

Memo

Aan

Jurre De Vries / Ernst Lofvers

Datum

31 oktober 2022

Ons kenmerk

11208040-003-ZKS-0002

Aantal pagina's

1 van 15

Contactpersoon

Jasper Dijkstra

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 7917

E-mail

Jasper.Dijkstra@deltares.nl

Onderwerp

Dataontsluiting en meet- & monitoringbehoefte morfologie Waddenzee

1 Inleiding

Het hoofddoel voor de Waddenzee zoals vastgesteld in de Agenda voor de Wadden 2050 is een 'duurzame bescherming en ontwikkeling van de Waddenzee als natuurgebied en behoud van het unieke open landschap'. Volgens de Structuurvisie Waddenzee is het doel specifiek met betrekking tot morfologie geformuleerd als: "Zo natuurlijk mogelijke ontwikkeling van waterbewegingen en de hiermee gepaard gaande geomorfologische en bodemkundige processen."

In het Waddengebied wordt door Rijkswaterstaat, maar ook door andere partijen, veel gemeten op het gebied van hydrodynamiek, waterkwaliteit en bodemeigenschappen om te informeren over de toestand en trends van de Waddenzee in relatie tot de gestelde beheersdoelen en kennisleemtes. Tot een aantal jaar geleden ontbrak daarin de benodigde samenhang. Daarom hebben de beheerders in 2015 afgesproken een gezamenlijke Basismonitoring op te zetten. De ambitie is om de huidige monitoring uit te laten groeien tot een integrale en systeemgerichte Basismonitoring die snel kan aansluiten bij nieuwe ontwikkelingen en vragen of wensen van de gebruikers. Het doel van Basismonitoring Wadden is drieledig:

1. De beheerder helpen bij de uitvoering van zijn taken door inzicht te geven in de toestand en trends;
2. De monitoring omvormen van een op vergunningverlening en uitvoering van wettelijke taken gerichte monitoring, naar effectieve en efficiënte systeemgerichte monitoring;
3. Het toegankelijk maken van alle beschikbare informatie en monitoringgegevens over het Waddengebied, waardoor de gebruiker zicht heeft op het volledige Waddensysteem.

Van belang hiervoor zijn zowel een integrale, systeemgerichte monitoringsopzet, overeenstemming over de juiste indicatoren, als een goede ontsluiting van de data voor de verschillende gebruikers – beleidsmakers, beheerders, gebruikers, NGO's, onderzoekers en adviseurs. Om het beleid aangaande de Waddenzee beter te evalueren stelt het Kernteam Basismonitoring analysedocumenten op, waarin volgens onderstaand stramien voor elk sleutelaspect wordt onderzocht of de huidige monitoring voldoende is om de beleidsdoelen te evalueren, en hoe dit verbeterd kan worden.

Fase 1 - de wens & het conceptuele model

A. Bepalen van de informatiebehoeften vanuit beheer- & beleidsdoelen.

B. Welke zijn meetbare omschrijvingen van die behoeften?

C. Welke zijn geschikte indicatoren om vast te stellen in welke mate de doelen zijn gerealiseerd?

Fase 2 – het wat

A. Wat wordt er al gemeten?

<i>Fase 3 – het hoe</i>	B. Wat moet er nog worden gemeten? A. Hoe meet je de parameters voor 2.B?
<i>Fase 4 – het advies</i>	B. Zijn die te integreren in bestaande c.q. zijn er aanvullende meetprogramma's nodig? A. Wie gaat er wat meten, waar en wanneer (ruimte en tijdschaal)? B. Wat zijn de kosten?
<i>Fase 5 – het vervolg & de implementatie</i>	C. Vooroverleg met monitoringexperts vanuit de betreffende beheerder. A. Het advies wordt doorgeleid naar de verantwoordelijke(n) bij de betreffende beheerder. B. De beheerder geeft een onderbouwde reactie van hetgeen er met het advies is gedaan.

Bovenstaand proces van inventariseren van een behoefte, ontwikkelen van indicatoren, het uitvoeren en ontsluiten van de juiste metingen en het mét diverse stakeholders evalueren van zowel de toestand van het systeem, de kennis over het systeem (in relatie tot menselijk handelen) als de functionaliteit van de monitoringopzet is cyclisch van aard.

Het analysedocument '[Basismonitoring en morfologie](#)' (Mulder & Lofvers, 2019) heeft al de informatiebehoefte voor het sleutelaspect abiotiek vanuit beheer- en beleidsdoelen geïnventariseerd, bepaald wat bruikbare indicatoren zijn en vastgesteld wat er al gemeten wordt (dus Fase 1 en Fase 2a). Deze analyse heeft onder andere geleid tot het maken van de Digitale Systeemrapportage (DSR; www.teststeststestrapportage.nl/wadden); een online platform dat veel momenteel beschikbare continue monitoring (geen project) data m.b.t. hydrodynamiek, morfologie, fysische waterkwaliteit en (in 2023) menselijke ingrepen toegankelijk maakt voor een brede groep gebruikers. Een testversie van deze DSR is in het najaar van 2022 ter voorlegging aan een brede groep gebruikers om te evalueren hoe de functionaliteit en de data aansluiten bij de behoeften van deze gebruikers ('use case') (memo Deltares, 2022).

Voorliggend memo borduurt daarop voort door vanuit de doelstellingen te inventariseren wat er nog meer gemeten en/of ontsloten zou moeten worden en hoe dit gedaan zou kunnen worden (Fase 2b en 3). Daaruit volgt in dit memo een eerste advies (Fase 4a) over welke acties (metingen, ontsluiting) het meeste nut en/of prioriteit hebben. Besluitvorming over wat er daadwerkelijk gemeten gaat worden, door wie, en welke kosten daar aan verbonden zijn, is een volgende stap in het proces van het invullen van een effectieve morfologische monitoring. Daarbij dient ook opgemerkt te worden dat hier alleen de abiotische monitoring behandeld wordt, en niet ook de biotische terwijl deze voor het verbeteren van systeemkennis en het evalueren van beleidsdoelen juist in samenhang beschouwd moeten worden.

