

3-D visualisatie van zandgolven in de Noordzee met bodemligging in meters t.o.v. LAT (Lowest Astronomical Tide, referentieniveau).

Zandgolvendynamiek in ondiepe zeeën

Zandgolven zijn 'wandelende' duinen die vaak voorkomen op zandige bodems in ondiepe zeeën. Op het Nederlands Continentaal Plat zijn zandgolven tussen de 100 en 700 m lang en tot 10 meter hoog. Kennis over het ontstaan en de dynamiek van deze zandgolven is belangrijk voor een veilige scheepvaart, het opstellen van hydrografische monitoringsplannen en voor het ontwerp van offshore windmolenparken. Marien geoloog Thaiënne van Dijk doet onderzoek naar zeebodemdynamiek en coördineert de ontwikkeling van methoden om grote hoeveelheden hydrografische data (semi-) geautomatiseerd te analyseren. In haar duo-aanstelling bij Deltares en de Universiteit Twente wordt empirisch zandgolvenonderzoek in toegepaste projecten bij Deltares gekoppeld aan zandgolvenmodellering op de Universiteit Twente.

Mariene bodemvormen op een continentaal plat met zandige bodem komen voor in verschillende afmetingen. Van groot naar klein zijn dat zandbanken, long bed waves, zandgolven en megaribbels. Iedere vorm heeft zijn eigen tijdschaal van dynamiek. Zandbanken zijn relatief stabiel. Zandgolven zijn relatief dynamisch en door hun afmeting (100 tot 1000 m lang en 1 tot meer dan 10 m hoog) het meest relevant voor veilige scheepvaart en offshore techniek. Megaribbels zijn nog dynamischer, maar door hun kleine afmeting hebben deze slechts een kleine impact op toegepaste problemen. Bovendien laten de ruimtelijke en temporele resoluties van standaard lodingen niet altijd de analyse van megaribbels toe. De focus ligt daarom op zandgolvenonderzoek.

Stroming en golven beïnvloeden dynamiek

De impact van getijden en oppervlaktegolven op zandgolven is al lang onderwerp van empirisch onderzoek en modelleerstudies. Van Dijk and Kleinhans (2005) hebben in hun studie de relatieve invloed van getijdenstroming en golven berekend voor een kust- en offshore zandgolvengebied met realistische korrelgrootten voor het bodemsediment. Hun bevindingen zijn dat op een waterdiepte van 14 meter de zandgolfhoogte gelimiteerd wordt door golfactiviteit en dat migratiesnelheden worden verhoogd door het opwoelen van sediment door golven. Hierbij zijn golven van één meter hoog, die nagenoeg gedurende het hele jaar voorkomen bij rustig weer, al voldoende voor sedimenttransport aan de

bodem. Bij diepten van meer dan 25 meter spelen golven een ondergeschikte rol en worden de morfologie en migratie van zandgolven bepaald door getijdenstroming. Op deze diepten zijn golven van 3 meter nodig voor zandtransport aan de bodem, en die komen enkel voor tijdens perioden met harde wind. Uit hun gevoeligheidsdiagrammen op basis van Shields parameters (een dimensieloze parameter die gebruikt wordt om het moment van sedimenttransport te berekenen) volgt dat sedimenttransport door golven afhangt van de korrelgrootte van het sediment en vooral van de waterdiepte, terwijl transport door stroming afhangt van korrelgrootte. Echter, verklaringen van de variaties in ruimte en tijd in zandgolvenmorfologie en -dynamiek zijn nog incompleet. Nu moderne, hoge-resolutie multibeam echo soundings in tijdreeksen de analyse van migratie toelaten, zal toekomstig grootschalig onderzoek naar de invloed van getij, windgedreven stroming en golven bijdragen aan het begrip van zeebodemdynamiek.

