

Stroming in de Westerschelde

**Inventarisatie van de informatiebehoefte en
informatievoorziening**



Stroming in de Westerschelde

**Inventarisatie van de informatiebehoefte en
informatievoorziening**

drs. M. Schroevers

1207729-002

Titel
Stroming in de Westerschelde

Opdrachtgever
Gerard Blom

Project
1207729-002

Kenmerk
1207729-002-ZKS-0002

Pagina's
56

Trefwoorden
Westerschelde, stroomsnelheid, stroomrichting, monitoring

Samenvatting

In de Westerschelde is behoefte aan betrouwbare en nauwkeurige waterstands- golf- en stromingsinformatie. De informatiebehoefte voor stroming komt voort uit:

- Onderzoek en evaluatie ten behoeve van doorvaart voor scheepvaart (LTV programma).
- informatievoorziening ten behoeve van het begeleiden en beloodsen van scheepvaart.
- Informatie voor de bepaling van de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde ten aanzien van veiligheid tegen overstroming.
- de bepaling van (de ontwikkeling van) de waterkwaliteit en slibhuishouding.
- Stromingsinformatie voor search and rescue, en traceren van verloren lading, lozingen en andere calamiteiten.

De behoefte betreft zowel historische gegevens, de actuele situatie als verwachtingen.

In principe is voor ieder doel een hydrodynamisch model beschikbaar voor de Westerschelde. Voor studies kan een model met de gewenste nauwkeurigheid gekozen worden naar gelang het doel, eventueel aangevuld met gemeten data. In stromingsverwachtingen zit op dit moment een tekortkoming, de gebruikte modellen zijn niet ontwikkeld voor het nauwkeurig representeren van stroming en niet nauwkeurig genoeg voor scheepvaart of calamiteiten. Ook ontbreekt het op dit moment aan validatiegegevens bij storm en validatiegegevens met grote ruimtelijke dekking, waardoor de modellen niet optimaal getoetst kunnen worden. Daarnaast zijn de stromingsgegevens van RWS zijn niet breed en eenvoudig beschikbaar, terwijl daar wel behoefte aan is. Deltares stelt voor om de bestaande operationele hydrodynamische modellen specifiek voor de Westerschelde te toetsen op stroming. Mochten deze niet voldoen dan wordt ontwikkeling van een nieuw operationeel model geadviseerd op basis van de Next Generation Hydro software met gebruikt van een flexibel rooster. Dit model zou gekalibreerd en gevalideerd moeten worden op stroomsnelheden en niet alleen op waterstand en getijvolumes. Betere en bredere ontsluiting van stromingsgegevens wordt eveneens aangeraden Voor het verkrijgen van meer gegevens tijdens stormachtig omstandigheden en voor ruimtelijke validatie stelt Deltares twee alternatieven voor; als eerste het inzetten van twee mobiele HF radars die roulerend, langs vooraf vastgestelde locaties, de belangrijkste gebieden van de Westerschelde bemeten, en als tweede een verkenning van de mogelijkheden van het ontsluiten van stromingsgegevens die aan boord van commerciële schepen gemeten worden.

Referenties

KPP2013, efficiënte monitoring, MM13ab, 1207729

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	Dec. 2013	Drs. M. Schroevers		Ir. J. Vroom		Drs. F.M.J. Hoozemans	

Status
definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Korte systeembeschrijving Westerschelde	3
2.1 Recente en verwachte menselijke ingrepen	5
3 Informatiebehoefte stroming Westerschelde	7
3.1 Inleiding informatiebehoefte stroming	7
3.2 Gebruiksdoel 1 "Vastleggen karakteristieken watersysteem"	8
3.3 Gebruiksdoel 2 "Bepalen Hydraulische randvoorwaarden"	8
3.4 Gebruiksdoel 3 "Internationale verplichtingen en afspraken"	9
3.5 Gebruiksdoel 4 "Kustlijnhandhaving"	9
3.6 Gebruiksdoel 5 "Interpreteren van gegevens van andere landelijke monitoringprogramma's"	10
3.7 Gebruiksdoel 6 "Beheer en toetsing van waterkeringen"	10
3.8 Gebruiksdoel 7 "Informatie voor landelijke berichtendiensten"	10
3.9 Gebruiksdoel 8 "Ondersteunende variabelen bij het meten van afvoeren en bodemligging"	11
3.10 Gebruiksdoel 9 "Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast"	11
3.11 Gebruiksdoel 10 "Informatie benodigd voor onderzoek en voor ontwikkeling van modellen"	11
3.12 Gebruiksdoel 11 "Regionale/lokale informatievoorziening" waaronder scheepvaart	12
3.12.1 Informatiebehoefte van RWS voor de regionale informatie voorziening	12
3.12.2 Informatiebehoefte stroming van het loodswezen	14
3.12.3 Informatiebehoefte van andere gebruikers van stromingsinformatie	16
3.13 Gebruiksdoel 12 "Operationeel waterbeheer"	18
3.13.1 Operationeel waterbeheer: Bediening kunstwerken	19
3.14 Gebruiksdoel 13 en 15 "Voorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen/grote projecten"	19
3.15 Gebruiksdoel 14 "Emissie-immissie studies"	19
3.16 Eisen aan de informatievoorziening 2013	19
4 Informatievoorziening stroming in de Westerschelde	21
4.1 Hydrodynamische modellen in de Westerschelde	21
4.2 Hydrodynamische modellen voor operationele informatie in de Westerschelde	21
4.3 Modellen voor onderzoek (detail modellen en systeem modellen)	24
4.4 Modelontwikkeling	28
4.5 Laboratoriumonderzoek en tools	28
4.6 Ingezetete meettechnieken voor het bepalen van stroming	28
4.6.1 Prestaties meetapparatuur en representativiteit metingen	30
4.7 Langjarige meetcampagnes	31
4.7.1 Monitoring ten behoeve van kalibratie stroomsnelheidsmodel Scaldis400 voor scheepvaart	31
4.7.2 Uitvoeringsprogramma Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets MONEOS31	31
4.8 Projectmetingen	33
4.8.1 Stroombeelden	33
4.8.2 Meetcampagne Put van Borssele	34
4.8.3 Meetcampagne Bath	34

4.8.4	Onderzoek scheepsgolven op het badstrand van Vlissingen	35
4.9	Casus: de neer in het Zuidergat bij de plaat van Ossensisse	36
4.9.1	Onderzoeken en technieken toegepast in het Zuidergat in chronologische volgorde	37
5	Samenvatting en discussie, informatiebehoefte versus beschikbare informatiebronnen	41
5.1	Samenvatting informatiebehoefte stroming Westerschelde	41
5.2	Samenvatting informatievoorziening stroming Westerschelde	41
5.3	Discussie	42
6	Conclusie en aanbevelingen	45
6.1	Conclusies	45
6.2	Aanbevelingen	46
7	Literatuur	47
 Bijlage(n)		
A	Overzichtstabel informatiebehoefte	51
B	ADCP-stroommetingen RWS Zee en Delta, Zeeland	55
B.1	Werkschema en doelen ADCP metingen bij RWS Zee en Delta, Zeeland.	55
B.2	Overzicht ADCP-stroombaanmetingen ten behoeve van scheepvaart.	56

1 Inleiding

In de Westerschelde is behoefte aan betrouwbare en nauwkeurige waterstands-, golf- en stromingsinformatie. Daarbij zijn de meest prominente doelen: veiligheid tegen overstromingen en een vlotte en veilige doorvaart. Een optimale informatiestrategie is nodig om een betrouwbare en nauwkeurige informatievoorziening te realiseren.

Deltares heeft in opdracht van Rijkswaterstaat een inventarisatie uitgevoerd van de huidige informatiebehoefte en -voorziening rondom de Westerschelde ten aanzien van stroming. Tevens zijn kort de mogelijkheden voor alternatieve informatiestrategieën verkent.

Bij het opstellen van de informatiestrategie wordt uitgegaan van de matching tussen informatiebehoefte, informatieaanbod en systeemkennis. Als eerste stap wordt een overzicht gemaakt van elke component van het huidige informatievoorzieningssysteem. Hierbij worden ook de eigenschappen van de omgeving waarover de informatie wordt verzameld meegenomen. Vervolgens worden tevens andere mogelijke manieren om de informatie te verzamelen in beeld gebracht.

Concreet komt het er op neer dat in deze inventarisatie beschouwd wordt wat de huidige informatiebehoefte en monitoringsstrategie is. Daarnaast wordt beschouwd in hoeverre de beschrijvingen en de strategie momenteel nog voldoen en welke middelen (modellen en meettechnieken) inmiddels beschikbaar zijn om deze informatiestrategie te actualiseren. Op basis daarvan kan de monitoringsstrategie daarop worden aangepast.

De tijdshorizon, die bij dit advies in overweging is genomen, is een decennium. Een dergelijke termijn is nodig, aangezien wijzigingen in de informatievoorziening gepaard kunnen gaan met relatief hoge en langlopende investeringen. Tevens is dit grofweg het termijn waarbinnen nieuw opkomende technieken kunnen worden geïmplementeerd in de informatiecycclus.

Gevolgte werkwijze

De benodigde informatie over de huidige informatievoorziening en informatiebehoefte voor stroming is allereerst betrokken uit de rapportages en overzichten van en voor RWS:

- Huidige beschrijvingen van informatiebehoefte van RWS voor de Westerschelde.
- Overzicht van de metingen die worden uitgevoerd in het gebied, zowel regulier als projectmatig.

De verder benodigde informatie en mogelijkheden voor de toekomst zijn verkregen door het bevragen van experts van RWS Zee en Delta, het Nederlands Loodswezen en Deltares. Hieronder een overzicht van de bevraagde personen per onderwerp:

- modellen en operationele informatie in de Westerschelde: Theo van der Kaaij, David Kerkhoven, Firmijn Zijl (Deltares), Jan-Rolf Hendriks (RWS).
- metingen in de Westerschelde: Marco Schrijver, Leen Dekker en Herman Peters (RWS)
- informatiebehoefte morfologie en lange termijn visie Westerschelde: Marcel Taal (Deltares).
- informatievoorziening scheepvaart: Jan Stout, Frans Mol (RWS).
- informatiebehoefte loodsen: Xander Janssen, Jan Willem Siewe (Loodswezen)

Met speciale dank aan Jan-Rolf Hendriks voor het beantwoorden van vele vragen en geven van commentaar op de eerste versie van het document.

Afbakening

De informatiebehoefte en -voorziening wordt bepaald voor stroming in het Nederlandse gebied van Westerschelde op basis van door RWS gedefinieerde gebruiksdoelen. De informatie die nodig is voor de buitendelta, de Zeeschelde of in de binnengebieden van de havens zijn (nog) niet meegenomen.

De hier beschreven inventarisatie vormt een onderdeel van het project KPP efficiënt monitoren (projectnummer 1207729). Dit project is aan Deltares opgedragen onder programma Kennis voor Primaire Processen (KPP) van 2013. Het is een bundeling van vragen in relatie tot monitoring en informatiebehoefte en -strategie vanuit Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL) en Rijkswaterstaat Centrale Informatievoorziening. Binnen het project KPP efficiënt monitoren wordt aandacht besteed aan een samenhangende benadering van de monitorings- en informatiestrategieën voor RWS op gebied van waterkwantiteit, waterkwaliteit en bodemligging.

Beperkingen

Tijdens het doornemen van de beschikbare documenten is opgevallen dat de aanpak om stroming uit modeldata en stroming uit metingen te vergelijken sterk varieert. Tevens is de documentatie niet altijd volledig in relatie tot de beschrijving en analyse van optredende verschillen. Een deel van de uitspraken over de modellen in deze inventarisatie is dan ook afkomstig van de lokale experts die regelmatig met de modellen werken.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat een korte systeembeschrijving van de Westerschelde met de focus op stroming.

In hoofdstuk 3 is de informatiebehoefte gegeven van RWS, de informatiebehoefte van de loodsen en die van andere partijen.

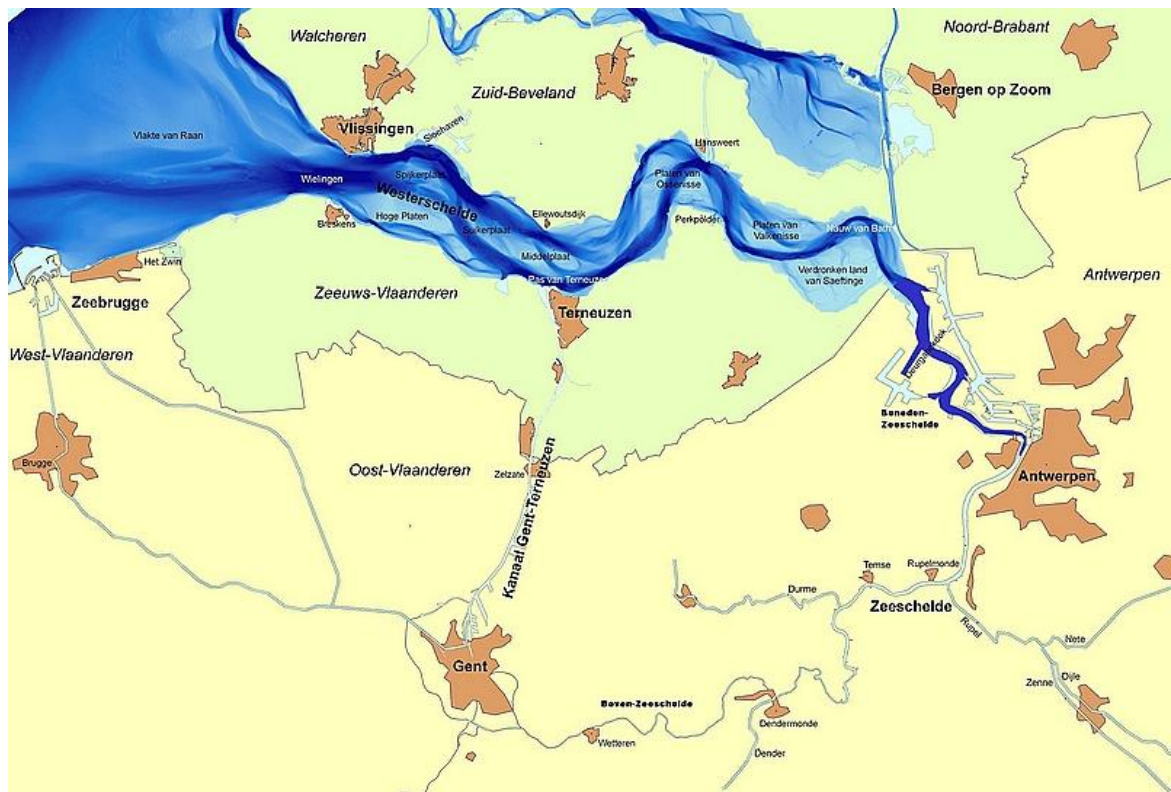
In hoofdstuk 4 wordt de huidige informatievoorziening beschreven. In dit hoofdstuk wordt specifiek aandacht besteed aan de vorming van de neer in het Zuidergat. In de afgelopen 15 jaar is er veelvuldig aandacht besteed aan dit fenomeen met verschillende technieken. Het dient als casus en showcase voor wat er wel en niet kan met de huidige stand der techniek.

In Hoofdstuk 5 worden informatiebehoefte en -aanbod samengevat en aandachtspunten geïdentificeerd.

In hoofdstuk 6 worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

In de bijlage A staan de informatiebehoefte, de eisen aan de informatie en de informatiebronnen nogmaals uitgewerkt in tabelvorm.

2 Korte systeembeschrijving Westerschelde



Figuur 2.1 Overzichtsfiguur van de Westerschelde en de Zeeschelde met daarin de meeste van de in dit rapport benoemde locaties.

De Westerschelde is een getijderivier/estuarium waarbij de invloed van de zee tot ver stroomopwaarts (landinwaarts) aanwezig is. De Westerschelde is 113 km lang en 2 tot 8 km breed (van oever tot oever). Het getijverschil tussen hoog en laagwater bedraagt bij Vlissingen gemiddeld 4 m en bij Antwerpen ruim 5 m en is verder stroomopwaarts nog merkbaar tot bij Gent. Het faseverschil van het getij tussen Vlissingen en Antwerpen is 1 uur en 45 minuten bij hoogwater en 2 uur en 20 minuten tijdens laagwater (bron: Vlaamse Hydrografie 2013). Bij eb vallen er gigantische zandplaten droog zoals de Platen van Valkenisse, die ten noorden van het Verdrongen land van Saeftinge liggen, en de Hooge Platen vlakbij de monding.

Per getijde stroomt er gemiddeld ongeveer een miljard m³ zeewater de Westerschelde in en uit. Onder maatgevende omstandigheden bedragen de stroomsnelheden 2 tot 3 m/s. De hoogste stromingen treden op tijdens springtij, op z'n Zeeuws "giertij". Onder bepaalde omstandigheden zonder springtij kunnen vergelijkbare stroomsnelheden optreden, bijvoorbeeld na een wateropstuwing in de Westerschelde door sterke wind (surge), waarbij de wind wegvalt of draait tijdens eb.

Een dergelijk onverwacht giertij werd in 2008 waargenomen, waarbij extreem hoge stroomsnelheden op de zandplaten ontstonden [van Duren 2009]. De meest extreme waarden kunnen ontstaan als springtij en surge ongunstig samenvallen, zoals in bij de watersnoodramp in 1953.

Over de laatste 150 jaar is een toename in de getijslag in de Westerschelde en de Zeeschelde geconstateerd [Jeuken et al. 2007]. In de monding van de Westerschelde, ter hoogte van Vlissingen, is dit toegenomen van 3,7 naar 4 meter. Ten oosten van Ossensse tot aan ruwweg km 100 wordt een steeds groter wordende toename van de getijslag geconstateerd. Ook bovenstrooms van km 100, op de Zeeschelde, is de getijslag toegenomen. Deze extra toename wordt toegeschreven aan veranderingen in het Schelde-estuarium, te weten verdiepingen, bochtafsnijdingen en inpolderingen.

De stroming verder achterin de Westerschelde (landinwaarts) wordt deels bepaald door de afvoer van de Schelde. De gemiddelde afvoer van de Schelde is $100 \text{ m}^3/\text{s}$ met een minimum van $20 \text{ m}^3/\text{s}$ en een maximum van $600 \text{ m}^3/\text{s}$ [Fettweis et al., 1998]. De afvoer van zoet water zorgt voor een gradiënt in de saliniteit. Het zoute en zoete water is echter zodanig gemengd dat er van verticale of horizontale gelaagdheid geen sprake is. De saliniteit neemt geleidelijk toe naar de monding van de Westerschelde. De horizontale gradiënt in de saliniteit zorgt wel voor een effect dat "gravitatie gedreven circulatie" wordt genoemd, waardoor de reststroom aan de bodem landinwaarts gericht is en de reststroom bovenin zeewaarts. Dit heeft effecten op het transport van materiaal langs de bodem, zoals slib.

De Westerschelde heeft alle eigenschappen van een estuarium, maar ook van een meanderende rivier. Vanuit het oogpunt van stroming houdt dat in dat door het getij de waterstand snel verandert en de stroming eveneens. Tevens ontstaan neren en in de sterke bochten is sprake van secundaire stroming, die verandert met het getij. De maxima van de dwarsstroming ten gevolge van secundaire stroming is 20 cm/s [Jansen 1997] terwijl de dwarsstroming ten gevolge van neren op kan lopen tot $2,5 \text{ m/s}$ in het Zuidergat bij Hansweert (zie ook paragraaf 4.9)

Stroming en morfologie

De vorm van het estuarium (trompetvorm), de getijslag en bodemligging, maar ook de ruwheid van de bodem heeft invloed op de stroming. In het geval van een zandige bodem, zoals in de Westerschelde, is er sprake van een wisselwerking: de stroming bepaald de vorm van de bodem en vorm van de bodem bepaald de stroomsnelheid. Dit komt doordat relatief kleine stroomsnelheden van ongeveer $0,5 \text{ m/s}$ voldoende zijn om zandkorrels in beweging te brengen. Omdat tijdens de eb- en vloedstroom de snelheden veel hoger liggen, betekent dit dat er dan erosie en sedimentatie zal optreden. Onder invloed van de stroomsnelheid en de richting van deze stroming veranderen tijdens één getijcyclus de vorm en verplaatsingsrichting van de zandgolven op de bodem van de Westerschelde. Het geulenpatroon is daardoor dynamisch op korte tijdschalen, hoewel het gehele geulen patroon gezien over tientallen jaren redelijk stabiel blijft. Een aantal bochten van de geulen is echter voorzien van geulwandverdediging zodat ze niet meer kunnen opschuiven.

Voor de morfologie is naast getij stroom ook golfwerking een belangrijk proces op de ondiepere delen en de platen. Golven brengen sediment in suspensie, waarna deze verder wordt getransporteerd door een combinatie van getijstroming en stroming veroorzaakt door golven en wind.

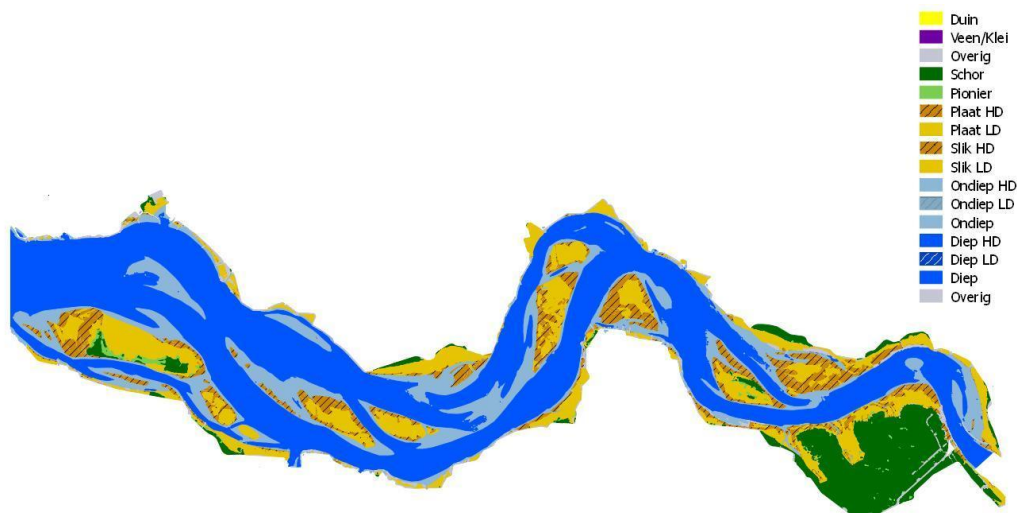
Stroming en ecologie

De wisselwerking tussen stroming en ecologie is vergelijkbaar met de wisselwerking tussen stroming en morfologie. De stroming beïnvloedt welke planten kunnen overleven en de begroeiing bepaald de ruwheid, die vervolgens de stroming weer beïnvloed. Bij het opstellen van hydrodynamische en morfologische modellen wordt bij voorkeur rekening gehouden met de begroeiing/vegetatie. Dit gebeurt op dit moment echter alleen nog voor de uiterwaarden

van rivieren, waarbij rekening gehouden wordt met de soort en de vorm van de aanwezige vegetatie.