2 Fase 1 Aanscherping van de behoefte

2.1 Hoofddoel van de metingen

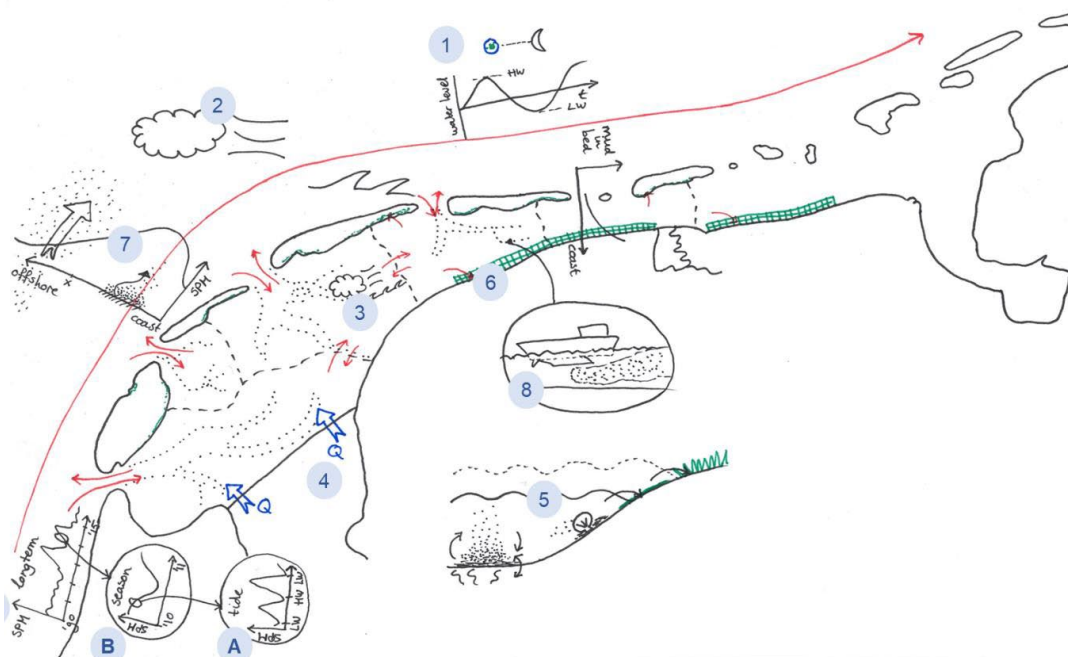
In de basis is de behoefte aan meet- en monitoringsdata tweezijdig:

- Om de toestand en trends van de Waddenzee te kunnen evalueren. Dit is informatie voor wettelijke taken die direct informeert over het halen van operationele doelen.
- Om de systeemkennis te verbeteren die nodig is voor het formuleren en aanscherpen van tactische en operationele doelen. Dit is informatie die onderzoekers in staat stelt processen van belang voor biotische en abiotische processen beter te doorgronden, en modellen die kennis bundelen en beter kunnen informeren over effecten van ingrepen en relatieve zeespiegelstijging beter te valideren/calibreren. Deze systeemkennis is ook nodig om de effecten van menselijk handelen op zowel de korte

als lange termijn beter in te kunnen schatten, en om te bepalen hoe bepaalde doelen behaald kunnen worden.

2.2 Het Waddensysteem in het kort: welke processen en indicatoren zijn informatief?

Over de werking van het Waddensysteem is al veel geschreven, bijvoorbeeld in de recent uitgekomen brochure 'Morfologische veranderingen' (De Leeuw, 2020) en dat behoeft geen herhaling. Omdat een juist begrip van de belangrijkste processen, indicatoren voor abiotiek en hun samenhang wel nodig zijn voor een juist begrip van dit memo volgen hier twee korte schetsen; een ruimtelijke en een stroomdiagram.



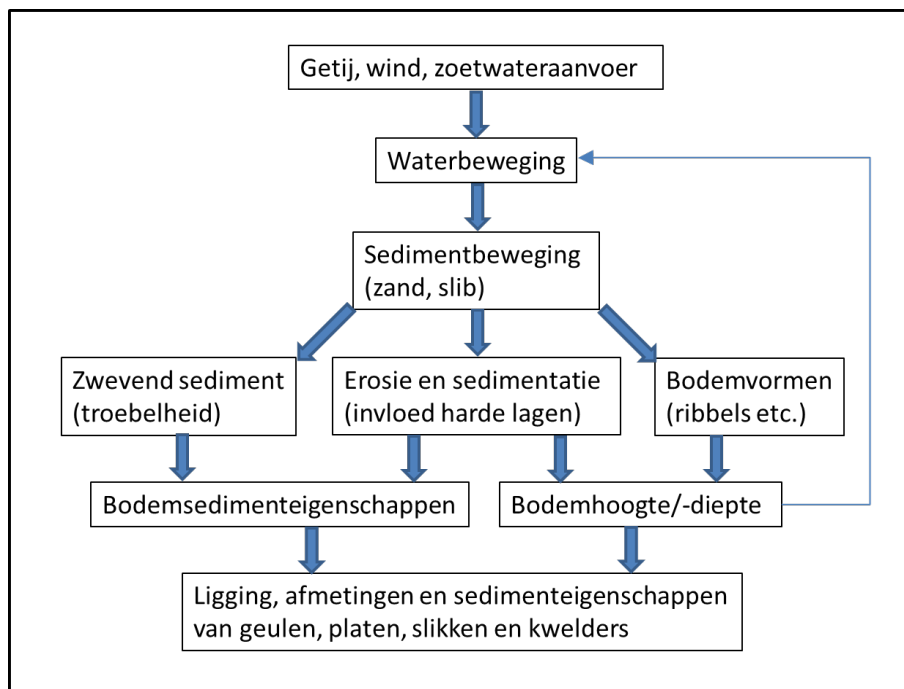
Figuur 1 Schematisch overzicht van de belangrijkste processen die van invloed zijn op de hydrodynamiek en de dynamiek van sediment in de Waddenzee (Herman et al, 2018). Hoewel deze figuur ontwikkeld is in een rapportage over slib, zijn deze processen ook van toepassing op zandige morfologie, waarbij opgemerkt moet worden dat daarvoor ook duinvorming/afslag (aan de Noordzezijde) een belangrijk proces is wat in deze figuur ontbreekt.