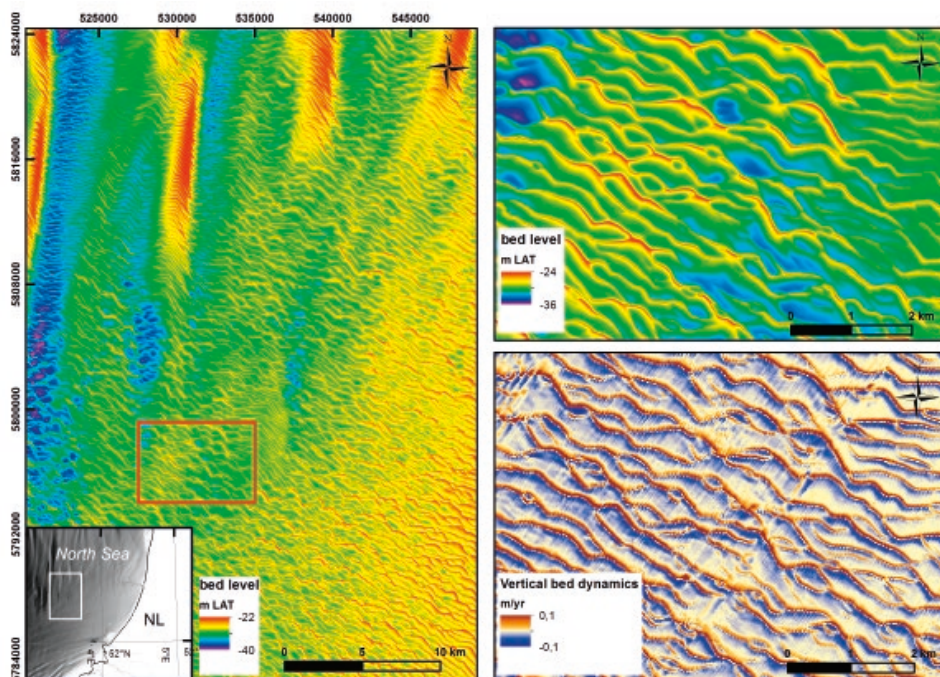
SMARTSEA

In het NWO-STW project SMARTSEA (2014–2019), waarin drie promovendi zijn aangeesteld (twee op de Universiteit Twente en één op de TU Delft), worden zandgolfdynamiek en verticale bodemdynamiek verder onderzocht door empirische studies en modelleerstudies te combineren. Het doel van SMARTSEA is het opstellen van een geoptimaliseerd monitorings- en onderhoudsplan voor het Nederlands Continentaal Plat op basis van fundamentele kennis van

zandgolfdynamiek om een veilige navigatie en toegang tot havens te realiseren. Storm-impact is hierin een specifieke vraag. Het eerste promotieonderzoek (UT) focust op de modellering van de vorming en ontwikkeling van zandgolven. Met behulp van een geïdealiseerd model (zowel lineair als non-lineair; enkel de laatste kan zandgolfhoogten voorspellen) worden de factoren onderzocht die zandgolfdynamiek bepalen, zoals getijdenstroming, windgedreven stroming en golven tijdens stormen. Het tweede promotieonderzoek (UT/Deltares) volgt een empirische aanpak om het natuurlijke gedrag van zandgolven te verklaren uit metingen en vervolgens de relatie tussen zandgolfdynamiek en baggeringrepen in vaargeulen naar havens te bepalen. Dit onderzoek is het eerste waarin alle zandgolven op het Nederlands Continentaal Plat (NCP) geautomatiseerd geanalyseerd worden en hun gedrag verklaard wordt aan de hand van omgevingsparameters. Het derde promotieonderzoek (TUD) focust op het optimaliseren van het hydrografische monitoringplan op basis van bodemdynamiek en gevaren voor schepen op vastlopen, om een zo efficiënt mogelijk meetplan op te stellen voor veilige scheepvaart. Het project wordt medegefinancierd door de Dienst der Hydrografie (Koninklijke Marine) en Rijkswaterstaat, en ondersteund door Deltares en consultant ACRB.

