



Een laag-dynamisch stukje wad op de Hollandse kust:
de ontwikkeling van de tweekleppige weekdierfauna in de lagune
en het duinmeer van de Zandmotor, 2012-2021

Bert van der Valk

A sheltered miniature tidal flat habitat on the Dutch coast: development of the bivalve mollusk fauna in the Zandmotor lagoon and dune lake, 2012-2021

Summary. The Zandmotor is an artificial large-scale (21,5 million m³) sand nourishment that was placed on the coast of the province of South-Holland in 2011-2012 to mitigate coastal erosion. In a short period a lagoon developed at the upstream end of the Zandmotor. Although monitoring of the benthic fauna was foreseen for the whole of the Zandmotor area, the lagoon was mostly neglected by that regular programme. The author has voluntarily carried out a monitoring programme in the lagoon from 2012-2022 focusing on bivalve shells washed-up and/or predated by birds. These shells are interpreted as a proxy for the shell benthic fauna development during the ten years monitoring period. The species present in the lagoon fit a low-energy tidal environment that has experienced periods of bounty and periods of constraints as the tidal influence in the lagoon waxed and waned. Wave-dominated processes periodically restrict the access of North Sea waters to the lagoon, leading to several crises (lack of food for primary production and thus for bivalves, temperature extremes, et cetera). The monitoring method used proved reliable using a frequency of observation once a month. In the future the method applied herein could be used in other coastal environments that are accessible to the public. In this fashion, citizen science may well contribute to mapping the consequences of ongoing nourishment practices in (endangered) coastal environments.

Inleiding

Met de aanleg van de Zandmotor in 2011 (Projectnota DHV, 2010) is op een klein deel van de Delflandse kust een totaal ander en niet eerder op de Hollandse kust bestaand milieu ontstaan: initieel een inham van de zee, maar al heel snel een lagune met een getijdengeul die de lagune verbond met de zee. Anno 2021 bestaat dit systeem nog steeds, maar het is inmiddels aanzienlijk veranderd. De lagune vertoonde over de periode 2011-2019 een geleidelijke morfologische ontwikkeling, enkele malen schoksgewijs onderbroken onder invloed van geulverkortingen zoals in 2012, 2016, 2019 en 2021. De eerste keer typisch door menselijk ingrijpen (2012) en de andere keren door overstromingen tijdens storm in het winterseizoen. Die sterk veranderlijke geul is over de tijd telkens opnieuw langer geworden onder invloed van kustdrift naar het noordoosten. Na 2019 is de lagune steeds meer geïsoleerd geraakt door een in hoogte en breedte

groeïende strandwal tussen de lagune en de ondiepe Noordzee waardoor de aanvoer van vers, voedselrijk Noordzeewater steeds meer beperkt werd. Alleen wanneer een overstroming gecreëerd wordt door hoog (storm-)tij en/of windopzet komt er nog zeewater in de lagune terecht, dat daarna langzaam afloopt naar zee – onder de zich vormende strandwal door, niet langer door een ondiepe geul. In de winter van 2021-2022 is de strandwal door overstromingen aanzienlijk verlaagd en functioneert de geul weer. In de lente van 2022 stond er echter lange tijd een zwakke tot matige noord- tot oostenwind waardoor vloedwater de lagune niet kon bereiken. Daardoor is de waterstand in de lagune sterk verlaagd geraakt.

In de lagune van de Zandmotor leven allerlei organismen, waaronder bentisch levende weekdieren, vooral tweekleppigen. De reguliere monitoring van de fauna van de Zandmotor

Fig. 1. De lagune in december 2019. Blikrichting zuidwest. De vernauwing geeft ongeveer de plaats aan waar de vloedgetijdendelta ligt. Foto Bert van der Valk.



Fig. 2. Typisch voorbeeld van een zeer verse schelpdierassemblage van vier algemene wad-soorten (met de klok mee: Gewone kokkel *Cerastoderma edule*, Nonnetje *Limecola balthica*, Strandgaper *Mya arenaria* en Amerikaanse zwaardschede *Ensis leei*) als vele malen aangetroffen op de randen van de lagune (verzameldatum maart 2017). Opvallend is het veelal voorkomen van drie à vier generaties van deze soorten. Foto en collectie Bert van der Valk.

heeft slechts beperkt aandacht besteed aan de ontwikkelingen in de lagune (Wijsman *et al.*, 2018). De auteur van het voorliggende artikel heeft met enige regelmaat (aanvankelijk ongeveer tweemaandelijks, later frequenter) de randen van de lagune afgelopen en zoveel mogelijk aangespoelde en/of door vogels gepredeerde schelpen van tweekleppige weekdieren opgeraapt. Zo ontstond een semi-kwantitatief gegevensbestand, waarvan onder andere in dit artikel verslag wordt gedaan. De hier gehanteerde aanname is dat het mogelijk is uitspraken te doen over de lagune als sub-milieu van de Zandmotor door de proxy data van aangespoelde tweekleppigen te gebruiken voor de ontwikkeling van de benthische tweekleppigen fauna in de lagune (en idem dito in het duinmeer).

De rapportage over de bodemdiergemeenschap in de vooroever en op het natte strand van de Zandmotor geeft een overzicht van de monitoring van de benthische gemeenschappen op en rond de Zandmotor (Wijsman *et al.*, 2018). Voor dat rapport werd het strand van de lagune (fig. 1) wel bemonsterd, maar slechts op één locatie. Daarbij zijn geen tweekleppige mollusken aangetroffen. Het voorliggende artikel geeft een overzicht van het mariene tweekleppigen benthos in de lagune en in het duinmeer, met de kanttekening dat de door Wijsman *et al.* (2018) gevolgde methoden en die in dit artikel niet op elkaar aansluiten.

Wat kan er potentieel afgeleid worden uit aanspoelende tweekleppigen?

- Aanname: de op de kant aangetroffen soorten hebben in de lagune geleefd. Die aanname blijkt in zeer veel gevallen opgeld te doen; slechts uitzonderlijk gaat het om ingespoelde doubletten van (ondiep levende) mariene soorten uit de vooroever (Halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*, Otterschelp *Lutraria lutraria* et cetera);
- De aanname lijkt verder gerechtvaardigd omdat het over soorten gaat uit een vooral door getijden gedomineerde omgeving: zij kunnen tegen de wisselende zoutgehaltes van het lagunewater (in casu Gewone kokkel *Cerastoderma edule*; Strandgaper *Mya arenaria*, Nonnetje *Limecola balthica*, Amerikaanse zwaardschede *Ensis leei*, Filipijnse tapijtschelp *Ruditapes phi-*



Fig. 3. Het duinmeer in augustus 2018. Het aanspoelsel op de voorgrond bestaat uit dikke pakken plantenresten van Snavelruppia *Ruppia maritima*. Foto Bert van der Valk.

lipinarum en Platte slijkgaper *Scrobicularia plana*);

- De zeer verse habitus van de schelpen (met opperhuid, vaak met de dieren er nog in, of met vleesresten) bevestigt de bovenstaande aanname;
- Het aantreffen van verse doubletten langs de rand van de lagune gebeurt in de winter onder invloed van kou en stormwind en berust veelal op vogelpredatie op levend benthos dat in de ondiepe delen van de lagune leeft;
- Aanspoelen van doubletten langs de rand van de lagune in de zomer wijst op zuurstofarmoede, te hoge watertemperaturen of beide; de doubletten zullen vaak door vogels uit de ondiepe delen van de lagune zijn opgevist om ze op de kant op te eten; regelmatig werden in de zomer boven op het sediment liggende levende doubletten aangetroffen, in een poging te vluchten uit een sterk opwarmende onderwaterbodem;
- De aanwezigheid van meerdere jaarklassen van eenzelfde soort wijst op een vitale populatie van die weekdiersoort; deze soorten zijn blijkbaar in staat zich te handhaven door jaarlijkse voortplanting en groei; uiteraard kunnen ook via het binnenkomend zeewater larven van buiten de lagune aangevoerd worden.