Het conceptueel model voor sedimentdynamiek (Figuur 1) heeft drie tijdschalen (kort, middel en lang) en drie invloedsfactoren (hoeveelheid sediment, sedimenteigenschappen en hydrodynamica) voor de sedimentdynamiek:

- Op de korte tijdschaal (uren tot dagen, A) wordt de sedimentdynamiek (erosie, transport en depositie) gedomineerd door de hydrodynamica (1: getij; 2: windsterkte en -richting; 3: golven), gegeven de aanwezige hoeveelheid sediment (concentratie zwevende stof) en de eigenschappen hiervan.
- Op de middellange tijdschaal (weken tot enkele jaren, B) kunnen de hoeveelheid en eigenschappen van sediment gaan variëren door fysische (onder andere 4: aanvoer zoetwater, wat samen met de temperatuur op korte tijdschaal ook sediment transporterende dichtheidsstromen beïnvloedt) en biologische invloeden (5) en hierdoor neemt de complexiteit toe.

□ Op de lange tijdschaal (vele jaren C) komt hier nog de interactie met morfologische ontwikkeling (onder andere 6: de uitbreiding van kwelders) bij. Ook is het aanbod van sediment vanaf de Noordzee (7) niet constant, en staat het systeem onder invloed van zeespiegelstijging. Zo ontstaat een dynamisch evenwicht. Er is overigens geen duidelijk causaal verband aangetoond tussen trends in het SPM van de Noordzee en trends in de Waddenzee. Binnen beide systemen is er wel samenhang, wat suggereert dat er ruimtelijk grootschalige fenomenen aan ten grondslag liggen, maar tussen beide systemen zijn de fluctuaties verschillend.

Menselijke activiteiten (8) zoals bagger- en stort werkzaamheden acteren op verschillende tijdschalen: lokale vertroebeling kan een direct, kortdurend gevolg zijn van werkzaamheden, maar diepere of anders georiënteerde geulen beïnvloeden de hydrodynamica en zouden daarmee ook transporten en concentraties blijvend kunnen veranderen. Het blijkt vooralsnog niet mogelijk om veranderingen in slibconcentraties in de waterkolom en in de wadbodem van de Waddenzee op de lange (decennia) en middellange termijn (jaren) te koppelen aan specifieke gebeurtenissen of ingrepen. Ook is geen duidelijk verband gevonden met gedocumenteerde slibbronnen zoals zandwinning, storten van havenslib en dergelijke.



Figuur 2 Stroomdiagram van de werking van het hydromorfologisch systeem.

Figuur 2 geeft in de basis dezelfde processen weer in een stroomdiagram wat de onderlinge invloeden duidelijker maakt. Bovenaan staan de aandrijvende krachten, onderaan de resulterende morfologie. Daar tussen in de transportprocessen en de terugkoppeling die deze met elkaar verbinden. De tijdschaal loopt op van boven naar beneden.

Bovenstaande illustreert uitsluitend de abiotiek, waar dit memo over gaat. In de praktijk is, geredeneerd vanuit systeembekendheid en beleidsdoelen ook de biotiek van belang. Immers, veel beleidsdoelen betreffen de aanwezigheid van bepaalde soorten zoals zeegras of vogelsoorten, waar de omgeving een voorwaarde voor is. Andersom beïnvloeden biota als biobouwers (denk aan mossel- en oesterriffen) hun omgeving. Het zijn geen gescheiden systemen.

Vanwege de hierboven geïllustreerde schalen en de koppeling daartussen, alsmede vanwege de link met de biotiek, dient monitoring, maar zeker ook de interpretatie van de metingen, plaats te vinden over de verschillende tijd- en ruimteschalen. Anders kan immers geen compleet beeld gevormd worden.

2.3 Werkwijze: bevragen gebruikersgroepen, experts in aanvulling op eerdere inventarisaties

Om de meet & monitoringbehoefte zo breed mogelijk, vanuit verschillende gebruikersgroepen, te identificeren is gebruik gemaakt van onderstaande bronnen:

- Ervaringen uit de evaluatie van de Digitale Systeembronportage (DSR) (memo Deltares, 2022): welke data is er al wel, hoe goed is de kwaliteit (nauwkeurigheid, frequentie), hoe dekkend is het en hoe goed is het beschikbaar? Zijn dit de juiste indicatoren, of is er noodzaak deze aan te passen en waarom? Feedback van gebruikers (o.a. Rijkswaterstaat, Waterschappen, Deltares, NGO's) geeft inzicht in wat er nog mist aan data of ontsluiting vanuit de gebruikers. Vooral -maar niet uitsluitend- gericht op operationele doelstellingen.
- Gericht bevragen van experts bij Deltares en TUDelft: Bas van Maren (slib), Bart Grasmeijer, Edwin Elias (morfologie), Firmijn Zijl en Jelmer Veenstra (hydrodynamica), Peter Herman (breed; relevantie voor biotiek), Bram van Prooijen (slib). Vooral -maar niet uitsluitend- gericht op kennisontwikkeling.
- Memo 'Voorstel nieuwe metingen slibhuishouding Waddenzee' (Dankers et al., 2019) in het kader van KPP slib.
- 'Wadden in Beeld 2019 – Signalen vanuit het beheer' (publicatie vanuit Basisonderzoek Wadden). Overzicht van te meten componenten, relevantie en of deze al wel of niet voldoende structureel gemonitord worden.
- 'Analysedocument Basisonderzoek en morfologie' (Mulder & Lofvers, 2019)

3 Fase 2A-II Ontsluiting bestaande data

In het analysedocument van Mulder & Lofvers (2019) en Wadden in Beeld is al een eerste inventarisatie van voornamelijk beschikbare structureel bemeeten data gemaakt (Fase 2A-I), die wordt hier niet herhaald. Omdat is gebleken dat buiten deze structurele, veelal goed ontsloten monitoring, ook veel minder bekende of toegankelijke metingen op projectbasis plaatsvinden, is hier (Fase 2S-II) geïventariseerd welke metingen niet goed ontsloten zijn en wel bij zouden kunnen dragen aan het invullen van de in hoofdstuk 2 geïdentificeerde behoefte. Dit zijn vaak metingen op slechts één of enkele punten in de Waddenzee, projectmetingen of metingen met een oorspronkelijk doel dat niet direct de morfologie betreft. Door de vaak beperkte ruimtelijke schaal maar hoge meetfrequentie geven deze metingen inzichten op korte tot middellange tijdschaal. Daarmee zijn ze bij uitstek relevant voor het verbeteren en valideren van proces gebaseerde modellen die effecten van ingrepen kunnen laten zien. Veel bestaande structurele metingen, zoals bijvoorbeeld vaklodingen, waterstanden en saliniteit in het MWTL (Monitoring Waterstaatkundige Toestand des Lands) programma zijn inmiddels al wel goed ontsloten via de DSR, en geven vooral informatie over grootschalige en langjarige veranderingen maar niet voldoende over de onderliggende processen.

