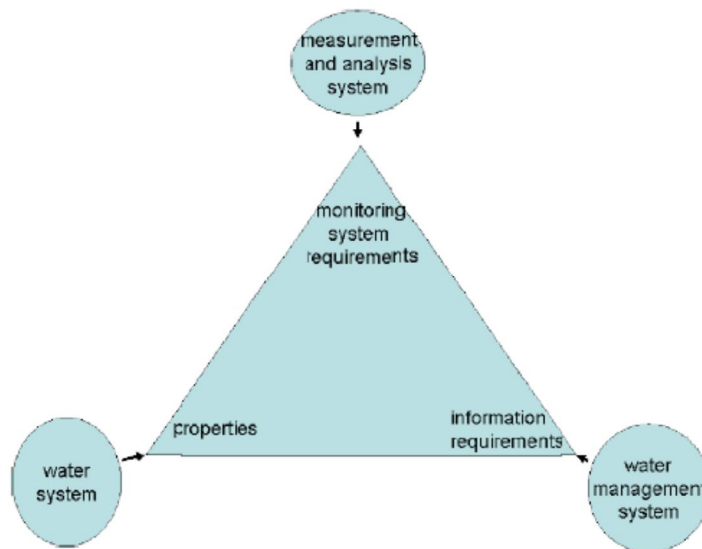


Figure 1. Three systems (water, measurement and analysis and water management) that need to be taken into account together for designing a monitoring network (adapted from Van Bracht, 2001).

Beside these three aspects, it is important that, when matching the three systems (fig.1), cost and benefits are taken into account. In summary, an optimum design is possible if the following aspects are considered:

- Information requirement of the water management system
- The spatial and temporal variability of the indicators.
- Boundary conditions concerning data and information for the measurement – and analysis system.
- Cost and benefit of the measurement and analysis system.

2.2 Algemene ontwikkelingen in meetstrategie, meetmethoden en meettechnieken: goedkoper en effectiever.

Er zijn op het gebied van meetstrategie, meetmethoden en meettechnieken meerdere interessante ontwikkelingen te noemen die gelden voor het gehele palet van waterkwantiteit, waterkwaliteit en bodem. De meest in het oog springende en interessante voor Rijkswaterstaat zijn in dit rapport benoemd.

Wat betreft de algemene ontwikkeling op het gebied van meetmethoden en -technieken wordt verwezen naar de conclusies uit het EU platform van gebruikers, wetenschappers en leveranciers in de waterindustrie, het Water supply and sanitation Technology Platform (www.wsstp.eu). Nederland is in dit platform vertegenwoordigd door de Unie van Waterschappen, Waternet, TNO en Deltares. Op zich zijn de inzichten van deze groep niet nieuw, maar het geeft aan dat inzichten en verwachtingen voor de nabije toekomst gedeeld worden in een breder kader. WSSTP stelt dat met betrekking tot sensoren een technische evolutie heeft plaatsgevonden. Daarbij zijn drie trends waar te nemen:

- Er kunnen meer en meer parameters worden gemeten in real time, zowel fysische, chemische als biologische parameters.
- Het formaat, de kosten, het energieverbruik, onderhoudsfrequenties en kalibratiefrequentie van sensoren nemen drastisch af, maar verschillen sterk per sensor.

- Mini- en micro-batterijen en draadloze communicatie worden steeds krachtiger en efficiënter.

De door WSSTP genoemde ontwikkelingen in de microtechnologie zijn voorhanden en relatief goedkoop. De technieken en sensoren komen uit massaproductie, zoals bijvoorbeeld de bewegingssensoren uit gameconsoles, dgps-ontvangers in mobiele telefoons enzovoorts. Dat levert een flinke besparing op ten opzichte van de nu in gebruik zijnde sensoren, terwijl ze vaak net zo nauwkeurig en betrouwbaar blijken.

Het WSSTP stelt dat ontwikkelingen een aantal mogelijkheden maar ook uitdagingen voor de meet- en informatiepraktijk van de waterwereld geven. Het wordt mogelijk om meer online te meten, maar het kan ook zorgen voor data overflow. Vooral in de waterkwaliteit is men ingesteld op het binnenhalen en individueel afhandelen van watermonsters. Met het binnenkomen van een bijna continue stroom van metingen voldoen de oude werkwijzen van verwerken, controleren, distribueren en presenteren daar niet meer. Door een wijziging van het inwinnen van gegevens moet de gehele informatieketen (Figuur 1.1) dus worden aangepast.

Omdat kosten een belangrijke rol spelen in de bepaling van wat te monitoren en welke sensoren daarvoor te gebruiken stelt het WSSTP voor om twee concepten te hanteren bij het ontwerp van monitoringsnetwerken:

- 1 "Total cost of ownership" van een sensor, waarin alle kosten van aanschaf, implementatie en onderhoud worden opgenomen.
- 2 De bepaling van "cost of knowledge" en "cost of ignorance" per parameter. Dit is een kostenbaten analyse, waarbij de kosten van de hele informatieketen in beeld worden gebracht voor het verkrijgen van de gevraagde informatie. Het idee is dat deze analyse leidt tot slanke (real-time) systemen en voorkomt dat monitoringsnetwerken en locaties worden uitgebreid tot volledige kerstbomen die niet in verhouding staan tot de origineel gevraagde informatie.

Tenslotte benadrukt het WSSTP de absolute noodzaak om R&D activiteiten op het gebied van sensoren en modellen te coördineren.

2.2.1 Meetnetten en meetstrategie ontwerpen en aanpassen op basis van mathematische modellen.

Bij het ontwerpen van meetnetten of meetcampagnes is kennis nodig van hydrodynamica, hydromorfologie, chemie en ecologie. Deze specifieke theoretische kennis moet aangevuld worden met kennis van het systeem waaraan men wil meten (bijvoorbeeld een rivier of zee). Het mobiliseren van deze kennis voor het ontwerpen of evalueren van een meetnet is niet altijd eenvoudig of mogelijk. Maar de kennis van zowel het systeem als de processen is ook vastgelegd in mathematische modellen. Het is gebleken dat vooral de operationele modellen zich goed lenen voor meetnetontwerp en kostenminimalisatie van monitoring. Dit komt doordat deze modellen continu aan de praktijk getoetst worden, de prestaties vastgelegd zijn en de data eenvoudig beschikbaar is. De nadelen zijn ook bekend; de modellen zijn niet altijd afgeregeld voor het hele bereik waar het meetnet of meetcampagne op gericht is of niet altijd gericht op dezelfde informatiebehoefte.

Meetnetontwerp (frequentie en dichtheid) met modellen is de normale praktijk in de meteorologische- en grondwaterwereld, maar nog geen praktijk in het oppervlaktewater. Op dit moment loopt een KPP project waarin een protocol wordt beschreven en gedemonstreerd voor een evaluatie van een waterstandsmetnet op basis van een operationeel

hydrodynamisch model. Deze aanpak wordt vergeleken met bestaande methoden voor meetnetontwerp op basis van correlatiemethoden en multi-tijdreeksanalyse. Indien deze methoden elkaar aanvullen worden ze gecombineerd. (project informatie strategie waterkwantiteit, zie bijlage B).

De technieken zijn ook toepasbaar in waterkwaliteitsmonitoring en Hydro-morfologische monitoring.

2.2.2 Gevolgen van sensor ontwikkeling: van wat je kan meten naar wat je moet weten.

De eerder genoemde ontwikkeling in het compacter en goedkoper worden van sensoren en datacommunicatie heeft tot gevolg dat meer parameters online gemeten kunnen worden. Het gevolg daarvan is dat men met een hogere nauwkeurigheid de parameters kan bepalen die men werkelijk wil weten.

Een voorbeeld is de ontwikkeling van compacte sensoren voor waterkwaliteit. Als voorheen online ruimtelijke waterkwaliteitsinformatie werd gevraagd, werd vanwege de kosten met enkele sensoren gemeten op enkele locaties of werden watermonsters genomen en kwamen de gegevens achteraf ter beschikking. In beide gevallen werd niet voldaan aan de vraag. Met de goedkopere sensoren en de vlucht in de datacommunicatie kan met sensoren verspreid over een groot aantal meetlocaties on line worden gemeten en direct voldaan worden aan de vraag. Een praktijkvoorbeeld is het near real time meten van temperatuur- en saliniteitsverdeling in de oceanen. Dit werd voorheen uitgevoerd vanaf schepen en enkele boeien, maar leverde te weinig informatie. Op dit moment worden de metingen uitgevoerd met 3000 onderwater drijvers die via satelietcommunicatie data oversturen als ze aan het oppervlak komen (Argo-project argo.net).

Het compacter worden van sensoren heeft ook een boost gegeven aan compacte multiparameterplatforms op zee en onder water. Door gebruik van kleinere energiearme sensoren kan meer tegelijk gemeten worden met dezelfde energiebron (zonnepaneel en/of accu). Zie voor meer voorbeelden paragraaf 2.2.4.

De TU Delft heeft projecten lopen waarin gekeken wordt hoe massa-geproduceerde sensoren ingezet kunnen worden voor goedkope acquisitie van hydrometrie data, waardoor ook data kan worden ingewonnen in ontwikkelingslanden.

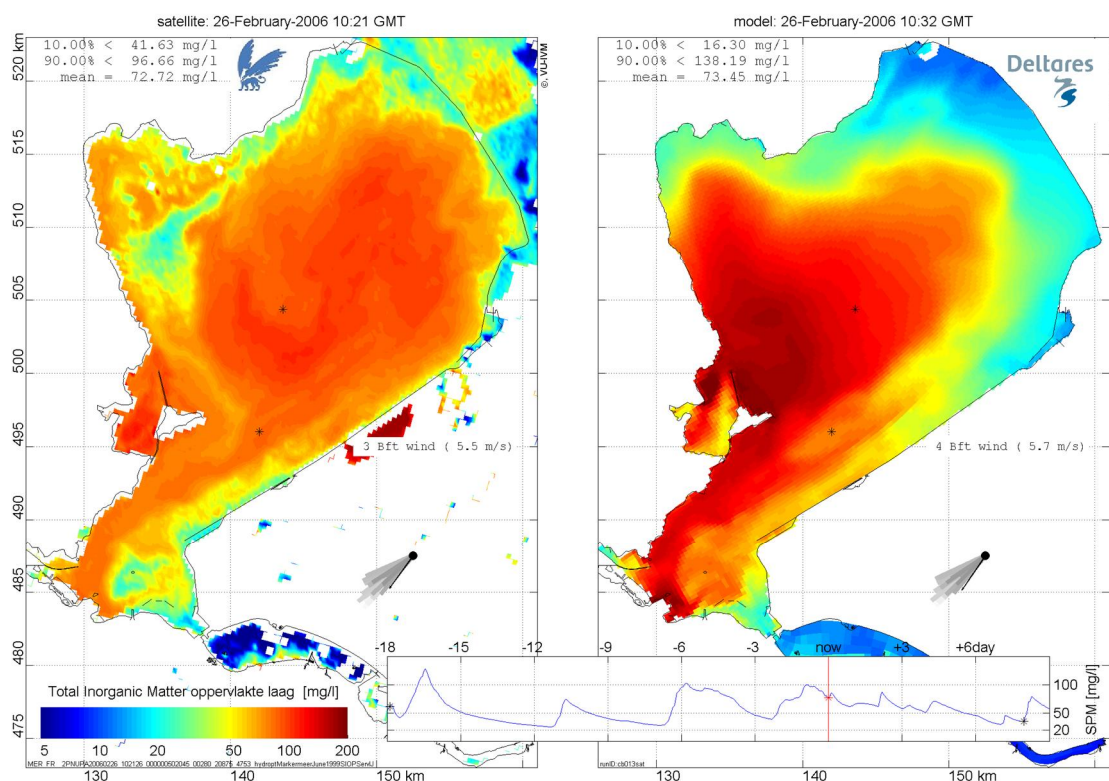
Een ander voorbeeld van inzet van microtechnologie is het plaatsen van dgps ontvangers op zeevogels, waarmee het vlieggedrag in beeld werd gebracht, in plaats van gebruik te maken van visuele waarneming. Vaak levert het gebruik van dit soort nieuwe methoden ook weer hele andere inzichten op andere vlakken. Zo bleken de genoemde meeuwen te rusten op open water en werd en passant een neer in de stroming in beeld gebracht.

2.2.3 Optimale combinatie in situ, remote sensing en model

Informatiebehoefte in het watersysteem heeft altijd een ruimtelijke en temporele component. Bij het ontbreken van ruimtelijk dekkende in in-situ metingen worden ruimtelijke modellen ingezet en vaak worden de twee gecombineerd. Voor veel verschijnselen is de ruimtelijke variabiliteit in een gebied hoog en kan met in-situ metingen de juistheid van de modeluitkomsten niet getoetst worden. Voorbeelden van parameters waar dit typisch voor geldt zijn sedimentverspreiding en algenbloei, maar ook zoutverdeling en stroming. Om dan tot voldoende betrouwbare informatie te komen is remote sensing een sterke informatiebron.

Een voorbeeld van de combinatie van informatie uit remote sensing, in-situ puntdata en een hydrodynamisch model is het slibverspreidingsonderzoek in het Markermeer. De figuur rechts toont het beeld van model en in-situmetingen, de sterretjes stellen de locaties van meetpalen voor. De ruimtelijke verdeling van sediment (die varieert met de tijd) kan niet in beeld

gebracht worden met de 2 meetlocaties, maar ook niet met meer locaties. De modeluitkomst is dus niet te verifiëren met alleen de puntmetingen. Het linkerbeeld is afkomstig uit de satellietdata en gekalibreerd op langjarige metingen (watermonsters). Met dit beeld is het model te verifiëren.



Figuur 2.1 Concentraties van gesuspendeerd materiaal (mg/l) in het Markermeer, links een gekalibreerd satellietbeeld, rechts een gekalibreerd model.

Binnen zowel RWS als Deltares zijn er sceptici als het aankomt op toepassing van remote sensing voor de watermonitoring. De aanleiding hiervoor lijkt te zijn dat puntmetingen lange tijd de enige waarnemingsbronnen waren en dus zijn beschouwd als waarheid. Omdat remote sensing data inherent ruis bevat en de puntmeting alleen representatief is voor een klein gebied, wijken de gegevens binnen een bandbreedte van elkaar af. Die bandbreedte kan groot zijn afhankelijk van de ruimtelijke variabiliteit van de parameter en de ruis in het remote sensing signaal. En als de puntmeting de waarheid, is moet de remote sensing wel het probleem zijn.

RWS heeft voor waterkwaliteitsparameters een aanzet gegeven een statistische analyse van remote sensing data (project RESMONOK). Als deze technieken nader worden uitgewerkt kan objectief bepaald kan worden wat de informatie inhoud is van remote sensing data. Dit onderzoek biedt perspectieven voor een heldere informatiestrategie. Als eenmaal bekend is wat de onzekerheden in de informatiebronnen, in situ metingen, model en remote sensing, zijn kan men bepalen wat de meest kosteneffectieve meet en informatiestrategie is. Daarbij is wel essentieel dat de gewenste onzekerheid in het eindresultaat ook bekend is.

2.2.4 Meetplatforms, maar dan anders

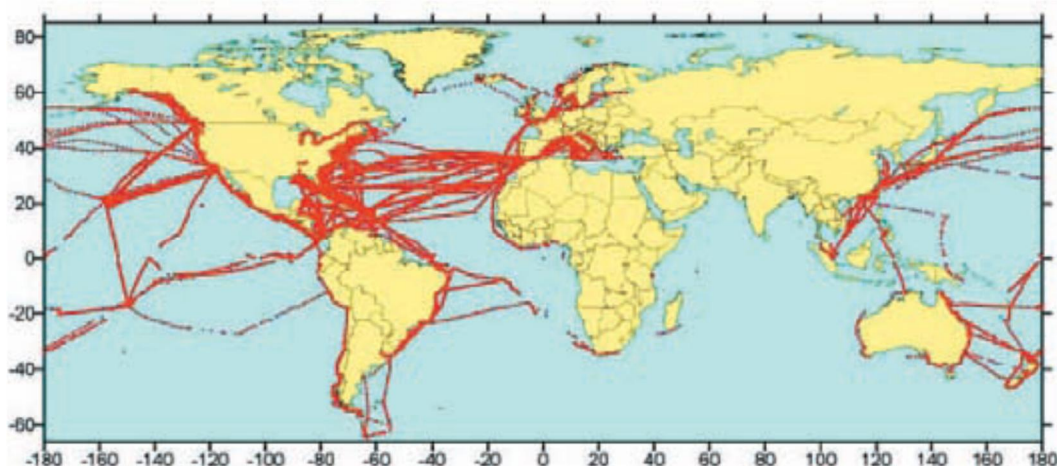
Onder meetstrategie valt ook het kiezen van het meest geschikte meetplatform. In de volgende paragrafen worden een aantal "platforms" genoemd die in Nederland (in de ogen van Deltares) meer potentie hebben dan waar ze nu worden ingezet. Dit zijn:

- Commerciële schepen met vaste trajecten inzetten voor monitoring, Ships of opportunity
- Flexibele meetplatforms, Jet ski
- Flexibele meetplatforms Remote sensing in het klein met radiografisch bestuurbare vliegtuigjes en heli's
- Boeien als multi-parameter meetplatform.

2.2.4.1 Commerciële schepen met vaste trajecten inzetten voor monitoring, Ships of opportunity

Het principe om commerciële schepen te vragen waarnemingen te doen voor het algemeen belang is al meer dan honderd jaar oud. Op dit moment zijn er ongeveer 3000 schepen aangesloten bij het wereldwijde "Voluntary Observing Ships (VOS)" programma. De data van deze schepen staan ter beschikking van alle leden van de World Meteorological Organization (WMO). Een ontwikkeling van de laatste 10 jaar is dat de inwinning en verzending van die informatie volledig automatisch gaat. Het doel van stimulering van automatisch meten is daarbij efficiency winst en grotere dekking in data schaarse gebieden. Een andere ontwikkeling in dit programma is dat meer parameters worden ingewonnen, zoals het meten van stroming met ADCP's en volledig automatische sampling en analyse.

Wat betreft het automatisch meten van waterkwaliteit zijn twee belangrijke partijen te noemen, het Helmholtz-Zentrum Geesthacht Centre for Materials and Coastal Research (voormalig GKSS) als trekker en ontwikkelaar van de Europese versie van de Ferrybox en de International Seakeepers Society die haar naam heeft verbonden aan de door YSI ontwikkelde SeaKeeper 1000. Beide systemen verzamelen volautomatisch waterkwaliteitsdata en atmosferische data. De NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) gebruikt de SeaKeeper 1000 op veel van haar schepen. <http://www.vos.noaa.gov/> en de Europese ferrybox wordt ingezet op Noordzee, Baltische zee en de Middellandse zee. <http://www.ferrybox.org/routes/index.html> en



Figuur 2.2 Routes van schepen die verbonden zijn aan het initiatief van de SeaKeepers Society.

Atmosferische, hydraulische en waterkwaliteitsdata kan zo volledig automatisch ingewonnen worden zonder in te boeten op de kwaliteit. Er bestaat echter nog wat twijfel over

het volledig automatisch meten van sommige waterkwaliteitsparameters, vanwege de complexiteit van sommige inwintechnieken. Een oplossing voor dit probleem wordt toegepast in Noorwegen: een surveyor gaat mee op de reis van het ingezette schip om het onderhoud en kalibraties uit te voeren en watermonsters af te tappen en mee te nemen voor laboratoriumanalyse. Daarmee is de winst in mankracht kleiner dan bij volledig automatisch meten, maar de kwaliteit van de data gegarandeerd en zijn de kosten nog steeds vele malen lager dan bij inzet van een survey schip.

Status in Nederland

In Nederland zijn er (commerciële) schepen uitgerust met meetapparatuur, zij het soms tijdelijk. Hierbij enkele recente voorbeelden uit de Noordzee en rivieren:

- Drie routes van de schepen uitgerust met de Duitse Ferrybox kruisen het Nederlandse deel van de Noordzee.
- Het survey schip de Zirfea van RWS Noordzee is uitgerust met een Ferry box.
- Waterkwaliteitsmetingen in het Marsdiep met de TESO verboot (Buijsman 2007)
- Afvoermetingen van een veerpont op de Maas 2009-2010
- Bodemligging bepalen met echo lood data van een binnenvaarder (project onder RWS programma Impuls Dynamisch Verkeersmanagement Vaarwegen)
- Sensoren op schepen van een reder op de routes van Rotterdam naar Noorwegen (Rederij Wagenborg, Joint Industry Project onder penvoering van het Marin)
- In het Continuous Plankton Recorder (CPR) programma slepen privevaartuigen en vrachtschepen een CPR achter het schip. Dit programma dekt de Noordzee en de Noordelijke Atlantic. Nederland is momenteel vertegenwoordigd door het Greenpeace schip ESPERANZA. www.sahfos.ac.uk.

Literatuur

[Buijsman 2007] Long-term ferry-ADCP observations of tidal currents in the Marsdiepinlet, Maarten Cornelis Buijsman, Herman Ridderinkhof, Journal of Sea Research 57 (2007).

C.D. Erdbrink, Definition study of smart waterways

[Schroever, Verheij 2010] Evaluatie praktijkproef debietmeten met een ADCP onder een veerboot, Deltares report 1203413, 2010.

2.2.4.2 *Flexibele meetplatforms, Jet ski en AUV's*

De grotere flexibiliteit en het kleiner worden van meetsystemen creëert mogelijkheden voor nieuwe inzetvormen van deze technieken. Onbemande, autonome vaartuigen zijn hier een voorbeeld van. Internationaal gezien is de ontwikkeling van onbemande onderwatervaartuigen (Autonomous Underwater Vehicles – AUV's) in volle gang. Deze vaartuigen kunnen worden uitgerust met meerdere verschillende meetsystemen. De nieuwste generatie AUV's kan tot 24 uur opereren in ofwel volledig autonome ofwel op afstand bestuurd modus. Bekende producten zijn de Hugin productlijn van Kongsberg en de Remus (Remote Environmental Monitoring UnitS) van het Woods Hole Oceanographic Institution (ref. WHOI Remus). Deze technieken worden zowel ingezet in de diepzee als op het continentale plat. Er bestaat een zeer grote diversiteit van sensorplatforms die drijven (boeien of floats), profielen maken door te zinken en weer op te stijgen (de al eerder genoemde Argo), tot aan de geavanceerde systemen die een geprogrammeerde route volgen, en zelfs systemen die hun route en meetfrequentie aanpassen aan eigen observaties.

Een meetplatform dat meer en meer gebruikt wordt voor binnenwateren en de kustzone is de jetski. De jetski's zijn snel ter plaatse te krijgen, kunnen sneller meten dan reguliere schepen en kunnen in ondieper water en kleinere wateren opereren dan reguliere meetschepen. De beperking van de jetski zijn voornamelijk: de inhoud van de bezinetank, het uithoudingsvermogen van de bestuurder en eventuele golfslag. De grote tweezitter-versies kunnen worden uitgevoerd met een echolood voor de bathymetrie, of een ADCP voor het meten van stroomprofielen, en/of met een automatische samplinginstallatie voor het bepalen van waterkwaliteit.

Een voorbeeld van een ervaren gebruiker van jetski's in de kustzone is de US Geological Survey te Santa Cruz. [USGS Walrus].

Voor waterkwaliteitsmetingen maakt de University van Alabama gebruik van een jetski uitgerust met een verkleinde versie van de eerder genoemde Seakeeper van YSI (zie foto's [Webb 2012]).



Figuur 2.3 Jetski met een draagbare Seakeeper sampling installatie. Foto's Brett Webb, University of South Alabama.

Status in Nederland

RWS meet-informatiedienst Oost Nederland heeft een onbemand meetvaartuig ontwikkeld voor hydrografische metingen (radiografisch bestuurbaar bootje). De Koninklijke Marine zet de REMUS in voor het detecteren van mijnen. In Nederland is het bedrijf Shore monitoring actief met jetski's voor het meten van bathymetrie bij de zandmotor. Op dit moment is Shore monitoring druk bezig om met deze meetopzet te kunnen voldoen aan de Nederlandse hydrografische normen. Stromingsmetingen en waterkwaliteitsmetingen met jetski's worden nog niet uitgevoerd in Nederland.

Literatuur referenties

[Webb 2012] Near-Synoptic Measurements of Surface Water Characteristics in a Reservoir Using a Personal Watercraft-Based Mapping System, HMEM conference 2012.

(USGS walrus) http://walrus.wr.usgs.gov/mapping/pwc_atv.html.

(WHOI Remus) www.whoi.edu/main/remus

2.2.4.3 Boeien als multi-parameter meetplatform.

Op de Nederlandse markt zijn al jaren boeien beschikbaar die als platform dienen voor het meten van zowel waterkwantiteit- als waterkwaliteitsparameters. In de Noordzee wordt bijvoorbeeld de SMART buoy van CEFAS ingezet.

Een sterke marktleider in dit gebied is FUGRO Oceanor. Ze leveren meerdere typen boeien, waaronder de Wavescan en de Seawatch. Met deze boeien kunnen, afhankelijk van de toegepaste sensoren, vele parameters gemeten worden. De beschikbare parameters zijn onder andere golfhoogte en golfrichting, stroming, wind, luchttemperatuur, watertemperatuur en saliniteits(profielen). De Seawatch kan onder andere worden uitgerust met een Nortek AquaDopp stroomsnelheidsprofielmeter die naar beneden kijkt (zie Figuur 2.4). De Seawatch wordt ingezet door de organisatie van Spaanse havens (Puertos Estada), maar ook voor onderzoek rond windmolenparken in de Noorse Zee. Leveranciers van meetsensoren leveren doorgaans hun meetsystemen ook op eigen meetboeien, zoals Nortek/OTT en Observator B.V.

Boeien zijn flexibel omdat ze vrij eenvoudig zijn uit te zetten. Boeien zijn echter wel kwetsbaar en bewegen rond hun ankerplaats, waardoor de boei niet continu exact op dezelfde plaats ligt. Dit kan een probleem vormen bij inzet langs geulen.

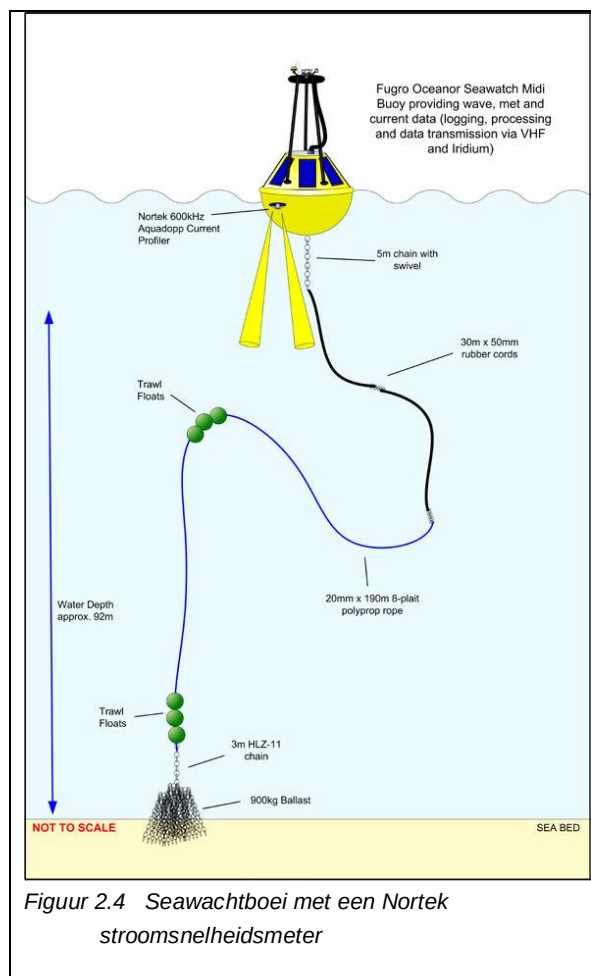
Status in Nederland.

Er is bij RWS ervaring met het uitzetten van de Smart buoy van CEFAS. Deltares gebruikt een deel van de data van deze boeien.

RWS gebruikt een boei van YSI voor het meten van meerdere waterkwaliteitsparameters in het IJsselmeergebied.

RWS Zeeland heeft een boei laten ontwikkelen die er uitziet als een markeringsboei, maar in werkelijkheid hol is en voorzien is van een stromingsmeter (ADCP) die ook temperatuur registreert. Dit is niet echt een multiparameter boei, maar wel innovatief.

Deltares ontwerpt multi-parameter boeien voor waterkwaliteitsmetingen voor klanten, zoals de haven van Singapore.



2.2.4.4 Remote sensing in het klein: radiografisch bestuurbare vliegtuigjes en heli's

Met de introductie van de microtechnologie is ook een nieuwe ontwikkeling gestart in de remote sensing.:Meten vanaf radiografisch bestuurbare vliegtuigjes en helikopters. De meest extreme is de Delfly micro van TU Delft, een mechanische vlieg van 3 gram uitgerust met een camera. Op dit moment lijkt de inzet zich te beperken tot foto en video opnames van land en dijken. Echter, met het gebruik van kleurfilters, infrarood camera's en bestaande beeldverwerkingstechnieken zijn deze direct toepasbaar voor het monitoren van water (zie de voorbeelden van optische remote sensing in de volgende hoofdstukken).

Figuur 2.5 Onbemande helikopter van E-producties en Miramap, waarmee van lage hoogte snel gedetailleerde beelden kunnen worden gemaakt. (© Miramap)



Status in Nederland

Naast Delft Dynamics heeft Miramap (zie foto) ervaring en kennis van de inzet van onbemande helikopters. In het verleden heeft Delft Dynamics een project uitgevoerd voor het Innovatietestcentrum van Rijkswaterstaat DWW om vanuit een gestabiliseerde onbemande helikopter verkeersbeelden van boven een snelweg op te nemen en te analyseren. In kader van de projecten rondom de Zuid Hollandse kust heeft TU Delft (groep van Marcel Stive) een kleine helikopter aangeschaft voor het maken van video-opnames. Resultaten worden verwacht in de komende jaren.

Literatuur

Swartvast, 2007. Remote sensing voor inspectie van waterkeringen.

2.3 Verwerking van gegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet beschreven.

2.4 Overdracht van gegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet volledig beschreven. Hier worden een aantal, in de ogen van Deltares, belangrijke ontwikkelingen genoemd ten aanzien van data.

Data opslag en data overdracht.

De laatste ontwikkelingen in data van vooral waterkwaliteit en bodemdynamiek is de verstrekking van de data in nieuwe geogereferende formats. De laatste jaren maakt het NetCDF file formaat zijn opmars en het daarmee gepaarde uitwisselingsprotocol OPeNDAP. Het NetCDF formaat wordt internationaal geaccepteerd door organisaties als het Open Geospatial Consortium (OGC), is compatibel met de Europese INSPIRE richtlijnen, en is inmiddels gebruikelijk voor uitwisseling van aardobservatiedata. Ook lijn- en puntinformatie wordt verstrekt in NetCDF. Met het OPeNDAP protocol zijn data eenvoudig op te vragen en ook subsets van grote datasets kunnen worden gedownload, om zo download tijd te besparen.

Onder andere gebruik makend van NetCDF en OPeNDAP, maakt het OpenEarth initiatief ook zijn opmars. Het is een open en gratis initiatief om met data, modellen en tools in marien en kustonderzoeksprojecten om te gaan. Vandaag de dag besteden projecten in onderzoek, consultancy en constructie een significant deel van hun budget om een IT-infrastructuur aan te leggen voor data- en kennisbeheer, welke weer verdwijnt na afloop van het project. Als een alternatief op deze ad-hoc aanpak probeert OpenEarth een effectiever data- en kennisbeheer op te zetten. Het bevat een platform om hoge kwaliteitsdata, state-of-the-art modelsystemen en geteste tools te archiveren, te 'hosten' en te presenteren. Door deze projectoverstijgende aanpak kunnen werkzame ingenieurs en wetenschappers in marien- en kustonderzoek leren van elkaars ervaringen, hetgeen kan leiden tot een verhoging van de efficiëntie, zowel in tijd als geld. De tools die toegankelijk zijn via OpenEarth zijn vooral handig voor snelle visualisatie in Google Earth. Het OpenEarth initiatief is onder andere beschreven in De Boer et al. (2012) en is toegankelijk via <http://www.openearth.nl>.

