

## **Benthos in het nauw**

Verkenning naar de effecten van dagzoming op het  
benthos in de kom van de Oosterschelde

voorlopig





## **Benthos in het nauw**

**Verkenning naar de effecten van dagzoming op het benthos in de kom van de Oosterschelde**

D. Dekker

1205192-000



**Titel**

Benthos in het nauw

**Opdrachtgever**

Deltares en de Hogeschool  
Zeeland

**Project**

1205192-000

**Pagina's**

24

**Trefwoorden**

Benthos, zandhonger, dagzomen, *Arenicola marina*

**Samenvatting**

Door de bouw van de Deltawerken is de Oosterschelde gaan veranderen. Door verminderde aanvoer van water zijn de stroming en de getij-amplitude in het gebied afgenomen. Hierdoor is de sedimentatie van de platen vrijwel gestopt, terwijl erosie veroorzaakt door golven nog steeds optreedt. Dit proces, genaamd Zandhonger, zorgt al sinds 1986 voor oppervlakte verlies van intergetijdengebieden en een verkorte droogvalduur. Dit heeft effecten op de aanwezige flora en fauna. De effecten van de Zandhonger zijn niet overal hetzelfde. Beschutte platen eroderen minder snel dan geëxponeerde en het aan de oppervlakte verschijnen van andere sedimenten, zoals klei en veen, vertraagd of stopt zelfs, de erosie. Deze bodemtypen, die eerst onder het zand lagen, verschijnen lokaal aan de oppervlakte doordat het bovenop liggende zand wordt geërodeerd. De verwachting is dat dit zogenaamde dagzomen van grote invloed is op het benthos dat zich in de bodem bevindt. Aangezien benthos een belangrijke voedselbron is voor verschillende vogelsoorten, die vallen onder Natura 2000 doelstellingen, zou dit effect kunnen hebben op het al dan niet halen van die doelstellingen.

In dit rapport wordt gekeken naar de lokale effecten van het dagzomen van klei en veen in de kom van de Oosterschelde. Hierdoor is inzicht verkregen in het effect van dagzomen op het huidig habitat en of dit invloed heeft op de aanwezigheid van benthos en hun functies. Door middel van bodemprofielonderzoek is duidelijk geworden dat de klei- of veenlagen zich vrijwel overal in het gebied binnen de eerste 50 cm diep in de bodem bevinden. Een benthosinventarisatie heeft in combinatie met deze gegevens laten zien dat voornamelijk de biomassa van benthos afhankelijk is van de dikte van de zandlaag. Doordat de grote soorten en grotere individuen gebonden zijn aan dikkere zandlagen resulteert dit in een hogere biomassa in dikkere zandlagen. Tellingen van *Arenicola marina* hoopjes laten dit dan ook goed zien.

Met de huidige erosieratio en de verkregen bodemprofielen is er voorspeld dat plaatselijk al zand- en veenlagen binnen enkele zullen gaan dagzomen. Het valt te verwachten dat dit resulteert in een biomassaverlies voor deze omgeving en zelfs het verdwijnen van bepaalde soorten. Om functionele biodiversiteits- en biomassa-afname in de kom van de Oosterschelde tegen te gaan kan er gekozen worden voor een zekere instandhouding van het ecosysteem. Dit zou kunnen doormiddel van ecologisch verantwoord suppleren. Het stapsgewijs gecontroleerd suppleren van zand waarbij wordt uitgegaan van de nieuwe vestigingstijd van een populatie met een gezonde functionele biodiversiteit.

**Titel**

Benthos in het nauw

**Opdrachtgever**

Deltares en de Hogeschool  
Zeeland

**Project**

1205192-000

**Pagina's**

24

<b>Versie</b>	<b>Datum</b>	<b>Auteur</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Review</b>	<b>Paraaf</b>	<b>Goedkeuring</b>	<b>Paraaf</b>
	jun. 2012	D. Dekker					

**Status**

voorlopig

Dit document is een voorlopig rapport en uitsluitend bedoeld voor discussiedoeleinden. Aan de inhoud van dit rapport kunnen noch door de opdrachtgever, noch door derden rechten worden ontleend.

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>3</b>
1.1	Ontstaan van de Oosterschelde	3
1.2	Gevolgen intergetijdengebieden	3
1.3	Dagzomen van klei en veen	4
1.4	Habitatverlies	4
1.5	Vogels	5
<b>2</b>	<b>Materiaal &amp; methode</b>	<b>7</b>
2.1	Benthos analyse	8
2.2	Dataselectie en statistiek	9
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>11</b>
3.1	Sediment	11
3.2	Benthos	13
3.3	Dichtheden <i>Arenicola marina</i>	15
<b>4</b>	<b>Discussie &amp; conclusie</b>	<b>17</b>
4.1	Benthos	17
4.2	Functionele biodiversiteit	18
<b>5</b>	<b>Literatuur</b>	<b>21</b>





# 1 Introductie

## 1.1 Ontstaan van de Oosterschelde

Het Schelde estuarium is voornamelijk gevormd door geleidelijke natuurlijke processen en heeft door de geschiedenis heen verschillende vormen gekend. In het late Pleistoceen (meer dan 10.000 jaar geleden) mondde de toen nog enige arm uit in zee waar nu het Haringvliet ligt. De Oosterschelde is pas ontstaan ongeveer 6300 jaar geleden uit een getijdengeul en is sindsdien uitgegroeid tot een volwaardige arm van de Schelde. Het noordelijke deel van de oude loop slibde dicht met klei en veen (Janssen, 2009). Rond 1800 voor Chr. was de gehele Delta bedekt met een veenlaag die later tijdens de Romeinse tijd (200 na Chr.) onder andere door menselijk toedoen werden ontwaterd waardoor deze laag zakte en de zee steeds verder landinwaarts kwam waardoor er sedimentatie van zand en klei plaatsvond (Fischer, 1997). Dit gebeurde tot er een dynamisch evenwicht ontstond tussen opbouw en afbreuk van platen. De laatste morfologische veranderingen van de Oosterschelde in de afgelopen eeuwen zijn vooral aan de mens te danken. Zo hebben zandwinning en het bouwen van kustverdedigingen de Oosterschelde en het hele Deltagebied aanzienlijk veranderd.

## 1.2 Gevolgen intergetijdengebieden

Door de bouw van de Deltawerken heeft er niet alleen een morfologische verandering plaatsgevonden maar ook een hydrodynamische. Doordat de Oosterschelde monding in het Westen verkleind is door de stormvloedkering en er in het Oosten geen verbinding meer is met het Markiezaat en het Volkerak stroomt er elk getij 30 procent minder water naar binnen en naar buiten dan voorheen (Lieveense, 2004). Hierdoor is het getijdenverschil met 10 to 20 procent gereduceerd (Smaal et al., 1991) en komen hoger gelegen slikken niet meer onder water en lager gelegen platen zullen altijd onder water blijven. Deze kleinere hoeveelheid water stroomt ook nog eens met een lagere snelheid door de geulen. Hierdoor is de aanvoer van zand uit de Noordzee-kustzone drastisch afgenomen (Jongeling, 2007). De platen ondervinden tijdens storm wel erosie maar door de lage stroomsnelheid treedt er geen sedimentatie meer op terug op de platen met als gevolg een netto erosie van de platen (Kohsiek et al., 1987). Dit verschijnsel wordt ook wel Zandhonger genoemd. De platen en slikken zijn lager komen te liggen, ze zijn vlakker geworden en hebben hierdoor een groot stuk oppervlakte verloren. Er wordt nog steeds door erosie sediment losgewoeld van de hogere delen van de platen en verdwijnt via de randen de geulen in. Door erosie zijn de platen tussen 1986 en 2001 gemiddeld veertien centimeter lager geworden (van Zanten et al., 2008). Hierdoor is de gemiddelde droogvalduur van het intergetijdengebied gereduceerd van negen tot minder dan acht uur per getijdencyclus en de totale oppervlakte is verminderd met acht procent (van Zanten et al., 2008). Voor de toekomst zijn de verwachtingen van het locale effect van de Zandhonger wisselend. Intergetijdengebieden die beschut liggen zullen minder snel eroderen dan de gebieden die geëxponeerder liggen. De schatting is dat rond 2045 de totale oppervlakte van het intergetijdengebied gehalveerd zijn door zowel de zandhonger als zeespiegelstijging (van Zanten et al., 2008, Jacobse, 2008).

### 1.3 Dagzomen van klei en veen

Bij de modelberekeningen van de erosie is er uit gegaan van trends die gebaseerd zijn op erosie uit het verleden (Jacobse, 2008). Dat betekent dat er geen rekening is gehouden met onderliggende soorten sedimenten die mogelijk aanwezig zijn. Nu de platen langzaam eroderen komen er plaatselijk andere bodemtypes dan alleen zand aan het oppervlak (Fischer, 1997). Deze bodemtypes bestaan uit in het verleden afgezette klei- en veenlagen. Dit aan de oppervlakte komen van andere bodems noemt men dagzomen. Omdat klei en veen niet op dezelfde manier eroderen als zand zal dit een ander resultaat opleveren in lokaal oppervlakte verlies dan eerder voorspeld. Vooral veen is veel moeilijker erodeerbaar en zal daarom de erosie vertragen (Hesslink et al., 2003). Vooral in de kom en het noorden van de Oosterschelde is de bodemsamenstelling tot tien meter diepte onder het maaiveld divers en bestaat plaatselijk uit veen, klei en zavel (van Dierendonck, 1982). Het schatten van gedetailleerde dieptes van sedimentlagen op lokaal niveau is zeer lastig met de bestaande sediment metingen van geo-lithologisch onderzoek die niet gedetailleerd zijn. Daarnaast zijn er slechts op enkele plekken specifieke metingen gedaan aan erosie snelheden. Deze beide gegevens kunnen dan ook geen betrouwbare specifieke zandlaagdiktes voorspellen. Hiervoor zouden lokale waarnemingen gedaan moeten worden om de huidige laag te meten.