Voor een eerste uitwerking van de gegevens wordt verwezen naar Van der Valk, 2013. Over een periode van tien jaar is bijgehouden welke soorten aanspoelen langs de binnenranden van de lagune, ten laatste in het voorjaar van 2022. Dit artikel is een verdere uitwerking van deze waarnemingsreeks. Omdat ook het duinmeer (fig. 3) de eerste jaren is gecheckt op voorkomen van aangespoelde tweekleppigen is een paragraaf hierover toegevoegd.

Alle foto's bij dit artikel zijn van de auteur. De figuren met betrekking tot de morfologische ontwikkeling zijn afkomstig uit Huisman *et al.* (2021a) en eerdere versies van dat rapport.

De gebruikte nomenclatuur van de tweekleppigen is conform De Bruyne (2020) met enkele recente aanvullingen. De naam *Ensis leei* (M. Huber, 2015) voor de Amerikaanse zwaardschede is een synoniem voor *Ensis directus* (WORMS). De eerst-

Tabel 1. Verschillen in gebruikte methoden bemonstering lagune door Wijsman *et al.*, (2018) en voor dit artikel

Parameters	Wijsman <i>et al.</i> (2018)	Deze studie
Monstername	Met apparatuur vanaf varend platform en strandmonstername	Oprapen van aangespoelde en/of door de vogels gepredeerde doubletten langs de binnenrand van lagune en langs de randen van de vloedgetijdendelta
Frequentie	Eén maal per drie jaar	Enkele malen per jaar

Tabel 2. Waarnemingen aan schelpmateriaal in de lagune (63) en in het duinmeer (5) bij de Zandmotor in de periode 2012-2022

Jaar	Aantal keren lagune	Aantal keren duinmeer
2012	2	
2013	0	
2014	5	3
2015	4	1
2016	4	1
2017	4	
2018	6	
2019	17	
2020	18	
2021	12	
2022	4	

genoemde naam wordt hier gebruikt. Wijsman *et al.* (2018) noemen alleen *Ensis spec.* omdat het bij gefragmenteerd schelpmateriaal ondoenlijk is de verschillende *Ensis* soorten te onderscheiden. Het is overigens de ervaring van Wageningen Marine Research dat *Ensis leei* veruit de meest algemene soort is in het ondiepe deel van de kustzone van de Noordzee.

Methode

Dit artikel heeft als hoofddoel een overzicht geven van de ontwikkelingen van de schelpdierfauna in de lagune in relatie tot de waargenomen morfologische ontwikkeling van die lagune. Met enige regelmaat (enkele keren per jaar in de periode 2011-2021, behalve in 2013 en met verminderde aandacht in 2017) zijn bij laagwater de randen van de lagune in totaal meer dan 60 maal nagelopen op recent aangespoelde en/of door vogels gepredeerde doubletten van tweekleppige weekdieren, plus een vijftal malen de randen van het duinmeer. Tabel 1 geeft de verschillen tussen de manier en de frequentie van monstername tussen de reguliere monitoring en de voor deze studie gebedigde methode.

De habitus van de opgeraapte schelpdierdoubletten en -kleppen was zodanig vers (zonder uitzondering met opperhuid, zeer vaak met vlees of vleesresten) dat aangenomen kan worden dat de dieren met die schelpen in de lagune leefden, mogelijk met uitzondering van een deel van de doubletten van Amerikaanse zwaardschede.

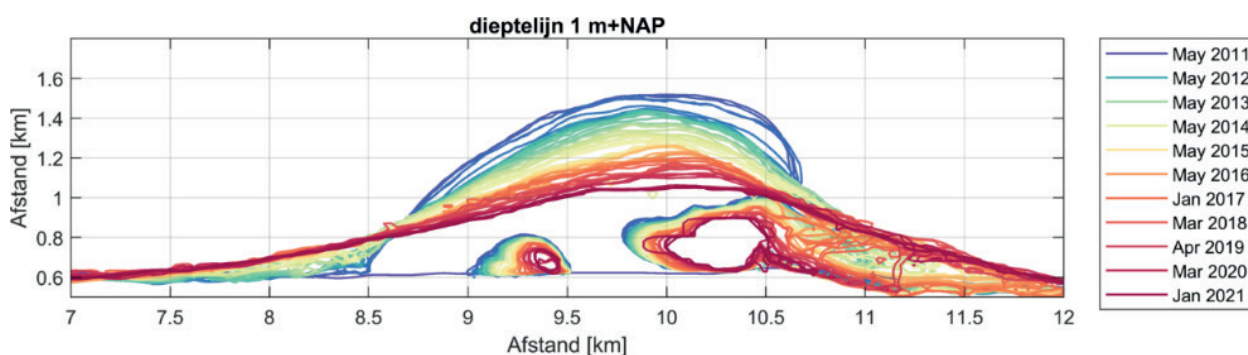
De afvoerende geul is al snel na aanleg van de Zandmotor zo lang geworden dat levende tweekleppigen niet of nauwelijks de lagune in getransporteerd konden worden. Een mogelijke uitzondering vormt de Amerikaanse zwaardschede, die zowel in de lagune als op de ondiepe vooroever voorkomt; deze soort kan bij een overstroming over de strandwal de lagune ingespoeld worden, evenals Otterschelpen en Halfgeknotte strandschelpen. De eerste voorkomens (in 2012 en 2013) in de lagune werden veroorzaakt door het inspoelen van larven van die tweekleppigen in het vroege voorjaar, in de periode waarin zij in het zeewater zweven. Het gaat om een beperkt aantal soorten grotere tweekleppigen (zie voor een voorbeeld daarvan fig. 2). Deze soorten zijn effectieve indicatoren voor bepaalde milieumomstandigheden. Ze komen in het algemeen voor in midden- tot laag-dynamisch zout tot brak water in een estuarine- of waddenomgeving.

Vaak zijn alle aangespoelde tweekleppigen genoteerd, maar soms is een relatieve frequentie geschat als de aantallen erg hoog opliepen. Enkele malen werd vernomen dat andere verzamelaars honderden exemplaren van de Filipijnse tapijtschelp hadden waargenomen (in 2013 en 2014, absoluut nieuw op de Zuid-Hollandse kust). Die aantallen zitten uiteraard niet in de voor dit onderzoek genoteerde aantallen. Tabel 2 geeft de 63 waarnemingsmomenten weer langs de lagunerand en de vijf langs de oevers van het duinmeer. Alle waarnemingen zijn verzameld in een spreadsheet en een journaal. De resultaten gepresenteerd in dit artikel zijn gebaseerd op die data.

Ontwikkeling van de Zandmotor lagune

Morfologie

In het kader van de Beheerbibliotheek onderdeel Delflandse Kust inclusief de Zandmotor is de ontwikkeling van dit stuk

**Fig. 4.** Ligging van de 1 m dieptelijn in het Zandmotorgebied tussen 2011 en 2021. De verkleining van duinmeer (tussen km 9 en km 9,5) en lagune (tussen km 9,8 en 10,5) door de tijd is duidelijk zichtbaar. De kust is zuidwest-noordoost georiënteerd. Bron: Huisman *et al.*, 2021b.