Gebruik maken van bestaande initiatieven als OpenEarth kan leiden tot een eenvoudiger proces voor INSPIRE compatibele disseminatie van meetdata.

Onzekerheid als meta informatie bij data.

De frequentie waarmee Rijkswaterstaat data inwint (sample frequentie) is bijna altijd hoger dan de uitgeleverde data. Er wordt gemiddeld over tijd en/of ruimte. Wat Deltares opvalt, is dat statistische gegevens van die onderliggende data (zoals de standaarddeviatie) veelal niet wordt meegegeven met de uiteindelijk gemiddelde data. Zou dit wel gedaan worden dan kan zowel de gebruiker als RWS inzicht krijgen in de onzekerheid en representativiteit van de geleverde data. Ook als een vaste onzekerheid wordt aangenomen, zoals bijvoorbeeld bij waterstandsmetingen, wordt die onzekerheid niet altijd meegegeven in de meta informatie van de data. Ook dat zou een nuttige aanvulling zijn op de dataverstrekking.

3 Veiligheid en economische belangen (scheepvaart) leidend in de vraag naar informatie van waterkwantiteit.

3.1 Informatiebehoefte waterkwantiteit

Rijkswaterstaat heeft haar informatiebehoefte afgeleid uit 15 gebruiksdoelen die hier verder benoemd en behandeld zullen worden.

1. Vastleggen karakteristieken watersysteem
2. Bepalen hydraulische randvoorwaarden
3. Internationale verplichtingen en afspraken
4. Kustlijnhandhaving
5. Interpretieren van gegevens van andere landelijke monitoringprogramma's
6. Beheer en toetsing van waterkeringen
7. Informatie voor berichtendiensten
8. Ondersteunende variabele bij het meten van afvoeren en bodemligging
9. Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast
10. Onderzoek en modellen
11. Regionale/lokale informatievoorziening
12. Operationeel waterbeheer
13. Voorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen
14. Emissie-immissie studies
15. Grote projecten

Bij de fysische monitoring zijn de volgende parameters benoemd die zijn afgeleid uit de informatiebehoefte:

- Actuele waterstand, golven, stroming, afvoer, watertemperatuur, saliniteit, troebelheid, zicht, meteo(wind) en hefhoogte van sluizen/kunstwerken.
- Verwachtingen van waterstand, golven en stroming, getij en wind.

Opvallende afwezig in deze lijst zijn de volgende:

Sedimenttransport.

Sediment transport staat niet specifiek benoemd in de informatiebehoefte van RWS terwijl die wel benoemd is in de Kader richtlijn water en de kader richtlijn marien en de Natuurnota Kust. Sediment concentratie en afvoeren zijn wel specifiek benoemd. Het sedimenttransport kan uit deze gegevens berekend worden. Maar door de informatiebehoefte niet expliciet te noemen is niet duidelijk of in de behoefte volledig wordt voldaan. De beschikbare afvoeren zijn gemiddelde waarden (dag gemiddelden uurgemiddelden of tienminuten gemiddelden) en niet altijd op dezelfde plaats als waar een concentratie meting plaatsvindt. Een nauwkeuriger resultaat wordt verkregen als sedimentconcentratie en snelheid van dezelfde locatie worden gebruikt met dezelfde sample frequentie. Of dit ook noodzakelijk is, is nu niet helder.

Neerslag, runoff (afvoer over het land naar de waterloop) en bodemvocht

De totale hoeveelheid neerslag, de neerslagduur en hoe snel deze neerslag kan afvloeien naar het watersysteem, bepalen in een belangrijke mate het debiet in de lokale watersystemen. Alhoewel deze debietbijdragen klein zijn vergeleken met het debiet door de rivieren zijn ze belangrijk voor de voorspelling van totale afvoeren en beheeracties, zoals het vasthouden van water rond een afvoergolf. Een deel van de debiet informatie kan bepaald

worden uit de toestroming uit beken, kanaalpanden en het spuien van waterschappen op de Rijkswateren vast te leggen. Maar dan is het water al bijna in het hoofdwatersysteem systeem en valt er weinig meer te voorspellen of te reageren.

In de beschikbare documentatie zijn alleen waterstand, golven, stroming en afvoer behandeld. Dat zijn dan ook de parameters die zijn opgenomen in dit document. De informatiebehoefte van saliniteit is benoemd in de waterkwaliteitsdocumenten en opgenomen in hoofdstuk 4.

3.1.1 Vastleggen karakteristieken watersysteem

De vastlegging geschiedt conform het Organiek Besluit Rijkswaterstaat, 1972, om tijdig ontwikkelingen te kunnen detecteren en er op in te kunnen spelen. Dit geldt voor alle Rijkswateren (de watersystemen, waarvoor Rijkswaterstaat verantwoordelijk draagt).

Gekozen is voor waterstandsmonitoring op de randen van de Noordzee alsmede de locaties van de amfidromische punten (er is geen specifieke parameter, die de waterloopkundige toestand van de zee eenduidig karakteriseert). Bij de splitsingspunten en op een aantal punten langs de loop van riviertakken en kanaalpanden langer dan 25 km (indicatief). In de meren 1 waterstands-meetpunt per bekken bij kleinere bekkens (indien het meetpunt voldoende dicht bij het zwaartepunt van het meer is gelegen); voor op- en afwaaiing 2 à 3 punten aan de rand. Daarnaast vindt bepaling van afvoeren plaats waar de grote rivieren ons land binnen komen, op de splitsingspunten in de Rijntakken, de aanvoeren naar belangrijke deelsystemen en waar de grote rivieren of meren afvoeren naar zee.

Voor monitoring van ontwikkeling van zeespiegelstijging en klimaat is een beperkt aantal toetspunten gedefinieerd: Vlissingen, Hoek van Holland, IJmuiden, Den Helder, Harlingen en Delfzijl.

3.1.2 Bepalen Hydraulische randvoorwaarden

De hydraulische randvoorwaarden zijn de waterstanden en golven, die de waterkering conform de Wet op de Waterkeringen (vanaf 2010 opgenomen in de Waterwet) moeten kunnen keren. Voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden wordt gebruik gemaakt hydrodynamische modellen, waarmee extreme waterstanden worden berekend. Daarnaast wordt op de Noordzee gebruik gemaakt van de golfstatistiek van negen golfmeetlocaties (Roscoe, 2009) en in de estuaria wordt gebruik gemaakt van een golfmodel. Voor de rivieren worden de golven berekend uit windverwachtingen en strijklengtes.

3.1.3 Internationale verplichtingen en afspraken

Voor het nakomen van internationale verplichtingen en afspraken is o.a. waterstands- en afvoer informatie nodig. Enerzijds wordt deze informatie gebruikt voor verplichte rapportages, anderzijds wordt - al dan niet operationeel - data en informatie uitgeleverd.

Centrale Commissie voor de Rijnvaart

Periodiek moet in samenspraak met Duitsland een OLR-vlak (Overeengekomen Lage Rivierstand) worden bepaald voor de Rijntakken. Hiervoor is de overeengekomen Lage Afvoer (OLA) op diverse punten nodig.

Maas afvoeroverdrag

Door Nederland en Vlaanderen is een verdrag ondertekend, het Maasafvoeroverdrag, (RWS-DLB, 2003a), waarin afspraken zijn gemaakt over een gelijke verdeling van het Maaswater over de Nederlandse en de Vlaamse kanalen bij lage afvoeren op de Maas met daarbij

bijzondere aandacht voor de Grensmaas. Voor de uitvoering van het verdrag is een gemeenschappelijk besparingsscenario opgesteld waarin de meetpunten zijn vastgelegd.

Nakomen van afspraken met OSPAR (Oslo Paris convention) en ICES (International Council for Exploration of the Sea), vrachtberekeningen naar zee

Nederland heeft rapportageverplichtingen betreffende vrachten naar de Noordzee aan OSPAR (Verdrag inzake de bescherming van het marine milieu in het Noordelijke deel van de Atlantische Oceaan) en ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Voor deze vrachtbepaling zijn afvoeren onmisbaar.

Kaderrichtlijn Water

Voor de KRW dient Toestand- en Trendmonitoring (T&T) en Operationele Monitoring (OM) te worden uitgevoerd, daarbij dienen waterstanden en afvoeren als ondersteunende parameter.

Westerschelde

Nakoming afspraken met België m.b.t. registreren van waterstandsinformatie op een aantal punten langs de Westerschelde t.b.v. de scheepvaart en de bereikbaarheid van de haven van Antwerpen. Nakoming van het vastgelegd peil op NAP +2.20 m op het Kanaal Gent-Terneuzen (tevens gekoppeld aan zoutindringing).

Binnenkort zal hier de kaderrichtlijn marien aan toegevoegd worden.

3.1.4 Kustlijnhandhaving

Kustlijnhandhaving vindt plaats op basis van de ontwikkeling in de bodemligging. Dit wordt behandeld in hoofdstuk 5.

3.1.5 Interpreteren van gegevens van andere landelijke monitoringprogramma's

Informatie van waterstanden, golven afvoeren en stroming worden ingezet bij de interpretatie van (locale) ontwikkelingen in morfologie, ecologie en waterkwaliteit.

Een voorbeeld van gevraagde informatie waarvoor waterstanden worden gebruikt is de droogval duur van platen ten behoeve van ecologische evaluaties.

3.1.6 Beheer en toetsing van waterkeringen

Operationeel beheer van waterkeringen wordt besproken onder operationeel beheer in 3.1.12. Voor toetsing van de kering wordt gebruik gemaakt van toetsinstrumenten de zogeheten Hydra's, voor het maken van de Hydra's wordt een groot deel van dezelfde informatie gebruikt en tussenproducten hergebruikt die nodig waren voor het bepalen van de hydraulische randvoorwaarden zoals al besproken in 3.1.2. Deze informatie wordt aangevuld met de gesteldheid van de kering.

Een parameter die wordt gebruikt in de toetsing, maar niet direct zichtbaar is bij de hydraulische randvoorwaarden zijn overschrijdingsfrequenties van waterstanden.

3.1.7 Informatie voor landelijke berichtendiensten

Voorspellingen van waterstanden, stroming en golven op de Noordzee, bij de kust en op de rivieren vindt plaats ten behoeve van regulier beheer en calamiteiten (incl. de stormvloedwaarschuwingdienst). De informatie wordt gevraagd en gegenereerd langs de hele Nederlandse kust en op de rivieren.

Deze voorspellingen vinden plaats met behulp van stromingsmodellen en golfmodellen (zie paragraaf 3.1.10). Voor de Noordzee vormen deze modellen een modeltrein van grof naar fijn

vanaf oceaanniveau tot de estuaria. Voor de rivieren starten de modellen bovenin het stroomgebied van de Rijn en Maas.

Deze modellen maken gebruik van neerslag, waterstandsmetingen en golfmetingen over de hele Noordzee en de stroomgebieden.

Het nieuwste operationele systeem van RWS is RWSOS Noordzee (of FEWS Noordzee) bevat twee gekoppelde hydrodynamische modellen DCSMv6 en ZUNOV4 en een nieuw SWAN golfmodel. Deze modellen gebruiken de gemeten waterstanden van 8 locaties langs de Nederlandse kust voor aansturing van de modellen (data assimilatie).

3.1.8 Ondersteunende variabele bij het meten van afvoeren en bodemligging (waterstand)

Dienst der Hydrografie van de Koninklijke Marine levert de zeekaarten voor de Noordzee en de kust. De benodigde bodemliggingsmetingen worden uitgevoerd door de dienst der Hydrografie en de Meetinformatie Dienst van RWS (MID). Deze metingen worden uitgevoerd bij variërende waterstanden en moeten worden omgerekend naar een afgesproken referentievlak (chart datum) voor de Noordzee en naar het NAP vlak onder de kust.

Deze omrekening, ook wel reductie genoemd, wordt uitgevoerd met behulp van het programma PREMIO (Prediction Module water level). Dit programma wordt gebruikt door de dienst Hydrografie en RWS. In PREMIO wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de resultaten van de Hydrodynamische modellen DCSMv4 en Kuststrook en vanaf 2013 zullen die vervangen worden door DCSMv6/ZUNO. Alle in het gebied beschikbare waterstandsmetingen kunnen door de PREMIO gebruikers worden opgevraagd ter controle van de modelresultaten.

Voor de rivieren is de waterstand niet nodig als ondersteunende parameter voor bodemligging, maar wel voor het bepalen van afvoeren op de locaties genoemd onder "vastleggen karakteristieke watersysteem".

Afvoeren worden niet direct gemeten maar zijn een berekening uit de gemeten stroomsnelheden in een doorstroomoppervlak. Variatie in het doorstroomoppervlak wordt bij de vaste debietmeetopstellingen bepaald met behulp van de waterstand in combinatie met een of meerdere doorstroomprofielkalibraties.

3.1.9 Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast

Het gaat hier om de berekening van vrachten aan verontreinigende stoffen en sediment, van belang voor onder meer internationale afspraken, maar ook voor het landelijke emissiebeleid. Deze dienen op de volgende locaties te worden bepaald:

- De grote toevoeren naar Nederland,
- De belangrijke splitsingspunten,
- De toevoeren naar de grotere deelsystemen als IJsselmeer en Rijn-Maasmonding,
- De belangrijke sedimentatiegebieden.
- De afvoer naar zee.

3.1.10 Informatie benodigd voor onderzoek en voor ontwikkeling van modellen

Informatie benodigd voor ontwikkeling van modellen

Een groot deel van de informatievragen over waterkwantiteit en hydrodynamische toestand betreft informatie in de (nabije) toekomst in de vorm van voorspellingen van de waterstanden, afvoeren, golven en stroming. Daarin wordt zoals als vermeld voorzien door gebruik van hydrodynamische modellen. Voor *ontwikkeling* van de hydrodynamische modellen is meer informatie nodig om ze te kunnen kalibreren en valideren of eventueel bijstellen bij

wijzigingen in het systeem, zoals de aanleg van de 2^{de} Maasvlakte of de ruimte voor de rivieren projecten.

Ter illustratie: Voor de ontwikkeling en validatie van de hydrodynamische modellen DCSMv6/ZUNO en het golfmodel SWAN onder het nieuwe RWSOS Noordzee is gebruik gemaakt van 100 waterstandspunten, waarvan 42 Nederlandse waterstandspunten, en 30 golfmeetpunten voor de validatie van deze modellen. Het RWSOS heeft daardoor een gemiddelde onzekerheid van slechts 7 a 8 cm (RMSE) in de berekend waterstanden voor een voorspelhorizon van 6 uur.

Voor deze validatie hoeven de meetpunten echter niet altijd en niet vele jaren achtereen aanwezig te zijn. Er wordt gewoon gebruikt wat er is. Maar een periode van 2 jaar met een redelijk stabiele verdeling van meetpunten is wel noodzakelijk. Naast de vaste waterstandsm Meetpunten uit het landelijke meetnet water is ook gebruik gemaakt van de beschikbare altimeterdata op de Noordzee. De meerwaarde van deze data lag vooral in het controleren van de modelranden waar waterstandsdata schaars is.

Belangrijk punt om te vermelden is dat de operationele hydrodynamische modellen niet gekalibreerd of gevalideerd worden op stroming, maar alleen op waterstand. (referenties)

Voor de off line modellen, met hogere resolutie, vindt wel validatie plaats op stroming, of de verdeling van het debiet over de stroomvoerende breedte in het geval van een rivier.

Rijkswaterstaat vraagt om steeds nauwkeurige waterstandsvoorspellingen voorspellingen voor de Noordzeekust en de rivieren. Deze voorspellingen komen uit de hydrodynamische modellen.

Deltares als ontwikkelaar van deze RWS modellen ziet dat de volgende stap om verder te kunnen komen met de hydrodynamische modellen het meenemen dichtheden is. Dit zou kunnen leiden tot een nieuwe 2D en 3D modellen.

Dit leidt tot een behoefte aan gegevens van de dichtheden in de vorm van saliniteitsprofielen en aanvullende informatie over stroming en stromingsgelaagdheid.

Informatie benodigd voor onderzoek:

Veel onderzoek is gekoppeld aan de voorbereiding van grote ingrepen of de uitvoering van grote projecten. Toch vindt daarnaast ook nog procesonderzoek plaats ten dienste van het primaire proces van RWS.

Hier zijn een aantal voorbeelden van onderzoeken die in opdracht van RWS worden uitgevoerd:

- o Onderzoek naar waterbalansen voor Amsterdamrijnkanaal Noordzee kanaal.
- o Onderzoek naar effecten van kribverlagingen op de Waal vraagt om detail informatie van waterstanden.
- o Onderzoek naar het optreden van seiches. Daarvoor wordt o.a. gebruik gemaakt van de weersvoorspellingen en waterstandsmetingen en golfmetingen op de Noordzee.
- o Er wordt onderzoek gedaan om zoutindringing tegen te gaan mede door slim beheer van kunstwerken en aanpassing kunstwerken (bijv. bellenschermen). Het ontbreekt echter aan een nauwkeurig 3D model voor de Maasmond om dit te kunnen uitvoeren en daarom wordt momenteel gebruik gemaakt van het al bestaande Zeedelta 3D. Mocht dit model aangepast worden of een nieuw model ontwikkeld worden dan is kennis van de dichtheden in de vorm van saliniteitsprofielen en stromingsgelaagdheid nodig.

3.1.11 Regionale/locale informatie voorziening: Scheepvaartbegeleiding

Voor de scheepvaartbegeleiding van en naar Rotterdam, IJmuiden, Vlissingen en Eemshaven is veel informatie nodig over hydrodynamische en meteorologische omstandigheden. Een belangrijk facet is de tijpoortregeling, waarin, rekening houdend met de omstandigheden en de karakteristieken van het schip, de tijdvensters worden bepaald waarbinnen een diepliggend schip veilig door de geulen kan varen. Voor de tijpoortberekening wordt gebruik gemaakt van de PROTIDE-applicatie (PRObabilistic TIdal window DEtermination). Deze applicatie haalt verwachte waterstanden, stroomsnelheden en stroomrichtingen direct uit de databases van RWS (MATROOS). De verwachte significante golfhoogte en de deiningshoogte worden onafhankelijk ingevoerd door het HMCN. Daarna berekent Protide het resulterende stampen en slingeren per schip en de kans op bodemberoering.

Naast de voorspellingen voor tijpoorten is er informatie nodig voor loodsen en wachtmeesters voor het beoordelen van de lokale situatie. Daarvan wordt nu gebruik gemaakt van de operationele voorspellingen, de beschikbare meteo metingen, golfmetingen en de gegevens van de stroommeetpalen Maasmond en IJmond.

Verder zijn de voorspellingen en de metingen van belang voor het beheer van de toegangseuulen, bijvoorbeeld voor de werkbaarheid voor baggerschepen.

Op de rivieren zijn met name de verwachte minimale vaardiepte en doorvaarhoogten van belang.

Zowel op de rivieren als op de Noordzee is op verschillende plaatsen de stroomsnelheid nodig om veilige doorvaart te kunnen verzekeren.

In de informatiebehoefte van RWS is niet de informatie benoemd waarmee het effect van scheepvaart op het systeem en de veiligheid wordt bepaald. Dat die informatiebehoefte er wel is blijkt uit de studies die in opdracht van RWS zijn uitgevoerd voor: de Westerschelde ten aanzien van erosie, bij Vlissingen ten aanzien van veiligheid van badgasten en een lopende studie naar aanleiding van een dodelijk ongeluk bij de Measlantkering als gevolg van een scheepsgolf.

3.1.12 Operationeel waterbeheer : Sturing kunstwerken, al dan niet door een Beslissings Ondersteundend Systeem (BOS)

De grote kunstwerken langs de kust zijn voorzien van een BOS. Deze worden gevoed met verwachte en actuele waterstanden en afvoeren.

Grote en kleine stuwen maken gebruik van lokale waterstanden en afvoermetingen.

Spui regime wordt afgestemd op zowel actuele situatie als verwachte aanvoer van water.

3.1.13 Voorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen/ grote projecten

Ondanks het ontbreken van een goed overzicht in de kosten van monitoring van RWS is de schatting dat in de informatievoorziening voor grootschalige projecten net zo veel geld om gaat als de reguliere informatievoorziening van RWS bij elkaar. RWS heeft op dit moment geen goed overzicht van de informatievoorziening rond projecten en de samenhang met de reguliere monitoring (basisinformatie). Dit is benoemd en inzicht krijgen is een speerpunt voor het clustermonitoring van de waterdienst.

Wat duidelijk is dat met de grote projecten de behoefte aan informatie explosief stijgt.

Ter illustratie: aan de aanleg van de 2^{de} Maasvlakte ging daar meer dan 15 jaar studie vooraf. Bijna alle invalshoeken zijn daarbij de revu gepasseerd van effecten op stroming en sedimenttransport langs de kust tot invloed op de habitat in de Haringvliet. Het Project Mainport Rotterdam waarin uiteindelijk de aanleg werd gerealiseerd had eveneens een zeer uitgebreide monitoring op dezelfde parameters.

Andere grote projecten zijn bijvoorbeeld Ruimte voor de rivieren en doorstroming en wat kleiner de Zandmotor

Deze projecten leunen op de al aanwezige informatievoorziening. Maar de monitoring wordt lokaal flink uitgebreid. De duidelijke trend in aanvullende monitoring van al deze projecten is dat meer ruimtelijke informatie wordt ingewonnen.

3.1.14 Emissie-immissie studies

RWS heeft dit onderwerp niet gekoppeld aan een informatiebehoefte voor waterkwantiteit, maar het wordt wel genoemd onder vrachten.

3.2 Gaten in de informatievoorziening waterkwantiteit

Hieronder worden een aantal gaten benoemd die in de laatste jaren aan het licht zijn gekomen bij het vergelijken van de informatiebehoefte en de beschikbare informatie.

- Het ontbreken van voldoende informatie over stromingsgelaagdheid en dichtheidsverloop (zout) in de hele kustzone, maar vooral het gebied voor Maasmondong wordt door Deltares genoemd als beperkende factor genoemd voor de volgende zaken in de RWS informatievoorziening:
 - o het bepalen van de ontwikkeling van de eutrofiering van de kustzone.
 - o om een stap verder te komen met de RWS hydrodynamische voorspelmodellen.
 - o de RWS studies rond het beperken van zoutindring in de Maasmond.
- Het ontbreken van voldoende informatie over dichtheidsverloop (zout) in bij inlaten spuisluizen en schutsluizen beperkt het inzicht in efficiënte maatregelen tegen verzilting en zoutindring. Deze informatie wordt beperkt ingewonnen in het zoutmeetnet, maar blijkt onvoldoende om studies uit te voeren. Daarom wordt deze informatie ook projectmatige basis ingewonnen, voor bijvoorbeeld het Kier project van de Haringvlietluizen, de Stevinluizen en de sluizen bij Kornwerderzand. In de ogen van Deltares rechtvaardigt deze vraag een uitbreiding van de continue voorziening van informatie.
- Het havenbedrijf Rotterdam vraagt om nauwkeurigere tijpoorten voor de havens, waardoor schepen niet onterecht de toegang tot de havens wordt ontzegd. Tevens bestaat de behoefte om de tijpoorten eerder beschikbaar (72 uur) te krijgen om de planning van aankomst schepen nauwkeuriger te krijgen waardoor ook de planning van het laden en lossen van schepen efficiënter kan. Dit alles om de economische groei van de haven te garanderen.
- Er is door RWS geconstateerd dat de informatie voor afvoeren en afvoerdeling onvoldoende is of onvoldoende nauwkeurig, met name bij extreem hoge en lage debieten. In deze informatiebehoefte gaat op termijn voorzien worden door de hoogwatermeetcampagnes, de recente aanleg van nieuwe debietmeters en (nu nog experimenteel) metingen bij lage afvoeren.

- Voor het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden is veel vraag geweest naar informatie over golven. Daar zijn zowel modelontwikkelingen als instrumentontwikkelingen uit voortgekomen als onderdeel van het project Sterkte en Belastingen Waterkeringen (SBW). Dit gat in de informatie en inwintechnieken is daarmee gevuld.
- Grote projecten vragen om uitgebreide aanvullende informatievoorziening, met name meer ruimtelijk dekkende informatie van de hydrodynamica en de morfodynamica. Recente voorbeelden zijn de aanleg van de 2^{de} Maasvlakte en de zandmotor.

3.3 Informatiestrategie waterkwantiteit:

De informatiestrategie van RWS op het gebied van waterkwantiteit kan als volgt worden beschreven. Er is voor waterstanden, afvoeren en golven een meetnet opgezet dat voorziet in alle on line gegevens en monitoringsverplichtingen. Daarnaast worden de operationele verwachtingen voor veiligheid en scheepvaart geleverd door operationele modellen. En tenslotte worden scenario berekeningen uitgevoerd met detailmodellen voor extremen en toekomstige ingrepen.

De informatie wordt over het algemeen gevraagd per 10 minuten, per 6 uur, per dag of gemiddeld over het jaar.

De benodigde frequentie voor actuele informatievoorziening varieert van 1 tot 10 minuten. Voor de operationele verwachtingen is dat iedere 6 uur.

Alleen voor de 10 minuutgemiddelde waarden zijn op dit moment eisen aan de onzekerheden bekend: Waterstand 2,5 cm, Afvoer 5 tot 10%, Stroming 5%, Golfhoogte 5%

Ontwikkeling en noodzaak tot verder ontwikkeling

Momenteel wordt bij iedere nieuwe aanvraag naar informatie, die meestal komt als vraag naar een nieuw meetpunt, gekeken of de informatie al dan niet geleverd kan worden uit de operationele modellen. Dit heeft het etiket "meten met modellen" meegekregen.

Ondanks deze aanpak blijkt er nog geen directe afstemming tussen modelontwikkeling en monitoring. Daar is nog winst te behalen.

Het combineren van databronnen en de kennis die daarvoor nodig is (zoals onzekerheidsbepaling) komt in de gebruikte RWS documenten niet aan bod en blijkt ook in de praktijk onderbelicht.

3.4 Ontwikkelingen in de meetstrategie voor waterkwantiteit

Een meetstrategie dient ervoor om de informatiebehoefte zo goed mogelijk te voeden. Dit houdt in dat de informatiebehoefte/informatiestrategie eisen stelt aan die meetstrategie. Die eisen zijn veelzijdig en beslaan onderwerpen als type parameter, frequentie van metingen, mate van ruimtelijke spreiding, interactie met modellen etc. Een optimale meetstrategie beantwoordt zo veel mogelijk vragen (beter, sneller) tegen zo laag mogelijke kosten.

De huidige meetstrategie van RWS is om allereerst te bekijken of in de gevraagde informatie kan worden voldaan met de standaard instrumenten uit het Corporate instrumenten Bestand (CIB). De CIB instrumenten zijn globaal te verdelen in twee categorieën: voor inzet aan boord van schepen of voor inzet op een vast meetpunt op één locatie (puntmeting). De schepen voorzien in de vraag naar ruimtelijke informatie, bijvoorbeeld in de vorm van echolodgingen, stroomsnelheden met ADCP's en waterkwaliteitsparameters door middel van waterbemonstering.

In de groeiende vraag naar ruimtelijke informatie (met name uit de grote projecten) kan slechts tegen hoge kosten voldaan worden door middel van schepen. Er zijn echter een aantal ruimtelijke technieken ter beschikking die ingezet kunnen worden vanaf de wal of meetplatforms, deze zullen genoemd worden in de volgende hoofdstukken.

Een langzaam groeiende tendens is dat RWS metingen inkoopt op onderdelen die de markt efficiënt en met voldoende kwaliteit kan leveren, of die niet behoren tot de kern van het meetbedrijf van RWS. Voorbeelden zijn het contract voor het leveren van afvoermetingen voor de Rijn bij variërende waterstanden en afvoeren en metingen met laseraltimetrie vanuit een vliegtuig voor het bepalen van waterstanden bij hoogwaters.

Een aantal andere ontwikkelingen in de meetstrategie zijn al benoemd in hoofdstuk 2. Deze zijn ook van toepassing op waterkwantiteit.

3.5 Ontwikkelingen in meetmethoden en –technieken waterkwantiteit.

3.5.1 Watertemperatuur

Zie waterkwaliteit

3.5.2 Boot als sensor

Zeescheepvaart en kust scheepvaart is uitgebreid voorzien van sensoren. Deze informatie wordt gebruikt voor de boordcomputers (autopilot) en stuurmachines. Denk aan echoloden voor het bepalen van de bodemligging, kompas en GPS voor het bepalen van de locatie en koers en sensoren voor de stand van het schip. Daarnaast zijn de schepen vaak te volgen op basis van de informatie van de AIS zenders aan boord. De beweging van de schepen kan informatie verschaffen over de omgeving waarin ze varen, zoals stroming en golven.

Dit kan mogelijk relevante informatie opleveren voor RWS.

Er is echter twijfel over de nauwkeurigheid waarmee een omgevingsparameter afgeleid kunnen worden uit deze metingen.

Status Nederland.

Er gaat een verkenning plaatsvinden in kader van het Corporate Innovatie Programma onder het thema SMIT.

3.5.3 Waterstanden: Laseraltimetrie vanuit een vliegtuig

Analoog aan de inwinning van landhoogte voor het AHN, kan ook waterstands informatie ingewonnen worden met laser technieken LIDAR (Light Detection And Ranging)) Zie ook hoofdstuk bodemligging. De laser, bevestigd aan een vaartuig, vliegtuig of helikopter, zendt hierbij licht uit dat weerkaatst op het wateroppervlak of ander object.

Uit het op het water weerkaatste signaal kan de locatie van het wateroppervlak afgeleid worden. In tegenstelling tot de bepaling van land kan de positie van het wateroppervlak slechts in een smalle band onder het vliegtuig worden bepaald, omdat alleen de reflectie van bijna recht onder het vliegtuig terugkomt in de ontvanger (spiegelende reflectie vs. diffuse reflectie).

De methode is nauwkeurig (2 cm volgens (Bolweg 2002)) en levert ruimtelijke informatie die bijna op geen enkele manier te evenaren is. Het lijkt vooral een goede methode om

ruimtelijke variabiliteit in het wateroppervlak vast te leggen (bijvoorbeeld de covariantie structuur waarmee de ruimtelijke representativiteit van de vaste waterstandsmetingen is te bepalen) maar het is ook ideaal om in 1 vlucht een gehele waterloop en de daarin optredende hoogwatergolf vast te leggen.

De nadelen zijn dat een vliegtuig niet altijd kan vliegen vanwege het weer, het is een moment opname en de gegevens komen achteraf pas beschikbaar..

De inzet van helikopters i.p.v. vliegtuigen is minder weersafhankelijk omdat lager gevolgen wordt en er dus minder verstoring optreedt bij bewolking.

Status in Nederland

De techniek is voor het bepalen van wateroppervlak onderzocht door de voormalige meetkundige dienst van RWS met goede resultaten uit proeven. De methode staat in het draaiboek voor hoogwater op de Rijn.

Technology readiness

Preoperationeel TRL 8. De methode moet onder gevarieerde omstandigheden toegepast en geverifieerd worden

Literatuur

(Bolweg 2002) Bolweg, Veassen, Waterbouwkundige toepassingen van Laseraltimetrie Meetkundige dienst 2002.