Voor de droogvallende delen van de Westerschelde worden luchtfoto's gebruikt voor het analyseren of een gebied hoog dynamisch of laag dynamisch is en welk type ondergrond en begroeiing aanwezig is. Dit wordt vastgelegd in een ecotopenkaart, waarvan in onderstaande figuur een voorbeeld staat weergegeven. Hieruit kan dan bepaald worden welke typen flora en fauna er aanwezig zijn of aanwezig kunnen zijn. In de Westerschelde wordt voor de niet-droogvallende delen (in figuur gemarkeerd als "diep" en "ondiep") uit hydrodynamische modellen bepaald of een gebied hoog of laag dynamisch is op basis van de stroomsnelheden.

Voor de ecologie is, net als bij morfologie, in de ondiepe delen en op de platen en schorren ook de golfwerking belangrijk. De door golven opgewekte orbitaalstroming kan ervoor zorgen dat een plantensoort juist wel of niet kan groeien of verblijven.



Figuur 2.2 Voorbeeld van een ecotopenkaart voor de Westerschelde, versie 2010. HD staat voor Hoog Dynamisch en LD voor Laag Dynamisch.

2.1 Recente en verwachte menselijke ingrepen

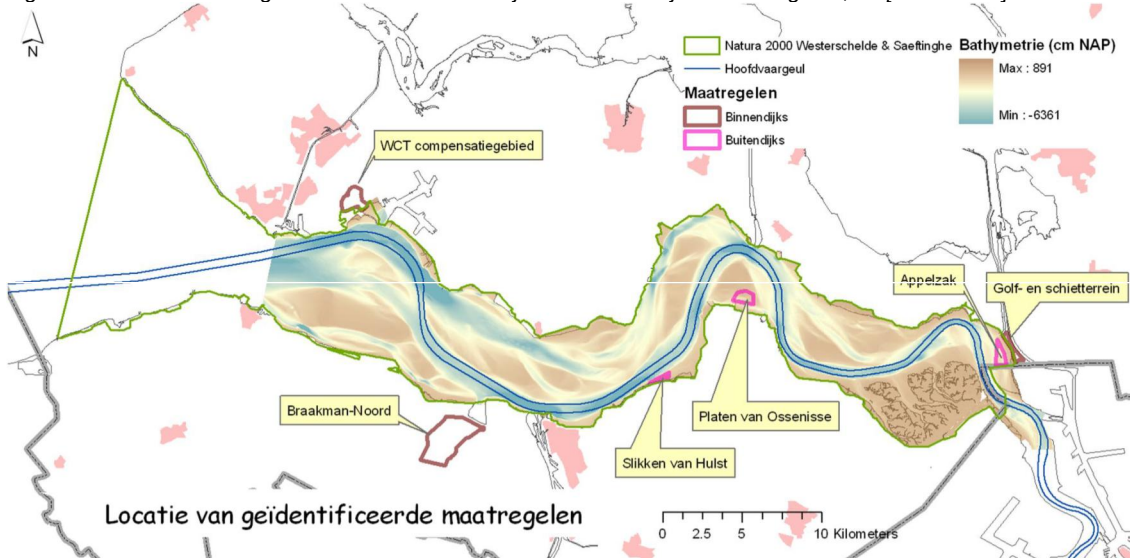
Op dit moment is het herstel van de steenbekledingen van dijken in de Westerschelde afgerond. Er staan nog wel een aantal bestortingen gepland in het kader van kustlijnzorg (zie Figuur 2.3). De 3^{de} verdieping/verruiming van de Westerschelde is afgerond, maar er wordt continu gewerkt aan het onderhouden van de vaargeul en het garanderen van de afgesproken vaardiepte. Een deel van het materiaal van de baggerwerkzaamheden wordt gestort op plaatranden.

Vanuit de Europese richtlijnen (Vogel- en habitatrichtlijn, Natura2000) heeft de Nederlandse overheid de verplichting het Natura2000-gebied Westerschelde in een goede staat te brengen. Hiervoor zijn een aantal ingrepen nodig, waaronder de aanleg van minimaal 600 ha nieuwe natuur in het gebied. De varianten die hiervoor al enige jaren op tafel liggen, zijn weergegeven in [Nolte 2011]. Welke maatregelen uiteindelijk doorgang zullen vinden, is een politieke beslissing.

Figuur 2.3 Uitsnede van de kaart van de Zuid Westelijk Delta (bron: Helpdesk water, kaarten)



Figuur 2.4 Locaties van geïdentificeerde binnendijkse en buitendijkse maatregelen, uit [Nolte 2011].



3 Informatiebehoefte stroming Westerschelde

In dit hoofdstuk wordt de informatiebehoefte beschreven vanuit de gebruiksdoelen van RWS. Deze informatiebehoefte is in tabelvorm te vinden in bijlage A.

3.1 Inleiding informatiebehoefte stroming

Rijkswaterstaat heeft in 2003 15 gebruiksdoelen geformuleerd om haar informatiebehoefte op te stellen [RIKZ 2003]. Deze lijst wordt niet altijd meer gebruikt (mede door overlap in verschillende doelen), maar voldoet nog steeds goed als leidraad voor het vaststellen van de behoefte. De gebruiksdoelen zullen hier verder benoemd en behandeld worden.

Omschrijving gebruiksdoelen

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

De informatiebehoefte van de scheepvaart, zoals verwoord door het loodswezen en andere gebruikers van de Westerschelde, is opgenomen onder punt 11.

Voor de informatievoorziening van waterkwantiteit (fysica) zijn de volgende benodigde parameters afgeleid uit de informatiebehoefte:

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

In de volgende paragrafen worden de gebruiksdoelen voor stroomsnelheid in de Westerschelde uitgewerkt. Daarbij zijn de parameters afvoer, getijvolumes en zijdelings sedimenttransport meegenomen, omdat deze bepaald worden met behulp van stroming. (Sedimenttransport staat niet specifiek benoemd in de informatiebehoefte van RWS, maar is wel benoemd in de Kaderrichtlijn Water, Kaderrichtlijn Mariene Strategie en de Natuurnota Kust.) De eisen aan de informatie zoals geformuleerd in 2012 zijn opgenomen in paragraaf 3.16.

Stroming is niet altijd expliciet maar vaak impliciet benoemd.

In de volgende paragrafen zal meerdere malen gemeld worden dat er geen expliciete behoefte is genoemd aan stroming, afvoer of getijvolumes. Maar in veel van die gevallen wordt aan de informatiebehoefte voldaan met hydrodynamische modellen, lees “stromingsmodellen”. In die gevallen is de informatiebehoefte stroming daarmee impliciet en wordt voldaan met de genoemde modellen. De informatiebehoefte van hydrodynamisch modellen wordt besproken in paragraaf 3.11.

3.2 Gebruiksdoel 1 “Vastleggen karakteristieke watersysteem”

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

De beleidskaders waarbinnen de monitoring van het systeem van belang is zijn o.a. de Lange Termijn Visie Westerschelde, de Vogel Habitat richtlijn, Natura 2000, Kader Richtlijn Water, Kader Richtlijn Marien en de Wet op de waterkering.

Voor het *voorspellen* van trendontwikkeling als gevolg van verruiming van de Westerschelde en natuurherstellende maatregelen wordt gebruik gemaakt van hydrodynamische modellen en hydro-morfologische modellen (zie paragraaf 4.3). Deze modellen maken op de zeer zelden gebruik van astronomische waterstandsranden (getijcomponenten) of tijdseries verkregen uit grotere modellen en de afvoeren van de Belgische rivieren de Schelde, de Netes (Kleine, Grote en Beneden Nete), de Zenne en de Dijle en het debiet door de Bathse spuisluis en de sluis bij Terneuzen. Voor kalibratie en validatie wordt gebruik gemaakt van gemeten waterstanden, getijvolumes en lokale stromingsmetingen.

Voor het *bepalen* van trendontwikkeling wordt voornamelijk gebruik gemaakt van getijvolumes en bathymetrie. De gewenste herhalingsfrequentie van de bepaling van getijvolumes met metingen is over het algemeen eens per 4 jaar. Bij grootschalige ingrepen kan een hogere frequentie wenselijk zijn. Er zijn op dit moment 14 raaien gedefinieerd waarop de getijvolumina worden bepaald (zie Figuur 4.9). Getijvolumes worden 3-jarlijks gemeten voor de “primaire” raaien en 6-jarlijks voor de “secundaire” raaien (zie [Schrijver & Plancke 2008])

3.3 Gebruiksdoel 2 “Bepalen Hydraulische randvoorwaarden”

Door middel van de Hydraulische Randvoorwaarden wordt iedere vijf jaar “de relatie tussen hoogwaterstanden en overschrijdingskansen waarvan de beheerder van de desbetreffende primaire waterkering moet uitgaan bij de bepaling van het waterkerend vermogen” vastgesteld. Deze verplichting vloeit voort uit de Wet op de Waterkeringen (vanaf 2010 opgenomen in de Waterwet). Bij de bepaling van de Hydraulische Randvoorwaarden in de Westerschelde zijn de waterstanden en golven belangrijke invoerparameters. Tijdens het afleiden van de Hydraulische Randvoorwaarden wordt gebruik gemaakt van hydrodynamische modellen (WAQUA en SWAN), waarmee extreme waterstanden en golven worden berekend. De met WAQUA-berekende stroomsnelheden dienen als invoer voor SWAN.

De genoemde modellen maken gebruik van afvoeren/getijvolumes in de Westerschelde. Bij voorkeur geëxtrapoleerd uit metingen tijdens stormen. Deze extrapolatie Berekening van Hydraulische randvoorwaarden wordt eens per 6 jaar uitgevoerd. De overschrijdingsfrequentie die daarbij gehanteerd wordt voor de Zeeuwse Delta is eens in de 4.000 jaar.

3.4 Gebruiksdoel 3 “Internationale verplichtingen en afspraken”

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

Lange Termijn Visie (LTV) Schelde Estuarium

In 2001 hebben de Nederlandse en Vlaamse overheden een overeenkomst getekend met daarin de Lange Termijn Visie (LTV) voor het Schelde estuarium. LTV focust op drie functies: 1) veiligheid tegen overstromen, 2) toegankelijkheid van de havens en 3) natuurlijkheid. Een onderdeel van de uitvoering is een gezamenlijk en geïntegreerd monitoringsprogramma voor de Schelde waarmee men de effecten van ingrepen gaat evalueren [Meire et. al. 2008], zie ook paragraaf 4.7.2.

Kaderrichtlijn Water

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

Nakomen van afspraken met OSPAR en ICES, vrachtberekeningen naar zee

Nederland heeft rapportageverplichtingen betreffende vrachten van nutriënten naar de Noordzee aan OSPAR (Verdrag inzake de bescherming van het marine milieu in het Noordelijke deel van de Atlantische Oceaan) en ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Voor deze vrachtbepaling zijn afvoeren onmisbaar. Locaties: Westerschelde, Bathse Spuikanaal, Kanaal Gent-Terneuzen.

Kaderrichtlijn Marien

In het document “Mariene Strategie voor het Nederlandse deel van de Noordzee 2012-2020 Deel II” wordt invulling gegeven aan de verplichting uit de Europese Kaderrichtlijn Mariene Strategie (KRM). In deel I is één descriptor genoemd die verbonden is met stroming:

“Ingrepen door de mens in de hydrografische toestand mogen geen negatief effect hebben op de ecologische toestand.” Op basis van deze descriptor zouden ingrepen in de Westerschelde, dus ook de verdieping, geen negatieve invloed mogen hebben op de ecologische toestand van Noordzee. Deze ingrepen in de Westerschelde zijn echter niet benoemd als bedreigende voor de ecologie van de Noordzee

Op 15 juli 2014 moet het KRM monitoringsprogramma (Mariene strategie deel II) vastgesteld en operationeel zijn. Er is geen expliciete beschrijving van een stromingsinformatiebehoefte te verwachten, maar voor veel procesbeschrijvingen zullen hydrodynamische modellen, en dus impliciet stromingsinformatie, een rol gaan spelen.

Scheepvaart

Er zijn afspraken met België met betrekking tot het registreren van waterstandsinformatie op een aantal punten langs de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart en de bereikbaarheid van de haven van Antwerpen. Afspraken over de uitwisseling van stromingsinformatie waren niet te achterhalen.

3.5 Gebruiksdoel 4 “Kustlijnhandhaving”

Kustlijnhandhaving vindt plaats op basis van analyse van morfologische gegevens (bodempligingsdata) en hydromorfologische voorspellingen. Deze laatste zijn gebaseerd op historische weersomstandigheden, historische waterstanden en klimaatverwachtingen.

Voor dit gebruiksdoel is geen behoefte aan stroming gedefinieerd, alleen indirect via de morfologische modellen.

3.6 Gebruiksdoel 5 “Interpreteren van gegevens van andere landelijke monitoringprogramma’s”

Informatie van afvoeren, getijvolumes en stroming worden ingezet bij de interpretatie van (lokale) ontwikkelingen in morfologie, ecologie en waterkwaliteit (waaronder zoutindringing).

Gevraagd:

Gebiedsdekkende informatie over stroming (hoog- vs. laagdynamisch).

Getijvolumes op meerdere raaien op de Westerschelde.

Afvoeren van en naar België: Antwerpse kanaal, Bathse Spuikanaal, Terneuzen

3.7 Gebruiksdoel 6 “Beheer en toetsing van waterkeringen”

Voor toetsing van de kering wordt gebruik gemaakt van toetsinstrumenten, de zogeheten Hydra's. Voor het maken van de Hydra's wordt een groot deel van dezelfde informatie gebruikt en tussenproducten hergebruikt die nodig waren voor het bepalen van de Hydraulische Randvoorwaarden, zoals al besproken in paragraaf 3.3. Deze informatie wordt aangevuld met de gesteldheid van de kering.

Voor het ontwerpen van dijken in estuaria wordt alleen gebruik gemaakt van golfbelasting en niet van het voorkomen van extreme stroming, zoals wel gebeurd in rivieren [ENW 2007, pagina 60]. De belasting door golven wordt maatgevend geacht voor estuaria.

In de nieuwe methodiek voor het toetsen, welke nog in ontwikkeling is, is sprake van het toetsen van de sterkte van voorlanden (het gebied voor de dijken). Daarvoor is informatie nodig over waterstanden, golven en stroming, maar het kan zijn dat in lijn met de ontwerpregels stroming niet zal worden meegenomen.

Bijna alle genoemde stromingsinformatie wordt gegenereerd met hydrodynamische modellen, die gekalibreerd worden op metingen van waterstanden. Voor specifieke gevallen, zoals dijkontwerp, zal nauwkeurig en zeer lokaal gemeten stroming noodzakelijk zijn.

Geulwanden en oeververdediging

Bij het ontwerpen van geulwandverdediging en oeververdediging wordt rekening gehouden met de maatgevende getijstroming en de stromingsbelasting ten gevolge van scheepvaart.

Ook bij de monitoring van de ontwikkeling van geulwanden (al dan niet bestort) is stromingsinformatie nuttig om mogelijk verandering van de belasting te kunnen constateren (nice to have).

3.8 Gebruiksdoel 7 “Informatie voor landelijke berichtendiensten”

Voorspellingen van waterstanden, stroming en golven op de Noordzee, bij de kust en op de rivieren vindt plaats ten behoeve van regulier beheer en calamiteiten (incl. de stormvloedwaarschuwingdienst). De informatie wordt gevraagd en gegenereerd langs de hele Nederlandse kust en op de rivieren. Deze voorspellingen vinden plaats met behulp van stromingsmodellen en golfmodellen (zie paragraaf 4.1). Voor de Noordzee vormen deze modellen een modeltrein van grof naar fijn vanaf oceaanniveau tot in de estuaria. Deze modellen maken gebruik van waterstandsmetingen en golfmetingen over de hele Noordzee. Voor de rivieren starten de modellen bovenin het stroomgebied van de Rijn en Maas. Deze modellen maken gebruik van neerslag, afvoermetingen en waterstandsmetingen over de

stroomgebieden. Het nieuwste operationele systeem van RWS, RWSOS Noordzee bevat twee gekoppelde hydrodynamische modellen: Het WAQUA DCSMv6-ZUNOV4 en een nieuw SWAN golfmodel op basis van DCSM-ZUNO. Het WAQUA-model DCSM-ZUNO en DCSM gebruiken de gemeten waterstanden van 40 locaties langs de Nederlandse kust voor verbetering van de modelberekeningen met behulp van data-assimilatie. De modellen zijn niet gevalideerd op de nauwkeurigheid van de stromingsresultaten.

De stroming uit een deel van de operationele modellen wordt ingezet in het geval van calamiteiten, zoals Search and Rescue, verlies van olie/lading of lozing. De informatie moet dus gebiedsdekkend zijn. De scheepvaartdiensten van Rijkswaterstaat maken ook gebruik van stromingsinformatie, zie paragraaf 3.12.

3.9 Gebruiksdoel 8 “Ondersteunende variabelen bij het meten van afvoeren en bodemligging”

Stroming is alleen van belang als ondersteunende variabele bij het meten van afvoeren, niet voor de bodemligging. Afvoeren en getijvolumes worden namelijk niet direct gemeten, maar zijn een berekening uit de gemeten stroomsnelheden in een doorstroomoppervlak. In de Westerschelde zijn 14 raaien gedefinieerd voor het uitvoeren van stroomsnelheidsmetingen voor het bepalen van getijvolumes, zie Figuur 4.10.

3.10 Gebruiksdoel 9 “Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast”

Het gaat hier om de berekening van vrachten en verblijftijd van verontreinigende stoffen en sediment. De bepaling hiervan is van belang voor onder meer internationale afspraken, maar ook voor het landelijke emissiebeleid.

Deze dienen onder andere op de volgende locaties te worden bepaald:

- De grote toevoeren naar Nederland-Antwerps kanaal
- De afvoer naar zee bij Vlissingen

3.11 Gebruiksdoel 10 “Informatie benodigd voor onderzoek en voor ontwikkeling van modellen”

Een groot deel van de informatievragen over waterkwantiteit en hydrodynamische toestand betreft informatie in de (nabije) toekomst in de vorm van voorspellingen van de waterstanden, afvoeren, golven en stroming. Daarin wordt, zoals als vermeld, deels voorzien door gebruik van hydrodynamische modellen. Voor *ontwikkeling* van deze hydrodynamische modellen is gemeten informatie nodig om ze te kunnen kalibreren en valideren of eventueel bij te stellen bij wijzigingen in het systeem, zoals de verdieping van de Westerschelde of het invoeren van overloopgebieden. De operationele¹ hydrodynamische modellen in de Westerschelde worden momenteel niet of nauwelijks gekalibreerd of gevalideerd op stroming, maar alleen op waterstand. De uitzondering hierop is het model dat wordt ingezet voor de actuele informatievoorziening van stroming voor de scheepvaart. Dit model wordt gevalideerd op stroming op 5 locaties (tabel 5.1).

Voor de offline modellen vindt wel validatie plaats op getijvolumes, stroming en/of de verdeling van het debiet over de stroomvoerende breedte. Deze modellen worden vooral ingezet in de voorbereiding van grote ingrepen, de uitvoering van grote projecten en effectstudies.

¹ Met operationele modellen worden de modellen aangeduid die elke dag worden gedraaid voor het uitgeven van verwachten van waterstanden, golven en stroomsnelheden. In dit geval KustZuid en het ZUNO model.

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

- o Hedwigepolder, aanpassing hydrodynamische modellen 2012
- o Onderzoek ten behoeve van natuurherstelmaatregel slik Bath

Voor onderzoek en evaluatie van de koppeling tussen golf- en stromingsmodellen, die gebruikt worden voor de Hydraulische Randvoorwaarden, wordt onderzoek gedaan naar golf-stromingsinteractie. Dit is geen informatiebehoefte die specifiek geldt voor de Westerschelde, maar ook geverifieerd kan worden op andere locaties (onderzoeksprogramma Sterkte en Belasting Waterkeringen).

De locaties en het type informatie waar behoefte aan is voor de ontwikkeling (en controle) van modellen is verspreid over de vorige paragrafen ook de revue gepasseerd en bestaat uit:

- Gemeten getijvolumes in 14 dwarsraaien over de Westerschelde
- Afvoeren (gemeten of eventueel uit ander model) bij Antwerpse kanaal, Bathse Spuikanaal, Terneuzen, Schelde, de Netes, Zenne en Dijle
- Stromingsmetingen in geulen: de eerder genoemde 14 dwars raaien, en lengte raaien in het Zuidergat vanwege de daar optredende neer.
- Stromingsmetingen op platen Hooge platen Noord, Hooge platen West, Plaat van Ossensisse, Plaat van Valkenisse, Plaat van Walsoorden en Plaat van Baarland.
- Stromingsmetingen bij havens en in geulen: Wielingen 7, Sloehaven, Drempel van Borssele, Braakmanhaven, Terneuzen, Hansweert en Zandvliet.

In hoofdstuk 4 zal duidelijk worden welke modellen welke informatie gebruiken. Voor detailonderzoek is soms aanvullende informatie nodig.

3.12 Gebruiksdoel 11 “Regionale/lokale informatievoorziening” waaronder scheepvaart

3.12.1 Informatiebehoefte van RWS voor de regionale informatie voorziening

In het jaarplan 2013 informatievoorziening [RWS WD 2012] is de informatiebehoefte van RWS als volgt geformuleerd:

“De minister van I&M is verantwoordelijk voor het verkeermanagement op de Rijkswateren. De minister heeft deze taak gedelegeerd aan Rijkswaterstaat. Om die taak in te vullen is er behoefte aan (i) real time hydro- en meteogegevens zoals waterstand, stroming- en golfparameters, zicht en windkracht ten hoeve van het toelatingsbeleid en operationele stuurtaken als bepalen opstuurhoek, (ii) tijpoorten en de hiervoor benodigde verwachtingen voor het plannen van de reis van tijgebonden schepen, en (iii) gebiedsdekkend (ruimtelijk, 3D) stromings- (stroomsnelheid en stroomrichting) en deiningsbeeld voor het veilig kunnen varen in de geul.”

en verder:

“Scheepvaartbegeleiding op de Westerschelde heeft behoefte aan verticale (in de diepte) stroommetingen. Deze informatie moet real time, nauwkeurig en betrouwbaar worden ingewonnen en geleverd.”

Een belangrijk facet is de tijpoortregeling voor de Westerschelde, waarin, rekening houdend met de omstandigheden en de karakteristieken van het schip, de tijdvensters worden bepaald waarbinnen een diepliggend schip veilig door de geulen richting de havens van Antwerpen (en Vlissingen) kan varen. Voor de tijpoortberekening voor de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van een deterministische tool. Daarin wordt geen gebruik gemaakt van stroomsnelheden.