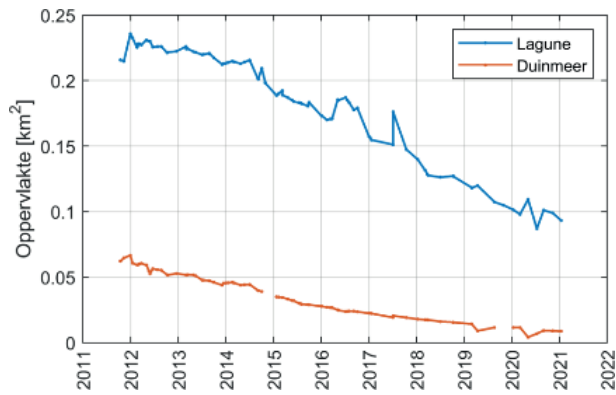


Fig. 5. De verkleining van het oppervlak van de lagune bij de Zandmotor 2011-2021. Het duinmeer is bijna dichtgewaaid, en de lagune is door diverse oorzaken (zie tekst) meer dan de helft kleiner geworden. Bron: Huisman *et al.*, 2021a.

kust tussen Hoek van Holland en Scheveningen in detail bestudeerd (Huisman *et al.*, 2021a). Onderstaande paragraaf berust op die studie en op de evaluatie van de Zandmotor (Huisman *et al.*, 2021b).

Fig. 4 geeft de wijzigingen in de situering van de 1 m NAP dieptelijn weer. Hierop is goed te zien hoeveel kleiner de lagune in de loop van de afgelopen periode 2011-2021 geworden is. Twee processen hebben daaraan bijgedragen: 1) verkleining en verondieping door inwaaiend zand vanuit het zuidwesten vanaf het Zandmotor lichaam en langs het hoge strand (links in de lagune op deze figuur) en 2) door aanvoer van sediment door de geul die de lagune met de ondiepe Noordzee verbindt (rechts in de lagune). Bij het laatste proces is een tweedeling in het proces

opgetreden: er werd met elke vloed klei en organisch materiaal in suspensie meegevoerd die tijdens doodtij uitzakten in de lagune. Dit zijn waarschijnlijk lage volumina ten opzichte van het ingebrachte volume eolisch zand en zand gedeponeerd in de vloedgetijdendelta. Het fijnkorrelige materiaal is waarschijnlijk wel erg belangrijk geweest voor de ontwikkeling van de benthische fauna – als voedsel voor de filtreerders daarin. Ten tweede is door bodemtransport in de geul een vloedgetijdendelta gevormd (zie het beeld rond de 10,7 km in fig. 4). De snelheid van het laatstgenoemde proces is hoogstwaarschijnlijk sterk afgenomen over de tijd, evenredig met het afnemen van het debiet door de geul per vloed/eb koppel. Dat debiet nam af door de voortdurende verkleining van het oppervlak van de lagune en daarmee het volume eb/vloed water dat dagelijks tweemaal de lagune in- en uitstroomde – en natuurlijk door de vorming van de strandwal aan de noordoostzijde van de Zandmotor.

Sinds het min of meer verdwijnen van de tweede kortsluitgeul in januari 2016 is de groei van de vloed-getijdendelta in de lagune vrijwel tot stilstand gekomen en is de verkleining van de lagune bijna alleen nog veroorzaakt door verstoven zand vanaf de Zandmotor zelf. De verkleining van het oppervlak van de lagune (de blauwe lijn in fig. 5) neemt vanaf medio 2014 per jaar toe en loopt dan vrij strak af, met kortere perioden van sterkere afname. Het is verleidelijk te denken dat die korte perioden hevige stormen vertegenwoordigen, waarbij veel sediment de lagune instroomt via de geul en ook door de wind vanaf het Zandmotorlichaam zand de lagune in wordt geblazen. De geulverkorting van begin 2016 zorgde voor een ommekeer in de ontwikkeling van de lagune. Het is opvallend dat vanaf medio 2016 korte periodes voorkomen met vergroting van het

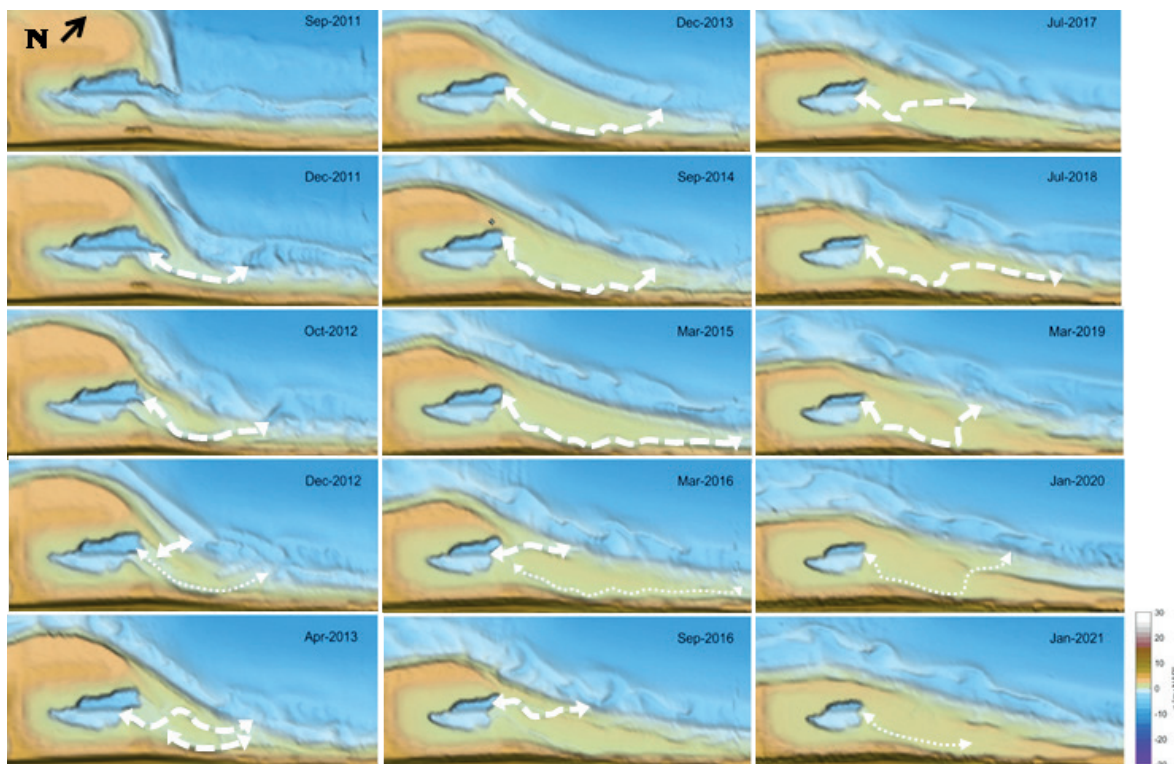


Fig. 6. Een filmisch beeld van de ontwikkeling van de aanvoergeul naar de lagune van 2011 tot 2018. Er hebben zich twee verleggingen van de geul voorgedaan. In 2012 werd een kunstmatige kortsluitgeul gegraven (ingegeven door angst voor mogelijke stranderosie) en in januari 2016 is een natuurlijke kortsluitgeul ontstaan als gevolg van een noordwesterstorm. Later zijn er, meestal in het winterseizoen, nog meer kortsluitgeulen ontstaan die een kortstondig leven leidden. Naar Huisman *et al.* (2021a).

