

# Inventarisatie Informatiebronnen

## Fysisch Meetnet

2002

(achtergronddocument bij de rapportage van het project

Evaluatie Fysisch Meetnet MWTL)

Werkdocument RIKZ/IT-2003.006

Eindversie : februari 2003  
Tekstbijdragen : A.J.M. vd Vlugt (Radac), W.G.M. Huijbers (Radac), J.M.M. Kokke (RIKZ)  
W. van Vuuren (RIZA), M. Schroevers (RIKZ), P.F. Heinen (RIZA)  
Eindredactie : J.M.M. Kokke (RWS-RIKZ)



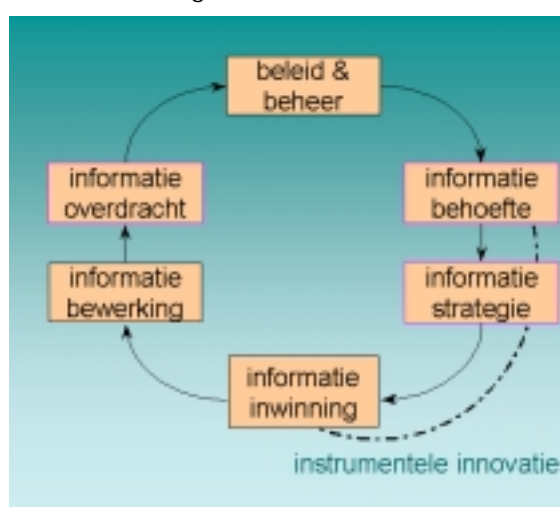
<b>INLEIDING .....</b>	<b>1</b>
EVALUATIE FYSISCH MEETNET.....	1
INVENTARISATIE INFORMATIEBRONNEN FYSISCH MEETNET.....	1
DIT RAPPORT.....	2
<b>1. METHODEN VOOR HET METEN VAN DE WATERSTAND IN ZOUTE WATEREN.....</b>	<b>3</b>
1.1 ACHTERGROND: .....	3
1.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK.....	3
1.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN.....	3
1.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN: .....	4
1.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN WATERSTANDEN ZOUTE WATEREN: .....	7
<b>2. METHODEN VOOR HET METEN VAN GOLVEN.....</b>	<b>9</b>
2.1 ACHTERGROND. ....	9
2.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK:.....	9
2.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN. ....	9
2.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN: .....	12
2.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN GOLVEN: .....	15
<b>3 METHODEN VOOR HET METEN VAN WATERTEMPERATUREN .....</b>	<b>17</b>
3.1 ACHTERGROND. ....	17
3.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK.....	17
3.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN.....	17
3.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN. ....	18
3.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN WATERTEMPERATUUR ZOUTE WATEREN .....	20
<b>4. METHODEN VOOR KUSTMETINGEN EN VAKLODINGEN.....</b>	<b>21</b>
4.1 ACHTERGROND: .....	21
4.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK:.....	21
4.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN. ....	22
4.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN.....	24
4.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN KUSTMETINGEN EN VAKLODINGEN: .....	25
<b>5. METHODEN VOOR HET METEN VAN WATERSTANDEN EN AFVOEREN VAN DE ZOETE WATEREN .....</b>	<b>27</b>
5.1 ACHTERGROND .....	27
5.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK.....	27
5.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN.....	30
5.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN.....	33
5.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN WATERSTANDEN EN AFVOEREN ZOETE WATEREN : .....	36
<b>6. METHODEN VOOR HET METEN VAN STROMINGEN IN DE KUSTZONE .....</b>	<b>37</b>
6.1 ACHTERGROND .....	37
6.2 DE HUIDIGE MEETPRAKTIJK.....	37
6.3 ANDERE INFORMATIEBRONNEN / ONTWIKKELINGEN.....	38
6.4 EIGENSCHAPPEN VAN DE METHODEN.....	40
6.5 REFERENTIES T.A.V. INFORMATIEBRONNEN STROMINGEN IN DE KUSTZONE: .....	42
<b>7. MEETTECHNIEKEN EN VERNIEUWING VAN HET FYSISCH MEETNET.....</b>	<b>43</b>
7.1 INNOVATIE MET BETREKKING TOT MEETINSTRUMENTEN; TECHNOLOGY PULL/TECHNOLOGY PUSH.....	43
7.2 PERSPECTIEVEN VOOR INSTRUMENTELE VERNIEUWING IN HET FYSISCH MEETNET.....	45
7.2.1 INNOVATIE M.B.T. HET METEN VAN WATERSTANDEN IN ZOUTE WATEREN.....	45
7.2.2 INNOVATIE M.B.T. HET METEN VAN GOLVEN.....	46
7.2.3 INNOVATIE M.B.T. HET METEN VAN WATERTEMPERATUREN.....	47
7.2.4 INNOVATIES M.B.T. KUSTMETINGEN EN VAKLODINGEN.....	47
7.2.5 INNOVATIES M.B.T. HET METEN VAN WATERSTANDEN EN AFVOEREN IN ZOETE WATEREN.....	49
7.2.6 INNOVATIES M.B.T. HET METEN VAN STROMINGEN IN DE KUSTZONE .....	50
7.3 REFERENTIES T.A.V. INNOVATIE MEETINSTRUMENTEN .....	51



## Inleiding

### *Evaluatie Fysisch Meetnet*

De specialistische diensten RIKZ en RIZA voeren in het kader van de Monitoring van de Waterstaatkundige Toestand des Lands (MWTL) een landelijk monitoringprogramma uit. Het programma wordt uitgevoerd om informatie in te winnen ten behoeve van het nationale beleid en beheer van de rijkswateren en bestaat uit fysische, chemische en biologische meetnetten. Aan de hand van een veranderende informatiebehoefte, de beschikbaarheid van nieuwe meettechnieken of andere financiële randvoorwaarden kunnen jaarlijks kleine aanpassingen in de verschillende meetprogramma's worden doorgevoerd. In 2000 ging het project Evaluatie Fysisch Meetnet van start om om een meer diepgaande analyse te kunnen maken. De evaluatie was gericht op de onderdelen *informatiebehoefte*, *informatiestrategie* en *informatieoverdracht* uit de Informatiekringloop (zie de figuur hieronder). Doel van de evaluatie was te onderzoeken of de ingewonnen informatie nog goed aansluit bij de informatiebehoefte, of de informatie efficiënter kan worden ingewonnen en of ze in de goede vorm wordt gepresenteerd aan de eindgebruiker.



De Informatiekringloop

Om deze doelen te bereiken werd de actuele informatiebehoefte in kaart gebracht. Tegelijkertijd werd een inventarisatie gemaakt van de meetsystemen, die de in het Fysisch Meetnet te vergaren informatie meten dan wel kunnen meten. De resultaten van deze *inventarisatie van informatiebronnen* zijn in dit rapport bijeengebracht.

### *Inventarisatie Informatiebronnen Fysisch Meetnet*

De Inventarisatie Informatiebronnen Fysisch Meetnet is gericht geweest op het maken van een actueel overzicht van het meetinstrumentarium, dat de momenteel in het kader van MWTL gemeten fysische informatie kan verschaffen. Voor de zoute rijkswateren betreft dit de metingen met betrekking tot *waterstanden*, *golven* en *watertemperaturen*, voorts *kustmetingen (lodingen en hoogtemetingen)* en *vaklodingen* en metingen van *stromingen in de kustzone*. Voor de zoete wateren betreft het *waterstanden* en *afvoeren*. De inventarisatie betreft zowel de vaste en mobiele in situ meetinstrumenten als ook de mogelijkheden van contactloze meettechnieken, inclusief vliegtuig en satelliet remote sensing. Gecombineerd met recentelijk gepubliceerde informatie omtrent de status van modelsystemen en het gebruik ervan in de meetsector van Rijkswaterstaat kan deze informatie aangewend worden voor de opstelling van een geactualiseerd integraal meetplan voor het Fysisch Meetnet, waarin ook het geïntegreerd gebruik van technieken tot zijn recht kan komen.

## ***Dit rapport***

In het gevolgde traject werden de actuele informatiebehoefte en de status van de informatiebronnen gelijktijdig onderzocht. In deze rapportage is derhalve uitgegaan van de huidige inrichting van het fysisch meetnet en is gekeken naar mogelijke innovatie van het meetinstrumentarium daarvoor. Dit resulteerde in een (vooralsnog globaal) overzicht van de meettechnieken, die op dit moment worden toegepast voor meting van de parameters van het fysisch meetnet of daarvoor in aanmerking komen. De thematische indeling van het Fysisch Meetnet is als leidraad gebruikt. In vijf achtereenvolgende hoofdstukken worden behandeld:

<i>Hoofdstuk 1:</i>	<i>Meting van waterstanden in zoute wateren</i>
<i>Hoofdstuk 2:</i>	<i>Meting van Golven</i>
<i>Hoofdstuk 3:</i>	<i>Meting van Watertemperaturen</i>
<i>Hoofdstuk 4:</i>	<i>Kustmetingen/vaklodingen</i>
<i>Hoofdstuk 5:</i>	<i>Meting van waterstanden en afvoeren in zoete wateren</i>
<i>Hoofdstuk 6:</i>	<i>Meting van stromingen in de kustzone</i>

In de eerste paragraaf van elk hoofdstuk wordt in het kort de *achtergrond* van het meten van de betreffende parameter(s) behandeld, in de tweede paragraaf komt de *huidige meetpraktijk* (informatie omtrent de toegepaste meetmethoden en meetinstrumenten en de gehanteerde meetstrategie) aan de orde. Vervolgens is er een paragraaf, waarin *andere informatiebronnen*, geschikt voor het meten van de betreffende fysische parameter, worden belicht. Het betreft hier zowel bestaande meetsystemen als ook instrumenten, waarvan de toepassing nog duidelijk in het stadium van ontwikkeling verkeert. In de laatste paragraaf van elk hoofdstuk komt een aantal *eigenschappen van de meetsystemen* aan de orde. Daartoe werd elke informatiebron getoetst aan een set van criteria, die betrekking hebben op zaken als precisie, systematische afwijking, resolutie/ punt dichtheid, gebiedsbedekking, meetconcept, kosten (initieel/operationeel), robuustheid meetmethodiek, mate van operationaliteit, beschikbaarheid en acceptatiegraad. Steeds wordt afgesloten met een literatuurlijst met relevante achtergronden voor het betreffende thema.

Op basis van de in de eerste vijf hoofdstukken bijeengebrachte informatie en aan de hand van enkele basisprincipes ten aanzien van implementatie van meetmethoden en –instrumenten wordt in hoofdstuk 6 aangegeven voor welke perspectieven er op korte of langere termijn zijn voor technologische innovatie binnen het Fysisch Meetnet.

De commentaren en suggesties voor verbetering door de volgende personen werden zeer op prijs gesteld: Wout van Vuuren (RIZA), Rinus Schroevers (RIKZ), Peter Heinen (RIZA), Koos Doekes (RIKZ), Henk Cox (RIKZ), Kees van Ruyiten (RIKZ), Harry Landa (MD), Niels Kinneging (MD), Jur Vogelzang (MD).

---

Correcties, adviezen en suggesties van lezers van dit rapport worden (uiteraard)op hoge prijs gesteld. Reageren kan bij:

J.M.M. Kokke  
RijksInstituut voor Kust en Zee  
Postbus 20907  
2500 EX 's Gravenhage  
telefoon 070 3114 515  
email [j.m.m.kokke@rikz.rws.minvenw.nl](mailto:j.m.m.kokke@rikz.rws.minvenw.nl)

## 1. Methoden voor het meten van de waterstand in zoute wateren

### 1.1 Achtergrond:

Waterstand is in het Gegevenswoordenboek OMEGA, [ref. 1.12], gedefinieerd als "het (kortstondig) gemiddelde van de hoogteligging van de waterspiegel, karakteristiek voor een periode van enkele tientallen seconden tot 10 minuten". De huidige generatie waterstandsmeetinstrumenten registreert met relatief hoge frequentie (vanaf 0,8 Hz) het momentane waterniveau. Binnen Rijkswaterstaat wordt de 10 minuten gemiddelde waterstand het meest gebruikt. In de meetnetten van Rijkswaterstaat voor de zoute wateren worden routinematig waterstanden gemeten ten behoeve van de vastlegging van de waterstaatkundige toestand en voor het vaststellen van actuele informatie voor operationele toepassingen.

Voor het monitoren van de zeespiegelrijzing moet dit zeer nauwkeurig gebeuren met een extreem goede nulpuntstabiliteit. Een toepassing als stormvloedwaarschuwing vereist naast een grote meetnauwkeurigheid ook instrumentele betrouwbaarheid en robuustheid van het meetinstrument. Wanneer waterstandsgegevens benut worden voor bijvoorbeeld bodemkartering, dienen de metingen plaats te vinden op de locaties van de lodingen en kan de nauwkeurigheidseis iets minder streng zijn.

De waterstand in de zoute wateren wordt voor een zeer groot deel bepaald door het astronomisch getij. Voor locaties waar jarenlange metingen beschikbaar zijn is de astronomische component goed te bepalen en daarmee voor de eerstkomende jaren goed te voorspellen. Dit astronomisch getij is vastgelegd in getijtafels en ook in elektronische vorm beschikbaar in de getijgenerator. Daarnaast wordt de waterstand bepaald door de wind die het water opstuwt. Met numerieke modellen, geopereerd bij het KNMI, wordt deze opstuwung berekend en opgeteld bij het astronomisch getij. Zo kunnen voorspellingen worden opgemaakt voor de nabije toekomst (enkele dagen).

Daar waar wel actuele waterstandsgegevens gewenst is maar geen meetopstelling beschikbaar is bieden interpolatiemodellen een oplossing.

Waterstandsgegevens worden benut voor validatie en kalibratie van waterbewegingsmodellen door middel van data-model-integratie: de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen nemen daarmee toe.

### 1.2 De huidige meetpraktijk

De meetmethoden die momenteel door Rijkswaterstaat in de zoute wateren routinematig worden gebruikt zijn de digitale niveaumeter (een zgn. vlottergetijmeter, afgekort DNM), de stappenbaak en de druksensor (het standaard meetinstrument is de MORS OT600P), terwijl ook de radarniveaumeter op een aantal locaties in gebruik is. Incidenteel worden capacitieve baken toegepast.

Numerieke modellen worden hoofdzakelijk gebruikt voor het voorspellen van de waterstand t.en behoeve van de scheepvaartbegeleiding en de stormvloedwaarschuwing. Data-model-integratie wordt toegepast met als doel de kwaliteit van waarnemingen en voorspellingen te verbeteren. Bij lodingen wordt voor de bepaling van het referentievlak meestal een druksensor gebruikt in combinatie met een waterstandsmodel.

### 1.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen

#### De radarniveaumeter.

Vanwege zijn robuustheid en de lage onderhoudskosten is de contactloze radarniveaumeter (RNM) kandidaat om de DNM, de stappenbaak en de druksensor daar waar mogelijk in de meetnetten te vervangen. De toepassing van het instrument boven open water is vanwege een te behalen belangrijke reductie van de kosten van onderhoud de meest aantrekkelijke; daar waar de lokale omstandigheden niet toelaten het instrument 'vrij kijkend' te installeren is er de optie om het instrument gecombineerd met een bijpassende fabrieksstandpijp toe te passen. De radarniveaumeter kan zowel voor waterstandsmetingen als voor golfmetingen worden ingezet en biedt de mogelijkheid om het gehele golfbereik van getij, seiches, deining en windgolven te meten. Het traject naar invoering van de radarniveaumeter als standaard waterstandsmetinstrument is in 2001 opgeschort omdat ongewenst grote en onverklaarde

verschillen optraden tussen waterstanden gemeten met de radarniveaumeter en die van een referentiemeetinstrument (meestal de DNM). Inmiddels heeft nader onderzoek het basisvertrouwen in de techniek hersteld. Voor de toepassing vrij kijkend boven open water is nog onderzoek nodig naar de effecten van hogere golven op de waterstandsregistratie door het meetinstrument. Synchrone meting van zowel de waterstand als de golfhoogte met de radarniveaumeter biedt wellicht de mogelijkheid voor golfeffecten te corrigeren. Verder zullen proeven nodig zijn met radarniveaumeters in een bijpassende industriële standpijp om de werking van het instrument te testen in omstandigheden waarin het niet mogelijk is het instrument vrij boven het open water op te hangen. Tenslotte is nog niet goed bekend hoe de radarniveaumeter functioneert wanneer ijsvorming optreedt en hoe om te gaan met verstoring van waterstandsmetingen door onder de radarniveaumeter langdrijvende objecten.

#### Satelliet altimetrie.

Door middel van assimilatie van satelliet-radaraltimetergegevens (van ERS-1, ERS-2 en TOPEX/POSEIDON) met een waterbewegingsmodel (DCSM, gebaseerd op WAQUA) kan een goede referentie voor het gemiddelde zeeniveau op elk gewenst punt van het Nederlandse Continentaal Plat verkregen worden. In de DATUM (Data Assimilation with Altimetry Techniques Used in a tidal Model) projecten werd onderzocht in hoeverre het gebruik van altimetergegevens waterstands-informatie en stormvloedvoorspelling zouden kunnen verbeteren. Geconcludeerd werd (zie ook [ref. 1.9]), dat in het beheergebied van Rijkswaterstaat de radaraltimetergegevens informatie oplevert, die hoogstens gelijkwaardig is aan die van het bestaande waterstandsmeetnet (met name die van het Meetnet Noordzee). Ook de theoretisch denkbare optie om een aantal van de huidige waterstands-meetlocaties op te heffen en informatie aan te vullen met altimetergegevens vervalt vanwege het gegeven, dat de betreffende meetlocaties van belang zijn voor het meten van lange tijdreeksen van waterstanden en ook in gebruik zijn voor meting van andere essentiële parameters.

#### DGPS:

DGPS kan worden toegepast om in plaats van met een druksensor het referentievlak te meten voor de waterstandscorrectie van echolodgingen. Met DGPS uitgeruste boeien (o.a. Ashtech, [ref 1.10]) zouden met een nauwkeurigheid van 1 cm de waterstand kunnen meten.

#### Data-model-integratie.

Voorzien wordt dat de behoefte aan meer ruimtelijk gedetailleerde informatie zal groeien; het gebruik van modellen zal daarmee gaan toenemen, zodat het belang van data-model-integratie groter zal worden. Onder andere voor:

- de kwaliteitscontrole van de metingen onderling;
- de kalibratie van de modellen;
- de invulling van niet bemeeten locaties.

De metingen zullen als invoer van het model een cruciale rol blijven spelen. Zie voor nadere informatie ook [ref 1.11]

### **1.4 Eigenschappen van de methoden:**

#### Nauwkeurigheid van de waterstands-informatie.

De nauwkeurigheidseis met betrekking tot de waterstand is dat 95% van de gemeten waterstanden minder dan 2,5 cm afwijkt van de 'ware waterstand'. DNM en stappenbaak voldoen aan deze eis. De huidige status van onderzoek naar de geschiktheid van de radarniveaumeter als waterstandsmeet-instrument wijst erop dat dit instrument binnen afzienbare tijd op veel locaties de DNM als standaard instrument voor het meten van waterstand kan vervangen.

De nulpuntstabiliteit van DNM, RNM en stappenbaak is goed, vanwege een mogelijk (snel) verloop dient de nulpuntcontrole bij de (analoge) druksensor zeer regelmatig plaats te vinden. Naast de primaire instrumentele nauwkeurigheid beïnvloeden in de praktische meetsituatie de volgende factoren de nauwkeurigheid van waterstandsmeet-instrumenten:

1. Een nauwkeurige en stabiele vastlegging van het nulpunt dan wel de referentiehoogte voor een waterstandsmeetinstrument is van groot belang voor zowel de nauwkeurigheid van de individuele meting als ook voor de bepaling van lange termijn gemiddelden. Met



de komst van (D)GPS kan de verticale positie van de sensor efficiënt en nauwkeurig worden gecontroleerd.