### 1.4 Habitatverlies

De verminderende oppervlakte van intergetijdengebieden is niet alleen een verandering van het bestaande karakter van de Oosterschelde maar ook een verandering voor flora en fauna in dit gebied. Door een gemiddeld langere inundatietijd en kleiner oppervlakte zijn veel gebieden steeds minder geschikt als foerageer habitat voor vogels (Troost, 2007). Ook voor het benthos heeft dit een effect, voor filtervoeders (organismen die actief het water opnemen en voedsel hieruit filteren) ontstaat er een habitatvergroting maar voor depositievoeders (organismen die actief voedsel opnemen van deeltje uit de bodem) van fototroof materiaal wordt de totale beschikbare habitat gereduceerd. Een andere verandering voor het benthos is het dagzomen. Klei en vooral veen kunnen voor een aantal benthossoorten niet geschikt zijn voor hun leefwijze doordat de doordringbaarheid te laag is waardoor vestiging of verplaatsing onmogelijk wordt gemaakt. Dikke kleilagen kunnen eventueel voor de wat grotere soorten wormen of schelpen te taai zijn om zich daar in te kunnen vestigen of te kunnen verplaatsen. Veen met zijn variabele grootte aan plantaardig materiaal zou totaal geen houvast kunnen bieden en zich niet lenen voor het maken van gangenstelsels wat veel benthos doen (Cadée, 2001; Meadows et al., 1991). Zelfs een dunne zandlaag kan al veel soorten beïnvloeden. De graafdiepte van benthos is per soort verschillend en ook afhankelijk van seizoen, afmeting en predatiedruk (Zwarts & Esselink, 1989). Een soort als *Cerastoderma edule* (kokkel) leeft bijvoorbeeld tot een diepte van ongeveer twee centimeter en *Arenicola marina* (wadpier) leeft tot wel 25 centimeter in de sedimentlaag (Zwarts et al., 1993). Het dagzomen van veen en kleilagen zou dus een versterkt negatief effect van de zandhonger betekenen voor sommige soorten benthos in de Oosterschelde. Ook al heeft een stuk intergetijdengebied een voor een bepaalde soort geschikte inundatie tijd, als daar geen geschikt sediment is kan die soort er niet voorkomen.

Met het wegvallen van habitat voor deze soorten valt er niet alleen een stukje uit de voedselketen weg maar ook kunnen er functies wegvallen. Functies die een soort uitoefent binnen een ecosysteem in de breedste zin van het woord. Hierdoor kan de functionele biodiversiteit (rijkdom aan soorten van verschillende functionele groepen) in een bepaald gebied verlaagd worden. Een verlaging van de functionele biodiversiteit heeft een veel grotere impact op ecosysteemprocessen dan een vermindering van een populatieaantal zelf. Daarbij komt nog dat een grotere biodiversiteit ten goede komt aan het herstel van een beschadigd ecosysteem omdat de variëteit aan functies sturing geven aan ecosysteem processen (Heemsbergen et al., 2004).

## 1.5 Vogels

Het benthos is een hele belangrijke voedselbron voor veel vogels in het gebied en een verandering van het habitat van het benthos kan daarom veel invloed hebben voor de Oosterschelde als vogel gebied. Rijkswaterstaat is zeer geïnteresseerd in haalbaarheid en betaalbaarheid van de verschillende Natura2000 doelen voor het Oosterschelde gebied. De ANT (Autonome Neerwaartse Trend)-studies zijn in het leven geroepen om in 2013 hiervoor een wetenschappelijke onderbouwing te leveren. Deze studies zijn hoofdzakelijk gericht op intergetijdengebieden waar de impact van de zandhonger het grootst is (de Ronde et al., 2010). Volgens de Vogelrichtlijn is de Oosterschelde van belang voor 7 soorten broedvogels en 37 soorten niet-broedvogels, een belangrijk deel hiervan zijn wadvogels die afhankelijk zijn van de droogvallende inter-getijdengebieden. Het oppervlak van hun foerageergebieden laten een dalende trend zien als gevolg van de zandhonger (Troost, 2009). De verwachte daling van bijvoorbeeld de kokkelpopulatie heeft een negatieve invloed op de scholekster. Door het verlaagde voedselaanbod en de steeds kortere droogvalduur is de verwachting dat de Oosterschelde een dalende draagkracht voor scholeksters zal laten zien van 40.000 exemplaren in 2001 naar 8000 in 2045 (Rappoldt et al., 2006). Naast het verlies van voedsel zijn het verlies van rust- en ruigebied en broedgebied belangrijke bedreigingen voor allerlei vogelsoorten. Om de wadvogelpopulaties te behouden is het nodig de natuurdoelen in stand te houden. In welke mate de wadvogelpopulaties in stand zal worden gehouden zal dus afhankelijk zijn van het investeren in verschillende inrichtingsopties voor het beperken of herstellen van het verlies aan intergetijde-reaal.

Het doel van deze studie is het effect te bestuderen van de zandhonger op het dagzomen van klei en veen en het benthos in de kom van de Oosterschelde. Hierdoor kan inzicht worden verkregen in:

- 1 Het effect van dagzomen van andere sedimenten en bodems dan zand op het huidige habitatverlies door de zandhonger
- 2 Of dit verwachte verlies invloed heeft op aanwezigheid van benthos
- 3 Of er een effect optreedt van verlies van benthos die tot bepaalde functionele groepen horen.

Dit wordt gedaan doormiddel van een verschillend aantal veldonderzoeken. Ten eerste is er op verschillende plaatsen in de kom van de Oosterschelde aan de hand van sedimentboringen van maximaal een meter gekeken naar de zandlaag dikte. Op dezelfde plekken is benthos geïnventariseerd. Deze gegevens zullen naast een literatuurstudie naar zanderosie en functionele groepen antwoord moeten geven op de vraag hoe de zandhonger de zandlaagdikte en het daarin levende benthos beïnvloedt.



## 2 Materiaal & methode

Figuur 2.1 Overzicht van de twee onderzoeksgebieden. Beide gebieden bestaan uit 4 transecten van 7 monsterpunten 5 % in droogvalduur van elkaar verwijderd.



Het veldonderzoek vond plaats op twee dichtbij elkaar gelegen locaties langs de zuidelijke oever van de kom van de Oosterschelde (51°28'N, 4°04' O & 51°27'N, 4°05' O). Beide locaties bestaan uit vier transecten met elk zeven monsterpunten. Deze punten zijn geselecteerd op een gemiddeld droogvalduur percentage, waarbij het hoogst gelegen monsterpunt, punt 1 van elk transect, een droogvalduur percentage van 35 – 40 % had, en met stappen van 5 % afnemend eindigde het laagste monsterpunt, punt 7, bij gemiddeld droogvalduur percentage van 5 – 10 %. De bemonstering van de locaties vond plaats in de periode van 14 december 2011 tot 17 januari 2012 tijdens het droogvallen van de plaat. Er zijn drie soorten monsters genomen tijdens deze monsterperiode. (1) Een gutsmonster voor het diepteprofiel, (2) een schatting van de dichtheid *A. marina* met behulp van hoopjes en (3) een benthisch monster.

- 1 Per monsterpunt is er door middel van een guts van één meter een diepteprofiel van het sediment gestoken. Hiermee konden de dieptes van de opeenvolgende sedimentlagen gemeten worden. Van belang was de dikte van de zandige toplaag en de diepte van een eventuele veen- of kleilagen. Deze guts werd zo diep mogelijk in de grond gestoken en weer naar boven gehaald. Er werd genoteerd hoe diep de zandlaag was in centimeters en hoe de rest van de sedimentsamenstelling eruit zag. Ook zijn er bijzonderheden genoteerd zoals de aanwezigheid schelpenlagen in de bodem. Deze methode staat niet helemaal toe om een sedimentkoker te steken zo lang als de guts

zelf. Dit kan twee oorzaken hebben; ten eerste kan de guts niet volledig de bodem in worden gestoken wanneer de grond een grote weerstand geeft en ten tweede kan bij het eruit halen van de guts het onderste gedeelte van het diepteprofiel achterblijven in de grond. Van alle gestoken gutsmonsters kon tenminste de bovenste 50 cm beschreven worden. Deze 50 cm is in de rapportage aangehouden. Op één monsterpunt (B7) kon geen gutsmonster genomen worden doordat het opkomende water ten tijde van de monsternamen dit niet toe liet.

