

Leven in het sediment: teledetectie van benthische ecologie van intergetijden- gebieden

In de Westerschelde leeft het grootste deel van het macrobenthos (schelp- en schaaldieren en wormen) in de intergetijdengebieden die bij laag water droogvallen. Dit macrobenthos vormt het voedsel voor vogels, vissen en ook voor de mens, en speelt zo een belangrijke rol in het estuariene ecosysteem. De verspreiding van het macrobenthos is gekoppeld aan de samenstelling van het sediment en aan andere fysische en biologische factoren. In dit artikel worden innovatieve methoden voorgesteld om de ecologie van intergetijdengebieden in kaart te brengen en efficiënt te monitoren. Met behulp van teledetectie kan bijvoorbeeld de samenstelling van het sediment in ruimte en tijd worden gevolgd. Vervolgens kan de ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos met behulp van responsmodellen worden voorspeld op basis van de uit satelliet- of vliegtuigbeelden afgeleide informatie. De methoden zijn toepasbaar voor het beheer van estuaria en het bepalen van effecten van ingrepen in estuariene ecosystemen, zoals (kokkel)visserij, eutrofiëring, zeespiegelstijging, en baggerwerkzaamheden.

1. Inleiding

Intergetijdengebieden zijn zeer productieve gebieden. De hoogste biomassa, dichtheid en soortenrijkdom van de in estuaria levende bodemdieren is hier te vinden. De bodemdieren groter dan 1 mm noemen we het macrobenthos: dit zijn schelp- en schaaldieren en wormen (Figuur 1). Deze bodemdieren spelen een essentiële rol in de kringloop van koolstof en nutriënten. Het macrobenthos vormt het voedsel voor veel vogels en vissen, en voor de mens (bijvoorbeeld kokkels en mosselen).

Het macrobenthos is voor zijn voedsel grotendeels afhankelijk van primaire productie. Een deel van het macrobenthos, de filtreerders, leeft voornamelijk van algen in het water (fytoplankton) en een ander deel, de depositie-etters, leeft voornamelijk van algen, zoals diatomeeën, die op het oppervlak van het sediment groeien (microfyto-benthos). De ruimtelijke verspreiding van het

macrobenthos hangt daarnaast af van een aantal abiotische factoren. De korrelgrootte-verdeling van het sediment zal bijvoorbeeld voor een groot deel de condities voor het macrobenthos in het sediment bepalen, zoals de beschikbaarheid van water, nutriënten (bijvoorbeeld de groei-condities voor het microfyto-benthos) en de stabiliteit van de bodem. Daarnaast kan bijvoorbeeld de stroomsnelheid van het water van belang zijn, met name voor de bodemdieren die hun voedsel uit het langsstromend water filteren. Anderzijds kunnen de soorten zelf ook hun omgeving beïnvloeden, bijvoorbeeld doordat ze het sediment kunnen stabiliseren of juist omwoelen.

Het macrobenthos wordt vaak gebruikt als een indicator voor de toestand van een estuarium, omdat de verspreiding van het sedentaire macrobenthos grotendeels een afspiegeling is van de abiotische en biotische milieuomstandigheden op een tijdschaal van enkele jaren. Het is daarom een belangrijke parameter bij de monitoring van estuaria.

Op basis van de abiotische en biotische karakteristieken van een estuarium kan een voorspelling worden gemaakt over de ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos. Zulke modellen zijn nodig voor een beter begrip van de invloed van milieuveranderingen op de bodemdieren, en om de effecten van menselijke ingrepen en natuurlijke veranderingen te kunnen voorspellen. In dit artikel worden innovatieve methoden voorgesteld om het macrobenthos van intergetijdengebieden in kaart te brengen, te volgen en te voorspellen.