Overgang naar ander bepaling tijpoorten

Er is onderzocht of een probabilistische benadering zoals in gebruik is in Rotterdam haalbaar is voor de Westerschelde (de rapportage van Universiteit van Gent is nog confidentieel). Daarvoor is gebruik gemaakt van het **Protool** van het Waterbouwkundig Laboratorium Borgerhout (WL-Borgerhout). In Rotterdam wordt voor de probabilistische benadering gebruik gemaakt van de applicatie **Protide** welke is ontwikkeld door Charta Software in opdracht van RWS-WVL (voorheen RWS-DVS). Er is veel aandacht geweest voor het goed bepalen van $squad^2$ van schepen in de aanloop naar de probabilistische aanpak. De informatie die daarbij ontbrak was een nauwkeurige stroomsnelheid (squad is afhankelijk van de snelheid van het schip ten opzichte van het water). Tevens zijn de beschikbare gemeten stroomsnelheden bepaald in dwarsraaien, terwijl voor squad informatie in lengte raaien nodig is. Of de stroming en onzekerheid daarin de grootste bron van onzekerheid vormt is echter niet helder. Er loopt bij RWS-ZD een voorstel om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren naar de grootste bronnen van onzekerheid (persoonlijke communicatie met Jan Stout RWS ZD).

Scheepvaartbegeleiding.

Naast de genoemde real time informatie vraagt de scheepvaartbegeleiding voor uitvoering van haar taken aan het begin van het jaar een stromingsvoorspelling aan op de Westerschelde voor het hele jaar. Deze informatie wordt vervolgens opgenomen in de Westerschelde Planner (WESP). Vooral dwarsstroming, wijzigingen in de dwarsstroming (door bijvoorbeeld een veranderende bodem) en sterke gradiënten in de stroming zijn daarbij van belang.

Effect van scheepvaart

RWS heeft ook een informatiebehoefte ten aanzien van het effect van scheepvaart op het systeem en de veiligheid van gebruikers. Dit blijkt uit de studies die in opdracht van RWS zijn uitgevoerd voor de Westerschelde ten aanzien van: Erosie, pioniersgroei op slikken en platen, van veiligheid van badgasten op het strand van Vlissingen en scheeps-scheepsinteractie bij het containerterminal Vlissingen.

Ondanks dat de belasting van het systeem door scheepvaart stelselmatig is en het bepalen van de impact dus als monitoringsvariabele zou moeten worden opgenomen, is de aanpak nu nog ad hoc via projecten op het moment dat er een probleem is zoals bijvoorbeeld erosie of een (bijna) ongeval als gevolg van een scheepsgolf.

Werkbaarheid, bagger en stort activiteiten.

Voor het baggeren en het storten van gebaggerd materiaal is stroming een belangrijke factor. De schepen zijn zelf voorzien van meetapparatuur. De bagger- en stortactiviteiten kunnen echter gekoppeld zijn aan een venster in het getij, vanwege de heersende stroming en de gepaard gaande verspreiding van materiaal. Dit tijdsvenster wordt vastgelegd aan de hand van getijfase (waterstand) en niet zozeer aan de hand van stroming.

Voor herstelwerkzaamheden van steenbestorting gelden dezelfde overwegingen.

Verloren lading, zoeken naar drenkelingen en olieverspreiding

Voor het zoeken van drenkelingen (SAR), verloren lading en het volgen van olie, is stromingsinformatie aan het oppervlak nodig. De verplaatsing van een persoon, object of vloeistof aan het oppervlak is, naast stroming, ook sterk afhankelijk van wind en windrichting. Voor het zoeken van drenkelingen geldt dat iedere minuut telt. Een zoekgebied van vele vierkante kilometers reduceert de vindkans sterk. Een afwijking in de stroomsnelheid van 25 cm/s resulteert in een vergroting van de straal van het zoekgebied met een kilometer per uur.

² Inzinking van het schip in het water ten gevolge van haar snelheid.

3.12.2 Informatiebehoefte stroming van het loodswezen

De loodsen hebben stromingsinformatie nodig voor navigeren, plannen en specifieke acties zoals slepen en veilig aan boord komen.

Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een aantal tools waarin het Predictiemodel een belangrijke rol inneemt. Dit is een model waarmee de reistijd van een schip wordt bepaald.

De model wordt onder andere gebruikt om de inzet van materieel en personeel van het Loodswezen te plannen, maar is breder inzetbaar, zoals efficiëntere planning van schutsluizen

Dit model maakt o.a. gebruik van verschillende informatiebronnen:

- voorspelde stroming en waterstand op basis van getij (op de Noordzee)
- voor de Westerschelde wordt gebruik gemaakt van voorspelde stroomsnelheden aangeleverd door het Hydro Meteo Centrum in Middelburg
- door de schepen opgegeven maximale snelheid en manoeuvreersnelheid (incl. in het verleden opgegeven waarden)
- de actuele vaarsnelheden van schepen uit de RWS AIS³ database (Automatic Identification System) van de Noordzee en de Westerschelde
- Ervaringen van tijden met het aan boord gaan van loodsen op verschillende locaties
- Aangewezen of verwachte toegangsvenster voor sluizen
- Aangewezen of verwachte toegangsvenster voor de havens

Verder zouden loodsen beschikking willen hebben over actuele en voorspelde zeegang (deining).

Waar

Voor toegang tot de Sloehaven en de havens van Terneuzen en Hansweert wordt actuele stromingsinformatie gevraagd. De Loodsen hebben onlangs gevraagd om de verwachte stromingen op 45 punten in de vaargeulen vanaf Het Kanaal en de Noordzee (buiten de kruispunten, zie volgende pagina) tot aan Antwerpen (locaties vermeld in memo Schrijver 2012). De tijd zal moeten leren welke punten het belangrijkste en meest bruikbaar zijn.

Waar in de waterkolom

Omdat verschillende schepen een verschillende insteekdiepte hebben is geen diepte gemiddelde stroomsnelheid maar een gemiddelde over het deel dat het schip beïnvloed nodig. In stroomatlassen ten behoeve van scheepvaart worden de gemiddelde stroomsnelheden in de laag van 0-5 meter, 0-10 meter, 0-15 meter beneden het wateroppervlak weergegeven. (Voor beloodsing is de informatie uit stroomatlassen te onnauwkeurig).

Wanneer

Zes uur voor een loods aan boord gaat moet bekend zijn wanneer het schip bemand kan worden. Men wil eveneens 6 uur van tevoren weten wanneer een schip gesloten gaat worden.

³ AIS bevat naast de scheepskenmerken ook de plaats, de snelheid en opstuurhoek van het schip. AIS is bedoeld voor schepen om elkaars onderlinge positie te kunnen bepalen. Daarvoor heeft een schip dat gebruik wil maken van deze informatie een zender en ontvanger aan boord. De ontvanger wordt gekoppeld aan het eigen navigatiesysteem van het schip. De gegevens van sommige ontvangers worden doorgegeven aan een provider zoals Marine traffic. De gegevens van Marine Traffic worden verspreid via www.MarineTraffic.com.

De minimale voorspelhorizon voor stroming is daarmee 6 uur. De gevraagde voorspelhorizon is 40 uur.

Hoe vaak

Voor de verwachtingen worden de gegevens elke 6 uur aangeleverd (met een voorspelhorizon van 40 uur). De voorspelde stromingsgegevens hebben een tijdsinterval van 10 minuten en de real-time stromingsgegevens hebben een interval van 1 minuut. Voor de actuele stromingsgegevens wordt door de loodsen echter een update frequentie van tien minuten ruim voldoende geacht.

Hoe nauwkeurig

Op dit moment ligt er voor de onzekerheid van de uitgeleverde actuele stroomgegevens een wens van 0,25 cm/s in de stroomsnelheid en 10 graden in de stroomrichting. Er is ook een bovengrens genoemd: momentane afwijkingen van 0,5 m/s (1 knoop) zijn onacceptabel. Voor tijgebonden schepen is vooral de (dwars)stroming rond stil van hoog water (hoog water kentering) belangrijk. De Rotterdamse loodsen vragen voor deze situaties een gemiddelde onzekerheid in de orde van 10-20 cm/s. Op dit moment zijn er voor de Westerschelde nog geen harde eisen voor de maximale onzekerheid in de geleverde voorspellingen. Er is wel een getal af te leiden uit de onzekerheid in de planning ten gevolge van stroming: Een grote groep schepen loopt gemiddeld 10 knopen op de Westerschelde. Met een maximaal af te leggen afstand van de monding van de Westerschelde naar Antwerpen van 40 mijl of van de kruispost naar Terneuzen van 40 mijl en dus een reistijd van 4 uur levert een afwijking van $\frac{1}{2}$ knoop (0,25 m/s) een onzekerheid van een $\frac{4}{20}$ uur wat gelijk staat aan 12 minuten. Een schip dat 20 minuten te laat is in Terneuzen mist haar schutting. De 12 minuten onzekerheid alleen al ten gevolge van onzekerheid in de stroming is dan aanzienlijk. Een gemiddelde onzekerheid van minder dan 0,25 cm/s over de voor de reis voorspelde stroomsnelheden lijkt dan ook een wenselijk.

Kruisposten

Op zee zijn een tweetal kruisposten waar zich een loodsvaartuig bevindt. De noordelijke loodskruispost 'Steenbank' wordt bediend door het Nederlandse Loodswezen en de zuidelijke loodskruispost 'Wandelaar' door het Vlaamse Loodswezen.



Figuur 3.1 Foto links: Moederschip de Wandelaar van het Vlaamse Loodswezen © Hilde Crevits (Vlaams minister van Mobiliteit en Openbare Werken). Foto rechts: Polaris, groot loodsvaartuig van het Nederlandse Loodswezen, zusterschip van de Pollux die vanaf eind 2013 de kruispost Steenbank zal bedienen.



Figuur 3.2 Locatie kruisposten Steenbank en Wandelaar.

Vanwege het ontbreken van stromingsmetingen op deze locaties is het interessant om de mogelijkheden te verkennen om loodsvaartuigen (tijdelijk) te voorzien van stroommeetapparatuur. Het loodswezen staat als belanghebbende open voor discussie.

3.12.3 Informatiebehoefte van andere gebruikers van stromingsinformatie

Hierbij volgt een korte inventarisatie van de informatie behoefte van andere gebruikers van stromingsinformatie van de Westerschelde.

Recreatie:

Beroepsvaart: Zeescheepvaart, binnenvaart, loodsen, sleepers, veerboten, visserij, baggeren.

Andere bedrijven en organisaties: Havenbedrijven, dienst der Hydrografie, MARIN

Recreatie

Recreanten in de Westerschelde zijn strandgangers, surfers, duikers, zwemmers en bemanning van pleziervaart. Duikers maken gebruik van de waterstand voor het bepalen van de kentering van het tij en een geschat fase verschil tussen waterstand en stroming. De achterliggende informatiebehoefte is het moment van minimale stroming om veilig te kunnen duiken. In de Westerschelde zijn alleen langs de Walcherse kust duiklocaties bij Westkapelle, Zoutelande en Dishoek (bron: www.deltagids.nl/nl/duiken-delta).

In de Westerschelde wordt door badgasten met name gebruik gemaakt van de stranden in de monding van de Westerschelde. Op Walcheren zijn dit de stranden ten westen van Vlissingen en in Zeeuws Vlaanderen ten westen van Breskens. Het is onbekend of badgasten en/of strandwachten gebruik maken van stromingsinformatie (er lopen op dit moment wel proeven met een voorspelling van muienen langs de Noorhollandse kust).

Pleziervaart maakt gebruik van stroomatlassen van de dienst der Hydrografie. De grootste recreatiehavens zijn: Breskens, Vlissingen, Terneuzen, Gent en Antwerpen. Kleinere (getijdenhaventjes) zijn: Ellewoutsdijk, De Griete (oostelijk van Terneuzen), Hoedekenskerke, Waarde, Paal, Walsoorden, Prosper, Doel en Lillo.

Beroepsvaart

Op de Westerschelde vinden 30.000 scheepsbewegingen per jaar plaats door zeeschepen van en naar Antwerpen. Daarbij is de maximale lengte 398 m (Edith Maersk in 2012) en de maximale getij-afhankelijke diepgang 16 m (13,1 m getij-onafhankelijk). (Bron: www.portofantwerp.com)

Daarnaast vinden 25.000 scheepsbewegingen per jaar plaats door binnenvaarders per jaar. De binnenvaarders maken naast de hoofdgeul ook gebruik van nevengeulen, waardoor ze stukken kunnen afsnijden.

In de Westerschelde zijn twee veerdiensten: de voetveren van Vlissingen naar Breskens en de zomerdienst van Kruiningen naar Perkpolder. Het is waarschijnlijk dat bovengenoemde schepen gebruik maken van de aangeboden stromingsinformatie, maar dit is niet geverifieerd in deze inventarisatie.

Baggerschepen maken gebruik van stromingsinformatie. Daarvoor hebben ze veelal eigen meetapparatuur aan boord. Voorschriften voor maximale dan wel minimale stroming ten behoeve van het baggeren dan wel storten zijn niet in deze inventarisatie opgenomen.

Stroomatlas Dienst der Hydrografie

Voor het aanmaken van de stroomatlassen in de Westerschelde gebruikt de dienst der Hydrografie de uitvoer van de Hydrodynamische modellen van Rijkswaterstaat. De stroomatlas wordt ieder jaar uitgegeven, maar de laatste update van de stroomatlas van de Westerschelde heeft plaatsgevonden in 2002 op basis van het Scalwest 2000 model. Voor de stroomatlassen worden voor astronomisch getij stromingen bij springtij en doodtij weergegeven bij verschillende diepte in de verticaal. Deze stromingen zijn representatief voor verschillende voor de scheepvaart relevante lagen afhankelijk van de diepgang van de schepen. Meestal 0-5 m, 0-10 m en 0-15 m onder het oppervlak (voor de Rotterdamse haven worden de lagen 0-7,5 m, 0-15 m en 0-22,5 m gebruikt). In 2002 zijn deze berekeningen uitgevoerd met een 2D versie van Scalwest waarbij een logaritmisch profiel is aangenomen voor het afleiden van de snelheden in verschillende lagen.

MARIN Nautisch Simulatie Centrum

Voor simulaties van de beweging van schepen op de Westerschelde zijn stromingen nodig. Daarbij is meer detail nodig dan door de stroomatlas van de dienst der Hydrografie geleverd wordt. Tevens is meer recente informatie nodig in verband met de verdieping.

Haven bedrijven

De informatiebehoefte van de havens is in deze korte inventarisatie niet uitgevoerd. De indruk is dat havenbedrijven exact willen weten wanneer schepen aankomen, maar geen behoefte hebben aan stromingsinformatie.

Figuur 3.3 Scherm van de digitale stroomatlas van de dienst der Hydrografie DIGIPplot met stroomsnelheden in de Westerschelde.



3.13 Gebruiksdoel 12 “Operationeel waterbeheer”

Voor dit gebruiksdoel is geen behoefte aan stroming gedefinieerd. Operationeel waterbeheer wordt veelal gebaseerd op actuele en verwachte waterstanden of afvoeren. In enkele gevallen wordt ook gestuurd op chlorideconcentratie. Informatie over de afvoer van de Schelde wordt op dit moment niet bepaald uit stroomsnelheden maar uit een verdunningsbepaling (toenemende zout concentratie verder naar de monding van de Westerschelde). De bovenstroomse debieten worden bepaald uit Q-h relaties [Vereecken 2011].

3.13.1 Operationeel waterbeheer: Bediening kunstwerken

De grote kunstwerken langs de kust zijn voorzien van een Beslissings Ondersteunend Systeem (BOS). Deze worden gevoed met verwachte en actuele waterstanden en afvoeren. Het BOS van de Oosterscheldekering gebruikt geen informatie uit de Westerschelde.

Het spuieregime van op de Westerschelde uitmondende kanalen wordt afgestemd op zowel de actuele situatie als de verwachte aanvoer van water. Spuisluizen worden beheerd op basis van verval. De afvoer van de spuisluizen wordt bepaald met afvoercoëfficiënten. Deze coëfficiënten kunnen worden afgeleid uit rekenregels, schaalmodellen, rekenmodellen en soms wordt er gemeten bij het spuicomplex om een relatie op te stellen. De spuiafvoer wordt meestal voor een bepaalde periode gemeten, om deze relatie af te leiden. Het Bathse spuikanaal (ADM) werd in het verleden wel continu gemeten, maar de meetopstelling is inmiddels niet meer actief.

Bij een klein verval zal zoutindringing plaatsvinden. In studies worden relaties afgeleid voor de mate van zoutindringing. Hierbij speelt de stroomsnelheidsverdeling in de spuiholken een rol.

Er gelden maximale stroomsnelheden die, om constructie technische redenen, mogen optreden in een bedieningscyclus van een kunstwerk. Dit geldt ook voor de spui- en schutsluizen langs de Westerschelde. Dit valt echter buiten de scope van deze studie.

3.14 Gebruiksdoel 13 en 15 “Voorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen/grote projecten”

Aan de voorbereiding van de verruimingen van de Westerschelde gingen vele jaren van studie vooraf. Bijna alle invalshoeken zijn daarbij de revue gepasseerd, van effecten op stroming en sedimenttransport tot invloed op de habitat. Deze projecten leunen op de al aanwezige informatievoorziening. Daarnaast werd de monitoring lokaal flink uitgebreid. De gemeenschappelijke deler in aanvullende monitoring van al deze projecten is ruimtelijk dekkende informatie van de hydrodynamica en de morfodynamica.

3.15 Gebruiksdoel 14 “Emissie-immissie studies”

Emissie-immissie studies zijn gericht op de waterkwaliteit. Voor deze parameter zijn afvoeren relevant.

3.16 Eisen aan de informatievoorziening 2013

In het Jaarplan Informatievoorziening Hoofdwatersystemen 2013 [RWS WD 2012] wordt het volgende vermeld ten aanzien van eisen aan stromingsinformatie van alle Rijkswateren.

Eisen metingen meetnet: Landelijk Meetnet Water en externe meetnetten

- Aantal locaties: 10, waarvan er 3 missie kritisch zijn: Maasmond, IJmond en **Westerschelde** (op termijn volgt ook Eemshaven toegang).
- Real-time ontsluiting met een standaard frequentie van tien minuten (hartslag).
- Beschikbaarheid: Voor missie kritisch gebruik mag er gemiddeld niet meer dan drie uur uitval optreden en dit mag gemiddeld twee maal per jaar voorkomen. Voor ander gebruik gelden minder strenge eisen, van één dag tot één week.
- Betrouwbaarheid van hoog voor missie kritisch (5 %) tot gemiddeld (10%).

Eisen metingen en werkzaamheden meetinformatiedienst (MID)

- Eisen kunnen nu niet worden gespecificeerd. Het betreft periodieke metingen voor aanleg- en onderzoeksprojecten (o.a. validatie stroommodellen, voorbereiding stroommeetpaal Eemshaven).

Eisen modellen

- Verwachte stroomsnelheid; missie kritisch, Maasmond, IJmond en **Westerschelde** (op termijn volgt ook Eemshaven toegang).
- Ruimtelijke (3D) stroombeelden voor Maasmond, IJmond, **Westerschelde en Zeeuwse regio**.

Deze eisen zijn een afgeleide uit de inventarisering van informatiebehoefte in de afgelopen jaren. In hoofdstuk 4 zal blijken dat er soms meer eisen aan de informatie worden gesteld.

In de bijlage A staat de informatiebehoefte, de eisen aan de informatie en de informatiebronnen uitgewerkt in tabelvorm.

4 Informatievoorziening stroming in de Westerschelde

In de informatie voor stroming wordt op een aantal manieren voorzien: metingen, hydrodynamische modellen (al dan niet voorzien van data assimilatie), schaalonderzoek en rekenregels. Hier volgen de modellen en meettechnieken die gebruikt worden en een overzicht van de meetcampagnes die op dit moment lopen.

4.1 Hydrodynamische modellen in de Westerschelde

Er zijn meerdere hydrodynamische modellen voor de Westerschelde. Deze zijn grofweg onder te verdelen in 2 categorieën:

1. Modellen voor operationele informatie

- > waarschuwingssystemen, berichten diensten en operationele watermanagement systemen

2. Modellen voor onderzoek (detail modellen en systeem modellen)

- > Modellen voor detailstudies van gebieden
- > Generieke modellen voor geïntegreerde modelering van hydrodynamica, waterkwaliteit, morfologie en ecologie.
- > Scheepvaart modellen

4.2 Hydrodynamische modellen voor operationele informatie in de Westerschelde

Er zijn op dit moment drie verwachtingsmodellen, gebaseerd op SIMONA, die relevant zijn voor de Westerschelde:

- 1 Kuststrook Zuid 2004 (Kustzuid)
- 2 Scaldis400
- 3 DCSMv6-ZuNov4.

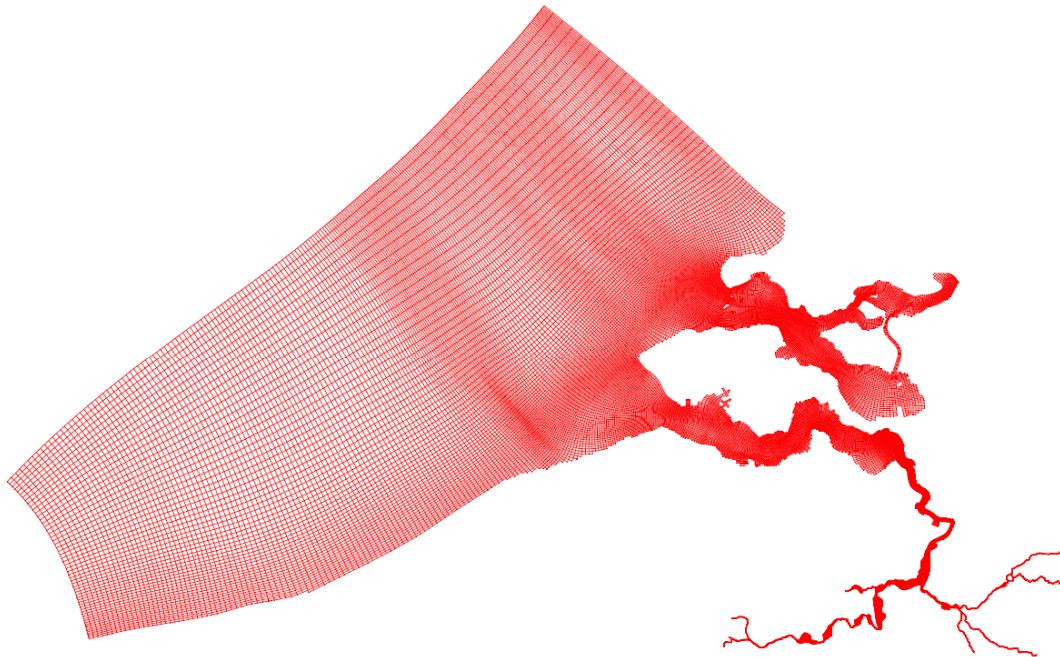
Dit zijn 2D (WAQUA) modellen. 3D verwachtingsmodellen (TRIWAQ, Delft3D) op basis waarvan operationele informatie wordt gegenereerd, zijn op dit moment in dit gebied niet in gebruik.