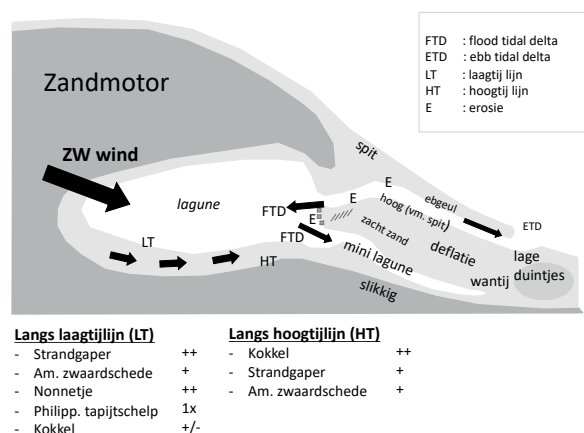


Fig. 7. Schets van de onderscheiden submilieus in het mondingsgebied van de geul in de lagune van de Zandmotor kort na de in januari 2016 opgetreden geulverkorting. Tekening L. van der Valk/B. Huisman (niet op schaal).

lagune-oppervlak: ongetwijfeld zijn dergelijke metingen gedaan in tijden van het stagneren van overstromingswater, omdat de geul niet meer dagelijks afliep naar zee. Het oppervlak verkleint verder regelmatig op de langere termijn.

De totale ontwikkeling van de geul overziend zijn verlenging van de geul naar het noorden en toenemende verstopping onder invloed van de massief optredende kustdrift de redenen voor de opgetreden veranderingen, zowel in de geul als in de lagune (fig. 6). (Kustdrift is ondiep, golf-gedreven zandtransport dat onder invloed van de overheersende wind vanuit het zuidwesten zeer gebruikelijk is aan de Zuid-Hollandse kust).

Samenvattend:

- De lagune is sinds 2012 sterk verkleind en langs de zuidwest-zijde flink verondiept. Sinds 2016 verloopt de verondieping langzamer;
- De eerste jaren met een hoog geuldebiet (2011-2016) veroorzaakten een snelle volumegroei van de vloed-getijden delta waar de geul in de lagune uitmondt;
- Onder andere in januari 2016 vormde zich spontaan een kortsluitgeul. Fig. 7 geeft een schets van de situatie kort na de laatste opgetreden geulverkorting (maart 2016).
- Na begin 2016 neemt de groei van de vloed-getijdendelta sterk af en is het bijna alleen nog de eolische inbreng die de lagune verder verondiept.
- Begin 2019 vindt nogmaals een geulverkorting plaats, ongeveer op dezelfde hoogte als in het begin van 2016.

Waarnemingen aan schelpmateriaal

In tabel 2 zijn de data verzameld waarop waarnemingen zijn gedaan. In totaal zijn er rond de lagune 63 maal waarnemingen gedaan in de afgelopen tien jaar, en rond het duinmeer vijf maal in een tijdsbestek van 6,5 jaar. De toegenomen frequentie van waarnemingen per jaar vanaf 2019 heeft wel enige invloed gehad op de representativiteit van de data in de grafiek (fig. 8), maar de trend is duidelijk. Er zijn vanaf begin 2018 hogere aantallen individuen geteld en seizoensritmes zijn uiteraard veel duidelijker af te lezen bij hogere frequentie van waarneming. De soorten Otterschelp en Halfgeknotte strandschelp geven de inspoelmomenten vanaf de zee weer, meestal in het winterseizoen.

Ontwikkeling van de schelpdierfauna in de lagune

Gedurende de waarnemingsperiode 2012-2022 (tabel 2) zijn in de lagune verse schelpen van een aantal tweekleppige weekdiersoorten aangetroffen op de oever van de lagune (tabel 3). Dat aantal is beperkt omdat in het Nederlandse kustbiotoop maar een paar soorten bestand zijn tegen de bijzondere omstandigheden die in een lagune heersen zoals wisselende energie-intensiteit (lage stroomsnelheden; soms geen wind, dan ook geen golven, en wanneer er wind staat, dan alleen lokale windgolven); bij tijd en wijlen stagnerend water; soms maar vooral in de zomer met relatief hoge temperatuur; accumulatie van slib en klei en sedimentatie van organisch materiaal uit het kustwater; ter plaatse productie van organisch materiaal door de voedselrijkdom van het kustwater (macro-algen, diatomeeën, et cetera).

Wanneer grote aantallen tweekleppige schelpdieren in de zomer aanspoelen, kan er eigenlijk alleen maar sprake zijn van een saliniteitscrisis (te hoog of te laag zoutgehalte) of van een zuurstofcrisis (te weinig zuurstof). Op het open Noordzeestrand zijn het echter de herfst-winter-lente stormen die voor een crisis zorgen: dan worden op de kusthelling voorkomende schelpdieren uit hun habitat gespoeld en die spoelen dan massaal aan. In 2014 en 2018 zijn in de lagune van de Zandmotor saliniteitscrises (hypersaliniteit) en/of zuurstofcrises opgetreden, beide (uiteraard) in de zomer. In 2014 heeft dat niet geleid tot massale sterfte van tweekleppigen, in 2018 wel. In fig. 8 staan de getalsmatige basisgegevens gegroepeerd. De Filipijnse tapijtschelp komt de laatste jaren vaker voor, ook op de 'schone' Delflandse kust ten zuiden en ten noorden van de Zandmotor (zie onder andere Van der Valk, 2021).

Resultaten

Achtereenvolgens worden de algemene resultaten van de waarnemingsreeks genoemd, en vervolgens worden per soort opmerkingen gemaakt, dit alles op basis van de data in fig. 8. Deze paragraaf wordt afgesloten met nog enkele meer bijzondere opmerkingen.

Algemeen

- De laguneraand is opgedeeld in vier stukken. De delen 1a/b (de naar het noorden uitstekende restgeul) en 2 (de door windgolven eroderende noordoever van de lagune) leverden de meeste doubletten over de tijd, deel 3 (de zeezijde van de lagune) heel weinig en deel 4 (de landzijde) tamelijk weinig.
- De soortenrijkdom van opgeraapte tweekleppigen is toegenomen van een zeer laag aantal in 2012 (één soort, de Gewone kokkel) tot een maximum van zeven soorten in 2018.
- Er is een toename van lage aantallen (opgeraapte aantallen schelpen beneden de vijf per aanspoelgebeurtenis) tot (zeer) grote aantallen (meer dan 10, of soms 100 of uitzonderlijk 500 per gebeurtenis) aangespoelde schelpen van een zestal soorten, zeker tot 2016 en deels tot in 2018.
- Van een aantal soorten is duidelijk dat eerst van weinig aanwezige jaarklassen sprake is, maar al snel van een groter aantal jaarklassen. Er vindt dus schelpgroei en voortplanting plaats in de lagune.
- Er lijkt sprake te zijn van een piek in de maximum afmetingen van de verschillende soorten, bij benadering in 2016.
- Na 2016 is er een afname van de aantallen gevonden schelp-

Tabel 3. In en buiten de lagune levend voorkomende tweekleppige schelpdiersoorten

Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	Ecologische voorkeuren	Jaar van eerste aan- spoelen bij lagune	Voorkomen in lagune/open kust lokaal bij de Zandmotor
Gewone kokkel	<i>Cerastoderma edule</i>	Voedsel en wat slib in het water, niet te laag zoutgehalte	2012	Veruit het meest in de lagune
Nonnetje	<i>Limecola balthica</i>	Meer een dier van beschutte kust milieus (wad/ platen), maar komen op de ondiepe kusthelling ook wel voor	2012	Zowel buiten als binnen de lagune
Strandgaper	<i>Mya arenaria</i>	Rustig milieu, stromend zout water, voedsel en slib in het water van wisselend zoutgehalte	2012	Niet buiten de lagune
Amerikaanse zwaardschede	<i>Ensis leei</i>	Alleseter, maar minder gesteld op slib. Meer een open-kust dier; niet te laag zoutgehalte	2014, maar waarschijnlijk eerder al aanwezig	Zowel buiten als binnen de lagune
Platte slijkgaper	<i>Scrobicularia plana</i>	Beschut water met verlaagd zoutgehalte (slikken in de buurt van zoetwater)	2014, maar eerder al aanwezig	Alleen in de lagune
Filipijnse tapijtschelp	<i>Ruditapes philipinarium</i>	Meer een dier van beschutte kustmilieus (wad/estuarium)	2016, maar eerder al aanwezig	Waarschijnlijk alleen in de lagune, later ook enkele exemplaren in de ondiepe Noordzee
Tere platschelp	<i>Macomangulus tenuis</i>	Open kust, dieper dan de dagelijkse golfbasis	2019, maar eerder al aanwezig	Zeldzaam in de lagune