2. De registratie van de waterstand kan worden beïnvloed door factoren als aangroei, vervuiling, golven en stroming. In [ref 1.8] wordt uitgebreid ingegaan op deze punten. Als de radarniveaumeter het standaard meetinstrument voor waterstand wordt zal het gebruik van de vlotter-getijmeter, de stappenbaak en de druksensor gaat afnemen. De radarniveaumeter heeft geen problemen met aangroei, vervuiling en aanstroming. Wel moet zorg besteed worden aan het vermijden van storende reflecties in de radarbundel. Over het algemeen kan gesteld worden dat de meetgevoeligheid van de hier behandelde meetssystemen, mits zorgvuldig onderhouden, voldoende goed zijn.

#### Robuustheid van de methode, continuïteit van de gegevensstroom

Metten in de zoute wateren vereist zeer robuuste systemen. Onderhoud en reparatie van systemen vergen veel inspanning, zijn duur en kunnen onder ongunstige klimatologische omstandigheden niet worden uitgevoerd. Langere perioden met kwalitatief minder goede of zelfs helemaal geen informatie zijn ongewenst. Oplossingen kunnen zijn:

- de introductie van redundantie (meerdere instrumenten op dezelfde locatie voor het meten van dezelfde parameter, hetgeen hogere onderhoudskosten met zich mee brengt!)
- de toepassing van nauwkeurige en betrouwbare meetssystemen, die een grotere garantie bieden voor continuïteit in de gegevensstroom.

De radarniveaumeter, die contactloos meet, een goede stabiliteit heeft en geen bewegende delen bevat is een robuust alternatief voor de bestaande meetinstrumenten. In het algemeen kan gesteld worden dat de DNM en de stappenbaak kwetsbaarder systemen zijn die veel onderhoud vergen. Ten aanzien van het gebruik van GPS kan gesteld worden dat de meettechniek op zichzelf zeer robuust is. De betrouwbaarheid van deze techniek is gekoppeld aan het al dan niet functioneren van de satellieten en hun verbindingen, hetgeen een risico vormt ten aanzien van de continuïteit van de gegevensstroom. Ook ontbreekt het nog aan voldoende ervaring met deze nieuwe technologie binnen Rijkswaterstaat.

#### Ruimtelijke resolutie (gebiedsdekking, punt dichtheid)

Numerieke modellen hebben het principiële voordeel dat ze informatie kunnen leveren over een groot gebied met een grote ruimtelijke resolutie. De lokale (punt)metingen van de waterstandsmeetstations kunnen dit niet benaderen, maar waterstanden vertonen in vergelijking met stroom, wind en golven minder ruimtelijke variabiliteit. Data-model-assimilatie maakt het mogelijk op basis van puntmetingen met goede nauwkeurigheid waterstanden te berekenen op locaties, waar geen metingen beschikbaar zijn.

#### Acceptatiegraad.

Het meten van waterstand met vlotter-getijmeters, stappenbaken en druksensoren heeft al een lange historie. Deze meetmethoden hebben in de praktijk bewezen te voldoen aan de gestelde eisen met betrekking tot nauwkeurigheid en betrouwbaarheid en zijn daarmee 'geaccepteerde' meetmethoden. De voordelen van de *radarniveaumeter* (contactloze, robuuste, onderhoudsvriendelijke meetmethode) zijn evident. Invoering van de radarniveaumeter in de meetnetten is typisch een voorbeeld van 'hetzelfde beter doen' (in dit geval goedkoper, robuuster, betrouwbaarder). Meetstrategie en datainfrastructuur ten aanzien van het meten van waterstanden kunnen in principe geheel identiek blijven; het betreft 'slechts' vervanging van het bestaande instrument door een radarniveaumeter. Invoering van dit meetinstrument zal naar verwachting geen probleem vormen nadat gebleken is, dat de gemeten gegevens voldoen aan de nauwkeurigheidseisen en dat het instrument een waardig vervanger kan zijn van de digitale niveaumeter.

Verwacht mag worden, dat acceptatie van een boei met GPS-technologie (mede door de brede bekendheid en goede ervaringen met andere GPS-toepassingen) in de meetsector en gebruikerswereld geen probleem zal vormen, mits deze technologie aan de vereisten met betrekking tot waterstandsregistratie voldoet.

Tabel 1.1: Overzicht eigenschappen meetssystemen voor waterstanden

	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit beschikbaarheid	robuustheid	acceptatie
DNM	++	+	1	000	000	++	++	++
Stappenbaak	+	+	1	000	000	+	-	+
Druksensor	+	+	1	00	000	+	-	+
RNM	++	+	1	00	0	++	++	+
GPS boei*	+	-	1	00	000	-	+	-
SatellietAltimeter	-	-	+	0	00	+	++	-
Model	-	#	++	00	00	+	+	+

++	goed	0000	hoge kosten
+	redelijk	000	tamelijk hoge kosten
-	matig	00	redelijke kosten
--	slecht	0	lage kosten
#	geen info/nvt	1	betreft puntmeting

---

\* onder voorbehoud

### **1.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen waterstanden zoute wateren:**

- 1.1. **Monitoring zoete Rijkswateren** / L.J. Gilde, K.H. Prins, C.A.M. van Helmond ; RWS, RIZA, Arcadis Heidemij Advies, 1999, RIZA rapport 99.004, ISBN 9036952247
- 1.2. **Inventarisatie remote sensing toepassingen V&W : stand van zaken en vooruitblik** / DORS werkgroep INVENT ; eindred. F.A. Hagman, RWS, MD, 1999.
- 1.3. **Remote sensing applied to operational models - North Sea** / A.D. Jenkins et al. 1997, Report no. 49, MAST III programma: MAS3 CT 9500025, PROMISE (Pre-Operational Modelling In the Seas of Europe)
- 1.4. **Van vernieuwing in meten tot vernieuwing in weten : NCK-themadagen, 24 en 25 juni 1996, Stadskaatsel Oudaen Utrecht** / J. Dronkers, M. Stive, A. Kroon, H. de Swart, S. Hoogewoning; 1997
- 1.5. **Wave and sea level monitoring and prediction in the service module of the Global Ocean Observing System (GOOS)** / Gerbrand Komen, Neville Smith; In: Journal of marine systems, Vol. 19, no. 4 (March 1999) ; p. 235-250
- 1.6. **Evaluatie van radarniveau- en golfhoogte-meters** / P. Verburgh, Th. Sijben, H. Cox, RWS, RIKZ, 1998, Rapport RIKZ-98.040
- 1.7. **Waterstand- en golfinformatie door middel van niveaumetingen vanaf vaste opstellingen** / H.C. Peters, J. de Bes, D.W. van Dijk, RWS, RIKZ, 1995, werkdocument RIKZ/IT-95.158X
- 1.8. **Analyse van waterhoogtemetingen met laseraltimetrie van de Rijn bij Pannerden** / A.E. Bollweg, R. van Heerd, RWS, MD, 1999, Rapport MS2000+ ; 99.08
- 1.9. **Data assimilation with altimetry techniques used in a tidal model, 2nd program: DATUM 2** / M.E. Philippart, A.W. Gebraad, R. Scharroo, M.R.T. Roest, E.A.H. Vollebregt, A. Jacobs, H.F.P. van den Boogaard, H.C. Peters ; 1998, NRSP-2 report 98-19.
- 1.10. **RiGHt on the Water/** T. Moore, G. Close, Ch. Lee, R. Moore; n: Galileo's World. - autumn 2000, p22-27.11.
- 1.11. **Het huidig modelgebruik in de meetsector/** P.A. Blokland, J.v.d.Linden, RWS, RIKZ, 1998, Rapport MS2000+ ; 98.02
- 1.12. **Lexicon <<OMEGA>> gegevens woordenboek 'water'** / Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Hoofdkantoor Rijkswaterstaat, 1997, HKW Directie Kennis



## 2. Methoden voor het meten van golven

### 2.1 Achtergrond.

Informatie over golven is van belang voor het inzicht in overstromingsgevaar en voor de kustverdediging. Primaire gebruiksdoelen van golfmetingen zijn het bepalen van overschrijdingskansen van golfhoogten, het bepalen van randvoorwaarden voor het ontwerpen en toetsen van waterkerende constructies, de analyse van het kustgedrag en het bepalen van golfklimaten en mogelijke trendmatige veranderingen daarin. Actuele gegevens zijn van belang voor o.a. stormvloedwaarschuwing, scheepvaart en offshore activiteiten.

### 2.2 De huidige meetpraktijk:

Het huidige fysisch meetnet maakt uitsluitend gebruik van boeien, die informatie leveren over golfhoogten, spectrale golfenergie en golfrichting. De boeien liggen op relatief diep water, buiten de beweeglijke bankengebieden en buitendelta's, zodat de ongestoorde 'diepwatervolven' worden gemeten en veranderingen in de morfologie de metingen niet of nauwelijks beïnvloeden. De Nederlandse kust wordt 'afgedekt' door een viertal golfmeet-boeien. Twee boeien liggen in nog dieper water, in de nabijheid van platforms. Vanaf vaste opstellingen wordt ook gemeten met radarniveaumeters (merk Saab). Het gebruik van stappenbaken loopt sterk terug (o.a. vanwege hun grote kwetsbaarheid en hoge onderhoudskosten).

De standaard voor de opslag van golfgegevens voor golfklimatologie bestaat uit het energiedichtheidspectrum, het golfrichtingspectrum en acht andere veel toegepaste parameters. De opgeslagen spectrale gegevens hebben een tijdstap van 3 uur, voor de parameters is dat 1 uur. Voor operationele doelen (met name voor de scheepvaart) worden de golfparameters elke 10 minuten berekend over de laatste 20 minuten. Voor presentatie worden uitsluitend de enkelvoudige parameters gebruikt.

De meetfrequentie van de golfmeetboeien (typisch 1,28 Hz) is voldoende om de temporele variaties van de zeegolven vast te leggen, maar de metingen representeren slechts de golfparameters in een beperkte omgeving van de boei. Grote variaties in ruimtelijke zin worden niet door een golfmeetboei geregistreerd. Wiskundige modellen kunnen worden ingezet om de golfvoortplanting van gemeten naar gewenste positie te berekenen. Voor het vastleggen van de waterstaatkundige toestand worden deze modellen meestal achteraf toegepast. Voor operationele toepassingen zoals de begeleiding van geul gebonden scheepvaart in de Euro-Maasgeul en de IJgeul worden ze direct toegepast.

In de meetnetten worden geen golven gemeten op ondiepe locaties (minder dan 5 meter diep). Op die locaties worden wel metingen uitgevoerd in projectverband. De doorlooptijd van dergelijke projecten kan een aantal jaren beslaan (zoals dat bijvoorbeeld bij Petten (N.H.) het geval is). Op deze ondiepe locaties wordt gemeten met diverse baken (stappenbaak en capacatieve baak), radarniveaumeters en druksensoren.

Ook op de zoete wateren worden alleen in projectverband golven gemeten binnen het kader van het Fysisch Meetnet. Het op zoet water optredende golfspectrum vraagt om wat hogere bemonsteringsfrequenties (> 4 Hz). Ook hier kunnen druksensoren en baken worden ingezet. Ook een radarniveaumeter met een voldoende hoge inwinfrequentie kan worden toegepast.

### 2.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen.

#### Stappenbaken:

Zoals reeds eerder gemeld raakt de stappenbaak vanwege het benodigde intensieve onderhoud in onbruik en vervangt de radarniveaumeter de stappenbaak meer en meer. De beide voordelen, die baken nog tot kortgeleden hadden (laag energieverbruik en relatief hoge bemonsteringsfrequentie) zullen met de komst van energiezuinige radarniveaumeters met (voldoend) hoge bemonsteringsfrequentie ook niet langer opgeld doen.

#### Golfmeetboeien:

De huidige generatie golfmeetboeien in het fysisch meetnet (de Waverider en de Directional Waverider) is lange tijd zonder concurrentie geweest. Inmiddels wordt enige concurrentie gevoeld van door zonnecellen gevoede solid state boeien (met name de zgn. Triaxys boei) en (D)GPS boeien. Ook de maker van de Waveriders, Datawell, ontwikkelt een golfmeetboei op basis van DGPS. GPS boeien zullen de bijkomende mogelijkheid bieden om naast de golven ook relatief laagfrequente verschijnselen als seiches en getij te registreren.

#### De radarniveaumeter:

De techniek van de contactloze radarniveaumeter voor het meten van golfparameters is bij tests betrouwbaar en robuust bevonden (zie ook [re. 2.9]). Met het op de markt komen van energiezuinige (5 W) radarniveaumeter-systemen met een groter bereik aan bemonsteringsfrequenties (nu tussen 0,1 en 5.12 Hz) wordt toepassing van dit meetinstrument op meetpalen en in zoete wateren mogelijk.

#### Een array van radarniveaumeters:

Met een array van radarniveaumeters (minstens 3), die een goed gekozen deel van het wateroppervlak bemeten, kan ook de optredende golfrichting worden gemeten (zie ook [ref 2.10, 2.15]). Mede gezien de lage onderhoudskosten kan een array van radarniveaumeters een serieus alternatief worden voor een golfrichtingsboei.

Een dergelijk meetstelsel is ook toepasbaar in ondiep water en wordt daarom gezien als kandidaat meetinstrument voor een langjarig meetprogramma in het Waddenzeegebied, dat moet resulteren in een betere onderbouwing van de hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen in dat gebied. Zie ook [ref. 5.16]. De meetmethode behoeft verdere ontwikkeling en beproeving alvorens ze operationeel kan worden ingezet.

#### Satelliet en vliegtuig waarnemingen:

Radar-altimeter en Synthetic Aperture Radar (SAR) zijn internationaal gewaardeerde golfmeettechnieken geworden. De Altimeter levert operationele informatie van golfhoogte en windsterkte. Het KNMI heeft met gebruikmaking ervan een significante verbetering van de kwaliteit van de wind- en golfvoorspellingsmodellen bewerkstelligd [ref 2.11]. Voor het gebruik binnen de meetnetten van Rijkswaterstaat leveren ze vooralsnog te weinig extra informatie en kwaliteit t.o.v. de traditionele puntmeetinstrumenten [ref 2.3].

Satelliet SAR-gegevens bieden gedetailleerde momentane golfrichtingsinformatie, die van grote waarde is voor onderzoek en modelontwikkeling. De herhalingsfrequentie (lager dan 1 maal daags) is echter te laag voor gebruik in MWTL-kader (zie [ref 2.3])

Vliegtuig-SAR (het Pharus systeem) levert goede gedetailleerde golfrichtingsinformatie [refs. 2.3, 2.4.] Voor routinematig gebruik binnen de meetnetten lijkt de methode duidelijk niet relevant als gevolg van hoge kosten en beperkte beschikbaarheid. Voor het afregelen van wiskundige modellen kan ze wel waardevol zijn.

Het KNMI heeft met gebruikmaking van radaraltimeter en Synthetic Aperture Radar een significante verbetering van de kwaliteit van de wind- en golfvoorspellingsmodellen bewerkstelligd [ref. 2.11]. Voor het gebruik binnen de meetnetten van Rijkswaterstaat leveren ze vooralsnog te weinig extra informatie en kwaliteit ten opzichte van de traditionele puntmeetinstrumenten. De herhalingsfrequentie (lager dan 1 maal daags) is ook te laag voor gebruik in MWTL-kader. Vliegtuig-SAR (bijv. PHARUS) levert goede gedetailleerde golfrichtingsinformatie, maar voor routinematig gebruik binnen het golfmeetnet lijkt deze techniek onvoldoende relevant door de hoge kosten en de beperkte beschikbaarheid. Voor afregeling van wiskundige modellen kan ze waardevol zijn. Zie voor additionele informatie [refs. 2.3 en 2.4]

#### De golven-ADCP:

Uit de registraties van een verticaal opgestelde ADCP kunnen in principe gegevens omtrent golfhoogte en golfrichting worden verkregen. In de periode november-december 2001 is bij de Meetpost Noordwijk een ADCP voor golfmetingen ingezet om de mogelijkheden van dat instrument voor golfhoogte/golfrichting-meten te demonstreren. De demonstratie slaagde

slechts gedeeltelijk, omdat de gegevens van een directional waverider boei, het referentie-meetinstrument voor golfrichting niet beschikbaar bleken. Een nieuwe test is geplanned.

#### HF radar:

Rijkswaterstaat heeft tussen 1994 en 1999 op een aantal Nederlandse locaties pilotprojecten uitgevoerd om te bezien of het mogelijk was near real time ruimtelijke stromingsinformatie te leveren met HF (High Frequency) radar. In die periode leverden dergelijke commercieel verkrijgbare HF radar systemen geen golf informatie, die minder eenduidig dan stroominformatie wel in het door de radar geregistreerde signaal aanwezig is. Inmiddels vinden op verschillende plaatsen in de wereld (University of Sheffield (informatie extractie), Hamburg (hardware)) nieuwe ontwikkelingen t.a.v. HF radar plaats, waarbij naast stroming ook ruimtelijke informatie over golfhoogte en golfrichting kan worden geregistreerd. Verwacht mag worden, dat ruimtelijke golf informatie in combinatie met golfmodellen een belangrijke informatiebron kunnen worden voor onderzoek en projectmatige toepassing. Ten aanzien van mogelijk operationeel, routinematig gebruik van HF radar moet de kanttekening gemaakt worden, dat de techniek het laat afweten bij zeer hoge golven. Op korte termijn is er derhalve binnen de meetnetten van Rijkswaterstaat geen inzet te verwachten van de HF-radar techniek voor het meten van golven. De ontwikkelingen ten aanzien van deze techniek worden blijvend gevolgd.

#### Navigatieradar:

Analyse van reeksen van beelden van een navigatieradar levert ruimtelijke informatie op over golfrichting, stroming en waterdiepte van een gebied met een straal van minstens 3 km rondom het meetinstrument. Ook voor de extractie van golfhoogte-informatie, slechts indirect in het radarsignaal aanwezig, is een methodiek ontwikkeld. Navigatieradar-systemen hebben in omstandigheden met lage golven (<50cm) een relatief gering bereik, dat toeneemt bij hoger wordende golven.

Bestaande navigatie radars zoals die op het Europlatform, op Lichteiland Goeree en langs de kust kunnen in principe zonder grote aanpassingen worden benut voor het inwinnen van golf informatie. Er zijn momenteel enkele navigatieradarsystemen voor golfmetingen commercieel verkrijgbaar (Ocean Waves en Miros). Ook in Nederland wordt gewerkt aan een marktsysteem (SHIRA systeem van TNO-FEL). De Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat heeft een eigen mobiel navigatieradarsysteem. In Nederland zijn zowel met het MD-systeem als met een mobiel SHIRA (SHIps RAdar) systeem experimenten uitgevoerd om de kwaliteit van de mogelijke informatieproducten te onderzoeken en perspectieven voor operationeel gebruik af te tasten. Zo zijn er met betrekking tot golfmetingen tests geweest ten opzichte van de Directional Waverider [ref 2.12].