2. Macrobenthos en de omgeving

2.1. Ruimtelijke verspreiding van het sediment en het macrobenthos

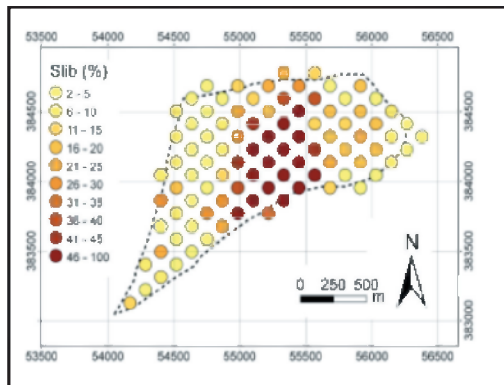
Een intensieve bemonstering op de Molenplaat, een intergetijdenplaat in de Westerschelde ter hoogte van Hansweert, laat zien dat de habitat

Figuur 1. Kokkels op de Plaat van Everingen, Westerschelde.



op de schaal van een getijdenplaat divers kan zijn (HERMAN et al., 2001). Het centrale deel van de Molenplaat is slibrijk, met sediment dat tot 70% klei- en siltdeeltjes bevat, en over het algemeen ook een hoge biomassa van het microfytobenthos. Aan weerszijden van dit gebied vinden we grover sediment (Figuur 2).

Figuur 2. Slibgehalte van de Molenplaat, Westerschelde, juni 1995.



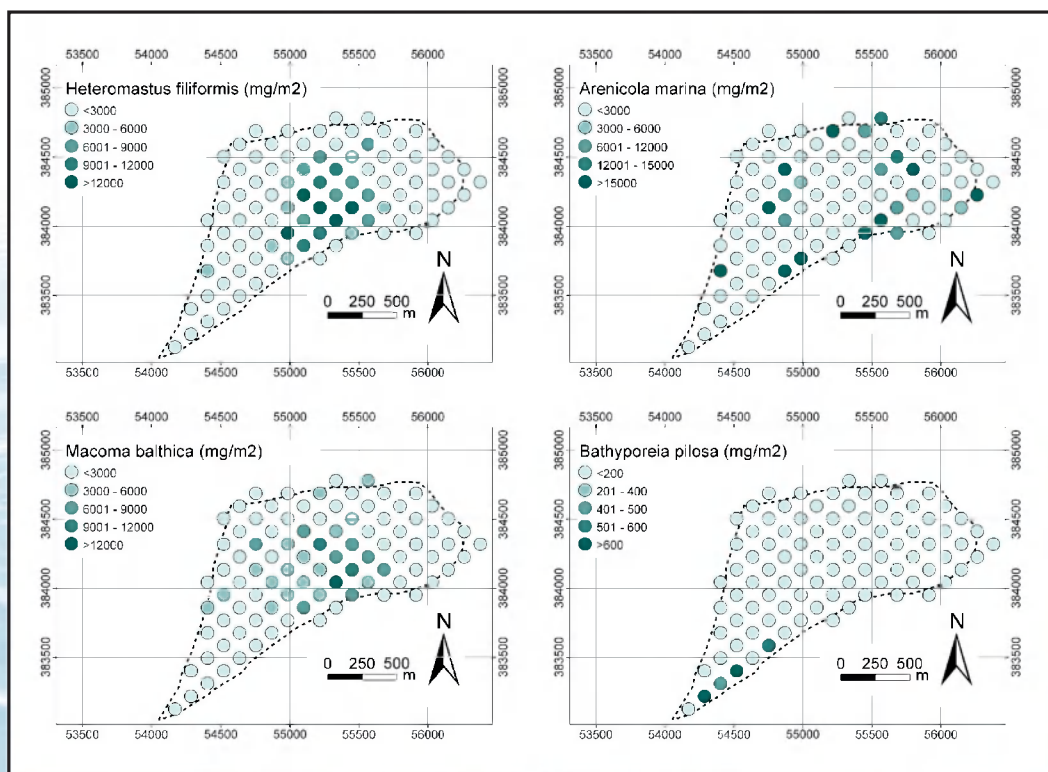
Over het algemeen neemt de biomassa van de depositie-eters toe met het slibgehalte en met de biomassa van het microfytobenthos, met voor iedere soort een bepaald optimum aan biomassa bij een bepaald slibgehalte. Een aantal karakteristieke soorten, zoals de depositie-eter *Heteromastus filiformis* (rode draadworm), *Macoma balthica* (nonnetje) en de grazer *Hydrobia ulvae* (wadslakje), is met name te vinden in het slibrijke en voedselrijke centrale deel van de plaat (Figuur 3). *Arenicola marina* (wadpier) heeft

op de overgang van slibrijk naar zandig sediment de hoogste biomassa; hier is voldoende voedsel, maar zijn de condities tegelijkertijd gunstig voor het in stand houden van zijn gangstelsel. Tot slot zijn er ook soorten die juist specifiek voorkomen op zandig substraat, of in zeer dynamische gebieden, zoals *Bathyporeia pilosa* (kniksprietkreeftje).