Voor veel bestaande metingen -zowel de hieronder genoemde als goed ontsloten data zoals MWTL- geldt ook dat een regelmatige controle en tussentijdse analyse van groot belang is om tijdig inconsistenties te registreren en verhelpen. Zulke inconsistenties kunnen het gevolg zijn van bijvoorbeeld een verkeerde calibratie, een nieuw instrument of meetprocedure of biofouling.

3.1 Continue, hoogfrequente metingen

- **Meetpaal Eemshaven:** Bij de Eemshaven wordt sinds 2015 continu troebelheid gemeten op één vaste hoogte boven de bodem op de zgn. Stroommeetpaal Eemshaven. De validatie van de ruwe data moet nog plaatsvinden. Een duidelijk kader voor deze metingen ontbreekt,

maar de voortgang is momenteel gewaarborgd binnen RWS-CIV. In de Eems staan ook Duitse meetpalen: Knock en Pogum.

- **Meetpalen Holwerd-Ameland:** Sinds juli 2022 zijn er twee meetpalen geplaatst bij de vaargeul Holwerd – Ameland om het slibgehalte te meten. De paal bij het Dantziggat wordt jaarlijks verplaatst voor inzicht in ruimtelijke verschillen in sedimentconcentraties in het Borndiep.
- **TESO metingen:** ADCP data (snelheden en sedimentconcentraties) wordt ingewonnen in het Marsdiep. Bij navraag aan het NIOZ blijkt dat de ruwe data van na 2010 niet meer verwerkt is. Het verwerken van deze data zou heel nuttig zijn met het oog op modelvalidatie (zoals in Duran-Matute et al., 2014).
- **NIOZ steiger:** Metingen saliniteit lange termijn, (nog) niet openbaar beschikbaar.
- **Kleinere zoetwaterafvoeren:** Worden nu beter ontsloten via Datahuis Wadden.

3.2 Metingen over grotere arealen

- **SIBES (Basismonitoring Wadden):** Metingen sinds 2004. Bodemsamenstelling top 4 cm sediment litoraal, op veel locaties (meer dan 6000 punten) maar mogelijk niet overal bodemsamenstelling. Nog niet alle monsters zijn/worden geanalyseerd. Er zijn ook sublitorale metingen (SUBES). Aan de ontsluiting wordt gewerkt door WMR.

3.3 Projectmetingen

- **Slibmotor Koehoal:** Projectmonitoring gedurende aantal jaar (ca 2016-2020). Verschillende samenhangende metingen water en sediment (litoraal en kwelder), met hoge dichtheid in ruimte en tijd.
- **Kustgenese 2.0 & Seawad:** Projectmonitoring gedurende aantal jaar. Samenhangende metingen sediment en water in het zeegat van Ameland en op het wantij. Het transport over het wantij is gericht op zand maar vanuit KRW Waddenzee is juist het transport van slib over het wantij van belang. Evaluatie van het meetprogramma wordt verwacht. Primair gericht op waterbeweging en zandtransport, ook inzichten in slib en inzichten in de toepasbaarheid van de verschillende meettechnieken (bijv. aanbevelingen voor ijking OBS-en, zodat onderscheid zand en slib mogelijk wordt). Opvallend hierbij is dat de eerste resultaten hebben laten zien dat het niet is gelukt om gekalibreerde SSC metingen te krijgen, ook bij metingen in de Boontjes is dit niet gelukt. De geleerde lessen moeten worden verzameld.
- **Vaargeul Holwerd-Ameland en omgeving:** Gegevens beschikbaar van bagger- en stortwerkzaamheden. Daarnaast worden hier extra ladingen uitgevoerd en zijn er twee meetcampagnes van een maand geweest om de effecten van de aanleg van een bochtafsnijding te monitoren. Het gaat daarbij om stroomsnelheden, debieten (13-uursmetingen), sedimentbemonsteringen van bodem en waterkolom.
- **Meetprogramma Eems-Dollard (binnen Programma ED2050):** Uitgebreid meetprogramma met 8 schepen en verschillende frames gedurende twee dagen (1x zomer en 1x winter) op verschillende locaties in het estuarium. Frames met verschillende apparatuur hebben 2x 1 maand gemeten. Metingen nodig voor systeembegrip en modelverbetering. Eerste evaluatie en onderzoeksresultaten beschikbaar m.b.t. (on)mogelijkheden apparatuur en toegevoegde waarde van dit type metingen.
- **Marconi:** projectmonitoring van de pionierkwelder bij Delfzijl. Gericht op meten van aanslibbing met SED's en SEB's (voor hoogfrequente bodemveranderingen binnen een getijperiode; te koppelen aan bijvoorbeeld het optreden van stormen of biologische seizoensdynamiek) en vegetatie en hoogte opnames met LIDAR/Drones.
- **Musa:** samenwerking tussen Deltares, baggeraars, Waterproof, Arcadis en Royal HaskoningDHV, onderzoek naar erosie en sedimentatie van zand-slib mengsels.

Mogelijk ook relevant:

- Westgat (rapport metingen Tommer Vermaas)

Tabel 1 Bestaande maar slecht ontsloten metingen, per parameter

Parameter	Project	Opmerking
Waterstanden	NVT	Geen projecten die waterstanden beter meten dan huidige structurele monitoring.
Stroomsnelheden en debieten	Vaargeul Holwerd-Ameland	
	TESO Marsdiep	
Golven	Slibmotor Koehoal	Litoraal en kwelder, periodes in 2016-2020
	Marconi (Delfzijl)	Op aangelegde kwelder, periodes 2018-2022
	Meetpaal Eemshaven	Sinds 2015
Saliniteit	NIOZ steiger Texel	Lange permanente reeks op vast punt
	Kustgenese 2 en Seawad (Ameland)	
	Meetprogramma Eems-Dollard	Frames en 8 schepen langs gradiënt, 2 dagen in zomer en winter
Kleine zoetwaterafvoeren	Door verschillende waterschappen langs hele Waddenzee	Nu ontsluiting via Datahuis Wadden/DSR
Troebelheid/SSC/Sedimentsamenstelling	Meetprogramma Eems-Dollard	Frames en 8 schepen langs gradiënt, 2 dagen in zomer en winter
	MUSA (Holwerd)	Vanaf boot, zomer 2022
	Meetpalen Holwerd-Ameland	Sinds juli 2022
	Meetpaal Eemshaven	Sinds 2015, twijfels over continuïteit datakwaliteit
	Slibmotor Koehoal	Litoraal en kwelder, 2016-2020
	Kustgenese 2 en Seawad (Ameland)	Frames en schepen, vooral zand
	TESO Marsdiep	ADCP, sinds 2010 niet geanalyseerd
Hoogfrequente bodemverandering	Marconi (Delfzijl)	Op aangelegde kwelder, periodes 2018-2022
Bodemsamenstelling	SIBES/SUBES (hele Waddenzee)	Bovenste 4 cm van platen, jaarlijks sinds 2008/2016
	Slibmotor Koehoal	Litoraal en kwelder, 2016-2020
Bagger- en stortwerken	Vaargeul Holwerd-Ameland	Hoeveelheden, sedimenteigenschappen bodem + waterkolom