3.5.4 Waterstanden en golven: Satelliet radar altimetrie en scatrometers

Sinds 1992 worden door satellieten het wateroppervlak gescand als onderdeel van de Ocean Surface Topography Mission (OSTM) een samenwerking tussen NASA en het Franse CNEF. De gebruikte satellieten waren achtereenvolgens Topex/Poseidon (1992-2006), Jason 1 (2001 - nu) en Jason 2 (2008 - nu). De satellieten zijn uitgerust met radaraltimeters en microgolf radiometers en scatrometers. De apparatuur aan boord van de Jason 2 voorziet in een verbeterde nauwkeurigheid ten opzichte van zijn voorgangers en kan waterstandsdata leveren tot 25 km uit kust, waar voorheen 50 km uit de kust het maximaal haalbare was. De onzekerheid in de bepaalde waterstanden is 2cm [Wisse 1993].

De waarde van de data uit dit programma is de grote dekking en lange reeksen die al bestaan en verder worden vergroot. Daarnaast worden de bestaande reeksen steeds verbeterd na nieuwe inzichten. Dit zonder kosten voor de gebruikers van de data. De data hebben o.a. groot inzicht gegeven van de getijbeweging in de oceanen en hoe de energie zich verdeelt over oceanen en continentale platen.

Naast de bepaling van waterstanden is de altimeter ook geschikt om (significante) golfhoogte te meten of te schatten. Uit de scatrometer wordt windsnelheid bepaald.

Door de verwerkingstijd die nu nog ligt tussen metingen en oplevering van de waterstandsgegevens kunnen de satellietdata nu nog niet door RWS gebruikt worden om direct te assimileren in de datastroom van bijvoorbeeld de voorspellingen van waterstanden in de Noordzee. Het European Center for Medium range Weather Forecast maakt gebruik wel gebruik van de satelliet data voor data-assimilatie om voorspellingen te doen voor onder andere de Noordzee. Dit kan omdat het ECMWF een globaal model gebruikt waardoor altijd één of meerdere van de satellieten stuk van het model bestrijken en data geassimileerd kan worden. Tevens heeft het ECMWF on line toegang tot de data.

Satelliet altimetriedata dient op dit moment nog niet ter vervanging van de bestaande vaste waterstandsmeeetstations of golf stations op de Noordzee, maar als aanvulling. De data kan gebruikt worden als aanvullende informatie voor de kalibratie van de waterstandsmodellen, windmodellen en golfmodellen. Het raadzaam om bij nut en noodzaak discussies over nieuwe en bestaande vaste waterstandsmeeetlocaties op de Noordzee de beschikbaarheid van de satelliet gegevens mee te nemen.

Status in Nederland

De satelliet altimetrie data word volop gebruikt voor onderzoek door universiteiten, het NIOZ en Deltares. Daarnaast is de data een belangrijke bron van waterstanden gebleken voor het optimaliseren van één van de nieuwste Hydrodynamische modellen van Rijkswaterstaat het Dutch Continental Shelf Model (DCSM versie 6) (Zijl 2009). Dit model wordt vanaf september 2012 gebruikt in de dagelijkse voorspelingen van de waterstanden op de Noordzee en de Nederlandse kust.

De bron is ook voor golven en stroming interessant genoeg bevonden om op data-inhoud en bruikbaarheid getoetst te worden. Er lopen 2 onderzoeksprojecten waarin de mogelijkheid van data assimilatie van de satellieten direct in de Noordzee modellen wordt bekeken: Myocean voor stromingen en Mywave voor golven. Maar ook validatie van het nieuwe golfmodel SWAN voor de Noordzee ligt in de mogelijkheden. Waarbij natuurlijk met name meerwaarde aan de randen van het continentaal plat te verwachten valt. De beperking blijft de niet continue dekking van Noordzee en de vaste omlooptijden, waardoor de meest interessante gebeurtenissen, de stormen op de Noordzee, niet altijd gevangen worden in de data.

Technology readiness

Operationeel voor waterstanden.TRL 9. De methode wordt ingezet voor validatie van met name grootschalige modellen.

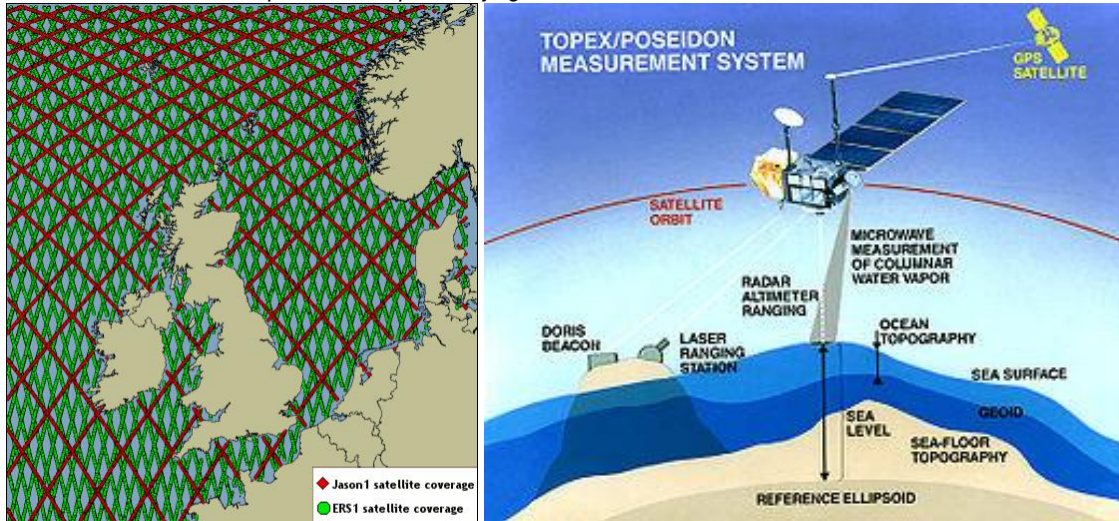
Literatuur

(Wisse et al 1993) Wisse et al, Processing of ERS1 and Topex/Poseidon altimeter measurements, Report of the Netherlands Remote Sensing Board (BCRS), Delft University of Technology, 1993.

(Zijl 2009) DCSM v6 model setup and calibration of tidal propagation : draft / Firmijn Zijl ...[et al.] Rapportnummer Z4632, Deltares.

http://www.nasa.gov/mission_pages/ostm/main/index.html

Figuur 3.1 Dekking van Noordzee en het continentaal plat door altimeterie data van de ERS1 en Jason satellieten.
Met name de kruispunten in de paden zijn gebruikt voor de validatie.



3.5.5 Waterstanden: Plaatsbepaling van een schip (z positie)

De waterstand kan afgeleid worden door de verticale positie in het water van een schip uitgerust met een hoog precisie plaatsbepalingssysteem. Daarin zit echter een relatief grote onzekerheid door onbekende locatie van wateroppervlak t.o.v. DPGS ontvanger als gevolg van de onzekerheid in de inzinking van het vaartuig in het water. Die onzekerheid van ongeveer 10 - 20 cm in de waterstand is zo groot dat meerwaarde ten opzichte van bestaande meetnet altijd als minimaal is beschouwd. Maar als een schip bijvoorbeeld over de lengte van een rivier vaart en de berekende waterstand wordt gecorrigeerd aan hand van de waterstandswaarden gemeten op vaste meetstations die worden gepasseerd kan deze onzekerheid drastisch worden terug gebracht naar 10 cm of minder. Daarmee is de methode een ruimtelijke aanvulling op de bestaande informatie. De beperking is dat een schip tijd nodig heeft om van de ene naar de ander plek te komen en ondertussen zal de waterstand wijzigen met gevolgen voor de nauwkeurigheid van de aanpak. Inzet van een vliegtuig met een altimeter zoals besproken in paragraaf 3.5.3 heeft dan ook de voorkeur.

Technology readiness

Operationeel TRL 9

Status in Nederland

In Nederland ingezet door RWS Oost Nederland op de Waal en Rijn bij hoogwaterpieken.

3.5.6 Golven en stroming - Scheepsradar (navigatieradar)

Met navigatie/scheepsradars (X band) is het mogelijk golfvoortplanting, golfrichting en golflengte te bepalen. Dit kan per beeld en per golf waardoor in tegenstelling tot de HF radar ook individuele golven gevolgd kunnen worden. Uit deze informatie worden indirect stromingen aan het oppervlak en waterdieptes afgeleid. Golfhoogten kunnen niet bepaald worden uit het signaal waardoor de techniek altijd steunt op een lokale golfhoogte meter in het meetgebied.

Ondanks de enorme potentie van de methode door de aanwezigheid van vele duizenden navigatieradars op kusten en eilanden en de aanwezigheid van meerdere leveranciers is de werkelijke inzet nog niet groot en staat deze in geen verhouding tot de inzet van de HF radars. De belangrijkste reden die we hiervoor kunnen aandragen is dat bestaande navigatieradars geoptimaliseerd zijn voor het meten van schepen en de instellingen zoals draaisnelheid en pulslengete vaak niet gunstig zijn voor het meten van stroming en golven. Zodra dat het geval is moet een aparte radar worden geplaatst en ligt plaatsing van een HF radar meer voor de hand.

De werkelijke werkwijze van de berekeningen en de afhandeling van datakwaliteit is niet openbaar en moet men vertrouwen op de leverancier.

Op basis van beschikbare informatie van websites van gebruikers en producenten wordt het aantal locaties waar vast opgestelde navigatie radars zijn uitgerust met een analyse software voor stroming en golven geschat op 30 tot 50 wereldwijd.

Beschrijving techniek

Incoherente radar systemen meten de snelheid van een object door uit een serie radar beelden de verplaatsing van het object te bepalen als functie van de tijd. Stroomsnelheid en waterdiepte worden uit deze data afgeleid door de verplaatsingen van golfkammen te analyseren en de dispersie relatie toe te passen. Om te werken moet er voldoende kelinschalige ruwheid aan het oppervlak zijn en moeten er langere golven aanwezig zijn om de dispersie relatie te kunnen toepassen.

Leverancier SeaDarQ geeft een onzekerheid in de stroomsnelheden van +/- 0.1 m/s en in de stromingsrichting van 5 tot 10 graden. SeaDark meldt ook dat er bij een golfhoogte van 0,5 m en hoger gemeten kan worden. Dit blijkt in de praktijk vaak te optimistisch.

Ontwikkelingen

Bij Duck North Carolina is een test uitgevoerd met het analyseren van data van een draaiende coherente navigatieradar (vaste radars zijn al ingezet). Dat is nieuw en lijkt op wat nu voor HBR (coherente radars van Kelvin Hughes en Terma) gedaan wordt bij Hoek van Holland. Bij coherente navigatieradar kan voor het bepalen van stromingsmetingen, net als bij de HF radar, gebruik gemaakt worden van Doppler analyse van het gereflecteerde signaal. Deze techniek evenaart wellicht het niveau van de HF radar en maakt het ook mogelijk om golfspectra te meten. Als deze systemen ook qua prijs kunnen concurreren met de HF radar is dit een interessante ontwikkeling. Kanttekening is dat het nog in onderzoeksfase is en nog een flinke weg te gaan heeft.

Status in Nederland

Gebruik van de navigatieradar is verkend in de jaren negentig maar sloeg niet aan, tot er een vraag kwam voor ruimtelijke verdeling van stroming en golven in het Wadden gebied. Radars (en camera's) bleken de enige mogelijkheid om die gegevens te leveren. Dit heeft geleid tot een operationele radar in het Amelande Zeegat

Er zijn momenteel 3 locaties waar operationeel een navigatieradar wordt ingezet voor het meten van stroming en golven: Maasmonding, Amelande Zeegat en de Zandmotor. De Er is in Nederland een beperkte maar groeiende groep ervaringsdeskundigen. (10 mensen verdeeld over Deltares, RWS, TNO en Nortek B.V).

Nortek BV is momenteel leverancier van SeaDarq die op de drie genoemde locaties wordt ingezet. In het kader van het RWS CIP SMIT innovatieprogramma is een voorstel ingediend tot verdere verbetering van o.a. toepassing voor de coherente radar.

Technology readiness

Incoherente radar. Het systeem is operationeel en er zijn meerdere leveranciers, waarbij het Duitse WAMOS marktleider is (TRL level 9).

Coherente radar is op het niveau van operationeel prototype (TR Level 6)

Literatuur

Wamos, Seadarq

Deltares documenten Guatier/Swinckels

3.5.7 Golven en stroming HF VHF (coherente) radar en coherente navigatieradar

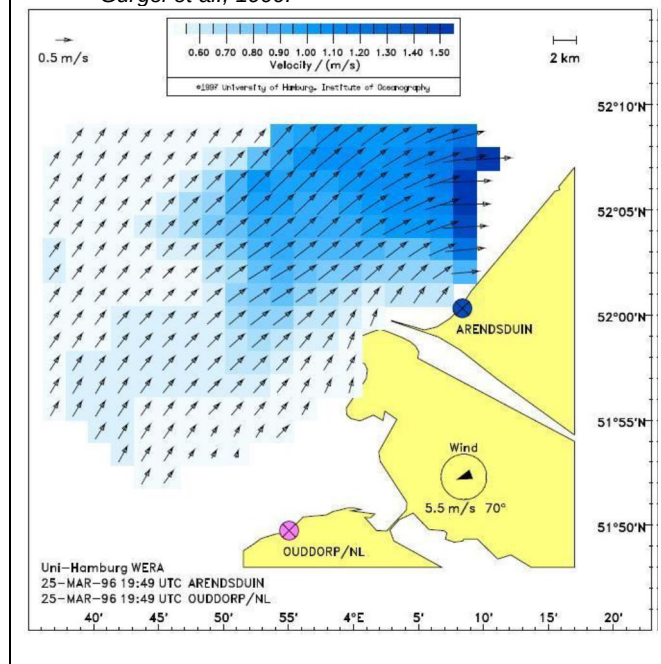
Naast de navigatieradar (incoherente X –bandradar) kunnen met High Frequency (HF) en Very High Frequency (VHF) radar ruimtelijk oppervlakte stromingen en golven gemeten worden. Door met de frequenties van de radar te "spelen" kan men bereik en resolutie bij deze methode uitwisselen, waardoor zowel voor oceaantoeepassingen als estuaria een passend HF of VHF radar systeem te vinden is. De te behalen nauwkeurigheid voor de Nederlandse kust ligt in de orde van 5-10 cm/sec in de stroomsnelheid en 5 graden in de stromingsrichting (Gurgel et al., 1999) en is daarmee nauwkeuriger dan navigatieradar. Uit de HF-VHF radar gegevens kunnen 2D golfspectra (golfrichting, golffrequentie en golfenergie) berekend worden over een tijdsinterval van bijvoorbeeld 20 minuten. Uit deze spectra kan o.a. de significante golfhoogte worden afgeleid. De techniek hoeft daarbij *niet* te steunen op een lokale golfhoogtemeter in het meetgebied, wat wel het geval is bij een navigatieradar.

Korte beschrijving HF radar techniek

Een HF radar zendt radarpulsen uit die gereflecteerd wordt op het wateroppervlak. De maximale reflectie vindt plaats op golven met een golflengte corresponderend met de helft van de golflengte van het uitgezonden radar signaal. Dit noemt men Bragg reflectie.

Dit gereflecteerde signaal is Doppler verschoven als de golf naar de bron toe beweegt of van de bron af beweegt. Hieruit wordt de stroming bepaald in de richting van de radar. Een enkele radar geeft slechts informatie over de snelheid van of naar die radar, voor een stroomsnelheid en richting zijn daarom altijd minimaal 2 radars nodig op enige afstand van elkaar. Zie hiervoor het voorbeeld in Figuur 3.2 waar de resultaten van de laatste test in de Maasmond (1999) zijn getoond. Deze geslaagde test is uitgevoerd door de Duitse leverancier WERA.

Figuur 3.2 Stroomvectoren rond de Maasmond afgeleid uit data van 2 HF radars bij Arendsduin en Ouddorp, Gurgel et al., 1999.



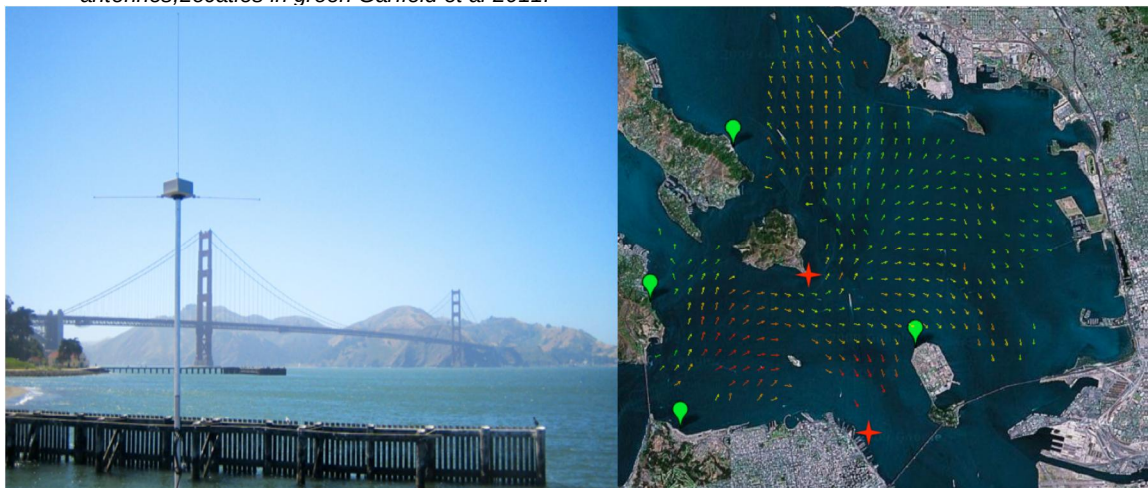
De omvang van de antenne kan variëren afhankelijk van de gebruikte frequentie en fabrikant, maar een systeem voor de Maasmond kan bestaan uit twee relatief kleine antennes (zie Figuur 3.3 voor een afbeelding van de antenne).

Het feit dat deze radartechniek gebruik maakt van de coherente verstrooiing aan de Bragg golven, maakt dat deze techniek veel gevoeliger is dan de incoherente navigatieradar. De inzetbaarheid, ook bij wat lagere golfhoogten, is dus aanzienlijk beter.

Status in Nederland

Al in 1999 kreeg de HF radar van RWS het predicaat "proven technology" voor het meten van stroming. Toch is er niet één systeem operationeel in Nederland. Een belangrijke beperking voor inzet van de techniek was dat de meest gunstige frequenties in de militaire band lagen, waarvoor slechts tijdelijke vergunningen konden worden verkregen. Op dit moment zijn zendvergunningen in de benodigde banden wel te verkrijgen en is de methode interessant om te toetsen op zijn toepassingsmogelijkheden. Zeker aangezien de methode nauwkeuriger is voor het meten van stromingen dan de nu gebruikte incoherente navigatieradar en het metingen met golfboeien kan vervangen.

Figuur 3.3 De 42 MHz SeaSonde antenne in San Francisco Bay, Stromingsvectoren op basis van 4 HF SeaSonde antennes, Locaties in groen Garfield et al 2011.



Beperkingen

- De meettechniek staat en valt met de aanwezigheid van golven van de juiste golflengte waarop de radar kan reflecteren. Zijn er niet voldoende van deze golven dan is er geen meting mogelijk.
- De meetmethode meet in een groot gebied de stroming, maar alleen in de bovenlaag. Daarom is de techniek ook het nuttigst in combinatie met een 3D stromingsmodel.
- De techniek voor de berekening van de golfspectra uit HF radar is niet eenvoudig en men zal moeten vertrouwen op de leverancier voor de juiste aanpak, aangezien de publicaties vanwege concurrentie overwegingen niet alle details weergeven. Dit geldt overigens ook voor verwerking van de gegevens van de navigatieradar.

Aanbod

HF en VHF radar worden door een aantal marktpartijen aangeboden, waarbij het Amerikaanse CODAR marktleider is en het Duitse Helzel Messtechnik GmbH vooral vertegenwoordigd is in Europa met de WERA.

Er zijn naar schatting tussen de 400 en 450 HF radarlocaties voor het meten van stroming wereldwijd. Ter vergelijking het aantal navigatieradars dat hier operationeel voor ingezet

wordt is ongeveer 30 tot 50 wereldwijd. De belangrijkste reden die we hiervoor kunnen aandragen is dat bestaande navigatieradars geoptimaliseerd zijn voor het meten van schepen. De instellingen, zoals draaisnelheid en pulslengte, zijn vaak niet gunstig voor het meten van stroming en golven. Zodra dat het geval is moet een aparte radar worden geplaatst en ligt plaatsing van een HF radar meer voor de hand.

Technology readiness

"proven technology" voor stroming. TRL 9.

Operationeel voor golven, maar er loopt onderzoek naar verbetering TRL8.

3.5.8 Stroming en afvoeren: Rivieradar/ Ultra-high frequency Radar

De Codar RiverSonde is een UHF-variant van de HF systemen is special ontworpen voor toepassing op rivieren. Met het instrument wordt een ruimtelijk beeld van de oppervlakte stroming gemeten. De rivierbreedte waarbij goede metingen uitgevoerd kunnen worden is tussen de 100 en 300 meter

De Riversonde zendt een coherente puls uit en gebruikt de informatie uit het teruggekaatste signaal. Het signaal kaatst terug op golven met de golflengte corresponderend met de helft van de golflengte van het uitgezonden radar signaal (Bragg resonantie). Dit signaal is Doppler verschoven vanwege de snelheid van de golven aan het oppervlak ten opzichte van de radar.

De toepassing van de RiverSonde vereist dus aanwezigheid van golven van de juiste golflengte. Deze golflengte ligt in de orde van 0.35 m en de aanwezigheid hangt af van voldoende wind en turbulentie. Ideaal gezien kiest men dus een meetperiode waarin deze golven kunnen optreden afhankelijk van de weeromstandigheden. De verwachte golflengtes die op de Nederlandse rivieren gegenereerd worden door wind en schepen zijn over het algemeen langer, maar de benodigde golven kunnen optreden door interferentie van wind en scheepsgolven. Dat de metingen plaatsvinden op interferentie patronen zou kunnen resulteren in bias in de gemeten stroomsnelheden en stroomrichtingen, maar dit effect wordt niet besproken in de beschikbare literatuur.

Complicatie voor gebruik in Nederland

In de band 420- 430 en 440 - 450 MHz zit veel smalbandige apparatuur. Hierdoor is het niet altijd mogelijk om een breedbandig systeem (RiverSonde) te plaatsen.

Technology readiness

Het systeem wordt op een paar locaties in de wereld gebruikt. Maar het is nog te vroeg om te spreken van een operationeel systeem. Daarvoor zijn meer demonstraties onder variërende omstandigheden nodig. (TR Level 6)

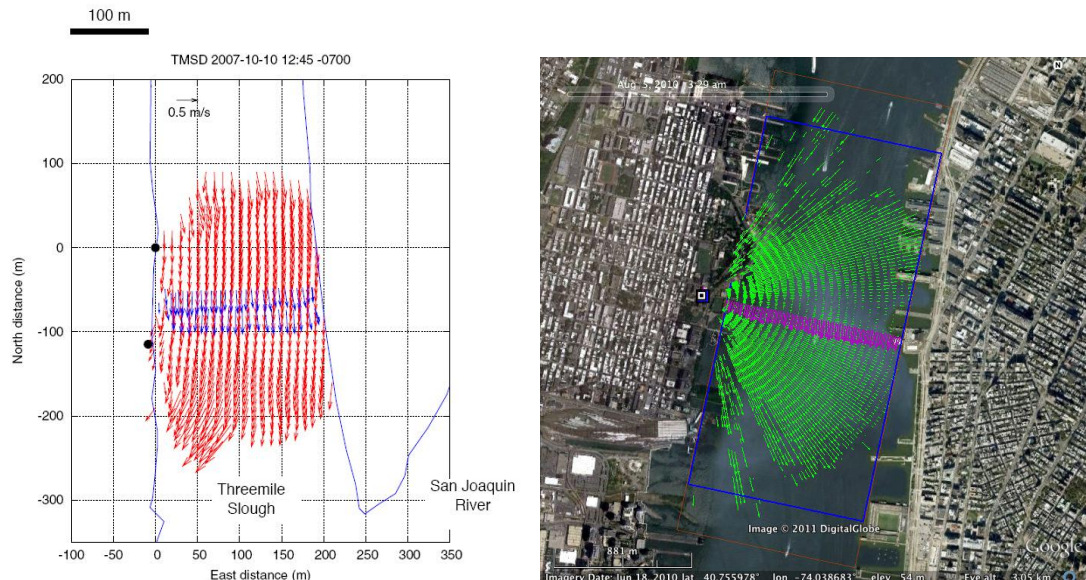
Status in Nederland

De methode is inmiddels bekend en de WU overweegt aanschaf, maar er moet wel een zendfrequentie (bandbreedte) beschikbaar zijn. RWS DID heeft hiervoor een aanvraag in voorbereiding bij het agentschap telecom.

Literatuur

Dual-RiverSonde Measurements of Two-Dimensional River Flow Patterns

Figuur 3.4 Patronen van stroomsnelheden gemeten met een UHF radar op de San Joachim River California (links) en de Hudson river NewYork (rechts).



3.5.9 Stroming en afvoeren: Meten vanaf veerponten met een ADCP

Het is mogelijk om een veerpont uit te rusten met een volledig automatisch zonder tussenkomst van een surveyor nauwkeurige afvoermetingen uit te voeren. De methode draait volledig op bekende en beproefde methoden: ADCP metingen, versturen van data met een mobiele telefoon, gebruik van remote data servers en automatische verwerking en validatie.

De voordelen van meten vanaf een veerpont:

- Metingen met grote regelmaat
- Stromingen (vectoren) over meer dan 50% van het doorstroomoppervlak.
- Eenvoudig te onderhouden.
- Geen onderwaterconstructies aan oever of bodem.
- Geen ijking nodig
- Volledig automatisch te maken.
- Snel op te bouwen. Snel af te breken.

Nadelen

- Veerpont vaart niet s' nachts.
- Veerpont vaart niet bij extreem hoge afvoer.

Technology readiness

Prototype operationeel (TRL 7)

De methode is al 10 jaar in gebruik op de veerdienst van Den Helder naar Texel. Toch krijgt dit nog niet het predicaat pre operationeel, omdat dit de enige locatie is waarvan bekend is dat er ook automatisch een debiet berekend wordt.

Status in Nederland

In navolging van de veerpont in het Marsdiep is in 2009 is een succesvolle pilot uitgevoerd naar afvoermetingen vanaf een veerpont in de Maas door RWS Dienst Limburg. Drijfveer was het continue capaciteit en budget tekort voor het uitvoeren van afvoermetingen. De metingen werden automatisch uitgevoerd en overgezonden naar het kantoor van een consultant (Aqua Vision BV) die de gegevens bijna volledig automatisch verwerkte en doorgaf aan RWS. [Schroevens et al 2012]. De pilot is nog niet vervolgd vanwege overbezetting van het betrokken personeel van RWS Limburg. Ondanks de grote beschikbaarheid van veerponten over de hele wereld en de eenvoud die is gebleken in het automatiseren van de metingen hebben we geen vergelijkbare opzet kunnen vinden in de literatuur.

Literatuur

[Buijsman 2007] Long-term ferry-ADCP observations of tidal currents in the Marsdiepinlet, Maarten Cornelis Buijsman, Herman Ridderinkhof, Journal of Sea Research 57 (2007).

[Schroevens, Verheij 2010] Evaluatie praktijkproef debietmeten met een ADCP onder een veerboot, Deltares report 1203413, 2010.

[Schroevens et al 2012] Automated discharge measurements from a car ferry on the river Meuse. HMEM 2012 conference.

3.5.10 Stroming en afvoeren: Horizontale ADCP van snelheidsmeting naar debiet

Wereldwijd is de horizontaal opgestelde ADCP een geaccepteerde methode voor het meten van stroomsnelheden waaruit debieten worden berekend. Op dit moment is de eerste debietmeter van RWS gerealiseerd op basis van een horizontaal opgestelde ADCP. De gekozen methode van berekening van debiet uit de gegevens van deze stroomsnelheidsmeter wijkt echter af van wat gebruikelijk is. De methode is gedeeltelijk gebaseerd op een beschrijving van de Universiteit van Wageningen en maakt gebruik van afvoermetingen gedaan vanaf schepen en een aantal aannamen ten aanzien van de hydrologie. De methode heeft zeker haar charme, maar is complexer dan de meer gebruikelijke methode (k factor of index velocity of via 3D simulatie) zonder dat goed is aangetoond dat de methode beter presteert op de Nederlandse rivieren. Toch opent de nieuwe aanpak wel een aantal deuren in het denken over het berekenen van debieten, waaronder een meer probabilistische aanpak van de berekening waarbij een goede onzekerheid meegegeven kan worden met het berekende debiet.

Technology readiness

De methode van Wageningen is nog in ontwikkeling en niet op het niveau pre-operationeel. TRL 6.

Literatuur

Hoitink, A.J.F., F.A. Buschman & B. Vermeulen, 2009, Continuous measurements of discharge from a horizontal acoustic Doppler current profiler in a tidal river, Water Resources Research 45, W11406.

3.5.11 Stroming, bodemligging en sediment transport - Akoestische apparatuur met meer bundels en meer frequenties.

In de Doppler apparatuur voor snelheids metingen heeft de miniaturisatie en toename van rekenkracht van interne computers voor een nieuwe ontwikkeling die nog maar net goed begonnen is: Het toepassen van vele akoestische sensoren met verschillende frequenties in één apparaat.

De meest extreme is op dit moment de hydrosurveyor van Sontek die uitgerust is met een 5 bundel echosounder en een 4 bundel snelheidsprofieler en bottom tracking. Ook de competitie heeft instrumenten waarbij bundels bijvoorbeeld opzij kijken en verschillende functies hebben (Nortek).

Met een instrument als de hydrosurveyor, dat ook nog eens heel klein is, worden survey met bijvoorbeeld jetski en ander kleine platforms nog aantrekkelijker. De multifrequentiesystemen geven ook een opening naar een nauwkeuriger bepaling van sediment en sedimenttransport uit akoestische signalen.



Technology readiness

Te koop maar voorlopig nog in kleine getallen en nog geen onafhankelijke testresultaten bekend. TRL 7

3.5.12 Stroming en afvoeren: Looptijdmeters variatie op een bekend principe

In Nederland zijn op veel locaties looptijdmeters in gebruik. De huidige inzet is beperkt door de inzichten van de jaren 80. Inmiddels kan meer met de instrumenten door technische ontwikkelingen die we hier benoemen

Looptijdmeters inzetten in ondiep water

De huidige Akoestische Debietmeters (ADM) van RWS zijn uitgerust met een looptijdmeting (meetlijn) op 1 of 2 hoogten in de waterkolom en met name in diep water (enkele meters). Gebruik in ondiep water kon in het verleden niet, omdat het gepaard gaat met een akoestisch signaal dicht bij het wateroppervlak of dichterbij de bodem. Dit leverde verstoring en daardoor onzekerheid in de looptijd en daarmee in de stroomsnelheid. Omdat de huidige signaalanalyse beter is dan 20 jaar geleden kan veel dichterbij deze verstorende oppervlakken gemeten worden en dus in veel ondieper water gemeten worden. Producent Ott geeft aan dat bij een minimale waterdiepte van 30 cm of meer gemeten kan worden en een bereik gehaald kan worden van 150 meter. Dit maakt de methode inzetbaar voor zowel nevengeulen als uiterwaarden waar kabels eenvoudig en tegen lage kosten ingegraven kunnen worden. Het vereist wel vrij zicht tussen de transducenten, dus zal bij inzet in een uiterwaard een maaibeeld gehanteerd moeten worden.

Technology readiness

Operationeel (TRL 9).

Status in Nederland

De methode wordt niet toegepast door RWS. Het is onbekend waarom.

Literatuur

Ott, Instromet, ISO

Looptijdmeters zonder kabels, veel goedkoper bij grotere wateren.