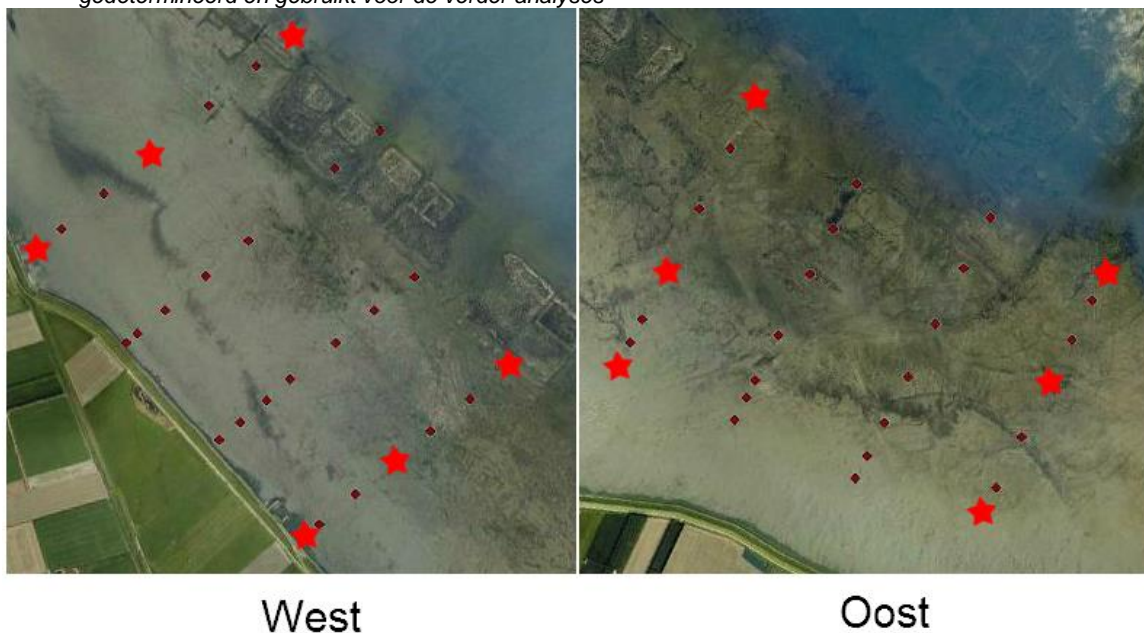
- 2 Er is ook specifiek gekeken naar de verspreiding van *A. marina* in het gebied. Dit is gedaan omdat het een belangrijke soort is in dit gebied als voedselbron en eco-ingenieurs en eenvoudig is waar te nemen door de hoopjes die deze soort maakt. De dichtheid van deze soort is geschat doormiddel van het tellen van het aantal hoopjes binnen een 50 cm x 50 cm frame op vijf willekeurige locaties binnen een straal van drie meter van het monsterpunt. Door middel van deze willekeurige telling is er een zo eerlijk mogelijke spreiding van deze soort proberen vast te stellen over het gehele oppervlak van de bemonsterde arealen. Dit is alle 56 monsterpunten gedaan behalve B7 en C7 waar het tellen van de hoopjes onmogelijk was door het opkomende tij. Doordat deze telling plaatsvond in de winter is er een onderschatting van de dichtheid waargenomen omdat deze soort dan weinig actief is. Daarentegen maakt dit voor de onderlinge vergelijkbaarheid tussen de monsterpunten niet uit.
- 3 De methode voor de benthische monsternamen is gebaseerd op Rijkswaterstaat voorschrift macrozoöbenthos en bodemchemie in het litoraal en sublitoraal in de marine wateren methode 'steekbuis' (RWSV 913.00.B200, versie 1.4). Door afwezigheid van een steekbuis met diameter van tien centimeter is er een met een diameter van acht centimeter gestoken. Door een verkleining van oppervlakte per steek is er voor gekozen om één extra steek te maken per monsterpunt wat leidde tot een totaal bemonstert oppervlakte van 603 cm<sup>2</sup>. Per monsterpunt zijn er in totaal drie steken gedaan met een diepte van 35 centimeter en van deze steken is een mengmonster gemaakt. Het sediment van deze drie steken is gezeefd in een 1 millimeter zeef (ronde gaten). Het achtergebleven residu is overgebracht in een zak of pot en zo snel mogelijk geconserveerd op formaldehyde 6% met Bengaalroze. Bengaalroze kleuring werd toegepast om bij verzamelen levende organismen eenvoudiger te kunnen scheiden van het levenloze materiaal.

## 2.1 Benthos analyse

Het uitzoeken van het benthos in het laboratorium is gedaan in een transparante bak op een lichttafel, met het blote oog of met behulp van een loep. Het op naam brengen van de soorten is gedaan doormiddel van een binoculair of microscoop. Waar kennis en tijd het toeliet zijn de verzamelde soorten op een zo nauwkeurig mogelijk taxonomisch niveau gedetermineerd. Hierna zijn alle individuen geteld. Als gevolg van fragmentatie, bij vooral wormen, is er gekozen om een fragment als individu te tellen als deze in bezit was van een kop of een slot (tweekleppigen). Ook werden de tweekleppigen ingedeeld in jaarklassen. Hierna zijn alle soorten in een monster nat gewogen op een analytische balans met een precisie van 0,1 milligram. Door gebrek aan tijd is er voor gekozen om twaalf van 56 monsters compleet te determineren. Deze twaalf locaties zijn gekozen aan de hand van geografische ligging en droogvalduurklassen. Omdat de bemonstering van het benthos heeft plaatsgevonden in de

winter kan het gevonden aantal en hun biomassa beïnvloed zijn, dit maakt echter voor de onderlinge vergelijking in dit onderzoek niet uit.

Figuur 2.2 De rode sterren vertegenwoordigen de monsterplekken waarvan de benthosmonsters compleet van zijn gedetermineerd en gebruikt voor de verder analyses



## 2.2 Dataselectie en statistiek

Voor de benthos analyses zijn alle soorten benthos van de steekbuis bemonstering meegenomen. Om die diversiteit te bepalen van een monsterpunt is er gekozen voor de Shannon-Weaver index:

$$H' = -\sum_{i=1}^S (p_i \ln p_i)$$

Hierbij is  $n_i$  het aantal individuen per soort  $i$ ,  $S$  is het aantal soorten (oftewel soortenrijkdom),  $N$  is het totaal aantal individuen en  $p_i$  het relatieve voorkomen van elke soort als het aantal individuen van soort  $i$  ten opzichte van het totaal aantal individuen:  $\frac{n_i}{N}$ . Hoe hoger de waarde

van de index hoe hoger de diversiteit.  $\frac{n_i}{N}$

Hiermee wordt de diversiteit van een systeem aangegeven doormiddel van het kijken naar het relatieve aandeel van de soorten. Om te kijken of een dunne zandlaag evenveel individuen herbergt dan een dikke zandlaag is er gekeken of de zandlaagdikte invloed uitoefent op het aantal individuen in het sediment. In de analyse naar zanddikte-afhankelijkheid van het benthos is er niet gekeken naar de biomassa van epifauna (soorten die op de bodem leven zoals krabben en keverslakken) en mollusken. Dit is gedaan omdat epifauna minder afhankelijk is van bodemsamenstelling en omdat de schelpmassa van de mollusken te veel het totale gewicht beïnvloedt in deze analyse. Er is dus voornamelijk gekeken naar de biomassa van wormen en kleine kreeftachtigen. In alle bovenstaande analyses is gekeken gaan de determinatiecoëfficiënt  $R^2$  om te testen of er een verband optreedt in de drie analyses.

De *A. marina* dichtheidsanalyses zijn gebaseerd op de hoopjes tellingen, zandlaagdiktes en de locaties ten opzichte van de droogvalduurklassen. De zandlaagdiktes die zijn gebruikt hiervoor zijn verkregen uit de gutsbemonsteringen. Bij elke monsterpunten is een volledige zandig bodemprofiel aangetroffen. Voor deze analyses gekozen om de lengte van het genomen bodemmonster aan te gebruiken als totale zandlaagdikte, waar de werkelijke zandlaagdiepte veel groter zou kunnen zijn. Ten eerste is er gekeken naar de hoopjesdichtheid tegenover de zandlaagdichte. Dit is gedaan om te kijken of deze soort afhankelijk, en in welke mate, is van een zandlaag. Ten tweede is de relatie van de soort bekeken met de droogvalduurklassen waarin deze voorkomt om te kijken of onregelmatigheden in de eerste analyse te verklaren zijn.