Kwantitatieve verticale bodemdynamiek

Zowel op zee als in rivieren vormen veranderingen in bodemhoogte (en dus waterdiepte) een gevaar voor de scheepvaart. In recente projecten, gefinancierd door de Dienst der Hydrografie en Rijkswaterstaat, heeft Deltares een methode ontwikkeld die grote hoeveelheden bathymetrische data, in ingewikkelde tijdreeksen van overlappende surveys, volledig geautomatiseerd kan ordenen en analyseren (e.g. Van Dijk et al., 2011). Binnen het Kennis Primaire Processen (KPP-)programma van Deltares, is de methode uitgebreid naar gebaggerde gebieden (Van Dijk et al., 2014). De methode zorgt voor een up-to-date bathymetrische kaart (met de meest recente bodemligging op ieder gridpunt), verticale trends in bodemligging op de resolutie van het grid (kwantitatieve verticale bodemdynamiek in meters per jaar), gewenste statistieken (zoals minimum, maximum, gemiddelde, standaard deviatie, maximaal verschil, etc.) en kwaliteitslabels zoals 'goodness of fit'. Uit de resultaten blijkt dat vooral de kustzone (getijdengeulen, estuaria) dynamisch is en dat het offshore gebied enkel dynamisch is in de gebieden waar zandgolven en long bed waves voorkomen (Van Dijk et al., 2011; Van Dijk et al., 2012). De bathymetrische grids (DEMs – Digital Elevation Models) in tijdreeksen zijn beschikbaar op



Close-up van bathymetrie en trends in verticale bodemdynamiek (in m/jaar) in het centrale deel van het Nederlands Continentaal Plat (figuur in andere vorm uit: Van Dijk and Lindenbergh, in press).

Deltares' Open Earth (<https://public.wiki.deltares.nl/>).

Individuele zandgolven

De hoge-resolutie kaarten van de verticale zeebodendynamiek leveren een goed beeld van de trends door de tijd heen, maar geven geen informatie over het gedrag van individuele bodemvormen. Om individuele zandgolven te analyseren zijn semi-geautomatiseerde methoden ontwikkeld waarin het bathymetrische signaal kan worden gescheiden met behulp van een getrunkeerde Fourier-serie in bodemvormen van verschillende lengteschalen (Van Dijk et al., 2008). Voor zandgolven kunnen zo de oriëntatie, lengte, hoogte, asymmetrie en – wanneer toegepast in tijdreeksen – ook de dynamiek (groei en migratie) worden bepaald. De variatie in zandgolfmorfologie en -dynamiek in ruimte en tijd in de Noord-zee wordt hiermee in kaart gebracht.

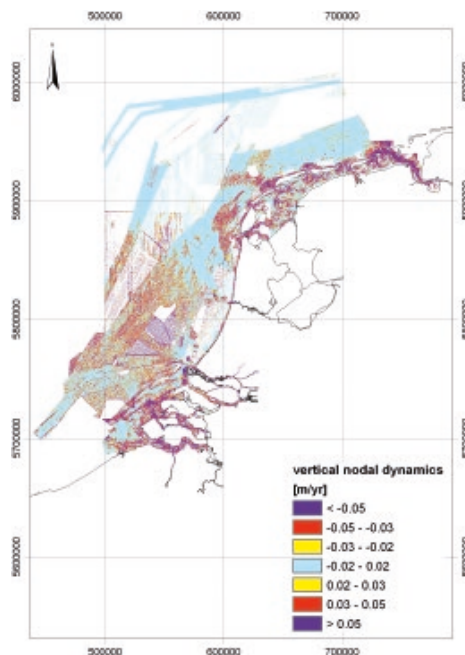
Bodemvormen in de rivier

Dezelfde methoden kunnen ook gebruikt worden voor bodemvormen in rivieren. De grote bodemvormen in rivieren hebben dezelfde lengten als zandgolven, maar zijn vaak rond 1 à 2 m hoog in waterdieptes van enkele meters. De kleine bodemvormen hebben afmetingen vergelijkbaar met die van megaribbels. In een rivier is slechts sprake van stroming één kant op (uni-directioneel), het benedenstroomse deel uitgezonderd waar getij ook invloed kan hebben. Bodemvormen in de rivier zijn veel mobieler dan zandgolven, met migratiesnelheden van enkele tot tientallen meters