Hoewel op de korte termijn geen inzet van navigatieradars als golfmeetsysteem binnen de meetnetten verwacht mag worden, lijkt met name het aspect van de ruimtelijke informatie perspectieven te bieden voor onderzoek en projectmatige inzet. De navigatieradar komt nadrukkelijk naar voren als een van de instrumenten, die de nu ontbrekende golf- en stromingsmetingen kunnen verrichten voor kalibratie, validatie en verbetering van het golfmodel SWAN. Inzet van navigatie-radar in een uitgebreide meerjarige meetcampagne in de Waddenzee kan zo wellicht leiden tot een betere onderbouwing van de hydraulische randvoorwaarden aldaar [ref. 5.16]. In dit kader is een voorstel voor een traject naar operationalisering van de navigatieradar in ontwikkeling.

#### Algemeen:

De volgende algemene trends zijn waar te nemen met betrekking tot het meten van golven:

- De toepassing van remote sensing technieken als HF radar en navigatieradar blijft in ontwikkeling en wordt gevolgd. Het gebruik van satelliet- en vliegtuig-sensoren (altimeter en SAR) voor waarnemingen van golven nadert de status van operationaliteit.
- Data-model-integratie kan een belangrijkere rol spelen waar de behoefte aan meer op de vraag toegesneden informatie toeneemt; de golfvoorspellingen van het KNMI komen op een gedetailleerder rooster beschikbaar. Tijdelijke meetcampagnes (strikt genomen niet tot de meetnetten behorend) kunnen validatie/kalibratie van de golfmodellen ondersteunen.
- Recent heeft het onderzoek naar ontstaan en voorkomen van seiches (ook wel havenschommelingen genoemd) een nieuwe impuls gekregen. Noch boeien, noch vlotter-

getijmeters zijn geschikt om het seiches-frequentiegebied te bemeten. Voor het meten van seiches zijn druksensoren, stappenbaken en radarniveaumeters wel geschikt.

- Wiskundige golfmodellen worden momenteel binnen het landelijk meetnet van Rijkswaterstaat alleen gebruikt voor de begeleiding van de geul-gebonden scheepvaart. De combinatie van informatie uit modellen, in situ gegevens en remote sensing gegevens (van satellieten en vliegtuigen) kan een goede oplossing zijn als de vraag naar snel beschikbare ruimtelijke informatie toeneemt.

#### ***2.4 Eigenschappen van de methoden:***

Hieronder volgt een samenvatting van de eigenschappen van de voor het golvenmeetnet belangrijkste informatiesystemen:

##### Golfhoogteboei:

- meet de golfhoogte met een onzekerheid van ca 10%.
- puntmeting.
- meetconcept simpel, robuust.
- initiële kosten redelijk (€ 20.000), operationele kosten hoog.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies alleen bij losslaan van verankering.
- geaccepteerd als wereld standaard voor golfhoogte meting.

##### Golfrichtingsboei:

- onzekerheid in golfhoogte ca 10%, golfrichting ca 5 graden, golfspreiding ca 5 graden.
- puntmeting.
- meetconcept simpel, robuust.
- initiële kosten hoog (€ 50.000), operationele kosten hoog.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies alleen bij losslaan van verankering.
- geaccepteerd als wereld standaard voor golfrichting meting.

##### Stappenbaak:

- onzekerheid in golfhoogte is ca 10%.
- puntmeting.
- meetconcept simpel, redelijk robuust.
- initiële kosten redelijk (€ 15.000), operationele kosten hoog.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies bij systeemlekkage of bij aanvaring; vervanging van de sensor mogelijk afhankelijk van de weersomstandigheden.
- geaccepteerd, maar onderhoudsgevoeligheid.

##### Druksensor:

- onzekerheid in golfhoogte is ca 10%.
- één-punts methode.
- meetconcept simpel en robuust.
- initiële kosten redelijk (€ 10.000), operationele kosten hoog.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies door verloop in gevoeligheid, kabel kwetsbaar; vervanging van de sensor afhankelijk van weersomstandigheden.
- Geaccepteerd, maar onderhoudsgevoelig.



#### De radarniveaumeter:

- meet de golfhoogte met een onzekerheid van ca 10%.
- één-punts methode.
- meetconcept simpel robuust (geen bewegende delen, contactloze meting).
- initiële kosten redelijk (€ 15.000), operationele kosten laag.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies alleen bij storingen in de infrastructuur.
- geaccepteerd.

#### Een array van radarniveaumeters

- array van 3 RNM's meet golfhoogte met een onzekerheid van 10%, golfrichting met een onzekerheid van 5 graden en golfspreiding van ca 15 graden.
- één-punts methode.
- meetconcept simpel en robuust
- initiële kosten hoog (€ 60.000), operationele kosten laag.
- operationeel inzetbaar.
- dataverlies alleen bij storingen in de infrastructuur.
- onvoldoende geëvalueerd.
- nog niet geaccepteerd.

#### De Acoustic Doppler Current Profiler.

- Meet golfhoogte met een onzekerheid van ca 15%, golfrichting met een onzekerheid van 5 graden en golfspreiding van ca 15 graden.
- één-punts methode.
- meetconcept simpel en robuust.
- initiële kosten hoog (€ 50.000), operationele kosten redelijk.
- nog niet inzetbaar in de meetnetten.
- dataverlies bij storingen in de infrastructuur; de kabelverbinding vormt het grootste risico.
- onvoldoende geëvalueerd.
- nog niet geaccepteerd.

#### HF radar:

- meet golfhoogte met een onzekerheid van >15%, golfrichting met een onzekerheid van 5 graden en golfspreiding van ca 15 graden.
- ruimtelijke informatie; bereik en resolutie zijn afhankelijk van werkfrequentie en golfklimaat. 50Mhz radar heeft bereik van ca 100km en gridsize van 1x1km<sup>2</sup>
- meetconcept simpel.
- hoogte- en richtingsinformatie moeilijk te extraheren.
- initiële kosten hoog(€ 400.000), operationele kosten laag.
- systemen voor stromingsmeten operationeel, nog niet voor golven.
- geschikt voor projectmatige toepassing/ validatie hydrodynamische modellen.
- uitval bij te hoge golven.
- onvoldoende geëvalueerd.
- nog niet geaccepteerd.

#### Navigatie radar:

- meet golfrichting met een onzekerheid van 3 graden en golfspreiding met onzekerheid van ca 15 graden; meten golfhoogte in ontwikkeling.
- ruimtelijke informatie; bereik >4 km, gridsize typisch 300x300m<sup>2</sup>
- meetconcept simpel; golfrichtingsinformatie eenvoudig te bepalen; golfhoogte indirect
- initiële kosten redelijk(€ 100.000), operationele kosten laag.
- semi-operationeel
- geschikt voor projectmatige toepassing/ validatie hydrodynamische modellen.
- uitval bij lage golven.
- onvoldoende geëvalueerd
- nog niet geaccepteerd.

De onderstaande tabel geeft de eigenschappen van de boven besproken informatiebronnen voor golven weer.

Tabel 2.1: Overzicht eigenschappen meetsystemen voor golfhoogte en -richting

	golfhoogte	golfrichting	Seiches	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit beschikbaarheid	robuustheid	acceptatie
golfhoogteboei	++	#	#	++	++	1	00	0000	++	-	++
golfrichtingboei	++	++	#	++	++	1	00	0000	++	-	++
stappenbaak	++	#	++	+	+	1	00	0000	+	--	+
druksensor	+	#	+	+	+	1	00	0000	+	-	+
RNM	++	#	++	++	++	1	00	0	++	++	+
RNM array	++	+	++	+	+	1	00	0	+	++	-
ADCP	+	+	#	+	+	1	00	000	+	-	-
altimeter	+	#	#	+	+	1	0	00	+	+	+
SAR satelliet	#	+	#	++	-	++	00	0000	-	+	-
SAR vliegtuig	#	+	#	++	-	++	0000	0000	-	--	-
HF radar	-	-	#	-	-	+	000	00	-	--	-
navigatieradar	-	++	#	+-	+	+	00	0	--	+	-

++	goed	0000	hoge kosten
+	redelijk	000	tamelijk hoge kosten
-	matig	oo	redelijke kosten
--	slecht	o	lage kosten
#	geen info of nvt	1	betreft puntmeting

## **2.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen golven:**

- 2.1. **Monitoring zoete Rijkswateren** / L.J. Gilde, K.H. Prins, C.A.M. van Helmond ; RWS, RIZA, Arcadis Heidemij Advies, 1999, RIZA rapport 99.004, ISBN 9036952247
- 2.2. **Inventarisatie remote sensing toepassingen V&W : stand van zaken en vooruitblik** / DORS werkgroep INVENT; eindred. F.A. Hagman, RWS, MD, 1999.
- 2.3. **Remote sensing applied to operational models - North Sea** / A.D. Jenkins et al., 1997, Report 49, MAST III programma: MAS3 CT 9500025, PROMISE (Pre-Operational Modelling In the Seas of Europe)
- 2.4. **Van vernieuwing in meten tot vernieuwing in weten : NCK-themadagen, 24 en 25 juni 1996, Stadskasteel Oudaen Utrecht** / J. Dronkers, M. Stive, A. Kroon, H. de Swart, S. Hoogewoning; 1997
- 2.5. Hoekstra, G.W., en A.J.M. van de Vlugt, Juli 1999, **Golf Stroom en dieptemetingen met SHIRA Mobiel**, MS2000+.99.07, Den Haag, 28 p.
- 2.6. **Monitoring surface waves in coastal waters by integrating HF radar measurement and modelling** / Cees de Valk, Ad Reniers, John Atanga, Ascension Vizinho, Jur Vogelzang, Coastal engineering . - Vol. 37, no. 3-4 (1999); p. 431-453
- 2.7. **Monitoring current and wave variability in coastal seas** / ed. Lucy R. Wyatt, David Prandle. - Amsterdam : Elsevier, 1999, Coastal engineering. - Vol. 37, no. 3-4 (1999) : p. 193-546. - Special issue; ISSN 03783839
- 2.8. **Wave and sea level monitoring and prediction in the service module of the Global Ocean Observing System (GOOS)** / Gerbrand Komen, Neville Smith; In: Journal of marine systems . - Vol. 19, no. 4 (March 1999) ; p. 235-250
- 2.9. **Evaluatie van radarniveau- en golfhoogte-meters** / P. Verburgh, Th. Sijben, H. Cox, RWS-RIKZ, 1998, Rapport RIKZ-98.040
- 2.10. **DIWACO II : final report** / G.W. Hoekstra, T. van Rijn; The Oceanographic Company of the Netherlands b.v. (OCN). - Zoetermeer : OCN, 1995
- 2.11. **Waterstand- en golfinformatie door middel van niveaumetingen vanaf vaste opstellingen** / H.C. Peters, J. de Bes, D.W. van Dijk, RWS, RIKZ, 1995, Werkdocument RIKZ/IT-95.158X
- 2.12. **Golfmetingen met SHIRA in Petten** /G.W. Hoekstra en A.J.M. v.d. Vlugt; In opdracht van Rijkswaterstaat, RIKZ, 26 januari 2000, Radacrapport R99031
- 2.13. **Spectral wave climate data from space-born SAR/** C. Mastenbroek, Proceedings of the 'Provision and Engineering/Operational Application of Ocean Wave Data' conference. World Meteorological Organization, Unesco Paris 21-25 september 1998. p.: 304-309
- 2.14. **The use of HF radar systems for wave monitoring/** L.R.Wyatt; Proceedings of the 'Provision and Engineering/Operational Application of Ocean Wave Data' conference. World Meteorological Organization, Unesco Paris 21-25 september 1998. p.:42-51
- 2.15. **WaDiRA, Wave Directional Radar Array**, eindrapportage van het WaDiRA project, A.J.M. v.d. Vlugt, U. Stelwagen, J.Markus, 2000.
- 2.16. **Measurement Campaign Wadden Sea; Module 3: Howto measure?**, 2002, U. Stelwagen, TNO rapport, I&I-RPT-020047



### 3 Methoden voor het meten van watertemperaturen

#### 3.1 Achtergrond.

Het doel van het watertemperatuurmeetnet is inzicht te krijgen in het temperatuurklimaat van de Nederlandse wateren op korte en lange termijn. Op lange termijn zijn effecten te verwachten van het broeikaseffect en eventuele wijzigingen in de warme golfstroom. Op de korte termijn gaat het om klimatologische schommelingen en opwarming door restwarmtelozingen. Deze gegevens zijn onder andere van belang voor interpretatie en prognose van waterkwaliteit en de veranderingen in het ecosysteem. In de meetnetten van Rijkswaterstaat voor de zoute wateren wordt routinematig de watertemperatuur gemeten t.b.v. het vastleggen van de waterstaatkundige toestand en voor het verstrekken van actuele informatie voor operationele toepassingen. Informatie over watertemperatuur in de zoete wateren is bovendien van belang voor operationele activiteiten tegen koelwaterlozingen van elektriciteitscentrales als zich (extreem) warme perioden voordoen.

In combinatie met geleidendheid is de watertemperatuur een belangrijke parameter bij het bepalen van het zoutgehalte. De watertemperatuur is inputparameter voor verschillende voorspellende modellen zoals o.a. het algendrijflaagmodel en het ijsvormingmodel.

#### 3.2 De huidige meetpraktijk

In de zoete wateren wordt de watertemperatuur routinematig gemeten als onderdeel van het manuele chemisch meetnet. Op een aantal belangrijke in- en uitrooppunten wordt de watertemperatuur tevens automatisch gemeten als onderdeel van het Automatisch Kwaliteits Meetnet (AKM). Deze metingen zijn van belang voor operationele taakuitoefening van de landelijke berichtendiensten. De watertemperaturen in de zoute wateren, die bij de bemonsteringen in het kader van het chemisch meetnet als co-variabelen worden bepaald, worden onvoldoende geacht voor klimatologische doeleinden. De beschikbare watertemperaturen van boeien en platforms uit het Meetnet Noordzee worden alle gebruikt. Op een zevental locaties langs de Nederlandse kust worden automatische metingen verricht met temperatuursensoren (T-sensoren)

De gewenste meetnauwkeurigheid met betrekking tot de watertemperatuur is 0.1 graad. Het standaard LIB-instrument voor routinematige temperatuurmetingen in meetnetten of voor projectmatige metingen van langere duur is de Aanderaa 2444 temperatuursensor van Aanderaa Instruments. Dit meetinstrument is compact, robuust en nauwkeurig (mogelijke fout kleiner dan 0,1<sup>o</sup>C). De temperatuur wordt gemeten met een thermistor (Pt-2000), een element waarvan de weerstand volgens een bekende curve varieert met de temperatuur. Voor incidentele handmatige metingen is de temperatuurmeter van WTW\* beschikbaar, en eventueel kan een multiparameter Datasonde van Hydrolab Corporation worden ingezet.

#### 3.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen

De in het Remote Sensing vliegtuig van Rijkswaterstaat geïnstalleerde en inmiddels operationeel inzetbare scanner EPS-A\* is ook uitgerust met een thermische scanner. Hiermee kan de temperatuur van het wateroppervlak met een hoge ruimtelijke resolutie (elementen met dimensies van enkele meters) direct gemeten worden en kan een momentaan ruimtelijk overzicht van temperaturen worden verkregen. De resolutie is veel groter dan die van satellietopnamen. Op dit moment wordt van deze remote sensing faciliteit slechts gebruik gemaakt voor projecten, omdat het remote sensing vliegtuig vooral wordt ingezet voor inspectievluchten boven de Noordzee. Een thermische videoscanner, tevens aan boord van het RWS remote sensing vliegtuig is slechts in staat temperatuurverschillen te registreren.

De AVHRR sensor van de NOAA-satelliet levert enkele malen daags een temperatuurbeeld van het wateroppervlak op. De geometrische resolutie van het systeem maakt het ongeschikt voor toepassing ten behoeve van het in kaart brengen van temperaturen in rivieren. Voor de grote meren en de Noordzee is de techniek wel geschikt. Voor de ontwikkeling van modellen wordt

---

\* Wissenschaftlich-Technische Werkstätten

\* EPS A: Environmental Probe System A-design

regelmatig gebruik gemaakt van deze informatie. Een voorbeeld is het REST3D model voor modellering van watertemperatuur en de uitstroom van de Rijn in de Noordzee.

### ***3.4 Eigenschappen van de methoden.***

#### Pt-2000:

Het betreft een puntmeting, welke iedere 10 minuten uitgelezen wordt en in het landelijke zoute meetnet opgenomen wordt. Na kalibratie is de meetnauwkeurigheid 0,1 °C.

Voor de zoete wateren worden watertemperaturen uit het manuele chemische meetnet gebruikt.

#### EPS-A:

Ook de nieuwe scanner EPS A, die in het remote sensing vliegtuig van RWS (in bedrijf bij de Directie Noordzee) is geïnstalleerd, is in staat oppervlaktetemperatuur te registreren in ruimtelijke eenheden van 5x5 m<sup>2</sup>. De 'inzet op afroep' en het veel kleinere ruimtelijke detail, dat de EPS A scanner biedt, maken specifieke kleinschalige projectmatige toepassingen mogelijk.

#### NOAA-AVHRR:

Het KNMI produceert al ruim 10 jaar temperatuurkaarten van de Noordzee. Op basis van gegevens van satellietgegevens (van NOAA-AVHRR) worden wekelijkse SST\*-composietbeelden gemaakt van gebieden als de Noordzee en Europa. Kwaliteit, beschikbaarheid en dienstverlening van deze temperatuur-informatie worden steeds beter. Vanaf november 2000 zijn via de Internet site van het KNMI de actuele SST-composieten beschikbaar (ruimtelijke elementen van 1x1 km<sup>2</sup>). Dit type van temperatuurgegevens is veeleer geschikt voor grootschalige kalibratie (met name voor klimaat en meteorologie).

---

\* SST-composiet beelden: SST = Sea Surface Temperature; in verband met de veelal aanwezige bewolking boven de Noordzee worden 'composiet-beelden' beelden vervaardigd op basis van alle binnen een bepaalde periode geregistreerde temperatuurbeelden.

In tabel 3.1 zijn de eigenschappen van de behandelde informatiebronnen voor watertemperatuur bijeengebracht.

Tabel 3.1: Overzicht eigenschappen meetsystemen voor watertemperatuur

	watertemperatuur	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	risico	acceptatie
PT2000	++	++	++	1	00	000	++	-	++
NOAA/AVHRR	++	-	+	++	00	000	++	+	+
EPS-A	++	+	+	++	00	0000	+	-	+

++	goed	0000	hoge kosten
+	redelijk	000	tamelijk hoge kosten
-	matig	00	redelijke kosten
--	slecht	0	lage kosten
#	geen inf/ n.v.t.	1	betreft puntmeting

### ***3.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen watertemperatuur zoute wateren***

- 3.1. **Inventarisatie remote sensing toepassingen V&W:** stand van zaken en vooruitblik / DORS werkgroep INVENT; eindred. F.A. Hagman; RWS-MD, 1999.
- 3.2. **Remote sensing applied to operational models - North Sea** / A.D. Jenkins et al., 1997, Report 49, MAST III programma: MAS3 CT 9500025, PROMISE (Pre-Operational Modelling In the Seas of Europe)
- 3.3. **REST3D : remote sensing sea surface temperature for 3D North Sea modelling** / E. de Goede, J.N. Roozkrans et al.; Beleidscommissie Remote Sensing. - Delft : BCRS, 2000. - 201 p. : fig., tab. ; 30 cm
- 3.4. **Interferometric measurements of sea surface temperature and emissivity** / Lars Fiedler and Stephan Bakan ; Max-Planck-Institut für Meteorologie. - Hamburg : MPIfM, 1997. - 16 p. : fig., tab. ; 30 cm. - (Report ; 232)
- 3.5. **Meetnetinstrumenten voor geleidendheid en temperatuur : een vergelijkend onderzoek** / R.C. van Oort, J.J.C. van Spronsen, P., RWS- RIKZ, 1997, Rapport RIKZ-97.009



## 4. Methoden voor kustmetingen en vaklodingen

### 4.1 Achtergrond:

Zowel voor bescherming tegen overstroming als voor kustlijnbeheer (handhaven van de kustlijn) wordt de ligging van de kust en de zeebodem regelmatig door middel van metingen vastgelegd. Ten behoeve van voorspellingen op korte en lange termijn en het treffen van adequate (beheer)maatregelen is ook kennis omtrent de belangrijke processen in de kustzone zoals de verstuiving van de vooroever, het gedrag van zand en het effect van zeespiegelrijzing van belang.