Voor de looptijdmeters die RWS het meest toepast in de ADM's zijn kabels noodzakelijk voor het overbrengen van het timing signaal en de data van de ene naar de ander zijde van de waterloop. De timing is nodig om er voor te zorgen dat de akoestische zender en ontvanger exacte "gelijk" lopen zodat de looptijd van de akoestische pulsen tot op de picoseconde nauwkeurig gemeten kan worden. Kosten reductie in de looptijdmeters is te behalen door het niet aanbrengen van kabels onder de waterloop. Door het niet aanbrengen van kabels is het systeem ook gelijk een stuk flexibeler om in te zetten.

Een nieuwe methode maakt gebruik van GPS signalen en een wireless Lan of bluetooth verbinding voor de synchronisatie van de zender en ontvanger van het akoestische signaal. De methodiek is ontwikkeld in Duitsland.

Deze aanpak lost niet het probleem op van inzetbaarheid bij gekromde stroombanen of lage/hoge waterstanden.

Technology readiness

Niveau niet goed bekend, inschatting: Prototype operationeel (TRL 7)

De gebruikte technieken hebben een lange gebruiksgeschiedenis. Het nieuwe zit in het combineren van de technieken. Er is een marktpartij die het aanbied en claimt de instrumenten in te zetten in Venetië.

Status in Nederland

De methode is onbekend. Om dat de methode dicht bij de huidige praktijk ligt *lijkt* de stap naar inzet klein.

Literatuur

A novel Acoustic Transit Time Flowmeter, Lengricht et al, Hydraulic Measurements and experimental Methods conference 2007.

3.5.13 Stroming en afvoeren: Correlatiemethode (scintillatie methode)

De methode is gebaseerd op het vergelijken van akoestisch signalen die naast elkaar over een waterloop worden verstuurd en daarna gecorreleerd. De opstelling bestaat uit een rij transducenten bovenelkaar geplaatst die geluid verzenden naar een rij ontvangers aan de overzijde van een waterloop. Naast deze set transducenten staat nog een tweede set transducenten. Door het toepassen van correlatietechnieken en patroonherkenning wordt bepaald hoe lang het duurt voordat structuren die de eerste rij transducenten passeert en bij de volgende rij aankomt.

Dat de techniek uiterst solide is blijkt uit het feit dat de techniek wordt ingezet voor het ijken van de uitlaten van stuwdammen. Daar heerst een extreem turbulente stroming. Dat de waterenergie bedrijven gebruik maken van de techniek is eveneens reden om aan te nemen dat de methode erg nauwkeurig is. In deze wereld let men op iedere procent.

Omdat de rijen transducenten zo dicht bij elkaar staan is schuine aanstroming helemaal geen probleem en ook gelaagde stroming vormt geen probleem. Daarmee lijkt de methode uitermate geschikt voor inzet in waterlopen die niet helemaal recht zijn, en perfect voor inzet onder bruggen en in sluizen. De fabrikant levert standaard instrumenten voor het overbruggen van maximaal 20 meter. Er is weinig ervaring met meten over grotere waterlopen. Dit zou wel eens te maken kunnen hebben met een technische of fysieke

beperking, zoals de resolutie van signalen in combinatie met de gebruikte akoestische frequenties.

De methode is zeer de moeite waard om te bekijken in het kader van ijking van spuisluizen en uitwateringssluizen. Dit gebeurt nu met behulp van ADCP's maar deze aanpak is voor deze applicatie onvoldoende nauwkeurig.

Technology readiness

Operationeel voor ijking van stuwdammen. 1 fabrikant ASL

Onbekend of de methode ook continue inzetbaar is. Niet operationeel ingezet in grotere waterlopen.

Status in Nederland:

Methode onbekend.

Literatuur

ASL Environmental Sciences Inc. 1996. measuring Hydraulic Turbine Discharge with the Acoustic Scintillation Flowmeter. www.aslenv.com

3.5.14 Stroming en afvoeren: Camera's voor meten bij hoge afvoer (LSPIV, Large Scale Particle Image Velocimetry)

De inzet van camera's voor het meten van stroming van het oppervlak is mogelijk geworden door de huidige hoge resolutie van cameras, ontwikkelingen in de beeldherkenning en de steeds grotere rekenkracht van de gebruikte computers. Uit de camerabeelden worden structuren aan het oppervlak van het water of drijvend materiaal herkend en gevolgd over meerdere beelden. Hieruit wordt de oppervlakte stroomsnelheid bepaald. Vroeger was het noodzakelijk het water te voorzien van drijvende deeltjes om te kunnen waarnemen op de cameras, maar dat is niet meer noodzakelijk als er maar enige structuur waarneembaar is.

Met de camera's is het mogelijk om continu informatie te krijgen, of toch op z'n minst bij hoge afvoeren waarbij zeker voldoende structuur en natuurlijke drijvende materialen aanwezig zijn.

De voordelen zijn dat de camera's overdag volcontinu kunnen worden ingezet, ze een grote ruimtelijke dekking hebben, onderhoudsarm zijn, goed koop en snel op te zetten en ze leveren vectorinformatie van de stroming.

De nadelen zijn dat het niet werkt als er geen structuren te detecteren zijn en het weer heel slecht is. Een ander nadeel is dat deze methode alleen het oppervlakte bemeet en dus ook gevoelig is voor verstoring van het verticale snelheidsprofiel bijvoorbeeld door wind of andere 3D effecten.

Omdat de reguliere cameras niets kunnen registreren bij onvoldoende licht wordt (met success) gewerkt aan de inzet van infrarood camera's, waarbij de warmte structuur van het oppervlak gevolgd wordt.

Technology readiness

Juist omdat de camera's goed betaalbaar zijn wordt de techniek uitgeprobeerd voor allerlei toepassingen in de waterwereld. Dat geldt ook voor het meten van stroomsnelheden. De ervaring wordt met name opgedaan door universiteiten en onderzoeksinstituten.

Het werkingsprincipe is aangetoond en ook op meerdere locaties, maar het zijn qua niveau toch prototypes. TRL 6

Status in Nederland

Large PIV methoden zijn bekend in Nederland en er lijkt interesse om het in te zetten. Omdat de instrumenten en de methode heel dicht bij de Argus systemen liggen is de nodige ervaring aanwezig om snel met de techniek aan de slag te kunnen. De methode is al eens door Deltares toegepast voor het bepalen van de stroming in de Stevinsluizen tijdens een proef met bellen schermen tegen zoutindringing.

Literatuur

PIV- metingen Luchtbellenscherm Stevinschutsluis, Deltares 2011, rapport 1203158

Monitoring Mediterranean flash floods using an imagebased Method- A case study on the Ardèche watershed, France, Hauet et al.

Airborne Passive Remote Sensing of Surface Currents in Rivers and Estuaries. Anders et al. HMEM 2012.

Measurement of Extreme Flows with an Automated River-Estuary Discharge Imaging System, Bechle Wu , HMEM 2012.

3.5.15 Meten van afvoeren - combineren van technieken schept kansen en meerwaarde!

Voor de combinatie van een HADCP met de rivierradar of camera's lijkt kansrijk en sterk. Alle drie de systemen leveren stroomvectoren. De HADCP meet de stroming in de water kolom en de radar en camera's meten de oppervlactestroming. Door de combinatie van die gegevens kan bij alle voorkomende waterstanden een debiet berekend worden. De meting in stroomvectoren maakt het combineren van de gegevens inzichtelijker en maakt kruiscontroles mogelijk. Door ook nog meerdere HADCP's in te zetten in de waterloop, verdeeld over hoofdgeul en uiterwaard of nevengeul wordt het plaatje compleet.

Literatuur

Spain, Barrick Remote Sampling of River Discharge Using Radar and Sonar, Combining RiverSonde Radar and Channel Master ADCP Provides a New Angle to an Old Measurement Problem.

3.5.16 Golven - golf ADCP.

Het meten van golven met op de bodem opgestelde Acoustic Doppler Current Profilers is internationaal geaccepteerd. Op dit moment zijn er twee marktleiders Teledyne RD Instruments en Nortek. Beiden hebben een iets andere aanpak. TRD Instruments golfADCP kunnen een goed richtingsspectrum leveren vanwege een nauwkeuriger akoestische signaalprocessing (broadband) en slimme verwerkingssoftware. Nortek heeft nauwkeurige golfhoogten door een recht omhoog gerichte bundel en een speciaal akoestisch signaal dat het oppervlak nauwkeurig kan volgen (inverted echo sounding of wel surface tracking). De verwachting was dat in de nieuwe generatie golf ADCP's de beide fabrikanten het beste van elkaar zouden gaan gebruiken mede vanwege het verlopen van de patenten op broadband. Dat is nog niet gebeurd. Nortek geeft aan de meerwaarde te klein is.

In de academisch wereld wordt gekeken naar de algoritmen waarmee de beste berekeningen uitgevoerd kunnen worden voor golfrichtingen. Voor Matlab gebruikers is er een toolbox beschikbaar waarin meerdere algoritmen naast elkaar gebruikt kunnen worden. Deze toolbox DIWASP DIrectional WAve SPectra Toolbox is ontwikkeld door de Coastal Oceanography Group, Centre for Water Research, University of Western Australia. Het wordt nu

gedistribueerd en onderhouden door MetOcean Solutions Ltd., New Zealand (<http://www.metocean.co.nz/software>).

Het meten van golven met ADCP's die naar boven kijken en gemonteerd zijn aan boeien die onder water hangen vergt speciale verwerking. Leverancier Teledyne RD Instruments faciliteert deze ontwikkeling met haar software. Golven meten vanaf oppervlakte boeien met ADCP's die naar beneden kijken is nog geen praktijk en zou een volgende stap kunnen zijn. Het meten van golven met horizontaal opgestelde ADCP's blijft een worsteling.

Status in Nederland

De golfADCP kennis is in 2011 vastgelegd in een Nederlandstalig kennisdocument. De ervaring met de apparatuur en de data is nog beperkt en verspreid over RWS, Deltares, Universiteit Utrecht, Universiteit Wageningen, Aqua Vision BV en Nortek BV. Maar over de mogelijkheden en onmogelijkheden van de golf ADCPs is eigenlijk geen discussie. De gedeelde mening van de ervaringsdeskundigen is: vooral meer inzetten en iedere inzet evalueren, waarbij de grenzen van de techniek niet geschuwd hoeven te worden.

Golf ADCP zijn ingezet voor meerdere projecten waaronder een windmolenpark, de uitbreiding van haven van IJmuiden, onderzoek naar windgolven en scheepsgolven in de Westerschelde en in het Amelanders zeeget voor het SBW project.

RWS heeft op dit moment nog geen ADCP's ingezet als on line operationele golfmeter. De vaste ADCP 's die nu al operationeel draaien bij de stroommeetpalen van de Maasmond en de IJmond kunnen ook golfhoogte en golfrichtingsinformatie leveren. De grootste uitdaging daarbij zit niet in de beschikbare techniek, maar in de beperkingen van het Landelijk Meetnet Water en de daarin gebruikte hardware en software bouwstenen voor zowel aansturing van sensoren, datatransport als dataopslag.

3.5.17 Golven- puntstroommeters en de PUV methode

Bij puntstroommeters als golfmeter is er internationaal niets nieuws onder de zon. De sensoren worden vooral ingezet in ondiep water.

Status in Nederland

In Nederland wordt gewerkt aan het operationeel krijgen van het uitvoeren van golfmetingen met een puntsstroommeter en een PUV algoritme (S4 van InterOcean). Dit betreft zowel reguliere golfrichting metingen (vergelijkbaar met een Directional Waverider) als golfreflectie metingen op harde constructies.

3.5.18 Golven – dataverwerking golfboeien

De golfboeien van Datawell zijn één van de standaardmethoden voor golven van RWS. Onlangs is naar aanleiding van kennisontwikkeling van een aantal golfmeettechnieken (GolfADCP en PUV methoden) ook de standaardgolfverwerkingsmethode van RWS tegen

het licht gehouden die is opgenomen in het verwerkingspakket WAVES en het Standard Waves Analysis Pakkage SWAP¹.

Door zowel Datawell als door Deltares wordt betoogd dat er met een meer geavanceerde aanpak dan de gebruikelijke vier coëfficiënten methode (A1, B1, A2, B2) nog betere golfrichtingsinformatie verkregen zou kunnen worden. Dit verdient nadere aandacht op een moment dat de SWAP en WAVES software aan een update toe is.

3.6 Samenvattend advies meetmethoden waterkwantiteit.

Waterstanden meten kan nauwkeurig plaatsvinden met vliegtuigen, maar is ook kostbaar. De inzet is daarom interessant als een volledig ruimtelijke beeld gewenst is waarvoor het reguliere meetnet niet gedetailleerd genoeg is en de opzet van een gedetailleerd meetnet te kostbaar word. Een typisch voorbeeld zijn de hoogwaterpieken. Maar vaak zijn er ook specifieke waterstanden waarbij de hydrodynamische situatie sterk veranderd zoals het moment van overstromen van kribben of uiterwaarden of het moment dat een nevengeul gaat meestromen van een nevengeul. Met name de effectiviteit van ingrepen in de rivier kan beter beoordeeld worden als er een gedetailleerd beeld van het wateroppervlak is. Deltares adviseert om de methode in ieder geval standaard in te zetten bij studies rond ingrepen in de rivieren. Het zal wel noodzakelijk zijn om ervaring op te doen met de aangeboden informatie, de verwerking en interpretatie. Een pilot om deze ervaring op te doen kan worden uitgevoerd in het kader van één van de ruimte voor de rivieren projecten (wellicht ligt er al data op de plank)

Voor afvoeren ligt de focus van RWS de komende tijd op het bepalen van extreme afvoeren. Voor die toepassing zijn een aantal technieken genoemd. De methoden die veel extra informatie kunnen opleveren over de stroming zijn de rivierradar en de camera's. Maar voor beide methoden zijn de grenzen niet duidelijk. Deltares beveelt aan om direct in gesprek te gaan met ervaringsdeskundigen en leveranciers over de bruikbaarheid van de methoden met een specifieke locatie als uitgangspunt, bij voorkeur Lobith of iets stroomafwaarts te hoogte van Pannerdse kop vanwege het belang van deze locatie.

Het bepalen van extreme afvoeren geschied vooral met modellen die gevoed worden door metingen van extremen. Deltares beveelt dan ook te zorgen voor samenhang tussen de meet ontwikkelingen en de ontwikkeling in de hydrodynamische modellen door de modelleers op te nemen in het proces om de extreme afvoeren te bepalen.

Op het gebied van golven raden is het advies om geen nieuw onderzoek naar technieken op te starten, maar vooral de focus te leggen op het veelvuldig inzetten en evalueren van de nu voorhanden zijnde (en goed bevonden) nieuwste technieken: incoherente navigatie radar en golfADCP.

Op dit moment worden de hydraulische randvoorwaarden voor golven op de rivieren niet gevalideerd aan de hand van metingen om die tot voor kort ontbraken. Het ontbreken van golfmetingen maakt het bepalen van de (veranderende) belasting van oevers en ander delen van het watersysteem en de waterflora en fauna door scheepvaartgolven redelijk onzeker. Meer ervaring met het continue meten van golven en daaruit verkrijgen van bruikbare informatie voor de rivieren is nodig. Daarbij kan begonnen worden met uitdragen van de gegevens van de golfmeters bij de Measlantkering (de enige rivierlocatie voor golfmetingen)

1. Deze Engelse titel insinueert dat de methode wereldwijd gebruikt wordt. De methode wordt echter alleen door RWS gebruikt en voor enkel boeien van derden op de Noordzee die data door leveren aan RWS.

en deze op bruikbaarheid te evalueren met meerdere potentiële gebruikers van golfdata van de rivieren.

Voor de parameters stroming is een duidelijke hiaat in de informatie voorziening ten aanzien van ruimtelijke stroming bij RWS. Daarin wordt nu voorzien met modellen en in sommige gevallen met de navigatieradars. Gezien de potentie van de HF VHF en UHF radars adviseren we om op z'n minst een kennisdocument van deze techniek te laten op stellen zodat de mogelijkheden en onmogelijkheden van de techniek beter bekend zijn binnen RWS.

Tevens wordt geadviseerd om aanzet te maken met een (statistische) methode voor het bepalen van ruimtelijke informatie inhoud van puntmetingen en ruimtelijk dekkende metingen voor de parameters stroming en golven. Daardoor zal een objectieve keuze mogelijk worden bij het inzetten van verschillende technieken.

Daarnaast zou meer aandacht besteedt kunnen worden aan de inzet van kleine en goedkoper instrumenten en dan vooral in een multisensor opzet vanuit flexibele platforms. Dit kan gestimuleerd worden via het Corporate Innovatie Programma van RWS onder het thema meten, en uitgezet worden bij universiteiten en surveybedrijven.

3.7 Verwerking van waterkwantiteitsgegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet beschreven. Er hier staan een aantal items genoemd.

Datafusie.

Vaak is een meting met één enkel instrument of van één enkele bron niet voldoende voor het leveren van de gewenste informatie zelfs al gaat het maar om één parameter zoals een waterstand. Datafusie is dan de beste oplossing. Maar het vergt wel parate kennis van het combineren van meetdata met modellen en meetdata met meetdata van verschillende kwaliteit. Die parate kennis is niet zomaar overal voor handen.

Om het tijpoort programma Protide nauwkeurig te maken is het nodig om volledige 2D spectra op meerdere locaties op de Euro - Maasgeul beschikbaar te hebben met een voorspelhorizon van minimaal 48 uur en maximaal 10 dagen (conclusie uit het overleg tussen RWS DVS, Charta Software, HMC en Deltares op 28-8-2012) De belangrijkste eerste verbetering zou bestaan uit het toeleveren van een deiningsrichting i.p.v. een gemiddelde golfrichting. Protide wordt op dit moment gereed gemaakt (september 2012) om ook om te kunnen gaan met invoer van 2D spectra.

Lopende projecten
Ontwikkeling kengetallen
Rapportage zeespiegelstijging

3.8 Overdracht van waterkwantiteitsgegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet beschreven.

4 Technische innovaties bieden verbetering in bepaling waterkwaliteit

4.1 Informatiebehoefte waterkwaliteit

De informatiebehoefte voor waterkwaliteit zoals door RWS geformuleerd (RWS, 2012), bestaat uit een component chemie en een component biologie.

Algemene informatiebehoefte chemie

De behoefte aan informatie over waterkwaliteit (chemie) is de laatste jaren gewijzigd en afgenomen. Zo veranderde met de invoering van de Kaderrichtlijn Water de systematiek voor normtoetsing en daarmee veranderden ook de waterkwaliteitgegevens die voor toetsing nodig zijn. Bovendien zijn inmiddels alle grote emissies (puntbronnen vanuit industriële lozingen (bijv. fosfaten en zware metalen)) gesaneerd. Daarmee is de waterkwaliteit zo verbeterd dat intensieve bewaking van de kwaliteit niet altijd en overal meer nodig is. En technische ontwikkelingen in het laboratorium maken het mogelijk om bijna alle relevante stoffen in water te meten in plaats van alleen maar in zwevend stof, wat overigens niet betekent dat de behoefte aan metingen in zwevende stof komt te vervallen.

Toetsing aan de wettelijke waterkwaliteitsnormen en de internationale rapportages voor OSPAR, EURATOM, TMAP en de riviercommissies vormen verreweg de grootste vragers naar waterkwaliteitsinformatie. De informatie die hiermee beschikbaar komt, dekt over het algemeen ook de behoefte uit de overige primaire processen. In een enkel geval is de landelijke informatievoorziening (MWTL) onvoldoende specifiek in tijd en ruimte, met name waar het projecten betreft. De informatiebehoefte beperkt zich niet alleen tot oppervlaktewater, maar vraagt ook monitoring in sediment en biota.

Algemene informatiebehoefte biologie

De grootste informatievraag voor de landelijke informatievoorziening (MWTL) volgt uit de toetsing aan wettelijke waterkwaliteitsnormen, de internationale rapportages door de Waterdienst, en het kunnen evalueren en opstellen van beheerplannen. Ondergrens van de informatiebehoefte waterkwaliteit zijn de wettelijke eisen waaraan RWS moet voldoen. Daar bovenop komen: het evalueren van de effectiviteit van maatregelen op waterlichaamniveau, het evalueren van het eigen gebruik, politiek-bestuurlijke afspraken, dienstverlening aan het publiek, en referentie voor planvorming en beheer en onderhoud.

Zowel voor biologie als voor chemie bestaat het streefbeeld van de informatievoorziening voor waterkwaliteit uit twee componenten. Enerzijds een stabiel rompnets dat is ontworpen op de wettelijk eisen en internationale rapportages. Anderzijds een flexibele schil waarin, in aanvulling op de landelijke informatievoorziening (MWTL), tijdelijk vaker en op meer locaties projectmatig wordt gemeten.

Overig

Wat niet genoemd wordt in de documenten is onderwatergeluid. Dit is een parameter die de KRM als parameter voor een gezond ecosysteem meeneemt. In dit hoofdstuk (paragraaf 4.4.11) zal kort aandacht besteed worden aan de ontwikkelingen omtrent onderwatergeluid.

Met behulp van de informatiestrategie wordt de informatiebehoefte vertaald naar een meetplan. De informatiestrategie wordt in 2012 verder ontwikkeld.

4.2 Informatiestrategie waterkwaliteit

Zoals uit paragraaf 4.1 duidelijk werd, wordt de informatiebehoefte van RWS bepaald door normen die in verschillende wetgevingen (zoals OSPAR en KRW) opgesomd zijn. Monitoring voor deze verschillende informatievragers verschilt van elkaar in tijd, frequentie, ruimtelijke spreiding etc., hoewel er ook overlap bestaat (i.e. een meting voor bijvoorbeeld OSPAR-vrachten kan samenvallen met chemische monitoring voor normtoetsing conform KRW). In deze paragraaf wordt kort omschreven welke informatievragers (meestal wetgevingen) wat voor informatie nodig heeft en hoe frequent (voor zover mogelijk in te vullen):

Watermanagement - planvorming

- Voor het opstellen van beheerplannen zijn chemische en biologische gegevens nodig. Voor chemie: eens per zes jaar de (getoetste) waterkwaliteit in de wettelijk vastgestelde waterlichamen en de ontwikkeling daarvan in de voorgaande periode(s). In het voor dat beheerplan maatgevende jaar wordt per waterlichaam vierwekelijks gemeten.
- IJsselmeer, Markermeer, IJmeer en Oosterschelde vertonen een autonome neerwaartse trend (krimpende populaties van aangewezen soorten). Daarvoor is het nodig ieder jaar vierwekelijks in hoge ruimtelijke dichtheid verschillende waterkwaliteitsparameters te meten. Voor de bemonstering kan gebruik worden gemaakt van bestaande MWTL-meetpunten. Daarnaast zijn voor de ANT en NMIJ projecten extra meetpunten ingericht, waarin alleen voor project-relevante informatie hoeft te worden verzameld. Dit gebeurt deels met andere technieken dan voor MWTL worden gebruikt (continu-metingen met YSI's aan meetpalen, remote sensing, ruimtelijke surveys).

Monitoring en informatie-uitwisseling

- Voor de OSPAR/KRM is inzicht nodig in de toestand van het mariene milieu voor biodiversiteit, eutrofiëring en gevaarlijke stoffen onder andere voor de periodieke quality status reports. In zeegebieden waar (potentieel) eutrofiëringsverschijnselen optreden dienen jaarlijks met voldoende ruimtelijke spreiding gedurende het groeiseizoen algen, waterplanten en bodemdieren bepaald te worden..
- Het is de ambitie van DG-MARE om de hele Noordzee te monitoren, gebruikmakend van een geïntegreerde, effectieve en efficiënte strategie voor alle landen om de Noordzee. Ambitie is om hierbij de meest innovatieve technieken en sensoren in te gaan zetten. Daarvoor moet de huidige monitoringsstrategie van Nederland geoptimaliseerd worden.
- Het OSPAR-verdrag verplicht lidstaten te rapporteren over de vrachten van verontreinigende stoffen die via rivieren het mariene milieu bereiken.
- TMAP: Trilateraal samenwerkingsverband tussen Duitse, Deense en Nederlandse overheden ter bescherming van de Waddenzee. Eens in de vier jaar verschijnt het Quality Status Report (QSR) over de toestand en trends (ruimtelijk en temporeel) van

de kwaliteit van het water, sediment en biota op het Wad. Voor het opstellen van QSR's is het nodig om periodieke monitoring van eutrofiëring en gevaarlijke stoffen uit te voeren. Voor chemische waterkwaliteit is TMAP geënt op het meetprogramma van OSPAR (strategie, stoffen, compartimenten, doelstelling).

- Normtoetsing KRW: RWS is wettelijk verplicht de chemische en biologische waterkwaliteit te beoordelen en te rapporteren aan de Europese commissie (KRW, Waterwet). Bij een onvoldoende waterkwaliteit moeten er maatregelen getroffen worden en dient het effect ervan gerapporteerd te worden.
- Trendmonitoring sediment en/of biota: artikel 3 van de richtlijn prioritare stoffen (EG, 2008) stelt dat lidstaten regelingen treffen voor de analyse van langetermijntendensen met betrekking tot de concentraties van de in deel A van bijlage I vermelde prioritare stoffen die de tendens hebben te accumuleren in sediment en/of biota. De lidstaten stellen de meetfrequentie in sediment en/of biota zodanig vast dat zij voldoende gegevens voor een betrouwbare analyse van langetermijntendensen oplevert. Als richtsnoer geldt dat de monitoring elke drie jaar wordt uitgevoerd, tenzij technische kennis en het oordeel van deskundigen een andere tussenpoos rechtvaardigen. Nederland heeft er voor gekozen om deze trendmonitoring in biota uit te voeren. In 2012 is in binnenwateren alleen nog waterbodem gemonitord op meetpunt Steenberg.
- Europese regelgeving schrijft voor de bacteriologische kwaliteit op zwemwaterlocaties te monitoren voor alle officieel aangewezen zwemlocaties. Het gaat hierbij om bacteriologie en plaagalgen.
- Drinkwaterproductie: Europese regelgeving schrijft voor dat oppervlaktewater dat wordt gebruikt voor de productie van drinkwater aan bepaalde chemische en biologische (bacteriologie, chlorofyl) kwaliteitseisen moet voldoen.
- Het Euratomverdrag (1957) bepaalt dat lidstaten radiochemie in het milieu moeten monitoren en rapporteren. Het verdrag stelt dat radiochemische parameters gemeten moeten worden die de natuurlijke achtergrondwaarde kunnen verhogen. In het meetplan 2011-2015 is ervoor gekozen radiochemische parameters te meten op de belangrijkste in- en uitstroomopeningen en in zee.
- Systeemkennis. De Waterdienst heeft het initiatief genomen om, als onderdeel van de uit te werken informatiestrategie (par. 1.2), tot een bruikbare invulling van het begrip systeemkennis te komen en het vervolgens te kunnen gebruiken voor het verder optimaliseren van de meetnetten. Belangrijke vragen daarbij zijn: over welke mate van systeemkennis dient RWS te beschikken, levert dat een specifieke informatiebehoefte op die niet wordt gedekt door de informatiebehoefte zoals die tot nu toe is gespecificeerd, en heeft dit consequenties voor de data-inwinning? In 2012 wordt met Deltares en Imares en de Regionale Diensten een voorstel uitgewerkt. Dit voorstel (product) omhelst een stappenplan informatiestrategie en een access-tool die helpt bij prioritering en bundeling van informatievragen. In deze tool kan systeemkennis als vraag worden opgevoerd om leemtes in het pakket van de overige vragen te inventariseren. Systeemkennis is in deze benadering geen primair meetdoel. In het stappenplan wordt (bestaande) systeemkennis onder meer gebruikt bij het meetnetontwerp, bijv. voor representatieve locatiekeuze of de relatie tussen informatievraag en meetfrequentie.

Vergunningverlening en handhaving

- Waterwet emissie-immisietoets: Getoetst moet kunnen worden of een lozing effect zal hebben op de algehele waterkwaliteit. Om die effecten te beoordelen, moet de algemene meerjarige kwaliteit van het oppervlaktewater bekend zijn (de zogenaamde achtergrondconcentratie). Het is niet effectief om alle potentiële te lozen stoffen op voorhand structureel te bemonsteren. Daar waar het routinematige meetnet tekort schiet, kan incidenteel worden bij gemeten op specifieke locaties of stoffen.
- Opsporen van onbekende emissies en nieuwe probleemstoffen geschiedt via een periodieke kwalitatieve screening van al opgewerkte monsters. Uit die screening komt een top 15 van stoffen die vervolgens op alle locaties in het landelijk meetnet kwantitatief worden gemeten. De locaties zijn zo gekozen dat de belangrijkste in – en uitstroomopeningen en innamepunten voor drinkwater zijn gedekt.

Beheer, onderhoud en ontwikkeling

- Verzilting en stratificatie. Bij een combinatie van een hoge zeewaterstand en lage rivierafvoer, kan ver landinwaarts verzilting optreden. Daarom wordt in zes waterlichamen in Zuid Holland wordt de saliniteit real time bepaald met vaste meetopstellingen (14 stations). Enerzijds om met gerichte maatregelen (spuien, beïnvloeding waterverdeling) de zouttong terug te dringen. Anderzijds om drinkwaterbedrijven en landbouw te kunnen waarschuwen. Verder worden (vnl. in Zeeland) verticaalmetingen uitgevoerd voor stratificatie en saliniteit. In de Noordzee worden verticaalmetingen uitgevoerd gericht op stratificatie
- Beheertaken zoals maaien, peilbeheer, of reparatie van dijkbekleding, vragen informatie over flora en fauna. Er is daarom een basisbehoefte aan kwalitatieve informatie over beschermde soorten in MWTL.
- Voor monitoring van de effectiviteit van (KRW-)maatregelen wordt er in MWTL kwalitatieve informatie over beschermde soorten opgeslagen. Indien er behoefte is aan kwantitatieve gegevens dan dient dat via projectmonitoring tot stand te komen.

Uit politiek-bestuurlijke overwegingen wordt soms besloten tot chemische monitoring terwijl analyseresultaten daarvoor geen directe aanleiding vormen en de gegevens ook niet meer worden gebruikt in het primaire proces van RWS. Voorbeelden zijn metingen naar aanleiding van calamiteiten, of politieke besluiten over het herstel van het getij in de Grevelingen. Deze metingen vervallen op termijn. Voorbehoud hierbij is wel dat, indien de resultaten van de metingen hiertoe aanleiding geven, de metingen opgenomen kunnen worden in MWTL. Projectmonitoring kan immers leiden tot nieuwe inzichten, die ook vanuit landelijk perspectief belangrijk kunnen zijn.

Lopende projecten over informatiestrategie waterkwaliteit

KPP Optimalisatie Monitoring Noordzee (OPTIMON), waaronder Roadmap innovatieve monitoring waterkwaliteit kustzone NZ.

KKP Informatiestrategie waterkwaliteit, waaronder het genoemde stappenplan monitoring.

4.3 Meetstrategie waterkwaliteit

Een meetstrategie dient ervoor om de informatiebehoefte zo goed mogelijk te voeden. Dit houdt in dat de informatiebehoefte/informatiestrategie eisen stelt aan die meetstrategie. Deze eisen bevatten onderwerpen als type parameter, frequentie van metingen, mate van ruimtelijke spreiding, interactie met modellen etc. Een optimale meetstrategie beantwoordt zo veel mogelijk vragen (beter, sneller) tegen zo laag mogelijke kosten. Momenteel staan vooral de kosten sterk in de belangstelling. In paragraaf 4.2 is de huidige informatiebehoefte geformuleerd. Een goede meetstrategie zou echter tevens de basis moeten leveren voor toekomstige (onvoorspelde) vragen, die nu niet in de informatiebehoefte gedefinieerd zijn. Juist voor dat laatste aspect biedt monitoring die is gericht op systeembegrip de beste kansen vanwege het brede aspect (i.e. kijken naar vele parameters en rekening houden met tijd en ruimte).