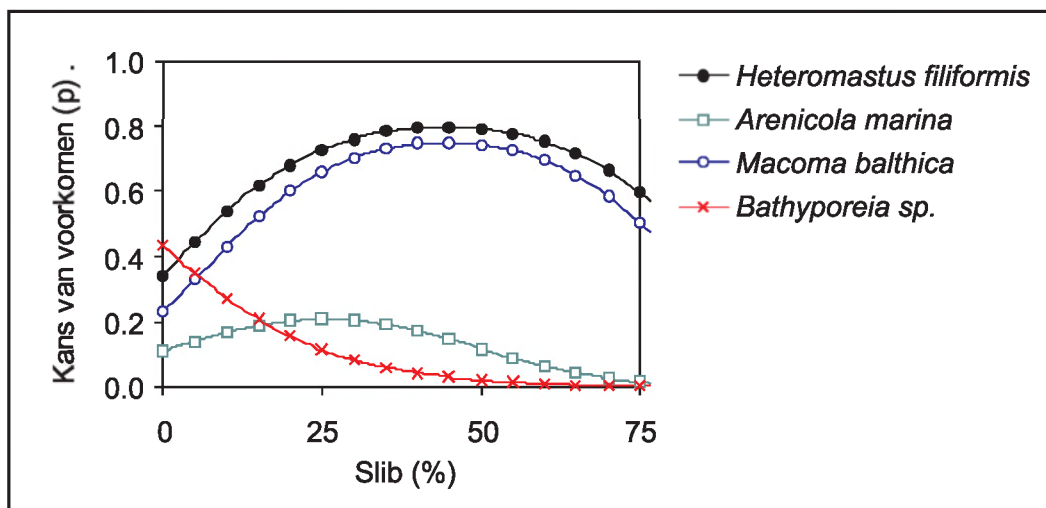
2.2. Modelleren van het vóórkomen van macrobenthos

YSEBAERT et al. (2002) gebruikten een effectieve statistische methode, logistische regressie, om de grootschalige verspreiding van het macrobenthos te kunnen voorspellen op basis van milieuvariabelen, zoals sedimentsamenstelling, stroomsnelheid, diepte en zoutgehalte. Aan de hand van een dataset van de Schelde, waar op een groot aantal lokaties zowel het vóórkomen van macrobenthos als de omgevingsvariabelen zijn bepaald, is de respons van verschillende benthische soorten op de omgevingsvariabelen bepaald. Figuur 4 geeft een voorbeeld van de respons van een aantal soorten op het slibgehalte van het sediment. Door zulke responscurven voor een of een aantal milieuvariabelen toe te passen op lokaties waarvan de milieuvariabelen bekend zijn, kan een voorspelling worden gemaakt van de aan- of afwezigheid van een bepaalde soort. De aan- of afwezigheid kan voor de meeste soorten goed worden voorspeld voor de Schelde, maar bij het toepassen van de modellen op andere estuaria moet nog rekening worden gehouden met extra, veelal systeembrede, factoren, zoals de productiviteit en de hoeveelheid gesuspendeerd materiaal in het estuarium.

Figuur 3. Ruimtelijke verspreiding van vier soorten macrobenthos, Molenplaat, Westerschelde, juni 1995.



Figuur 4. Respons voor een aantal soorten macrobenthos op het slibgehalte van het sediment voor de Schelde.