### 4.2 De huidige meetpraktijk:

Bij het meten van de ligging van de kust en de zeebodem wordt onderscheid gemaakt tussen kustmetingen en vaklodingen. De bij deze metingen gehanteerde meetstrategie is opgebouwd op basis van 'matching' van de informatiebehoefte met de beschikbare meetmethoden. Bij de keuze van de ruimtelijke dichtheid en de herhalingsfrequentie van de metingen heeft de (behoefte aan) kennis van de complexe morfologie van kust en zeebodem mede een rol gespeeld.

*Kustmetingen* bestaan uit diepte- en hoogtemetingen, die worden uitgevoerd langs raaien, loodrecht op de kust, op onderlinge afstanden van 200 á 250 meter. Voor het bemeten van de gehele Nederlandse kust zijn  $\pm 2000$  raaien nodig.

De dieptemetingen vinden jaarlijks plaats vanaf schepen met een automatisch lodingsysteem in combinatie met een geautomatiseerd plaatsbepalingsysteem.

De huidige hoogtemetingen van het strand en de duinen worden met behulp van laseraltimetrie uitgevoerd. Deze methode maakt met behulp van laserhoogtemetingen vanuit een vliegtuig of helikopter in korte tijd een digitaal hoogtemodel van het betreffende gebied. Het systeem meet de verticale positie van wateroppervlak en land en kan van de onderwaterbodem dus alleen de droogvallende delen inmeten. Laseraltimetrie kan ook voor de kartering van de droogvallende platen van de Waddenzee (waar tot ca. 50% van het gebied droogvalt) een meer gedetailleerde, snellere en kostenbesparende wijze zijn van hoogtegegevensinwinning van dat gebied.

Tot en met 1999 werden de hoogtemetingen van strand en duinen jaarlijks uitgevoerd, maar met ingang van 2000 zijn ze in frequentie gehalveerd. In de praktijk komt dit erop neer dat elk jaar de helft van de kust zal worden bemeten.

Door de dieptemetingen uit te voeren bij hoogwater en de hoogtemetingen bij laagwater wordt een zo compleet mogelijk profiel langs elke raai verkregen.

*Vaklodingen* beginnen waar de kustmetingen eindigen en lopen door tot aan de teen van de onderwateroever, ongeveer de NAP-20 meter lijn. Ook de Waddenzee en de estuaria zijn in het meetprogramma opgenomen. Vaklodingen worden momenteel uitgevoerd middels echolodingen (single-beam en multi-beam) vanaf schepen. Door de benodigde transformatie van de meetgegevens van het referentiestelsel van het echolood naar het NAP-vlak wordt een precisie bereikt van ca 20 cm. Momenteel is er een overgang van het conventionele systeem naar het Real Time On The Fly - Differential GPS systeem (RTOTF-DGPS), die in een grote verbetering in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid resulteert. De conventionele methode zal dan ook steeds minder gebruikt gaan worden. In de rapportage van het project Optimalisatie Kartering Waddenzee (OKW) in [ref 4.4] worden beide systemen uitvoerig besproken.

De herhalingsfrequentie van vaklodingen is afhankelijk van de dynamiek van het betreffende gebied en varieert tussen 1x per zes jaar en 1x per jaar. Voor de gesloten kust van Holland en de kust van de grote Waddeneilanden wordt gevaren langs raaien die loodrecht op de kust liggen bij een onderlinge afstand van 1 km. Vanwege de gecompliceerde bodemtopografie met banken en geulstelsels wordt voor de Waddenzee, de estuaria, het voordeltagebied en de buitendelta's van het Waddengebied vrijwel overal een raai afstand van 200 meter aangehouden. De raaien liggen daarbij zo veel mogelijk loodrecht op de geulas. Na bewerking worden de raaigegevens opgeslagen en worden dieptebestanden geproduceerd in de vorm van een gebiedsdekkend raster met cellen van 20x20 meter. De metingen voor de gesloten kust en de kust van de grote Waddeneilanden worden daarnaast ook als raaien opgeslagen.

### ***4.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen.***

#### ***RTOTF:***

Bij gebruikmaking van Real Time On The Fly Differential Global Positioning System (RTOTF-DGPS, (ook wel aangeduid met RTK=Real Time Kinematic) kan plaatsbepaling plaatsvinden met een nauwkeurigheid van 2 millimeter. (een factor 10 tot 100 beter dan met normale DGPS). Met RTOTF-DGPS kan een precisie ( $2\sigma$ ) bereikt worden van 10 centimeter in zowel X, Y als Z, mits voldaan wordt aan een aantal technische en infrastructurele voorwaarden (zoals bijvoorbeeld een maximale onderlinge afstand van 30 km tussen de ontvanger en de referentieontvanger)

#### ***RWSBAS:***

Rijkswaterstaat investeert al geruime tijd in nieuwe meetmethoden ten behoeve van de bepaling van waterdiepten. Het Bathymetry Assessment System (BAS) is zo'n methode. Met deze methodiek kunnen gebiedsdekkende dieptekaarten worden vervaardigd op basis van radarbeelden (opgenomen vanuit satelliet of vliegtuig) in combinatie met minder akoestische dieptemetingen en met gebruikmaking van wiskundige modellen. De BAS methodiek maakt gebruik van het fenomeen dat bodemstructuren zich vertalen in de ruwheid van een golvend wateroppervlak en onder bepaalde omstandigheden (stroom  $>.5\text{m/s}$  en wind 3-10m/s) zichtbaar zijn in radarbeelden. De Duitse onderzoekers Alpers en Hennings beschreven als eerste het mechanisme dat dit verklaart en vanaf 1991 werd het BAS-systeem ontwikkeld. De methode zou de precisie van echolodgingen (20 à 30 cm) met het overzicht van radarbeelden (100x100km) combineren. In [ref 4.6] is de methode beschreven. In 1996 zijn door Rijkswaterstaat in samenwerking met de aanbiedende marktpartij ARGOSS twee projecten uitgevoerd om de bruikbaarheid van het BAS voor lodingen te kunnen beoordelen. In de projectrapportage [ref 4.10] werd voor het preoperationele systeem, RWSBAS genaamd, geconcludeerd dat "de huidige versie van RWSBAS niet voldoet aan de eisen, die aan een operationeel systeem gesteld worden. Verder kwam men tot de slotsom [ref. 4.10], dat de kwaliteit van de gegenereerde dieptekaarten "ver beneden de maat" was, met name in gebieden met sterke variaties in diepte. De kwaliteit van RWSBAS dieptekaarten, gemaakt op basis van radarbeelden en lodinginformatie van 600 m raaien was niet beter dan een DIGIPOL-interpolatie van diezelfde raaien. Als reden hiervoor werd onder andere aangevoerd dat de modellen in RWSBAS ééndimensionaal waren, terwijl het systeem werd toegepast in complexe gebieden met een tweedimensionale topografie. Inmiddels heeft ARGOSS een aantal verbeteringen aangebracht, zodat het BAS nu volledig tweedimensionaal is. De huidige inschatting (medio 2002) ten aanzien van de nauwkeurigheid van het BAS is dat het aan de nauwkeurigheidseisen voldoet bij een raaiafstand van 600 m tussen de lodingen mits er drie à vier kwalitatief goede (satelliet-) radarbeelden van het betreffende gebied beschikbaar zijn. Thans wordt onderzocht of radarbeelden, opgenomen vanuit een vliegtuig, leiden tot een verdere verbetering van de nauwkeurigheid. Het huidige BAS is geschikt voor de kartering van eenvoudige gebieden zoals droogvallende platen. Een voorwaarde voor operationeel gebruik is dat de bestaande software versneld wordt, zodat de rekentijd ook voor grotere gebieden binnen de perken blijft. De Meetkundige Dienst heeft in een statusrapport rondom RWSBAS een aantal scenario's ten aanzien van implementatie uitgewerkt (zie ook [ref. 4.12]). Voor de periode najaar 2002/begin 2003 zijn nieuwe experimenten met RWSBAS gepland, zowel met satelliet gegevens als met airborne data.

#### ***Navigatieradar:***

Een op navigatieradar (scheepsradar) gebaseerde techniek biedt de mogelijkheid om op een plaats langdurig te meten en zo het reflectiepatroon van het zeeoppervlak tot op een afstand van minimaal 3 km vanaf de radarantenne te registreren. Door toepassing van signaalverwerkingstechnieken op een tijdreeks van beelden kan informatie over de bodemtopografie (volgens hetzelfde beeldvormende mechanisme als SAR), de diepte, de oppervlakte-stroomsnelheid en golven binnen het waarnemingsgebied worden verkregen. In Nederland, Duitsland en Noorwegen zijn reeds systemen op de markt gekomen. De navigatieradar biedt de mogelijkheid om op één plaats langdurig te meten. Met een frequentie van  $\pm 1\text{x}$  per seconde wordt een opname van het omliggende zeegebied gemaakt, een periode van ca. 5 minuten meten levert al een schat aan informatie. In het kader van monitoring van het kustgebied biedt de navigatieradar perspectieven voor de volgende toepassingen:

- het in kaart brengen van de topografie van de bodem. Net als in SAR beelden zijn bodemstructuren in beelden van een navigatieradar zichtbaar te maken. Met ruisonderdrukking door middel van middeling van een aantal individuele beelden worden bodemstructuren duidelijker zichtbaar. De nauwkeurigheid van het systeem is nog onderwerp van onderzoek
- Land-water overgangen zijn goed waarneembaar. Door bij verschillende waterstanden de land-water-overgang te detecteren kan in principe een hoogtekartaat van een droogvallend gebied worden gemaakt (met vooralsnog beperkte nauwkeurigheid).
- Het waarnemen van dynamische processen zoals golfrefractie en -diffractie, stromen, stroomprofielen, diepte.

#### ARGUS:

De posities van de land/water-grens en begrenzingen van diepere en ondiepere delen in de onmiddellijke nabijheid van de kust zijn met behulp van het ARGUS-video systeem goed te bepalen. Over het algemeen worden met een frekwentie van eenmaal per uur video data van een periode van 10 minuten vastgelegd. Een tijdreeks van beelden biedt de mogelijkheid de verplaatsingen van de kust en de zandbanken te observeren. Op een aantal Nederlandse kustlocaties (Egmond (2x) en Noordwijk) wordt met het Argus videosysteem gewerkt om de dynamiek van de kust en de voorliggende zandbanken te monitoren. Zo komt informatie beschikbaar over de kustprocessen op zowel ruimtelijke (meters tot kilometers) als op temporele schaal (seconden tot jaren). Na ruim 10 jaar van onderzoek wordt gewerkt aan de operationalisering van ARGUS.

#### WESP:

Een alternatieve manier om de ligging van een deel van de kuststrook (het gebied rond de waterlijn) vast te leggen en zo processen in de kuststrook te monitoren is het gebruik van de WESP (Water en Strand Profiler). De WESP is een driewielig voertuig dat tot een diepte van 7 à 8 meter vanaf het strand de zee in kan rijden en kan met behulp van nauwkeurige plaats- en standbepaling de onderliggende bodem in kaart brengen. De precisie van de WESP in praktijk-omstandigheden wordt geschat op 10 cm). Een aantal aanbevolen verbeteringen aan de WESP, die de nauwkeurigheid, de betrouwbaarheid en de robuustheid van het meetconcept ten goede zullen komen, dienen nog geïmplementeerd te worden. Zie ook [refs 4.13 en 4.14].

#### INSAR (INterferometric Synthetic Aperture Radar):

Door analyse van het faseverschil tussen twee overeenkomstige beeldpunten in twee SAR opnamen, die op verschillende tijdstippen dan wel uit verschillende posities opgenomen zijn, is informatie te verkrijgen over bodemhoogte, bodemhoogteverschillen, stroomsnelheden en posities van land-water overgangen. INSAR is relatief ongevoelig voor weersomstandigheden en biedt daardoor in principe operationele kansen. Het systeem is nog niet uitontwikkeld.

#### LIDAR:

Door vanuit een vliegtuig met een laser met twee frequenties het onderliggende water te bemonsteren is het onder voorwaarden mogelijk het afstandverschil tussen bodem en waterspiegel te bepalen. Een belangrijke randvoorwaarde is, dat de waterkolom voldoende 'transparant' is bij de toegepaste laserfrequentie. De Nederlandse kust- en binnenwateren voldoen niet aan deze randvoorwaarde. Daarom is LIDAR voor bathymetrische toepassing in Nederlandse wateren (vooralsnog) geen optie.

#### Multibeam voor vaklodingen?

Onlangs rondde de Meetkundige Dienst van Rijkswaterstaat een kort onderzoek af naar de consequenties van de vooralsnog hypothetische keuze om voor de vaklodingen langs de Nederlandse kust de singlebeam techniek deels dan wel geheel te vervangen door multibeam. Uit dit korte verkennende onderzoek, gerapporteerd in kwam onder andere naar voren, dat de kosten voor zowel opname als verwerking met minimaal een factor twee zouden toenemen. Wordt daaraan toegevoegd, dat enerzijds het meer dynamische, ondiepe gebied langs de kust niet met multibeam te karteren valt terwijl anderzijds in de diepere gedeelten singlebeam in combinatie met DIGIPOL geheel naar tevredenheid werkt, dan is het duidelijk, dat er geen basis is om bovengenoemde keuze daadwerkelijk te maken.

#### 4.4 Eigenschappen van de methoden

Hieronder zijn de eigenschappen van de boven besproken informatiebronnen voor kustmetingen en vaklodingen (kwalitatief) in tabelvorm samengevat.

Tabel 4.1: Overzicht eigenschappen informatiebronnen voor kustmetingen en waterdiepte en bodemprofiel

	Echo/conventioneel	RTOTF-DGPS	Laseraltimetrie	RWSBAS
precisie/puntruus (cm)	15	15	20	30
Systematische afwijking (cm)	20	10	10	25
punt dichtheid/resolutie	1pnt/m along track 1pnt/200m across track	1pnt/m along track 1pnt/200m across track	1pnt/55m <sup>2</sup>	1pnt/160m <sup>2</sup>
kosten (€/km <sup>2</sup> )	1000 +/- 250	1000 +/- 250	250 +/- 100	500 +/- 100
gebiedsdekking	redelijk	redelijk	goed	goed
Processingtijd	snel	snel	traag	zeer traag
Complexiteit meetconcept	complex	eenvoudig	eenvoudig	zeer complex
robustheid meetconcept	matig	goed	matig	zeer slecht
Acceptatie	groot	groot	groot	matig

	bodemdiepte	meetnauwkeurigheid	meetconcept	Gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
Echo/conventioneel	++	+	+	+	00	0000	++	+	++
RTOTF-DGPS	++	++	++	+	00	000	++	+	++
LaserAltimetrie	+	+	+	++	00	00	+	-	+
RWSBAS	+	-	-	++	000	000	+	--	-
WESP	+	+	+	-	0000	000	+	-	+

#### **4.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen kustmetingen en vaklodingen:**

- 4.1. **Evaluatie Hydrografische systemen** - Opvolging van RWSLOD, Kinneging, N.A., en Bloeme, D., 2000, MD-GAP-17041/03.
- 4.2. **Golf Stroom en dieptemetingen met SHIRA Mobiel**, Hoekstra, G.W., en A.J.M. van de Vlugt, Juli 1999, MS2000+.99.07, Den Haag, 28 p.
- 4.3. **Bodem beter bemeten : innovatieve survey van de waterbodem** / N.M. Kruijt, R.C. van Oort; RWS, RIKZ, 1999, Rapport MS2000+ 99.04
- 4.4. **Optimalisatie kartering Waddenzee** / H.C. Landa et al., RWS-MD en RIKZ, 1999, Rapport MS2000+ ; 99.09
- 4.5. **Inventarisatie akoestische meetsystemen** : N.A. Kinneging; RWS- MD, 1998, MD rapportnr.: MD-GAP-98-12
- 4.6. **Rijkswaterstaat en het Bathymetry Assessment System : verleden, heden en toekomst**, J. Vogelzang, RWS, RIKZ, 1997, Rapport MS2000+ 97.08
- 4.7. **Geofysische technieken voor grondonderzoek** / Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving (CUR). - Gouda : CUR, 1996, CUR rapport 182, ISBN 9037600395
- 4.8. **Steeds weten hoe diep de vaargeul is : vaargeulbeheer Rotterdam sterk geautomatiseerd** / L.A. Bosch, A. Bras; in: Land + Water . - Jrg. 32, nr. 11 (nov. 1992) ; p. 26-33
- 4.9. **Monitoring in the western part of the Dutch Wadden Sea : sea level and morphology** / Robbert Misdorp, Frank Steyaert, John de Ronde et al.; In: Helgoländer Meeresuntersuchungen . - Vol. 43, no. 3-4 (1989) ; p. 333-345
- 4.10. **RWSBAS praktijktesten 1997** / J. Briek, J. van Dijke, R. Feron, M. Landbergen, E. Vaessen, J. Vogelzang ,1998, Rapport MS2000+ 98.10.
- 4.11. **Coast3D-Measurement Errors of instruments for velocity, wave height, sand concentration and bed levels in field conditions** / L.C. van Rijn, B.T. Grasmeyer, B.G. Ruessink, 2000, EC MAST project MAS3-CT97-0086
- 4.12. **Stand van zaken RWSBAS**, J. Vogelzang, 2002, RWS-MD, Rapport MD-GAR-2002-24.
- 4.13. **Optimalisatie WESP**, N.A. Kinneging en N. de Hilster, 2000, RWS-MD, Rapport MD-GAP-2000-46.
- 4.14. **Toekomst WESP**, R.E. van Kapel, 2002, Informatiedienst Water Noord-Holland, rapport ANI01.02
- 4.15. **Onderzoek naar efficiency verbetering kustlodingen/** N. Wiegman, R. Perluka en K. Boogaard, 2002, MD rapportage, ongenummerd



## 5. Methoden voor het meten van waterstanden en afvoeren van de zoete wateren

### 5.1 Achtergrond

Waterstandsgegevens van de zoete wateren zijn van belang in het kader van de bescherming tegen overstromingen, voor de waterhuishouding en voor de scheepvaart. Belangrijke toepassingen zijn bepaling van overschrijdingskansen van waterstanden, bepaling van maatgevende hoogwaterstanden, randvoorwaarden voor waterbouwkundige constructies, afregeling van modellen. Langjarige meetreeksen zijn daartoe benodigd. Actuele waterstandsinformatie wordt voorts verzameld ten behoeve van waarschuwingdiensten, de bediening van kunstwerken (sluizen, stuwen en stormvloedkeringen) voor (handhaving van) vaardiepten en voor de uitvoering van werken. In MWTL-kader wordt de waterstand op circa 70 locaties in de Nederlandse zoete wateren gemeten.

Afvoergegevens worden gebruikt voor de landelijke waterhuishouding en de bepaling van stofvrachten. In MWTL-kader worden op 27 locaties in Nederland gegevens verzameld over de in- en uitvoer van zoet water. Het afvoerregime is een basisgegeven voor nationaal en internationaal waterbeleid. Doel van de metingen is het vaststellen van de grootte en verdeling van de afvoer. Op basis van langjarige meetreeksen kan de maatgevende afvoer worden bepaald. Met behulp van de relatie tussen waterafvoer en waterstand (de QH relatie) kan de maatgevende hoogwaterstand worden bepaald, waarop de dijkontwerpen zijn gebaseerd.