Tabel 4.i Vertaling van Informatievraag naar meetstrategie

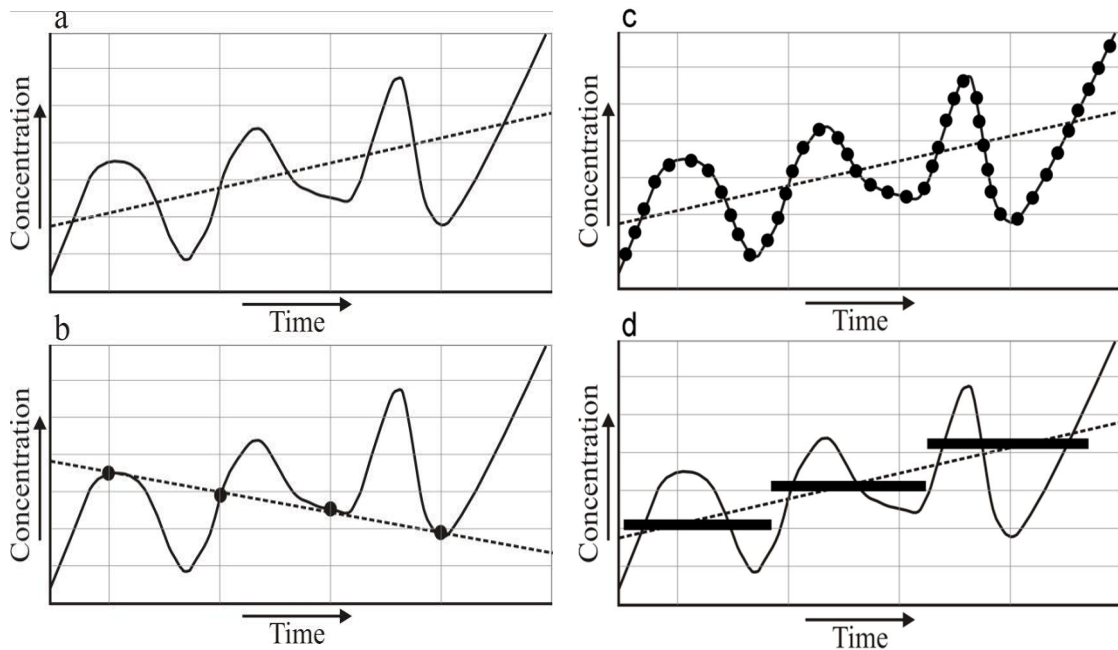
Informatievraag	Parameter	Frequentie	Locatie
Beheerplannen	Chemie: normtoetsing conform KRW	Vierwekelijks eens in de 6 jaar (Bij overschrijding norm volgt onderzoeksmonitoring)	Elk KRW-waterlichaam
	Biologie: landelijke monitoring N2000 gebieden op vis, vogels, waterplanten, oeverplanten, kweldervegetatie, zeezoogdieren, zeegras, bodemdieren	Vierwekelijks eens in de 6 jaar	Elk KRW-waterlichaam
OSPAR/KRM/TMAP	Chemie: nutriënten, PAK, PCB, TBT, gebromeerde vlamvertragers, zware metalen, radiochemie, vrachten	Nutriënten en algemene parameters hoogfrequent. Sediment 1x per 3 jaar. Chemische stoffen in biota: 1x per jaar. Vrachten: maandelijks.	Kust, zee en uitstroom van rivieren
	Biologie: algen, waterplanten, bodemfauna	Jaarlijks, m.u.v. algen (frequenter in groeiseizoen)	Kust en zee
Normtoetsing KRW	Chemie: normtoetsing conform KRW	Eens in de 6 jaar, met frequentie van 4-12 keer per jaar	Elk KRW-waterlichaam
	Biologie: vissen, oeverplanten, waterplanten, macrofauna, kwelders en fyto-benthos, algen	vissen, oeverplanten, waterplanten, macrofauna, kwelders en fyto-benthos eens per 3 jaar. Algen jaarlijks (groeiseizoen)	Elk KRW-waterlichaam
Zwemwaterrichtlijn	Bacteriologie en (blauw-) algen	Tweewekelijks tijdens zwemseizoen.	Alle zwemwater-locaties

		Drijfslagen algen: wekelijks (ook evt toxines) Gewenst: real- time	
Drinkwater	Bacteriologie, chlorofyl	maandelijks. Gewenst: real-time	Drinkwaterlocaties
Euratom	radiochemie	Minimale verplichting nakomen.	?
Emissie –en immissietoets	Toxische stoffen algemeen ter bepaling van achtergrondconcentraties	Bij voorkeur regelmatig en langdurig, maar hoogfrequent is niet nodig.	Zo verspreid mogelijk in NL
Onbekende emissies en nieuwe probleemstoffen	Onbekende stoffen	Screeningsonderzoek (signalering), frequentie niet relevant.	Zo verspreid mogelijk in NL
Verziltting en stratificatie	Zout en temp	Wens: Real-time	Diepe wateren en overgangswateren
Beheertaken	Flora en fauna	Zeër laag frequent	
Effectiviteit maatregelen	Beschermde soorten	Zeër laag frequent	Bij maatregelen
systeembegrip	Basisparameters, zoals pH, O ₂ , nutriënten, chlorofyl, doorzicht, zwevend stof, DOC, temperatuur(stratificatie), alkaliniteit, zout, etc.	Alleen zinvol als hoogfrequent wordt gemeten.	Geselecteerde voor NL representatieve locaties

Uit bovenstaande tabel blijkt dat een groot deel van de monitoring plaatsvindt vanwege verplichte rapportages. Deze monitoring draagt niet altijd bij aan een goed begrip van de waterkwaliteit. De gebruikelijke (tweewekelijkse tot maandelijks) meetfrequentie in het waterkwaliteitsmeetnet van Rijkswaterstaat is niet per se representatief voor de periode tussen twee bemonsteringen in. Hierdoor is de onzekerheid over het verloop van de concentraties tussen monsternamen erg groot. De lage meetfrequentie heeft ook grote gevolgen voor de betrouwbaarheid van vrachtschattingen.

In Figuur 4.1 wordt geïllustreerd welke gevolgen deze onzekerheid kan hebben voor de interpretatie van de meetgegevens. Figuur a en b laten zien hoe een opwaartse trend ten onrechte kan worden geïnterpreteerd als een dalende trend. Figuur c en d geven twee mogelijke oplossingen voor dit probleem; de meetfrequenties verhogen of gemiddelde concentraties meten.

In het geval van steekmonsters is het verhogen van de meetfrequentie echter erg duur (bemonstering, transport, analyse). Er zijn echter ook alternatieve meettechnieken waarmee concentraties (semi-) continue gemeten kunnen worden. Enkele van deze technieken (sensoren) worden al ingezet bij Lobith, Bimmen en Eijsden. Ook kan gebruik gemaakt worden van *ships of opportunities*. Deze optie kan variëren van een *ferry box* die op een schip meevaart en volledig geautomatiseerd is, een tot een surveyor die op een schip meevaart (dat toch vaart), monsters neemt voor nadere analyse en op het schip eenvoudige metingen uitvoert.



Figuur 4.1 Een stijgende trend (figuur a) kan door een te lage frequentie ten onrechte worden geïnterpreteerd als een dalende trend (figuur b). Mogelijke oplossingen zijn het verhogen van de meetfrequenties (figuur c) en het meten van gemiddelde concentraties (figuur d).

Naast het slimmer meten in het huidige meetnet, is het ook zinvol om te kiezen voor locaties waar een minimale verplichting wordt nagekomen, maar tegelijkertijd voor investering op locaties waar acute vragen (bescherming van recreanten, aquacultuur, drinkwater) moeten worden beantwoord en om systeembegrip te vergroten. Vooral voor dat laatste is het zinvoller om op een kleiner aantal locaties intensief te meten en dat te extrapoleren naar locaties waar minder wordt gemeten.

Voor die locaties waar intensief gemonitord gaat worden is het van belang om integraal te meten en te modelleren. In Singapore gaat binnenkort het project NEPTUNE van start. Dit project bestaat uit een combinatie van 8 (onbemande) meetplatforms waar zoveel mogelijk in situ / on site wordt gemeten en waar ter validatie monsters worden genomen die in een lab kunnen worden geanalyseerd. Verder wordt er met *remote sensing*-beelden gewerkt. Tegelijkertijd wordt een model opgesteld. De metingen dienen als validatie van de modelberekeningen, maar met de modelberekeningen kunnen de metingen worden geëxtrapoleerd. Dat kan er toe leiden dat meetlocaties worden verplaatst of dat de meetfrequentie wordt aangepast.

Bovenstaande betekent het invullen van de informatiebehoefte door binnen de voorgestelde kaders (kennis van het natuurlijke systeem, kennis en innovatie van meetstrategie en kennis van bewezen meettechnieken te integreren) te komen tot de juiste meetgegevens en informatie, zodat de informatiebehoefte kan worden ingevuld.

Dit betekent dat innovatie gericht moet zijn op (a-d):

a) kennis van de voor de informatiebehoefte van belang zijnde chemische en biologische processen in het natuurlijk systeem die de waterkwaliteit beïnvloeden (bijvoorbeeld inzet waterkwaliteitsmodellering en zicht op de sediment-oppervlaktewater processen).

b) kennis en innovatie in meetstrategie (o.a. combinatie modellen-monitoring, efficiëntere bemonstering, passende inzet van instrumenten die de meetfrequentie verhogen of gemiddelde concentraties meten en het combineren van meetlocaties)

c) kennis van sterkten en zwakten van bewezen meettechnieken en dus zicht op specifieke toepasbaarheid (besef van accuracy, precisie en analogie; hoe wordt er bewaakt dat verkregen meetgegevens vergeleken kunnen worden, bijvoorbeeld bij gevarieerde systeemcondities; brak vs zout en bij gebruik van verschillende methoden; remote sensing vs in-situ sensor vs laboratoriumanalyse)

d) integratie van deze kennis tot een algehele aanpak die slimmer en kosteneffectiever de informatiebehoefte beantwoordt.

Voor het geregeld toetsen van de algehele aanpak of verandering van de wettelijke kaders, veranderingen van het natuurlijk systeem en innovatie in meettechnologie en innovatie in meetstrategie is niet een wijziging in de aanpak vereist.

4.4 Meetmethoden en –technieken waterkwaliteit

Uit de laatste alinea van paragraaf 4.3 volgt dat metingen ten behoeve van waterkwaliteit slimmer en sneller moeten zonder dat er aan betrouwbaarheid van data ingeboet wordt. De afgelopen twee decennia heeft er wereldwijd veel werk plaatsgevonden om *in situ* instrumenten te ontwikkelen die sneller resultaten opleveren dan de ‘klassieke’ methodieken (i.e. steekmonsters nemen in het veld en analyses uitvoeren in het lab). Deze *in situ* instrumenten voor metingen in het veld kunnen in 3 categorieën worden ingedeeld: *In situ* sensoren, passive sampling en auto-analysers. Hieronder zullen ze alle drie worden besproken.

4.4.1 In situ sensoren

Beschrijving

Voor veel chemische-fysische parameters zijn sensoren en ion-selectieve elektrodes (meten specifieke ionen) beschikbaar. De meest gebruikte sensoren zijn die voor temperatuur, algenpigmenten en troebelheid. Ion-selectieve elektrodes zijn beschikbaar voor bijvoorbeeld pH, geleidendheid, redox condities, zuurstof, NO₃, NH₄, Ca, Na, K, Cl en Mg. Er zijn vele apparaten op de markt die zijn uitgerust met één of meerdere sensoren en/of ion-selectieve elektrodes (ISE's). Op het meetponton in de Rijn bij Lobith, bijvoorbeeld, wordt gebruik gemaakt van enkele sensoren voor het meten van de pH, geleidendheid (EC), troebelheid en de O₂-concentratie.

Sensoren en ion-selectieve elektrodes geven een praktisch continu meetsignaal. In een vaste meetopstelling kunnen ze daardoor een zeer gedetailleerd beeld opleveren van de variabiliteit van de waterkwaliteit. Sensoren en ion-selectieve elektrodes doen hun metingen direct in het water. Er is geen monsternamen, transport en analyse meer nodig, wat de kans op onnauwkeurigheden en verontreinigingen kleiner maakt.

Ervaringen

Een nadeel van sensoren en ion-selectieve elektrodes is dat ze erg onderhoudsgevoelig zijn. De relatie tussen het elektrische of analoge signaal van de elektrode en de concentratie van de te meten stof blijft niet constant en moet door middel van kalibraties en justering regelmatig worden gecorrigeerd. Zelfs bij een eenvoudige geleidendheidssensor kan door aangroei in productief water al na drie weken een afwijking van meer dan 10% worden gemeten. Aangroei en -slag van bijvoorbeeld algen of ijzeroxides zorgt ervoor dat de sensoren en elektrodes in vaste meetopstellingen regelmatig moeten worden schoongemaakt of zelfs vervangen. Door deze onzekerheden is er minder vertrouwen in de uitslagen van ion-selectieve elektrodes dan die van de gestandaardiseerde laboratoriumapparatuur. Dit is niet altijd terecht gezien de grote fouten die ook tijdens monsternamen, -transport en -analyse kunnen optreden (bijv. Harmel et al., 2006; Rode & Suhr, 2007).

Technology readiness

Vooraf in oppervlaktewater met een variërende zoutconcentratie, zoals estuaria, kunnen ISE elektroden zeer afwijken, omdat variaties in de zoutconcentratie van het medium het transport over de membraan beïnvloedt. Optische meters kunnen overigens ook beïnvloed worden door andere factoren zoals humuszuren op fluorescentiemeters bijvoorbeeld.

Sensoren: wereldwijd wordt hier veel mee gewerkt om verschillende parameters te meten. Sensoren zijn niet nieuw voor RWS. Hoewel veel sensoren op de markt verkrijgbaar zijn is hun inzet in buitenwater niet altijd even betrouwbaar en dient daarvoor onderzoek plaats te vinden om te zien of deze voldoet aan het beoogde doel. Het is raadzaam om niet de gegevens van de fabrikant te volgen, omdat de opgegeven meetnauwkeurigheid geldt bij perfecte omstandigheden en de variatie in kalibratie, onderhoudsfrequentie of matrix niet is inbegrepen.

4.4.2 Passive sampling

Beschrijving

Er zijn vele varianten passieve samplers waarmee voor veel chemische stoffen tijdsgeïntegreerde concentraties in water gemeten kunnen worden. Huckins et al (2006) en Greenwood et al (2007) geven een uitgebreid overzicht over de werking en de (on-) mogelijkheden van passieve samplers. Enkele voorbeelden van veel toegepaste passieve samplers zijn de SPMD (Semi Permeable Membrane Device), de Chemcatcher (Empore-disk) en siliconenrubbers. Figuur 4.2. laat de praktische uitvoering zien van passieve sampling siliconenrubber-samplers in een beschermende kooi. Opnamesnelheid van passieve samplers wordt bepaald door de diffusie snelheid door de waterige grenslaag aan het sampleroppervlak waardoor de sampler in principe een virtueel volume water extraheert: de "samplingrate". De sampling rate is nagenoeg gelijk voor alle stoffen en neemt slechts licht af als de moleculen groter worden, d.i. de diffusie coëfficiënt lager wordt (Rusina et al 2010). De opname door diffusie maakt verder dat alleen vrij opgeloste chemische stoffen worden opgenomen of geadsorbeerd. Dit maakt passieve samplers zeer geschikt voor de ecologische risicobeoordeling van met name apolaire verontreinigingen, want opname concentraties in organismen zijn ook vaak aan de vrij opgeloste concentraties gerelateerd.



Figuur 4.2 Het neerlaten van een passieve sampler kooi met daarin siliconenrubber passieve samplers

Er zijn twee belangrijke hoofdtypen passieve samplers. Partitie samplers en adsorptie samplers:

- **Partitie samplers** zijn samplers waarin de opgenomen chemische stoffen, hydrofobe stoffen, oplossen totdat evenwicht is bereikt tussen de concentratie in de sampler en in het omringende water. Als dat is gebeurd kan uit de opgenomen concentratie de vrij opgeloste concentratie in water worden bepaald met behulp van de verdelingscoëfficiënt die vooraf in het lab zijn gemeten (Smedes et al 2009). Voor sterk hydrofobe stoffen is de verdelingscoëfficiënt hoog en zal geen evenwicht worden bereikt. Dan is het nodig om de

samplingrate te gebruiken voor de berekening van de concentratie in de waterfase. Deze samplingrate hangt af van de waterbeweging rond de sampler omdat die de proporties van de waterige grenslaag bepaald. Om daarvoor te corrigeren worden performance reference compounds (PRC's) aan de sampler gedoseerd. PRC's zijn stoffen in dezelfde K_{ow} range als de doelstoffen maar komen niet voor in het milieu en de sampler zal deze dus afgeven tijdens de blootstelling. Omdat de processen voor de afgifte van de PRC's en opname van de doelstoffen gelijk zijn (dezelfde sampling rate hebben) kan uit de afgifte van gedoseerde stoffen kan worden vastgesteld (gekalibreerd) hoeveel water is bemonsterd. De parameters en methodes nodig voor die berekeningen zijn bekend (Smedes et al 2009, Rusina et al 2010, Booij en Smedes 2011).

Partitie samplers werken tijdsintegrerend (tijdsgeïntegreerd) voor doelstoffen die tijdens de bemonsteringsperiode geen evenwicht bereiken. Fluctuaties in concentratie worden dan wel in het gemiddelde meegenomen maar tijdstip en hoogte van de fluctuatie blijft uiteraard onbekend. Hoogfrequente steekmonsters bieden daarvoor (nog afgezien van de hoge kosten) een uitkomst omdat die meestal voldoende gevoelig zijn. Verder is de gangbare frequentie van steekmonsters niet vaak hoger dan eenmaal per maand. Een bemonsteringsperiode van een maand is een heel geschikte periode voor passieve sampling en sluit daar goed op aan.

- **Adsorptie samplers** zijn samplers die sorptie materiaal bevatten waaraan de te meten chemische stoffen adsorberen (oppervlaktebinding). Deze samplers worden geacht geen evenwicht te bereiken door de hoge bindingscapaciteit van het adsorptiemateriaal en daarmee geschikt voor tijd geïntegreerde bemonstering. Nadeel is dat door de hoge bindingscapaciteit de samplingrate niet kan worden bepaald uit de afgifte van gedoseerde stoffen zoals bij partitie samplers. Ook is het opname proces, diffusie door de verschillende barrières (grenslaag, membraan, het sorptie bed), van adsorptie samplers nog niet goed begrepen waardoor er geen grip is op de samplingrate (Harman et al 2011). Wel is gebleken dat met behulp van dit type samplers, stoffen in het water worden gedetecteerd die met steekmonsters niet zijn waargenomen.

Een voordeel van passieve samplers is dat een grote hoeveelheid water wordt bemonsterd en de matrix zoveel mogelijk achterblijft. Bij een vloeistof extractie van een volume even groot als bemonsterd door de passieve sampler zou mee geëxtraheerde matrix waarschijnlijk de analyse bemoeilijken. Ten opzichte van een steekmonster kan met dezelfde analyse methode een hogere gevoeligheid (lage detectielimieten) worden bereikt voor veel chemische stoffen. Dat alleen de vrij opgeloste chemische stoffen worden gemeten is een voordeel voor ecologische risicobeoordelingen, maar vrij opgelost is niet geschikt voor de schattingen van totaalvrachten. Voor vrachtschattingen in de grote rivieren zouden passieve samplers kunnen worden toegepast in combinatie met een 'sedimentval' (sediment trap) voor een tijdsgeïntegreerde bemonstering van zwevend stof. In getijde gebieden is het uiteraard niet eenvoudig daar de netto vracht van particulier materiaal uit af te leiden.

Ervaringen met passieve samplers

Er lopen meerdere projecten, niet enkel in Nederland (RWS maar ook 11 waterschappen) maar ook internationaal (Engelse kust, Rhone estuarium, Baku Bay en Mangrove project in Singapore).

De RWS projecten² zijn:

- passieve sampling in relatie tot monitoring bestrijdingsmiddelen (contactpersoon WD: Dennis Kalf)
- passieve sampling als vervanger van monitoring in biota (contactpersoon WD: John Hin)

² Deze zijn enkel meten en portefeuilles.

- doorontwikkeling passive sampling voor polaire stoffen (contactpersonen WD: Marcel Kotte en Sander van Vliet)

Technology readiness

Voor hydrofobe stoffen wordt passive sampling al sinds 2001 door RWS toegepast (Smedes 2007). Er is al veel validatie onderzoek verricht en calibratie parameters bepaald voor veel stoffen. Toepassing van silicone rubber samplers in een internationaal ringonderzoek (Smedes et al. 2007a,b,c) gaf zeer bemoedigende resultaten (ook voor sediment overigens). Tussen laboratoria was de variatie niet slechter dan bij gangbare ringonderzoeken. Een validatie tav de juistheid voor alle stoffen is niet eenvoudig omdat vaak geen anderen methoden zijn die meten wat met passive sampling wordt gemeten. Alleen met de lichtere PAKs, HCHs, en sommige alkylfosfaten is een calibratie mogelijk. Een milieuchemische validatie –aantonen dat het resultaat gerelateerd is aan concentraties in biota – maakt de metingen met passive sampling een relevante maat voor de waterkwaliteit. Qua Technology readiness zit passive sampling voor hydrofobe stoffen daarom op niveau inzetbaar (Lohman et al 2012), zeker afgezet tegen de huidige metingen in steekmonsters die vaker niet dan wel een resultaat geven. Ondertussen de methodes verder uitontwikkelen (invloed temperatuur en saliniteit) om de kwaliteit verder te verbeteren.

TRL 8

T.a.v. vrachten kan de methode de berekening daarvan alleen ondersteunen. Voor de samplers bedoeld voor polaire organische stoffen geldt dat deze al toepasbaar zijn voor screening maar doorontwikkeling nodig is om de kwantitatieve mogelijkheden te verbeteren. Waarschijnlijk routinematig inzetbaar binnen 10 jaar.

TRL 6

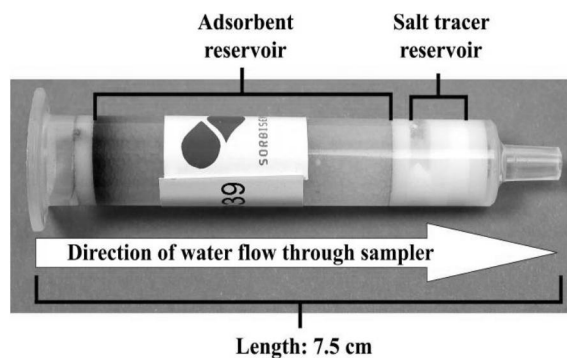
4.4.3 Sorbicells

Voor nutriënten kan een gemiddelde concentratie over langere tijd worden bepaald door gebruik te maken van SorbiCells. SorbiCells zijn door het Deense bedrijf SorbiSense ontwikkeld (De Jonge & Rothenberg, 2005). Bij variërende concentraties leveren gemiddelde concentratiemetingen veel betere vrachtschattingen op dan die via enkele steekmonsters (momentane metingen) in conventionele bemonstering (Rozemeijer et al., 2010b). Voor zover bekend zijn SorbiCells nog niet toegepast in brak of mariene condities.

De SorbiCell is een doorstroomcel of kolom met daarin een adsorbent reservoir en een tracer reservoir waar het te bemonsteren water langzaam doorheen stroomt (zie Figuur). De stroming wordt bijvoorbeeld bewerkstelligd door een vacuüm reservoir via een weerstand capillair te koppelen aan de uitgang van de kolom. Terwijl het monster door de SorbiCell sijpelt, wordt de te meten stof vastgelegd in het adsorbent reservoir en lost de tracer, een zout met een bekende oplosbaarheid, deels op. Na de bemonsteringsperiode wordt de SorbiCell gewisseld en meegenomen naar het laboratorium. Hier wordt de te meten stof geëxtraheerd uit het adsorbent en het extract geanalyseerd. Dit levert de totale hoeveelheid (massa) van de stof in het bemonsterde water op. Aan de hand van de gewichtsafname van de hoeveelheid tracer wordt het volume van het bemonsterde water vastgesteld. Uit deze twee getallen (massa en volume) wordt een gemiddelde concentratie in het bemonsterde water over de installatieperiode berekend. Er zijn nog geen toepassingen in zout water bekend. De aanwezigheid van zout kan de adsorptie van het sorbent beïnvloeden maar ook de oplosbaarheid van de tracer kan afnemen.

De SorbiCell is geen passive sampler maar neemt stoffen op uit water dat door advectieve stroming door de sampler stroomt. Dit principe is geschikt voor het meten van gemiddelde concentraties in water met variabele concentraties.

SorbiCells geven geen tijdsprofiel van de concentratie zoals sensoren en auto-analysers (zie beneden) dat wel kunnen. SorbiCells zijn echter veel eenvoudiger op veel locaties te installeren en er is geen elektriciteit nodig. De analysekosten van SorbiCell metingen zijn vergelijkbaar met de analysekosten voor steekmonsters. De particuliere fractie die wordt meegenomen bij de SorbiCell metingen is afhankelijk van de poriegrootte van het filter bij de instroomopening (links in Figuur). De poriegrootte zou kunnen worden gevarieerd en daarmee de fractie die de SorbiCell in kan wordt meegenomen in de meting. In de praktijk zal dat anders uitpakken omdat zodra deeltjes op het filter achterblijven er ook steeds meer kleinere deeltjes zullen worden tegengehouden.



Figuur 4.3 Basiscomponenten van een SorbiCell

Ervaringen

Toepassing in projecten en tal van toepassingen bij waterschappen

Technology readiness

Validatie-onderzoek is nog een belangrijk punt bij deze techniek. Qua Technology readiness zit dit daarom op niveau "Ontwikkeling", maar wel inzetbaar binnen 10 jaar (niet Sorbisense). TRL 7.

4.4.4 On site analyses: Auto-analysers

Beschrijving

Er komen voor steeds meer chemische stoffen auto-analysers op de markt. Auto-analysers kunnen on-site watermonsters voorbereiden en vervolgens analyseren. Er kunnen in autosamplers ook destructiemethoden worden toegepast (verhitting, zuur toevoegen) wat de analyse van totaalconcentraties mogelijk maakt. De Phosphax Sigma van Hach Lange (Figuur 4.5) doet bijvoorbeeld na verhitting een titratie en daarna een kleurmeting om totaal-P concentraties te meten. De Sigmatax (links van de Phosphax in Figuur 4.5) zorgt voor de monsternamen en de monstervoorbereiding met ultrasone trillingen. Voor zover bekend is de Phosphax nog niet toegepast in zout water.

Auto-analysers worden nu vooral ingezet voor industriële toepassingen (proceswater) en bij waterzuiveringsinstallaties. In enkele wetenschappelijke studies zijn ze ook toegepast in oppervlaktewater (Jordan et al., 2007; Rozemeijer et al., 2010a). Het gaat hier dan om volautomatische auto-analysers (niet automatische varianten (analyse na sampling) worden al ongeveer 50 jaar ingezet in milieuonderzoek). Auto-analysers kunnen zeer goede (semi-) continue meetreeksen opleveren zonder dat er veel tijd nodig is voor kalibratie en/of onderhoud. Veel auto-analysers hebben een reinigingsroutine en een ijkingsroutine waardoor ze vaak wekenlang autonoom kunnen doormeten. Het pompsysteem van auto-analysers kan overigens wel verstopt raken. Het is een voordeel dat de monsters direct na de monsternamen

geanalyseerd worden. Er is daardoor nauwelijks kans op verontreiniging of chemische verandering tijdens de monsternamen en monstertransport.

De aanschafprijs van auto-analysers ligt tussen de 10.000-50.000. €. De meeste auto-analysers meten één of twee chemische stoffen. De auto-analysers moeten worden geïnstalleerd in een beschermde omgeving met elektriciteit. Evenals bij de autosamplers en de sensoren/ion-selectieve elektrodes is er kans op uitval van de apparatuur door stroomstoringen of elektronische defecten.



Figuur 4.5 De Hach Lange Phosphax (rechts) en Sigmatax (links) in een meetcontainer boven de Hupselse beek tussen Groenlo en Eibergen.

Ervaringen

Aquatische onderzoeksinstituten (universiteiten, NIOZ, NIOO) maken veelvuldig gebruik van auto-analysers voor het meten van vooral nutriënten. De ervaringen hiermee van die instellingen zijn goed.

Technology readiness

Auto-analysers worden wereldwijd veel gebruikt, vooral in de industrie en bij universiteiten en onderzoekslaboratoria en kunnen als operationeel geclassificeerd worden. Bij aanschaf van een auto-analyser kan er niet meteen gemeten worden maar dient er eerst geijkt te worden. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de hierboven beschreven voor- en nadelen van de verschillende alternatieve technieken voor waterkwaliteitsmetingen.

TRL -9

Tabel 4.ii Overzicht van meettechnieken en hun voordelen en nadelen (uit: Van Gils et al. 2011 en aangepast)

Techniek	Principe	Voordelen	Nadelen	Inzetbaar in alle watertypen ?
Steek-monsters	Conventionele monsternamen, analyse in laboratorium	+ veel ervaring en standaardisatie + analyse op veel chemische stoffen mogelijk uit dezelfde monster	- momentopname - monsternamen, transport en analyse tijdrovend en duur - kans op verontreiniging / chemische veranderingen bij monsternamen, transport en analyse	Ja
Auto-samplers	Geautomatiseerde monsternamen in carrousel	+ hogere meetfrequentie mogelijk + debietproportionele bemonstering mogelijk + analyse op veel chemische stoffen mogelijk met standaard methoden	- Hoge meetfrequentie = veel monsters = hoge kosten - Kans op verontreiniging / chemische veranderingen tussen monsternamen en analyse - Kans op uitval ivm techniek / elektronica - Ook transport van monsters noodzakelijk (dus even hoge kosten als steekmonsters) - Specifieke kennis voor bediening en onderhoud/repatriatie nodig - Regelmatig onderhoud nodig	Ja
Sensoren en ion-selectieve elektrodes	Elektrisch signaal evenredig met parameter / concentratie	+ continue meetsignaal + geen kosten voor analyse + directe meting, geen verontreiniging i.v.m. monsternamen en –transport	- Relatief hoge startkosten (aankoop + installatie) - Regelmatig onderhoud nodig (schoonmaken/ijken) - Kans op uitval i.v.m. techniek / elektronica - alleen opgeloste chemische stoffen meetbaar	Ja
Auto-analysers	Geautomatiseerde on-site monsternamen en analyse	+ zeer hoge frequentie mogelijk + geen kosten voor analyse + directe meting, geen verontreiniging i.v.m. monsternamen en –transport + voor veel chemische stoffen mogelijk (opgelost/particulair)	- Relatief hoge startkosten (aankoop + installatie) - Kans op uitval i.v.m. techniek / elektronica - Specifieke kennis voor bediening en onderhoud/repatriatie nodig - Regelmatig onderhoud nodig - Analysecapaciteit beperkt (in tijd en aantal parameters dat tegelijk gemeten kan worden)	Ja, maar bijvoorbeeld voor Phosphax is dit onbekend

Techniek	Principe	Voordelen	Nadelen	Inzetbaar in alle watertypen ?
Passive Samplers	Opname door partitie / gemiddelde concentratie-meting	+ bijdrage van variërende concentraties wordt geïntegreerd, beter dan momentopnames + lage detectielimieten + directe meting, geen verontreiniging tijdens monsternamen en –transport + sterke relatie met beschikbaarheid voor organismen	- opnamesnelheid verschilt per stof - opnamesnelheid afhankelijk van stroomsnelheid, temperatuur, speciatie; correctie door middel van Performance Reference Compound (PRC) - niet mogelijk voor particuliere chemische stoffen / totaalconcentraties	Ja
SorbiCells	Gemiddelde concentratie-meting	+ gemiddelde concentraties geven betere vrachten dan moment opnames + geschikt voor variërende concentraties in stilstaand of stromend water. + zonder verdere voorzieningen op veel plaatsen toepasbaar (boei of paal nodig) + directe meting, geen verontreiniging i.v.m. monsternamen en –transport	- Geen concentratie tijdsprofielen - Beperkt mogelijk voor particuliere chemische stoffen / totaalconcentraties - Of de analysekosten vergelijkbaar met steekmonsters is Deltares onbekend.	Niet in zoute milieu's

4.4.5 Remote sensing: het verzamelen van gegevens van het aardoppervlak door middel van bijvoorbeeld satellieten, luchtballonnen en schepen.