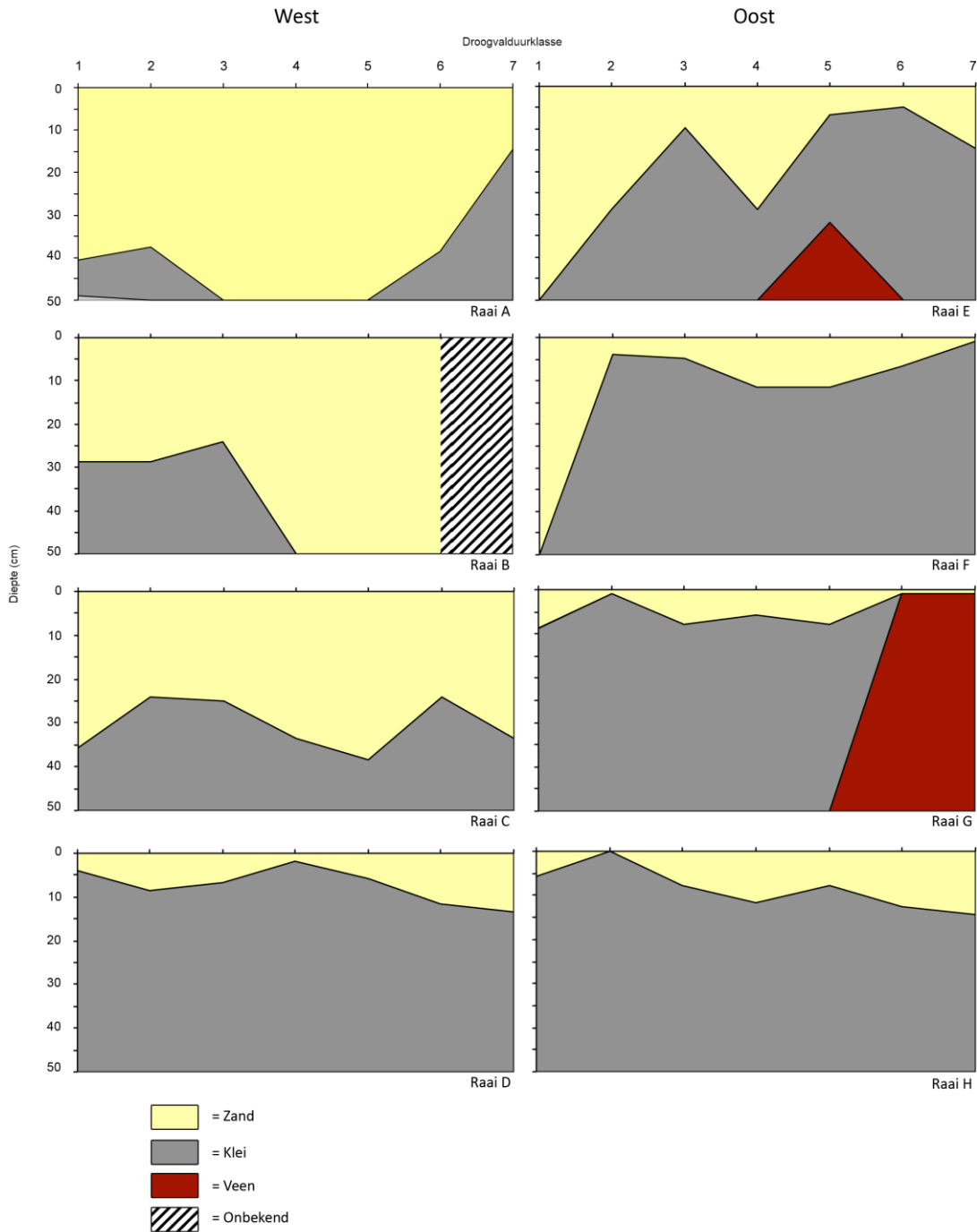


## 3 Resultaten

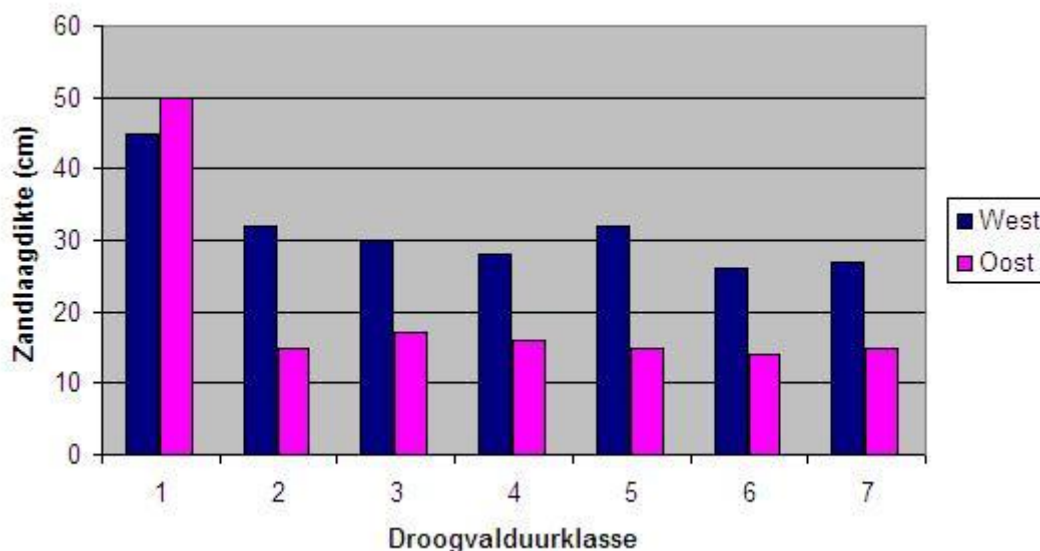
### 3.1 Sediment

Over de acht raaien zijn dieptes van de zandige toplaag gemeten in zeven droogvalduur klassen. Deze dieptes zijn aangegeven in centimeters onder het plaatoppervlak (zie figuur 3.1). Er zijn drie soorten sedimenten aangetroffen binnen de bemonsterde dieptes: zand, klei en veen. Vrijwel overal bevond zich klei onder het zand, op slechts één plek was er geen zand meer aan het oppervlak waarneembaar. De gemiddelde zandlaagdiktes waren in het westelijke gebied dikker ten opzichte van het oostelijke gebied, het gemiddelde in het westen is 32,3 cm en in het oosten is die 12,8 cm, dat is bijna 60 % minder. Er zijn op drie monsterpunten veenlagen aangetroffen in het gebied. Deze lagen bevonden zich allen in het oostelijke gebied en waren het duidelijkst waarneembaar op raai H waarbij de laagste twee monsterpunten deze veenlagen bijna aan het oppervlakte lagen. Hier was de zandlaag slechts één centimeter dik. Het feit dat de oostelijke en westelijke gebieden niet verschillen in zandlaagdikte op de hoogste punten (droogvalduur 35 – 40%) is komt doordat op aan raaien E & F zanddiktes voorkomen van tenminste 60 en 62 centimeter (figuur 3.2).

**Figuur 3.1** Resultaten van de metingen van de diepteprofielen van het sediment in de twee deelgebieden, gemeten met de guts. Weergegeven zijn de sedimentsoorten zand, klei en veen tot op 50 cm diepte. Op de x-as staan de monsterpunten die overeenkomen met de volgende droogvalduur klassen: 1: 35-40%, 2: 30-35%, 3: 25-30%, 4: 20-25%, 5: 15-20%, 6: 10-15% en 7: 5-10%.



Figuur 3.2 Gemiddelde zandlaagdiktes per droogvalduur tijd per gebied. Op de x-as staan de monsterpunten die overeenkomen met de volgende droogvalduur klassen: 1: 35-40%, 2: 30-35%, 3: 25-30%, 4: 20-25%, 5: 15-20%, 6: 10-15% en 7: 5-10%.

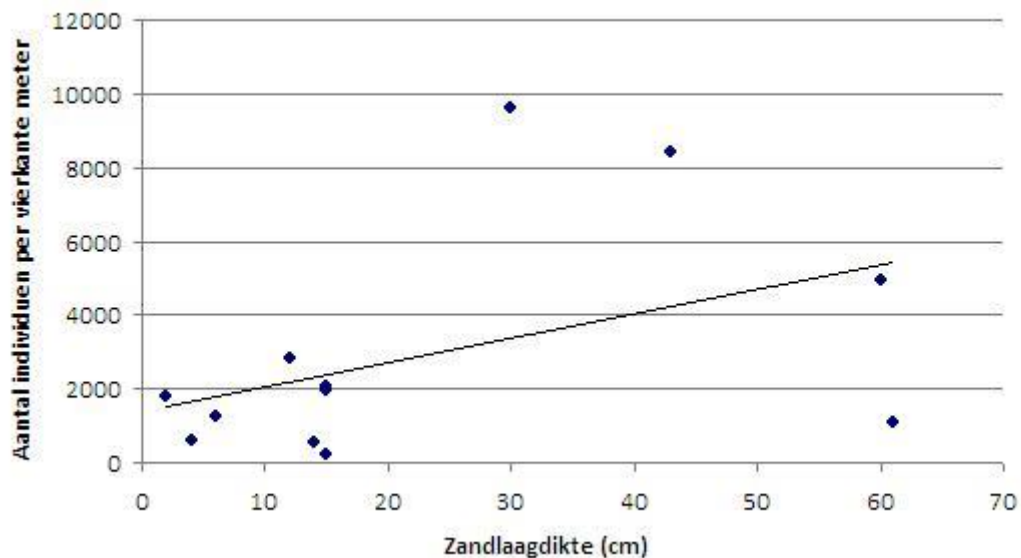


### 3.2 Benthos

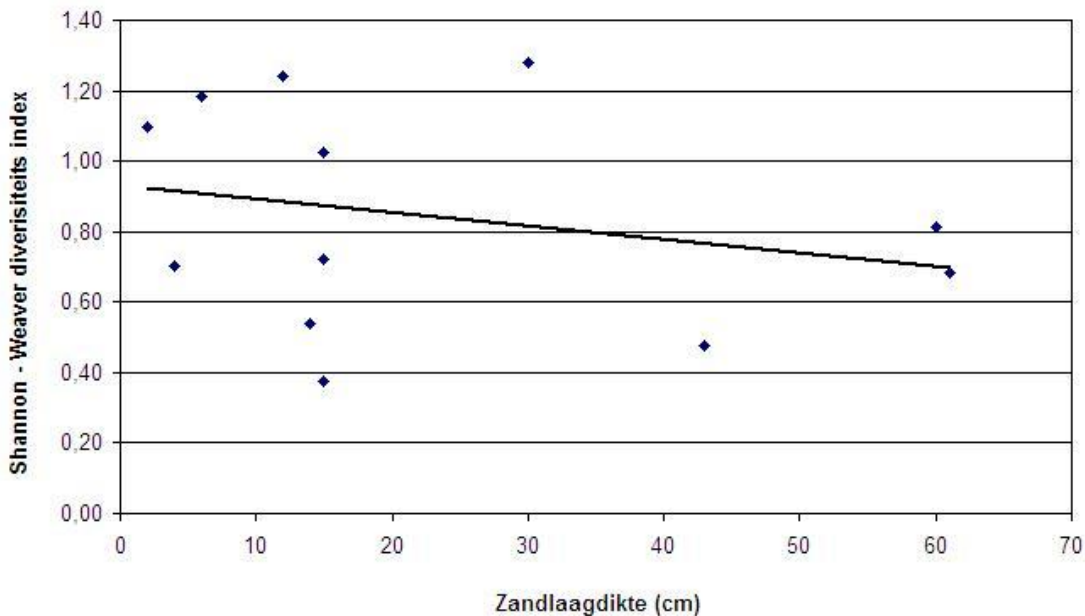
In de figuren 3.3, 3.4 en 3.5 wordt gekeken naar de impact van de zandlaagdikte op het benthos in 12 monsterpunten. Uit figuur 3.3 blijkt dat een dunnere zandlaag een klein effect heeft op de daling in het aantal individuen dat zich in de sedimentkolom bevindt ( $R^2=0,20$ ). Vooral kleinere wormen zoals *Aphelochaeta marioni*, *Notomastus latericeus* en *Olichochaeta* lijken weinig effect te ondervinden van afnemende zandlaagdikte.