4 Fase 2B en 3A Nieuwe metingen: wat, waarom, hoe?

De bovenste (aandrijvende krachten) en onderste blokken (resulterende bodemligging) in het stroomschema van Figuur 2 zijn vrij goed bekend. Voor tussenliggende blokken – dus de

processen die de morfologische ontwikkeling bepalen en dus de blokken met elkaar verbinden middels het transport van sediment – is dat veel minder het geval. Het is dus niet verwonderlijk dat een groot deel van de suggesties voor nieuwe of betere metingen ingegeven is door de noodzaak deze transporten op verschillende tijdschalen beter te begrijpen. De discussiëring van nieuwe metingen hieronder volgt grofweg het stramien van aandrijvende krachten (hydrodynamiek) via transporten naar resulterende (maar dus ook bepalende) bodemligging zoals ook in de Basimonitoring gehanteerd wordt.

4.1 Waterstanden

De waterstanden worden nu relatief goed bemeten, maar alle meetstations liggen in havens of in geulen, waardoor er in vergelijking met modelresultaten soms verschillen optreden. De vraag rijst dan of dit aan modelnauwkeurigheid of -resolutie ligt, of dat de gemeten fluctuaties te wijten zijn aan lokale condities (bijv. seiches). Door op enkele plekken ook (tijdelijk) buiten de haven te meten kan dit verduidelijkt worden, wat de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van modelgebaseerde waterstandsvoorspellingen vooral achterin de bekkens vergroot.

4.2 Stroomsnelheden en debieten, golven

De stroomsnelheden, en als afgeleide daarvan de debieten door de zeegaten en over de wantijen, zijn van belang om uitwisseling met de Noordzee en tussen de kombergingsgebieden onderling te kunnen kwantificeren. De laatste bekende reeks 13-uurs metingen dateert van 2005. Sindsdien is er waarschijnlijk veel veranderd door geulmigratie en veranderingen in kombergingsvolume. Idealiter wordt eenmalig een 13-uurs meting in alle zeegaten tegelijk uitgevoerd om de volumebalans en de uitwisseling tussen zeegaten compleet in beeld te brengen. Na deze eenmalige meting in alle zeegaten tegelijk, kan de meting elke 6-12 jaar (aansluitend op de frequentie van de vaklodingen en daaruit af te leiden sedimentbalansen) per zeegat herhaald worden om aan te sluiten bij de tijdschaal waarop morfologische veranderingen plaatsvinden.

De 13-uurs meting aan stroomsnelheden combineren met multibeam voor bodemtransport en CTD voor transport van zwevende stof en zout.

Ook de (golfgedreven) stroomsnelheden in ondiepe gebieden en op overgangen van diep naar ondiep (geul/plaat) zijn van belang, vooral om te kunnen beoordelen waar sediment in beweging komt of sedimenteert.

Bij alle metingen aan stroomsnelheden is het van belang ook de lokale windsnelheden te meten (dus niet alleen van Terschelling).

4.3 Bodemvormen

De stromingsweerstand in hydro- en morfodynamische modellen wordt nu bepaald door middel van modelassimilatie met behulp van gemeten waterstanden. Er ontbreekt een goed beeld van de processen die in werkelijkheid de bodemweerstand bepalen, zoals bodemvormen. Deze zijn met side-scan sonar (geulen) of met remote sensing (platen) wel te karakteriseren. Omdat deze kunnen veranderen in de tijd naar gelang de condities dient deze dynamiek (in ruimte en tijd) ook in kaart gebracht te worden.

4.4 Saliniteit

De MWTL metingen hebben een vrij grove temporele (2 tot 4 weken) en ruimtelijke resolutie, die niet overeenkomt met de tijd- en ruimteschaal van variaties in saliniteitsverdeling. Een gedetailleerd beeld van variaties in saliniteitsverdeling in tijd en ruimte (zowel horizontaal als verticaal) is van belang voor het inschatten van ecologische effecten en slibtransport. Ook vinden deze slechts op één diepte plaats, namelijk bovenin de waterkolom. Dat is op veel plaatsen door lage concentraties en/of goede menging geen bezwaar, maar in de Waddenzee

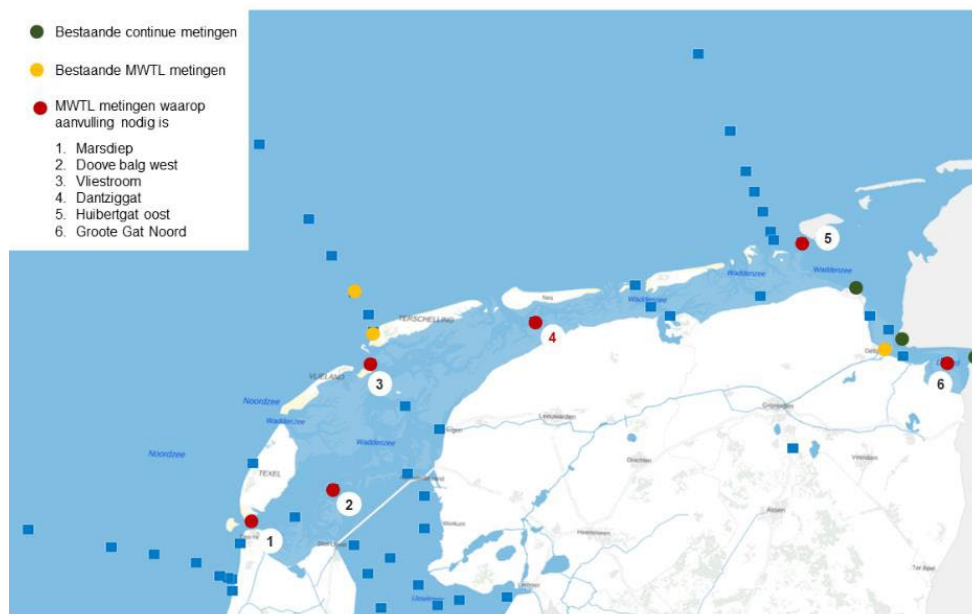
kan stratificatie door zoet water en hoge slibconcentraties bij de bodem wel degelijk een rol spelen in het bepalen van sedimenttransporten en condities voor ecologie. Figuur 3 geeft weer waar vaste meetpalen met sensoren (niet alleen voor saliniteit overigens) op verschillende hoogtes geplaatst kunnen worden. Voldoende ruimtelijke resolutie rond de zeegaten is ook van belang om de Region of Fresh water Influence (ROFI) en uitwisseling Noordzee-Waddenzee goed te kunnen kwantificeren met behulp van modellen. Daarvoor kan remote sensing (gekalibreerd op metingen) mogelijk een uitkomst bieden.