3. Teledetectie van intergetijdengebieden

3.1. Sediment en microfytobenthos uit remote sensing

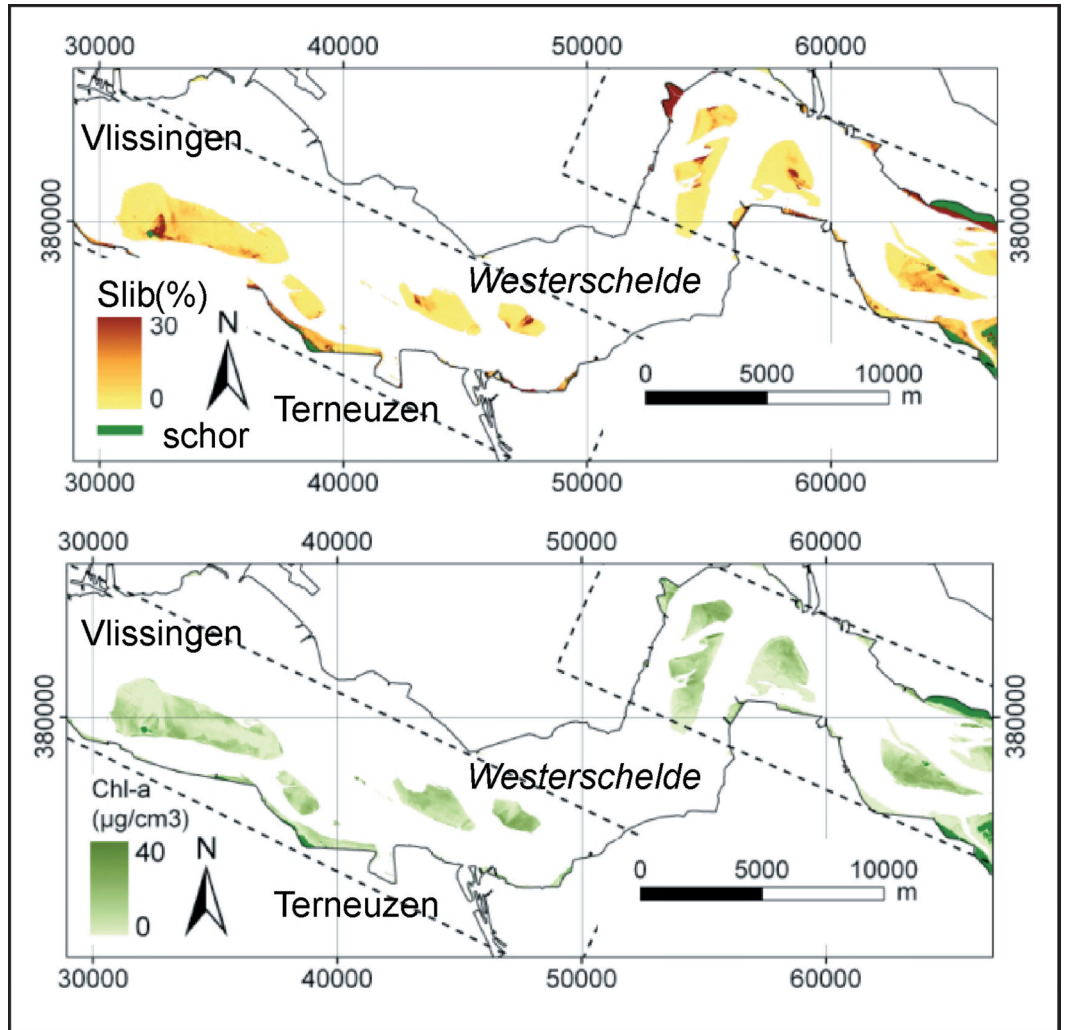
Het in kaart brengen van de bodemdieren aan de hand van in-situ bemonsteringen is tijdrovend en duur, waardoor over het algemeen te weinig monsters kunnen ingewonnen om een goed beeld te krijgen van de ruimtelijke verspreiding van de soorten. Ook de responsmodellen kunnen alleen worden toegepast indien gedetailleerde ruimtelijke informatie over de relevante omgevingsvariabelen beschikbaar is. Ook hierbij is het niet haalbaar om herhaaldelijk monsters in grote dichtheid te nemen op de schaal van een heel estuarium. Teledetectie vanuit een vliegtuig of satelliet is wel geschikt voor het aanleveren van zulke informatie. Informatie over de habitat van het macrobenthos kan synoptisch (gebiedsdekkend) en met groot detail worden ingewonnen, en de milieuv variabelen kunnen worden gevolgd in de tijd. Afhankelijk van de variabele die in kaart moet worden gebracht, kan gekozen worden voor optische (detectie in het zichtbare en (nabij) infrarode golflengtegebied), thermische (thermisch infrarood), of radar (microgolf) remote sensing, of van een combinatie van technieken. De samenstelling van het sediment kan met behulp van optische satelliet of vliegtuig remote sensing in kaart worden gebracht. Recent onderzoek laat zien dat dit ook met behulp van satelliet-radar kan (VAN DER WAL et al., 2005). Radar blijkt met name geschikt te zijn voor het afleiden van bodemruwheid in intergetijdengebieden. Op getijdenplaten wordt de bodemruwheid voornamelijk bepaald door de ribbelstructuur van de bodem, die weer afhangt van de korrelgrootteverdeling van het sediment: cohesie van slib verhindert de vorming van stroomribbels, waardoor het oppervlak van slibrijk sediment glad blijft. Zo kan uit radarbeelden toch de samenstelling van het sediment in kaart worden gebracht. Deze methode is ook geschikt voor het in de tijd volgen of reconstrueren van de korrelgrootte van het sediment, omdat de relatie tussen sediment-