De diversiteit van de soorten binnen elk monsterpunt is aan de hand van de Shannon-Weaver index bepaald. Dit is gedaan om te kijken of een dunne zandlaag bovenop veen of klei enige invloed heeft op de diversiteit van de soorten binnen het gebied. Figuur 3.4 laat echter zien dat er een zeer klein verband zit tussen de dikte van de zandlaag en de diversiteit van het monsterpunt ( $R^2 = 0,07$ ).

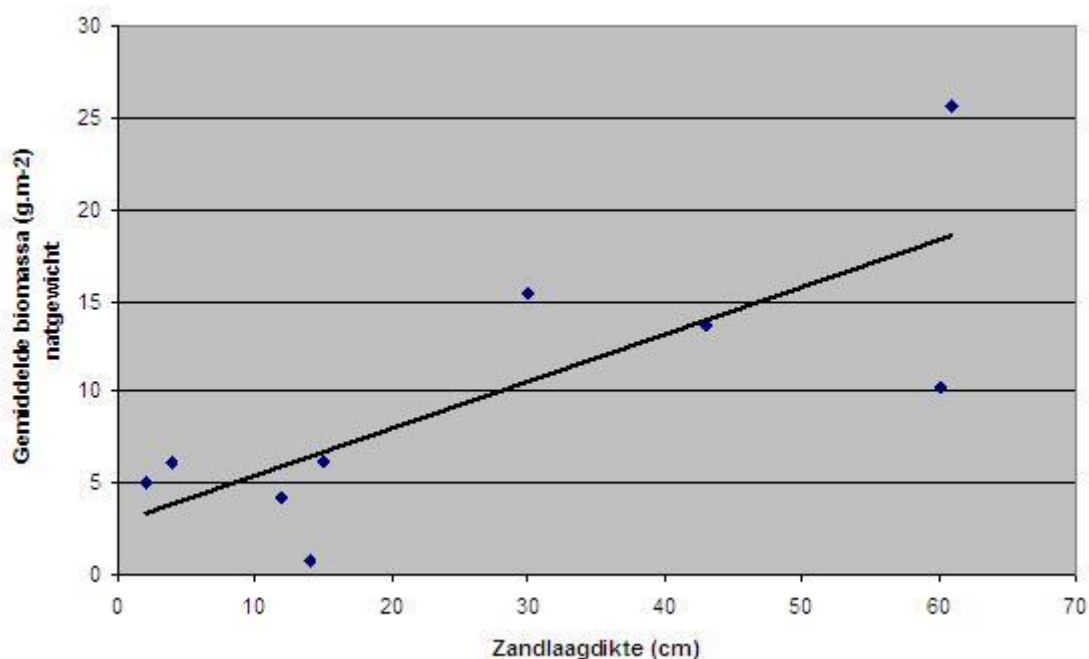
Figuur 3.3 Aantal individuen per vierkante meter met de daarbij waargenomen zandlaagdikte.  $R^2 = 0,20$



Figuur 3.4 Shannon - Weaver diversiteits index van het waargenomen benthos en de daarbij waargenomen zandlaag dikte (in cm).  $R^2 = 0,07$



Figuur 3.5 De gemiddelde biomassa per vierkante meter (in g) met de daarbij waargenomen zandlaag.  $R^2 = 0,6$

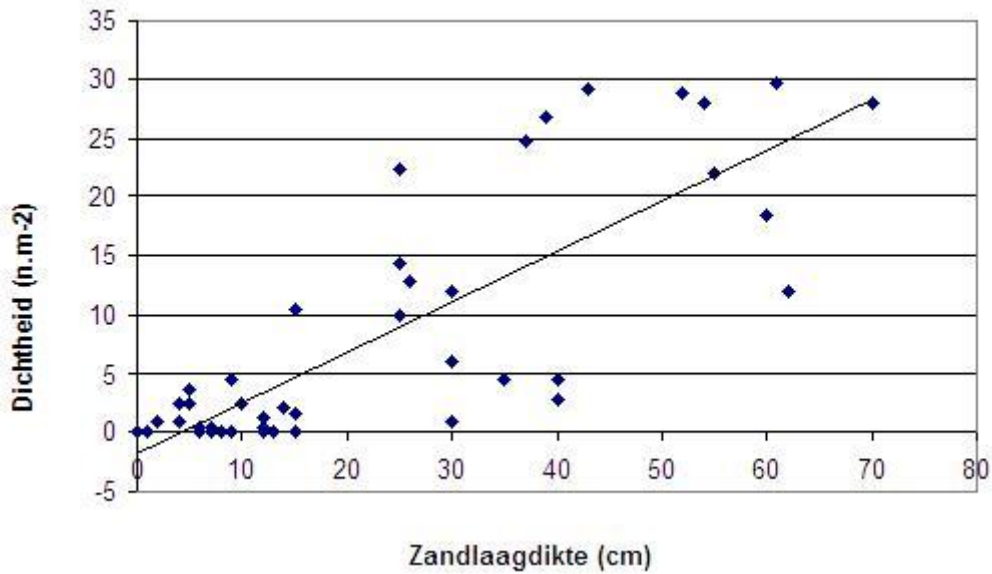


In figuur 3.5 is een verband te zien tussen de dikte van de zandlaag en de biomassa van infauna exclusief tweekleppigen ( $R^2 = 0,6$ ). Dit is voornamelijk te danken aan grotere soorten die in dikkere zandlagen voorkomen of omdat een soort groter kan groeien in een dergelijke laag. Een goed voorbeeld hiervan is *A. marina*, deze soort is wat groter en heeft daarom meer biomassa. Het zou daarom kunnen zijn dat een soort zoals deze een groot aandeel heeft in de biomassavermindering bij de dunnere zandlagen.

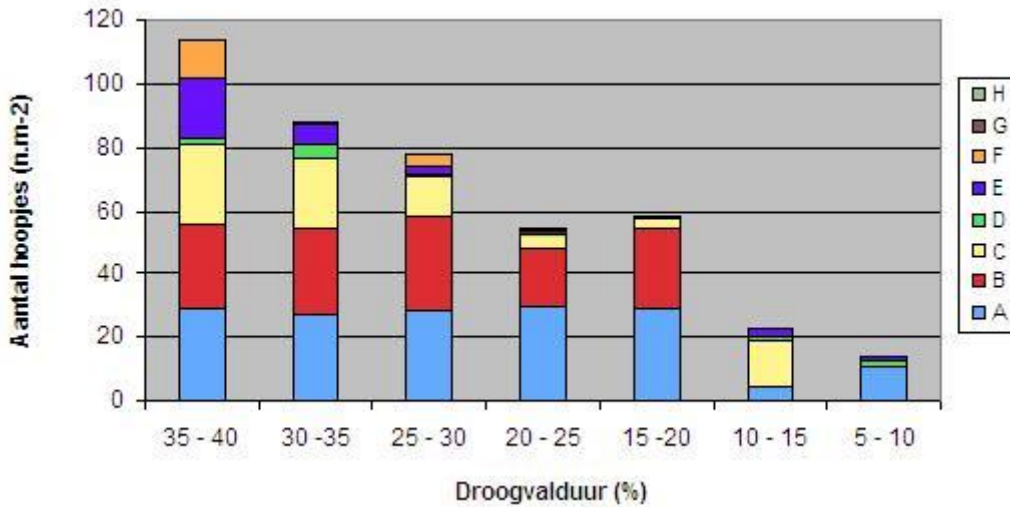
### 3.3 Dichtheden *Arenicola marina*

Figuur 3.6 laat de verhouding zien tussen het aantal *A. marina* hoopjes zien per m<sup>2</sup> tegenover de zandlaag dikte waarin deze aantallen zijn aangetroffen. De grafiek laat zien dat aantallen *A. marina* in verband staan met de zandlaagdikte waarin zij leven ( $R^2 = 0,68$ ). De lagere dichtheden *A. marina* bij relatief dikke zandlagen van 60 en 62 cm vallen op (18,4 en 12 hoopjes m<sup>2</sup>). Dit is te wijten aan de lage droogvalduur op deze locaties. Dit komt vooral door het feit dat *A. marina* een depositie voeder is en foerageert op algen die op het sediment leven. Die op hun beurt minder baat hebben bij een lage droogvalduurperiode doordat de lichtintensiteit over de dag daar minder is. In figuur 3.7 is deze indirecte relatie tussen *A. marina* dichtheid en de droogvalduurperiode te zien. In het gebied met de hoogste droogvalduurklasse is de gemiddelde dichtheid van *A. marina* hoopjes 6 maal zo groot als de laagste droogvalduurklasse.

Figuur 3.6 Aantallen waargenomen *A. marina* hoopjes per vierkante meter met de gemeten zandlaagdiktes.  $R^2 = 0,68$



Figuur 3.7 Som van de aantallen waargenomen *A. marina* hoopjes per vierkante meter op droogvalduurklasse.