### 5.2 De huidige meetpraktijk

#### Waterstanden:

In de binnenwateren wordt de *waterstand* op zo'n 70 MWTL-meetpunten gemeten. De nauwkeurigheidseisen schrijven voor dat 95% van de meetgegevens minder dan 2,5 cm afwijken van de werkelijk optredende waterstand (i.e.  $2\sigma < 2,5$  cm). De huidige standaard toegepaste meettechniek voor waterstand in het meetnet is de *digitale niveaumeter* (DNM). Op een enkele locatie op de Rijntakken wordt nog dagelijks een *peilschaal* afgelezen. Elders worden automatisch 10-minuten gemiddelden ingewonnen. Bij de meeste locaties op de grote rivieren worden vanwege de geringe dynamiek alleen de 10-minuten-gemiddelden op de gehele uren opgeslagen. Kleine hiaten in meetreeksen dienen zonder teveel nauwkeurigheidsverlies te kunnen worden opgevuld via interpolatie van gegevens van nabijgelegen stations.

Voor additionele informatie omtrent waterstandsmetingen wordt verwezen naar hoofdstuk 1 van dit inventarisatierapport, waar de instrumenten voor waterstandsmeting in de zoute wateren worden behandeld.

#### Afvoeren:

Voor bepaling van de *afvoer* zijn (in principe synchroon) gegevens benodigd over waterstand, (gemiddelde) stroomsnelheid, dwarsdoorsnede en bodemruwheid. Daarvoor worden op dit moment de volgende methoden in MWTL-kader toegepast (zie ook [ref 5.5]):

#### Afvoermetingen:

Langs de rivieren worden in de huidige meetpraktijk de volgende typen *afvoermetingen* toegepast:

- a. met behulp van een meetvaartuig worden op gezette afstanden langs een tevoren vastgestelde meetraai dwars op de rivierloop stroommetingen uitgevoerd langs de verticaal (op onderlinge afstanden van 50 cm) ter bepaling van het stroomsnelheidsprofiel. De stroommetingen worden uitgevoerd met een *propellerstroommeter* (Ott-molen; zie ook hoofdstuk 6). Het bodemprofiel – ter bepaling van het totale doorstroomde dwarsprofiel – wordt gemeten met een single-beam echolood, waarbij de bodemligging (c.q. –diepte) ter plaatse van elke verticaal wordt afgelezen voor de berekening van de afvoer. Met deze gegevens wordt de totale afvoer door het doorstroomde dwarsprofiel berekend met de zogenaamde semi-integratiemethode. Men is gebonden aan nauwkeurige, in een ISO-norm vastgelegde,

voorschriften. Een enkele afvoermeting neemt 2-4 uur in beslag, al naar gelang de lokale (afvoer)omstandigheden.

- b. *Akoestische metingen met ADCP's* (Acoustic Doppler Current Profiler; zie ook hoofdstuk 6.) kunnen de tijdrovende propellermetingen vervangen. Het basisprincipe van de meting is hetzelfde als bij de propellermeting, met dien verstande dat er geen sprake meer is van afzonderlijke verticalen; de stroomsnelheden worden in een groot aantal cellen gemeten door een verticaal metend ADCP; de integratie tot een totale afvoer komt totstand aan de hand van de zgn bottom-track waarmee de bodemligging (c.q. -diepte) wordt gemeten. Een enkele afvoermeting neemt slechts enkele minuten in beslag, net zo lang als nodig is om de rivier in dwarsrichting over te varen. Vanwege de korte tijdsduur van de meting wordt standaard 5 maal heen en weer gevaren, zodat in feite 10 metingen worden verricht. Door het grote aantal cellen waarin de stroomsnelheden worden gemeten is de nauwkeurigheid (in termen van reproduceerbaarheid) van de afzonderlijke afvoermetingen veel beter dan die van een propellermeting. Door middeling van de multi-pele metingen neemt de nauwkeurigheid van de uiteindelijk bepaalde gemiddelde waarde nog toe. Het uitvoeren van multi-pele metingen heeft tevens het voordeel dat er controle kan worden uitgevoerd op afwijkingen in de meting, en men tegelijkertijd een indruk heeft van de reproduceerbaarheid van de metingen. De ADCP-meettechniek heeft de propellermettechniek nog niet volledig vervangen. Op de hiermee samenhangende problematiek aangaande de ADCP-meettechniek zal hieronder nog worden ingegaan.
- c. *Akoestische metingen met ADM's* (horizontaal metende Akoestische DebietMeters; zie ook hoofdstuk 6): het betreft hier vaste opstellingen waarmee continue afvoerreeksen kunnen worden gemeten met in principe elke gewenste bemonsteringsfrequentie. Het instrument bestaat uit 2 akoestische transducenten en 2 ontvangers die in een rechthoek staan opgesteld, zodanig dat de uitgezonden signalen diagonaal door de rechthoek gaan en elkaar in het midden kruisen. Op basis van de gemeten (diagonale) snelheden wordt de gemiddelde snelheid in de dwarsdoorsnede geschat. De reden dat niet standaard met ADM's gemeten wordt is meerledig:
- ADM's zijn duur als eenmalige investering,
  - ze vergen vrij intensief onderhoud in de vorm van een regelmatig terugkerende bodemprofielmeting, en
  - ADM's meten slechts dat deel van de afvoer dat door het zomerbed stroomt, en missen dus het gedeelte dat tijdens hoogwater door het winterbed stroomt.
  - ook is de huidige generatie ADM's vrij gevoelig voor te grote hoeveelheden sediment zoals dat tijdens hoogwater voorbij komt.

#### *Afvoerberekeningen*

Voor het dagelijkse waterbeheer en –beleid zijn continue afvoerreeksen nodig, die echter in de meeste gevallen niet in rechtstreekse zin (zie hierboven) te meten zijn. Om toch over reeksen te kunnen beschikken worden berekeningen uitgevoerd.

Het concept van de *QH relatie* is gebaseerd op de aanname dat op een zekere locatie langs de rivier en binnen een zeker tijdsbestek de afvoer een eenduidige relatie met de waterstand vertoont. De QH-relaties worden voor een aantal vaste lokaties langs de grote rivieren bepaald op basis van afvoermetingen. In de huidige praktijk worden QH-relaties vastgesteld voor periodes variërend van 3 tot 5 jaar. Uit gemeten waterstandsreeksen kunnen vervolgens met de QH-relatie afvoerreeksen (naar wens dagelijks, uurlijks, etc) worden berekend.

De QH relaties wordt in feite bepaald door een aantal parameters; primair zijn dat de waterstand en de stroomsnelheid, maar ook het doorstroomprofiel en de bodemruwheid spelen een rol. De waterstand wordt met een DNM, radarniveaumeter of eventueel via aflezing van een peilschaal verkregen. De voor het vastleggen van de QH relatie bij verschillende waterstanden benodigde stroming moet gemeten worden in het gehele doorstroomprofiel. Over de gehele breedte van het vaarwater worden verticale stroomprofielen gemeten. Meestal worden hiervoor propellermetingen gebruikt, eventueel ADCP-metingen en in sommige gevallen ADM-metingen. De afwijking tussen de geschatte stroomsnelheid en de werkelijk optredende stroomsnelheid is kleiner dan 10%.

Voor een schatting van de optredende stroomsnelheid boven het onbevaarbare gedeelte van de waterloop (uiterwaarden, winterbed) moet een schatting gemaakt worden op basis van



hoogteprofiel-metingen en ruwheidsmetingen. Voor de bepaling van het bodemprofiel van het zomerbed van een waterloop worden echolodingen gebruikt met een nauwkeurigheid van ongeveer 20 cm, die kunnen worden aangevuld met het uit luchtfoto's afgeleide profiel van het winterbed. QH relaties worden aangepast wanneer door veranderingen in de riviergeometrie (bodempligging, bodemprofiel, bodemruwheid, etc) de in een periode erna bepaalde QH-punten (bestaande uit een combinatie van een afvoermeting en een bijbehorende waterstandsmeting) te veel van de geldende QH-relatie blijken af te wijken. Opgemerkt zij, dat de QH-relaties die gebaseerd zijn op de afvoermetingen van een bepaalde periode, worden toegepast in de periode erna. Dit gebeurt om operationele redenen, namelijk om te voorkomen dat de reeds eerder berekende en opgeslagen afvoerreksen (aan de hand van de oude QH-relatie) achteraf aangepast moeten worden (zie ook hieronder). een berekening, die afvoergegevens bepaalt uit spuigegevens (opening, waterstanden, evt. draaiuren) en schutverliezen e.d. De optredende onnauwkeurigheid kan hoger zijn dan 10%. De afwijking van deze geschatte stroomsnelheid ten opzichte van de werkelijk optredende stroomsnelheid wordt geacht kleiner te zijn dan 10%.

Om de afvoer te bepalen op een locatie, waar geen meetstation aanwezig is, wordt gebruik gemaakt van modellen, die de gegevens van nabijgelegen meetstations daarvoor benutten. De cumulatie van onnauwkeurigheden van afvoergegevens en model leveren hier een totale meetfout op van ca. 10%.

#### *De opslag van afvoergegevens*

In de huidige meetpraktijk worden in DONAR de volgende afvoergegevens opgeslagen:

1. de afvoerreksen (dagcijfers, en in sommige gevallen tevens uurgcijfers), zoals die aan de hand van QH-relaties berekend worden;  
deze reksen worden aangevuld tot ca 3 maanden teruggaand vanaf het moment waarop iemand DONAR raadpleegt, en zijn berekend met QH-relaties zoals die in de voorafgaande periode zijn vastgesteld. Onder meer voor het dagelijkse stuwbeheer zijn meer recente ongevalideerde (uur)afvoeren beschikbaar via MFPS, het multifunctioneel presentatieprogramma waarmee alle MSW-gegevens on-line ingewonnen kunnen worden.
2. De ADM-afvoerreksen (veelal dagcijfers)

De resultaten van propeller- en ADCP-metingen worden dus niet opgeslagen in DONAR, en zijn dat ook nooit geweest. De resultaten van de propellermetingen werden nog wel vastgelegd in de jaarboeken van waterstanden die vanaf 1956 werden gemaakt, maar met de opheffing van de jaarboeken in 1985 is de situatie ontstaan dat deze metingen niet langer officieel en voor iedereen toegankelijk zijn vastgelegd.

#### *Het gebruik van luchtfoto's:*

Voor het bepalen van het profiel van het buitendijkse riviereengebied worden door de Meetkundige Dienst zgn. Digitale Hoogte Modellen(DHM's) gebruikt. Deze dienen dan als basis hoogte-informatie voor de tweedimensionale WAQUA-modellen, die standaard binnen de Rijkswaterstaat worden gebruikt voor de berekening van stroomsnelheden, waterstanden en waterafvoerhoeveelheden.

*Analytische fotogrammetrie* is een techniek om uit een of meer fotografische luchtopnamen afmeting en ligging van objecten op het aardoppervlak te bepalen. Overlappende foto's worden gekoppeld middels paspunten in het terrein. De foto's worden in een analytisch uitwerkingsinstrument geplaatst en de gegevens worden handmatig ingewonnen. Voor goed bruikbare luchtfoto's is een onbewolkte hemel noodzakelijk bij niet te laag staande zon. De bomen mogen geen bla dragen. Gemiddeld zijn er jaarlijks 20 dagen waarop geschikte luchtfoto's gemaakt kunnen worden. De nauwkeurigheid van op basis van analytische fotogrammetrie vervaardigde DHM's is ongeveer 20 cm.

Bij de vervaardiging van DHM's met behulp van *digitale fotogrammetrie* worden luchtfoto's met een hoogprecieze scanner gedigitaliseerd waarna, goeddeels automatisch, de inpassing van verschillende foto's en de vervaardiging van DHM's kan plaatsvinden. De nauwkeurigheid van de DHM's die met digitale fotogrammetrie zijn vervaardigd, is ongeveer 17 cm.

Ook met behulp van *laseraltimetrie* is het mogelijk DHM's te maken. Aan boord van het toestel worden metingen verricht ten behoeve van de eigen (DGPS)plaats- en (INS)standsbevestiging en met een laserscanner wordt de afstand tot het aardoppervlak gemeten. Ook voor laseraltimetrie geldt de voorwaarde dat het onbewolkt en helder weer moet zijn en dat de bomen geen bladeren mogen dragen. Omdat het zonlicht geen invloed heeft op de opnamen kunnen circa 40 dagen per jaar goede laseropnamen worden gemaakt. De met laseraltimetrie gemaakte DHM's hebben een nauwkeurigheid van  $\pm 7$  cm.[ref 5.6]

Obstakels in waterlopen belemmeren de doorstroming en beïnvloeden de gemiddelde stroomsnelheid in het dwarsprofiel (in het zomerbed gaat het om kribben, sedimentatie, ondiepten en bochten; oneffenheden in het winterbed betreffen o.a. gebouwen, dijkes, hekken, bomen en een scala aan vegetatietypen). De obstakels in het zomerbed worden bij de bepaling van verticale stroomprofielen (met ADCP's dan wel Ott-molens) impliciet verdisconteerd. De grotere oneffenheden in het winterbed worden bepaald met de DHM's waarop gebouwen en breuklijnen en overlaten zichtbaar zijn. Bepaling van de ruwheid door vegetatie wordt nog 'met de hand' gedaan.

### **5.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen**

#### *Met betrekking tot gemeten afvoeren:*

De ADCP-techniek is inmiddels verlost van een aantal 'kinderziekten', zoals die bij het eerste gebruik aan het licht kwamen (zie daarvoor ook [ref. 5.1]). Maar een aantal problemen moet nog worden opgelost. Zo kan de bodem niet goed worden aangepeild, wanneer er veel bodemtransport optreedt, zoals dat met name tijdens hoogwater het geval is. Dat leidt tot onnauwkeurigheden in de waterdiepte en tot (soms vrij aanzienlijke) fouten in de resulterende afvoer. Er wordt gezocht naar mogelijkheden om in dergelijke gevallen over te kunnen stappen op een andere manier van dieptebepaling. Mede omdat multibeam de ADCP-metingen verstoort zal men voor dat doel de vaartuigen wellicht met singlebeam-apparatuur uitrusten. Een probleem blijft dan nog de verschillende signalen te integreren en synchroniseren met de ADCP-signalen. Naast het verlies van de juiste diepte heeft het verlies van Bottomtrack ook tot gevolg dat de scheepssnelheid t.o.v. de bodem niet langer correct is. Daardoor kan ook geen goede watersnelheid verkregen worden. Dit kan verholpen worden door de scheepssnelheid vast te leggen met behulp van DGPS. Voorts zal er een standaard moeten komen met betrekking tot de inwin- en verwerkingsprogrammatuur voor de ADCP-meettechniek. Gezien de bovenstaande problematiek vertrouwt men voor hoogwatermetingen nog op de propellermeettechniek.

#### *Met betrekking tot berekende afvoeren:*

Bij een in de negentiger jaren van de vorige eeuw uitgevoerde heranalyse van QH-relaties (zie [1]) voor de Rijnakken en de Maas op basis van de beschikbare oorspronkelijke afvoermetingen sinds 1956 is gebleken dat de in de huidige praktijk gehanteerde methodiek van het bepalen van QH-relaties de volgende bezwaren kent:

- i. Omdat QH-relaties, die bepaald zijn op basis van afvoermetingen uit een voorafgaande periode, worden toegepast op actuele metingen wordt de invloed van met name tussentijdse bodemveranderingen niet in rekening gebracht, hetgeen aanleiding kan zijn tot ongewenste fouten in de afvoer. Men wijst naar dit naijl-effect van de QH-relatie als oorzaak van de sinds 1987 optredende te lage berekening van de afvoer van de Bovenrijn bij Lobith (3.5%, overeenkomend met ca 80 m<sup>3</sup>/s).
- ii. De eenduidige QH-relaties vertegenwoordigen feitelijk de gemiddelde relatie tussen de waterstand en de afvoer, en houden dus geen rekening met de hysteresis die er in werkelijkheid optreedt. Deze houdt in dat er bij gelijkblijvende waterstand in de wassende fase van een hoogwatergolf meer afvoer optreedt dan in een permanente stromingstoestand, terwijl er in de vallende fase juist een kleinere afvoer optreedt dan in de permanente situatie. Dit vindt zijn oorzaak in het feit dat er in de wassende fase – zowel ruimtelijk als temporeel gezien vóór in de golf dus – een groter waterspiegelverhang optreedt dan in de permanente stromingssituatie, en deze in de vallende fase juist kleiner is. Afhankelijk van de steilheid van de hoogwatergolf kunnen daardoor in de in DONAR opgeslagen afvoergegevens afwijkingen optreden tot ca 8%

van de werkelijk optredende afvoer. (in de wassende fase treedt onderschatting op, in de vallende fase overschatting).

#### Van QH naar Qf relaties:

Hoewel tot niet heel lang geleden het concept van de QH-relaties in voldoende mate voldeed aan de nauwkeurigheidseisen die aan afvoeren werden gesteld, is dat met name voor de afregeling van de in het afgelopen decennium steeds geavanceerdere hydraulische modellen is dat niet meer het geval. De zgn. Qf-methodiek (zie ook [ref. 5.1] brengt bodemveranderingen en hysteresis expliciet in rekening (de  $f$  staat voor het gegeven dat de afvoer niet meer alleen maar van de waterstand H afhankelijk is) en leidt tot nauwkeuriger afvoerrekenen. Voortzetting en uitbreiding van de lopende analyses is noodzakelijk alvorens deze methodiek integraal te kunnen invoeren.

#### De Horizontale ADCP:

Zoals hiervoor vermeld kent het gebruik van de akoestische debietmeter (ADM) een aantal nadelen. Een horizontaal geplaatste ADCP (HADCP) is een robuuster en aanmerkelijk goedkoper alternatief voor de ADM, waarmee het mogelijk is vanuit één punt zowel te zenden als te ontvangen.

Al enkele jaren zijn HADCP's in de Rotterdamse haven in gebruik voor het monitoren van stroming [ref. 5.6]. Uit testmetingen in het Amsterdam-Rijnkanaal is gebleken, dat Horizontale ADCP's gebruikt kunnen worden als stroomsnelheidsmeters voor het verkrijgen van continue afvoermeetgegevens. In principe kan elke waterloop, waar men een ADM kan plaatsen ook een HADCP opstelling gerealiseerd worden, waarbij een kostenbesparing tot 30% mogelijk is. Nader onderzoek bij lage afvoeren c.q. bij stroomsnelheden onder 0,5 m/s moeten uitwijzen of de HADCP metingen nauwkeurig genoeg zijn om de gewenste nauwkeurigheid van 5-10% in de 10-minuten gemiddelde afvoer te garanderen. Voorts bemeent een horizontale ADCP niet de volledige breedte van de waterloop (tengevolge van de zendfrequentie van het systeem en de mogelijke verstoring door weerkaatsing van de bodem en/of het wateroppervlak). Voor waterlopen met een simpele stabiele geometrie als kanalen behoeft dit geen probleem te zijn. Voor situaties met een ingewikkelder bodemprofiel kan wellicht stroomsnelheidsindexering de helpende hand bieden (zie ook paragraaf 6.3). Voor metingen onder hoogwateromstandigheden schiet de HADCP (net als de ADM) tekort omdat een dergelijk systeem het winterbed niet kan bemeten. Zie voor uitgebreide rapportage van deze experimenten ook [ref. 5.9]. In de Verenigde Staten wordt de HADCP voldoende nauwkeurig en betrouwbaar geacht om in vaste meetnetten op te nemen [ref. 5.10].