per dag. Bij metingen voor morfodynamische analyses in een rivier moet de resolutie in de tijd dan ook veel hoger zijn dan op zee. Een 10-jaar lange tijdreeks van tweewekelijkse metingen in de Waal, die onlangs beschikbaar is gesteld, levert dan ook een unieke kans. De eerste resultaten van een studiegebiedje tussen Beuningen en Ochten laten zien dat individuele, grote bodemvormen goed te volgen zijn in de tijdreeks, met als voorlopig resultaat een migratiesnelheid van gemiddeld 5 tot 8 meter per dag voor de periode september 2010 – maart 2011. Door de migratie- en groeisnelheden uit de tweewekelijkse data te relateren aan rivierafvoer, kan worden onderzocht hoe en in welke mate de bodemdynamiek en het sedimenttransport door rivierafvoer worden bepaald. Ook deze informatie is belangrijk voor een veilige scheepvaart, bijvoorbeeld door te weten hoe lang bodemvormen nog hun toegenomen hoogte behouden na een periode van hoge afvoer.

Multibeam kennisnetwerk in Nederland

De vaardigheden, faciliteiten en kennis op het gebied van multibeam data (lodingen en backscattermetingen) en onderwaterkartering in Nederland zijn verspreid over verschillende partijen. Om deze kennis te bundelen, is het plan opgevat om een nationaal kennisnetwerk op te zetten voor onderwaterkartering uit multibeam data vanuit de kennisinstututen, overheidsdiensten en de markt die betrokken zijn bij het opnemen, verwerken en interpreteren van de data. Deltares neemt het initiatief tot het opzetten van dit kennisnetwerk, in samen-

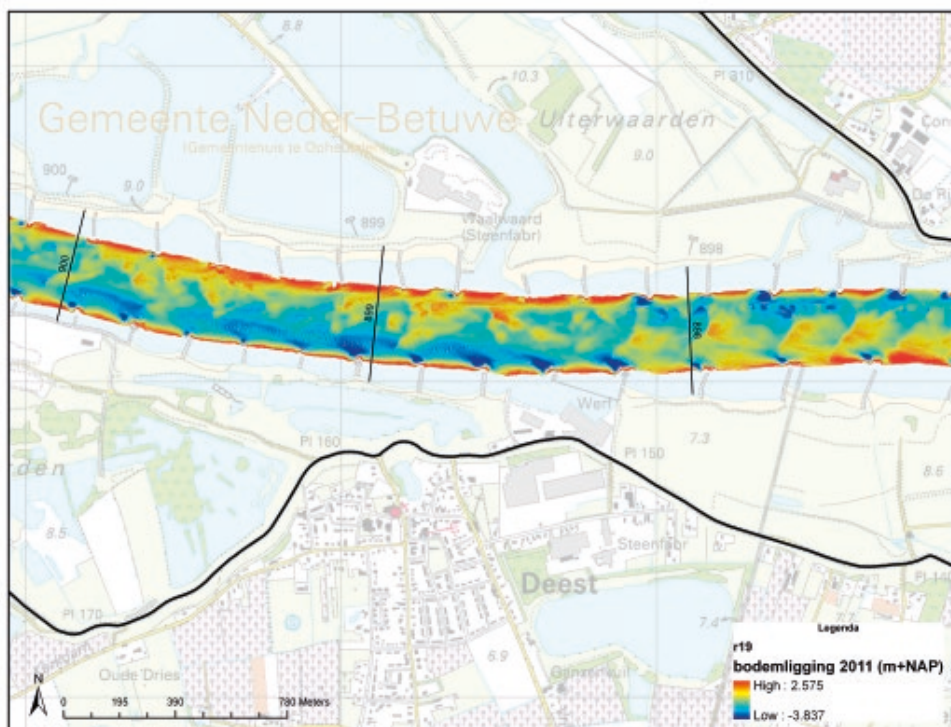


Kaart van de verticale bodemdynamiek van het Nederlands Continentaal Plat (absolute trends per gridpunt in m/jaar). Kustgebieden zijn het meest dynamisch; offshore gebieden zijn vooral dynamisch in de gebieden waar zandgolven voorkomen (uit: Van Dijk et al., 2011; Van Dijk et al., 2012).

werking met onder andere de TU Delft, die algoritmen ontwikkelt voor bodemclassificatie uit lodingen en backscatter data van multibeam echo sounders. Instututen die aan dit kennisnetwerk willen deelnemen, worden van harte uitgenodigd om te reageren naar ondergetekende.