Operationele stromingsinformatie uit Kuststrook-Zuid 2004

Het meest gebruikte operationele model in de Westerschelde is Kuststrook-Zuid 2004, zie Figuur 4.1. Dit operationele WAQUA (2D) model draait elke 6 uur en voorspelt 48 uur vooruit. Dit model maakt gebruik van data assimilatie van gemeten waterstanden. Dit model is, net als alle andere RWS verwachtingsmodellen, primair gericht op het juist weergeven van de waterstanden en niet afgeregeld voor stroming. De prestaties ten aanzien van stroming lopen uiteen, er worden afwijkingen genoemd oplopend tot 100%. De operationele modellen worden ondanks hun onzekerheid wel ingezet voor het traceren van verloren lading en olie. Dit is mogelijk omdat de verspreiding sterk samenhangt met wind én een onzekerheid in de onderliggende stroming pas na enkele uren problematisch wordt voor dergelijke voorspelling. Er is wel de intentie bij RWS om de nieuwe generatie modellen te gaan gebruiken en te toetsen op stroming. DCSMv6-ZUNOV4 wordt dan in het bijzonder genoemd..

Voor de levering van stromingsverwachtingen ten behoeve van de loodsen wordt op 45 locaties in de Westerschelde en langs de aanvaarroutes de verwachtte stroming uitgegeven. De verwachting 10 dagen vooruit wordt uit een berekening met Kuststrook Zuid op basis van

astronomisch getij bepaald. De verwachting 48 uur vooruit wordt bepaald uit het operationele Kuststrook Zuid model, waarin rekening wordt gehouden met de meteo verwachting en opgetreden waterstanden (data assimilatie). Voor details van het model wordt verwezen naar [AHA 2011].



Figuur 4.1 Rooster van Kust Zuid v4.

Operationele stromingsinformatie uit Scaldis400

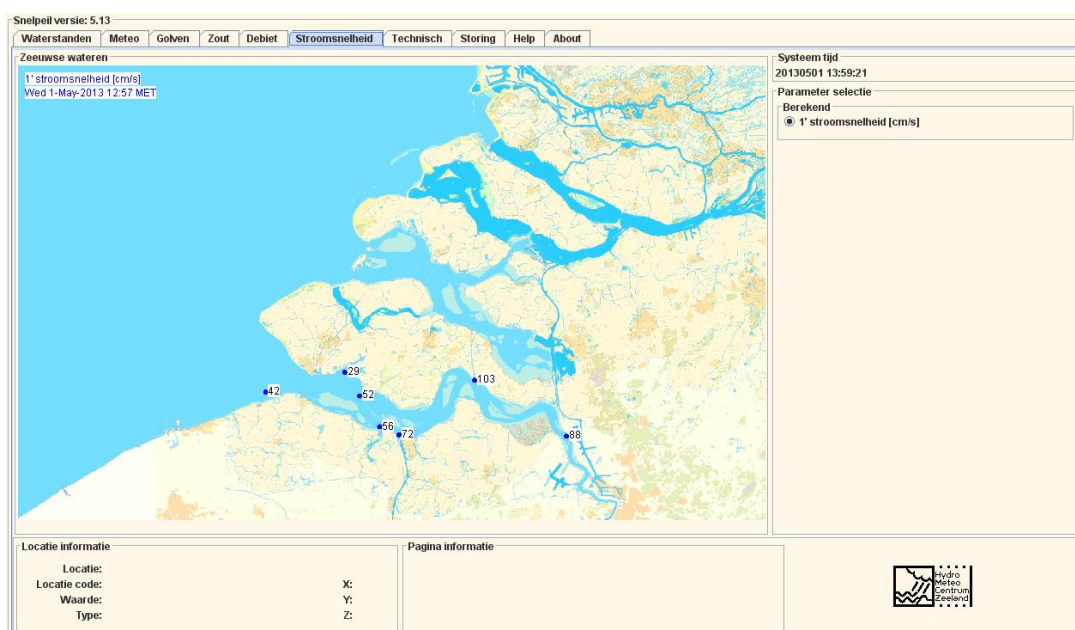
Het Hydro-Meteo Centrum Zeeland (HMCZ) in Middelburg heeft al jaren een apart model draaien voor de informatievoorziening van stroming voor de scheepvaart. Het model is gebaseerd op de Scaldis400 schematisatie met een resolutie van 400 bij 400 meter [RWS 1994]. Dit model is gekozen, omdat het snel rekent en voldoende resolutie heeft om de punten weer te geven waar informatie wordt gevraagd (weergegeven in Figuur 4.2 en tabel 5.1).

Het model rekent elke 10 minuten waterstanden en stromingen uit waarbij het model telkens een half uur vooruit rekent. De berekende stromingen wijken af van de werkelijk gemeten stroming, maar worden gecorrigeerd met een factor op basis van een vergelijking van het model met jaarlijkse metingen op de exacte punten waar het model uitvoer levert. De resultaten van het model worden na omrekening en interpolatie naar minuutwaarden weergegeven via de web-applicatie "Snelpeil".

RWS-ZD levert daarnaast aan de loodsen omrekenformules aan, waarin ze de diepgang van het schip kunnen invoeren. De omrekenmodule berekent vervolgens de dieptegemiddelde stroming om naar de stroming die interessant is voor de loods.

Tabel 5.1. Uitvoer en validatielocaties van stroming ten behoeve van de scheepvaart

Locatie	RDX	RDY
Wielingen 7	20450	381880
Sloehaven	35140	385574
Drempel van Borselle	37980	381220
Braakmanhaven	41650	375450
Terneuzen	45260	374010
Hansweert	59250	384120
Zandvliet	76290	373740



Figuur 4.2 Stroomsnelheidsberekeningen ten behoeve van scheepvaart op 6 locaties in de Westerschelde. Web-applicatie "Snelpeil".

Operationele stromingsinformatie uit RWSOS-Noordzee

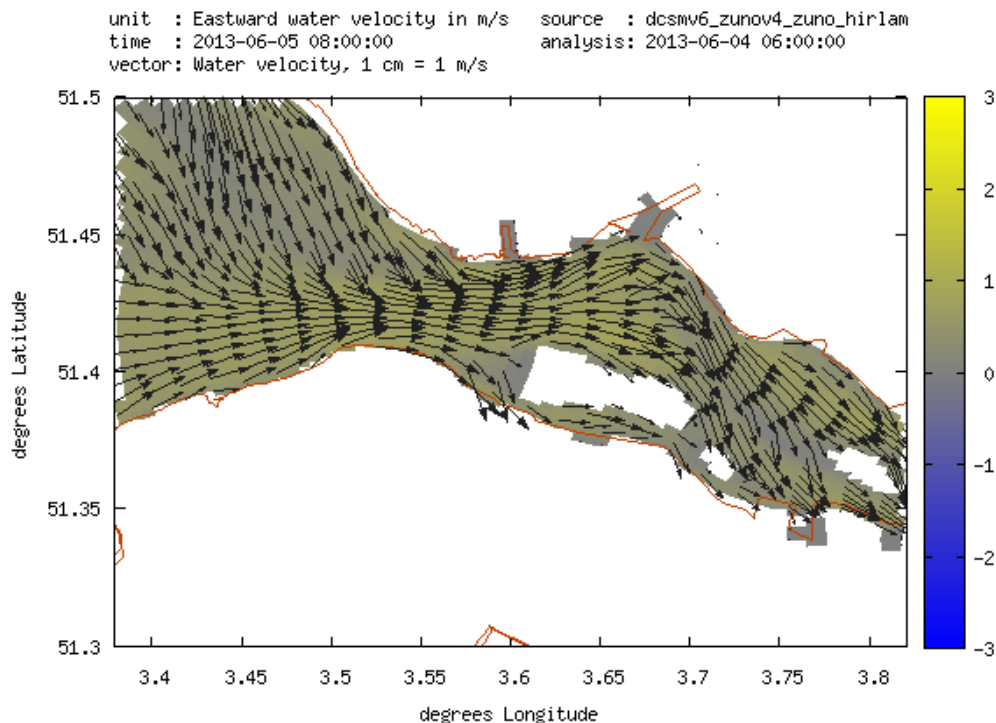
Op termijn zal de informatiestroom uit Kuststrook-Zuid waarschijnlijk worden vervangen door een informatiestroom via het nieuwe operationele systeem RWSOS Noordzee. Onder RWSOS Noordzee (operationeel sinds september 2012) draait het nieuwe DCSM⁴ v6-ZuNo⁵ v4. Het rooster van het ZuNov4 model is tot aan het Nauw van Bath net zo fijn als het Kuststrook-Zuid en iets grover verder landinwaarts. Deze schematisatie maakt gebruik van horizontale domeindecompositie. Dit model berekent stromingsgegevens van de hele Noordzee, Waddenzee, de Oosterschelde en de Westerschelde. Deze informatie wordt momenteel nog niet opgeslagen in de operationele database van RWS (MATROOS), maar is sinds kort beschikbaar uit de database van Deltares. Figuur 4.3 illustreert de beschikbare data in de Westerschelde monding, waarbij de vectoren van de stroomsnelheden voor de figuur zijn uitgedund zodat ze beter zichtbaar zijn. De resolutie van het model en de uitvoer is dus hoger. Dit model kan dienen om de stromingsinformatie aan de scheepvaartbegeleiding en loodsen te verstrekken.

Op dit moment wordt onderzocht of het haalbaar is om DCSMv6-ZuNov4, of een verfijnde uitsnede van DCSMv6-ZuNov4, vaker te laten draaien voor de Westerschelde. Bijvoorbeeld

⁴ Dutch Continental Shelf Model

⁵ Zuidelijke Noordzee Model

iedere 10 minuten of ieder half uur, met een kortere voorspelhorizon dan het Kuststrook-Zuid model, van een maximaal een uur. Dit noemt men ook wel now-casting. Het idee hierachter is dat de waterstanden uit dit now-casting systeem uitermate nauwkeurig kunnen zijn (orde 3 tot 5 cm) doordat het model de meest recente metingen assimileert. Hiermee is een nieuwe en waarschijnlijk nauwkeurigere bron van informatie voorhanden gekomen die ingezet kan worden om te voorzien in waterstandsinformatie op locaties die nu niet bemeten worden. Tevens is de informatie beschikbaar als terugval optie bij het uitvallen van een meetlocatie. Hierdoor kunnen de (extreem) hoge beschikbaarheidseisen aan de meetlocaties worden verlaagd, hierdoor kunnen de vereiste hersteltijden omlaag, wat vanwege een langere responstijd, wat kosten bespaard, (geen avond en weekend werk meer). Als DCSMv6-ZuNov4 (of een uitsnede) vaker draait komen daar ook stroomsnelheden en -richtingen uit die uitgeleverd kunnen worden in plaats van de gegevens van het Scaldis400 model. Het Scaldis400 zou hiermee kunnen komen te vervallen.



Figuur 4.3 Stroomsnelheden uit ZuNo v4 (uitgedund).

4.3 Modellen voor onderzoek (detail modellen en systeem modellen)

Voor onderzoek zijn vele modellen voor de Westerschelde beschikbaar. De modellen die hier genoemd worden vormen op dit moment de basis voor het LTV Westerschelde programma.

- Scalwest fijn 2000
- NEVLA (Nederlands Vlaams model op basis van SIMONA)
- Finel Westerschelde
- Delft3D Westerschelde

De modellen komen in 2D- en 3D-varianten en beslaan een deel van de Noordzee, de gehele Westerschelde, Zeeschelde en aansluitende Vlaamse rivieren. Daarnaast bestaan er meerdere uitsneden van deze modellen, waarvan de roosters een slag verfijnd zijn ten opzichte van de originele modellen. De 2D modellen worden ingezet voor het doorrekenen van de morfologische effecten van ingrepen of morfologische ontwikkeling. Bij voorkeur zou men dit doorrekenen met een 3D model, maar omdat de tijdsspanne die men door wil

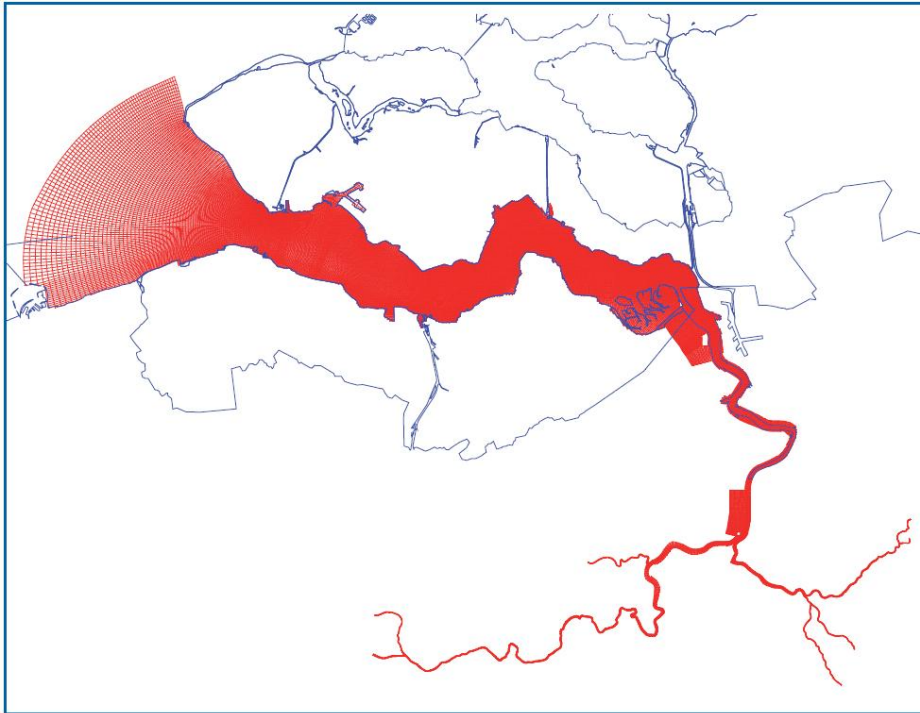
rekenen in de orde van jaren ligt, is dit vaak niet haalbaar vanwege de lange rekentijd. Voor zandtransport voldoet over het algemeen een 2D aanpak. De wens om 3D te modeleren bestaat vooral om driedimensionale effecten rond drempels, zoals secundaire stroming of de invloed van nevengeulen, in beeld te brengen. Tevens kan dan een schatting gemaakt worden van de aanpassingen die gedaan moeten worden om van een 2D-model een quasi-3D-model te maken [Jansen 1997]. Voor waterkwaliteitsmodellering, waaronder zoutverspreiding, voldoet in de Westerschelde 2D modellering over het algemeen omdat het zout goed gemengd is door de relatief kleiner afvoer van de Schelde in combinatie met de grote getijslag. Voor slibtransport of transporten van verontreinigen gekoppeld aan slib, is 3D modellering noodzakelijk. Hetzelfde geldt voor het bestuderen van detailingrepen in havens en aan strekdammen. In die gevallen dat 3D modellen noodzakelijk zijn, wordt een minder lange tijdsspanne doorgerekend, bijvoorbeeld een aantal verschillende scenario's, om de rekentijd beperkt te houden.

Westerschelde simona-scalwest-fijn-2000-v1

Het Scalwest-fijn is het meest fijnmazige SIMONA model dat op dit moment beschikbaar is voor de Westerschelde, zie Figuur 4.4. Het omvat de Westerschelde tot de lijn Zeebrugge-Westkapelle en de Zeeschelde. De maximale roosterafmetingen van 400x700 m liggen in de monding. De gemiddelde roosterafstand in de Westerschelde is 150x60 m. Op de Zeeschelde nemen de roosterafstanden verder af. Deze zijn het kleinst voor het traject Rupel/Zenne/Netes en bedragen gemiddeld 50x60 m. Vanwege de invloed op het zoutgehalte worden debietrandvoorwaarden opgelegd voor de afvoeren van de Zeeschelde, Antwerpse havendokken, spuisluis Bath en de sluizen bij Terneuzen [Simona-Scalwest fijn 2009].

Het model is vooral bij projecten voor offline analyses ingezet (onder meer Verruiming Vaargeul). Het 2D model is gevalideerd op getijvolumes in raaien [Jansen 2002]. Validatie op stroming op specifieke locaties vindt plaats door RWS Zee en Delta (zie ook paragraaf 4.8.1). Het model wordt jaarlijks voorzien van een nieuwe bodemligging en wordt gebruikt voor het genereren van getijinformatie voor de Westerschelde. Uit deze informatie worden mogelijk belangrijke wijzigingen in stromingen doorgegeven aan de scheepvaartbegeleiding en de loodsen. Eens in de 5 jaar wordt door RWS Zee en Delta een stroomatlas gemaakt die ter beschikking wordt gesteld aan het MARIN. MARIN zet deze atlas in voor haar scheepssimulatiemodel.

Voor specifieke stroominformatie ten behoeve van scheepvaart (zoals geleverd door HMCZ), oeverbestortingen, plaatstromingen etc. worden verder aanvullende stroommetingen en vergelijkingen met Scaldis400 en Scalwest2000 uitgevoerd (zie ook bijlage 7B). Voor de stroming in de geulen geeft het Scalwest-fijn model gemiddelde verschillen tussen gemeten en berekende stroomsnelheden in de orde van 0.15 m/s tot 0.25 m/s (Leen Dekker e-mail, 17-07-2013). Verschillen kunnen oplopen als bijvoorbeeld een dwarsstroming in werkelijkheid wel en in het model niet voorkomt (zie ook paragraaf 4.8.1 en [De Klerk, Dekker 2007]). Het model is zowel in een 2D (WAQUA) als een 3D (TRIWAQ) variant beschikbaar. Er zijn intenties om de 2D versie van het model operationeel te maken naast de al bestaande operationele modellen voor het uitgeven van stromingsverwachtingen.



Figuur 4.4 Schematisatie van het Scalwest Fijn [Simona Scalwest fijn 2009]

NEVLA (Nederlands Vlaams model)

Door het Waterbouwkundig Laboratorium te Antwerpen is het NEVLA model ontwikkeld voor de Westerschelde, de Zeeschelde en de aansluitende Vlaamse rivieren: Schelde, Durme, Rupel, Netes (Beneden, Grote en Kleine), Dijle en Zenne. Het model is gebaseerd op de SIMONA-software van RWS. Het model heeft als basis het rooster van ScalWest fijn met een aangepast rooster ten oosten van Hansweert. Het model is beschikbaar in een 2D en 3D versie. Kalibratie van het 2D model inclusief de aansluitende rivieren is uitgevoerd in 2009 [Maximova et. al. 2009]. Het model is voornamelijk bijgesteld in de gebruikte bodemruwheden. De kalibratie was alleen gebaseerd op een vergelijking van de fase en magnitude van de gemeten en berekende hoog en laagwaterstanden. Literatuur waarin prestaties van het model uit 2009 ten aanzien van stroomsnelheden worden vermeld, hebben we niet kunnen vinden. In [Maximova et. al. 2010] wordt vermeld dat de roosterresolutie in dit gekalibreerde NEVLA model te grof werd geacht om de waterbeweging in het intergetijde gebied goed te kunnen presenteren. Verfijning van het model zou echter leiden tot een verlenging van de rekentijd. Daarom zijn verdere studies door het WL uitgevoerd met verfijnde roosters van deelgebieden van het model. De resultaten van enkele van die deelgebieden in de Vlaamse wateren is gedocumenteerd in [Maximova et.al. 2010]. Uit de vergelijking van de modelresultaten van deze deelmodellen en beschikbare metingen blijkt een gemiddelde afwijking (RMSE) over de volledige getijcyclus en de verschillende diepteklassen (geul en platen) van 11 cm/s. De afwijkingen tussen het 2D hydrodynamische numerieke model en de metingen blijven beperkt tot 15 cm/s, wat aanvaardbaar wordt geacht.

In 2013 is het onverfiende NEVLA verder ingeregeld om de neer in het Zuidergat te kunnen weergeven. Dit is gedaan door middel van lokale aanpassingen in de bodemruwheden. Deze versie is gevalideerd op stroming in dit kleine gebied. Met het onverfijnde model is het nu mogelijk te voorspellen of er een neer gaat ontstaan. De stroming wordt echter niet heel nauwkeurig gemodelleerd, niet in fase en niet in grootte [Lipari 2013 concept]en voldoet zeker

niet aan de randvoorwaarde van een onzekerheid van 25 cm/s in de momentane stroomsnelheden. De nauwkeurigheid wordt wel voldoende geacht om conclusies te kunnen trekken over reacties van het systeem (en de neer) bij morfologische ingrepen in het gebied [Lipari 2013 concept]). Dit lijkt in tegenspraak met de aanvaardbaar genoemde grens van 15 cm/s onzekerheid in [Maximova et.al. 2010].

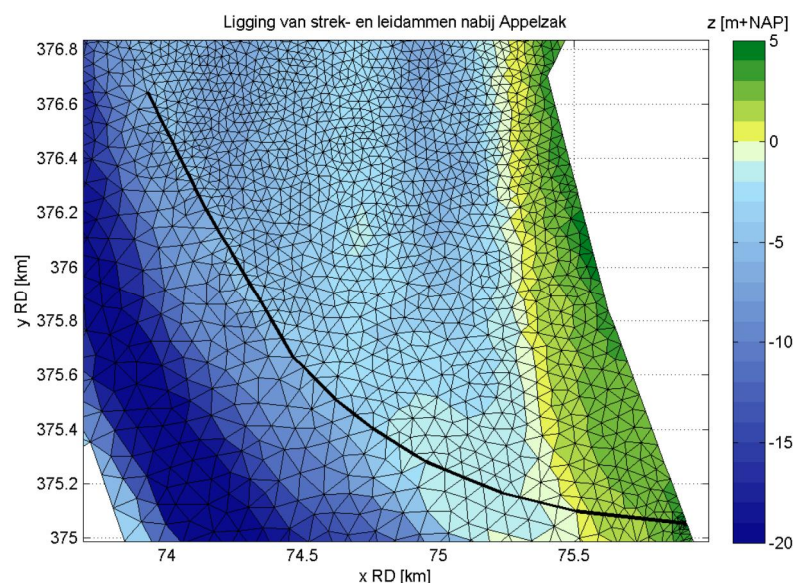
FINEL en Delft3D modellen van de Westerschelde 2012

Het FINEL model van de Westerschelde (2009) beslaat hetzelfde gebied als het Kuststrook Zuid model v4 en heeft een vergelijkbare resolutie (maar dan niet met een kromlijng rooster maar met FINite ELements). Dit model is afgeregeld op waterstanden en getijvolumes [Dam et. al. 2007]. Het basis Delft3D model voor de Westerschelde heeft eveneens een vergelijkbare resolutie [Maximova, Ides, Vanlede, e.a., 2009].