#### De radarniveaumeter:

Met een boven het water opgehangen radarniveaumeter, zoals die ook gebruikt wordt in de petrochemische industrie voor het meten van tankniveaus en -inhouden, kan de waterstand gemeten worden. Belangrijk voordeel van deze techniek is dat er aanmerkelijk minder installatiekosten mee verbonden zijn dan het geval is bij waterstandsmetingen in peilmeetstations en dat ze minimaal onderhoud vergt.

De radarniveaumeter kan in principe vrijhangend boven open water en, waar dat niet mogelijk is, in een bijpassende standpijp worden toegepast. Het onderzoek door het RIKZ naar de toepasbaarheid van de radarniveaumeter is nog niet afgerond. Zo moet nog nader onderzoek verricht worden naar de effecten van hogere golven op de waterstandsregistratie door het instrument. Verder zijn nog proeven nodig om de goede werking van het instrument in een industriestandpijp te toetsen. Daarnaast zijn er nog vragen ten aanzien van de problemen ten aanzien van waterstandsregistratie door zo'n instrument, die door bijvoorbeeld ijsvorming of drijvende voorwerpen zouden kunnen optreden. Pas na proeven, die daaromtrent duidelijkheid verschaffen, kan dit instrument grootschalig worden toegepast als (standaard) meetinstrument voor waterstand (zie ook hoofdstuk 1 over het meten van waterstanden in zoute wateren).

#### De druksensor:

Voor de door het RIZA ontwikkelde hoogwatermodellen voor voorspelling van waterstanden en afvoeren langs de grote rivieren is er behoefte aan een betere verificatie. Bij de Directie Oost-Nederland is een plan ontwikkeld om langs de Rijntakken op zo'n 60 meetlocaties náást de locaties uit het afvoermeetnet meetpunten in te richten om bij hoogwater continue de

waterstand te registreren. Het RIKZ heeft aan de Directie Oost-Nederland een advies uitgebracht over de daartoe toe te passen meetopstellingen [ref. 5.8]. Inmiddels is een 6-tal van de 60 geplande locaties uitgerust met low power druksensoren, die gedurende het hoogwaterseizoen de 10-minuten-gemiddelde waterstanden zullen opslaan. Daarnaast is de Directie Oost-Nederland van zins op 17 meetlocaties rond de IJsselkop meetopstellingen met druksensoren te plaatsen voor verhangmetingen. Ook in de Grensmaas is op twee locaties een dergelijk meetsysteem ingericht voor metingen aan hoogwatergolven

#### Laseraltimetrie

Hoogtemetingen vanuit een helikopter of vliegtuig met gebruikmaking van laser maken het mogelijk om waterstanden over een groot gebied te meten en daarmee het verhang zowel in langs- als in dwarsrichting in kaart te brengen [ref 5.3]. Bij proefnemingen (nov.1998) tijdens een hoogwatersituatie van de Bovenrijn is gebleken dat met laseraltimetrie een ca. 75 cm hogere waterstand werd vastgesteld dan was berekend met het WAQUA-mode. Bij puntmetingen die vergeleken werden peilschaalaflezingen werden verschillen van resp. -8, 3 en 3 cm gevonden (hierbij dient rekening gehouden te worden met de onzekerheid van de peilschaalmetingen). Verdere ontwikkeling van de laseraltimetrie-techniek is nodig om te komen tot de gewenste nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

#### Systeemintegratie:

Er is een trend waarneembaar in de richting van integratie van die meetinstrumenten, die nodig zijn voor het meten van afvoer, in één systeem. Zo worden proeven verricht met een combinatie van een Dopplersnelheidsmeter met een verticaal gerichte akoestische bundel voor het detecteren van (de locatie van) het wateroppervlak, een naar de bodem gerichte akoestische bundel voor het monitoren van de bodemligging en een druksensor voor waterstands-informatie.

#### 5.4 Eigenschappen van de methoden

Onderstaande tabellen geven de in de beschikbare literatuur gevonden gegevens weer.

Tabel 5.1a: Overzicht eigenschappen meetsystemen voor waterstand

	peilschaal	DNM	Radarniveaumeter	Laseraltimetrie
precisie/puntruus (cm)		1 cm	1cm	
Systematische afwijking (cm)				15 cm
Resolutie/Punt dichtheid	1pnt	1pnt	1pnt	1pnt/m <sup>2</sup>
kosten	laag	hoog	laag	K€ 3/km <sup>2</sup>
Gebiedsdekking	1pnt	1pnt	1pnt	groot
Processingtijd	–	snel	snel	matig
Complexiteit meetconcept	eenvoudig	eenvoudig	eenvoudig	complex
Robuustheid meetconcept	goed	goed	goed	Matig
Acceptatie	groot	groot	redelijk	redelijk

	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
Peilschaal	-	++	1	o	o	++	-	++
Digitale NiveauMeter	++	++	1	ooo	Ooo	++	++	++
RadarniveauMeter	++	+	1	oo	O	++	++	+
Laser-Altitude	+	-	++	oo	Oo	+	-	+

++	goed	oooo	hoge kosten
+	redelijk	ooo	tamelijk hoge kosten
-	matig	oo	redelijke kosten
--	slecht	o	lage kosten
#	geen info / n.v.t.	1	betreft puntmeting

Tabel 5.1b: Overzicht eigenschappen meetsystemen voor stroommetingen

	Verticale ADCP	ADM	Horizontale ADCP
precisie/puntruus (cm)	1cm/s	1 cm/s	1cm/s
systematische afwijking (cm)			
resolutie/punt dichtheid	1pnt/m <sup>3</sup>	1pnt/meetlijn	1pnt/m <sup>3</sup>
kosten	k€ 18/ jr in '94*	K€ 180	K€ 27
Gebiedsdekking	Cellen in dwarsprofiel	1 laag in het dwarsprofiel	1 cel in dwarsprofiel (10x14m)
Processingtijd	snel	snel	Snel
Complexiteit meetconcept	complex	complex	complex
Robuustheid meetconcept	goed	goed	goed
Acceptatie	groot	groot	matig

\* Het onderhouden van een QH relatie kostte rond 1994 ca 20k€ per jaar [ref 5.5]

	stroming	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
Verticale ADCP	++	++	+	+	00	000	++	+	++
ADM	++	++	+	+	0000	00	+	++	++
Horizontale ADCP	+	++	+	-	00	00	+	+	-

++ goed  
 + redelijk  
 - matig  
 -- slecht

# geen info/ n.v.t. 1 betreft puntmeting

oooo hoge kosten  
 ooo tamelijk hoge kosten  
 oo redelijke kosten  
 o lage kosten

Tabel 5.1c: Overzicht eigenschappen meetssystemen voor profielmetingen

	analytische fotogrammetrie	digitale fotogrammetrie	laser altimetrie
precisie/puntruus (cm)	20cm	18cm	7cm
systematische afwijking (cm)			
resolutie/punt dichtheid	min. 4pnt/hectare +breuklijnen	400pnt/ m <sup>2</sup>	7pnt/ m <sup>2</sup>
kosten	k€ 6/km <sup>2</sup>	k€ 6/km <sup>2</sup>	k€ 3/km <sup>2</sup>
Gebiedsdekking	groot	groot	groot
Processingtijd	traag	matig	matig
complexiteit meetconcept	eenvoudig	eenvoudig	complex
Robuustheid meetconcept	slecht	slecht	matig
Acceptatie	groot	groot	redelijk

	profielmeting	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
Analytische Fotogrammetrie	+	+	+	++	0	000	+	-	++
Digitale Fotogrammetrie	+	++	+	++	0	000	+	-	++
Laser Altimetrie	++	++	+	++	0	00	+	+	+

++	goed	0000	hoge kosten
+	redelijk	000	tamelijk hoge kosten
-	matig	00	redelijke kosten
--	slecht	0	lage kosten
#	geen info /n.v.t.	1	betreft puntmeting

### **5.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen waterstanden en afvoeren zoete wateren :**

- 5.1. **Bijdrage aan ADCM-workshop 30-11-2001 bij RIKZ/W.E. van Vuuren;** 2001, Memo RIZA-WSR 2001.026
- 5.2. **Vergelijking van metingen met een Horizontale ADCP en met een Flow 2000/Cox,** H.L.H., Maart 1999, RIKZ/IT-99.105X, 19 p.
- 5.3. **Handboek debietmeten in open waterlopen /**Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA). Utrecht ,1994, STOWA rapport 94-13, ISBN 9074476139
- 5.4. **Analyse van waterhoogtemetingen met Laseraltimetrie van de Rijn bij Pannerden /**A.E. Bollweg, R. van Heerd ; 1999, RWS, MD, Rapport MS2000+; 99.08
- 5.5. **Optimalisatie Landelijk Debietmeetnet,** deel 1 Meetnet lay-out /J.P.Bakker, 1994, RWS-RIZA, Nota 94.021.
- 5.6. **Acoustic Doppler Current Profilers /**S. Kamminga, 2001; In Hydro International 5,1 Jan/februar1 2001
- 5.7. **Actualisering hoogte-informatie WAQUA\_Modellen /**R.J. Wicherson, L.M. Gomes Pereira; 1998, RWS, MD, Rapport MS2000+ .98.05
- 5.8. **Hoe hoog is hoogwater?/** M. Andernach en J. Koolwijk, 2003, Zoutkrant-publicatie, Zoutkrant 2003-1.
- 5.9. **Afvoermeten met horizontaal opgestelde akoestische stroomprofielometers, evaluatie aan de hand van een testmeting,** R. Schroevers, 2002, RIKZ-werkdocument RIKZ/IT 2002.118x.
- 5.10. **Feasibility of Acoustic Doppler Velocity Meters for the Production of Discharge Records from U.S Geological Survey Streamflow-Gaging Stations,** S.E. Morlock, 2001, U.S.G.S Water Resources Investigation Report 01-4157.



## 6. Methoden voor het meten van stromingen in de kustzone

### 6.1 Achtergrond

Actuele informatie omtrent stromingen in de kustzone is van belang voor de scheepvaart-begeleiding, bij de uitvoering van werken, de begeleiding van duikwerkzaamheden en voor de bestudering van de kustprocessen. Stromingen kunnen, meer nog dan golfinformatie, sterk variëren in zowel tijd als plaats (en zowel horizontaal als verticaal).

De volgende typen metingen kunnen worden onderscheiden:

- **Puntstroommetingen:** Dit type metingen geeft (nauwkeurige) stroominformatie op één positie als functie van de tijd. Lange tijd is het enige type van stroommetingen die van de puntstroommetingen geweest. Bij het gebruik van dit type meetinstrumenten kon ruimtelijk inzicht worden verkregen door meerdere puntmeetinstrumenten te gebruiken, hetgeen een zeer kostbare zaak was.
- **Stroomprofiel metingen:** Vanaf een positie dicht bij de bodem of het wateroppervlak worden de stroomvectoren per waterlaag gemeten. Deze meetmethode is sinds 1990 operationeel. Om informatie te krijgen over de verdere ruimtelijke verdeling moeten meerdere systemen worden uitgelegd of moet worden rondgevaren met systemen aan boord.  
Voor het bestuderen van sedimenttransporten wordt ook wel gewerkt met stroomprofielen met hoge resolutie (bijv. 1 cm) dicht bij de bodem
- **Oppervlakte stroommeting:** Meetsystemen die een ruimtelijk beeld geven van de stroming zijn momenteel in opkomst. Op een grid van ca 400x400m wordt een gebied van enkele tot vele vierkante kilometers in kaart gebracht. Dit type meetsystemen is niet opgenomen in de meetnetten.
- **Modelinformatie:** Stroominformatie varieert in tijd en ruimte. Het gebruik van numerieke stromingsmodellen, gecombineerd met metingen, om stromingsbeelden te completeren en voor het verkrijgen van stromingsinformatie op elk gewenst tijdstip op elke positie neemt dan ook toe.

### 6.2 De huidige meetpraktijk

Puntstroommetingen vinden plaats op een specifieke plaats en diepte in het water en kunnen gebruikt worden voor turbulentiemetingen. Gebruikte meetinstrumenten zijn propellerstroommeters, elektromagnetische en akoestische systemen.

#### Propeller stroommeters

Binnen Rijkswaterstaat is het propellermeetinstrument van het type Ott-C31 lange tijd het meest gebruikte stroommeetinstrument geweest. Deze zgn. Ott-molens meten de lokale stroomsnelheid en worden o.a. toegepast voor het bepalen van verticale stromingsprofielen. Ott-molens worden ook toegepast in een afgezonken frame voor langdurige puntstroommetingen. Zij zijn echter onderhoudsgevoelig en moeten regelmatig gekalibreerd worden. Zij worden meer en meer vervangen door andere instrumenten.

Rond 1980 zijn de elektromagnetische stroommeters in gebruik genomen. Van dit type instrumenten is alleen de S4 nog in gebruik.

Rond 1990 viel de opkomst van de akoestische stroommeetinstrumenten te noteren.

Er zijn twee verschillende meetprincipes:

- *Looptijdmeting.* Uit de looptijd van uitzending van een bundelvormig akoestisch signaal door de transducent en ontvangst van het gereflecteerde signaal door de sensor kan de gemiddelde snelheid van het tussenliggende water in de richting van de akoestische bundel worden afgeleid. Van dit type stroommeetinstrumenten is momenteel binnen Rijkswaterstaat de UCM (van Sensordata) het meest in gebruik.
- *Meting van Dopplerverschuiving:* Door een akoestische transducent wordt in een bepaalde richting een bundelvormig akoestisch signaal uitgezonden. Bij reflectie aan deeltjes in het water ondergaat de frequentie van dit signaal een verandering die afhankelijk is van de snelheid van die deeltjes. Uit deze zgn. Dopplerverschuiving kan de

snelheid van het watervolume rondom de betreffende deeltjes in de richting van de akoestische bundel worden afgeleid. Gecombineerd gebruik van meerdere bundels levert richting en grootte van de optredende stroomsnelheid ter plekke op.

In de kustwateren worden stroomprofielen vrijwel uitsluitend nog gemeten met meetinstrumenten, die het meetprincipe van de Dopplerverschuiving toepassen. De Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) was de naam van het eerste instrument van dit type van RD-Instruments, dat volgens dit principe werkte, maar is inmiddels een verzamelnaam geworden van alle systemen die deze techniek toepassen. Inmiddels zijn er verschillende systemen op de markt van diverse firma's; in [ref 6.4] is een overzicht te vinden van een aantal systemen en hun eigenschappen.

De ADCP werkt met drie of vier onder verschillende hoeken uitgezonden akoestische bundels. Per bundel wordt op verschillende afstanden in lagen (van bijv. 50 cm) de gemiddelde stroomsnelheid in de richting van de bundel over een bepaalde periode gemeten. Door combinatie van de informatie die de verschillende bundels opleveren kan in de verschillende lagen de stroomvector in de waterkolom boven of onder de ADCP bepaald worden. Al naar gelang de uitvoering van het apparaat wordt de informatie opgeslagen voor later gebruik of 'near real time' doorgegeven aan de gebruiker.

Mogelijke toepassingen ADCP's:

- \* ADCP's kunnen worden gebruikt aan boord van vaartuigen om de waterkolom onder het schip te bemeten; daarbij wordt gecorrigeerd voor de scheepsbewegingen; de gegevens komen (near) real time ter beschikking.
- \* ADCP's kunnen stationair in een frame op de waterbodem worden geplaatst, waarbij de waterkolom boven het apparaat bemeten wordt. De data worden opgeslagen en worden op bepaalde tijdstippen uitgelezen, waarbij dan ook de batterij vervangen kan/moet worden.
- \* ADCP's kunnen aan een meetpaal bevestigd worden op een bepaalde waterdiepte; daarbij kan de energievoorziening geschieden met zonnepanelen en kunnen de gemeten gegevens middels een radioverbinding naar de wal gestuurd worden (een voorbeeld van zo'n situatie is de stroommeetpaal Maasmond).

De bij RWS in gebruik zijnde ADCP's van RD Instruments hebben een resolutie van 1mm/s, onder de meest gunstige omstandigheden een *nauwkeurigheid* van +/- 0,25% en een werkbereik van 60 meter in maximaal 128 cellen. Resultaten van een vergelijkend onderzoek zijn te vinden in [ref 6.1]

### **6.3 Andere informatiebronnen / ontwikkelingen**

Akoestische Zand Transport Meter, Acoustic Doppler Velocitymeter:

Door het Waterloopkundig Laboratorium is de zgn. Akoestische Zand Transport Meter (AZTM) ontwikkeld. De eerste versie van deze sensor werd (begin jaren 80) ontwikkeld om synchroon de stroomsnelheid én de concentratie aan zand te kunnen meten en zo informatie omtrent zandtransport te verkrijgen. Dit instrument werd vaak ingezet als stroommeetinstrument, maar is inmiddels verouderd en vergt veel duur onderhoud. In 2001 heeft een test uitgewezen, dat een Acoustic Doppler Velocitymeter (ADV) in principe de vervanger kan van de AZTM. Met de ADV zal tevens tegemoet kunnen worden gekomen aan de vraag naar instrumenten voor puntstroommeting in turbulente stromingen en stroommetingen in ondiep water.

Horizontale ADCP's:

Horizontale ADCP's zijn reeds enkele jaren in gebruik voor de monitoring van stroming ten behoeve van de scheepvaart in de haven van Rotterdam [ref. 6.9]. Deze instrumenten worden ingezet voor het verkrijgen van stroomprofielinformatie in een horizontaal vlak op een zekere diepte onder het wateroppervlak. In dieper water is een bereik van 500 meter mogelijk.

Velocity Indexing:

Sedert enkele jaren wordt in de kustzone ook gebruik gemaakt van de techniek van Velocity Indexing. Deze term staat voor het hanteren van een coëfficiënt voor het omrekenen van een

snelheid gemeten op één plaats of één lijn naar een andere plaats of lijn. Zo worden de op de meetpalen in Maas- en Rijnmond juist buiten de meetpalen gemeten snelheden omgezet naar snelheden in de vaargeul. Dit principe kan navolging vinden op andere niet of niet gemakkelijk te bemeten locaties. Zie ook [ref. 2.10].

#### Veerbootmetingen:

De vaste veerboot, die het traject den Helder- Texel vaart, is al enige jaren een bijna continue bron van stromingsgegevens in het Marsdiep. Vergelijkbare projectmatige inzet op andere vaste veren zou waardevolle informatie kunnen verschaffen (Waddengebied/Westerschelde).

#### HF radar:

Informatie omtrent *ruimtelijke* oppervlaktestroming (richting en snelheid) is belangrijk voor scheepvaartbegeleiding, kalibratie en validatie van waterbewegings-modellen en morfologische studies. Om een beeld te krijgen van de stromingspatronen over een groot oppervlak zijn waarnemingssystemen nodig die het gehele gebied in één keer kunnen bemonsteren. Hiervoor zijn twee systemen beschikbaar:

Met HF radar wordt een gedetailleerd beeld verkregen van de stromingspatronen in een groot gebied. Na een serie pilotprojecten op verschillende locaties in Nederland zijn de drempels voor acceptatie in Nederland onder andere;

- de gecompliceerdheid van het systeem (veel hardware uitgelegd over een groot gebied) maakt het systeem storingsgevoelig.
- bij golven hoger dan ca 2 à 3 meter wordt geen goede informatie meer gekregen; juist onder stormcondities komt de continuïteit in de informatie in gevaar;
- twijfels omtrent nauwkeurigheid van de oppervlaktestrominggegevens (richting en snelheid).
- onzekerheid omtrent kwaliteit van stroomprofielinformatie na combinatie van HF-radar stroomgegevens met een stromingsmodel; daarvoor werd gedurende de pilotprojecten in Nederland een inadequaat 1DV-stromingsmodel toegepast.