Toepassing van remote sensing voor waterkwaliteit is meestal het bepalen van chlorofyll-concentraties en gesuspendeerd materiaal in water door middel van satellietbeelden. Een voorbeeldproject is Resmon-OK ('Ocean color' remote sensing). Bij Deltares kan hierover meer informatie worden ingewonnen bij Meinte Blaas. Andere voorbeelden zijn CoBios (in dit EU project wordt een voorspellingssysteem gemaakt voor algen langs de kust waarbij in een combinatie van modellen en remote sensing de parameters chl-a, totaal zwevend stof en licht (K_d) bepaald wordt) en MOS² (monitoren van zwevend stof als gevolg van baggerwerkzaamheden waarbij, net zoals bij CoBios, gebruikt wordt gemaakt van de combi modellen en remote sensing (opdrachtgever havenbedrijf Rotterdam)). Hoewel het niet helemaal met waterkwaliteit te maken heeft, is remote sensing in het verleden ook ingezet om uiterwaardvegetatiedata te verzamelen en automatisch te analyseren, ten behoeve van cyclisch beheer in riviertrajecten. Geerling (2008) gebruikte een combinatie van een spectrale sensor (Compact Airborne Spectrographic Imager (CASI)) en een Light Detection and Ranging (LIDAR) sensor om lichtreflectie van vegetatie (via de CASI) te koppelen aan de 3D

structuur (via de LIDAR) van diezelfde vegetatie. Hierdoor verbeterde de classificatie van hydraulisch belangrijke klassen (ooibos, struweel) aanzienlijk en bleek de vegetatiestructuur in de schaduw van bomen of struweel herkenbaar te zijn. In getijdegebieden wordt remote sensing ook ingezet om bijvoorbeeld vegetatiestructuren en –biomassa, sedimentkarakteristieken (korrelgrootte, hoeveelheid modder) en microfytobenthos te meten (van der Wal et al. 2008a,b).

Status in Nederland

Vooraf toegepast op Noordzee door onderzoeksinstituten als VU-IVM, NIOO, NIOZ en Deltares. Daarbij wordt vooral naar de ruimtelijke verspreiding van chlorofyl, temperatuur, zuurstof, zwevend stof, troebelheid en zoutconcentratie (Laane 2012), maar ook vegetatie, sediment en bodemchlorofyl in estuaria kan onderzocht worden (van der Wal et al. 2008a,b). In het EU project REVAMP (REgional VALidation of MERIS chlorophyll Products in North Sea coastal waters) is een atlas gemaakt van de chlorofyl-a concentratie in de Noordzee (Peters et al. 2005). De chlorofyl-concentratiebeelden die het IVM vervaardigt op basis van satellietbeelden zoals hierboven beschreven, worden door de Waterdienst van Rijkswaterstaat gebruikt om het algenbulletin te vervaardigen. Dit komt tweemaal per week uit en fungeert als waarschuwingdienst, op basis waarvan bijvoorbeeld de Oosterscheldekering kan worden gesloten om de mosselculturen in de delta te beschermen. Dit product is inmiddels operationeel. In binnenwateren is remote sensing beperkt tot IJsselmeergebied (als het gaat om algen) omdat bij kleine waterlichamen er teveel interferentie is van de omliggende landvegetatie.

Technology Readiness level

Bewezen technologie maar nieuwe data moeten wel steeds gekalibreerd en gevalideerd worden met data in het veld (zie voor een suggestie de WISP hieronder). TRL 9

4.4.6 qPCR (Quantitative Polymerase Chain Reaction)

Determinatie en kwantificering van (micro)-organismen op basis van DNA. Door specifiek voor een bekend stukje DNA van organismen een primer en probe combinatie te maken is het mogelijk om die organismen op te sporen en te kwantificeren. qPCR wordt al jaren succesvol toegepast binnen de Life Sciences. Momenteel wordt deze methodiek ook gebruikt in de drinkwatersector en wordt er gekeken of het voor zwemwatercontrole (bacteriologie, blauwalgen) bruikbaar is. De techniek kan specifiek worden ingezet voor elk gewenst (groep van) organismen en heeft een detectiebereik dat uiteenloopt van enkele tot vele miljarden individuen per monster.

De monsternamen en verwerking gebeurt momenteel nog 'klassiek' in een laboratorium, maar er wordt gekeken of het niet *on site* kan (in Nederland staat Deltares daar voor aan de lat). Indien DNA gegevens gecombineerd worden met diverse milieuparameters, zoals temperatuur en nutriënten, dan kunnen er ook voorspellingen over bijvoorbeeld blauwalgenbloei gedaan worden omdat de milieuparameters bepalen of genen tot expressie komen of niet (BE-Basic project uitgevoerd door UvA en NIOO opgestart in 2012). Dit is vooral van belang bij het screenen van toxine-genen. De combinatie van detecteren toxine-genen en informatie over milieuparameters geeft aan of de dragers van deze genen over zullen gaan tot daadwerkelijke toxine-productie (of juist niet, bijvoorbeeld als er wel toxine-genen gedetecteerd zijn maar de temperatuur is nog laag en weersvoorspellingen laten zien dat die niet zal toenemen dan is de kans op toxine-productie niet hoog). Dit is betere informatie dan enkel het meten van toxines zelf omdat het daarmee onbekend blijft hoe de situatie over een aantal dagen zijn zal (dus als er weinig toxines aanwezig zijn maar de temperatuur zal gaan stijgen dan lopen zwemmers de komende dagen risico's).

Status in Nederland

Voor detectie van blauwalgen werken in Nederland de Universiteit van Amsterdam, Deltares en KWR in verschillende projecten met qPCR. De meeste waterbeheerders en commerciële laboratoria doen nog geen qPCR. Dit is enerzijds waarschijnlijk vanwege financiële overwegingen, en anderzijds omdat het nog niet ingebed is in het Blauwalgenprotocol of Zwemwaterrichtlijn. Wel is er bij diverse commerciële laboratoria interesse in gebruik van qPCR.

Technology Readiness level

qPCR is een bewezen technologie en in Nederland ook operationeel in diverse laboratoria.

TRL 8

De technologie voor *on site* qPCR is bewezen in het lab, maar nog niet getest met buitenwater. TRL 7

4.4.7 Environmental DNA (eDNA)

Met behulp van eDNA kan de aanwezigheid van organismen in het water worden vastgesteld aan de hand van het DNA dat door organismen in het water is achtergelaten via urine, faeces, en huidcellen. Met de methode kan gericht worden gezocht naar de aanwezigheid van een of enkele specifieke soorten, of een brede screening worden gemaakt van alle in het water aanwezige soorten. De methode wordt toegepast (door RAVON) om moeilijk vindbare organismen te traceren. RWS (Gerrit Vossebelt en Mervyn Roos) volgt deze ontwikkeling met belangstelling, vooral om te zien of het een alternatief kan zijn voor het huidige passieve meetnet voor vissen. Het huidige passieve meetnet ligt momenteel stil vanwege dioxineverordeningen. eDNA kan als een alternatief (innovatieve techniek) dienen ter vervanging van het passieve meetnet door watermonsters te nemen en deze te screenen op vis-DNA. Hierdoor krijgt men inzicht in de soortensamenstelling wat van belang is voor invulling van de KRW-maatlat voor vis. eDNA kan op alle organismen toegepast worden. Voor RWS is eDNA daarom niet enkel belangrijk voor het vismeetnet maar bijvoorbeeld ook voor het meetnet bodemdieren (macrofauna). Zo kan er op de Klaverbanken niet met de standaard-tools (bodenhappers en/of HAMON-scheppen) bemonsterd worden omdat deze kapot gaan in de grindbodem. Monsters nemen voor eDNA zou hier een uitkomst kunnen bieden.

Status in Nederland

eDNA in Nederlandse wateren wordt op dit moment uitgevoerd door RAVON vooral voor het opsporen van zeldzame of moeilijk te vangen soorten.

Technology Readiness level

Bewezen technologie. Om het voor RWS behoeften operationeel te maken is er nog onderzoek nodig. Het DNA in het water heeft een bepaalde levensduur van ongeveer drie weken. Uitgezocht moet worden welke factoren hierop met name van invloed zijn. Te denken valt aan mate van irradiatie, zuurgraad van het water (of zijn er verschillen tussen waterlichamen met veenbodem en waterlichamen met zandbodem op DNA-afbraak?), UV-intensiteit en temperatuur (bijvoorbeeld in de buurt van koelwaterlozingen). Ook zou er gekeken moeten worden of het haalbaar is om levensstadia en geslachten te onderscheiden met eDNA, en in hoeverre dichtheden van de soort kunnen worden bepaald aan de hand van aanwezige hoeveelheid DNA.

TRL 8

4.4.8 Water Insight SPectrometer WISP

De WISP (ontwikkeld door Water Insight) is een hand-held instrument waarmee oppervlaktewaterkwaliteit gemeten kan worden. In het instrument zijn drie spectrometers samengebracht (WISP-3) waarmee de kleur van het oppervlaktewater kan worden vastgelegd en waarmee vervolgens via algoritmische berekeningen de waterkwaliteit kan worden bepaald. Parameters die het water 'kleuren', zoals algen, slib, humuszuren etc worden door de WISP gedetecteerd en concentraties ervan worden berekend. Labanalyse is niet nodig volgens Water Insight. Deltares adviseert echter om altijd monsters te verzamelen van locaties waar de WISP is ingezet zodat eventuele afwijkingen gecorrigeerd kunnen worden.

Status in Nederland

Hoewel het hier gaat om een meetinstrument dat in Nederland door een Nederlands bedrijf is ontwikkeld, wordt het vooral in het buitenland toegepast. Zo wordt de WISP-3 momenteel ingezet in het EU FP7 onderzoeksproject FRESHMON om de atmosferische en radiometrische correctie van MERIS-beelden te verbeteren. De WISP-3 slaat hiermee een brug tussen in situ metingen en satellietdata, want beide meten exact dezelfde spectra, maar de WISP-3 is (volgens Water Insight) nauwkeuriger omdat die geen last heeft van de atmosfeer. In Nederland vinden metingen met de WISP enkel plaats bij onderzoeksinstellingen. Volgens Water Insight willen Nederlandse waterbeheerders eerst kijken wat de resultaten en voordelen zijn die de Nederlandse onderzoeksinstellingen met de WISP bereiken alvorens ze zelf ermee aan de slag gaan.

Technology Readiness level

Bewezen technologie en operationeel. TRL 8

4.4.9 Watertemperatuur met glasvezel

Glasvezelkabels kunnen dienen als temperatuursensor. Door de kabel rond bijvoorbeeld een paal te wikkelen kan een zeer gedetailleerd verticaal profiel van de temperatuur verkregen. Door de kabels als een patroon te weven bijvoorbeeld over de bodem of in de waterkolom kan een ruimtelijk beeld (2D en 3D) gecreëerd worden van de temperatuur. Ook kan deze techniek ingezet worden om kwel te volgen (verschil in temperatuur tussen oppervlaktewater en grondwater).

De data verzameling en uitgifte kan real-time plaatvinden.

De methode met kabels is duurder en kwetsbaarder dan de gewoonlijke kleine temperatuursensoren en dient dan ook met name als aanvulling op het reguliere meetnet van RWS op die locaties waar sterke behoefte aan 2D en/of 3D informatie is.

De verkregen temperatuurdata uit glasvezel kan ook dienen voor het volgen van de bodemligging, zie hoofdstuk 5.

Status in Nederland

De techniek is toegepast in de Vlietlandplassen bij Leidschendam door het Hoogheemraadschap Rijnland en Deltares, voor een project van RWS bij de spuiscuizen van Kornwerderzand (IJsselmeerzijde) en bij het building with nature project in het IJsselmeer voor de Friese kust.

Technology readiness

Voor het volgen van de temperatuur van het open water is deze techniek inmiddels ingezet en bruikbaar gebleken op enkele locaties. Prototype operationeel TRL 7.

4.4.10 Watertemperatuur met infrarood camera's

Als een indruk van een 2D verdeling van temperatuur aan het wateroppervlak nodig is kan gebruik gemaakt worden van infrarood camera's.

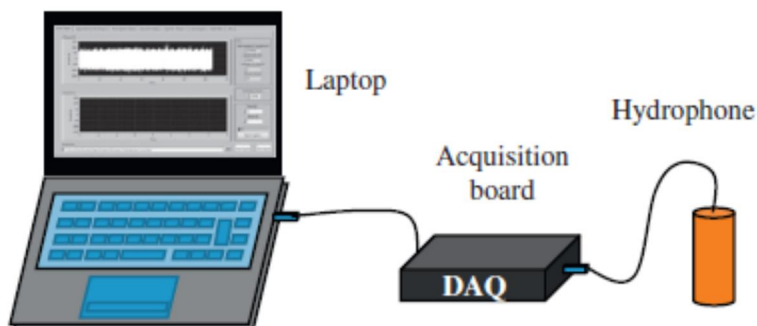
4.4.11 Onderwater energie (geluid)

Er zijn definities voor twee vormen van onderwater energie, namelijk impulsief onderwatergeluid en continu onderwatergeluid. Tot nu toe hebben internationale discussies zich vooral gericht op het eerste. Er is echter nog steeds geen goede norm gevonden waarboven men kan spreken van een significante impact op het mariene leven. Discussies in de EC Study Group richten zich momenteel op de volgende onderwerpen:

- Hoe kunnen geluidsmetingen en eenheden gestandaardiseerd worden?
- Hoe kunnen geluidsniveaus vertaald worden naar geluidsbronnenniveaus en hoe kunnen geluidsbronnenniveaus gemodelleerd worden naar receptorniveaus?
- Welke geluidsaspecten veroorzaken wat voor effecten in organismen en wanneer wordt een geluidsniveau significant hoog, uitgedrukt in eenheden die nodig zijn voor beslissingen binnen de EC?

Continu onderwatergeluid is nog geen onderwerp binnen de EC Study Group. In het algemeen spelen hier, net zoals bij impulsief onderwatergeluid, dezelfde vragen over meten en eenheden.

Voor het meten van onderwatergeluid bestaat geen specifiek monitoringsprogramma. Geluid wordt gemeten bij aanleg van projecten, zoals windmolenparken. Er is momenteel ook geen gestandaardiseerde methodiek voor het meten van onderwatergeluid, hoewel er vanuit de EC Study Group vorderingen op dit vlak te verwachten zijn. Voor het meten van onderwatergeluid wordt normaliter gebruik gemaakt van hydrofoons. Deze zetten geluidsgolven (die ze ontvangen op een membraan) om in een analoog elektriciteitssignaal. Dit signaal gaat op zijn beurt weer naar een data-acquisitie unit waar het digitaal wordt omgezet en leesbaar wordt op een computer (Figuur 4.7).



Figuur 4.7 Instrumentele opzet voor het meten van onderwatergeluid (uit Pizzuti et al. 2012).

Status in Nederland

Deltares heeft beperkte kennis van het meten van onderwatergeluid. Meer informatie kan ingewonnen worden bij Renee Dekeling van Defensie en bij Frans Peter Lam van TNO Defensie. Beiden richten zich vooral op effecten van sonar aan boord van marineschepen op zeedieren. Verder zou informatie ingewonnen kunnen worden bij Prof Dr. Simons van de TU Delft, die weliswaar zich richt op het gebruik van onderwater akoestiek voor het meten van bodemligging maar mogelijk ook kennis heeft van meettechnieken ten behoeve van effecten op zeedieren.

Technology readiness level

Hydrophones zijn een bewezen technologie en volledig operationeel TRL 9

4.4.12 Gelaagdheid en mixing in zoet-zout water- stappenbaak

Informatie over gelaagdheid in zout en zoet water in de kustzone en rivieren en kanalen die spuien of schutten op zout of brak water is van belang voor de bepaling van zoutindringing. Deze verdeling kan gemeten worden met series geleidendheidsmeters. Deze techniek is wijd verbreid en in allerlei vormen te krijgen, zoals een rij sensoren langs een kabel een paal of aan de binnenzijde van een buis.

Een recent idee van RWS is om te zien of de stappenbaak, een waterstandsmeter die werkt op basis van een serie geleidingssensoren, ook in te zetten is voor de bepaling van het geleidendheids profiel onder water. Deltares verwacht dat dit mogelijk is door aanpassing van de interne elektronica en beschouwt dit als een interessant idee van breder gebruik van een bestaande meetopzet (Bas Blok). De verwachting is wel dat met de aanpassing het niet meer mogelijk is de baak als waterstandsmeter in te zetten.

4.4.13 Gelaagdheid en mixing in zoet-zout water- ondersteuning door ADCP data

Gebrek aan informatie over stratificatie (gelaagdheid) en mixing wordt door Deltares aangeduid als één van de belangrijkste kennisleemten om de ontwikkeling van de toestand van de Noordzee te kunnen bepalen. Het zijn namelijk de parameters die bepalen hoe zout, sediment, nutriënten en ook algen zich verspreiden over de Noordzee. Om temperatuur en zoutgelaagdheid te bepalen worden verticale profielen genomen over raaien op de Noordzee. Deze verticale profielen zeggen echter weinig zonder dat de hydrodynamische omstandigheden bekend zijn. Daarvoor zijn stromingsprofielen nodig en bij voorkeur zelfs turbulentieprofielen. Deze worden bij benadering verkregen uit modellen, maar bij gebrek aan 3D modellering schieten deze nog tekort. Deze informatie kan aangevuld worden met ADCP metingen, hetzij vanaf schepen dan wel door meten op vaste locaties.

Technology readiness

ADCP's zijn volledig operationeel maar men dient goed de schaal van de gewenste informatie af te stemmen met de keuze van instrument. TRL 9 CTD's zijn operationeel. TRL 9

Status in Nederland.

Combinaties van ADCP's met geleidendheid profielen worden niet regulier ingezet, maar wel op projectbasis. In kader van het PUTMORE project door RWS Noordzee zijn bijvoorbeeld simultaan ADCP metingen vanaf een schip uitgevoerd met een ADCP op een gesleepte meetvis en geleidendheidsprofielen met een tweede ondulerende meetvis.

4.4.14 Monitoring microplastics

Kunststof zwerfafval blijken overal ter wereld in het water voor te komen. Vooral effluënten van rioolwaterzuivering bevatten veel van deze zogenaamde microplastics. In Europa bestaan momenteel geen monitoringsprogramma's die specifiek microplastics meten. Wel zijn er in een aantal landen onderzoeksactiviteiten opgestart waarin microplastics gemeten worden (bijvoorbeeld AS-MADE in België, Leslie et al. 2011). Omdat microplastics overal in kunnen gaan zitten en/of overal aan kunnen hechten moeten verschillende compartimenten bemonsterd worden (niet enkel het water zelf maar ook sediment en organismen). Nadat ze in het lab gescheiden zijn van de verschillende matrices, worden microplastics op massa en aantal per grootte-eenheid). Het is ook mogelijk na te gaan uit welk polymeer de gevonden microplastics bestaan. Dit gebeurt door middel van Fourier-Transform-Infrarood (FT-IR; alternatieve methode om infrarood spectra op te nemen) spectroscopie of RAMAN spectroscopie. De laatste heeft als voordeel t.o.v. de eerste dat kleinere deeltjes nauwkeuriger gemeten kunnen worden en minder monster voorbereiding vereist.

Technology readiness

Bewezen technologie voor zowel FT-IR als RAMAN spectroscopie. TRL 8

Status in Nederland

In Nederland hebben het IVM, TU Delft, WS Hollandse Delta en Deltares een verkennende studie naar microplastics uitgevoerd op monsters van de Noordzee met behulp van Raman spectroscopie en aangetoond dat microplastics overal in voorkwamen en waarschijnlijk voor een groot deel uit de cosmetica afkomstig zijn (Leslie et al. 2012).

4.5 Meetmethoden en –technieken waterbodembodemkwaliteit

Verschiedende methoden die zijn beschreven in de voorgaande paragrafen de bepaling van waterkwaliteit kunnen ook gebruikt worden voor de waterbodembodemkwaliteit. Dat geldt voor passieve sampling, qPCR, eDNA en de detectietechnieken voor microplastics.

Deze technieken zijn afhankelijk van sedimentmonsters. Er is wel geprobeerd om passieve samplers in het sediment te drukken, maar omdat de omstandigheden niet goed gecontroleerd kunnen worden, is de interpretatie van de meetdata zeer onzeker. Uitvoering in het laboratorium geeft wel prima resultaten, maar daarvoor moet wel langdurig (3-6 maanden) geschud worden. De andere genoemde methoden worden sowieso in het lab uitgevoerd. Het belangrijkste verschil is de opwerking van het monster. Naast de al benoemde methoden zijn er nog enkele methoden die zijn gebruikt voor het bepalen van sedimentkwaliteit.

4.5.1 Hand held XRF

Met een hand-held XRF kan in het veld in het veld het gehalte (zware) metalen in grond in mg/kg worden gemeten. Het is wel nodig om een monster te nemen. Vervolgens kan direct gemeten worden. Wel is de meting gevoelig voor het vochtgehalte, maar hiervoor kan gecorrigeerd worden (Walraven, 2007). In 2007 was het alleen mogelijk om met de mobiele XRF betrouwbaar Zn, Pb, Cu en As gehalten te meten in veldvochtige waterbodemmonsters, omdat voor de overige elementen de detectiegrens te hoog ligt. Deze techniek is vooral bruikbaar als snel gehalten voor zware metalen nodig zijn. Dit kan vooral interessant bij het bepalen van de omvang van de verontreiniging in sediment. De aanschaf van het instrument kost (incl. vochtmeter) ca. €35.000, maar de analyses kosten nagenoeg niets.

Technology readiness

Er is beperkte ervaring in sediment, maar die wijst er op dat het instrument voor een aantal elementen bruikbaar is. Voor droge bodem is het een geaccrediteerde techniek.

Status in Nederland.

Operationeel, algemeen gebruikt voor bodemonsters. TRL 9

4.5.2 Medusa “under water” sediment lab

Bij deze meetmethode wordt de samenstelling van de waterbodem bepaald op basis van meting van radionucliden: (40K, 238U, 232Th, 137Cs). Deze radionucliden zijn indicator voor textuur en verontreinigingen, maar de relatie moet wel eerst op basis van standaard analyses worden vastgesteld. Als relaties tussen radionucliden en verontreinigingen zijn aangetoond, kan de Medusa-techniek worden gebruikt om een vlakdekkende kaart te maken. De radionucliden worden gemeten met behulp van een sonde die over de waterbodem wordt gesleept. Het Medusa systeem is ingezet voor het in kaart brengen van de bodemsamenstelling en het slibgehalte

Technology readiness

Het systeem is operationeel en een aantal projecten gebruikt (www.medusa-surveys.com) TRL 9

Status in Nederland

Medusa Explorations is een Gronings bedrijf dat in de afgelopen 10 jaar voor diverse waterbeheerders heeft gewerkt, meestal ten aanzien van bepaling van slibdikte en textuur. Het bekendste voorbeeld waarin verontreinigingen zijn gekarteerd zijn, is het benedenrivierengebied (Koomans, 2003)

4.5.3 SOFIE

SOFIE is een systeem waarmee in wateren onverstoorde (en anders bodemonsters onder aerobe en condities kunnen worden gevolg. In de poriewatermonsters worden genomen die geanalyseerd kunnen worden. Een systeem is vooral nuttig om veranderende omstandigheden te volgen.

Technology readiness

Het system is operationeel en in een projecten gebruikt (zie www.sofie.nl) TRL

Status in Nederland.

SOFIE-cellen zijn ontwikkeld door Jos (Deltares) en bij de inzet van SOFIE-zinvol om met hem contact op te nemen.

Figuur 4.7 een SOFIE-cel



ondiepe
verstoorde)
anaerobe
tijd kunnen
verder
dergelijk

groot aantal
9

Vink
cellen is het

4.6 Advies

RWS wil weten of meettechnieken die ze nog niet gebruiken een goed alternatief zijn op huidige meettechnieken en wat de winst voor de verschillende informatievragers is over de inzet van die alternatieven ten opzichte van huidige meettechnieken. In tabel 4.3 worden de eerste twee kolommen van tabel 4.1 getoond en aansluitend zijn daarachter de huidige meettechnieken voor informatie-inwinning, alternatieven en winst van alternatieven versus huidige meettechnieken getoond. Voor de meeste informatievragers zijn er alternatieven die meestal leiden tot meer informatie maar niet tot kostensparing. Een enkele keer lijken de kosten ook lager te zijn maar dit is moeilijk te beoordelen omdat het type informatie dat de verschillende instrumenten opleveren anders kan zijn. Niet enkel nauwkeurigheid en/of betrouwbaarheid van metingen is belangrijk maar ook (juist) het inzicht in processen.

Tabel 4.3 Voorstel alternatieven op huidige meettechnieken behorende bij bestaande informatiebehoeftevragers. Een "-" betekent dat huidige meettechnieken of alternatieven niet van toepassing zijn.

Informatievraag	Parameter	Huidige meettechniek	Alternatief	Winst
Beheer-plannen	Chemie: normtoetsing conform KRW	Steekmonsters	Auto-analysers	Bij overschrijdingen norm kan er hogefrequentier gemeten worden
	Biologie: landelijke monitoring N2000 gebieden op vis, vogels, waterplanten, oeverplanten, kweldervegetatie, zeezoogdieren, zeegras, bodemdieren	Menselijke waarnemingen	Remote sensing tbv bijvoorbeeld vegetatie.	Sneller informatie en meer. Ook betere koppeling met andere data waardoor beter inzicht in processen.
OSPAR/KRM/TMAP	Chemie: nutriënten, PAK, PCB, TBT, gebromeerde vlamvertragers, zware metalen, radiochemie, vrachten	1. Nutriënten en algemene parameters: auto-analysers en/of sensoren. 2. Sediment: steekmonsters. 3. Chemische stoffen in biota/ sediment: steekmonsters	1. op termijn: SorbiCells. Ook: laserfluorescentie vliegtuigen voor chlorofyl en ruwe classificatie oliesoorten 2. - 3. Passive sampling	3. goedkoper en frequenter informatie
	Chemie: sediment	Steekmonsters + labanalyse	1. Vlakdekkend: radionucliden 2. steekmonsters + XRF	Meting goedkoper, beter vlakdekkend beeld
	Biologie: algen, waterplanten, bodemfauna	steekmonsters	Algen: on site qPCR	Real-time data en mogelijkheden om informatie uit te breiden (bijv potentiële toxiciteit)

				(nieuwe parameter!))
Normtoetsing KRW	Chemie: normtoetsing conform KRW	steekmonsters	Auto-analysers	Meer data
	Biologie: vissen, oeverplanten, waterplanten, macrofauna, kwelders en fyto-benthos, algen	steekmonsters	eDNA Hydrochip (kiezelwieren)	Sneller, completer beeld
Zwemwaterriethlijn	Bacteriologie en (blauw-) algen	Steekmonsters (voor celtellingen en chl)	qPCR, camera's (WISP)	Betrouwbaardere resultaten, goedkoper, nieuwe parameter (potentiële toxiciteit (PCR))
Drinkwater	Bacteriologie, chlorofyl	steekmonsters	On site auto-analysers of qPCR	Real-time data
Euratom	radiochemie	Nucleaire meettechnieken		
Emissie –en immissietoets	Toxische stoffen algemeen ter bepaling van achtergrondconcentraties	steekmonsters	-	
Onbekende emissies en nieuwe probleemstoffen	Onbekende stoffen	Screeningsonderzoek (op evt al bemonsterde monsters)	-	
Verziltiging en stratificatie	Zout en temp	ADCP en CTD's	-	
Beheertaken	Flora en fauna	nvt		
Effectiviteit maatregelen	Beschermde soorten	steekmonsters	eDNA	Grotere 'pakkans'
Systeem-begrip	Basisparameters, zoals pH, O ₂ , nutriënten, chlorofyl, doorzicht, zwevend stof, DOC, temperatuur (stratificatie, alkaliniteit, zout, etc.	Vaak nog met steekmonsters	Auto-analysers en/of sensoren, temperatuur-kabels	Correcte informatie inwinning waardoor de juiste stuurknoppen voor maatregelen geïdentificeerd worden

Bovenstaande tabel is moeilijk compleet te maken. Er zijn nog talloze andere technieken zoals de inzet van sonar voor visonderzoek (geen soorten onderscheid mogelijk, enkel dichtheden) en oester –en mosselbanken ('one sweep survey', zie paragraaf 5.4.2.1), Daarnaast vindt er op modelleringsgebied ook veel plaats (zoals het modelleren voor emissietoetsen, maar aangezien het hier over meettechnieken gaat zijn modellen buiten beschouwing gelaten).

Of voorgestelde alternatieve meetmethoden verder uitgewerkt moeten worden door RWS heeft o.a. te maken met het kunnen inzetten van de juiste methode op het juiste moment om zo de informatiebehoefte zo goed mogelijk te voeden. Pas daarna zou het kostenaspect (is alternatief goedkoper?) aan bod kunnen komen. Indien het alternatief duurder is dan de huidige methodiek dan dient nagegaan te worden of de winst van het alternatief (bijvoorbeeld een nieuwe parameter) opweegt tegen de extra kosten. Tenslotte dient opgemerkt te worden dat alternatieve technieken niet persé de huidige technieken kunnen vervangen. Huidige en alternatieve technieken kunnen en zullen complementair zijn aan elkaar. Zo kunnen bijvoorbeeld het vangen en meten van vis voor MWTL (actieve meetnet) en eDNA aan vis samen de KRW maatlat voor vissen invullen omdat daarin informatie gevraagd wordt over zowel dichtheden als aantal soorten. Onder de voorwaarde dat alternatief goedkoper moet zijn, volgt uit bovenstaande tabel dat passieve sampling bij OSPAR/KRM/TMAP en qPCR bij zwemwaterrichtlijn beter uitgewerkt zouden moeten worden. Voor passieve sampling kan voor de verdere ontwikkeling mogelijk voldoende informatie ingewonnen worden bij de projecten die nu lopen (zie paragraaf 4.4 onder “Passive sampling”). Passive sampling zal zich beperken tot met name apolaire stoffen en stoffen buiten KRW. Met de SorbiCell kunnen ook nutriënten worden bepaald.

Onderzoek aan qPCR t.b.v. zwemwaterkwaliteit heeft de afgelopen drie jaar inmiddels zijn meerwaarde bewezen en laten zien dat het betrouwbaar is. Een wens van RWS is om hier een on site tool voor te ontwikkelen. Deze bestaat in prototype al onder voorbehoud dat ze nog niet in buitenwater getest zijn. Hier zou onderzoek naar verricht kunnen worden, ook om te zien hoe het zich verhoudt t.o.v. de methode met nemen van steekmonsters. Voor de “duurdere” alternatieven (waar dus het argument geldt “weegt extra informatie op tegen extra kosten”) lijken vooral aquacultuur, drinkwater en effectiviteit maatregelen gebaat te zijn bij een nieuwe meetmethodiek. Ook voor de baggerindustrie is het belangrijk om nieuwe *in situ* methodieken te kunnen toepassen, zodat ze kunnen aangeven of hun werkzaamheden wel of niet tot verstoring van het milieu leiden. De informatievragers aquacultuur en drinkwater hebben behoefte aan real-time informatie vanwege gezondheidsrisico's en betere afstemming tussen optreden calamiteiten en daadwerkelijk werkzaamheden moeten stilleggen.

Met eDNA is er een grotere pak kans op zeldzame soorten. Bovendien kan eDNA als alternatief optreden voor het passieve meetnet voor vissen waardoor eDNA een techniek kan zijn die zowel inzetbaar is bij het meten van de effectiviteit van maatregelen zoals de KRW en Natura2000. RWS heeft inmiddels een positief gesprek gehad met RAVON over eDNA waarbij duidelijk werd dat eDNA o.a. een alternatief kan zijn voor het passieve meetnet voor vissen.