De indruk uit [Klein en Kroon 2012] is dat de berekende dieptegemiddelde stroomsnelheden met FINEL, bij gemiddelde omstandigheden, in de orde van 5% van de metingen liggen in het midden van de geulen. Op de ondiepere locaties ligt de onzekerheid rond de 15% en er kunnen bij maximale stroming afwijkingen tot 50% (50 cm/s) optreden. Deze afwijkingen zijn niet onverwacht, omdat vooral de stroming in deze ondiepere locaties gevoelig is voor kleine bodemwijzigingen die niet altijd in het model zitten. Gemiddeld genomen zijn de prestaties van de modellen in de geulen goed en in ondiepe delen vele malen beter dan 5 jaar geleden. De Delft3D berekeningen vertonen vergelijkbare resultaten maar lijken iets minder nauwkeurig.

In 2012 is in het kader van buitendijkse natuurherstellende maatregelen in de Westerschelde onderzoek gedaan aan lokale, kleinschalige bodemontwikkeling ter plekke van de Slikken van Hulst, Plaat van Ossensisse en Appelzak. Daarom was het noodzakelijk de bestaande modellen aan te passen en opnieuw te valideren op zowel waterstanden als stromingen. Voor het onderzoek zijn een aantal deelmodellen opgezet met een rooster dat ongeveer een factor 9 fijner is [Klein en Kroon 2012], Figuur 4.5. Deze deelmodellen zijn gevalideerd op stromingsmetingen. De uitkomsten van Delft3D berekeningen zijn vergeleken met de FINEL berekeningen.

Voor studies die gericht zijn op slibtransport is een Delft3D versie van het gebied van de Zeeschelde beschikbaar (van Waarde iets ten Oosten van Hansweert tot aan Schelle) [Wang et. al. 2005]. Voor studies is tevens een 3D versie van het Delft 3D model van de hele Westerschelde beschikbaar.



Figuur 4.5 Detail van het FINEL2D rekenrooster rond de geleide-dam ten zuiden van Appelzak [Klein en Kroon 2012]

4.4 Modelontwikkeling

De detailmodellen van RWS voor de Westerschelde zijn ongeveer 10 jaar oud. Er loopt op dit moment een proces om de behoefte aan en het detail van een nieuwe generatie modellen voor de Zeeuwse delta te ontwerpen. Daarbij zal de eerste modelvernieuwing waarschijnlijk plaats vinden voor de Oosterschelde. Ten behoeve van de modelontwikkeling voor de Westerschelde en de Zeeschelde wordt eerst ingezet op het volledig krijgen van de bodem- en hoogtegegevens uit het Belgische deel van de Schelde, het Kanaal van Gent-Terneuzen en de Vlaamse Kust. Bij een volgende fase in de modelontwikkeling voor RWS kan gebruik gemaakt gaan worden van de Next Generation Hydro Software. Deze modelsoftware ondersteunt flexibele roosters en maakt gebruik van de nieuwste rekentechnologieën. Het flexibele rooster maakt sneller en gericht rekenen mogelijk (veel detail daar waar het nodig is en weinig detail waar dat kan). Hierdoor zou de inzet van 3D modellen voor operationele doeleinden mogelijk eenvoudiger realiseerbaar kunnen worden. Deltares verkent momenteel de mogelijkheden voor een schematisatie van de Westerschelde in D-Flow FM, waarbij FM staat voor flexible mesh.

4.5 Laboratoriumonderzoek en tools

Belasting van kust en oevers door stroming en golven ten gevolge van scheepvaart is de laatste jaren weer onder de aandacht gekomen. Naast metingen in het veld kan gebruik gemaakt worden van schaalmodellen, rekenregels en een aantal specifieke mathematische modellen om deze belasting te bepalen. Voor de Westerschelde zijn de laatste schaalmodelproeven meer dan 20 jaar geleden uitgevoerd. De destijds gehanteerde schaal voor de schepen is nu niet meer representatief. Universiteit Gent voert nog steeds schaalmodelproeven uit, maar niet op de schaal van de Westerschelde (met name gericht op Zeeschelde en kanalen).

RWS heeft in samenwerking met de TUDelft en Unesco-IHE de softwaretool CRESS (Coastal and River Engineering Support System) ontwikkeld voor het ondersteunen van civieltechnische ontwerpen. Deze tool bevat ook rekenregels voor de scheepvaart, die gebaseerd zijn op een verzameling van (internationale) onderzoeken en publicaties. Helaas is de tool hoofdzakelijk bedoeld en gevalideerd voor toepassing op rivieren en is het daarmee niet toepasbaar voor de Westerschelde.

Het model TRITON is in 2011 ingezet in studies in de Westerschelde. Het model was op dat moment nog beperkt gevalideerd en de resultaten waren vooral kwalitatief, maar zeer belangrijk voor het inzicht. Op dit moment wordt verkend of het simulatiemodel XBeach dat is ontworpen voor oeverbelasting door natuurlijke golven en stroming ook bruikbaar is met golven opgewekt door schepen. Om een belasting door scheepvaart (ook van schepen onderling) te kunnen bepalen zou verdere ontwikkeling van tools op basis van metingen moeten plaatsvinden.

4.6 Ingezette meettechnieken voor het bepalen van stroming

In de Westerschelde wordt op twee manieren stroming gemeten door Rijkswaterstaat, met behulp van Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP) van schepen, of met behulp van stroomsnelheidsmeters die zijn bevestigd op een frame dat wordt ingegraven in het zand of in een markeringsboei (één exemplaar). De vast opgestelde metingen worden uitgevoerd met ADCP's van Teledyne RD Instruments, Nortek AquaDopp of een onderwaterstroommeter (OSM). De meetinstrumenten worden geplaatst voor een periode variërend van één getijcyclus tot 3 maanden. De ADCP in de markeringsboei ligt semi permanent op één locatie (Hansweert). Tot voor kort werden er ook metingen uitgevoerd met zogeheten Akoestische

Zand Transport Meters. Deze meters werden echter niet meer ondersteund en bij gebrek aan gebruik van de data worden de metingen niet meer uitgevoerd.

HF radar is in het verleden enkele malen ingezet in de Westerschelde voor het bepalen van stroming. Net als bij de navigatieradar ging het in dit geval om verkennende studies op o.a. de locaties Vlissingen en Hansweert. Zie de casus over de neer in het Zuidergat in paragraaf 0 voor enkele resultaten.

Figuur 4.6 TRDI ADCP en batterijhouder op frame (links) en ingegraven in zand. Foto's RWS Zee en Delta.



Figuur 4.7 AquaDopp profiler ingegraven in zand van het badstrand Vlissingen (foto M. Schroevers)



Figuur 4.8 Holle markeringsboei met ADCP aan binnenzijde (foto's RWS Zee en Delta)



4.6.1 Prestaties meetapparatuur en representativiteit metingen

De onzekerheden in de stroomsnelheidsmetingen variëren sterk per instrument en de gebruikte instellingen. Over het algemeen zijn puntstroommeters het nauwkeurigst (1 a 2 cm/s) gevolgd door de TRDI ADCP's (orde van 2-5 cm/s) en de AquaDopps zijn het minst nauwkeurig, (bij instelling voor gebruik in de Westerschelde 10 tot 30 cm/s). De AquaDopp's zijn beduidend goedkoper dan de TRDI ADCPs, waardoor ze toch interessant zijn. Omdat de metingen normaal gemiddeld worden over 10 minuten of langer, zijn de resulterende onzekerheden bij vast opgestelde meters in de orde van 1 tot 10 cm/s.

De HF radars halen een onzekerheid van 10 cm/s per meetpunt (gemiddeld over een half uur tot een uur), de navigatieradars 20 cm/s.

De scheepsmetingen vinden plaats met de TRDI ADCP's. Bij de scheepsmetingen hangt een groot deel van de onzekerheid samen met de beweging van het schip en de variabiliteit van de stroming over het meetvolume. Dit resulteert uiteindelijk in een onzekerheid van 5 tot 10 cm/s per meting van 1 seconde.

Een stromingsmeting is representatief voor een klein gebied en een korte periode. In de orde van tientallen meters in de horizontaal en enkele meters in de verticaal. Er is wel correlatie over een groter gebied. Dat wil zeggen dat de trend van de stroming in een groter gebied afgeleid kan worden uit een punt of verticaal, maar de nauwkeurigheid in de absolute waarde van de snelheid is beperkt.

De meetpraktijk van metingen met ADCP's met schepen op de Westerschelde wijkt af van de meetpraktijk in de rivieren, vanwege de omstandigheden in de Westerschelde,. De Westerschelde is een getijdegebied en breed. Dat houdt in dat de stromingssituatie tijdens een oversteek van een meetschip verandert vanwege het getij. Uit één oversteek van het meetschip kan niet een stroombeeld gehaald worden dat representatief is voor één moment. RWS Zee en Delta lost dit op door in de verwerking van de gegevens de metingen van meerdere oversteken gedurende een getij te gebruiken. Zo kan uit opeenvolgende metingen een tijdsverloop van de stroming worden gekregen op een locatie (waarbij de tijdstap gelijk is aan de tijd die nodig is geweest voor het schip om hetzelfde punt te kruisen).

Het getij en de getijstroming hebben invloed op de prestatie van de gebruikte meettechniek. De stroming in de geulen van de Westerschelde is voldoende hoog om de zandbodem in suspensie te brengen. Bij maximale eb- en vloedstroom wordt de gesuspendeerde laag zo groot dat de ADCP geen bodem meer ziet (loss of Bottom track) en de data uit een deel van de waterkolom onbetrouwbaar wordt (meestal intern afgekeurd door het instrument). Voor bepaling van de verplaatsing van het meetschip ten opzichte van de bodem is voor metingen in deze gebieden een goede DGPS, en het goed koppelen van deze informatie in de datastroom, absolute noodzaak.

Scheepsmetingen kunnen niet veilig worden uitgevoerd bij te veel wind en hoge golven. Dit houdt in dat de stromingsomstandigheden tijdens storm of stormachtige omstandigheden beperkt vastgelegd worden met de vast opgestelde meters. Dit is ten aanzien van de monitoring van de toestand van het systeem, de proceskennis en validatiemetingen die nodig zijn voor de hydrodynamische modellen niet toereikend.

De radars leveren het wenselijke ruimtelijke beeld van stroming, maar de representatieve diepte waar ze over meten (alleen de bovenste laag) is beperkt. Voor navigatieradar is een minimale golfhoogte nodig van 0,5 meter. Dit komt achterin de Westerschelde maar 15% van de tijd voor. Daarom is deze techniek in dat gebied niet aantrekkelijk. Het systeem is beter

toepasbaar in de monding van de Westerschelde. De HF radar geeft informatie bij lagere golfhoogten en geeft nauwkeurigere resultaten. De HF radar berekening vertoont afwijkingen in ondiep water doordat de aanname van lineaire golftheorie niet opgaat. Bij een HF radar met een meetfrequentie van 45Hz (typische frequentie voor kustwateren) zullen afwijkingen optreden als het water ondieper is dan 1,5 m. Er kan nog wel gecorrigeerd worden, maar dat kost extra inspanning.

4.7 Langjarige meetcampagnes

4.7.1 Monitoring ten behoeve van kalibratie stroomsnelheidsmodel Scaldis400 voor scheepvaart

Op de 6 locaties die zijn opgenomen voor de scheepvaart, genoemd in paragraaf 3.12 en weergegeven in Figuur 4.2, worden jaarlijks gedurende 1 maand metingen uitgevoerd met onderwaterstroommeters (OSM's).

4.7.2 Uitvoeringsprogramma Monitoring Effecten Ontwikkelingsschets MONEOS

In het kader van systeem monitoring van de Westerschelde vanuit verschillende beleidskaders is een monitoringsplan uitgewerkt in [Meire et. al. 2008]. De basis van die monitoring is gestoeld op de mogelijkheid om een evaluatie te kunnen maken van de effecten van het project verruiming vaargeul op het fysieke systeem 6 en 12 jaar na de uitvoering. Het monitoringsprogramma tot 2018 voor dit doel (en dan specifiek gericht op toegang voor scheepvaart) is beschreven in [Schrijver, Plancke 2008]. Het programma is gericht op het bemeten van de morfologie en ecologie in het gebied. Onder dit programma moeten tevens getijvolumes bepaald worden in de Westerschelde en stromingsmetingen worden uitgevoerd op platen.

Criteria plaatrandstoringen vertaald naar metingen

Discipline	Criterium	Parameter	Te bepalen uit	Meting
Natuur	Diversiteit habitats	Stroomsnelheid op de plaat	Continue stroomsnelheden	Stroomsnelheid platen
Morfologie	Stabiliteit meergeulensysteem	Getijvolumes eb- en vloedgeul	Getijvolume	Debietmetingen

Criteria storingen hoofd- en nevenvaargeul vertaald naar metingen

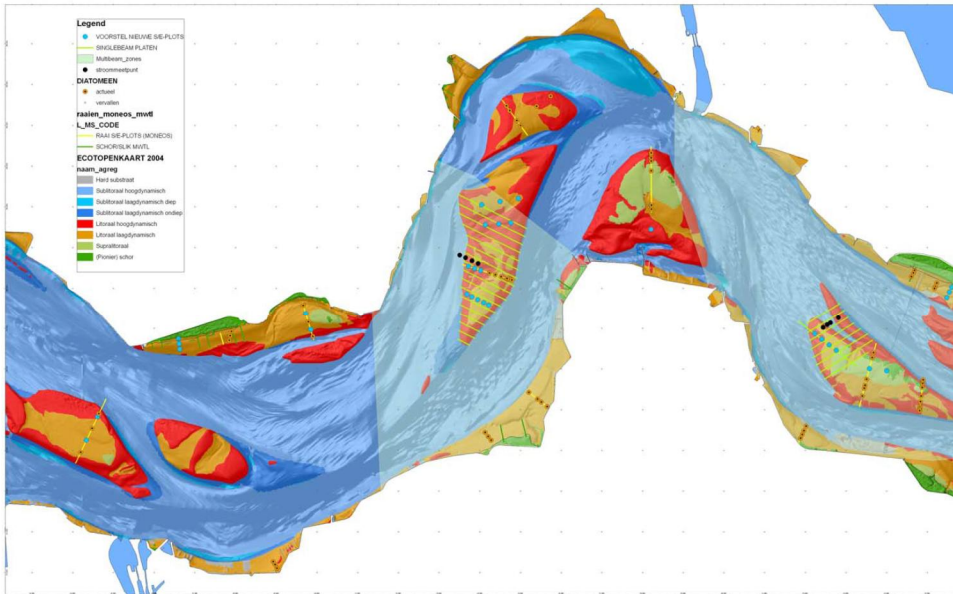
Discipline	Criterium	Parameter	Te bepalen uit	Meting
Morfologie	Stabiliteit meergeulensysteem	Getijvolumes eb- en vloedgeul	Getijvolume	Debietmetingen

De metingen op de platen vinden plaats op 6 platen in de Westerschelde, waarbij de platen gerouleerd over de jaren worden bemeten. De locaties zijn: Hooge platen Noord, Hooge platen West, Plaat van Ossensisse, Plaat van Valkenisse, Plaat van Walsoorden, Plaat van Baarland. Enkele locaties zijn weergegeven in Figuur 4.9.

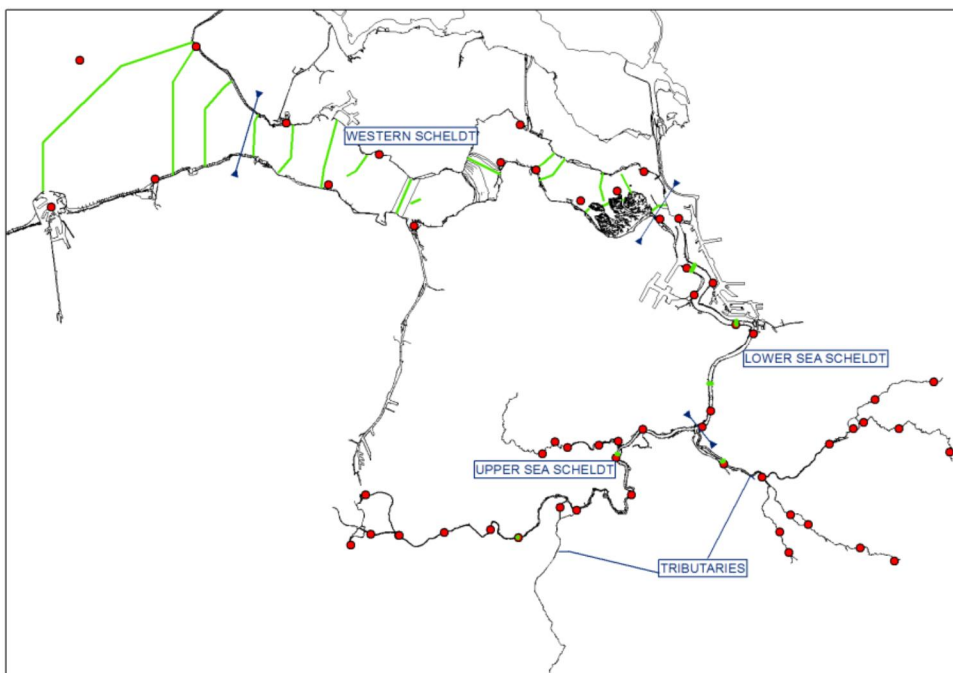
Iedere meting wordt uitgevoerd op één raai, waarbij de meetapparatuur gedurende twee volledige springtij-doodtij-cycli op de locatie wordt geplaatst. Op de plaat wordt gemeten met een AquaDopp Profiler (2Mhz) en op een diepte van -5 meter t.o.v. LAT m.b.v. een RDI ADCP gemonteerd in een frame. De data is beschikbaar op de website Meetadviesdienst (www.meetadviesdienst.nl).

De getijvolumes worden roulerend bepaald op 14 raaien. Getijvolumes worden 3-jaarlijks gemeten voor de "primaire" raaien en 6-jaarlijks voor de "secundaire" raaien (zie [Schrijver, Plancke 2008]). Naast het monitoringsprogramma zoals beschreven in [Schrijver, Plancke

2008] bestaat er het monitoringsprogramma dat wordt uitgevoerd door het WL Borgerhout. Dit richt zich voornamelijk op de Zeeschelde tot aan de Nederlands-Vlaamse grens met een overlap in het gebied rond Seaftinge [Vereecken 2011]. Onder dit programma worden ook stroommetingen uitgevoerd, waaronder langsmetingen (over de lengte as van de rivier) [Plancke et. al. 2012].



Figuur 4.9 Meetlocaties (zwarte en blauwe punten) voor stroommetingen op de platen in de Westerschelde. De gebruikte achtergrond is een ecotopenkaart.



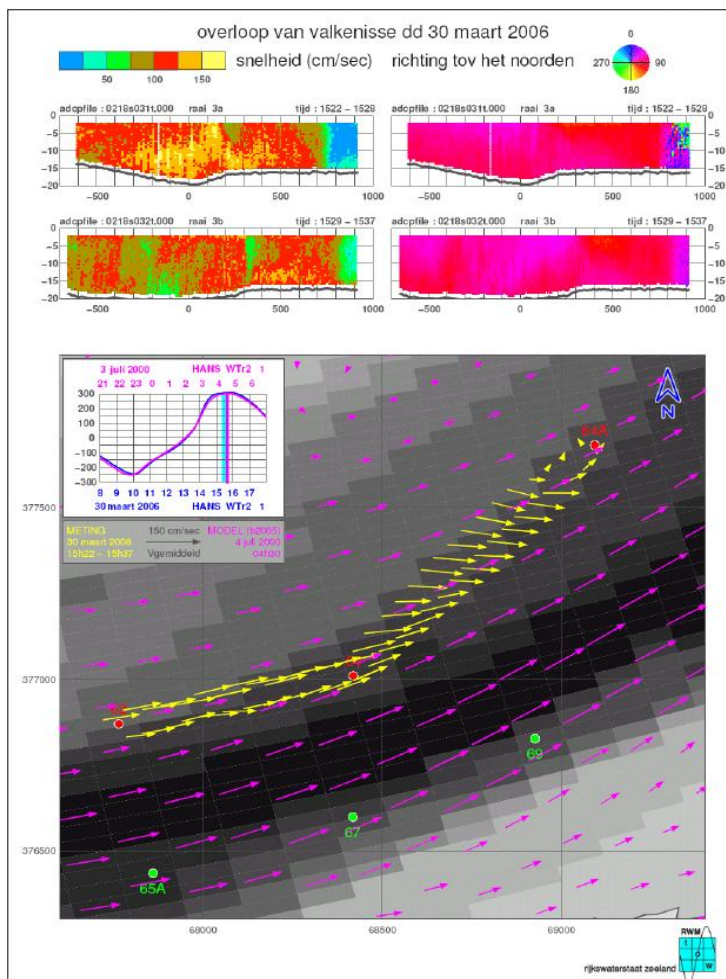
Figuur 4.10 Overzicht van het Schelde estuarium met waterstandsmeetlocaties (rood) en raaien voor het bepalen van getijvolumes/ afvoeren (groen), uit [Plancke et. al.2012].

4.8 Projectmetingen

In de Westerschelde vinden regelmatig meetcampagnes voor projecten plaats waarbij het meten van stroming een prominente rol speelt. In de volgende paragrafen volgen een aantal voorbeelden. Het betreft hier alleen Nederlandse voorbeelden, maar er worden ook projecten uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse overheid [Nasner et. al. 2002], [Plancke et. al. 2008]. In de bijlage is een overzicht van stroombeeldmetingen met ADCP's opgenomen van 2002 tot heden die gerelateerd waren aan de validatie van stroommetingen t.b.v. de scheepvaart (met dank aan Leen Dekker).

4.8.1 Stroombeelden

Om het stroombeeld van stroomkritische locaties in de Westerschelde ten behoeve van de scheepvaart in beeld te brengen en om het Scalwest-model (MARIN/Animatie? stroomatlas) te ijken worden sinds 2002 door RWS-ZD ADCP-stroombaanmetingen uitgevoerd. Hieronder is zo'n meting weergegeven, zoals deze is uitgevoerd op 30 maart 2006 in de uitloop van de Schaar van Valkenisse [De Klerk, Dekker 2007]. Bij deze vergelijking is te zien dat de dwarsstroming, die optrad aan de rand van de vaargeul, niet gesimuleerd werd in het model (Scalwest). De metingen worden dan ook gebruikt als aanvulling op het model.