Tabel 4. Verschillen in het fenotype van de Amerikaanse zwaardschede (*Ensis leei*) op de ondiepe voorkust en in de lagune van de Zandmotor

Ondiepe vooroever	Lagune
Zeer veelvuldig voorkomen	Lage aantallen, in de getijdendelta van de geul die de lagune voedt
Iets minder brede en minder fragiele schelpen	Zeer brede en fragiele schelpen
Oppervlucht vaak afgesleten	Oppervlucht geheel intact, donkerbruin, glanzend, schelp vaak met zwarte vlekken (door rijkdom aan organisch materiaal in de lagunebodem is het bodemmateriaal gereduceerd, wat invloed heeft op de kleur van de schelp; na droging verdwijnt de donkere kleur)

doublingen van een aantal soorten, vooral van Gewone kokkel, Nonnetje en Strandgaper.

- Ook de groei van een aantal soorten gaat minder snel na 2016 (zie onder).
- Sommige soorten bleven lang ‘onder de radar’. In 2014 is voor het eerst een volwassen Amerikaanse zwaardschede opge- raapt: die moet er al gelijk na de aanleg van de Zandmotor zijn gaan groeien gezien de afmetingen en de opbouw van de schelp (‘jaarringen tellen’).
- De Filipijnse tapijtschelp is pas in maart 2016 voor het eerst aangespoeld, terwijl uit het tellen van de jaarringen blijkt dat deze soort al vanaf het eerste jaar (2012) aanwezig moet zijn geweest.
- Bij de waarneming in november 2018 bleek dat er veel lagere aantallen schelpen per soort aangespoeld waren dan de zeer hoge aantallen in augustus 2018.
- De noordelijke ondiepe uitloper van de lagune, een stuk van de voormalige geul, is bij tijd en wijlen een kerkhof van ju- veniele schelpjes van bijna alle soorten ten gevolge van tijdelij- ke afsluiting en/of droogvallen. Nieuwe soort was hier in 2021 de Amerikaanse strandschelp *Mulinia americanus* (Van der Valk, 2021).

Per soort

- De Gewone kokkel was de eerst aanspoelende soort en kende aanvankelijk een sterke toename, maar ze is gaandeweg weer

in aantal afgenomen tot vrijwel nul in november 2018. De soort blijft echter in lagere aantallen en in diverse jaarklassen voorkomen. Waarschijnlijk is het substraat of het onderwater- milieu te rijk aan organisch materiaal geworden en heeft de extreme opwarming in de zomer 2018 een grote sterfte ver- oorzaakt. In 2020 en 2021 is er weer kokkelbroed en zijn er ook juveniele doublingen aangetroffen.

- Het Nonnetje heeft een soortgelijke ontwikkeling als die van de Gewone kokkel doorgemaakt: van algemeen in de begin- jaren naar zeer weinig exemplaren in november 2018. Ook hier is van 2019 tot 2021 weer een toename waargenomen met vooral juveniele en halfwas doublingen.
- De Strandgaper is in de lagune door de tijd waarschijnlijk de meest succesvolle soort. Deze soort was al vroeg aanwezig en slaagt er telkens in weer een nieuwe generatie uit te zetten. De soort is het wijdst verbreid, niet alleen in de lagune maar ook in de naar het noorden gerichte afgesloten en verondiepende dode geularm (sinds januari 2016). Na de hete periode van de zomer in augustus 2018 spoelden nog vijf jaarklassen aan, in november 2018 waren dat er maar twee. Later werden weer meer jaarklassen gevonden.
- De Amerikaanse zwaardschede komt zowel op de ondiepe voorkust voor als in de lagune, en dan vooral op de vloed-ge- tijdendelta. Het is soms lastig uit te maken waar de aange- spoelde schelpen vandaan komen. De Amerikaanse zwaard- schede is een sterke opportunist. Door de enorme aantallen