samenstelling en het radarsignaal over het algemeen constant is in de tijd, zodat er niet voor ieder satellietbeeld een aparte calibratie hoeft plaats te vinden. Tot slot zijn algoritmen ontwikkeld om de informatie uit optische, thermische en radar remote sensing te combineren voor een betere voorspelling van het sediment van intergetijdengebieden (VAN DER WAL & HERMAN, 2006; 2007). Figuur 5 is een voorbeeld van een slibkaart van de getijdenplaten van de Westerschelde, gebaseerd op het gelijktijdig gebruik van optische vliegtuig remote sensing en satelliet-radar. Benthische algen, een belangrijke voedselbron voor veel soorten macrobenthos, kunnen ook goed worden gekwantificeerd en in de tijd worden gevolgd met behulp van teledetectie-technieken. Hiervoor is optische remote sensing, vanuit de lucht of de ruimte, het meest geschikt. Microfytobenthos bevat chlorofyl: deze stof absorbeert energie in het blauwe en rode bereik van het elektromagnetische spectrum en straalt uit in het nabij infrarode deel van het elektromagnetische spectrum. Figuur 5 toont een voorbeeld van de teledetectie van chlorofyl, als maat voor de biomassa van het microfytobenthos, van de intergetijdengebieden van de Westerschelde.

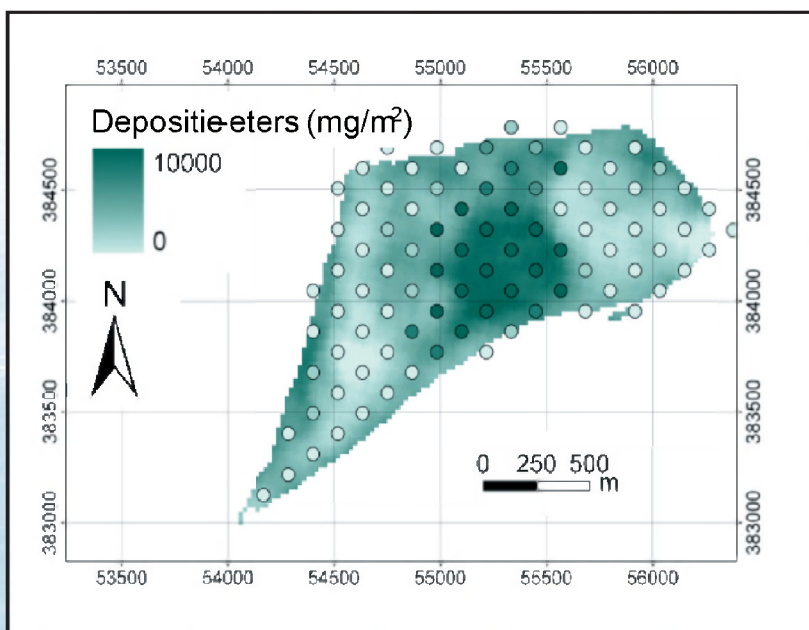
3.2. Voorspellen van de biomassa van macrobenthos uit remote sensing