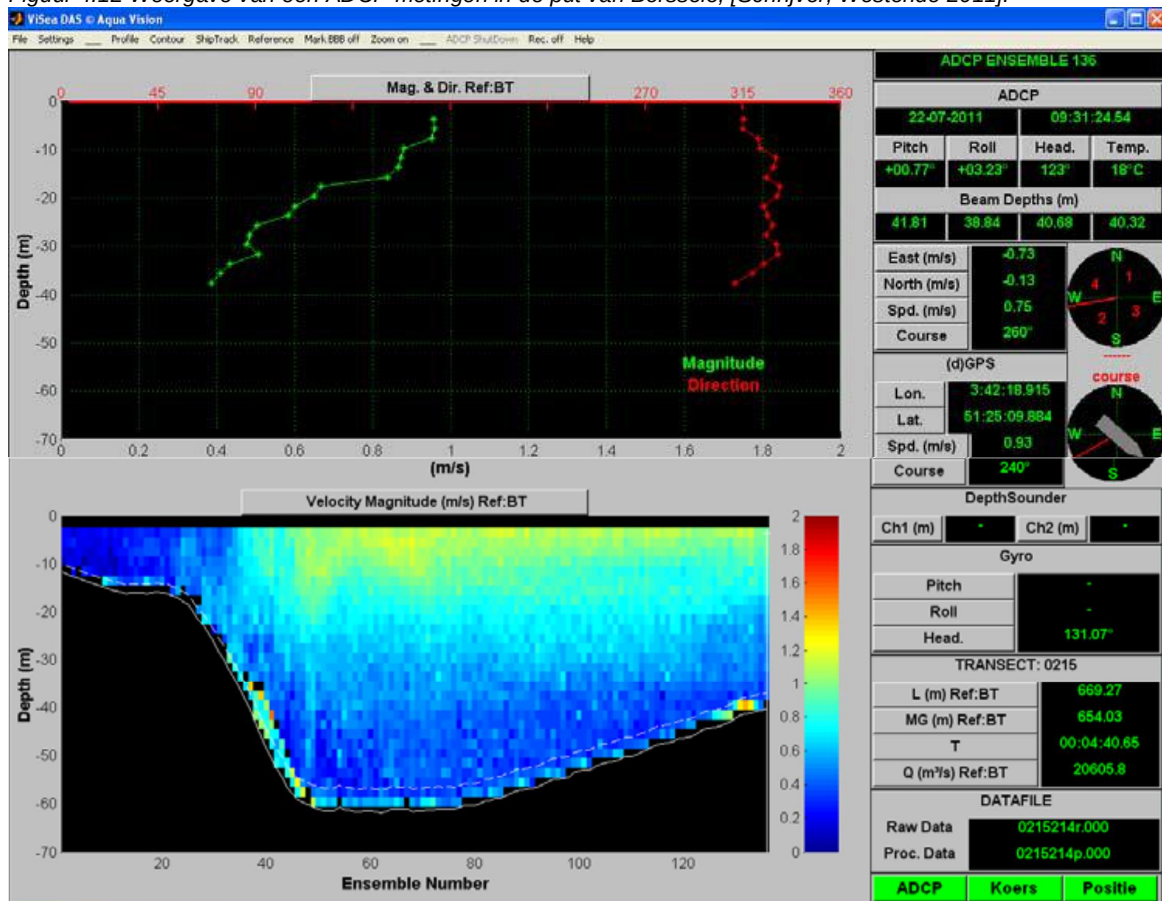


Figuur 4.11 Vergelijking van stroombeeld van meting en model. Groene en rode punten markeren de vaargeul.

4.8.2 Meetcampagne Put van Borssele

De Westerschelde kent een aantal diepe putten. De put van Borssele met een diepte van 60 meter is daarvan de diepste. De stromingen in deze put zijn bemeaten vanaf een schip met een standaard TRDI ADCP in een speciale instelling om tot 60 meter diepte te kunnen meten ("long range mode") [Schrijver, Westende 2011]. De meting is uitgevoerd als verkenning van mogelijke stortlocaties van baggerspecie uit de Westerschelde. De heersende stroomsnelheden waren echter te groot waardoor de van de specie niet op haar plaats zou blijven (de put is ontstaan door erosie)

Figuur 4.12 Weergave van een ADCP metingen in de put van Borssele, [Schrijver, Westende 2011].



4.8.3 Meetcampagne Bath

In 2009 is een meetcampagne uitgevoerd op het slik van Bath om te bepalen in hoeverre de waterbeweging ten gevolge van scheepvaart een bijdrage levert in de erosie van de bovenlaag van het slik [Schroevens 2011]. De campagne bestond uit een meting met een puntstroommeter (Nortek ADV) en een stroomprofielmeter (Nortek AWAC) en metingen met een schip. Tevens zijn voor de analyse AIS gegevens van passerende schepen gebruikt.

4.8.4 Onderzoek scheepsgolven op het badstrand van Vlissingen

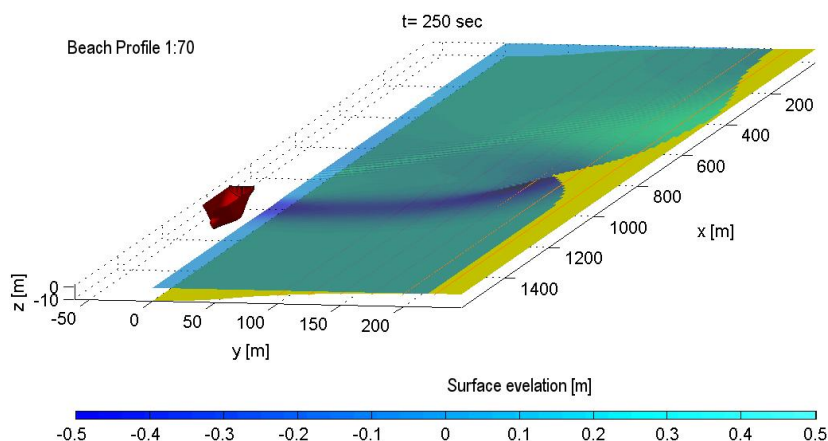
In 2011 is onderzoek gedaan naar het ontstaan van voor badgasten gevaarlijke scheepsgolven op het badstrand van Vlissingen. Daarvoor is een meetcampagne uitgevoerd met een ADCP voor het strand net onder de laagwaterlijn en stroommeters op het strand. Er was eveneens een golfmeetboei aanwezig en de passerende schepen werden vastgelegd met video. De passage van de schepen werd ook geanalyseerd op basis van AIS data en een simulatie van golven en stroomsnelheden met het model Triton. In het onderzoek bleek de belangrijkste parameter voor de veiligheid op het strand de primaire golf te zijn en de daarmee gepaard gaande golfoploop en stroming. In 2012 heeft dit onderzoek vervolg gekregen, waarbij getracht is om, uit de walradargegevens, de golfoploop en de stromingen te bepalen met behulp van het analyse pakket Seadarq [Nortek 2012]. De golfoploop kon door een ongunstige kijkhoek niet bepaald worden, stroming in de geul is wel vastgelegd.



Figuur 4.13 Sleephopperzuiger Oranje passeert het Badstrand van Vlissingen. Foto: M. van der Wal.



Figuur 4.14 Een grote haalgolf nadert tijdens de passage van de Oranje. Foto: M. van der Wal.



Figuur 4.15 Simulatie met Triton van een scheepspassage langs het strand.

4.9 Casus: de neer in het Zuidergat bij de plaat van Ossenisse

Aan de westkant de Platen van Ossenisse en aan de oostzijde de Plaat van Walsoorden ligt het Zuidergat. Er kan hier een zeer gevaarlijke dwarsstroom ontstaan bij extreem springtij tot wel 5 knopen (2,5 m/s). Het containerschip Fowairet uit Qatar is in september 2005 op de Plaat van Ossenisse vastgelopen omdat het schip, op weg naar Antwerpen, speelbal werd van het stroompatroon. Stroomonderzoek wees later uit dat tijdens springtij met extreem hoge waterstand gedurende een half uur na hoogwater een neer ontstaat. ([Raad van de scheepvaart 2006] MARIN, WL Borgerhout).



Figuur 4.16 gestrande Fowairet wordt vlotgetrokken.

Naar aanleiding van dit incident is een alarmering afgesproken:

Elk jaar wordt een BASS (Berichten aan de Schelde Scheepvaart) uitgegeven met tijden wanneer deze extreme dwarsstromingen kunnen ontstaan (zie tabel). In de dwarsstroomprognose, welke gebaseerd is op het astronomisch getij, zijn de meteo-effecten niet meegenomen. Het Hydro Meteo Centrum Zeeland bewaakt 6 tot 12 uur van te voren de criteria betreffende het wel of niet uitbrengen van een dwarsstroomwaarschuwing.

Het kan voorkomen dat een extra waarschuwing wordt uitgegeven of een bestaande waarschuwing wordt ingetrokken. Dit is afhankelijk van de weersomstandigheden. Zo wordt bij een aantal uren wind (4-6 Bft) uit westelijke richting het water in de Westerschelde opgestuwd. Hierdoor kan het voorkomen dat de criteria overschreden worden. Op het laatste moment wordt er dan alsnog een waarschuwing voor dwarsstroming uitgebracht. Bij een aantal dagen oostenwind kan het voorkomen, dat de criteria niet gehaald worden. De waarschuwing wordt dan ingetrokken. De inschatting is dat de jaarlijkse lijst met uitgegeven waarschuwingen voor sterke dwarsstroming voor ongeveer 95% correct zal zijn.

Op de dagen dat een waarschuwing geldt, brengt RWS de neer in beeld met behulp van metingen vanaf een schip en levert direct de waarnemingen door aan de scheepvaart-begeleidings-autoriteiten die de informatie kunnen doorgeven aan de scheepvaart.

Het is de intentie om de locatie continu te gaan monitoren met behulp van de ADCP in een markeringsboei, zoals getoond in Figuur 4.8. Het is de bedoeling dat de informatie van de boeien direct wordt vertaald naar een stromingsvector die via het informatiesysteem van de verkeerscentrale wordt verzonden naar de loodsen. Deze zien de stroming als vector in hun navigatiesysteem (QASTOR).

Omdat de boeien maar één profiel meten in een vrij groot gebied waar de neer kan ontstaan en de boeien zich verplaatsen, zullen de stromingsmetingen geen directe maat zijn voor de te

verwachten maximale dwarsstroom. Vanuit de boeien zal dus meer een signaal functie uitgaan dan dat het kwantitatief betrouwbare getallen levert. De inzet van twee boeien geeft daarbij meer houvast dan één. Belangrijke uitgangspunten voor de keuze van boeien waren de verwachte lage kosten en verwachte snelle operationalisering in vergelijking met bijvoorbeeld een HF radar. Eén boei is op dit moment operationeel, maar de inwinning en verstrekking van de informatie naar de loodsen moet nog worden afgerond. In 2013 wordt naar verwachting 5 maal het criterium voor sterke dwarsstroom ($> 3,5$ knopen) overschreden. In 2014 en 2015 zal dit variaties in het getij als gevolg van de 19-jarige cyclus oplopen naar 15 keer per jaar.

voormelding dwarsstroomwaarschuwing januari t/m december 2013 omgeving boei 51/53
op basis van vervalcriterium astronomisch getij

hoogwater Hansweert (astro)			cm	cm				Maxvv	stroom-
datum lokale tijd			tov	tov	tijdvenster (lokale tijd)				
			NAP	LAT	mogelijke dwarsstroom			(cm)	sterkte
zondag 13	januari 2013 15h52		+297	+580	13 januari 2013 van 15h42 tot 16h32		76	matig	
maandag 14	januari 2013 16h40		+298	+581	14 januari 2013 van 16h30 tot 17h20		78	matig	
dinsdag 15	januari 2013 17h30		+294	+577	15 januari 2013 van 17h20 tot 18h10		76	matig	
maandag 11	februari 2013 15h42		+291	+574	11 februari 2013 van 15h32 tot 16h22		79	matig	
dinsdag 12	februari 2013 16h24		+293	+576	12 februari 2013 van 16h14 tot 17h04		80	STERK	
woensdag 13	februari 2013 17h04		+289	+572	13 februari 2013 van 16h54 tot 17h44		77	matig	
dinsdag 12	maart 2013 15h26		+281	+564	12 maart 2013 van 15h16 tot 16h06		76	matig	
woensdag 13	maart 2013 16h02		+283	+566	13 maart 2013 van 15h52 tot 16h42		75	matig	
woensdag 26	juni 2013 05h29		+293	+576	26 juni 2013 van 05h19 tot 06h09		76	matig	
donderdag 27	juni 2013 06h25		+289	+572	27 juni 2013 van 06h15 tot 07h05		76	matig	
woensdag 24	juli 2013 04h27		+295	+578	24 juli 2013 van 04h17 tot 05h07		76	matig	
donderdag 25	juli 2013 05h17		+297	+580	25 juli 2013 van 05h07 tot 05h57		82	STERK	
donderdag 25	juli 2013 17h39		+282	+565	25 juli 2013 van 17h29 tot 18h19		75	matig	
vrijdag 26	juli 2013 06h06		+295	+578	26 juli 2013 van 05h56 tot 06h46		83	STERK	
zaterdag 27	juli 2013 06h56		+287	+570	27 juli 2013 van 06h46 tot 07h36		78	matig	
donderdag 22	augustus 2013 04h11		+294	+577	22 augustus 2013 van 04h01 tot 04h51		78	matig	
vrijdag 23	augustus 2013 04h57		+296	+579	23 augustus 2013 van 04h47 tot 05h37		82	STERK	
vrijdag 23	augustus 2013 17h15		+289	+572	23 augustus 2013 van 17h05 tot 17h55		76	matig	
zaterdag 24	augustus 2013 05h41		+293	+576	24 augustus 2013 van 05h31 tot 06h21		81	STERK	
vrijdag 20	september 2013 03h56		+288	+571	20 september 2013 van 03h46 tot 04h36		75	matig	
zaterdag 21	september 2013 04h35		+289	+572	21 september 2013 van 04h25 tot 05h15		75	matig	

matige dwarsstroom (< 3.5 mph) als 75 ≤ Maxvv < 80
STERKE dwarsstroom (> 3.5 mph) als Maxvv ≥ 80
Maxvv = maximum verval (cm) Terneuzen – Hansweert voorafgaand aan hoogwater Hansweert (astronomisch getij) .

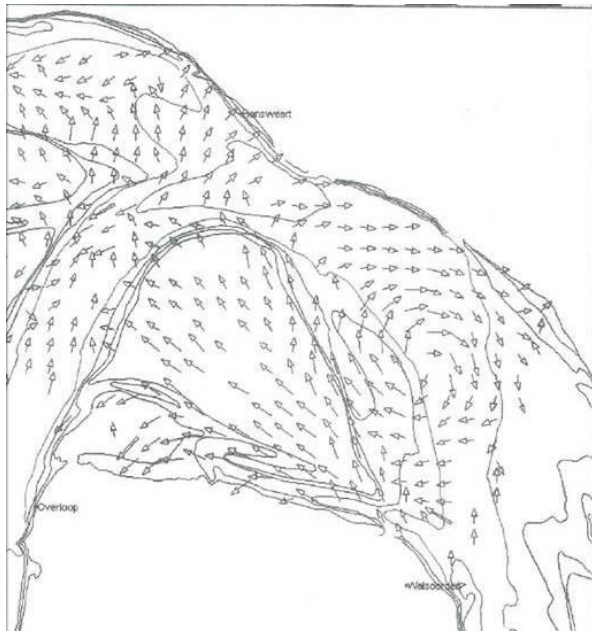
4.9.1 Onderzoeken en technieken toegepast in het Zuidergat in chronologische volgorde

1995-1997

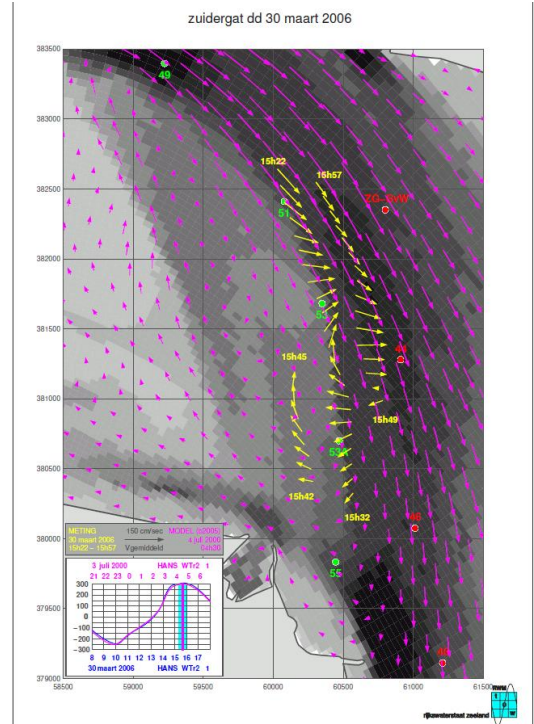
De neer in het Zuidergat bestond al veel langer en is in 1995 en 1996 voor de 2^{de} verdieping uitgebreid bemeten. Deze metingen bestonden uit metingen met vast opgestelde ADCP's in 1995 en 1996 (uitgevoerd door OCN) en met schepen uitgerust met ADCP's in 1996 (uitgevoerd door meetdienst Zeeland). Van 24 september tot 22 oktober 1996 is er een meting met een HF-radar uitgevoerd [Dam 1997, Louws 1996]. De ADCP metingen en HF radar metingen waren helaas niet gelijktijdig uitgevoerd. Er is een vergelijking gemaakt met de ADCP metingen door vergelijkbare getijden uit te zoeken. Een van de HF radar metingen is weergegeven in Figuur 4.17.

Tevens zijn een aantal 3D berekeningen uitgevoerd met een uitgedunde versie van SCALWEST [Dam 1997, Jansen 1997]. Vergelijkingen tussen HF radar metingen en de berekende stroomsnelheden in de bovenlaag kwamen goed overeen. De conclusies uit de studie waren dat het verschil tussen de snelheidsmetingen met de HF radar en de modelresultaten kleiner waren dan 0,25 cm/s. De neer werd gezien in de HF radar, maar de studie van [Dam, 1997] laat niet zien of de neer ook gesimuleerd kon worden met het model.

Figuur 4.17 Stroomsnelheden afgeleid uit HF radarbeelden [Dam 1997]



Figuur 4.18 Stroomsnelheden afgeleid uit ADCP metingen (geel) en modelberekening (paars, Scalwest) in 2006, bron RWS Zee en Delta.



2006

Na het incident met de Fowairet zijn in 2006 en 2008 voor het in beeld brengen van de neer meetcampagnes uitgevoerd met voornamelijk ADCP's vanaf schepen. Dit is in 2011 nogmaals gedaan en uitgebreid met vast opgestelde ADCP's. De gegevens van de vast opgestelde metingen zijn op te vragen via:

http://www.meetadviesdienst.nl/nl/monitoring_stroom_metingen_plaat-van-ossenissee.htm

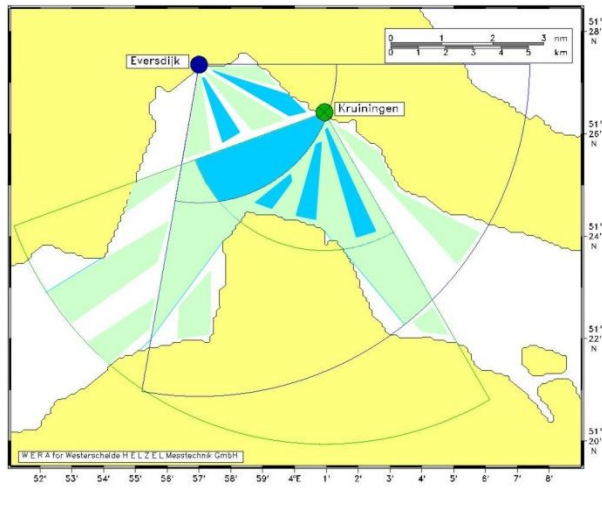
Naast de metingen werden 2D hydrodynamische modellen ingezet door WL Borgerhout en RWS Zeeland (zie Figuur 4.18), maar de neer die in de metingen werd gezien kwam niet goed uit de modellen. Daarnaast werd onderzoek uitgevoerd door het MARIN naar de stranding van de Fowairet door het uitvoeren van het modelberekeningen van scheepsbewegingen en het analyseren van de stromingsgegevens en AIS gegevens. De AIS gegevens worden door de Gemeenschappelijk Nautisch Autoriteit van de Schelde opgeslagen als onderdeel van het Informatie Verwerkend Systeem (IVS). Naar aanleiding van de rapportage van het MARIN (niet openbaar) zijn AIS gegevens door de Raad voor de Scheepvaart als nuttig voor onderzoek betiteld [Raad van de scheepvaart 2006].

Het afleiden van stromingsinformatie uit de AIS gegevens van één enkel schip is onnauwkeurig doordat meerdere factoren meespelen die niet bekend zijn, zoals roerstand en het vermogen dat het schip op dat moment gebruikt. Maar aangezien elk zeeschip in de Westerschelde deze informatie verzendt, kan met de bulk aan gegevens wellicht wel interessante informatie worden afgeleid.

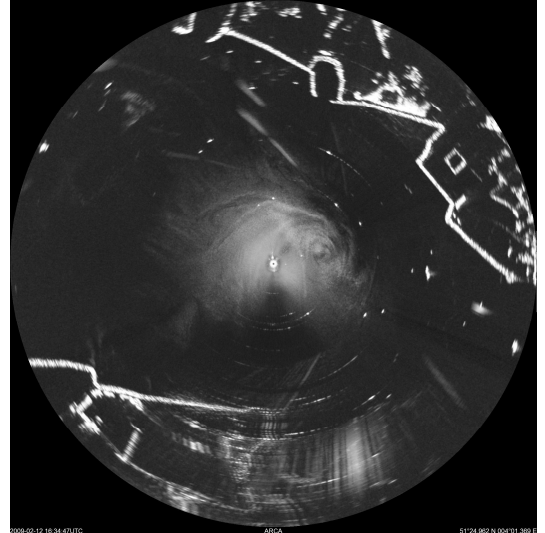
2008

In 2008 is de mogelijkheid tot het inzetten van HF radar voor het detecteren van de neer nogmaals de revue gepasseerd. Dit heeft geleid tot een voorstel van leverancier Helzel in de onderstaande figuur.

*Figuur 4.19 Voorstel voor een HF radarsysteem uit 2008
[WERA2008]*



*Figuur 4.20 Ruw radarbeeld van de ARCA.
Rechts van het midden is de neer zichtbaar
[Seadarq 2009].*



2009

In 2009 hebben WL Borgerhout en IMDC een Delft3D model genest in het NEVLA model en de neer opnieuw gemodelleerd. Dit maal verscheen de neer wel in de Delft3D simulatie [Decrop et. al 2010], waarschijnlijk door een ander instelling van bodemruwheden.

In 2009 zijn metingen uitgevoerd met het SeaDarq Systeem gekoppeld aan de navigatieradar van het incidenten- en meetvaartuig de Arca van Rijkswaterstaat [SeaDarq 2009]. In de ruwe radarbeelden was de neer zichtbaar als structuur, zie Figuur 4.20. Hieruit konden bij benadering de locatie, de verplaatsing en de diameter van de neer afgeleid worden. Er konden geen stroomsnelheden en -richtingen worden bepaald. Dit werd veroorzaakt door een gebrek aan golven, die nodig zijn om die analyse te kunnen doen. Tevens waren de beelden niet bruikbaar voor het afleiden van stroomsnelheden ten gevolge van regen. Het gebruik van de navigatieradar voor de continue monitoring van stroomsnelheden is in dit gebied niet interessant, omdat de golfhoogte meestal te laag is voor het systeem om te werken.