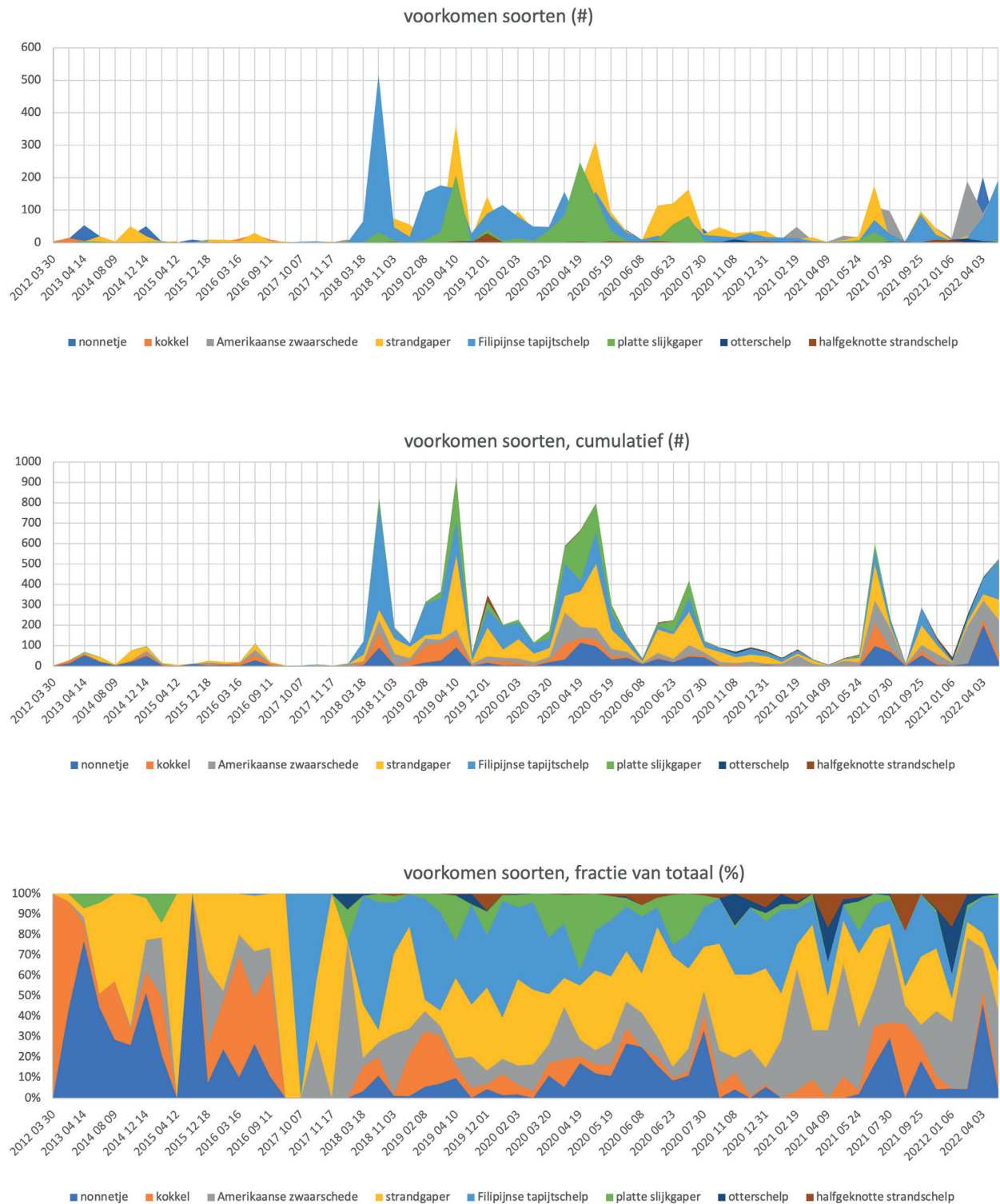


Fig. 8. Het verloop van het voorkomen van soorten absoluut (boven), cumulatief (midden) en als fractie van het totaal (onder) over de gehele waarnemingsperiode 2012-2022. Donkerblauw: Nonnetje *Limecola balthica*; oranje: Kokkel *Cerastoderma edule*; grijs: Amerikaanse zwaarschede *Ensis leei*; geel: Strandgaper *Mya arenaria*; lichtblauw: Filipijnse tapijtschelp *Ruditapes philipinarum*; groen: Platte slijkgaper *Scrobicularia plana*; paars: Otterschelp *Lutraria lutraria*; bruin: Halfgeknotte strandschelp *Spisula subtruncata*. Bewerking Bas Huisman.

aanwezig op de ondiepe kusthelling onmiddellijk zeewaarts van de Zandmotor (Wijsman *et al.*, 2018) komen er makkelijk larven in de geul, en misschien ook wel halfwas exemplaren in de lagune terecht. De individuen op de buitencontour van de

Zandmotor hebben echter een andere habitus dan de exemplaren die aanspoelen langs de rand van de lagune (tabel 4; fig. 9). Op grond daarvan is het voorstelbaar dat de meeste aangespoelde exemplaren uit de lagune zelf stammen en niet



Fig. 9. Verschil in habitus tussen ingespoelde schelpen van Amerikaanse zwaardschelde waar de opperhuid deels vanaf is gesleten in de branding (links) en in de lagune opgegroeide schelpen met een intacte en donker gekleurde opperhuid (rechts). Beide fenotypen zijn gemakkelijk uit elkaar te houden. Foto Bert van der Valk.



Fig. 10. De Filipijnse tapijtschelp *Ruditapes philipinarum* uit de lagune van de Zandmotor, vondstdatum maart 2018. De fraaie kleurpatronen zijn eigen aan deze soort, blijkbaar niet alleen in Azië. De grootste exemplaren zijn in 2018 vijf of zes jaar oud, wat te zien is aan de 'jaarringen' op de schelp. Dat klopt met de ouderdom van de Zandmotor. Foto en collectie Bert van der Valk.



Fig. 11. Voorbeeld van een groeireeks, in dit geval van de Filipijnse tapijtschelp *Ruditapes philipinarum*, verzameld in augustus 2018. De grootste exemplaren zijn tevens de oudste: vijf of zes jaar. Foto en collectie Bert van der Valk.

met de vloedstroom de lagune zijn ingespoeld. De soort weet zijn positie nog tot in 2021 te handhaven met zeer grote exemplaren, maar de aantallen nemen af.

- De Platte slijkgaper is een schelpdier van slibhoudend rustig water waarin een zekere bijmenging van zoetwater plaatsvindt (zoals bijvoorbeeld bij het Land van Saeftinghe). Kleine maar soms ook grotere aantallen zijn constant aanwezig, ook tot in 2022.
- De Filipijnse tapijtschelp is een recente immigrant in de Nederlandse kustwateren. De eerste exemplaren werden een aantal jaren geleden in de Zeeuwse wateren gevonden. Waarschijnlijk zijn ze meegelift met de import van schelpdieren (mossels, oesters). Eerst vanuit de Ierse zee naar Bretagne, waarna mogelijk ook importen van daaruit naar Zeeland hebben plaatsgevonden. De soort kent een fraaie variatie in kleurpatronen (fig. 10). Naarmate de schelpen groeien wordt de schelpkleur meer egaal bruin. De aantallen en het reproductiesucces zijn zo groot dat het oprapen van groeireeksen geen uitzondering is (fig. 11). In 2018 zijn op de rand van de lagune zeer grote aantallen (ettelijke honderden) doubletten opgeraapt, nadat in maart 2016 een eerste doublet gevonden werd. De vondst van de vele honderden doubletten in 2018 is waarschijnlijk het gevolg van een saliniteits- en/of zuurstofcrisis in de droge en lange zomer van 2018. In 2021 zijn exemplaren gevonden met een breedte tot 60 mm.
- Uitzonderlijk is een klein aantal fraai oranje gekleurde volwas-

sen doubletten van de Tere platschelp *Macomangulus tenuis* aangetroffen. Ook hiervan is het aannemelijk dat de soort in de lagune voorkomt.

- Een aantal soorten wordt beschouwd als van het strand naar de rand van de lagune aangevoerde 'vogelbuit', vooral van meeuwen, of ze zijn bij overstroming in de lagune terecht gekomen. Dat zijn Gewone mossel *Mytilus edulis* (als leeggepikte grotere en kleinere exemplaren en ook als uitgebraakt mosselgruis), Halfgeknotte strandschelp, Otterschelp en mogelijk ook Amerikaanse boormossel *Petricola pholadiformis*. Deze soorten komen in zeer lage aantallen voor (meestal een enkel doublet) en worden daarom hier niet besproken.

Deelconclusies lagune

Afgaande op de ontwikkeling van zeven soorten tweekleppige weekdieren zijn optimale leefcondities (voor de waargenomen soorten in deze lagune) bereikt in 2016. Begin 2016 en nog een keer in 2019 breekt de geul door en spoelt door geulverkorting weer meer vloedwater door naar de lagune. Sindsdien heeft geen geulverkorting meer plaatsgehad, heeft de geul zich weer verlegd naar het noorden en is daardoor tevens sterk verlengd. Gelijktijdig is het debiet door de geul sterk verlaagd door verondieping onder invloed van eolische drift vanaf de noordelijke uitloper van de Zandmotor in de richting van de geul met daardoor ophoging van de geulbodem. De verlegging van de in- en uitstroomopening van de geul heeft ertoe geleid dat per vloed

Tabel 5. Ontwikkeling schelpdierfauna in de Zandmotor lagune

Ontwikkeling schelpdierfauna	2012-2016	2016-2018	2018-2021	Opmerkingen
Aantal soorten	toename	stabiel	stabiel	sommige soorten lang 'onder de radar'
Aantallen per soort	toename	toename	afname, sterk fluctuerend	meer dode schelpen door sterfte dan door vogelpredatie
Afmetingen	toename	stabiel	meer volgende generaties, minder volwassen schelpen	verschillend verloop per soort
Jaarklassen	eerst toenemend en aantal daarna stabiel	afname	afname	meeste soorten: 3-5
Vitaliteit tweekleppige weekdierpopulatie als geheel	toename	afname	minder vitaal	

in de zomer van 2018 een sterk slinkende hoeveelheid water de lagune kon verversen – en zelfs heeft de aanvoer van vers water een poosje gestokt. Door het gebrek aan verversing van het water in de lagune en de over lange tijd zeer hoge luchttemperaturen zijn de temperaturen in het water van de lagune waarschijnlijk zo hoog opgelopen dat er een saliniteits- en/of zuurstofcrisis kon ontstaan. Die werd mede in de hand gewerkt doordat zich inmiddels een grote hoeveelheid organisch detritus in de lagune had verzameld (aanvoer van voedingsstoffen door het vloedwater over de jaren en door primaire productie in de lagune zelf) die niet meer kon oxideren vanwege het inmiddels stagnante karakter van de lagune. Zo kunnen er dus reducerende omstandigheden zijn ontstaan (gelaagdheid: zuurstofrijk op zuurstofarm water). Helaas wordt de waterkwaliteit van de lagune niet gemonitord, dus data die deze veronderstelling kunnen ondersteunen, zijn niet beschikbaar.