Toegepaste projecten

Studies van bodemdynamiek zijn de afgelopen jaren ingezet voor velerlei toepassingen. De Dienst der Hydrografie had Deltares, MARIN (Maritime Research Institute Netherlands) en de UT gevraagd haar monitoringsplannen te valideren en optimaliseren op basis van de ruimtelijke variaties in bodemdynamiek en gevaren op vastlopen door ondiep water of objecten op de bodem (Van Dijk et al., 2011). Dit is gedaan met een overlay methode op een resolutie van 25 meter met de voorspelde waterdieptes voor het hele NCP over 1, 5 en 10 jaar. Zo kan, afhankelijk van de zeebodendynamiek en scheepvaartintensiteit, de optimale frequentie voor metingen in verschillende gebieden bepaald worden. Dit onderzoek vindt zijn vervolg in het SMARTSEA-project. Voor Rijkswaterstaat heeft Deltares de natuurlijke trend in bodemligging t.o.v. baggeringspanningen geanalyseerd in de aanvaargebieden en -geulen naar de havens van Amsterdam en Rotterdam; informatie die bijdraagt aan de optimalisatie van bag-



Voorbeeld van bodemvormen in de Waal nabij Deest.

gerstrategieën. Tot dan toe werden kust- en offshore lodingen altijd in aparte studies geanalyseerd. Binnen het KPP-programma is voor Rijkswaterstaat een koppeling gemaakt tussen de kwantitatieve verticale bodembewegingen dichtbij de kust en verder offshore om de variaties in zeebodemdynamiek langs de 20-m dieptelijn vast te stellen in het kader van kustsuppleties. Een mooi voorbeeld van het gebruik van zandgolvendynamiek voor het ontwerpen van offshore windmolenparken is het gebied ‘Borssele’, waarvan recentelijke ‘webinars’ van Deltares te bekijken zijn op <http://offshorewind.rvo.nl/workshopborssele>. Verder is kennis van bodemdynamiek belangrijk voor ecotopenkaarten. Andere toepassingen van bodemdynamiek zijn het monitoren van de bodem rond pijpleidingen en waterbouwwerken in verband met erosiegevaar, ‘marine aggregates’, en vraagstukken over de ruimtelijke ordening op zee (marine spatial planning).

Het onderzoek naar bodemvormen in ondiepe zeeën zal uitgebreid worden naar bodemvormen in de rivier (nu er een lange tijdreeks van geschikte temporele resolutie beschikbaar is), maar ook worden de toepassingsmogelijkheden verkend voor landslides – zowel onderwater als op land.

Thaiënné van Dijk
Deltares & Universiteit Twente
thaienne.vandijk@deltares.nl
t.a.g.p.vandijk@utwente.nl

Voor meer informatie over bodemdynamiek en/of het initiatief voor het multibeam kennisnetwerk in Nederland, neemt u contact op met Thaiënné van Dijk.

Literatuur

Van Dijk, T.A.G.P. and M.G. Kleinjans (2005). Processes controlling the dynamics of compound sand waves in the North Sea, Netherlands. *Journal of Geophysical Research* 110(F04S10).

Van Dijk, T.A.G.P. and R.C. Lindenbergh (in press). Methods for analysing bedform geometry and dynamics. *Atlas of bedforms in the western Mediterranean*. J. Guillén, J. Acosta, A. Palanques and F. Chiocci, Springer.