De firma CODAR Ocean Systems (USA) heeft inmiddels een compact (HF) radar systeem op de markt gebracht met slechts twee antennes. Met name in de onderzoekwereld is dat systeem een standaard aan het worden. Vier versies van het systeem zijn verkrijgbaar:

- Seasonde : Het basisproduct, dat stroomvectoren levert met een ruimtelijke resolutie van ca 2km in een dekkingsgebied van ca 60x60 km op een afstand van ca 70 km.
- Long range Seasonde: Een vergroot bereik in de orde van 200km.
- Hi- Res Seasonde: Resoluties van 100-500 meter en een bereik van enkele kilometers.
- Offshore WaveSonde: een simpele versie, die op een platform geïnstalleerd kan worden en slechts één (radiale) stroomvector levert (naast significante hoogte, periode en richting van de golven).

#### *De navigatieradar:*

Een radarsysteem gebaseerd op standaard X-band navigatieradar is in staat *ruimtelijke* informatie over golven, stroming en waterdiepte te registreren. In Nederland zijn twee mobiele radarsystemen beschikbaar. Met SHIRA (SHIps Radar, van TNO-FEL i.s.m. Radac voor operatie en analyse) werden in opdracht van RIKZ/Meetstrategie 2000+ vanaf het voorjaar van 1999 op een aantal Nederlandse locaties langs kust en rivieren tests uitgevoerd. Dit systeem (een standaard ronddraaiende radar op een hoogwerker achter een bestelbus met computer voor aansturing en data-opslag) heeft bewezen zeer snel operationeel te kunnen zijn op locatie; de positieve resultaten van de uitgevoerde experimenten geven aanleiding de mogelijkheden van navigatieradar voor met name zout water nader te onderzoeken. In het najaar van 1999 heeft de Meetkundige Dienst met een eigen mobiel navigatieradar-systeem experimenten verricht, waarbij voor de verwerking tot relevante golfinformatie gebruik is gemaakt van WaMoS (Wave Monitoring System), een 'operationeel' software systeem, dat bij GKSS/Ocean Waves GmbH in Duitsland is ontwikkeld. Nadere informatie omtrent toepassingsmogelijkheden van navigatieradar zijn o.a. te vinden in [ref. 6.3]. Door een ten opzichte van HF radar beperkt ruimtelijke bereik is een navigatieradarsysteem met name geschikt voor (zeer) kustnabije toepassingen als havenmondingen en estuariene toepassingen.

#### 6.4 Eigenschappen van de methoden

Onderstaande tabellen geven de eigenschappen van de hierboven behandelde informatiebronnen voor stromingen in de kustzone weer.

Tabel 6.1: Overzicht eigenschappen meetssystemen voor stroommetingen voor zowel puntmetingen als stroomprofielen

	Ott-C31	S4	UCM	ADCP
Precisie/puntruus (cm/s)	2	1	1	1
Systematische afwijking (cm/s)				
Resolutie/Punt dichtheid	1 cm/s	1 cm/s	1cm/s	1 mm/s
Kosten	laag	laag	matig	matig
Gebiedsdekking	1 punt	1 punt	1 punt	tot 2000m/ 128 cellen
Processingtijd	snel	snel	snel	redelijk snel
Complexiteit meetconcept	eenvoudig	eenvoudig	complex	complex
Robuustheid meetconcept	matig	matig	Matig	hoog
Acceptatie	groot	groot	matig	groot

	puntmeting	profielmeting	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/ beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
Ott-c31	ja	nee	+	+	1	o	oo	+	-	++
S4	ja	nee	+	+	1	o	oo	+	-	+
UCM	ja	nee	+	+	1	oo	oo	+	-	+
ADCP	nee	ja	++	+	+	oo	o	+	+	++

++ goed  
 + redelijk  
 - matig  
 -- slecht

# geen info/n.v.t.

oooo hoge kosten  
 ooo tamelijk hoge kosten  
 oo redelijke kosten  
 o lage kosten

1 betreft puntmeting

Tabel 6.2: Overzicht eigenschappen meetssystemen voor ruimtelijke stroommetingen

	HF-radar	Navigatieradar
precisie/puntruus (cm)	10cm/s	10 cm/s
rystematische afwijking (cm)		
resolutie/Punt dichtheid	200x200m	400x400m
kosten (initieel)	k€ 200	K€ 75
Gebiedsdekking	> 40km <sup>2</sup>	bereik 3km rondom antenne
Processingtijd	redelijk	matig/slecht
complexiteit meetconcept	complex	complex
robustheid meetconcept	redelijk	goed
Acceptatie	gering	gering

	stroommeting	meetnauwkeurigheid	meetconcept	gebiedsdekking	kosten initieel	kosten operationeel	operationaliteit/beschikbaarheid	robustheid	acceptatie
HF radar	+	++	--	++	0000	0	+	--	-
Navigatie radar	+	+	++	+	00	0	++	--	-

++ goed  
 + redelijk  
 - matig  
 -- slecht  
  
 # geen info/  
 n.v.t. 1 betreft puntmeting

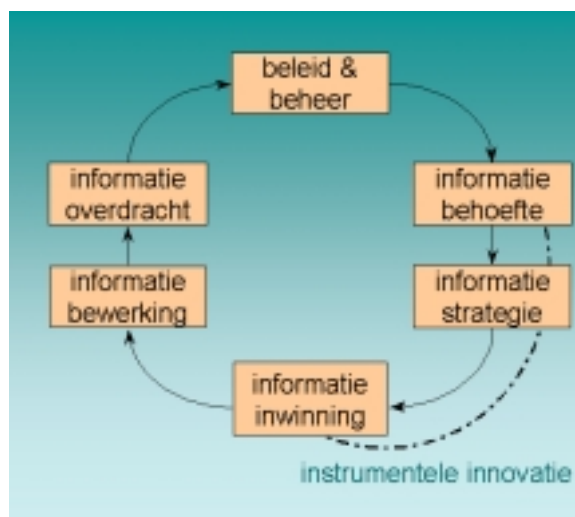
### 6.5 Referenties t.a.v. informatiebronnen stromingen in de kustzone:

- 6.1. **Acoustic Doppler Current Profilers, a product survey**, S.D Kamminga; In: Hydro International. –Vol. 5, no.4(jan 2001); p. 38-42.
- 6.2. **Stroommetingen met HF-radar systemen**. M. Megens; Afstudeerscriptie Hogere Zeevaartschool, fac. Maritieme Techniek, afd. hydrografie
- 6.3. **Golf, stroom en dieptemetingen met SHIRA Mobiel** . Hoekstra, G.W., en A.J.M. van de Vlucht, Juli 1999, , MS2000+.99.07, Den Haag, 28 p.
- 6.4. **Monitoring surface waves in coastal waters by integrating HF radar measurement and modelling**, 1999; C. de Valk, A. Reniers, J. Atanga, A. Vizinho, J. Vogelzang; In: Coastal engineering . - Vol. 37, no. 3-4 (1999) ; p. 431-453
- 6.5. **Monitoring current and wave variability in coastal seas** . ed. L. R. Wyatt, D. Prandle. - Amsterdam : Elsevier, 1999; In: Coastal engineering. - Vol. 37, no. 3-4 (1999) : p. 193-546. - Special issue
- 6.6. **Onderzoek van de toepasbaarheid van de UCM-40 stroommeter in het Meetnet Noordzee**. E.H. Heijstek ; Ministerie van Verkeer en Waterstaat Rijkswaterstaat, Directie Noordzee. - Rijswijk : RWS, NZ, 1990. – III.
- 6.7. **Onderzoek naar de toepasbaarheid van de SIMRAD UCM 10 en de NSW type S stroommeters voor het Meetnet Noordzee**. R.A. v.d. Hengel, Directie Noordzee, 1987.
- 6.8. **Monitoring current and wave variability in coastal seas**. ed. LR. Wyatt, D.Prandle. - Amsterdam : Elsevier, 1999; In: Coastal engineering. - Vol. 37, no. 3-4 (1999) : p. 193-546. - Special issue.
- 6.9. **Results of a horizontally mounted Acoustic Doppler Current Profiler**, S.D. Kamminga, N. van Neerven, C. Mooiman, 1998, IEEE Oceans.
- 6.10. **Stroming in de Maasgeul; presentatie van stroming in de Maasgeul als afgeleide van actueel gemeten stroming bij meetpunt Maasmond**, R.Visser, 1998, (uitgevoerd in het kader van het NAUTILUS project)

## 7. Meettechnieken en vernieuwing van het Fysisch Meetnet

### 7.1 Innovatie met betrekking tot meetinstrumenten; *technology pull/technology push*

In principe kunnen vernieuwingen overal in de informatiekringloop beginnen. Vernieuwingen in de sfeer van meettechnieken en -instrumenten krijgen met name vorm in (en/of hebben implicaties voor) de onderdelen *informatiestrategie* en *informatieinwinning*.



De Informatiekringloop

In essentie neemt instrumentele innovatie altijd een van de volgende verschijningsvormen aan:

1. men gaat dezelfde dingen beter doen  
(dat wil zeggen: sneller, efficiënter, nauwkeuriger, goedkoper,.....)  
ofwel:
2. men gaat andere (nieuwe) dingen doen

In de situatie, dat men op zoek is naar een nieuwe techniek die (om allerlei mogelijke redenen) de bestaande kan vervangen, spreekt men wel van "technology pull". In een dergelijke situatie sluit de in te voeren techniek goed aan bij een bestaande, veelal breed gedragen, informatiebehoefte. Acceptatie van de nieuwe techniek door de gebruikers vormt geen probleem en implementatie van de techniek zal meestal relatief soepel verlopen. Wanneer techniek en informatiebehoefte niet (of nog niet geheel) op elkaar aansluiten ligt dat dikwijls anders. Voor deze categorie van technologische innovaties, die te kenmerken zijn als "technology push", is directe succesvolle implementatie slechts bij hoge uitzondering weggelegd. Met goede en tijdige communicatie met potentiële gebruikers kunnen veel 'risico's' worden ondervangen.

Een zeer belangrijke basisvoorwaarde voor een succesvolle implementatie van een innovatieve techniek is dus, dat ze vraaggestuurd is of dat in een zeker stadium in elk geval wordt. Het niet voldoen aan deze eis vergroot de kans op falen van een innovatief traject aanmerkelijk!

Hoewel de ervaringen met nieuwe technologieën heel divers zijn, is technische innovatie in de praktijk ook vaak een zaak van 'lange adem' of zelfs van 'vallen en opstaan'. Instrumentele implementatierajecten, ook binnen de Rijkswaterstaat (zie bijv. ref 7.1), leren dat het stadium waarin een innovatieve techniek verkeert van niet te onderschatten belang is voor een succesvolle implementatie. Algemeen wordt aanbevolen onderscheid te maken tussen de stadia "ontwikkeling", "demonstratie" en "implementatie". De ontorechte neiging bestaat om nog in ontwikkeling zijnde of (nog) onvoldoende gedemonstreerde technieken te willen implementeren. Nadat zo'n implementatietraject gefaald heeft zal het des te meer moeite en overtuigingskracht kosten om opnieuw een implementatie traject te kunnen ingaan.

Bij implementatie van een nieuwe meettechniek of een nieuw meetinstrument, leidend tot een nieuwe manier van informatie-inwinning, kan daarom het best worden gestart met een analyse van de actuele informatiebehoefte om aan de hand daarvan te komen tot selectie van een of meer geschikte meettechnieken. Een aantal handvatten hiertoe is beschikbaar in de in het kader van het Programma Meetstrategie 2000+ ontwikkelde methodiek Infoplan, waarvan de sequentiële stappen hieronder zijn geschetst. Het belangrijkste product van het onderdeel meetstrategie is een toegesneden meetplan, dat de gevraagde informatie oplevert..



De stappen naar een doordacht integraal meetplan

Ter illustratie van de implementatie-problematiek van nieuwe technieken moge het volgende dienen: een aantal aardobservatietechnieken (zowel vliegtuig- als satelliettoepassingen) heeft in de afgelopen periode binnen Rijkswaterstaat (nog) niet tot de aanvankelijk voorziene modernisering in de operationele monitoring geleid. Niet zelden is dat (onder andere) terug te voeren op de door de gebruiker onvoldoende hoog geachte nauwkeurigheid en de te lage verversingsfrequentie, waarmee het betreffende instrument de gevraagde informatie inwint. Het aanbod is niet in overeenstemming met de vraag! Een verdere ontwikkeling van de techniek moet, indien mogelijk, vaak soelaas bieden. Maar daarnaast kan ook een nieuwe/aangepaste formulering van de informatiebehoefte vraag en aanbod bij elkaar brengen. Zo komen de exclusief aan remote sensing technieken voorbehouden voordelen van het synoptische\* overzicht wellicht nog onvoldoende tot uiting in het nadenken over en het formuleren van de informatiebehoefte.

Gezien bovenstaande wordt dan ook verbetering/intensivering van communicatie en uitwisseling tussen technologie-ontwikkelaars en informatievragers van harte aanbevolen. De Meetstrategie 2000+ brochure 'Naar informatie op maat' [ref.7.3], biedt een methodiek om de informatiebehoefte helder te formuleren. Het daarbinnen ruimte maken voor het in kaart brengen van de actuele technologische mogelijkheden wordt aanbevolen. De informatiekringloop en de hulpmiddelen, die tijdens de uitvoering van het programma Meetstrategie 2000+ (1996-2001) zijn ontwikkeld om deze te doorlopen, bieden een generiek kader voor instrumentele innovatie, maken de verbanden tussen de onderdelen van de informatiekringloop zichtbaar en vergroten de kans op succesvolle implementatie.

Voor alle vormen van vernieuwing, passend binnen de informatiekringloop, kan de volgende stelregel gehanteerd worden:

*van implementatie van een (innovatieve techniek) of werkwijze is pas sprake als men, na de informatiekringloop na ingebruikneming van de nieuwe techniek eenmaal in zijn geheel doorlopen te hebben, besluit dat er sprake is van een succes.*

\* synoptisch: (in dit geval) momentopname van een groot gebied, waarbij de variatie in bepaalde eigenschappen (parameters) van het geobserveerde oppervlak beschikbaar komt in ruimtelijke elementen (pixels) variërend van enkele vierkante meters tot vele vierkante kilometers digitaal.



## **7.2 Perspectieven voor instrumentele vernieuwing in het Fysisch Meetnet**

De in de vorige hoofdstukken gerapporteerde inventarisatie van informatiebronnen voor het Fysisch Meetnet biedt ondanks het nog te weinig kwantitatieve karakter ervan mogelijkheden om meettechnieken en –instrumenten te identificeren, die (eventueel op enige termijn) in aanmerking komen voor implementatie in de fysische meetnetten.

In deze paragraaf zal per thema worden aangegeven waar vernieuwingen in het Fysisch Meetnet mogelijk zijn/worden aanbevolen. In deze rapportage ligt daarbij een zwaar accent op de perspectieven welke nieuwe technieken/instrumenten bieden om op enige termijn in het Fysisch Meetnet operationeel te worden ingezet..

Daarbij wordt aan de hand van de volgende aspecten de actuele status van de betreffende instrumenten eerst kort getypeerd:

1. type innovatie; (zelfde dingen beter, andere dingen doen)
2. stadium van ontwikkeling; (ontwikkeling, demonstratie, implementatie)
3. benodigde termijn voor implementatie (schatting van-tot in jaren)

Tenslotte wordt enige specifieke aandacht besteed aan de mogelijke aanpak met betrekking tot implementatie van de/het betreffende techniek/instrument.

Omdat de inventarisatie van de informatiebronnen gelijktijdig heeft plaatsgevonden met de formulering van de actuele informatiebehoefte kan het zo zijn dat eventuele consequenties van de nieuwe informatiebehoefte ten aanzien van meetinstrumenten en het gebruik ervan (te denken valt aan verscherping van nauwkeurigheidseisen, verdichting/uitdunning van meetnetten, behoefte aan meting van nieuwe parameters) in dit rapport niet is meegenomen.

### **7.2.1 Innovatie m.b.t. het meten van waterstanden in zoute wateren**

Radarniveaumeter:

*1. type innovatie: dezelfde dingen beter doen;* goedkoper, robuuster. De meetstrategie ten aanzien van het meten van waterstanden kan in principe geheel identiek blijven; het betreft 'slechts' vervanging van het bestaande instrument (DNM) door een radarniveaumeter.

*2. stadium van ontwikkeling: demonstratie*

De voordelen van de radarniveaumeter (contactloze, robuuste, onderhoudsvriendelijke meetmethode) ten opzichte van het huidige standaardmeetinstrument, de digitale niveaumeter, zijn evident. Van de twee toepassingsvarianten, te weten a) de radar vrij kijkend boven open water (de 'open water toepassing') en b) de radar in een peilbuisopstelling, is de open watertoepassing extra aantrekkelijk vanwege aanmerkelijk lagere civieltechnische kosten. Het onderzoek naar de operationele toepasbaarheid van de radarniveaumeter als waterstandsinstrument is nog niet afgerond. Zo is nog onderzoek benodigd naar de invloed van golven (met name golfhoogte en golffrequentie) op de uit de radarmetingen afgeleide 10-minutengemiddelde waterstanden. Voor toepassing op locaties waar vrije opstelling niet mogelijk of wenselijk is zullen proeven de goede werking van radarniveaumeter opgesteld in een bijpassende standpijp moeten aantonen. Ook problemen van meer praktische aard, zoals het optreden van ijsvorming of verstoring van metingen door langdrijvende voorwerpen, zullen moeten worden opgelost.

*3. geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet: 2-4 jaar*

Aanbevolen wordt het in 2000 opgeschorte traject naar invoering van de radarniveaumeter als waterstandsmeetinstrument weer op te pakken (met name het formuleren voor een zgn. Masterplan daarvoor) en tegelijkertijd het onderzoek naar de invloed van golfhoogte en golffrequentie op de door de radar gedetecteerde waterstand voort te zetten. Het demonstratiestadium kan dan worden afgesloten en de implementatie ter hand worden genomen. Invoering van dit meetinstrument (c.q. acceptatie) zal naar verwachting geen probleem vormen nadat gebleken is, dat de gemeten gegevens voldoen aan de gestelde eisen en dat het instrument een waardig vervanger kan zijn van de digitale niveaumeter.

GPS-boei:

*1. type innovatie: dezelfde dingen beter doen:* het gaat hier primair om toepassing van GPS technologie in een boei met als doelstelling de waterstand voldoende nauwkeurig te registreren.

*2. stadium van ontwikkeling: demonstratie*

Met het gebruik van GPS-technologie in een boei ten behoeve van waterstandsregistratie is binnen Rijkswaterstaat nog geen ervaring opgedaan. De door de ontwikkelaars verstrekte informatie ten aanzien status van deze technologie lijkt een eerste test naar toepasbaarheid te rechtvaardigen, eventueel gevolgd door een demonstratie-traject. (met marktpartijen/ andere instituten).

*3. geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet 3-10 jaar*

De door de ontwikkelaars verstrekte informatie ten aanzien status van deze technologie lijkt een eerste test naar toepasbaarheid van de GPS-boei te rechtvaardigen, eventueel gevolgd door een demonstratie-traject. (met marktpartijen/ andere instituten).