Waarschijnlijk hebben deze omstandigheden vervolgens veel individuen van de zes aanwezige soorten de das omgedaan, wat in augustus 2018 leidde tot het aanspoelen van buitengewoon veel tweekleppigen. Het fenomeen van massaal stervende tweekleppige weekdieren in de periode juli-augustus 2018 is ook op de wadplaten in de Wadden waargenomen; hier wordt de extreme hitte als oorzaak genoemd (zie ook de Nieuwsbrieven van de Nederlandse Malacologische Vereniging van 7 september en 6 december 2018). In november 2018 is de geul een ondiep, smal en intermitterend functionerend stroompje geworden (fig. 12). Af en toe, met (storm-)hoogwater en windopzet, komt er nog wat zeewater de lagune in door overstroming van de zich aan de noordzijde van de Zandmotor vormende strandwal. De geul is dan voor korte duur intermitterend actief.

Ergo, de morfologische ontwikkeling heeft het bestaan van een lagunair waddenmilieu eerst gefaciliteerd en daarna voor een deel weer gesmoord. Anno 2022 worden nog steeds zeer verse exemplaren van de zes soorten gevonden. Vaak gaat het dan niet om door vogels gepredeerde exemplaren maar om onbeschadigde doubletten. Dat suggereert dat de schelpdieren dood zijn gegaan in hun schelp en dat de lege doubletten vervolgens door golfwerking in de lagune op de kant terecht zijn gekomen.

Ontwikkeling van de schelpdierfauna in het duinmeer

Morfologie

Het lot van het duinmeer is dat het op termijn zal dichtzanden onder invloed van eolisch aangevoerd zand: van het intergetijdenstrand van de Zandmotor, zand van het lichaam van de

Zandmotor zelf en zand dat over de lengte van het strand langs de Delflandse kust vanuit het zuiden wordt getransporteerd, bij zuidwestelijke wind min of meer evenwijdig aan de kust. Figuur 4 geeft het verloop door de tijd van de 1 m NAP dieptelijn weer, waarin de verkleining van het duinmeer zeer goed te volgen is. Figuur 5 geeft de daadwerkelijke oppervlakteverkleining grafisch weer.

Ontwikkeling waterkwaliteit en schelpdiervoorkomen in het duinmeer

Afgaande op het schelpdiervoorkomen heeft dit meer éénmalig een saliniteits- en/of zuurstofcrisis meegemaakt. Bij de aanleg in 2011 raakte een hoeveelheid zout zeewater ingesloten die geleidelijk brakker is geworden. De verzoeting vond initieel plaats onder invloed van regenval en later mede onder invloed van infiltratie van zoet water vanuit het kunstmatige landduin van de kustversterking van 2008/2009 en vanuit de zoetwaterbel die zich onder het zandlichaam van de Zandmotor vormde. Die saliniteitscrisis was zichtbaar op twee manieren: de teloorgang van de zeer beperkte mariene schelpfauna (op grond van de waarnemingen slechts één soort: de Strandgaper) en door de start van massale groei van de plant *Snavelruppia Ruppia maritima* in het duinmeer, een brakwaterliefhebber waar zwanen op gingen grazen.

Met betrekking tot het voorkomen van de Strandgaper zijn vijf waarnemingen gedaan (tabel 2). Na de datum van 11 september 2016 zijn langs de oevers van het duinmeer geen aangespoelde tweekleppigen meer gevonden (meermalen op en na 16 september 2016 gecontroleerd). De aanname is dat het zoutgehalte tegen die tijd zover gedaald was dat de Strandgapers het niet meer konden bolwerken. Waarschijnlijk is dit al in de loop van 2015 gebeurd, waarna nog tot in september 2016 schelpen konden aanspoelen.

Opmerkelijk is dat de eerste vondsten van Strandgaperdoubletten in het duinmeer pas drie jaar na aanleg van de Zandmotor gedaan zijn. Dat betekent waarschijnlijk dat larven van de Strandgaper overleefd hebben in het ingesloten zeewater en zich vervolgens in de bodem hebben gevestigd, maar dat larven van andere soorten geen verder levensstadium konden bereiken. De oorzaak daarvoor moet waarschijnlijk gezocht worden in het afgesloten karakter van het duinmeer waardoor uitwisseling met het voedselrijke Noordzeewater niet meer kon plaatsvinden. Afsluiting betekent snel inzettende verzoeting en een stokkende aanvoer van voedsel voor die tweekleppigen. Toch heeft de Strandgaper tijdens de jaren van afsluiting nog tenminste twee volgende generaties kunnen voortbrengen in het duin-



Fig. 12. Uitmonding van de geul in de lagune (naar links) respectievelijk in een doodlopende laagte (naar rechts). De geul voert nog maar incidenteel water, met (storm-)hoogwater bijvoorbeeld. Gezicht vanaf de Zwakke Schakel, Delfland (fietspad), 3 november 2018. Foto Bert van der Valk.

meer. In augustus 2014 is namelijk nog een aantal jaarklassen Strandgapers aangetroffen, waarbij de grootste klasse drie jaar-ringen vertoonde. Van de Strandgaper is bekend dat ze ook bij flink verlaagde zoutgehaltes nog kan overleven.

Dat er eind 2015-begin 2016 een saliniteitscrisis heeft plaatsgevonden wordt mede duidelijk uit de volgende waarneming: tijdens een excursie in februari 2016 werd op twee meter van de overgang ingewaaid zand-duinmeer (ook op de dag van de excursie vond inwaaien van zand in sterke mate plaats) een nog levende Tarbot *Scophthalmus maximus* van circa 30 cm aangetroffen, deels bedekt met zeer recent ingewaaid zand (fig. 13). Even verderop lag een vers-dode Schol *Pleuronectes platessa* (langer dan 25 cm), eveneens grotendeels overdekt met eolisch zand. De Tarbot is teruggezet in het ondiepe duinmeer. Samen met het eerder gemelde moment (september 2016 met betrekking tot de laatst opgeraapte Strandgaper doubletten) is dit een sterk argument om het optreden van de saliniteitscrisis in het duinmeer door eerder genoemde processen te veronderstellen in de winter van 2015-2016. Beide vissen moeten als juvenielen ingesloten zijn geraakt in het duinmeer en hebben het dus 3,5 jaar uitgehouden in het steeds verder verzoetende duinmeer.

Deelconclusies duinmeer

Zoals verwacht heeft het duinmeer een snelle verzoeting ondergaan die in de winter van 2015 op 2016 culmineerde in een saliniteitscrisis. Sommige mariene organismen (Tarbot, Schol en Strandgaper) hebben het tot die winter uitgehouden, maar daarna niet meer. Het water was in november 2018 nog maar zwak brak.

Conclusies

Monitoring van aanspoelende tweekleppigen heeft een hoog potentieel om ontwikkelingen in ondiep-water gebieden langs de kust (zoals de lagune en het duinmeer op de Zandmotor) waar te nemen zonder dat daar uitgebreide en dure meetcampagnes voor moeten worden uitgevoerd. Voorwaarde is wel dat er een zekere regelmaat in de monitoringsmomenten zit. Nadeel is dat kennis en bemensing lokaal aanwezig moeten zijn, maar beide kunnen bijvoorbeeld in de vorm van vrijwilligers gemobiliseerd worden.