In 2009 is ook begonnen met de ontwikkeling van de stroommeetboei, zoals genoemd in paragraaf 4.6.

2013

In 2013 is het 2D hydrodynamische model NEVLA verder aangepast. De neer komt nu voor in de modelresultaten, maar de locatie en het moment van ontstaan zijn nog niet helemaal correct [Lipari 2013 concept].

2014 en verder?

Al in 1997 was het mogelijk om de neer in beeld te brengen met een HF radar. Toch is dit pad verlaten en gekozen voor de stroomboei. De boei zal echter niet de ruimtelijke informatie

leveren die nodig is om een goed beeld te krijgen van de neer en niet de informatie leveren die nodig is om bijvoorbeeld een model te valideren dat de neer kan voorspellen.

Met de fijnmazige 2D deelmodellen lukt het nu om de neer te simuleren. Met de iets grovere modellen (NEVLA) lukt dit nu ook, maar niet nauwkeurig genoeg om te voldoen aan de eisen die gelden vanuit de scheepvaart. Die relatief hoge eisen kunnen waarschijnlijk alleen gehaald worden door *nesting* van een verfijnd model of verfijning van de bestaande modellen die de hele Westerschelde beslaan. Deze verfijnde modellen kunnen vervolgens ook gebruikt worden voor operationele voorspellingen. Dit vraagt de nodige rekenkracht, maar is technisch haalbaar.

AIS is een bron die verder uitgebaat kan worden voor het bepalen van met name dwarsstroming, indien de vastgelegde trajecten uit AIS van vele schepen nader worden geanalyseerd. RWS CIV heeft interesse om deze bron te verkennen [Boogaard, Schroevers 2013, MARIN 2008].

Een nog ongebruikte bron van stromingsinformatie zijn de Doppler stroomsnelheidsmeters⁶ aan boord van schepen. Vrachtschepen en veerdiensten worden tegenwoordig uitgerust met deze sensoren, waarmee de snelheid ten opzichte van het water (speed through water) gemeten kan worden. Door deze te verminderen met de beweging van het schip ten opzichte van de bodem (Velocity Over Ground) is de stroomsnelheid af te leiden. Het zijn eenvoudigere versies van de ADCP, maar constructie-technisch zwaarder uitgevoerd vanwege de benodigde levensduur. Voor gebruik op de Noordzee wordt niet hoog opgegeven over de betrouwbaarheid van de afgeleide stroomsnelheden (persoonlijke communicatie Wagenborg Shipping over een JIP ten behoeve van brandstofbesparing). De hoge snelheden waarmee de schepen varen (tot 10 m/s) en rollen en het stampen van de schepen beïnvloeden de metingen te sterk om een acceptabele nauwkeurigheid te krijgen. Dit soort zware omstandigheden heersen echter niet op de Westerschelde en de kruissnelheden liggen er lager. Er is een goede kans dat daar wel bruikbare resultaten te krijgen zijn. Dit zou nader onderzocht moeten worden.

Een andere aanpak die nog niet is geprobeerd in Zeeland, is het inzetten van een ADCP op een commercieel vaartuig. Dat kan op schepen van een reder die heel regelmatig eenzelfde gebied doorsteken, of een veerdienst [Buisman 2007],[Schroevers 2011]. Veerdiensten varen niet s 'nachts, maar blijven lang in de vaart onder zware omstandigheden (langer dan RWS schepen). Helaas vaart er geen veerdienst door het Zuidergat, maar voor de andere informatiebehoefte is de veerdienst tussen Breskens-Vlissingen een optie (de ADCP fabrikant ziet geen problemen met inzet op een fast ferry). Ook het zomerveer Perkpolder-Hansweert biedt mogelijkheden.

⁶ De schepen van rederij Wagenborg gebruiken de DS-70 of DS-80 van FURUNO

5 Samenvatting en discussie, informatiebehoefte versus beschikbare informatiebronnen

5.1 Samenvatting informatiebehoefte stroming Westerschelde (zie ook bijlage A)

De informatiebehoefte voor stroming komt voort uit:

- het onderzoek naar en de evaluatie van de effecten van de derde verruiming van de Westerschelde (onderdeel van LTV programma)
- het begeleiden en beloodsen van scheepvaart
- de bepaling van de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde ten aanzien van veiligheid tegen overstroming
- de bepaling van (de ontwikkeling van) de waterkwaliteit en slibhuishouding
- search and rescue, traceren van verloren lading en lozingen en andere calamiteiten.

Voor de scheepvaart en scheepvaartbegeleiding op de Westerschelde is er behoefte aan stromingsinformatie in de vaargeulen in de hele Westerschelde. Vooral dwarsstroming, wijzigingen in de dwarsstroming (door bijvoorbeeld verandering van de bathymetrie) en sterke gradiënten in de stroming zijn daarbij van belang. Er zijn een aantal specifieke interessegebieden waar de situatie onder bepaalde omstandigheden gevaarlijk kan zijn. Dit betreft onder andere de toegang van de havens en het Zuidergat. Op die locaties en onder deze specifieke omstandigheden zou men graag informatie hebben met ruimtelijk detail en over de hele verticaal. De informatie moet 24 uur van tevoren beschikbaar zijn en eveneens real time. De vereiste maximale onzekerheid in de sterkte van stroming voor de real time informatie is 25 cm/s en maximaal 10 graden in de hoek van de stroming. Voor de onzekerheid in de voorspelde waarde geldt een eis van een *gemiddelde* onzekerheid van 25 cm/s in de sterkte van de stroming en een *gemiddelde* onzekerheid in de hoek van 10 graden. Dit is een gemiddelde over een reis over de Westerschelde van 4 uur.

Voor de bepaling van de morfologische ontwikkelingen is er behoefte aan ruimtelijke dekkende 3D stromingsinformatie, vooral tijdens springtij en storm, omdat dan de grootse morfologische veranderingen verwacht worden. Dit geldt zowel voor de informatie in de geulen als op de platen, slikken en schorren. Daarbij worden vereiste onzekerheden in de orde van 5 tot 10 % genoemd.

Voor studies gerelateerd aan slib, zout, ecologie en waterkwaliteit is eveneens ruimtelijk dekkende 3D stromingsinformatie nodig. Daarbij worden onzekerheden in de orde van 15 cm/s aanvaardbaar geacht.

Voor de toetsing en het ontwerp van waterkeringen, vooroevers, oeververdediging en onderwatervediging (geulwandverdediging) is 3D stromingsinformatie nodig nabij de constructie onder reguliere en stormomstandigheden. De gewenste maximale onzekerheid in sterkte van stroming varieert daarbij tussen 15 tot 25 cm/s en een maximale onzekerheid van 10 graden in de richting.

5.2 Samenvatting informatievoorziening stroming Westerschelde (zie ook bijlage A)

Het informatievoorziening van stroming bestaat uit metingen, offline modellen en operationele modellen voor het uitgeven van verwachtingen.

De offline modellen (voor onderzoek) zijn er in zowel 2D- als 3D-versies en met wisselende ruimtelijke resolutie. Deze modellen worden over het algemeen gekalibreerd op getijvolumes en waterstanden en gevalideerd op getijvolumes, waterstanden en stroommetingen op specifieke locaties.

Momenteel wordt bijna alle stromingsinformatie voor onderzoek in de Westerschelde uit offline 2D modellen gegenereerd, ook als er 3D informatie nodig is. Het fysisch argument hiervoor is dat het systeem in de Westerschelde goed gemengd is (geen gelaagdheid aanwezig) en een logaritmisch profiel van de snelheidsverdeling in de verticaal voldoende is om van 2D naar 3D informatie te komen. Het praktische argument is dat de 3D modellen voor de Westerschelde simpelweg te lang moeten rekenen om praktisch inzetbaar te zijn voor veel van de informatiebehoeftes/vragen. Voor de offline bestudering van sedimenttransport en waterkwaliteitskwesies, die gerelateerd zijn aan sediment transport, wordt 3D modelering wel ingezet.

De stromingsverwachtingen voor zowel scheepvaart als calamiteiten worden gegenereerd met operationele hydrodynamische modellen. Dit zijn 2D modellen die niet specifiek zijn afgeregeld op stroming, maar die zijn afgeregeld op waterstanden. In het geval van het model Scadis400 gebruikt RWS Zeeland, op enkele voor de scheepvaart relevante locaties in de Westerschelde, correctie factoren (bepaald door vergelijking van het model met metingen) om tot betrouwbare stroomsnelheden te komen.

De stromingsmetingen worden uitgevoerd met vast opgestelde apparatuur en vanaf schepen. De metingen worden gebruikt voor het direct afleiden van trends of ter kalibratie en validatie van de modellen. Strikt genomen is voor de andere gebruiksdoelen de behoefte aan *gemeten* informatie beperkt (of indirect, via modellen). De meeste metingen zijn samengebracht onder het MONEOS programma. De bemeten locaties beslaan 14 raaien en 6 ondiepe locaties. Door het grote aantal locaties lijkt het aantal metingen groter dan het werkelijk is. De raaien waarin getijvolumes bepaald worden, worden bijvoorbeeld maar met een frequentie van 1 keer in de 3 tot 6 jaar bemeten voor een periode van 13 uur.

5.3 Discussie

Benodigde informatie versus beschikbare informatie voor niet-operationele doeleinden

Uit de bestudeerde artikelen en rapporten blijkt dat de 2D modellen met een fijnmazig rooster voldoen aan de eisen die morfologie en scheepvaart stellen aan de informatie over stroming (al is de hoeveelheid metingen waarop de modellen gevalideerd zijn beperkt). In de praktijk worden echter grofmazigere modellen ingezet die het hele gebied dekken, zoals Kuststrook-Zuid, NEVLA en Scalwest. Deze modellen lijken⁷ over het algemeen voldoende nauwkeurig, maar zijn op deelgebieden onnauwkeuriger dan gewenst. RWS Zee en Delta geeft aan dat de combinatie van metingen en het Scalwest model voldoende is om te kunnen voldoen aan de gewenste informatie voor alle niet operationele gebruiksdoelen.

Benodigde informatie versus beschikbare informatie voor operationele doeleinden

Uit de schaarse informatie, die beschikbaar is over de nauwkeurigheid van stromingsverwachtingen uit de operationele modellen, kan worden afgeleid dat die verwachtingen op zichzelf niet nauwkeurig genoeg zijn voor volledige ruimtelijk dekkende

⁷ Door gebrek aan voldoende inzichtelijke documentatie van een aantal modellen en gebrek aan eenduidigheid in de wijze van analyseren van de presentaties ten aanzien van stroming gebruiken we hier het woord "lijken" in plaats van "zijn".

informatievoorziening voor scheepvaart en calamiteiten. Deze constatering is niet onverwacht, aangezien de meeste van deze modellen niet specifiek gekalibreerd dan wel gevalideerd zijn op stroming.

Hierbij dienen de volgende nuanceringsen worden gemaakt:

- Voor de online stroominformatie (snelpeil) bij de haveningenangen gebruikt RWS Zee en Delta het grove model Scaldis400. Dit model wordt gevalideerd en voorzien van correctie getallen voor de locaties waar stroomwaarden worden uitgegeven. De uitgegeven getallen voldoen aan de nauwkeurigheidseisen van de loodsen.
- Bij het gebied nabij het Zuidergat wordt het gebrek aan informatie over de neer ondervangen door het uitvoeren van metingen op die momenten dat de neer wordt verwacht. Deze metingen zullen op termijn worden vervangen door het plaatsen van één of twee stromingsboeien. Die gemeten informatie geeft een indicatie van de dwarsstroom en heeft voorspellende waarde voor een korte periode.
- De huidige zoekacties van drenkelingen (en verloren lading) worden niet alleen uitgevoerd op basis van de gegevens van de stromingsmodellen, maar aangevuld met nauwkeurige windgegevens en expert judgement. Dit geeft voldoende houvast voor de eerste uren.

Meetinspanning versus meetbehoefte

De meetinspanning in de Westerschelde ten aanzien van stroming is groter dan in andere regio's, maar nog steeds beperkt.

Gemeten stroming tijdens storm en stormachtige omstandigheden bestaat uit enkele puntmetingen op de platen. Het ruimtelijk beeld van stroming in de Westerschelde bestaat uit het meten van twee dwarsraaien per jaar en enkele stroombeeldmetingen op specifieke locaties (appendix B). De beschikbaarheid van metingen voor realtime informatievoorziening is nihil totdat de gegevens van de stroommeetboei in het Zuidergat actief worden gedistribueerd.

De uitbreiding van validatiegegevens en de beschikbaarheid van online/realtime informatie is op te lossen, maar vraagt om de inzet van minder conventionele methoden.

- Een eerste oplossing zou de inzet van tijdelijke of mobiele HF radarsystemen zijn, waarmee oppervlakte stroming gemeten wordt. Deze radarsystemen geven een grote ruimtelijke dekking en werken goed tijdens extreme omstandigheden zoals storm of stormachtige omstandigheden, werken continue, zijn nauwkeurig en geven een ruimtelijk beeld van stromingsstructuren en dwarsstromingen. Met één mobiel radar systeem (bestaande uit 2 stations) zouden alle belangrijke locaties roulerend bemeten kunnen worden. Denk daarbij aan locaties zoals het Zuidergat en haveningenangen. Bij voorkeur loopt de inzet van een dergelijk systeem gedurende een heel stormseizoen, maar minimaal gedurende een springtij- doottijcyclus waarbij één van de voorspelde gevaarlijke situaties ook daadwerkelijk optreedt. Uiteindelijk kan de dynamiek van de Westerschelde beter vastgelegd worden zonder de hoge investeringen van meerdere vaste stations. Mobiele radars zijn beschikbaar en in te huren bij fabrikanten zoals Helzel Messtechnik (WERA).
- Een tweede oplossing zou de inzet zijn van informatiebronnen/gegevens die aan boord van commerciële schepen aanwezig zijn. Gedacht kan worden aan bronnen, zoals de AIS informatie en de stromingsinformatie uit Doppler velocity logs. Deze bronnen leveren juist daar informatie waar het nodig is én waar uitleggen van meetinstrumenten vanwege nautische veiligheid niet mogelijk is, namelijk in de vaargeul. De AIS data wordt opgeslagen door het Gemeenschappelijk Nautische beheer van de Schelde en is direct beschikbaar voor RWS. Of de Doppler data

eenvoudig te verkrijgen zijn, is in deze studie niet nader onderzocht.. Het opslaan van deze data in dezelfde database is een voor de hand liggende suggestie.

Aandachtspunten

Aanvullend zijn de volgende aandachtspunten te benoemen uit de inventarisatie:

Gegevens wel aanwezig, maar niet beschikbaar

Het aanbod van en de mogelijkheden tot het aanbieden van stromingsinformatie uit hydrodynamische modellen van de Westerschelde is groot. De vraag naar stromingsinformatie is eveneens groot, maar helaas wordt niet alle beschikbare informatie niet altijd beschikbaar gesteld voor de gebruikers. Dit geldt vooral voor de modelverwachtingen. De loodsen krijgen sinds kort redelijk uitgebreide stromingsverwachtingen, maar een vrij toegankelijke uitgifte van stromingsverwachtingen voor het grote publiek en een grotere groep gebruikers lijkt nog niet aan de orde.

Het ontbreken van inzicht in de werkelijke nauwkeurigheid van de operationele modellen voor stroming in combinatie met de uitspraken van experts dat de berekende stroomsnelheden en –richtingen niet heel nauwkeurig zijn, zullen hiervoor de achterliggende redenen zijn.

Kennisleemte stromingsbelasting en golfbelasting ten gevolge van scheepvaart

Er bestaat nog steeds een gat in de kennis over stromingsbelasting en golfbelasting ten gevolge van scheepvaart. Dit heeft enerzijds te maken met het ontbreken van voldoende validatiegegevens om die kennis mee op te bouwen en anderzijds te maken met het uitblijven van een investering in het kennistraject zelf.

Er zou geïnvesteerd kunnen worden in nieuwe metingen, maar het anders verwerken en ontsluiten van bestaande metingen biedt ook opties. Een aantal voorbeelden hiervan zijn:

- De radar-niveaumeters en de stappenbaken, die door Rijkswaterstaat worden ingezet voor het meten van waterstanden en golven, bevat momenteel al informatie over scheepvaartgolven, maar het verwerkingsprotocol binnen het Landelijk Meetnet Water middelt deze informatie/data weg of markeert deze data als foutief.
- Het gebruik van projectmetingen met ADCP's (en in de nabije toekomst met de ADCP in de boei). Ook in deze data zit stromingen ten gevolge van scheepvaart, maar deze wordt weggemiddeld. Dit geldt overigens niet alleen voor projectmetingen met ADCP's op de Westerschelde, maar ook voor metingen bij meetlocaties op de rivieren, zoals de meetlocaties bij Lobith, Hondbroekse pleij, Haringvlietbrug enz. Om deze data te kunnen analyseren op stroming en golven ten gevolge van de scheepvaart, zal de betreffende dataverwerking die direct is gekoppeld aan de inwinning en distributie via Landelijk Meetnet Water dus anders moeten worden ingesteld.

6 Conclusie en aanbevelingen

6.1 Conclusies

In de Westerschelde is behoefte aan betrouwbare en nauwkeurige waterstands-, golf- en stromingsinformatie. Daarbij zijn de meest prominente doelen: veiligheid tegen overstromingen en een vlotte en veilige doorvaart. Deltares heeft in opdracht van Rijkswaterstaat een inventarisatie uitgevoerd van de huidige informatiebehoefte en -voorziening rondom de Westerschelde ten aanzien van stroming. Tevens zijn kort de mogelijkheden voor alternatieve informatiestrategieën verkent.

Informatiebehoefte:

In deze inventarisatie is naar voren gekomen dat de huidige informatiebehoefte ten aanzien van stroming in de Westerschelde groot is. De informatiebehoefte voor stroming komt onder andere voort uit:

- het onderzoek naar en de evaluatie van de effecten van de derde verruiming van de Westerschelde (onderdeel van LTV programma)
- het begeleiden en beloodsen van scheepvaart
- de bepaling van de morfologische ontwikkeling van de Westerschelde ten aanzien van veiligheid tegen overstroming
- de bepaling van (de ontwikkeling van) de waterkwaliteit en slibhuishouding
- search and rescue, traceren van verloren lading en lozingen en andere calamiteiten.

Voor de scheepvaart en scheepvaartbegeleiding op de Westerschelde is er behoefte aan stromingsinformatie in de vaargeulen in de hele Westerschelde. Er zijn een aantal specifieke interessegebieden waar de situatie onder bepaalde omstandigheden gevaarlijk kan zijn. Dit betreft onder andere de toegang van de havens en het Zuidergat. Op deze locaties is de informatiebehoefte fijne ruimtelijk detail en in sommige gevallen ook over de gehele verticaal. Die informatie moet 24 uur van tevoren beschikbaar zijn en eveneens real time.

Informatievoorziening:

De huidige stromingsinformatie in de Westerschelde is afkomstig uit een combinatie van hydrodynamische modellen én metingen en voldoet volgens RWS voor het uitvoeren van studies en evaluaties. Deltares heeft daarbij echter wel geconstateerd dat de hoeveelheid gemeten data, waarop deze uitspraken gebaseerd zijn, beperkt zijn.

De exacte nauwkeurigheid (prestaties) voor de parameter stroming (stroomsnelheid en stroomrichting) van de huidige verwachtingsmodellen zijn niet bekend. Er zijn indicaties en aanwijzingen vanuit gebruikers dat de stromingsverwachtingen van de modellen Kuststrook Zuid en Scaldis400 niet zouden kunnen voldoen aan de informatiebehoefte om nauwkeurige ruimtelijk dekkende stromingsverwachtingen in de Westerschelde.

Het nieuw beschikbare DCSMv6-ZuNov4, welke onderdeel is van RWsOS Noordzee, zal mogelijk beter kunnen presteren dan de genoemde modellen, maar ook dit model is primair op waterstanden afgeregeld. Er is voor dit model nog geen validatie op stroming uitgevoerd. Tevens is de resolutie van het ZuNov4 mogelijk nog te grof.

De hoeveelheid beschikbare metingen in de Westerschelde is ruimtelijk (over het hele estuarium) en temporeel (gedurende springtij- doortijcyclus en stormen) gezien te beperkt. De beschikbaarheid van metingen voor realtime informatievoorziening is nihil, doordat ruimtelijke metingen alleen op incidentele en laag-frequente basis worden uitgevoerd en de dataaansluiting van bestaande metingen niet actief is. Deze gegevens zijn onontbeerlijk, voor

zowel de trendanalyses, opbouwen van systeemkennis als het valideren van de stromingsmodellen.

6.2 Aanbevelingen

Deltares doet, in volgorde van belang, de volgende aanbevelingen:

1. Het op korte termijn toetsen van de verwachtingsmodellen, en in het bijzonder het nieuwe gekoppelde model DCSMv6-ZuNo v4, met alle beschikbare stromingsmetingen. De prestaties dienen daarbij voor de verschillende modellen eenduidig gedocumenteerd te worden, zodat performance eenvoudig kan worden vergeleken.
2. Breder en actief beschikbaar stellen van meetgegevens en modelverwachtingen via Landelijk Meetnet Water en Matroos, waardoor uitvoering van validatie en evaluaties van modellen vereenvoudigd wordt.
3. Ontwikkelen van een operationeel model gekalibreerd en gevalideerd met stromingsmetingen.
Deltares beveelt de ontwikkeling aan van een *nieuw* operationeel model gekalibreerd en gevalideerd op stroming voor de Westerschelde. Deze modelontwikkeling zou moeten aansluiten op bij de activiteiten die nu uitgevoerd worden voor het beheer en onderhoud van modellen in de Zuidwestelijke Delta, zoals de baseline ontwikkeling van de Zuid Westelijke Delta. Het nieuwe model zou gebruik moeten maken van de NGHS-ongestructureerde roosters. Deze bieden mogelijkheden om de stroming in geulen veel beter te volgen dan de huidige modellen.
RWS Zee en Delta overweegt het operationeel maken van Scalwestfijn2000 (Persoonlijke communicatie Leen Dekker). Dit zou al een grote stap vooruit kunnen betekenen. Dit model is gevalideerd op stroming, maar een verdere kalibratie van dit model met ruimtelijke dekkende validatiegegevens, ook tijdens storm en stormachtige omstandigheden, wordt aanbevolen.
4. Verkenning van het uitbreiden van validatiegegevens met HF radar in twee stappen:
RWS heeft al eens een verkenning heeft gedaan naar inzet van vast opgestelde HF radars in de Westerschelde. Inzet van roulerende locaties met mobiele radars is zover bij Deltares kon nagaan, niet eerder verkend. Als stap 1 adviseert Deltares een traject te starten waarbij naar locaties en kosten van de inzet van een (ingehuurde) roulerende radar gekeken wordt. Bij voorkeur direct gevolgd door een pilot. Als tweede stap in dit traject adviseert Deltares te verkennen of de validatie methodiek van de modellen dient te worden aangepast van raai- en puntgeoriënteerde validatie naar roostergeoriënteerde validatie.
5. Verkenning van het uitbreiden van validatiegegevens van AIS en Doppler-metingen van schepen.
RWS heeft op dit moment een beperkte pilot lopen waarbij naar de inzet van AIS data gekeken wordt voor het afleiden van dwarsstroming. Tevens wordt aanbevolen om een pilot op te zetten waarbij een reder gevraagd data aan te leveren uit de Dopplermetingen van haar schepen. Dit traject zou in eerste instantie eerst verkend kunnen worden op basis van de data en metingen afkomstig van de moederloodsschepen.