Verwacht mag worden, dat acceptatie van een boei met GPS-technologie (mede door de brede bekendheid en goede ervaringen met zowel boeien als andere GPS-toepassingen) in de meetsector/gebruikerswereld geen groot probleem zal vormen, mits deze technologie aan de vereisten met betrekking tot waterstandsregistratie voldoet. Nadere oriëntatie op de internationale ontwikkelingen op dit vlak zal onderdeel moeten uitmaken van het eventueel in te zetten traject van demonstratie en implementatie.

### **7.2.2 Innovatie m.b.t. het meten van golven**

Voor operationele continue metingen van golven in het Fysisch Meetnet zijn satelliet en vliegtuig remote sensing door hun discontinue karakter/beschikbaarheid minder geschikt. De huidige innovatieve opties, die overblijven betreffen de toepassing van de contactloze radarniveaumeter, de (golven) ADCP en de scheeps- en HF-radartechnieken, welke laatsten zich onderscheiden door de mogelijkheid om simultane ruimtelijke informatie omtrent golvente registreren.

#### De radarniveaumeter :

*1. type innovatie: dezelfde dingen beter doen.* Het meetconcept van de radarniveaumeter is robuust, de principiële geschiktheid van de radarniveaumeter, opgesteld op een vast platform, als meetinstrument voor golfhoogte, is gerapporteerd in 1999.

*2. stadium van ontwikkeling: demonstratie;* nadat eind 2000 besloten werd nader onderzoek te verrichten naar de geschiktheid van de radarniveaumeter als waterstandsmeetinstrument werd het implementatietraject van het instrument, ook voor de toepassing als golfmeetinstrument, opgeschort. Inmiddels is het basisvertrouwen in de meettechniek hersteld en wordt hervatting van het implementatietraject aanbevolen.

*3. geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet: 2-4 jaar*

Aanbevolen wordt de implementatie van de radarniveaumeter als golfmeetinstrument parallel te doen verlopen met het invoeringstraject van het instrument als waterstandsmeetinstrument.

#### Een array van radarniveaumeters

*1. type innovatie: dezelfde dingen beter doen;* met een ruimtelijke array van minimaal 3 radarniveaumeters, opgesteld op een vast platform, kan naast informatie over waterstand en golfhoogte ook informatie over de golfrichting worden ingewonnen

*2. stadium van ontwikkeling: demonstratie;* beproefd is een array van drie instrumenten, die in driehoekopstelling loodrecht omlaag kijkend naar het onderliggende wateroppervlak. Deze tests van het systeem hebben voornamelijk tot de conclusie geleid, dat de hoofdrichting van de golven goed kan worden bepaald. Optimalisering van de techniek (met name ten aanzien van de golfrichtingsspreiding) en beproefing van een systeem met vanuit één centraal punt scheef naar het onderliggende wateroppervlak kijkende radars moeten de methode verbeteren en geschikter maken voor operationele inzet.

*3. geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet 2-6 jaar*

#### Navigatieradar:

*1. type innovatie: andere dingen doen :* de navigatieradar (scheeps-, nautische radar) biedt mogelijkheden om ruimtelijke patronen van golfrichting, oppervlakte-stroming en waterdiepte te registreren. Met een (beperkt) bereik van enkele kilometers lijkt deze technologie geschikt voor vastlegging en monitoring van golven, stroming en morfologie in estuaria en kustgebieden.

2. *stadium van ontwikkeling: demonstratie*: internationaal en nationaal is een aantal demonstratieprojecten uitgevoerd;
3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet*: 4-10 jaar.

De technologie wordt op dit moment eerder geschikt geacht voor projectmatige toepassingen dan voor zuivere monitoring. Gezien het type en het stadium van ontwikkeling van de navigatieradartechnologie wordt een gedegen koppeling tussen de mogelijkheden van navigatieradar met de informatiebehoefte sterk aanbevolen. De aspecten 'ruimtelijke informatie', nauwkeurigheid en robuustheid verdienen daarbij extra aandacht. Uitwisseling van informatie over deze en andere gebruikersaspecten biedt een goede basis voor een sterkte-zwakte-analyse van de techniek en voor het opbouwen van een sterk draagvlak voor eventuele voortzetting van een gericht demonstratie- en implementatietraject.

De navigatieradar komt nadrukkelijk naar voren als een instrument dat van nut zou kunnen zijn voor een betrouwbaarder bepaling van de hydraulische randvoorwaarden voor de primaire waterkeringen langs de Nederlandse kust. Mogelijkerwijze zal het meetsysteem worden ingezet in een uitgebreide meerjarige meetcampagne om in het Waddengebied te komen tot een betere onderbouwing van de hydraulische randvoorwaarden aldaar. Aanbevolen wordt te bezien of dit traject benut kan worden om de bovenstaande doelstellingen te realiseren.

#### HF radar:

1. *type innovatie: andere dingen doen*: de al langer bekende toepassing van HF-radar (bereik tot 200 km) is die van het verzamelen van 'near real time', ruimtelijke informatie van oppervlaktestroming, die in principe voor monitoringdoeleinden gebruikt kan worden; meer recent is ook de ontwikkeling ten aanzien van meting van golfparameters (golfhoogte en golfrichting) in een versnelling gekomen.

2. *stadium van ontwikkeling: demonstratie*: de toepassing van HF radar als golfmeetinstrument is in Nederland nog onbeproefd.

3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet*: 4-10 jaar

Pilotprojecten met HF radar in Nederland in de periode 1994-1999 met betrekking tot monitoring van stroming in estuaria, Waddengebied en haventoeegangen (IJmond/Noordzeekanaal) hebben niet geresulteerd in implementatie van het systeem. De kwaliteit en tijdigheid van de informatie, de robuustheid van de techniek en de betrouwbaarheid van de toegepaste hardware zijn daaraan debet geweest. Met de toepassing van HF radar als golfmeetsysteem is in Nederland (nog) geen ervaring. Aanbevolen wordt eerst de mogelijkheden van deze technologie ten aanzien van het meten van golven terdege te onderzoeken en vast te stellen of een koppeling met de informatiebehoefte zinvol is.

#### **7.2.3 Innovatie m.b.t. het meten van watertemperaturen**

Met betrekking tot het meten van watertemperaturen in het fysisch meetnet kan geconcludeerd worden, dat het operationele gebruik van de EPS A scanner aan boord van het remote sensing vliegtuig van Rijkswaterstaat (ondanks goede mogelijkheden om ruimtelijke overzichten van watertemperaturen te maken) in het Fysisch Meetnet niet in de rede ligt.

#### **7.2.4 Innovaties m.b.t. kustmetingen en vaklodingen**

##### RTOTF-DGPS:

1. *type innovatie: dezelfde dingen beter doen*: gebruik makend van de faseinformatie van de GPS-satellietsignalen kan met RTOTF-DGPS (ook wel RTK-DGPS) de nauwkeurigheid van plaatsbepaling tot  $\pm 2$  millimeter behaald worden (factor 10 tot 100 beter dan standaard DGPS); met betrekking tot de bodemligging kan een precisie ( $2\sigma$ ) van 10 centimeter in zowel X, Y als Z bereikt worden.

2. *stadium van ontwikkeling: implementatie*

3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet*: 1-2 jaar

#### RWSBAS:

1. *type innovatie: dezelfde dingen beter doen:* middels het gebruik van remote sensing radarbeelden (van satelliet dan wel vliegtuig) in combinatie met akoestische lodingen kunnen ruimtedekkende dieptekaarten vervaardigd worden.

2. *stadium van ontwikkeling:demonstratie:* nadat tegenvallende resultaten werden gerapporteerd van tests (zie o.a. [ref. 4.4], 1999) is het (RWS)BAS systeem verder ontwikkeld; nieuwe tests staan op stapel, waarin zowel de verwerkingssnelheid van het systeem, de behaalde nauwkeurigheid en de robuustheid van het systeem aangetoond moeten worden en op basis waarvan men een besluit wil kunnen nemen met betrekking tot de implementatie van de methodiek.

3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet: 3-5 jaar*

Voor incorporering van RWSBAS in het landelijk fysisch meetnet zal de informatiebehoefte vanuit beleid en beheer sturend (moeten) te zijn. Alle in te zetten trajecten dienen daarmee in lijn te zijn. MD, DNN en ARGOSS bereiden een proef voor om het huidige RWSBAS te testen en valideren in de Waddenzee. RIKZ gaat wellicht in op een projectvoorstel voor een proef gericht op kustmetingen. De Meetkundige Dienst en het Periodiek Overleg van de Hoofden van de Meetdiensten (de POHM) zijn in gesprek over de consequenties van eventuele operationele inzet van de RWSBAS-techniek voor kust- en bodemliggingbepaling.

#### Naar een multi sensor strategie :

In 1999 is in de rapportage van het project Optimalisatie Kartering Waddenzee (OKW) aan de hand van de toenmalige kennis omtrent de status van mogelijke inwintechieken een aanzet gegeven tot een zogenaamde 'multi-sensor meetstrategie' ten behoeve van de morfologische kartering van de Waddenzee [ref. 4.4]. Op basis van de informatie uit het genoemde rapport, waarin tevens een beschrijving van de genoemde methoden en hun eigenschappen te vinden is, en gebruik makend van actuele kennis omtrent de in het rapport genoemde informatiebronnen kunnen ten aanzien van de eventuele invoering van een alternatieve meetstrategie voor de morfologische kartering van het Waddengebied de volgende conclusies getrokken worden:

- de combinatie van akoestische lodingen met RTOTF-DGPS in plaats van de conventionele akoestische metingen met waterstandscorrectie zal een beduidende verbetering geven in nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de meetresultaten;
- het gebruik van laseraltimetrie op droogvallende zandplaten in de Waddenzee (waar tot ca. 50% van het gebied regelmatig droogvalt) is een sneller, meer gedetailleerd en goedkoper alternatief voor akoestische gegevensinwinning;
- het gebruik van radarbeelden (afkomstig van een vliegtuig- dan wel satelliet-sensor) voor het vervaardigen van gebiedsdekkende dieptekaarten voor Rijkswaterstaat (RWSBAS = RWS Bathymetry Assessment System) in combinatie met een gereduceerde hoeveelheid akoestische metingen kan op enige termijn een (goedkoper) alternatief zijn voor het gebruik van akoestische metingen alleen.
- de toepassing van DGPS technologie op de WESP of anderszins (te voet of per quad) biedt wellicht mogelijkheden om ontbrekende gegevens in de directe omgeving van de waterlijn 'in te vullen'.

Aanbevolen wordt het idee van de in het OKW project geformuleerde multi-sensor meetstrategie voor morfologische kartering van het Waddengebied te actualiseren en tevens daar waar mogelijk te verbreden naar het gehele programma van kustmetingen en vaklodingen. De geactualiseerde informatiebehoefte en de geïnventariseerde gegevens omtrent de eigenschappen van de verschillende alternatieve informatiebronnen bieden een uitgangspunt om ideeën nader uit te werken. De te formuleren nieuwe meetstrategie zal vervolgens aan uitgebreide praktijktests onderworpen moeten worden, waarbij kan worden vastgesteld welke technieken onder welke omstandigheden en voorwaarden operationeel kunnen worden ingezet. Aanbevolen wordt in het te doorlopen traject aspecten uit de gehele informatiekringloop te betrekken, inclusief informatieoverdracht naar gebruikers bij beleid, beheer en inspectie. Daarna kan definitief besloten worden over verdere operationalisering en implementatie.

### **7.2.5 Innovaties m.b.t. het meten van waterstanden en afvoeren in zoete wateren**

#### **Waterstanden:**

Met betrekking tot het meten van waterstanden in zoete wateren komt, naar analogie van het waterstandsmeten in zoute wateren, nadrukkelijk de radarniveaumeter in aanmerking. Hier wordt volstaan met een verwijzing naar paragraaf 7.2.1 voor meer informatie.

#### **Afvoeren:**

Voor het adequaat meten van afvoeren zijn in principe betrouwbare gegevens benodigd van zowel de waterstand, de (gemiddelde) stroomsnelheid, het morfologisch dwarsprofiel van de waterloop en de ruwheid van de waterbodem ter plaaste van het meetinstrument.

*Met betrekking tot het meetinstrumentarium en de afvoerberekeningsmethodiek is het volgende met name interessant:*

#### De Horizontale ADCP:

*1. type innovatie:dezelfde dingen beter doen:*

*2. stadium van ontwikkeling:demonstratie:* Geplanned is op een locatie naast een bestaande ADM een continue afvoermeetopstelling op basis van een Horizontale ADCP te realiseren, die voldoet aan de nauwkeurigheden zoals die gesteld worden vanuit het MWTL programma. Verder zal de zgn. velocity indexing methodiek (zie ook paragraaf 6.3) worden beproefd om te bezien hoe nauwkeurig een debiet te bepalen is bij meting van de stroming over slechts een beperkt deel van de waterloop.

*3. geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet 2-4 jaar*

De geplande en aanbevolen duurtest van de Horizontale ADCP zal de implementatie van het instrument ten behoeve van afvoerbepalingen kunnen versnellen en de acceptatie van de methodiek onder gebruikers bevorderen.

#### De toepassing van Qf relaties:

De voorgestelde Qf-methodiek, waarin bodemveranderingen en hysteresis expliciet in rekening worden gebracht (de  $f$  staat voor het gegeven dat de afvoer niet meer alleen maar van de waterstand  $H$  afhankelijk is) zou integraal geïmplementeerd kunnen worden om zodoende nauwkeuriger afvoerrekeningen te kunnen berekenen. Dit laatste zowel voor wat betreft de nog komende periode, als voor de historische reeksen teruggaand tot ca 1956 – het oudste jaar waarvoor de oorspronkelijke afvoermetingen nog beschikbaar zijn. Dit vergt echter nog nadere studie en analyse, omdat bij de tot nu toe uitgevoerde analyses voor een aantal stations langs de Rijnakken en de Maas in hoofdzaak naar het hoogwaterbereik is gekeken, en het laagwaterbereik daardoor onderbelicht is gebleven. Qf relaties kunnen alleen gecontroleerd worden aan de hand van momentane metingen die relatief snel achter elkaar kunnen worden uitgevoerd. De metingen met propeller metingen zijn hiervoor niet geschikt en men zal dus gebruik moeten maken van de ADCP methode, daarnaast kan wellicht gebruik gemaakt worden van stroomsnelheden die door ADM's gemeten worden tijdens hoogwater golven.

*Met betrekking tot algemene/organisatorische aspecten van monitoring van afvoeren kunnen de volgende aanbevelingen worden gedaan:*

- het is (nog) niet mogelijk een absolute garantie af te geven met betrekking tot de kwaliteit en de reproduceerbaarheid van de gemeten dan wel berekende afvoergegevens. Voor de kwaliteit van de door ADM's gemeten waterstanden en stroomsnelheden kunnen garanties worden afgegeven; dit geldt echter niet voor de uit deze gegevens afgeleide dan wel berekende afvoeren, althans niet zolang daartoe geen uniforme verwerkingsmethodiek wordt gehanteerd. Daarom wordt sterk aanbevolen met spoed een eenduidige methode vast te leggen, volgens welke afvoergegevens verricht en verwerkt worden. Aanzetten tot dit traject zijn inmiddels gegeven.
- Voorgesteld wordt om de afvoerberekeningen volgens de genoemde uniforme methodiek in de toekomst centraal, door het MSW, te doen plaatsvinden, analoog aan de centraal uitgevoerde toepassing van de QH relatie ter bepaling van de afvoer uit gemeten waterstanden. In dat regime zou het zo moeten zijn, dat de Regionale Directie, die het

betreffende meetpunt beheert, de minder veranderlijke additionele gegevens met betrekking tot bijv. het dwarsprofiel en het type bodembeschoeiing aan het MSW levert en verantwoordelijk is voor de actualiteit én de kwaliteit van die gegevens.

- Onder andere in verband met de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) behoeft ook voor afvoermetingen de aansluiting bij de ons omringende landen aandacht. Daarnaast is internationale oriëntatie van belang omdat de internationale technologische en toepassingsgerichte ontwikkelingen ook op dit gebied snel gaan.
- Naast een traject naar operationalisering van de HADCP voor het meten van afvoeren biedt ook de eerder (in paragraaf 5.3) genoemde trend in de richting van integratie van het voor afvoeren benodigde meetinstrumentarium een mogelijkheid tot innovatie. Een dergelijke opzet biedt het perspectief van een meer eenduidige afvoerbepaling en is uit het oogpunt van beheer en onderhoud aantrekkelijk. Toepassingsgericht onderzoek naar de mogelijkheden om in één meetsysteem de HADCP te combineren met een druksensor voor waterstandsregistratie en akoestische bundels voor locatie van wateroppervlak en waterbodembodem wordt sterk aanbevolen.

### **7.2.6 Innovaties m.b.t. het meten van stromingen in de kustzone**

Met betrekking tot het meten van stromingen in de kustzone zijn het met name de HF radar en navigatieradartechnologie die in aanmerking komen voor nader onderzoek met betrekking tot hun toepassingsmogelijkheden. Beide radartechnieken hebben als groot voordeel dat ze simultaan informatie kunnen verschaffen over de stromings- en/of golfcondities over een groot wateroppervlak. Alvorens dergelijke systemen operationeel kunnen worden ingezet dienen echter nog uitgebreide tests plaats te vinden.

#### HF radar:

1. *type innovatie: andere dingen doen:* gebruik makend van de (Doppler)verschuiving die de frequentie van een radarsignaal ten gevolge van optredende stroming ondergaat bij reflectie aan golven kan met een tweetal HF radar zend-ontvanger systemen een near real time ruimtedekkend overzicht van oppervlaktestromingsgegevens worden gegeven met een bereik tot 200 km.

2. *stadium van ontwikkeling: demonstratie:* internationaal staat de HF radar technologie in hoog aanzien; het verdient na de pilot serie in de jaren 1994-1999, die niet heeft geleid tot operationalisering van de HF radar technologie, aanbeveling te onderzoeken in hoeverre de HF radar technologie verder is ontwikkeld in een richting die invulling kan geven aan de informatiebehoefte ten aanzien van stroming.

3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet 3-5 jaar*

#### Navigatieradar:

1. *type innovatie: andere dingen doen:* gebruik maken van standaard scheepsradartechnologie kan uit (een tijdreeks van) digitale radarbeelden naast informatie over golven (met name golfrichting) en waterdiepte/morfologie ook stromingsinformatie betrokken worden.

2. *stadium van ontwikkeling: demonstratie:*

3. *geschatte benodigde tijd voor implementatie in het Fysisch Meetnet: 3-5 jaar*

De toepassingsmogelijkheden van de navigatieradar zullen wellicht worden onderzocht in het kader van een grootscheeps meetprogramma in het Waddengebied om te komen tot verbeterde hydraulische randvoorwaarden voor de waterkeringen aldaar. Als bijproducten van dat onderzoek zullen waarschijnlijk andere toepassingsmogelijkheden van de navigatieradar naar voren komen, waaronder mogelijkheden voor het meten van stroming.

Sturing van uit de informatiebehoefte is een absoluut vereiste voor een eventueel in te zetten traject met HF radar dan wel navigatieradar.

### ***7.3 Referenties t.a.v. innovatie meetinstrumenten***

- 7.1. **Analyse van het implementeren van innovatieve technieken in het naatte meetbedrijf van Rijkswaterstaat**, J.A. van Woerden, TNO-TPD, 2000, TNO-rapport DIS-RPT-00024.
- 7.2. **Infoplan, Stappen naar een integraal meetplan**, 2000, Programmabureau Meetstrategie 2000+, Brochure nummer MS 2000+.2000.06
- 7.3. **Naar informatie op maat**, 1999, Programmabureau Meetstrategie, Brochure nummer MS2000+.1999.02