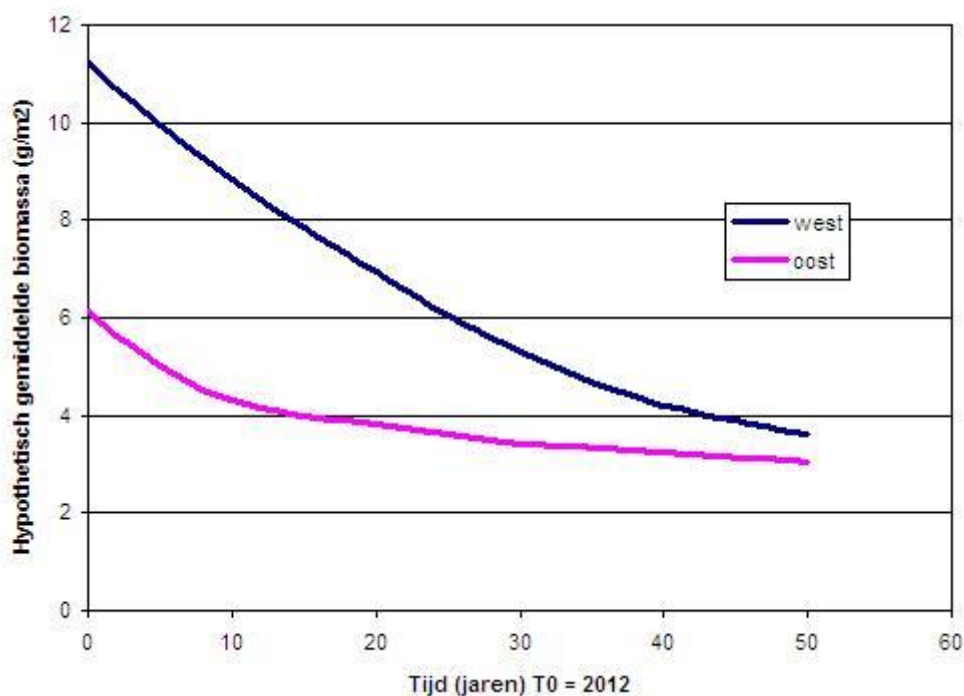


## 4 Discussie & conclusie

### 4.1 Benthos

In de Oosterschelde is de gemiddelde erosiesnelheid van de intergetijdengebieden 1 cm per jaar (Hesselink et al., 2003; van Zanten, 2008). Er vindt sterkere erosie plaats op de steile en westelijke tot zuidelijke randen en op kleine geïsoleerde platen. Maar er vindt ook lokale sedimentatie plaats zoals bij op schorregebied bij Rattenkaai en in de Krabbenkreek. In de kom van de Oosterschelde is er tussen 1983 en 2001 ongeveer 382 ha aan intergetijdengebied verloren gegaan (Hesselink et al., 2003). Deze snelheid is iets boven het gemiddelde verlies aan intergetijdengebied voor de hele Oosterschelde (van Zanten, 2008). In de kom zijn vooral de gebieden met een droogvalduur klasse 20% -60% in oppervlakte verminderd en is de oppervlakte aan lage platen (droogvalduur klasse 0 – 20%) toegenomen (Hesselink et al., 2003). Wanneer er wordt uitgegaan van de verwachte erosie van 1 cm per jaar dan kan er in de geïnventariseerde gebieden veel veranderen. Deze erosieratio gekoppeld aan de diepteprofielen van de monsterpunten levert hypothetisch gezien op dat al na 8 jaar het oostelijk deel van de monsterpunten voor de helft de zandlaag verloren is en het westelijke gedeelte na 30 jaar. Een steeds dunner wordende zandlaag als gevolg van de continue erosie betekent een habitatverandering voor het benthos wat vooral de grotere soorten beïnvloed. Dit laat zich vooral zien in de biomassa afname bij een dunner wordende zandlaag. In figuur 4.1 is hypothetisch weer te geven wat de geschatte erosie op langere termijn voor effect zou kunnen hebben op de gemiddelde biomassa van het benthos. Hier is te zien dat beide gebieden een daling in biomassa laten zien. De daling wordt later gestagneerd doordat steeds meer klei en veen al aan de oppervlakte is gekomen en er steeds op minder plaatsen nog erosie van zand kan optreden.

Figuur 4.1 De hypothetische afname van de gemiddelde biomassa per vierkante meter voor de gebieden Oost en West in de komende 50 jaar.



Het afnemen van de zandlaag heeft verschillende effecten op de verschillende benthos soorten. Dit komt door de verschillen in voorkeuren van sediment en ingraafdieptes van de verschillende soorten, hoe dieper de graafdiepte in zand hoe sneller er druk wordt ondervonden van het dagzomen. Zo graven twee-kleppigen als *Macoma balthica* (nonnetje) en *C. edule* zich relatief laag in (van 2 tot 6 cm diep). Terwijl wormen als *A. marina* en *Hediste diversicolor* op lagere graafdieptes kunnen gevonden worden (van 2 tot 25 cm diep) (Esselink & Zwarts, 1989, Wanink & Zwarts, 1993). Het is daarom te verwachten dat grotere soorten als *A. marina* respons laten zien op het dunner worden van de zandlaag. Met een erosiesnelheid van 1 cm.j<sup>-1</sup>, de verhouding van *A. marina* dichtheid met de zandlaag en de huidige zandlaag kan er voorspeld worden wat de hypothetische dichtheden zullen zijn in de toekomst. Hieruit blijkt dat in het westelijke gebied de populatie na 17 jaar met de helft verminderd zal zijn, en dat dit in het oostelijke studiegebied al na 6 jaar zal zijn gebeurd. Omdat er in de winterperiode is bemonsterd en de graafdiepte van deze worm dat dan op zijn diepst is (Wanink & Zwarts, 1993) is de voorspelling wat somberder ingesteld dan wanneer zomerse graafdieptes zijn aangenomen.

## 4.2 Functionele biodiversiteit

Hoewel de zandlaagdikte wel een effect lijkt te hebben op de biomassa van het benthos, heeft het weinig effect op het aantal individuen of de biodiversiteitsindex. Maar voor afzonderlijke, en vaak grotere, infauna-soorten kan het dunner worden of verdwijnen van de zandlaag van de platen in de Oosterschelde van wezenlijk belang zijn. Soorten die de omgeving veranderen en aanpassen aan hun levensbehoeften noemt men wel eco-ingenieurs (Jones et.al., 1994). Deze soorten veranderen het habitat op uiteenlopende manieren, zowel biotisch als abiotisch, waar andere soorten gebruik van maken. De aanwezigheid en het belang van hun aanpassingen in zandige kustsedimenten zijn in meerdere publicaties beschreven (Den Hartog and Phillips, 2001; Cadée, 2001; Dame et al., 2001; Pearson, 2001 and Paterson and Hagerthey, 2001). Een bekend voorbeeld is *Ammophila arenaria* (helmgras) wat zand van de duinen vast houdt. De aanpassingen die zij maken en hoe ze dit doen zijn in te delen in functies, wat leidt tot het indelen van marien macrobenthos in functionele groepen die het vermogen hebben om sediment eigenschappen te veranderen, zowel fysisch als chemisch. Er zijn verschillende soorten indelingen gemaakt om belangrijke functies binnen een ecosysteem in kaart te brengen. Met behulp van de soorten aangetroffen in de benthosinventarisatie en een afleiding van bestaande hoofdindelingen is er geprobeerd om een specifiekere functie-indeling te maken voor het inventarisatiegebied. Twee belangrijke hoofdindelingen van deze functionele groepen in Europese zacht-sediment kustsystemen, deze zijn van Reise (2002) en van Olenin (2011). Reise maakt een indeling in zeven soorten functies die direct of indirect het biotisch of abiotisch habitat veranderen:

- 1 Fototrofe matten, bosjes en gewortelde vegetatie;
- 2 Benthos dat slijm produceert tijdens verplaatsing;
- 3 Structuren gemaakt door filtervoeders;
- 4 Hard dood materiaal van benthos;
- 5 Holen of tunnels als natuurlijke habitats;
- 6 Omwoelen van sediment en irrigatie door infauna;
- 7 Sediment bewerking door externen.



(1) Fototrofe matten, bosjes en gewortelde vegetatie; deze groep bestaat uit alle fototrofe organismen uit alle taxonomische lagen, van individuele algencellen tot mangroven. Deze organismen zorgen voor een duidelijke regulatie van het sediment in het systeem op verschillende soorten manieren. Dit wordt opgedeeld in matvorming van algen en bacteriën die zorgen voor het vasthouden van de topsediment laag, kluiten algen die sediment en andere deeltjes plaatselijk vasthouden en de gewortelde vegetatie die flink verspreid kan zijn over een oppervlakte. Dit heeft invloed op de hydrodynamiek waardoor de ondergrond minder gevoelig is voor erosie en er een grotere depositie van zwevend materiaal kan plaatsvinden.

(2) Benthos dat slijm produceert tijdens verplaatsing; Het uitscheiden van slijm wanneer een organisme glijdt of kruipt over of in het sediment is vrij algemeen bij benthos. Dit geproduceerde slijm heeft een bindend effect op het sediment oppervlakte op kleine schaal, zo kan het gemaakte tunnels versterken.

(3) Structuren gemaakt door filtervoeders; sommige van deze soorten leven in groepen, compact op elkaar om zo verhoogde structuren te maken (b.v. mosselbanken, oesterriffen) zodat meer zwevende deeltjes kunnen worden ingevangen (Fedra, 1977; Hily 1991).

(4) Hard dood materiaal van benthos; hier wordt veelal schelpen bedoeld die na het sterven van het organisme nog jarenlang op de bodem liggen totdat ze overdekt worden met sediment. Deze schelpen zijn een harde ondergrond op een zacht sediment dat voor onderkomen of vestigingsplekken kan betekenen voor meiobenthos.