Systeembegrip kan sterk verbeterd worden als stratificatie goed bekend is (zowel zout- als temperatuurstratificatie). ADCP en temperatuurkabels bieden de mogelijkheid om dit beter in de vingers te krijgen. In het algemeen dragen alle methoden, die hogefrequentiemetingen of vlakdekkende metingen mogelijk maken, sterk bij aan systeembegrip.

Effecten van onderwatergeluid op zeedieren en welke bronnen hieraan bijdragen is naar ons weten nog niet goed onderzocht o.a. omdat nog niet bekend is welke meettechnieken hiervoor geschikt zijn. Dit zou in de vorm van een literatuurstudie onderzocht moeten worden.

4.7 Overdracht van waterkwaliteitsgegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet beschreven. Zie hoofdstuk 2 voor de algemene indruk.

Referenties

- Booij, K., Smedes, F., 2010. An improved method for estimating in situ sampling rates of nonpolar passive samplers. *Environ. Sci. Technol.* 44, 6789-6794.
- De Jonge, H., and G. Rothenberg. 2005. New device and method for flux-proportional sampling of mobile solutes in soil and groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, 39, 274-282.
- EG, 2008. RICHTLIJN 2008/105/EG inzake milieukwaliteitsnormen op het gebied van het waterbeleid. Geerling, G.W. 2008. Changing rivers: analysing fluvial landscape dynamics using remote sensing. Proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen, 190 pp.
- Greenwood, R., Mills G., and Vrana, B., (2007) Passive Sampling Techniques in Environmental Monitoring Volume 48, Pages 1-453: ISBN: 978-0-444-52225-2
- Harman, C. H, Allan, I., J., ; Bauerlein, P.S., (2011) The Challenge of Exposure Correction for Polar Passive Samplers— The PRC and the POCIS, *Environ Sci & Technol* 45, 21
- Harmel, R.D., R.J. Cooper, R.M. Shade, R.L. Haney, J.G. Arnold, 2006. Cumulative uncertainty in measured streamflow and water quality data for small watersheds. *T. ASABE* 49, 689-701.
- Huckins, J.N., Petty, J.D., Booij, K., 2006. Monitors of Organic Chemicals in the Environment: Semipermeable Membrane Devices. Springer, New York, p. 1-223
- Jordan, P., A. Arnscheidt, H. McGrogan, S. McCormick, 2007. Characterizing phosphorus transfers in rural catchments using a continuous bank-side analyser. *Hydrol. Earth Syst. Sc.*, 11, 372-381.
- Koomans, R. L., 2003, Amer, Merwede, Bergse Maas, Verontreiniging van de waterbodem, Medusa Project: 2002-P027.
- Laane, R., 2012. Roadmap for innovative monitoring of the water quality in the Dutch coastal part of the North Sea. I: vision and recommendations. Deltares-rapportnummer 1206240-000.
- Leslie, H., M. van der Meulen, F. Kleissen en D. Vethaak. 2011. Microplastic litter in the Dutch marine environment. Deltares rapportnummer 1203772-000.
- Leslie, H., M. Moester, M. de Kreuk & D. Vethaak. 2012. Verkennende studie naar lozing van microplastics door rwzi's. *H₂O* 14/15: 45-47.
- Lohmann, R., Booij, K., Smedes, F., Vrana, B., 2012. Use of passive sampling devices for monitoring and compliance checking of POP concentrations in water. *Environ. Sci. Pollut. Res.* DOI:10.1007/s11356-012-0748-9.
- Peters, S.W., M. Eleveld, R. Pasterkamp, H. van der Woerd, M. Devolder, S. Jans, Y. Park, K. Ruddick, T. Block, C. Brockmann, R. Doerffer, H. Krasemann, R. Röttgers, W. Schönfeld, P.V. Jørgensen, G. Tilstone, V. Martinez-Vicente, G. Moore, K. Sørensen, J. Høkedal, T.M. Johnsen, E.R. Lømsland, E. Aas, 2005. Atlas of Chlorophyll-a concentration for the North Sea based on MERIS imagery of 2003. ISBN 90-5192-026-1.-
- Pizzuti, L., C. dos Santos Guimarães, E. G. Iocca, P.H., Salles de Carvalho & C. Aparecida Martins. 2012. Continuous analysis of the acoustic marine noise: a graphic language approach. *Ocean Engineering* 49: 56-65.

- RWS, 2012 BIJLAGE bij DO-nat memo Actualisatie informatiebehoefte waterkwaliteit: geactualiseerde informatiebehoefte 2011 per primair proces, 5 april 2012.
- Rode, M., U. Suhr, 2007. Uncertainties in selected river water quality data. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 863-874.
- Rozemeijer, J.C., Y. Van der Velde, F.C. Van Geer, G.H. De Rooij, P.J.J.F. Torfs H.P., Broers, 2010a. Improving Load Estimates for NO₃ and P in Surface Waters by Characterizing the Concentration Response to Rainfall Events. *Environ. Sci. Technol.*, 44, 6305-6312.
- Rozemeijer, J.C., Y. Van der Velde, H. De Jonge, F.C. Van Geer, H.P. Broers, M.F.P. Bierkens, 2010. Application and evaluation of a new passive sampler for measuring average solute concentrations in a catchment-scale water quality monitoring study. *Environ. Sci. Technol.*, 44, 1353-1359.
- Rusina, T.P., Smedes, F., Koblizkova, M., Klanova, J., 2010. Calibration of silicone rubber passive samplers: experimental and modeled relations between sampling rate and compound properties. *Environ. Sci. Technol.* 44, 362-367.
- Smedes, F., 2007. Monitoring of Chlorinated Biphenyls and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Passive Sampling in Concert With Deployed Mussels. In R. Greenwood, G.A. Mills, and B. Vrana (Eds.): *Passive Sampling Techniques in Environmental Monitoring.*, Ch. 19. Elsevier, Amsterdam.
- Smedes, F., Geertsma, R.W., van der Zande, T., Booij, K., 2009. Polymer-water partition coefficients of hydrophobic compounds for passive sampling: application of cosolvent models for validation. *Environ. Sci. Technol.* 43, 7047-7054.
- Van der Wal, D., A. Wielemaker-Van den Dool, P.M.J. Herman, 2008a. Spatial patterns, rates and mechanisms of saltmarsh cycles (Westerschelde, The Netherlands). *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 76 : 357-368.
- Van der Wal, D., P.M.J. Herman, R.M. Forster, T. Ysebaert, F. Rossi, E. Knaeps, Y.M.G. Plancke & S.J. Ides, 2008b. Distribution and dynamics of intertidal macrobenthos predicted from remote sensing: response to microphytobenthos and environment. *Marine Ecology Progress Series* 367 : 57-72.
- Walraven, N. , 2007. Onderzoek naar de mogelijkheid om Pb, Cu, Zn, As, Cd, Hg, Ni, Cr, Mo, Ba, Sn, V en Se gehalten te meten in waterbodems met behulp van Röntgen Fluorescentie. *Geoconnect Rapportnummer GC 12-2007*.

5 Scheepvaart vraagt steeds nauwkeuriger inzicht in bodemligging en -type

5.1 Informatiebehoefte bodemligging

Een essentieel onderdeel van de natte informatievoorziening is bodemligging, waarmee in dit rapport wordt bedoeld bodemhoogte of bathymetrie, maar ook de samenstelling van deze bodem (bijv. korrelgrootte, sedimenttype bodem). Nauwkeurige bepaling van de bodem is noodzakelijk voor het garanderen van de functionele eisen aan de vaarwegen, met name de veilige doorgang van schepen, en voor de baggerindustrie. Een zeer uitgebreide beschrijving van de informatiebehoefte bodemhoogte is gegeven in het rapport "Informatiebehoefte en programmering bodemhoogte (HWS en HVWN)" (Rijkswaterstaat, 2011). Tabel 5.1, uit genoemd rapport, geeft de verschillende informatiebehoeften weer. In hetzelfde rapport is een gedetailleerd overzicht te vinden van de programmering voor de verschillende diensten en gebieden, welke is weergegeven in Tabel 5.2.

Informatiebehoefte	Functionele eisen vaarwegen
Netwerk	HVWN
Bodemhoogte	Vlakdekkend (NL Norm A)
Frequentie	Jaarlijks Variërend van 12x per jaar (dynamisch), toegang Rotterdamse haven) tot eenmaal per 12 jaar (vrijwel geen dynamiek, kanalen)
Nauwkeurigheid	Zeer nauwkeurig NL Norm A (= 18 cm bij 10 m diepte)

Tabel 5.1 Voorbeeld van de functionele eisen behorend bij een informatiebehoefte. (Rijkswaterstaat, 2011)

Nr.	Omschrijving informatiebehoefte	Gebruik & doel	Dienst
1	Functionele eisen vaarwegen	Gegarandeerde diepgang van de vaarwegen (CEMT)	Alle
2	Beheer en onderhoud vaarwegen	Gegarandeerde diepgang, veiligheid (vaarweggebruiker, overstroming)	Alle
3	Nautische diepte	voor scheepvaartverkeer beschikbare nautische diepte. Voorkomen van beschadiging schepen.	DNZ, DZL, DZH, DNH
4	Elektronische navigatiekaarten (Inland ENC, NoordHolland ECS, Zeeland Inland ENC, Westerschelde Highdensity ECS, Zeeland Usage ECS, Rijnmond ECS, Eemshaven (in onderzoek), SOLAS ENC)	Loodsdiensten, vaarweggebruikers binnenwateren, binnenvaart recreatie, VAR'S	DZL, DNZ, DZH, DNH, DNN (wens)
5	SLA-PIN: Bak op orde: vaarwegprofiel	beheer watersysteem	Alle
6	Instandhoudingsplan baggerdepot, vaarweg	beheer en onderhoud	DZH, DIJG en alle
7	Ankergebieden	beheer en onderhoud	DNZ, DZH, DZL
8	Toets waterkering, normering	veiligheid keringen	Alle (- DNB en DUT?)
9	Wettelijk toetsingsinstrumentarium	veiligheid keringen	Alle (- DNB en DUT?)
10	Toets Primaire en regionale keringen	veiligheid keringen	Alle (- DNB en DUT?)
11	Beheerplan natuurbeheerplan Natura 2000	gebiedsbeheerplan	DZL, DNZ, DZH

Tabel 5.2 Gedeelte van het overzicht informatiebehoeften zoals gegeven in het rapport "Informatiebehoefte en programmering bodemhoogte (HWS en HVWN)" (Rijkswaterstaat, 2011)

5.2 Informatiestrategie bodemligging en -type

De inwinning van bodemhoogtegegevens bij RWS gebeurt door de verschillende meet-informatiediensten en wordt door de Waterdienst, met medewerking van MID en DID, georganiseerd. De meet-informatiediensten voeren zelf het werk uit of besteden het uit aan gespecialiseerde survey bedrijven. De DID draagt zorg voor de uitbesteding van laseraltimetrie. Hoewel de verschillende diensten steeds meer en beter samenwerken, is er bij de RWS de wens om de informatiebehoefte centraal te regisseren in een meerjarig monitoringsprogramma. Bij de implementatie van deze centrale strategie is geen ontwikkeling in meettechnieken voorzien, wel in de processen, contracten en dergelijke (Rijkswaterstaat, 2011).

Tabel 5.3 geeft een representatie van de jaarlijkse kosten gemoeid met de inwinning van bodemhoogtegegevens.

Werkzaamheden hydrografie	informatie onderdeel	organisatie onderdeel	Kosten € EPK	Kosten fte
1. Hydrografisch contract	B	MID	5,5 M€	-
- Jarkus				
- Inwinnen HVWN			(6,5 M€	
- Verwerking data			vanaf 2012)	
(lodingen /sonar)				
2. Metingen RD	B	MID	-	135 fte, (9,5 M€)
3. Laseraltimetrie, AHN	A, E	DID	2 M€	-
4. Baggerbestek	D	RD	onbekend	
5. Waterdienst	A, C	WD		6 fte, (0,5 M€)
- vraagsturing,				
programmering				
- aansturing Deltares				
6. Data-ICT-Dienst	A, B, C, E	DID		10 fte
- advies			300 k€	(0,7 M€)
- productie				
- Applicatiebeheer	F	DID, WD	2 M€	

Tabel 5.3 Overzicht van kosten en manuren (fte) informatievoorziening bodemhoogte. Rijkswaterstaat, 2011

5.3 Meetstrategie bodemligging en -type

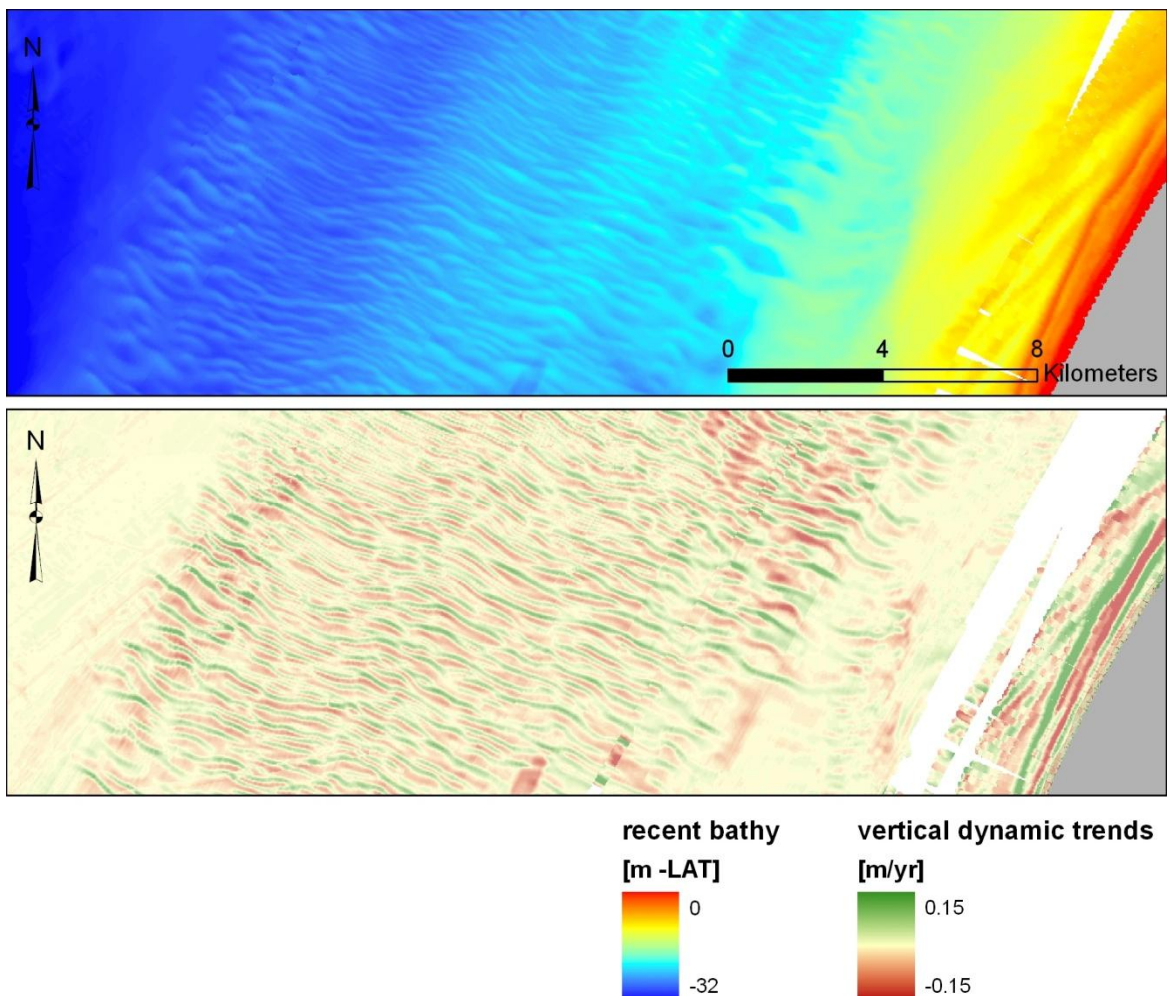
5.3.1 Algemene normen meetstrategie bodemligginginformatie en bevaarbaarheid

In Nederland worden hydrografische opnamen (metingen van de bodemligging) gemaakt door de Dienst der Hydrografie (ministerie van Defensie) en Rijkswaterstaat. Deze twee diensten, verenigd in het Nederlands Hydrografisch Instituut, hebben daartoe de Nederlandse Normen voor Hydrografische opnemingen (NHI, 2009) opgesteld. In dit document zijn de eisen aan metingen van bodemligging opgenomen, die grotendeels zijn gebaseerd op de internationale normen gesteld door de International Hydrographic Organisation (IHO).

Naar de kennis van de schrijvers van dit document is er de laatste jaren nogal wat beweging in deze normen. De Nederlandse normen leggen de minimale eisen aan gebiedsdekking en nauwkeurigheid vast in verschillende klassen. Deze normen zijn onlangs wetenschappelijk gevalideerd door Deltares (Deltares, 2011, 2012b). Er blijkt dat er wel normen zijn over de verticale meetnauwkeurigheid, maar dat er verbeteringen mogelijk zijn in de meetfrequentie

en in meettechnieken. Het betreft hier risico's voor scheepvaart, de Nederlandse kust en NCP, bevaarbaarheid op zachte slibbodems.

Afhankelijk van de meetfrequentie is het belangrijk om te kijken of het scala aan nieuwe, gebiedsdekkende metingen wellicht uitkomst kan bieden om op veel bemeten gebieden een efficiëntieslag te leveren. Hiervoor is in essentie data nodig over verticale trends in de bodemdynamiek op basis van diverse metingen. Een voorbeeld van bodemligging en dynamiek is weergegeven in Figuur 5.1.



Figuur 5.1 Verticale bodemligging (boven) en de verticale trend (onder) zijn data die in essentie voldoende aanwezig moeten zijn voor een goede bepaling van de risico's op scheepvaartroutes.

Alle genoemde rapporten betreffen onderzoeken die nog in uitvoering zijn. De genoemde onderzoeken leiden tot aanbevelingen in meettechnieken, dataverwerking en meetstrategieën, welke verder worden besproken in dit hoofdstuk.

5.3.2 Verbeteren nauwkeurigheid bodemligging metingen bij zachte slibbodems

Voor de meeste typen bodems wordt de *kwaliteit* van de metingen als voldoende geacht. Voor slibbodems is dit niet het geval. Bij aanwezigheid van slib zijn akoestische methoden minder accuraat omdat er door de geleidelijke overgang van water naar bodem een minder groot verschil in contrast waarneembaar is. Vooral de geldigheid van de 1200 g/L is een punt van discussie. In het kader van het SMIT project "Nieuwe meettechnieken voor

vaargeuldiepte bij zachte slibbodems" is Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat bezig met het onderzoeken van de problematiek rondom deze gebieden. De eerste fase, een enquête onder eindgebruikers onder baggeraars, scheepvaart en marktpartijen, gerapporteerd in Deltares (2011), heeft geleid tot de conclusie dat een verbetering van de definitie van de operationele en meettechnische definitie van 'bevaarbaarheid' gewenst is. Een tweede fase van identificatie van nieuwe meettechnieken en een derde fase van het testen en uitvoeren van deze meettechnieken met marktpartijen volgen.

5.3.3 Verbetering efficiëntie metingen

Een terugkerende vraag is of de efficiëntie van de metingen verbeterd kan worden zonder dat de hoeveelheid of kwaliteit van de data wordt aangetast. Hierbij lijken de grootste kansen te liggen in het sneller uit kunnen voeren van metingen, met kleiner/minder materieel en/of met minder mankracht. Voor dit doel is dan ook de huidige ontwikkeling van autonome vaartuigen en eventueel het gebruik van satellietdata in de toekomst erg belangrijk.

5.3.4 Vergroten van de systeemkennis

Een beter begrip van het sedimentaire systeem kan ervoor zorgen dat er meer gerichte metingen worden gedaan en dat de risico's van een te lage inwinfrequentie worden geminimaliseerd. Rijkswaterstaat en de Dienst Hydrografie hebben reeds projecten lopen om het begrip van sedimentaire fenomenen zoals zandgolven beter te begrijpen en zodoende het gedrag van het systeem beter te kunnen voorspellen.

5.3.5 Inzicht in objecten onder water

Het opsporen en detectie van de objecten onder water gebeurt grotendeels met de technieken die in dit hoofdstuk worden besproken. Het betreft hier veelal akoestische technieken voor bijvoorbeeld detectie van wrakken, damwanden, verloren lading, ontgroning kabels en leidingen, ontgroning rond infrastructurele objecten, stabiliteit stortsteen constructies: vooroevers, kribben. In het geval dat er ontwikkelingen in technieken specifiek voor deze doeleinden toepasbaar zijn, zal dit worden vermeld.

5.4 Ontwikkelingen in meetmethoden en –technieken bodemligging

5.4.1 Achtergrond en soorten technieken

Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van de huidige operationele praktijk. Als startpunt is het TNO rapport "Technologieverkenning Hydrografie" (TNO, 2006), vervaardigd in opdracht van RWS gebruikt. Vervolgens heeft een ruime aanvulling plaatsgevonden met andere potentieel bruikbare technieken. Daarnaast wordt ingegaan op de ontwikkelingen sinds de verschijning van genoemd rapport.

In de huidige operationele praktijk wordt voornamelijk gebruik gemaakt van twee groepen technieken: akoestische technieken of echolodgingen (singlebeam en multibeam) en andere geofysische technieken. In het algemeen is de meeste ontwikkeling op operationeel gebied de laatste jaren gericht op het efficiënter maken van de reeds gebruikte technieken, door het vergroten van de flexibiliteit en meetsnelheid.

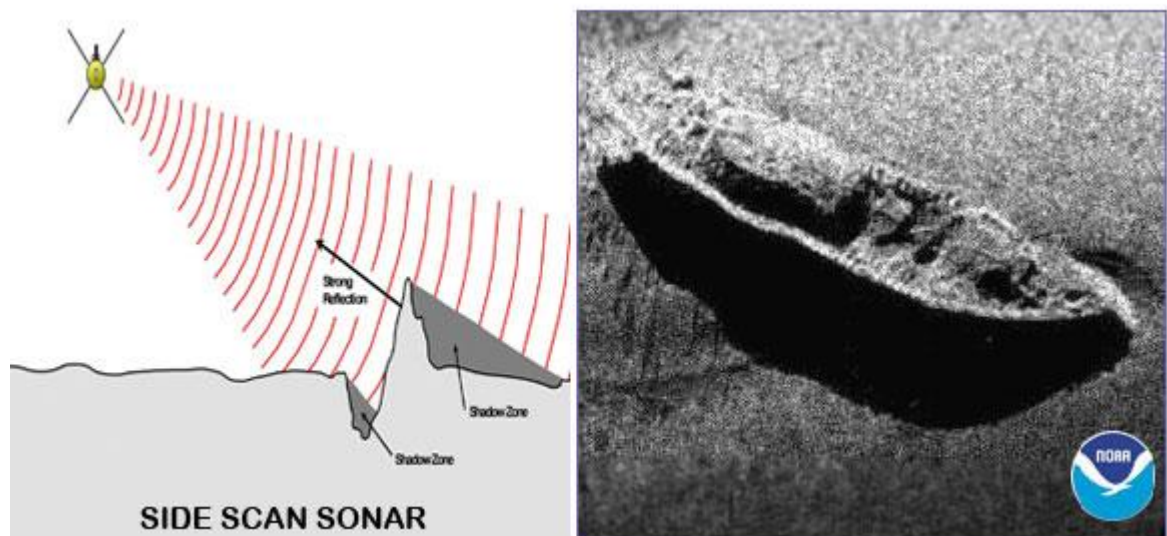
Nieuwe technieken zijn ook in de remote-sensing hoek te vinden, waarbij satellieten vlakdekkende informatie kunnen bieden. Daarnaast zijn ontwikkelingen gaande op het gebied van bodembepalingen bij slibbodems en meer 'op maat' meetstrategieën voor scheepvaartroutes. Ook heeft de DID systemen nodig voor toepassing nabij de bodem voor het detecteren van objecten (met sonar).

5.4.2 Akoestische technieken

Akoestische of seismische technieken zijn operationeel beschikbaar in een verscheidenheid aan toepassingen. We beperken ons nu vooral tot de technieken voor zeer ondiep onderzoek aan zeebodem en eerste bodemlaag.

In de huidige praktijk wordt voornamelijk gebruik gemaakt van **Single en Multi Beam Echosounders (SBES en MBES)** voor bathymetrische metingen. Hoewel MBES als voordeel heeft dat het vlakdekkende informatie kan leveren, is het voordeel ten opzichte van SBES in ondiepe wateren beperkt. De breedte van de MBES opname dwars op de raairichting is namelijk gerelateerd aan de bodemdiepte. Vooralsnog worden dus zowel MBES als SBES systemen gebruikt door RWS.

Side scan sonar (SSS) beeldt de topografie en obstakels op de zeebodem uit. Ook kan de techniek een inzicht geven van obstakels op de zeebodem, zoals scheepswrakken en zeebodem habitat (bijv. mossels, oesters). SSS is gebaseerd op dezelfde akoestische principes als de SBES en MBES (alle drie hebben een akoestische zender en ontvanger), maar meet niet de aankomsttijd, maar de sterkte van het gereflecteerde akoestisch signaal bij de ontvanger. SSS is zeer geschikt om grote stenen ('boulders'), scheepswrakken en andere middelgrote tot grote objecten (orde enkele meters) te detecteren. Een voorbeeld van grote stenen is te zien in Figuur 5.2.



Figuur 5.2 Links: Side scan sonar maakt gebruik van de schaduwwerking van objecten voor de beeldvorming.
Rechts: Een side scan sonargrote weergave van een wrak (bron NOAA).

Een **echolood** is een piëzo-elektrisch systeem dat een korte puls van één, meestal instelbare, frequentie uitzendt. Ook de pulslengte is meestal instelbaar, waarbij de hogere frequenties (bijv. 250 kHz) de zeebodem nauwelijks penetreren en de lagere frequenties (bijv. 12 kHz) wel reflectie informatie van het onder de zeebodem gelegen sediment geven (tot maximaal enkele meters). Er bestaan ook diverse systemen die met twee frequenties werken. Het hoog-frequentie signaal reflecteert aan de zeebodem maar penetreert niet. De vorm en amplitude van de gereflecteerde puls en de mate van verstrooiing in de bodem kunnen gebruikt worden om een zogenaamd *bodemclassificatiesysteem* aan het echolood te koppelen. Ook kan een slimme combinatie van frequenties worden gebruikt om bevaarbaarheid of slibdikte te bepalen. Een laag-frequent echolood dat penetreert onder de

zeebodem wordt ook wel 'penetrerend echolood' of 'pinger' genoemd. Een pinger kan ook worden gebruikt voor detectie van ondiep begraven pijpleidingen.

Een **chirp sub-bottom profiler** zendt een signaal uit met een bepaalde tijdsduur (bijvoorbeeld 40 msec) waarbinnen de frequentie lineair toeneemt. In de akoestiek wordt dit signaal een 'sweep' of 'chirp' genoemd. Het signaal wordt opgewekt door een piëzo-elektrische bron en opgevangen door korte in het sleeplichaam verwerkte hydrofoonstreamer(s). Het verwerkte resultaat is een bodemprofiel alsof er met een zeer goed penetrerend echolood onder ruisarme omstandigheden is gevaren. De penetratie op de Noordzee is meestal 20-40 m (vaak beperkt door de multiple). Het systeem kan ook een bodemclassificatie opleveren die gebaseerd is op de reflectiesterkte (maximum amplitude binnen een klein tijdsvenster) van de bodemecho.

Refractieseismiek is een techniek waarmee de dikte en sterkte van de toplaag van de zeebodem, alsmede de onderliggende harde laag, in kaart kan worden gebracht. Deze techniek wordt vooral gebruikt in de baggerindustrie om te helpen om het risico op breuk van baggerapparatuur te voorkomen.

Technological readiness level

TRL 9 – operationeel (slimme combinaties zijn nog wel in ontwikkeling)

Status in Nederland

SBES, MBES en SSS worden gebruikt.

5.4.2.1 *Toepassingsvormen akoestische technieken*

Zoals eerder gemeld, is de ontwikkeling van technieken de laatste jaren vooral gericht op de toepassingsvormen van de akoestische meettechnieken. Hierin is de belangrijke trend waar te nemen, dat **combinatie van technieken** vaak het beste antwoord geven. Combinatie van continue meettechnieken zoals SSS en MBES moeten worden gecombineerd met in-situ samples om een beter inzicht te krijgen. Continue, meer indirecte 2D/3D metingen met sensoren, zoals MBES, SSS en geofysische technieken kunnen alleen in hun context geplaatst worden als ze worden gecombineerd met in-situ metingen en systeem inzicht (in bijvoorbeeld morfodynamiek van zee- en rivierbodem). Het beschouwen van akoestische technieken als 'deeloplossing' of 'deel van de puzzel' wordt de laatste jaren vaker onderkend door Rijkswaterstaat, Deltares en consultants. Een voorbeeld hiervan is de RESMON workshop in 2009 (Deltares, RESMON OK-2, 2009).

One-sweep survey. De meeste akoestische methoden zijn al meer dan 10 jaar operationeel, maar blijven ook allemaal voor verbetering vatbaar. De nieuwste ontwikkelingen van de methodieken liggen vooral in betere apparatuur (waarover in paragraaf 5.4.2.1 meer) en slimme combinatie van technieken. Deltares noemt deze ontwikkeling de 'One sweep survey': meerdere technieken toepassen tijdens één survey. Voorbeelden op water zijn:

- met een slimme combinatie van meerdere echolood frequenties kan een beter inzicht kan worden verkregen in de slibdike en –samenstelling;
- side scan sonar metingen kunnen met behulp van nieuwe dataverwerkingstechnieken automatisch worden omgezet naar dichtheid van habitat (oester- en mosselbanken);
- door combinatie van SBES/MBES met sub-bottom profiler gegevens kan door kennis van het onderliggende sediment meer inzicht in oorzaken van zeebodem dynamiek worden verkregen.

- Door combinatie van refractieseismiek met een nieuwe techniek die *Scholte golven* (golven die langs de zeebodem lopen) te gebruiken kan de sterkte van de bodem en onderliggende lagen beter worden bepaald, zowel op zee als op rivieren. Een referentie is te vinden op bijv. Ivanov et al. (2000). De techniek wordt getest door Deltares.

Bij het 'one sweep survey' initiatief horen ook het sneller en automatisch verwerken van data zodat de tijd van data-acquisitie tot levering sneller wordt gemaakt. Verder heeft dit als voordeel dat de weg wordt geopend naar gecombineerde dataverwerking en data-interpretatie.

Technological readiness level

TRL 7 of 8 – deels prototype operationeel en deels in ontwikkeling.

Status in Nederland

Rijkswaterstaat is betrokken bij de projecten waarin de slimme combinatie van technieken op water wordt ingezet (o.a. De Maaswerken).

5.4.3 Andere geofysische meettechnieken op water

Magnetometrie. De methode meet de veldsterkte van het aardmagneetveld. Hierbij wordt een magnetometer achter het schip door het water gesleept waarbij de afstand tot het schip zo ver moet zijn dat het schip zelf geen meetbare invloed heeft op het magneetveld bij het sleeplichaam. Er bestaat ook nog een actieve variant, waarbij men zelf met een spoel een magnetisch veld aanlegt en vervolgens weer afschakelt en dan de in het medium opgewekte wervelstromen vaststelt. Voordeel is dat daarmee niet alleen de zogenaamde ferromagnetische (ijzer, nikkel cobalt) metalen, maar ook alle andere goed geleidende (maar dus niet ferromagnetische) metalen opgespoord kunnen worden. De magnetische methode wordt gebruikt voor het opsporen van ijzerhoudende lichamen zoals wrakken, obstakels e.d. op en in de bodem en is ongeschikt voor het onderscheiden van verschillende soorten zand.