4.5 Slibhuishouding

De slibconcentratie in de waterkolom en de slibfractie in de bodem worden bepaald door de interactie van deze invloedsfactoren op verschillende tijdschalen. De verblijftijd van slib in de Waddenzee bepaalt op welke tijdschaal de hoeveelheid slib wezenlijk varieert en deze verblijftijd is vermoedelijk meerdere jaren.

Om de geobserveerde veranderingen beter te begrijpen is het nodig om extra monitoring uit te gaan voeren. Dit is zowel lange termijn monitoring om de systeemwerking beter te begrijpen als korte termijn of projectmonitoring om specifieke processen scherp te krijgen zodat modellen en daarmee voorspellingen kunnen worden verbeterd. Hiervoor is vanuit het conceptuele model een aanzet gedaan. De aanbevelingen uit Herman et al., (2018) en de andere rapporten van het project KPP-Slib ten aanzien van metingen zijn opgenomen in de tabel in Appendix A.

[Tabel hier nog samenvatten.]



Figuur 3 Overzicht bestaande MWTL metingen en locaties met gewenste aanvulling.

4.6 Baggervolumes, sedimentsamenstelling en effecten

Aanbevolen wordt om alle baggerhoeveelheden in de basis uit te drukken in in-situ volumes in m³ en zowel de in-situ volumes in m³ als de TDS (tonnen droge stof) te registreren in het overzicht van de baggerhoeveelheden. In-situ volumes zijn belangrijk voor de morfologische effecten en TDS is belangrijk voor ecologische effecten zoals vertroebeling en beter geschikt voor vergelijking met slibtransport modellen. Zoals al gedaan wordt, dient de gehanteerde baggermethode ook te worden geregistreerd omdat dit relevante informatie is voor de eco-

morfologische effecten. De in-situ volumes kunnen voor de sleeppopperzuigers worden bepaald uit de met MARS gemeten TDS in combinatie met kennis van de in-situ dichtheid en samenstelling van het sediment in de baggervakken, te bepalen o.b.v. bodemonsters. Aanbevolen wordt om van alle baggervakken minimaal 1x per 2 jaar bodemonderzoek uit te voeren via boringen tot 1 m en bodemonsters van de toplaag. Dit kan meegenomen worden in de reguliere veldmetingen voor de bodemkwaliteit, of dient apart uitgevoerd te worden indien de frequentie van minimaal 1x per 2 jaar voor een specifiek vak niet gehaald wordt. Voor gebieden waarvan de samenstelling varieert over de seizoenen of waar de baggervolumes sterk veranderen dient er frequenter bodemonderzoek uitgevoerd te worden: minimaal 4x per jaar en bij verwachte ruimtelijke gradiënten ook meerdere samples langs een geul. Dit geldt bijvoorbeeld o.a. voor de vaargeul Holwerd-Ameland en de Boontjes.

In het labonderzoek dienen de volgende eigenschappen bepaald te worden:

- In-situ dichtheid, watergehalte, droge dichtheid, porositeit
- Korrelverdeling, % klei, % slib en eventueel organisch stof gehalte
- Minerale dichtheid sediment en dichtheid water.

Monitoring -in combinatie met een modelstudie- van de vertroebelingswolken van agitatiebaggeren en baggeren en verspreiden met een sleeppopperzuiger in combinatie met in- en uitpeilingen van de bodemhoogte (dual-frequency in geval van slibrijke omgeving) wordt aanbevolen om de ecologische impact en mate van verspreiding van het sediment beter in kaart te brengen. Deze inzichten zijn belangrijk voor het opstellen van een nieuw Natura2000 beheerplan.

[beknopt overgenomen uit rapport KPP Registratie baggervolumes; de Wit et al., 2022]

4.7 Bodemligging

Veel van de huidige modelschematisaties en analyses aan bodemligging vinden plaats op basis van de 6-jaarlijkse resultaten van de vaklodingen. Dat is voor veel toepassingen voldoende, maar daarmee verdwijnt veel dynamiek en actualiteit. Die zijn juist van belang om de interactie (sedimentuitwisseling) tussen geulen en platen, en de voor ecologie (bijvoorbeeld Ecotopenkartering) belangrijke seizoensdynamiek beter te begrijpen. Hoogfrequenter data (bijv. beheerlodingen) zijn er wel en worden ook gebruikt maar zijn moeilijker toegankelijk, en zijn vooral gericht op de geulen. Remote sensing met behulp van satellietbeelden of UAVs (drones) laat het in principe toe om droogvallende platen dankzij automatisatie tegen redelijke kosten meerdere keren per jaar te bemeten. *[navragen Eelke Folmer, Fieldwork Company]*

Nieuwe meettechnieken

Veel metingen beschreven in dit memo kunnen worden gedaan met bestaande meettechnologie en -methodes. Het is echter ook interessant om te overwegen wat nieuwe meettechnieken toe kunnen voegen aan informatie, of kunnen besparen aan kosten. Een aantal suggesties:

- Uit EO data kan, bijvoorbeeld met behulp van AI, veel geleerd worden over zowel korte- als lange termijn veranderingen. Dit geldt voor veel indicatoren (bijv. zwevend stof, saliniteit, golven, bodemvormen, bodemligging, diverse biotische parameters) maar dit vereist wel veel calibratie waar de juiste in-situ data voor nodig is.
- Slibconcentraties heel dicht bij de bodem (onderste 10-20 cm) zijn van groot belang voor de uitwisseling van slib tussen bodem en waterkolom, dus voor hoeveel er uiteindelijk erodeert of sedimenteert. Deze zijn echter heel moeilijk te meten: een CTD vanaf een schip mist juist dat deel en eigenlijk zijn hoogfrequente (bijv. elk uur) metingen nodig. In geulen waarvoor dit relevant is (Holwerd, Boontjes, vaargeul Emden) is ook niet altijd plek voor het plaatsen van grote instrumenten over langere tijd. Hiervoor is dus ontwikkeling van meettechnieken nodig. Wellicht kan een DensiTune of RheoTune in combinatie met een dual frequency echosounder hier uitkomst bieden.
- Meten in de Waddenzee is kostbaar, vooral vanwege de benodigde menskracht en schepen. Er komen echter steeds meer (semi-)autonome systemen (bijvoorbeeld onderwaterdrones en UAVs) beschikbaar.

5 Fase 4AI Advies: wat, waar, wanneer?

Dit zijn de hoofdpunten uit Fase 2B en 3A. Fase 3B (zijn nieuwe metingen te combineren met bestaande?) komt deels in het vorige hoofdstuk al aan de orde, deels hier. Deze punten zijn ter bespreking met de voornaamste belanghebbenden (WVL, CIV, experts) om verder te preciseren in termen van prioriteit, kosten en meetmethode (Fases 4B en 4C) alvorens een definitief advies volgt.

1. Meten aan transporten (direct: stroomsnelheid + concentratie, linken aan indirect: korte-termijn morfologische verandering) is erg belangrijk voor beter systeembegrip en verbeteren proces-gebaseerde modellen voor inschatten effecten. Dit betreft zowel 13 uren metingen in de zeegaten als frames op de wantijen tijdens stormseizoen.
2. Stroomsnelheden en concentraties meten op ondiepe locaties (wantijen) om transporten van slib in relatie tot meteorologische omstandigheden beter te kwantificeren. Ook ten behoeve van calibratie EO.
3. Plaatsen van meetpalen op strategische posities (Figuur 3; waar MWTL data ontbreekt of langs gradient richting zeegat) voor metingen over diepte tbv saliniteit en sedimentconcentratie/herkomst. Daarmee modellen calibreren/valideren. Ook ten behoeve van calibratie EO. MWTL metingen in Waddenzee uitbreiden lijkt in eerste instantie aantrekkelijk vanwege beperkte extra inspanning binnen bestaand programma, maar juist lastig vanwege historie programma.
4. Seizoensdynamiek platen en geulen
5. Baggervolumes, samenstelling en impact conform memo De Wit et al, 2022.
6. Abiotische monitoring afstemmen met noodzaak voor biotiek (beleid, systeemkennis). Voorbeeld: plaatdynamiek, pieken in saliniteit en temperatuur.
7. Betere kwaliteitscontrole bestaande monitoring om vroegtijdig fouten op te sporen en dataverlies te voorkomen. En elke X jaar een bepaalde dataset goed (her)analyseren
8. Ontsluiting projectmetingen (ook) via DSR. Aangeven op kaart waar wat gemeten wordt + link naar repos of contactpersoon is in meeste gevallen voldoende, geïnteresseerde gebruikers kunnen de data dan opvragen zonder dat we veel moeite steken in ontsluiting die niemand gebruikt. Onderzoekers moeten hier ook middelen voor hebben want het kost tijd. Hier is in nieuwe onderzoeksvoorstellen steeds meer aandacht voor (FAIR data), maar er is nog een inhaalslag nodig. Datasteward die hier op toeziet en kan helpen (met budget voor nodige inspanning) zou veel kunnen betekenen. Ook ten behoeve van calibratie EO.
9. Hechte(re) samenwerking met academische wereld en buitenlandse partners (bijv. TMAP, BAFG, USACE, EPA), om meetmethoden (EO, instrumenten, kwaliteitscontrole) te verbeteren. NCK verband? Ook startups doen interessant werk op EO en instrumentatie gebied en autonome systemen.

Referenties

Cleveringa, J. (2018) Slibsedimentatie in de kwelders van de Waddenzee; Bijdrage aan de kwantificering van sinks voor slib in de Waddenzee i.h.k.v. project KRW Slib. Arcadis rapport 083755930 0.1

De Leeuw, C., 2020. Duurzame bescherming en ontwikkeling van dynamische Waddenzeennatuur – Brochure 1: Morfologische verandering. Uitgave Rijkswaterstaat Noord-Nederland, Werkveld Waterkwaliteit en Natuurbeheer Wadden, Nederland.

Deltares, 2022. Digitale Systeemrapportage Waddenzee: Rapportage user case, beheer en onderhoud. Deltares memo 11208040-003. Herman, P.M.J., T. van Kessel, J. Vroom. P. Dankers, J. Cleveringa, B. de Vries & N. Villars (2018) Mud dynamics in the Wadden Sea; Towards a conceptual model. Deltares rapport 11202177-000-ZKS-0011

de Vries, B., P. Dankers & J. Vroom (2018) Slib in de Waddenzee; Een analyse en verklaring van de langjarige fluctuaties van sedimentconcentraties in water en bodem i.h.k.v. project KRW slib RoyalHaskoningDHV rapport BG2802WATRP1812170918