(5) Holen of tunnels als natuurlijke habitats; er zijn veel soorten benthos die tunnels of hopen maken in het sediment op verschillende manieren en vormen. Veelal zijn deze Y of U gevormd en hebben aftakkingen en kamers. De tunnels hebben een wand van polysacchariden die meer stevigheid bieden. Een grote verspreiding van deze tunnels zorgt voor een beter transport van deeltjes, opgeloste metabolieten en zuurstof in het sediment. Ook zorgen de in- en uitgangen van de tunnels aan het oppervlakte voor kleine inzakkingen.

(6) Omwoelen van sediment en irrigatie door infauna; Bioturbatie verandert de fysische eigenschappen van het sediment en de chemische compositie van het water tussen de korrels. Dit wordt wel als het 'ploegen' van sediment gezien. Zo blijft het sediment, wat niet direct in contact staat met het water, toch zuurstof- en nutriëntenrijk (Pearson and Rosenberg, 1978; Rhoads et al., 1978).

(7) Sediment bewerking door externen; Deze functie wordt vooral ingevuld door bijvoorbeeld krabben, vissen en ook mensen. Deze zorgen, net als de vorig genoemde functie, voor bioturbatie. De indeling van Olenin bestaat ook uit 7 functies:

- 1 Biosedimentatie;
- 2 Pelletisering;
- 3 Graven;
- 4 Het maken van biogene structuren;
- 5 Irrigatie;
- 6 Schelprest ophoping en
- 7 Deeltjes opvangen en vasthouden.

Deze indeling lijkt sterk op die van Reise op een paar punten na. Ten eerste gaat de functies van Olenin allen uit van macrobenthos, waar Reise ook in gaat op flora en anderen soorten fauna. Ten tweede gaat Reise er van uit dat het opvangen van deeltjes en biosedimentatie een gevolg is van de formatie van biogene structuren en dus één aparte functie is. Olenin neemt de effecten van slijmvorming niet mee in zijn functieclassificatie, en ook niet de effecten van externe biotische factoren (al dan niet van benthos). Ook geeft Reise in zijn functieclassificatie aan dat pelletisatie een onderdeel is van sediment bewerking door infauna en geen aparte klasse is.

Om een beter beeld te krijgen van de functies in het onderzochte gebied en het effect van veranderingen in zandlaagdikte op eventuele functieveranderingen is er geprobeerd om beide functionele indelingen te combineren in de volgende functionele indeling:

- 1 Benthos dat slijm produceert tijdens verplaatsing;
- 2 Structuren gemaakt door filtervoeders;
- 3 Hard dood materiaal van benthos;
- 4 Holen of tunnels van natuurlijke habitats;
- 5 Omwoelen van sediment en irrigatie van infauna;
- 6 Sediment bewerking door externen.

Naam	Foerageer gedrag (DV = Depositie voeder, SV = Suspensie Voeder, Ca = Carnivoor, Om = Omnivoor, He = Herbivoor, De = Detrivoor, Pr = Predator, Aa = Aaseter, Gr = Grazer, f = facultatief	Verplaatsingsclassificatie: St = stationair, Be = bewegelijk, SBe = semi-bewegelijk, EP = epifaunal, IN = infaunal, NB = nectobenthisch	Benthos dat slijm produceert tijdens verplaatsin g	Structuren gemaakt door filtervoeder s	Hard dood materiaal van benthos	Holen of tunnels als natuurlijke habitats	Sediment bewerking en irrigatie door infauna	Sediment bewerking door externen
<i>Abra alba</i>	DV	SBe IN			x			
<i>Aphelochaeta marioni</i>	DVc SFV(f)	Be IN	X			x	x	
<i>Arenicola spec</i>	DV, Gr	Be IN	X			x	x	
<i>Arenicola marina</i>	DV	Be IN	X			x	x	
<i>Capitella capitata</i>	Ca; DV, De, Gr	Be IN	X			x	x	
<i>Carcinus maenas</i>	Ca, Pr, Aa	NB, IN EP						x
<i>Cerastoderma edule</i>	SV	SBe IN		x	x			
<i>Corophium spec.</i>	DV; SV(f)	NB, IN EP				x	x	x
<i>Corophium arenarium</i>	DV	NB, IN EP				x	x	x
<i>Crangon crangon</i>	Pr	Be EP NB						x
<i>Eteone spec</i>	Om, Pr, Aa	Be IN	X			x	x	
Gammaridae	Om, Pr, Aa	Be IN EP				x	x	x
<i>Heteromastus filiformis</i>	DV	Be IN	X			x	x	
<i>Peringia ulvae</i>	DV	Be EP NB	X		x			
<i>Lepidochitona cinerea</i>	DV, Gr	Mo EP NB	X					
<i>Macoma balthica</i>	DV SV	SBe, St IN			x		x	
<i>Marphysa sanguinea</i>	Om	Be IN	X			x	x	
<i>Mya arenaria</i>	SV	SBe, IN			x		x	
Nemertea	Pr	Be IN	X			x	x	
<i>Nephtys spec</i>	Om, Pr, Aa	Be IN	X			x	x	
<i>Nereis spec</i>	Om, Pr, Aa	Be IN	X			x	x	
<i>Notomastus latericeus</i>	DF, Gr	Be IN	X			x	x	
Nudibranchia	Om, Pr, Aa	Be EP NB	X					
Oligochaeta	DF, Gr	Be IN	X			x	x	
Phyllodoctidae	Om, Pr, Aa	Be IN	X			x	x	
<i>Polydora cornuta</i>	DV, SV(f)	Be IN	X			x	x	
<i>Pygospio elegans</i>	DV, SV(f)	Be IN	X			x	x	
<i>Venerupis philippinarum</i>	SV	SBe, St IN			x		x	
<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i>	DV	Be IN	X			x	x	
Spionidae	DV, SV(f)	Be IN	X			x	x	
<i>Streblospio benedicti</i>	DV, SV(f)	Be IN	X			x	x	

Tabel 4.1 Alle waargenomen soorten of soortsgroepen van de twee geïnventariseerde deelgebieden, ingedeeld in hun foerageergedrag, verplaatsingsgedrag en functionele groepen om hun zacht sediment habitat te transformeren (bio-bouwers).

De impact van een uitgeoefende functie binnen het onderzochte gebied ligt aan het aantal individuen die de functie uitoefenen en het effect van de vervulde functie. Het effect van een vervulde functie is afhankelijk van soort en grootte. Een voorbeeld van een effect van een vervulde functie zijn de *A. marina* hoopjes, dit valt onder de categorie “sediment bewerking en irrigatie door infauna”. Deze hoopjes geven meer microreliëf aan het sediment waardoor afstromen van water tijdens eb wordt vertraagd. Door de verlaagde stroomsnelheden in de kom zullen deze hoopjes minder snel eroderen en ontstaat er, als er genoeg individuen zijn, een vernatting van het intergetijdengebied (Geurts van Kessel et al., 2003). De sedimentomzetting en irrigatie door *A. marina* in hoge dichtheden heeft een groot effect op de bodem. Door de foerageeractiviteit van deze worm diep in het sediment ontstaat er een neerwaartse stroom van materiaal van de oppervlakte naar diepere lagen. Dit materiaal kan naast sediment ook schelpmateriaal zijn. Door een constante activiteit van *A. marina* in het sediment kan er een laag van schelpen en ander niet verwerkbaar materiaal voor de worm zich ophopen in de bodem. De diepte van deze schelpenlaag is afhankelijk van grootte van de wormen en van de temperatuur (Wanink & Zwarts, 1993). De activiteiten van deze worm kunnen het bestaan of vestigen van *Zostera noltii* (Klein zeegras) beïnvloeden (Philippart, 1994) en van *Spartina anglica* (Engels slijkgras) (van Wesenbeeck et al., 2007). Het verlies van bepaalde functies is dus afhankelijk van uitvoerende soorten en hun habitatvoorkeuren. De afname van zandlaagdikte en het verhogen van de inundatietijd van de intergetijdengebieden zijn twee grote factoren die verandering brengen in het habitat voor veel van deze soorten. Verdunning van de zandlaag kan zorgen voor het verdwijnen van grotere soorten als *A. marina* en *Mya arenaria* (strandgaper) met hun functie. Het verhogen van de inundatietijd kan echter weer veel kansen bieden voor filtervoeders zoals *M. arenaria*. Doordat er steeds meer intergetijdeoppervlakte wordt overspoeld met zeewater ontstaat er een habitatgroei voor filtervoeders en hun mariene predatoren zoals *Pleuronectes platessa* (schol). Doordat er steeds meer gebieden onder water komen te staan betekent dat een groter oppervlakte wat minder zonlichtintensiteit ondervindt, dit resulteert in een verlies van onder andere algen die op het sediment leven. Deze algen vormen de voedselbron van veel soorten depositievoeders die het verhogen van de inundatietijd daarom juist zien als een negatief effect. De resultaten van de zandhonger zoals inundatietijd vergroting en afname van zandlagen zorgen voor een verschuiving van functies in het Oosterscheldesysteem.