Radiometrie. De methode meet de natuurlijke radioactiviteit (gammastraling) van het zeebodemmateriaal. De radioactieve deeltjes zijn voornamelijk gebonden aan klei en aan zware mineralen van het zand zodat de methode geschikt is voor het bepalen van de verschillende typen sediment in de bovenste decimeters. De methode is niet geschikt voor het onderscheid tussen fijn en grof zand, maar het gehalte aan zware mineralen zegt wel iets over de herkomst van het zand. Het apparaat bevat geen actieve ioniserende stralingsbron, wat de aanschaf vergemakkelijkt. Mariene meetapparatuur wordt o.a. gebruikt door Medusa BV, deze methode is gebaseerd op van Wijngaarden et al. (2012).

Geo-elektrische metingen. Bij deze methode wordt met behulp van een multi-elektrode kabel, die over de bodem of onder het wateroppervlak gesleept wordt, een elektrische stroom de bodem (en het water) in gestuurd en worden op alle elektroden de potentialen gemeten. De metingen worden dan met een computerprogramma omgezet in een bodemprofiel van de elektrische weerstand als functie van de diepte en afstand langs de vaarlijn. Deze weerstand is afhankelijk van sedimenttype, porositeit en waterkwaliteit. De methode werkt alleen op zoet water.

Grondradar. Hierbij zendt een zendantenne een elektromagnetische puls uit die door reflecterende lagen in de ondergrond wordt teruggekaatst en door een ontvangantenne geregistreerd wordt. Beide antennes worden achter het schip gesleept aan het

wateroppervlak of op enkele meters diepte. Het resultaat van een serie metingen langs een raai is een echogram van de ondergrond waarbij reflecties worden bepaald door discontinuïteiten in de dielectriche constante en de soortelijke weerstand. De methode werkt alleen op zoet water. Deze methode is geschikt voor kartering van ondiepe gelaagdheidspatronen, maar minder geschikt voor onderscheid tussen fijn en grof zand.

Laseraltimetrie / LiDAR. Analooq aan de inwinning van landhoogte voor het AHN, kan ook bathymetrische informatie ingewonnen worden met laser technieken (LiDAR). De laser, bevestigd aan een vaartuig, vliegtuig of helikopter, zendt hierbij licht uit op twee frequenties, een die weerkaatst op het wateroppervlak en een die in het water door kan dringen. Inzet van het systeem wordt beperkt door eventuele troebelheid van het water en verminderde reflectie op de waterbodem door de aanwezigheid van slib of vegetatie. Hierom is LiDAR voornamelijk geschikt voor de zandige kuststrook en minder voor dieptebepalingen in vaargeulen.

Inzet van LiDAR vanaf een vast punt, voertuig of schip (terrestrial LiDAR) geeft de mogelijkheid om snel een detailopname te maken van een gebied waarin men geïnteresseerd is. In het buitenland wordt dit nog wel eens gebruikt om de drooggevalen delen van de rivier in detail op te nemen en daarmee bijvoorbeeld bodemruwheid te bepalen. De terrestrial LiDAR is in Nederland in een geslaagde test ingezet op een 4 wiel aangedreven auto die over het strand reed voor het bepalen van duinprofielen. Hiermee kunnen profielen aan de strandzijde vlak voor een storm en direct na een storm bepaald worden om de duinafslag te kunnen bepalen.

Laseraltimetrie wordt gebruikt bij Rijkswaterstaat. Er zijn meerdere commerciële partijen die de service kunnen leveren, waaronder BMT (voorheen Fugro Geoss)

Technological readiness level

Alle genoemde technieken zijn operationeel. TRL 9.

5.4.4 In-situ meettechnieken

Bij aanwezigheid van slibbodems is enkel het uitvoeren van akoestische metingen niet voldoende om de bevaarbare bodem vast te stellen en dienen vaak in-situ metingen uitgevoerd te worden. Deze in-situ metingen dienen om het 1200 g/L vlak vast te stellen dat als bevaarbare diepte wordt gehanteerd (zoals al genoemd in paragraaf 5.3.2 wordt ook gestreefd om nieuwe meetstrategieën vast te stellen). De in-situ metingen geschikt voor bemeten zijn hieronder benoemd.

Het principe van de **nucleaire sonde** berust op de absorptie van zwak nucleaire straling door slib. Rijkswaterstaat gebruikt al reeds langere tijd nucleaire sondes (Navitracker). Het vermogen van de nucleaire sondes vermindert met de tijd, iets waarvoor aanschaf rekening mee gehouden moet worden bij onderhouds- of vervangingskosten.

Het **stemvorkprincipe** berust op het inbrengen van een "stemvork" in de sliblaag, het in trilling brengen van één van de vorktanden en het meten van de resonantie in de andere vorktand. De mate van resonantie wordt hierbij indicatief geacht voor de dichtheid van het medium (het slib). Het stemvorkprincipe is onderzocht door Rijkswaterstaat en er is geconcludeerd dat het geen oplossing is voor de informatiebehoefte van Rijkswaterstaat.

Combinatie met multi-frequentie SBES. Zoals ook al genoemd in paragraaf 5.4.2.1, kunnen in-situ metingen gecombineerd worden met multi-frequentie SBES metingen. Hierbij worden twee frequenties dusdanig gekozen dat de hoogste frequentie weerkaatst op de top van de sliblaag en een lagere frequentie doordringt tot op de harde bodem. Door de in-situ

puntmetingen te koppelen aan de SBES metingen kan het 1200 g/L bepaald worden tussen deze twee reflectievlakken. Op dit moment voert Deltares in opdracht van Rijkswaterstaat een wetenschappelijke validatie uit van deze methodiek.

Technological readiness level

TRL 9 – De methoden zijn alle operationeel. Wel wordt er nog aan de wetenschappelijke validatie van de genoemde methoden gewerkt.

Status in Nederland

Rijkswaterstaat verricht in-situ metingen met nucleaire sondes en heeft tests uitgevoerd met het stemvorkprincipe gecombineerd met multi-frequente SBES.

5.4.5 Dynamiekmetingen DTS (glasvezel)

Een specifieke techniek waar in Nederland veel onderzoek naar gedaan wordt is DTS - Distributed Temperature Sensing. De techniek maakt gebruik van glasvezel techniek. Door gebruik te maken van het temperatuurdempende effect van sediment kan in hoog-dynamische kustnabije en riviergebieden in-situ de sedimentdikte en bodemdynamiek gemeten worden. De meetnauwkeurigheid van de glasvezel is 1m en kan worden uitgevoerd met enkele kilometers kabel.

De kabel kan om een paal gewikkeld worden en daarmee een hoge verticale resolutie geven van het temperatuurprofiel, zie ook hoofdstuk 4, maar de kabel kan ook in een patroon over de bodem worden gelegd en bedekt worden door een laag materiaal.

De bodemdynamiek wordt vervolgens bepaald uit de temperatuur in de bodem.

De nauwkeurigheid in bodemdynamiek is in de orde van meters afhankelijk van hoe dicht het gebruikte het patroon is. Onderzoek over welke nauwkeurigheid in sedimentdikte er gehaald kan worden vindt plaats in het huidige strategisch onderzoeksbudget van Deltares. Een voorbeeld van een glasvezelmeting is weergegeven in Figuur 5.3.

Technological readiness level

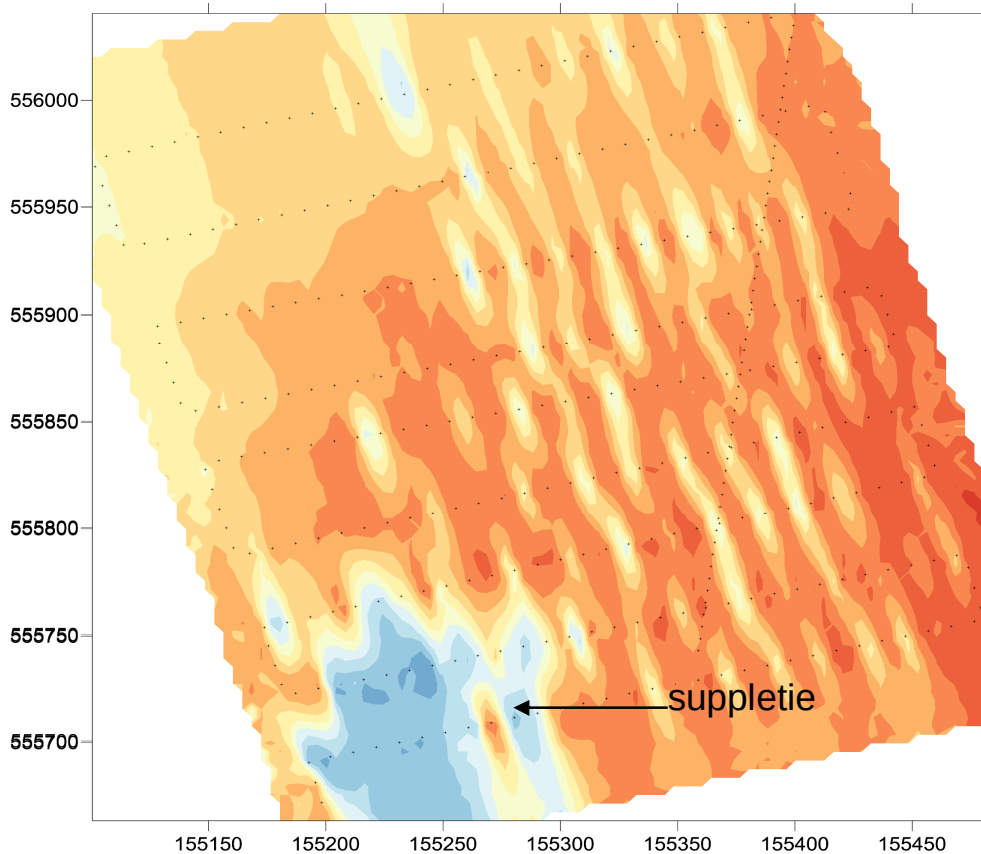
Prototype operationeel. TRL 7

In de ruimtelijk dekkende vorm is deze techniek nog in ontwikkeling.

Status in Nederland

Het wordt onder andere door Deltares getest in Building With Nature projecten, zoals onlangs de zandmotor in het IJsselmeer voor de Friese kust.

In de vorm waarbij de kabel om een paal is gewikkeld is de techniek is inmiddels toegepast in het IJsselmeer bij de sluizen van Kornwerderzand om zowel de temperatuursverdeling als de dynamiek in de overgang tussen verschillende media (lucht, water en bodem) te monitoren door de tijd heen. Naast de temperatuur profielen, lieten de resultaten lieten zien dat de overgang water-lucht goed te volgen was en de getijden mooi gevolgd konden worden. Ook de overgang water-bodem (modder) kon goed in kaart gebracht worden. Deze laatste gaf inzichten in verschillen bodemhoogte die tot stand kwamen door sedimentatie en erosie processen.



Figuur 5.3 Geïnterpreteerd resultaat van een DTS (glasvezel-) meting. Rode kleuren geven aan dat de kabel aan het oppervlak ligt, wit = nabij het oppervlak, blauw = kabel begraven onder sediment (suppletie). Zwarte puntjes geven de meetpunten aan.

5.4.6 Indirecte technieken uit vliegtuigen en satellieten

Indirecte technieken zijn gebaseerd op de correlatie tussen wateroppervlakte-karakteristieken en bodemligging. Bij deze technieken dringt dus geen signaal (diep) het water in, maar worden golf-karakteristieken met behulp van kennis van lokale hydrodynamica vertaald naar een verwachte ligging van het bodemprofiel.

Het grote voordeel van deze techniek(en) is dat satelliet-data gebruikt kan worden. Echter, de huidige nauwkeurigheden die met deze methoden gehaald worden voldoen niet aan de IHO of Nederlandse normen voor hydrografie. Op dit moment kunnen dit soort technieken dus niet ingezet worden voor de operationele bepaling van bodemligging. Dit wordt ook bevestigd door testen die Rijkswaterstaat met deze systemen heeft laten doen (RWS/Swartvast, 2008).

Technological readiness level

TRL 7 – prototype operationeel.

Status in Nederland

Wordt nog niet toegepast

5.4.6.1 ARGUS

ARGUS is een land-based video systeem. Het systeem monitort de surfzone en kan de ligging en dynamiek van de bodem in de surfzone hieruit afleiden.

Technological readiness level

TRL 9 - operationeel.

Status in Nederland

ARGUS stations van RWS staan opgesteld lang de Nederlandse Kust onder ander nabij Kijkduin en Noordwijk. Tijdelijke opstellingen worden voornamelijk door TU Delft en Deltares ingezet. Er staat nu inzet gepland voor de Zuid Hollandse kust waaronder de Zandmotor. Deltares is samen met Oregon State University wereldleider in de kennisontwikkeling en toepassing van dit principe.

5.4.6.2 SAR

Synthetic Aperture Radar (SAR) wordt ingezet voor indirecte bepaling van de zeebodempogografie, althans de relatieve gradiënt hiervan. Het concept van radar gebaseerd op hoe de dieptegradiënt via de stroming wordt vertaald in ruwheidverschillen van het wateroppervlak. Hoewel de zeebodempogografie ook in conventionele airborne/spaceborne radarsystemen (SLAR) kan worden waargenomen wordt hiervoor over het algemeen SAR toegepast. De reden is dat de resolutie van SAR in de vliegrichting van het platform beter is dan voor SLAR.

SAR systemen worden al sinds twintig jaar toegepast op zowel vliegtuigen (en helikopters) als op satellieten. Een voordeel van vliegtuigen is de betere operationele inzetbaarheid. Voor satellieten is deze veel slechter en kan de tijdsduur tussen twee opnamen van het zelfde gebied een aantal weken bedragen. Een ander voordeel van vliegtuigradarsystemen is dat deze een betere ruimtelijke resolutie hebben. Voor vliegtuigradar kan dit een halve meter of beter zijn terwijl voor de meeste satellieten de resolutie hooguit een paar meter bedraagt. Omwille van deze redenen zal dan ook de voorkeur worden gegeven aan vliegtuigradar voor het bepalen van de zeebodempogografie.

Met vliegtuig-SAR kan de zeebodempogografie worden bepaald met een verticale nauwkeurigheid van ongeveer 0.5 m bij een spatiële resolutie van 0.5 m. De strookbreedte die hierbij wordt opgenomen is aanzienlijk en bedraagt doorgaans 5-10 km. Voor hedendaagse satelliet-SAR bedraagt de verticale nauwkeurigheid ongeveer 0.5 m bij een spatiële resolutie van 10 m. De strookbreedte bedraagt echter 100 km of meer. Of een SAR-opname zal leiden tot een succesvolle inversie van de zeebodempogografie is sterk afhankelijk van de momentane windsterkte en stromingssnelheid. Condities voor een betrouwbare schatting van de zeebodempogografie voldoen meestal aan: 5-10 m/s voor windsnelheid en 0.5 m/s of meer voor stroomsnelheid [Jackson and Apel, 2004]. Onder deze condities kan de zeebodempogografie soms worden bepaald tot op een diepte van 50 m.

Technological readiness level

TRL 9 - operationeel.

Status in Nederland

Het RWS Bathymetry Assessment System (BAS) is ontwikkeld door ARGOS en maakt gebruik van satellietradarbeelden van Envisat. RWS heeft dit nooit ingezet bij gebrek aan nauwkeurigheid (uitspraak W. vd Lee/ N. Kinneging), het kwam er op neer dat de prijs prestatie verhouding slechter was dan in/situ meten met een boot.

5.5 Ontwikkelingen in verwerking bodemliggingsgegevens

5.5.1 Validatieonderzoek naar meetstrategie aan de hand van verwerkte bodemligging gegevens

In projecten voor Dienst der Hydrografie en voor Rijkswaterstaat is door Deltares de laatste jaren onderzoek gedaan naar de meetstrategie van bodemligging en bodemeigenschappen (Deltares, 2011 en Deltares, 2012b). In deze projecten zijn alle beschikbare data verwerkt op een ruimtelijke resolutie van meters tot tientallen meters en vervolgens gecombineerd met meerjarige voorspellingen. Deze resultaten hebben geleid tot een advies voor een verbeterde en meer 'op-maat' meetstrategie voor scheepvaartroutes, kustzone, rivieren en Nederlands Continentaal Plat.

5.5.2 Plaatsbepalingen

Om de juiste absolute bodemligging te bepalen, is een accurate bepaling van de positie van het meetinstrument noodzakelijk. Ieder meetschip maakt hierbij gebruik van een GPS signaal, dat wordt gekoppeld aan de meet software. Doorgaans is het steeds gebruikelijker dat er gebruik wordt gemaakt van Real Time Kinematic (RTK) GPS, waarbij een nauwkeurigheid in de orde van centimeters en beter wordt verkregen door koppeling met een vast landstation, radio- of telefoonsignalen.

5.5.3 Correcties in hoogte en ligging

Meetsystemen die continue meten terwijl ze worden voortgesleept, krijgen te maken met bewegingen die worden veroorzaakt door golven of koersveranderingen. Apparatuur zoals chirp-sub bottom profiler worden vaak achteraf gecorrigeerd met een software matige 'heave removal'. MBES en SBES ondergaan een correctie tijdens het meten voor deze ongewenste 'pitch', 'roll' en 'yaw' bewegingen. Omdat SSS niet afhankelijk is van aankomsttijd, hebben golfbewegingen niet veel effect en ondergaat het meetsignaal vaak geen correctie. Als er geen RTK GPS is gebruikt kunnen ook getijdebewegingen achteraf worden gecorrigeerd.

5.6 Advies inwinning bodemliggingsgegevens

Het voorgaande overzicht van meettechnieken is met name bedoeld om Rijkswaterstaat een verbeterd inzicht in het scala van bruikbare meettechnieken voor bodemtype en –ligging te geven. Deltares adviseert daarbij niet gebruik van één specifiek meettechniek . Wat Deltares wel adviseert is om meer gebruik te maken van 'op maat' oplossingen.

Door de kennis van het sedimentaire systeem te benutten kan de meetstrategie worden aangepast en worden de risico's op een veel te lage (of hoge) inwinfrequentie worden geminimaliseerd. Om die systeemkennis te vergaren en te behouden zal het nodig zijn om metingen gericht op bodemdynamiek en bodemsamenstelling te (blijven) uitvoeren.

Deltares stelt daarbij voor om meer gebruik te maken van Innovatieve combinaties van methodieken, zoals

SSS/MBES met in situ sensoren;

Satellietdata met in situ sensoren;

Model uitkomsten met remote sensing en in/situ data;

Meerdere geofysische technieken ('one sweep survey')

Dit advies is terug te vinden in (Deltares, 2011 en Deltares, 2012b) en onderzoek naar optimale monitoring wordt voortgezet in opdracht van RWS.

5.7 Ontwikkelingen in overdracht bodemliggingsgegevens

Dit onderdeel van de informatie cyclus wordt nog niet beschreven.

5.8 Referenties

De Boer, G. J., Baart, F., Bruens, A., Damsma, T., van Geer, P., Grasmeijer, B., den Heijer, K. and van Koningsveld, M.: OpenEarth: using Google Earth as outreach for NCK's data, University of Twente, Department of Water Engineering & Management. [online] available from: <http://proceedings.utwente.nl/177/> (accessed 27 March 2012), 2012.

Deltares rapport 1205981-004-VEB-0004 (2012a). Enquete "De bevaarbare waterdiepte bij zachte slibbodems". Auteurs: Pauline Kruiver, Sophie Vermooten, Guido Rutten.

Deltares rapport 1203749-000-BGS-0005, RWS zaaknummer 3153628 (2012b). Onderzoek Meetstrategie en Bodemdynamiek (concept). Auteurs: dr. T.A.G.P. van Dijk, dr. ir. C.F. van der Mark, drs. P.J. Doornenbal, P.J. Menninga, B.Sc., ing. J.F. Keppel, dr. D. Rodriguez Aguilera, drs. V. Hopman, dr. G. Erkens.

Deltares rapport 1201907-000-BGS-0008 (2011). The scientific validation of the hydrographic survey policy of the Netherlands Hydrographic Office, Royal Netherlands Navy. Auteurs: dr. T.A.G.P. van Dijk, ir. C. van der Tak, W.P. de Boer, MSc, ir. M.H.P. Kleuskens, drs. P.J. Doornenbal, R.P. Noorlandt, MSc, ing. V.C. Marges. Online op http://www.defensie.nl/_system/handlers/generaldownloadHandler.ashx?filename=/media/1201907-BGS-0008_DEF_ValHYD%20report_tcm46-185167.pdf

Deltares rapport 1201210-000-ZKS-0007 (2009), Ondersteuning Validatie Ocean Color Remote Sensing. Auteurs: Rogier Westerhoff, Marco Kleuskens, Tamara van de Ven, Meinte Blaas.

IMARES (2007), rapport 07.015. Ontwikkeling gebruik Side Scan Sonar ten behoeve van onderzoek naar ontwikkeling van individuele mosselbanken en oesterriffen in de Waddenzee. Ook in te zien op <http://edepot.wur.nl/146527>.

Ivanov, J., Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J., Hunter, J.A., Good, R.L., Burns, R.A. (2000). Joint analysis of surface-wave and refraction events from river-bottom sediments, SEG 2000 Expanded Abstracts. Ook in te zien op <http://www.kgs.ku.edu/Geophysics2/Pubs/Pubs/IVA-00-01.PDF>.

Medusa sensor: http://www.medusa-surveys.com/nl/methoden/radioactiviteit/40/medusa_systeem/

NHI Rapport (2009). Nederlandse normen voor hydrografische opnemingen. Uitgegeven door Rijkswaterstaat, Dienst der Hydrografie en Periplus Consultancy. Online op http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Nederlandse%20normen%20voor%20hydrografische%20opnemingen.%201ste%20editie%20-%2020juli%202009_tcm174-288414.pdf

Rijkswaterstaat/Swartvast rapport (2008). Toepassingen van ruimtevaart bij Rijkswaterstaat: statusrapport aardobservatie en plaatsbepaling. Auteurs: L.M.Th. Swart, I.M.H. Janssen, R.C. van Oort, K.I. van Onselen.

Rijkswaterstaat (2011). Informatiebehoefte en programmering bodemhoogte(HWS en HVWN). Auteurs: A. Mansholt, N.A. Kinneging, J.U. Brolsma.

Synnes, Stig A., Hansen, Roy E., Saebo, Torstein O. (2009). Assessment of shallow water performance using Interferometric sonar coherence. Van <http://promitheas.iacm.forth.gr/uam2009/lectures/pdf/I-7.pdf>

TNO (2006a). Sidescan sonar metingen over een vijftal schelpdierbanken in het Balgzand (Waddenzee). TNO rapport 2006-U-RO199/A. Auteur: Overmeeren, R.A.

TNO (2006b). TNO-rapport TNO-DV 2006 C295, "Technologieverkenning Hydrografie". Auteurs: Lam, FPA, Simons, DG, Lindenbergh, RC, Kleijweg, J.C.M. & Snellen, M (2006).

TNO (2003). TNO-rapport NITG-02-195-C. Onderzoek karakterisatie zeebodemsedimenten met behulp van seismische technieken. Deel 1: Data-acquisitie. Opdrachtgever: RWS Directie Noordzee.

Van Wijngaarden, M, Venema, L.B., De Meijer, R.J. Zwolsman, J.J.G. Van Os, B., Gieske, J.M.J., (2002). Radiometric sand mud characterisation in the Rhine–Meuse Estuary, Geomorphology, Vol. 43, No. 1-2. (February 2002), pp. 103-116, doi:10.1016/S0169-555X(01)00125-8.

Bijlage A Technology Readiness Level

Technology Readiness Levels in the Department of Defense (DOD)

(Source: DOD (2006), *Defense Acquisition Guidebook*)

1. Basic principles observed and reported.	Lowest level of technology readiness. Scientific research begins to be translated into applied research and development. Example might include paper studies of a technology's basic properties.
2. Technology concept and/or application formulated	Invention begins. Once basic principles are observed, practical applications can be invented. The application is speculative and there is no proof or detailed analysis to support the assumption. Examples are still limited to paper studies.
3. Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept	Active research and development is initiated. This includes analytical studies and laboratory studies to physically validate analytical predictions of separate elements of the technology. Examples include components that are not yet integrated or representative.
4. Component and/or breadboard validation in laboratory environment	Basic technological components are integrated to establish that the pieces will work together. This is "low fidelity" compared to the eventual system. Examples include integration of 'ad hoc' hardware in a laboratory.
5. Component and/or breadboard validation in relevant environment Ontwikkeling	Fidelity of breadboard technology increases significantly. The basic technological components are integrated with reasonably realistic supporting elements so that the technology can be tested in a simulated environment. Examples include 'high fidelity' laboratory integration of components.
6. System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment Prototype	Representative model or prototype system, which is well beyond the breadboard tested for TRL 5, is tested in a relevant environment. Represents a major step up in a technology's demonstrated readiness. Examples include testing a prototype in a high fidelity laboratory environment or in simulated operational environment.
7. System prototype demonstration in an operational environment Prototype operationeel	Prototype near or at planned operational system. Represents a major step up from TRL 6, requiring the demonstration of an actual system prototype in an operational environment, such as in an aircraft, vehicle or space. Examples include testing the prototype in a test bed aircraft.
8. Actual system completed and 'flight qualified' through test and demonstration Pre operationeel	Technology has been proven to work in its final form and under expected conditions. In almost all cases, this TRL represents the end of true system development. Examples include developmental test and evaluation of the system in its intended weapon system to determine if it meets design specifications.
9. Actual system 'flight proven' through successful mission operations Operationeel	Actual application of the technology in its final form and under mission conditions, such as those encountered in operational test and evaluation. In almost all cases, this is the end of the last "bug fixing" aspects of true system development. Examples include using the system under operational mission conditions.

In vet zijn de Nederlandse termen neergezet die in dit document gebruikt voor de verschillende niveaus.

Bijlage B Projecten overzicht bij Deltares 2010 2012

Concept - onvolledig

Deltares projecten voor RWS	Innovatieve monitorings component	Contact RWS	Soort contract
<i>Informatiestrategie en monitoring</i>			
Informatie strategie waterstanden en afvoeren	Gebruik van informatie uit data-model geïntegreerde operationele voorspelsystemen i.p.v. metingen.	P Heinen	SPA 2010
Informatiestrategie waterkwantiteit	Bepaling onzekerheid informatie op willekeurige punten uit operationele hydrodynamische modellen. Meetnetontwerp op basis van hydrodynamische modellen	P Heinen	KPP 2011-2012
Kentallen golven Noordzee	Evaluatie van de productie van de kentallen.	P Heinen	SPA 2011- KPP 2012
Rapportage zeespiegelstijging	Toepassen nieuwe methodieken voor de analyse van tijdreeksen en de toepassing hiervan op de jaargemiddelde zeestanden.	P. Heinen	KPP 2012
Informatie strategie meetpaal Maasmond	Voorstel toekomstige informatievoorziening voor stroming, golven en waterstanden voor de Euro-Maasgeul	P. Heinen	SPA 2011
Onderzoek optimale monitoring Vaargeulen		N. Kinneging	KPP 2011
Onderzoek Bodemdynamiek (Odyn)	methode om parameters voor bodemdynamiek uit historische meetgegevens te bepalen. Daarmee kan de benodigde meetfrequentie beter worden bepaald.	N. Kinneging	KPP 2011
Boot als sensor	Verkenning of informatieve over schepen en aan boord van schepen breder bruikbaar is voor RWS	P. van Waarden	SMIT KPP 2012
Monitoring Zandmotor	Operationele verwachtingen door middel van data modelintegratie (uitzonderlijk voor projecten) Inzet navigatieradar voor stroming en golven.		SPA 2011
Monitoring Zandmotor Friese kust	Glasvezelkabels voor bepaling temperatuur en daarmee bodemdynamiek		Building with Nature
	Inzet van morfologische modellen en binnenvaartschepen (voor echolodingen) voor een dynamisch inzicht in toestand van de	RWS programma IDVV	Marktcombinatie contract DVS

	vaarweg.		
Advies Ecotopen kartering			KPP2012
Monitoring negatieve trend markermeer			SPA
OPTIMON/ innovatie waterkwaliteitsmonitoring	Innovatief concept voor de informatiestrategie van de Noordzee, leidend tot een nieuwe aanpak voor monitoring	A. Houben	KPP 2011-2012
Informatie strategie biologie en chemie	Innovatief concept voor de informatiestrategie van de zoete wateren,, leidend tot een nieuwe aanpak voor monitoring	A. Houben	KPP2012
<i>Innovatieve Technieken - toepassingen van technieken</i>			
ADCP op een veerpont	Volautomatisch meten van debieten zonder surveyor	J. Tekstra	SPA 200
Kennisdocument ADCP als golfmeter	Overzicht van inzetbaarheid ADCP als golfmeter en overzicht bestaande kennisleemtes	M. Andernach	SPA 2011
	Temperatuurmetingen met glasvezel spuisluizen Kornwederzand		SPA 2011
Evaluatie PUV methode	Kennisopbouw inzet puntstroomsensoren voor bepaling golven in ondiep water	Mando de Jong	SPA KPP 2011-12
Monitoring kribverlaging Waal (hydrodynamica, bodemligging en vis)	Inzet druksensoren op grote schaal voor waterstandsmetingen	Projectbureau Ruimte voor de Rivieren	
Bellenscherm tegen zoutindringing Stevinschutsluis, Den oever	Camera's voor het vastleggen vast stroming. Particle Image Velocimetry (PIV)		SPA
Evaluatie navigatieradarmetingen voor stroming			
Evaluatie navigatieradarmetingen voor golven			SPA 2011
Meetplan Erosie van het slik bij Bath	Dopplerinstrumenten voor meten stroming en golven van schepen	Gert Jan Liek	SPA 2009
Meetplan Scheepsgolven Vlissingen	Dopplerinstrumenten voor meten stroming en golven van schepen	Dirk van Maldegem	SPA 2011
RESMONOK remote sensing voor waterkwaliteit	'ocean color' remote sensing	N. Kinneging	KPP 2012
Passive sampling	Gebruik van siliconen om hydrofobe stoffen in het water te monitoren. De concentraties zijn een proxy voor bioaccumulatie	D. Kalf, J. Hin, M. Kotte, S. van Vliet	SPA KPP 2011 - 12

	in organismen.		
PCR blauwalgen	kwantitatieve genetische detectie van genen betrokken bij gifproductie blauwalgen	H. Ruiter	KPP SMIT 2012
Bruikbaarheid YSI sensoren	Analyse 2011 chlorofylldata met YSI sensoren om te zien wat diens grenzen en hoe bruikbaar de data zijn	G. Stroomberg	

<i>Deltares projecten voor Nederlandse klanten</i>			
Aanpassing meetnet neerslag en afvoer			waterschap.
Waterkwaliteits profiler			Havenbedrijf Rotterdam
Ontwerp meetstuw..			Waterschap
Optimalisatie surveys,		Leendert Dorst	Dienst der Hydrografie Koninklijke Marine
PREMO versie 3	Waterstanden uit de operationele voorspelmodellen voor de Noordzee worden gebruikt voor reductie van ladingen naar referentievlak. Alternatief voor inzet getijmeters.	Leendert Dorst	Dienst der Hydrografie Koninklijke Marine
<i>Deltares projecten in EU kader</i>			
Jericho	meetnet optimalisatie met modellen		
<i>Deltares strategisch onderzoek</i>			
Glasvezelkabel voor bepalen afvoeren	Afkoeling en opwarming van kabels gebruiken voor bepaling van snelheid van het langsstromende water.		
<i>Deltares projecten voor internationale klanten</i>			
Waterkwaliteitsmonitoring Singapore			
Ontwerp en bouw waterstandsmeetnet en voorspelsysteem Azerbeidjan			