In 2014 en 2018 zijn in de lagune van de Zandmotor saliniteits- en/of zuurstofcrises opgetreden, beide (uiteraard) in de zomer. In 2014 heeft dat niet geleid tot massale sterfte van tweekleppigen, in 2018 wel. Het verschil in effect tussen beide crises is de sinds 2016 sterk gereduceerde uitwisseling met de Noordzee vanwege de toename van de lengte van de geul en het geleidelijk ophogen en dichtzanden van de geul, en later een nog verdere beperking van het toevloeien van zeewater naar de lagune. De lagune wordt daardoor steeds vaker een strandmeer. De effecten van de veranderde uitwisseling met het Noordzeewater zijn samengevat in tabel 5.

In de toekomst kan overwogen worden het ontwerp en de vormgeving van een suppletie te toetsen op te verwachten effecten op de natuur. Omdat de Zandmotor een experiment op zeer grote schaal was en er onverwachte effecten bleken op te treden die niet in detail waren voorspeld – zelfs als het gaat om de lagune die toch een aantal hectaren groot is – lijkt het wenselijk ontwerpen van eventuele toekomstige suppleties van deze grootte-orde op voorhand in meer detail te onderzoeken



Fig. 13. Volwassen Tarbot *Scophthalmus maximus* (>30 cm), nog levend uit het onderliggende en inwaaiende zand gehaald (zie de afdruk van het vissenlichaam schuin links onder de rechterschoen). Let op de kleefribbels aan het zandoppervlak, veroorzaakt door inwaaiend zand dat op de natte ondergrond vastplakt. Grondwaterstand ten tijde van de foto: 10 cm onder maaiveld. Foto Jeseon Yoo.

en tijdens de ontwikkeling uitgebreider te monitoren dan bij de Zandmotor het geval is geweest. De ontwikkeling van een ontwerp van grootschalige suppleties kan in de toekomst dan beter uitgewerkt worden. Dan kan ook de voorspelbaarheid van de gevolgen van dergelijke grote ingrepen verbeterd worden.

Toekomstperspectief lagune en duinmeer

De geulontwikkeling in de lagune gaat op zijn einde lopen. Nu al wordt waarschijnlijk alleen nog met springtij en onder stormcondities vloedwater de lagune ingevoerd. Er is nauwelijks nog teruglopen naar zee via een geul. Alleen nog met een echt substantiële opzet van het zeeniveau (bijvoorbeeld bij noordwesterstormen) wordt het zeewater over de tijdens de zomer in hoogte groeiende strandwal gejaagd. Aanvoer van Noordzeewater naar de lagune vanuit de ondiepe Noordzee zal vanaf nu waarschijnlijk alleen nog onder echte stormcondities plaatsvinden. De verwachting is dat de lagune vanaf het zomerseizoen van 2018 vaker zuurstofcrises zal doormaken. Samen met de organische last vanwege primaire productie door microalgen zal dit de waterkwaliteit op den duur negatief beïnvloeden, wat ongetwijfeld zijn weerslag zal hebben op de in de lagune levende organismen. De lagune zal een mindere waterkwaliteit hebben door de jarenlange import van slib en organische detritus met daarin veel voedingsstoffen. De lagune zal op termijn dichtzanden, vooral door eolische activiteit en in mindere mate door overslag van zand over de strandwal. De verwachting is dat met verminderde instroming van vloedwater minder verse broedval van tweekleppigen de lagune zal bereiken en dat de lagune met slechtere waterkwaliteit een toenemende sterfte van organismen te zien zal geven. Monitoring zal waarschijnlijk een verdere geleidelijke afname van aantallen individuen en van de soortenrijkdom laten zien. Het zal de komende jaren interessant zijn de ontwikkeling van de fauna van de tweekleppige weekdiersoorten verder te volgen, om de effecten van verdere isolatie van de lagune ten opzichte van de zee te monitoren.

Het duinmeer zal waarschijnlijk een natuurlijke ontwikkeling te zien geven naar verdere verkleining door verzanding, met naar het zich nu laat aanzien relatief goede zoetwaterkwaliteit. Op termijn zal zich een vochtige duinvalleivegetatie kunnen ont-

wikkelen langs het verzande duinmeer, een strandvlakte circa 20 cm boven het grondwaterpeil. Voor de vestiging van een dergelijke vochtige duinvallei-vegetatie zal daarvoor het gebied van het dan voormalige duinmeer afgesloten moeten worden voor publiek. De nabijheid van een gebied met soortgelijke vegetatie, de kunstmatige primaire duinvallei van Spanjaards Duin, kan bevorderend werken voor de vestiging van een nieuwe vochtige duinvallei-vegetatie, voorwaar een zeldzame gebeurtenis aan de Hollandse kust.

Dankwoord

Bas Huisman (Deltares) wordt bedankt voor de ter beschikking gestelde informatie over de morfologische ontwikkeling van de Zandmotor en voor het uitwerken van kwantitatieve data ten behoeve van figuur 8. Gerard Majoor gaf zeer bruikbare suggesties om de tekst te verbeteren.

Geraadpleegde bronnen

- DE BRUYNE, R., 2020. Veldgids Schelpen. 2^e geheel herziene druk. – KNNV Uitgeverij, Zeist.
- HUISMAN, B.J.A., E. QUATAERT & J.A. ALVAREZ ANTOLINEZ, 2021a. Sedimentbalans Delflandse kust 2011-2021. Analyse van morfologische verandering en sedimenttransport rond de Zandmotor in de periode 2011 tot 2021. – Deltares rapport 11201431-001-ZKS-0008. Deltares, Delft.
- HUISMAN, B.J.A., J.W.M. WIJSMAN, S.M. ARENS, C.T.M. VERTEGAAL, L. VAN DER VALK, S.C. VAN DONK, H.S.I. VREUGDENHIL & M.D. TAAL, 2021b. Evaluatie van 10 jaar Zandmotor. Bevindingen uit het Monitoring en Evaluatie Programma (MEP) voor de periode 2011 tot 2021. – Deltares rapport 11201431-003-ZKS-0010. Deltares, Delft.
- NIJEUWSBRIEF NEDERLANDSE MALACOLOGISCHE VERENIGING, 7 september 2018. <https://www.wur.nl/nl/nieuws-wur/Show/Extreme-kokkelsterfte-op-droogvallende-platen-Nederlandse-kustwateren.htm>. Geraadpleegd 2019 11 06.
- PROJECTNOTA DHV, 2010. Aanleg en zandwinning Zandmotor Delflandse kust. – DHV Rapport nummer C6158-01.001. Provincie Zuid-Holland, Den Haag.
- VAN DER VALK, B., 2013. De lagune van de Zandmotor tussen Kijkduin en Ter Heijde, Zuid-Holland: een nieuw waddenhabitat voor tweekleppige mollusken op de voorheen rechte Zuid-Hollandse kust. – *Spirula* 393: 115-116.
- VAN DER VALK, B., 2019. Schelpdierfauna in de lagune van de Zandmotor 2012-2019. – Memo Deltares 11201431-003-ZKS-0002. Deltares, Delft.
- VAN DER VALK, B., 2021. Amerikaanse strandschelp (*Mulinia lateralis*) en Filipijnse tapijtschelp (*Ruditapes philippinarum*) levend in aantallen op de Zuid-Hollandse kust. – *Het Zeepaard* 81(3): 131-135.
- WIJSMAN, J., D. VAN DEN ENDE & E. BRUMMELHUIS, 2018. Bodemdiergemeenschap in de vooroever en op het natte strand van de Zandmotor in het najaar 2017. Wageningen Marine Research rapport C073/18. – Wageningen Marine Research, Wageningen.
- WORMS. <http://www.marinespecies.org/>. Geraadpleegd 2019 10 31.

Adres van de auteur
bert.vandervalk@deltares.nl