#### 4.3 Mitigerende maatregelen

Rijkswaterstaat heeft verschillende soorten inrichtingsopties bestudeerd om het verlies aan intergetijdeareaal te beperken of herstellen (Ronde et.al., 2010). Deze verschillende inrichtingsopties zijn er in verschillen soorten en maten en zullen allemaal een mitigerende invloed op de zandhonger als doel hebben. Er zijn drie soorten maatregelen onderzocht: (1) Oorzaak van de zandhonger bestrijden (meer water door de geulen laten stromen of meer zand in de geulen brengen), (2) effect van de zandhonger bestrijden (verlies van intergetijdengebieden tegengaan) en (3) elders vergelijkbare natuur ontwikkelen. Binnen deze drie maatregelen zijn meer specifiekere maatregelen geformuleerd (van Zanten, 2010). De maatregelen die betrekking hebben op dit onderzoek zijn de effecten die samengaan met de bestrijding van de zandhonger door het verlies van het intergetijdengebied tegen te gaan. Dit zou voornamelijk kunnen gebeuren door erosie tegen te gaan door middel van oeververdediging of schelpdierbanken, al dan niet in combinatie met de maatregel suppleren van het intergetijdengebied. Ook zouden de geulen lokaal kunnen worden opgevuld.

Het suppleren en vasthouden van het intergetijdengebied zouden mitigerende maatregelen kunnen zijn die specifiek ingaan op habitat verlies van flora en fauna op de platen. Er kan

zelfs worden overwogen om tactisch te gaan suppleren op plekken waar dagzoming van klei en veen een grote rol speelt voor de infauna. Er kan worden nagedacht over ecologisch verantwoord suppleren. Dit houdt in dat er geleidelijk, op dunne zandlagen eerst, met tussenpozen van enkele jaren, wordt gesuppleerd op verschillende plekken. Waarbij de ecologisch zwakkere plekken eerst worden aangepakt en dat vanuit meer vitale arealen nieuwe aanwas van soorten kan komen. Met andere woorden, een stapsgewijze gecontroleerde zandsuppletie waarbij wordt uitgegaan van de nieuwe vestigingstijd van een populatie met een gezonde functionele biodiversiteit.

Een maatregel als een harde oeververdediging langs een bepaalde hoogterand op een intergetijdeplaat zou kunnen zorgen voor een ruimtelijke scheiding waar migratie tussen beide gebieden bemoeilijkt wordt. Een voordeel is wel dat als deze tactisch wordt geplaatst op de juiste droogvalduurgradiënt er veel aftopping van de platen kan voorkomen.

Concluderend, het proces van dagzomen van andere sedimenten zoals klei en veen als resultaat van de Zandhonger is al enige tijd bezig in de kom van de Oosterschelde. De lokaal steeds dunnere wordende zandlagen in het gebied kunnen slechts een bentische gemeenschap herbergen met een lagere biomassa als voorheen aanwezig. Daarnaast lijken bepaalde functionele groepen harder geraakt te worden door plaatoppervlakte en inundatietijd verlening. Naast de effecten die de Zandhonger met zich mee brengt, zoals het verlies aan oppervlakte van foerageergebieden en een reductie in draagkrachtreductie voor wadvogels door afname van bentos zoals de kokkel (Rappolt et. al., 2006, Troost, 2009), zal het dagzomen een versterkende factor zijn in de voedselafname voor wadvogels. De afgenomen dikte van de zandlaag zorgt voor het (gedeeltelijk) verdwijnen van grotere en dieper levende soorten. Wat kan resulteren in een functionele biodiversiteitsafname. Dit kan de veerkracht van het ecosysteem negatief beïnvloeden. Eventuele mitigerende maatregel tegen dit probleem kan zandsuppletie zijn plus het vasthouden van dit materiaal, al dan niet met behulp van de functies in het systeem en het versterken hiervan.

## 5 Literatuur

- Cadée, G.C., (2001). 'Sediment dynamics by bioturbating organisms'. In: Reise, K. (Ed.), Ecological Comparisons of Sedimentary Shores. Springer, Berlin, pp. 127– 236.
- Dierendonck, H.M. van & J.A. Okkerman, (1982). 'Boven Pleistocene en Holocene geologische opbouw van het Oosterschelde bekken'. Geomor nota 83.02.
- Esselink, P. & L. Zwarts, (1989). 'Seasonal trend in burrow depth and tidal variation in feeding activity of *Nereis diversicolor*'. Mar. Ecol. Prog. Ser. 56: 243-254.
- Fedra, K., (1977). 'Structural features of a north Adriatic benthic community'. In: Keegan, B.F., Ceidigh, P.O., Boaden, P.J.S. (Eds.), Biology of Benthic Organisms. Pergamon Press, Oxford, pp. 233–246.
- Fischer, M.M. (Red.) (1997), 'Holocene evolution of Zeeland (SW Netherlands)'. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Mededelingen 59.
- Geurts van Kessel, A.J.M., B.J. Kater & T.C. Prins, (2003). 'Rapportage van themas's 2 en 4 uit het 'Lange termijn onderzoeksprogramma voedselreservering Oosterschelde', in het kader van de tweede evaluatie van het Nederlands Scheldiervisserijbeleid'. EVA II
- Heemsbergen DA, M.P. Berg, M. Loreau, J.R. van Haj, J.H. Faber & H.A. Verhoef, (2004) 'Biodiversity effects on soil processes explained by interspecific functional dissimilarity'. Science 306: 1019–1020
- Hesselink, A.W., D.C. van Maldegem, K. van der Male & B. Schouwenaar, (2003). 'Verandering van de morfologie van de Oosterschelde door de aanleg van de stormvloedkering'. Nota RIKZ/OS/2003.810x. Middelburg
- Hily, C., (1991). 'Is the activity of benthic suspension feeders a factor controlling water quality in the Bay of Brest?'. Mar. Ecol. Prog. Ser. 69, 179–188.
- Jacobse, S., O. Schol & J. van de Koppel (2008) 'Prognose van schor en slikontwikkelingen in de Oosterschelde'. Royal Haskoning Rotterdam. Project 9R9125.A0
- Janssen, C. (2009), Steilranden – Geologie van Nederland, Geologie van Nederland, bezocht op 24 mei 2012, < <http://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/steilranden>>.
- Jones, C. G., J.H. Lawton & M. Shachak, (1994). 'Organisms as ecosystem engineers'. – Oikos 69: 373-386.
- Hartog, C. den, & R.C. Phillips, (2001). 'Common structures and properties of seagrass beds fringing the coasts of the world'. In: Reise, K. (Ed.), Ecological Comparisons of Sedimentary Shores. Springer, Berlin, pp. 195– 212.

- Lievense, P., (2006). 'Aanvullende berekeningen naar getijvolume stormvloedkering in het kader van de zandhonger Oosterschelde'. RWS ZLD. Interne adviesnota
- Meadows, P.S., A. Meadows, (1991). 'The environmental impact of burrowing animals and animal burrows'. Symp. Zool. Soc. Lond. 63, 1– 349.
- Olenin, S., (2011). 'Functional ecology of marine biotopes; An introduction to the biological and ecological structures and the functions of biodiversity in different parts of the Baltic Sea'. Presentation of a PreHab PhD course, a multidisciplinary introductory course on ecological mapping and economic valuation of coastal areas. Husö Biological station, Åland islands, Finland.
- Paterson, D.M., S.E. Hagerthey, (2001). 'Microphytobenthos in contrasting coastal ecosystems: Biology and dynamics'. In: Reise, K. (Ed.), Ecological Comparisons of Sedimentary Shores. Springer, Berlin, pp. 105– 125.
- Pearson, T.H., (2001). 'Functional group ecology in soft-sediment marine benthos: the role of bioturbation'. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev. 39, 233– 267.
- Pearson, T.H., Rosenberg, R., (1978). 'Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment'. Oceanogr. Mar. Biol. Rev. 16, 229–311.
- Philippart, C.J.M., (1994). 'Interactions between *Arenicola marina* and *Zostera noltii* on a tidal flat in the Wadden Sea'. Mar. Ecol Prog. Ser. 111: 251-251.
- Rappoldt C., M. Kersten & B.J. Ens, (2006). 'Scholeksters en de droogvalduur van kokkels in de Oosterschelde; Modelberekeningen voor de periode 1990-2045 aan het effect van zandhonger en zeespiegelstijging op het aantal scholeksters'. EcoCurves rapport 2, EcoCurves, Haren. SOVON-onderzoeksrapport 2006/12, 61 pp.
- Reise, R., (2002). 'Sediment mediated species interactions in coastal waters'. Journal of Sea Research. 48 : 127-141.
- Rhoads, D.C., P.L. McCall & J.Y. Yingst, (1978). 'Disturbance and production of the estuarine seafloor'. Am. Sci. 66, 577–586.
- Ronde J.G. de, J.P.M. Mulder, L.A. van Duren & T. Ysebeart, (2010). 'Eerste Interimadvies ANT Oosterschelde'. Deltares rapport, 37 pp.
- Smaal, A.C. & R.C. Boeije, (1991), 'Veilig getij, de effecten van dewaterbouwkundige werken op het getijdemilieu van de Oosterschelde.Rijkswaterstaat', Dienst Getijde Wateren, GWWS nota 91.088.
- Wanink, J.H. & L. Zwarts, (1993). 'Environmental effects on the growth rate of intertidal invertebrates and some implications for foraging waders'. Netherlands Journal of Sea Research. 31 : 407-418.

- Wesenbeeck, B.K. van, J. van de Koppel, P.M.J. Herman, J.P. Bakker & T.J. Bouma, (2007). 'Biomechanical warfare in ecology; Negative interactions between species by habitat modification'. *Oikos* 116: 742-750.
- Wijsman, J.W.M. (2007). 'Effecten van zandhonger in de Oosterschelde op kokkels, oesters en de kweek van oesters en mosselen'. Wageningen Imares. Rapport nr C002/07
- Zanten, E. van & L.A. Adriaanse, (2008). 'Verminderd getij, verkenning naar mogelijke maatregelen om het verlies van platen, slikken en schorren in de Oosterschelde te beperken'. Rapport RWS/2008.
- Zwarts, L. & P. Esselink, (1989). 'Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves'. *Marine Biology* 100, 227-240.