7 Literatuur

- [AHA 2011]
Inventarisatie basisgegevens hydraulische modellen, Perceel 4: Zuidwest-Nederland, R. Agtersloot / R. van der Veen, AHA 2011.
- [Boogaard, Schroevers 2013]
Verslag workshop, boot als sensor, december 2012.
- [Buijsman 2007]
Long-term ferry-ADCP observations of tidal currents in the Marsdiep inlet, Maarten Cornelis Buijsman, Herman Ridderinkhof, Journal of Sea Research 57 (2007).
- [Dam 1997]
De vergelijking van HF-radar met andere stromingsgegevens. Dam, G., RIKZ/OS-97.820x. Middelburg: Rijksinstituut voor Kust en Zee, juli 1997.
- [Dam et.al. 2007]
Long term morfological model of Western Schelt Estuary, Dam et. al. 2007, Proceedings of the 5th River, Coastal and Estuarine Morphodynamics conference, 2007, Enschede, the Netherlands, p1077-1084.
- [Decrop et. al. 2010]
Eddy induced cross currents in the Westerschelde estuary: numerical simulation, physical driving mechanisms and navigation assistance, B. Decrop, B De Clercq, J. Vanlede, . Sas.Pianc magazine 138, January 2010.
- [De Klerk, Dekker 2007]
Stroommeting uitloop Schaar van Valkenisse dd 30 maart 2006, De Klerk Dekker memo, 8 januari 2007.
- [ENW 2007]
Technisch Rapport Ontwerpbelastingen voor het rivierengebied, uitgave Ministerie van verkeer en waterstaat, 2007
- [Faber, Heinen 2011]
Informatiebehoefte Totaal LMW, Faber en Heinen, Excelbestand 2011.
- [Jeuken et. al. 2007]
Koploperproject LTV-O&M - Thema veiligheid - deelproject 1 : inventarisatie historische ontwikkeling van de hoogwaterstanden in het Schelde estuarium / C. Jeuken...[et al.]
- [Klein, Kroon 2012]
Vervolgonderzoek buitendijkse maatregelen Westerschelde, Hydromorfologische modellering van natuurherstellende maatregelen, M. Klein en A.Kroon, Svasek 2012.
- [Oste et. Al. 2012]
L. Osté, M. D. Pires, G. Rutten en M. Schroevers, R. Westerhoff. Verkenning ontwikkelingen natte informatievoorziening, Deltares rapport 2012, 1206432-001-ZKS-0001-v5
- [Lipari 2013]
Deelrapport I dwarsstromingen Zuidergat, project instandhouding vaarpassen, G. Lipari, Concept eindrapport, IMDC NV i.s.m. Deltares, Svasek en Arcadis Nederland.
- [Louws 1996]
D. Louws, 1996 Meetplan Drempelmeteringen 1996 Drempel van Hansweert t.b.v. introductie H.F. radar stroommetingen, ZLMD- 96.M.007, februari 1996.
- [Maximova et. al. 2009]
LTV O&M thema veiligheid: deelproject 1. Verbetering hydrodynamisch NEVLA model ten behoeve van scenario-analyse, Maximova, T.; Ides, S.; De Mulder, T.; Mostaert,

- F.(2009), versie 2.0. WL Rapporten, 756_05 Deltares/Waterbouwkundig Laboratorium.
- [Maximova et. al. 2010]
 Vervolgstudie inventarisatie en historische analyse van slikken en schorren langs de Zeeschelde: kalibratie en validatie van het hydrodynamisch 2 dimensionaal numeriek model: pilootstudie Notelaer en Ballooi, Maximova, T.; Plancke, Y.; Vanlede, J.; Mostaert, F. (2010),Versie 2.0. WL Rapporten, 713_21 Flanders Hydraulics Research.
- [Meire et. al. 2008]
 Meire, P. & T. Maris. 2008. MONEOS. Geïntegreerde monitoring van het Schelde-estuarium. Rapport ECOBE 08-R-113. Universiteit Antwerpen, Antwerpen.
- [Nasner et. al. 2002]
 Nasner, H.; Pieper, R.E.; Kuhlenkamp, H. (2003). Current measurements in the Westerschelde: September and October 2002. Institut für Wasserbau: Bremen. 29 + appendices pp.
- [Plancke et. al. 2008]
 Plancke, Y.; Ides S.; Peters J. J. (2008). Determinatieonderzoek plaatrandstortingen – Deelrapport 1. WL Rapporten, M791/06. Waterbouwkundig Laboratorium. Borgerhout, België
- [Nolte 2011]
 Natuurherstel in de Westerschelde: De mogelijkheden nader verkend; Rapport 1204087-000-ZKS-0030; auteur A.J. Nolte e.a., Mei 2011.
- [Plancke et. al. 2012]
 Monitoring of physical parameters within the scope of the Dutch-Flemish integrated monitoring program, Plancke, Y.; Vanlierde, E.; Taverniers, E.; Mostaert, F. (2012) in: (2012). Hydraulic Measurements and Experimental Methods 2012 Conference (HMEM 2012), Snowbird, Utah, August 12-15, 2012
- [Raad van de scheepvaart 2006]
 Uitspraak van de Raad voor de Scheepvaart inzake de scheepsramp op 20 september 2005 waarbij het Qatarees containerschip "Fowairet" op de Schelde, tijdens het opstomen naar Antwerpen, aan de grond raakte. Bijlage bij Staatscourant.
- [Jansen 1997]
 Bouw en validatie TRISCAL Een 3D-model van de Westerschelde, t.b.v. project verdieping, Rapportage Activiteit B, Maarten Jansen, Svasek 19977
- [Jansen 2002]
 Verbeteren Scalwestmodel, Bouw Scalwest 2000 eindrapport deel II, Royal Haskoning, M. Jansen, 2002.
- [RIKZ 2003]
 Weten wat te meten, Evaluatie Landelijke Fysische Monitoring. Rapport RIKZ/2003.053
- [RWS 1994]
 Presentatie 2D-waterbewegingsmodel Scaldis400 van de Westerschelde en de Schelde, RWS-Zeeland, Rapport nr. AX 94.072
- [RWS WD 2012]
 Jaarplan informatievoorziening hoofdwatersysteem 2013, 19 september 2012, RWS WD.
- [Schrijver, Plancke 2008]
 Schrijver M., Plancke Y. (2008). Uitvoeringsplan MONEOS-T 2008 - 2018. Rapport MONEOS-T-2008-033 /WL2008R791-3_1ref1_0. Rijkswaterstaat Zeeland, Middelburg, Waterbouwkundig Laboratorium, Borgerhout.
- [Schrijver, Westende 2011]

- Schrijver M. , J van het Westende 2011, Stroommeting Put van Borssele. Rijkswaterstaat Zeeland, Meetadviesdienst. Rapportnr. 0542S/ZHHW-2011-10, Middelburg, oktober 2011
- [Schroevens 2011]
Measuring Ship induced waves and currents on a tidal flat in the Western Scheldt Estuary, Schroevens, 2011, Currents, Waves and Turbulence Measurement Techniques conference, IEEE, Monterey, 2011.
- [Schroevens et. al. 2012]
Automated discharge measurements from a car ferry on the river Meuse, R Schroevens, H. Verheij, J.Tekstra, R. van der Veen, J. Eij, Hydraulic Measurements and Experimental Methods Conference 2012, EWRI, Snowbird, USA 2012.
- [Schroevens 2013]
M. Schroevens, Informatievoorziening Maas- en Eurogeul 2030, Deltares rapport 2013, 1205545-000-ZKS-0003-v1.
- [Schroevens, Sumihar, Gaytan 2013]
M. Schroevens, J.H. Sumihar, S. Gaytan Aguilar, Assessment Zealand water level measurement network, Deltares rapport 2013, 1206179-000-ZKS-0002-v1
- [SeaDarq 2009]
Depressie metingen in de Westerschelde met SeaDarQ. Jan Kleijweg, Jos van Heesen, April 2009, SeaDarQ BV.
- [Simona-DCSMv5 2009]
Beschrijving Modelschematisatie simona-DCSM-1998-v5, versie 2009-1, RWS-Waterdienst Deltares 2009.
- [Simona-KustZuid2009]
Beschrijving Modelschematisatie simona-kustzuid-2004-v4, Versie 2009-01. RWS-Waterdienst Deltares 2009.
- [Simona-Scalwest fijn 2009]
Beschrijving Modelschematisatie, simona-scalwest-fijn-2000-v1, Versie 2009-01, RWS-Waterdienst Deltares 2009.
- [VanBracht 2001]
M.J. Van Bracht, Made to measure, Information requirements and Groundwater level monitoring networks, phd thesis, TNO, 2001
- [vanDuren 2009]
Metingen stroomsnelheden platen van Ossenis, metingen in ondiep water en intergetijdegebieden, Deltares rapport Z4574, 2009.
- [Vermeulen, Behrens 2007]
Vermeulen, Behrens, Informatiebehoefte stromingen Rijkswateren, HKV 2007.
- [Vereecken 2011]
MONEOS - jaarboek monitoring WL 2011, Overzicht monitoring hydrodynamiek en fysische parameters zoals door WL in 2011 in het Zeescheldebekken gemeten, Vereecken, Vanlierde, Taverniers, Mostaert, waterbouwkundig Laboratorium
- [Wang et. al. 2005]
Driedimensionaal modelleren van de waterbeweging en slibtransporten in het Beneden-Zeeschelde estuarium : hydrodynamisch modelleren / Zheng Bing Wang, Theo van der Kaaij en Marc Sas, Z3824-20Delft : WL | Delft Hydraulics, 2005 (juli)
- [WERA 2008]
WERA site planning NL Westerschelde, Helzel 2008.

A Overzichtstabel informatiebehoefte

De in deze tabel genoemde waarden ten aanzien van de eisen voor uitval en onzekerheid zijn niet allemaal genoemd bij de gebruiksdoelen. Deltares heeft een aantal getallen ingevuld als schatting (soms aangescherpt ten opzichte van het jaarplan IV). Deze zijn gemarkeerd met een *. Informatiebehoefte voor "Vorbereiden, volgen en evalueren van menselijke ingrepen" (doel 13) en "Grote projecten" (doel15) gelden dezelfde wensen als voor doel 3 en 10 gecombineerd.

	Gebruiksdoel Doel	Specifiek gebruiksdoel	Specifieke informatie	Locaties	Leverings-frequentie	Freq.	uitval per incident	uitval p.jaar.	Maximale Onzekerheid	Huidige bron Alternatief
1	Vastleggen karakteristieken watersysteem		a.Stroming	Gehele Westerschelde	Achteraf	Dag	1 week	10%	5-10%	Modellen, radarmetingen ScheepsDoppler
			b.getijvolumes 13 uur	Raaien	Eens in de 4 jaar	1 min*	10 min*	10%	5%*	Scheepsmetingen
2	Bepalen hydraulische randvoorwaarden		Extreme getijvolumes	Gehele Westerschelde	Achteraf	Uur	10 min*	?	5%*	Modellen
			Getijvolumes storm	Gehele Westerschelde	Achteraf	Uur*	10 min*	?	5%*	Geen Meten
3	Internationale verplichtingen en afspraken	Lange Termijn Visie (LTV) Schelde Estuarium	a.Getijvolumes	14 raaien	om de 4 jaar	1 min	10 min	1 p.j.*	5-10%	Metingen
			b.Stroming platen	Hooge platen Noord, Hooge platen West, Plaat van Ossensisse, Plaat van Valkenisse, Plaat van Walsoorden, Plaat van Baarland	Jaarlijks	10 min	24 uur*	?	10%*	Punt metingen HF radar metingen
	"	Kaderrichtlijn Water	Afvoeren	Westerschelde, Bathse Spuikanaal, Kanaal Gent-Terneuzen.	jaarlijks	dag	Best effort	Best effort	Best effort	Modellen, spuicoëfficiënten
	"	OSPAR ICES	Afvoeren	Westerschelde, Bathse Spuikanaal, Kanaal Gent-Terneuzen.	jaarlijks	dag	Best effort	Best effort	Best effort	Modellen en spuicoëfficiënten
	"	Kaderrichtlijn Marien	geen	-	-	-	-	-	-	-
4	Kustlijnhandhaving		geen	-	-	-	-	-	-	-
5	Interpreteren van gegevens van andere landelijke monitoring-programma's		a. Getijvolumes	op meerdere raaien op de Westerschelde	Achteraf, maand	Dag	?	?	5 %*	Modellen
			b.Afvoeren van en naar België:	Antwerpse kanaal, Bathse Spuikanaal, Terneuzen	Achteraf, maand	Dag	?	?	5-10%	Modellen spuicoëfficiënten

	Gebruiksdoel Doel	Specifiek gebruiksdoel	Specifieke informatie	Locaties	Leverings- frequentie	Freq.	uitval per incident	uitval p.jaar.	Maximale Onzekerheid	Huidige bron Alternatief
6	Beheer en toetsing van waterkeringen	Ontwerp geulwanden	Stroming	ontwerplocatie					5-10%	Modellen en scheepsmetingen
7	Informatie voor berichtendiensten	SVSD	Onderliggende parameter voor waterstanden	Gehele Westerschelde (missiekritisch)	On-line	10 min	12 uur	2 p.j.	5-10%	Modellen
	"	Calamiteiten	Oppervlakte-stroming	In zoekgebied	Binnen uur*	10 min	0*	0*	5%*	Modellen (niet nauwkeurig) radarmetingen
8	Ondersteunende variabele bij het meten van afvoeren en bodemligging	-	geen	-	-	-	-	-	-	-
9	Bepalen vrachten van verontreinigingen en sedimentlast		Afvoeren	Antwerps kanaal Vlissingen	Achteraf	dag	Week*		5-10%	Modellen spuicoëfficiënten
10	Onderzoek en modellen		a.Getijvolumes b.Afvoeren c.Stroming geulen 13 uur d.Stroming platen	14 raaien Antwerpse kanaal, Bathse Spuikanaal, Terneuzen, Schelde, Netes, Zenne, Dijle 14 raaien + Zuidergat Zie 3	Achteraf Achteraf Achteraf Achteraf	Uur* Uur* 10 min* 10 min*	Uur* week* uur* 24 uur*	1 p.j. * ? 1 p.j.* ?	5%* 5-10% 5%* 10%*	Metingen Modellen en spuicoëfficiënten scheepsmetingen HF radar metingen ScheepsDopplers Puntmetingen
11	Regionale/lokale informatie-voorziening	Scheepvaart	Actuele stroming Verwachte stroming	Wielingen 7, Sloehaven, Drempel van Borselle, Braakmanhaven, Terneuzen Hansweert, Zandvliet 45 locaties vanaf de Noordzee	Elke minuut Elke 6 uur	10 min 10 min	3-6 uur* 2 dagen, back up met astro	2 p.j. ?	25 cm/s Wens: 25 cm/s	Modellen en puntmetingen HF radar metingen Modellen Nieuwe generatie
	"	stroomatlas	Stroming op springtij, doodtij en gem.	Gehele Westerschelde	1 maal per 5 jaar	uur	0	0	Wens: 25 cm/s	Modellen Nieuwe generatie

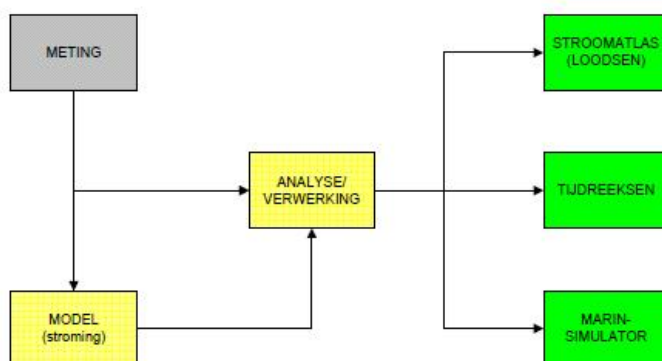
12	Operationeel waterbeheer		Afvoeren	Antwerpse kanaal, Bathse Spuikanaal, Terneuzen, Schelde, Nete, Zenne, Dijle	10 min.	10 min.	1 week	?	5-10%	Modellen en spuicoëfficiënten
14	Emissie-immissie		Zie 12	"					"	"

B ADCP-stroommetingen RWS Zee en Delta, Zeeland

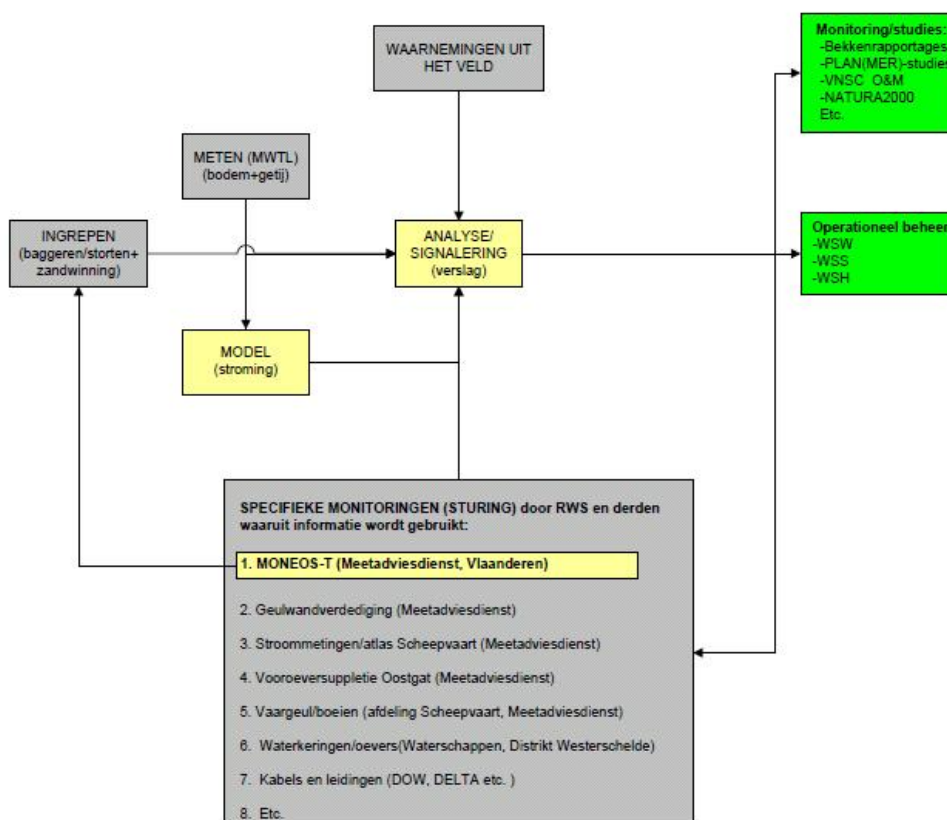
B.1 Werkschema en doelen ADCP metingen bij RWS Zee en Delta, Zeeland.

Bron: Leen Dekker RWS Zee en Delta

STROOM-METINGEN/ATLAS SCHEEPVAART



SIGNALERING= 1e LIJNS-GEBIEDSDEKKENDE-MONITORING VAN BODEM+GETIJ WESTERSCHELDE (systeem/macro/meso-schaal)



B.2 Overzicht ADCP-stroombaanmetingen ten behoeve van scheepvaart.

Bron: Leen dekker, RWS Zee en Delta.

nr.	locatie	datum	Literatuur	Opmerking
1	Pas van Rilland	26-4-2002	Lit.. 1	
2	Overloop van Hansweert	21-1-2003	Lit. 2	
		2-3-2006		
		1-9-2011		afwijkend raaienstelsel
3	Pas van Baarland	29-9-2003	Lit. 2	
4	Nauw van Bath (drempel van Valkenisse)	13-10-2003	Lit. 2	
5	Wielingen Zuid	27-10-2003	Lit. 2	
6	Sloehaven-van Cittershaven	29-10-2003	Lit.3	
7	Nauw van Bath (boei 75-75a)	8-3-2004	Lit. 2 & 4	aanvaring Pelican
8	Buitenhaven Vlissingen	12-3-2004	Lit.. 5	vaartraject fietsvoetveer
9	Zuidergat	5-10-2005	Lit. 6	stranding Fowairet
		19-10-2005		stranding Fowairet
		2-3-2006	Lit. 7	stranding Fowairet +ADCP-puntmeting thv boei 49 en 53
		30-3-2006	Lit. 7	stranding Fowairet
		9-9-2006		+OSM-puntmeting t.h.v. boei 51 en 51-53
		21-2-2007		eb+vloedmeting
		6,7,8-4-2008		vloedmeting (dwarsstroomwaarschuwing)
		2008-2013		calamiteitmeting (dwarsstroomwaarschuwing)
10	Uitloop Schaar van Valkenisse	30-3-2006	Lit. 8	
		20-3-2007	Lit. 8	
		2-3-2010	Lit. 8	
11	Braakmanhaven	6-11-2006	Lit.9	
12	Westbuitenhaven Terneuzen	21-3-2007	Lit.. 10	
13	Monding Sloehaven	18-10-2008		sluit aan op Sloehaven-van Cittershaven (volg nr. 6)
14	DOW-steiger	15-4-2010		

Lit. 1 Stroombeelden Pas van Rilland/Actualisering stroomatlas HP15, memo 10 september 2002

Lit. 2 Stroomatlas/stroommetingen Westerschelde tbv scheepvaart, memo 10 augustus 2004

Lit. 3 Stroommeting Sloehaven-van Cittershaven, memo 16 augustus 2003

Lit. 4 Hydraulisch/morfologische verkenning mbt de aanvaring/near misses Nauw van Bath, memo 1 september 2004

Lit. 5 Stroommeting buitenhaven Vlissingen dd 12 maart 2004, memo 19 april 2004

Lit. 6 Presentatie getij- en bodemanalyse mbt stranding Fowairet dd 20-9-2005, presentatie 1 februari 2006

Lit. 7 Bass032/06, 24 april 2006

Lit. 8 Stroommeting uitloop Schaar van Valkenisse, memo 8 januari 2007

Lit. 9 Stroommeting Braakmanhaven, memo 23 november 2006

Lit.10 Stroommeting Westbuitenhaven Terneuzen, memo 10 april 2007