Er zijn goede relaties gevonden tussen de biomassa van het macrobenthos en de uit satelliet- en vliegtuigbeelden afgeleide slib- en chlorofylgehalten, zoals die ook uit de bemonstering en de responsmodellen naar voren kwamen. Deze relaties kunnen worden gebruikt om de verspreiding van het macrobenthos te voorspellen aan de hand van kaarten van het sediment en het microfytobenthos uit remote sensing (Figuur 6). Er is wel een jaarlijkse fluctuatie in het macrobenthos, die ongecorrleerd is met sedimentsamenstelling of met chlorofyl-gehalte. De ruimtelijke verdeling van de biomassa van de bodemdieren kan dus over het algemeen goed worden voorspeld op basis van satelliet- of vliegtuigbeelden, maar de absolute biomassa van

Figuur 5. Slibgehalte uit een combinatie van satelliet-radar en hyperspectrale vliegtuig remote sensing (boven) en chlorofyl-a uit hyperspectrale vliegtuig remote sensing beelden (onder), Westerschelde, mei 2005.



Figuur 6. Ruimtelijke verdeling van de biomassa van depositie-eters uit remote sensing, Molenplaat, Westerschelde. De punten geven de biomassa weer die door bemonstering in het veld is bepaald.



het macrobenthos kan alleen worden voorspeld (en dus gemonitord) met behulp van een calibratie met enkele monsters van het macrobenthos die op het moment van inwinnen van de beelden zijn genomen.

4. Beheer van intergetijdengebieden

De technieken en methoden kunnen gebruikt worden bij het beheer en beleid van estuaria, bijvoorbeeld bij het implementeren van de Europese Kaderrichtlijn Water en de Habitat- en Vogelrichtlijn. De responsmodellen geven inzicht in de relaties tussen de bodemdieren en de omgeving, en maken het mogelijk de ruimtelijke verspreiding van het macrobenthos te voorspellen op basis van milieuvariabelen, maar kunnen ook gebruikt worden bij het voorspellen van ingrepen in het estuarium, zoals (kokkel)visserij, eutrofiëring, zeespiegelstijging, en baggerwerkzaamheden. Hierbij kan met behulp van teledetectie relevante gebiedsdekkende en gedetailleerde informatie worden aangeleverd. Teledetectie-technieken kunnen worden gebruikt voor het synoptisch monitoren van de milieuvariabelen en van het macrobenthos van intergetijdengebieden, bij voorkeur in combinatie met in-situ bemonstering.

Dankwoord

Het onderzoek waarop dit artikel is gebaseerd is mede gefinancierd door SRON/ALW, de European Space Agency, en het EU project ECOFLAT. Dit is NIOO publicatie-nummer 4013.

Referenties

HERMAN, P.M.J., J.J. MIDDELBURG & C.H.R. HEIP (2001). Benthic community structure and sediment processes on an intertidal flat: results from the ECOFLAT project. *Cont. Shelf Res.* 21: 2055-2071.

VAN DER WAL, D., P.M.J. HERMAN & A. WIELEMAKER-VAN DEN DOOL (2005). Characterisation of surface roughness and sediment texture of intertidal flats using ERS SAR imagery. *Rem. Sens. Env.* 98, pp. 96-109.

VAN DER WAL, D. & P.M.J. HERMAN (2006). Quantifying the particle size of intertidal sediments with satellite remote sensing in the visible light, thermal infrared and microwave spectral domain. In: N. KERLE, A.K. SKIDMORE (eds). *Remote*

sensing: from pixels to processes. ISPRS Proc. TC-VII.

VAN DER WAL, D. & P.M.J. HERMAN (2007). Regression-based synergy of optical, shortwave infrared and microwave remote sensing for monitoring the grain-size of intertidal sediments. *Rem. Sens. Env.* 111, pp. 89-106.

YSEBAERT, T., P. MEIRE, P.M.J. HERMAN & H. VERBEEK (2002). Macrobenthic species response surfaces along estuarine gradients: prediction by logistic regression. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 225: 79-95.

D. van der Wal,
T. Ysebaert,
P. M.J. Herman*

*Nederlands Instituut voor Ecologie
(NIOO-KNAW), Centrum voor Estuariene en
Mariene Ecologie, Postbus 140,
4400 AC, Yerseke, Nederland*

** Correspondentie-adres:
d.vanderwal@nioo.knaw.nl*