Van Dijk, T.A.G.P., R.C. Lindenbergh and P.J.P. Egberts (2008). Separating bathymetric data representing multi-scale rhythmic bedforms: a geostatistical and spectral method compared. *Journal of Geophysical Research* 113(F04017).

Van Dijk, T.A.G.P., C. Van der Tak, W.P. De Boer, M.H.P. Kleuskens, P.J. Doornenbal, R.P. Noorlandt and V.C. Marges (2011). *The scientific validation of the hydrographic survey policy of the Netherlands Hydrographic Office, Royal Netherlands Navy*. Deltares, Report 1201907-000-BGS-0008: 165 pp. <http://kennisonline.deltares.nl/3/m/search/products.html?q=hydrographic&qtype=1>.

Van Dijk, T.A.G.P., S. Van Heteren, M.H.P. Kleuskens, L.M. Vonhögen, P.J. Doornenbal, A.J.F. Van der Spek, R.M. Hoogendoorn, L.L. Dorst and D. Rodriguez Aguilera (2012). Quantified sea-bed dynamics of the Netherlands Continental Shelf and the Wadden Sea: a morphological and sedimentological approach. *Hydro12 - Taking care of the sea*, SS Rotterdam, Rotterdam, Netherlands. Hydrographic Society Benelux: 356, <http://proceedings.utwente.nl/233/>.

Van Dijk, T.A.G.P., T. Vermaas and M.P. Hijma (2014). *KPP Onderzoek Bodemdynamiek 2014: effect van baggeren op bodemdynamiek locatie Maasgeul & pilot koppeling Kust en Zee*. Deltares, Report 1209377-010-ZKS-0001: 42 pp. <http://kennisonline.deltares.nl/3/m/search/products.html?q=bodemdynamiek&qtype=1>.

.stukje steen

Nivelsteiner

Nivelsteiner zandsteen duikt in de vroege Middeleeuwen op meerdere plaatsen in Nederland op, met name als zuilen in de crypte, om daarna weer uit beeld te verdwijnen. Voorbeelden zijn de St. Servaas in Maastricht, de Pieterskerk in Utrecht en de Lebuïnuskerk in Deventer. In Zuid-Limburg zelf komt de steen ook voor aan parement, of als gewone zuilen, bijvoorbeeld in de St. Amelberga in Susteren. In de late 19e en met name de eerste decennia van de 20e eeuw beleeft de steen een sterke opleving en wordt hij gebruikt voor aanbouwen of geheel nieuwe kerken zoals de St. Remigius in Schimmert (1924–1926) en andere gebouwen.

De Nivelsteiner zandsteen is niets anders dan verkit zilverzand (midden-Mioceen). De steen wordt net over de grens bij Kerkrade gewonnen in Herzogenrath. Net als het zilverzand is deze zandsteen zeer zuiver en vrijwel vrij van ijzer. Dit heeft geleid tot een bijzondere toepassing. Toen het KNMI eind 19e eeuw vanuit het centrum van Utrecht naar de huidige locatie in De Bilt verhuisde – de magnetische metingen die in Utrecht werden gedaan, werden onder meer beïnvloed door het ijzer in de kinderwagens in het park, etc. – bestond de wens voor een ideaal meetpaviljoen. Rijksbouwmeester Daniël Knuttel ontwierp een paviljoen in chaletstijl. Zo verrees in 1893–1897 een gebouwtje met een groot overstek, een plint in Namense kalksteen



Het oude meetpaviljoen ontworpen door Daniel Knuttel. | Foto: Timo G. Nijland

uit het Maasdal en muren opgetrokken uit Nivelsteiner zandsteen. Ontwikkelingen in de omgeving (de aanleg van de tram) maakte het noodzakelijk om de meetinstrumenten al na een paar decennia te verplaatsen, maar het oude gebouwtje staat er nog, als getuige van een bijzondere materiaalkeuze.

Timo G. Nijland & Wim Dubelaar



Groevewand in de zandwinning bij Nivelstein. De drie meter dikke zandsteenlaag vormt de ‘caprock’ van het onderliggende zilverzand. | Foto uit 1976, archief TNO-GDN