A Metingen aan slibhuishouding

Kennisleemte	Argumentatie	Onderzoeksvraag	Gewenste meting
Het is momenteel onbekend of de met MWTL waargenomen variaties in slibconcentratie een gevolg zijn van uitwisselingsprocessen met de lagere waterlagen en bodem of van lateraal transport. De MWTL metingen worden namelijk uitgevoerd op een hoogte boven in de waterkolom.	MWTL metingen geven vanwege de lage meetfrequentie alleen zicht op heel lange termijn trends. De dynamiek in de Waddenzee (incl. Eems-Dollard) is groot. De waterbodem uitwisseling en de bufferwerking van de bodem spelen een rol maar onduidelijk is hoe belangrijk deze rol is. Als er meer zicht is op waar het slib vandaan komt dan is duidelijker of hier met bepaalde maatregelen op ingegrepen kan worden (bijvoorbeeld een ander baggerbeleid als blijkt dat bufferwerking in de bodem een grote rol speelt).	Waar komt het slib vandaan?	Om zicht te krijgen waar slib vandaan komt is het van belang om in de verticaal te meten en buiten en binnen een aantal specifieke zeegaten. Voorstel is om de verticale verdeling van zwevend stof in de waterkolom te meten op een paar reguliere MWTL stations. Dit kan door: <ul style="list-style-type: none"> • Op reguliere MWTL stations met een CTD, OBS, LISST, fluorimeter en evt. floc-camera (rekening houden met getij) te meten • Aandachtspunt is de hogere prijs van de LISST en de lastige kalibratie van de OBS • Plaatsen van een aantal continue meetstations die de verticale verdeling meten (tenminste elk uur) Wij zien meerwaarde in het uitvoeren van deze metingen op de met rood aangegeven locaties in Fig 2.. Het uitvoeren van regelmatige metingen over de verticaal levert al veel extra informatie op. Eventueel kan worden uitgebreid naar een aantal metingen boven de platen en niet alleen in de geulen zoals nu het geval is en/of naar een aantal stations dat eerder werd gemeten maar nu niet meer wordt meegenomen. Vanwege de specifieke situatie in het Eems-estuarium en de al deels aanwezige serie van continue metingen daar zou de meting bij Grootte Gat Noord bij voorkeur ook volcontinu zijn zodat deze aansluit op de rij vanuit Eemshaven naar Pogum en ook de specifieke problemen in het Eems-estuarium bekeken kunnen worden. Mogelijke toevoeging kan zijn het uitvoeren van bodemframe metingen met een ALTUS gecombineerd met bodemonsters voor het bepalen van de uitwisseling tussen water en bodem. Daarnaast oude MWTL stations in ere herstellen. Om een voorbeeld te geven: In Holwerd (HOLWD) en Molengat (MOLGT), Holwerderbalg (HOLWDBG), Zwarte Haan (ZWARTHN), Roptazijl (ROPTZL) en veel andere stations in de Waddenzee is slechts enkele maanden of jaren gemeten rond de jaren '70 en '80 met een frequentie van 1x per twee weken, maar nu niet meer. Hierdoor ontbreken voor deze stations en dus voor deze delen van de Waddenzee belangrijke lange termijn data om statistisch betrouwbare uitspraken te kunnen doen over temporele variaties en trends.
Slib sedimenteert in grote mate op kwelders. Er is voldoende slib beschikbaar maar	Als slib een belangrijke rol speelt in de opbouw van kwelders is het gezien de stijgende	Hoeveel slib sedimenteert er in kwelders en hoe belangrijk is deze	Bepalen van het slibgehalte op pionierkwelders en kwelders om de bijdrage van sedimentatie van slib op kwelders beter te kwantificeren. Aanbevolen wordt om dit standaard

<p>maatregelen kunnen er voor zorgen dat er minder slib beschikbaar komt op specifieke locaties.</p> <p>De MWTL metingen bestaan uit puntmetingen welke zo'n 12 – 15 keer per jaar worden uitgevoerd. Het is lastig events op kortere tijdschaal, zoals stormen, te linken aan de MWTL metingen.</p>	<p>trend in de zeespiegel belangrijk om geen maatregelen te nemen die dit proces verstoren.</p>	<p>sedimentatie bij een stijgende zeespiegel?</p> <p>Hoe varieert de slibconcentratie in het water op de korte termijn over de gehele Waddenzee? En waar komt het sediment vandaan?</p>	<p>aan WOt toe te voegen. Belangrijk hierbij is om een standaard methode te gebruiken voor bepalen slibvolume en verandering slibvolume. Afstemming met WOT (uitgevoerd door WMR) is hierbij van belang. Vooral mbt het type bodemonstering om de buffervoorraad in de bodem goed te kunnen bepalen. Dit geldt ook voor bodembemonstering op de platen via SIBES.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deels wordt dit opgepakt bij het eerste punt (zie voorstel met kaartje) • Aanvullend kan Remote Sensing worden toegepast. Hierbij is nog sterk de vraag in welke mate dit al mogelijk is. Er loopt momenteel een pilot in de Eems-Dollard en ook op de Noordzee wordt hiermee geëxperimenteerd. Belangrijk om van deze projecten te leren alvorens op te nemen in MWTL programma. Eerste stap is dus de extra metingen zoals genoemd in kaartje. Als Remote Sensing verder is ontwikkeld kan mogelijk hier op worden overgestapt. Toevoegen van uitgebreidere metingen aan beide zijden van de zeegaten zodat verschillen in trends tussen Noordzee en Waddenzee beter in beeld gebracht kunnen worden en mogelijk worden verklaard, zie ook eerdere punt met kaartje van metingen over de verticaal.
<p>De historie en samenstelling van slib bepaalt in sterke mate de flocculatie van slib en daarmee het gedrag. Door baggerwerkzaamheden wordt de vlokvorming beïnvloed waardoor het zich mogelijk anders gedraagt dan natuurlijk slib.</p>	<p>Vraag over systeemkennis en de werking van slib. Als we dit beter begrijpen kunnen we ook de modellen beter opzetten en hierbij meer betrouwbare resultaten boeken.</p>	<p>Zijn er duidelijke verschillen in flocculatie en gedrag van gebaggerd slib? En als dit zo is, wat betekent dit dan?</p>	<p>Nog geen specifieke meting op het oog. Mogelijk is hier al meer over bekend in de wetenschappelijke literatuur. Eerste stap zou daarom zijn om een korte literatuurstudie of gesprekken uit te voeren. Daarnaast sluit dit ook aan bij de voorgestelde metingen zoals genoemd in de eerste rij, vooral de flocc camera in combinatie met de Lisst omdat dit informatie oplevert over de samenstelling van het materiaal. Een vergelijking tussen een regulier punt en een meetpunt nabij een stortlocatie kan hier info over leveren. Dit onderwerp valt echter niet onder KPP morfologie en zou beter passen bij studies rond Ameland-Holwerd</p>
<p>De slibconcentratie direct aan de bodem wordt niet gemeten.</p>	<p>Slibconcentratie aan de bodem is sterk bepalend voor de sedimentatie in geulen en dus baggervolumes, maar dit is moeilijk te meten (en te modelleren)</p>	<p>Wat is de werkelijke slibconcentratie aan de bodem?</p>	<p>Een hoogfrequente meting (elke 10 min) op enkele vaste punten van slibconcentraties over de verticaal, vooral de onderste 10-20 cm. Hiervoor lijken nog geen geschikte instrumenten of protocollen te bestaan.</p>