

WADDEN

SLEUTELS

Experimenteel
Waddenonderzoek

Bouwen van biobouwers

Nieuw: Waddennatuurkaart

Rijkdom van mosselbanken

Waar liggen de toplocaties?



WADDEN
sleutels

Mosselbanken
fundament van het
voedselweb



Het project Waddensleutels onderzoekt de kansen en wegen voor herstel van een rijke Waddenzee. Centraal staat de hypothese dat biobouwende mosselen het voorkomen van andere soorten stimuleren. De terugkeer van mosselbanken zou de sleutel tot herstel van de ecologie in de Waddenzee kunnen zijn. Het onderzoeksproject is een samenwerking tussen Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Rijksuniversiteit Groningen en het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee.



INHOUD

12.000 wadmonsters

Medewerkers van Waddensleutels helpen mee met de uitvoering van SIBES, het Waddenzeebrede jaarlijkse karteringsprogramma van het bodemleven (benthos) van de wadplaten. Tijdens deze campagnes is een grote hoeveelheid extra organismen verzameld op basis waarvan isotopenkaarten zijn gemaakt.

PAGINA 8 – 10

Ontrafelen van het voedselweb

Met het isotopenonderzoek brengt het project de structuur en het functioneren van het voedselweb van de Waddenzee in kaart. Onderzocht wordt waar de energie en voedingsstoffen vandaan komen, en of het voedselweb op sommige plekken meer compleet is dan op andere.

PAGINA 12 – 13

Bouwen van nieuwe mosselbanken

De onderzoekers voeren meerdere experimenten uit om inzicht te krijgen in welke factoren bijdragen aan herstel van mosselbanken. Ze bestuderen het effect van beheermaatregelen als het storten van mosselen en het plaatsen van mosselkratten.

PAGINA 15 – 17

Toplocaties op wadplaten

De vergaarde kennis komt samen in richtlijnen voor natuurherstel en een kaart, waarmee terreinbeherende natuurorganisaties en overheden kunnen zien waar hoge natuurwaarden liggen.

PAGINA 30 – 31

En verder:

| | | | |
|---|----|--|----|
| Waddensleutels: experimenteel en innovatief | 2 | Elke komberging vertelt zijn eigen verhaal | 26 |
| Mosselbanken bron van leven | 6 | Inzet van vrijwilligers | 28 |
| Mosselbanken zijn net eiken | 11 | Mengen van zout en zoet | 29 |
| Gevecht tegen golven | 14 | Waddenzee staat op eigen benen | 32 |
| Rijkdom van mosselbanken | 18 | Stijgers en dalers | 33 |
| Coproductie wetenschap en natuurbeheer | 20 | Beheerders met resultaten aan de slag | 34 |
| Nieuw: Waddennatuurkaart | 22 | Blijvende samenwerking | 36 |
| Over watjes en krachtpaters | 24 | | |

Naar een volledig hersteld voedselweb in 2026

Begin 2011 kwam Waddensleutels op stoom. Een team van wetenschappers en natuurbeschermers ging aan de slag met innovatief en experimenteel waddenonderzoek. Het project – uitgevoerd met steun van het Waddenfonds – levert een schat aan nieuwe inzichten en ervaringen op. Han Olf, hoogleraar ecologie aan de Rijksuniversiteit Groningen, over de urgentie, de doelen en de aanpak.

Waddensleutels

'Natuurherstel vereist inzicht in het hele systeem van de Waddenzee.'



Een rijke Waddenzee, met veel ongestoorde mosselbanken en zeegrasvelden. En een volledig voedselweb, met zowel onderin een stevig fundament als bovenin toppredatoren. Dat is wat het kabinet wil bereiken. Deadline: 2026. "Deze doelen zijn door de overheid in het Uitvoeringsprogramma Waddenfonds vastgelegd", zegt Olf. Geen eenvoudige opgave, erkent hij. De doelen zijn helder, de weg ernaartoe bepaald niet. Ingrijpen in het waddensysteem is nodig, maar de hamvraag luidt: hoe en waar? "Natuurherstel vereist inzicht in het hele systeem van de Waddenzee. In vergelijking tot duinen en kwelders worden wadplaten en wadgeulen nog slecht begrepen. Er is weinig zicht op de ecologische sleutelprocessen. Met Waddensleutels willen we doorgronden welke factoren bepalend zijn." Olf noemt de kennislacunes opmerkelijk, gezien de waarde en wereldwijde erkenning van het natuurgebied. "We praten over Werelderfgoed, met internationale faam vanwege de vogelrijkdom. De beschikbare kennis over natuurherstel staat in schril contrast tot andere ecosystemen, zoals beekdalen en veengebieden."



ZEEPAARDJES

Het zeepaardje is het logo van Waddensleutels. Dat is niet voor niets. Zeepaardjes leven in zeegras, een belangrijke biobouwer in de Waddenzee. Ze draaien hun staart om een stengel. Met de ondergang van de zeegrasvelden in de Waddenzee verdwenen ook de zeepaardjes. Heel af en toe worden ze nog gevangen. Recent door studenten in de NIOZ-fuik. Dat zou wat zijn: weer volop zeepaardjes in de Waddenzee.

experimenteel en innovatief

Eerst de basis

Over de teloorgang van het voedselweb delen natuurbeheerders en wetenschappers hun zorgen. "Om het voedselweb te herstellen, beginnen we aan de basis. Een voedselweb vereist een breed en stevig fundament. Op slappe veengrond bouw je geen huis zonder palen te heien. Biobouwers - zoals mosselbanken, zeegrasvelden en de Japanse oester als nieuwkomer - vormen zo'n fundament. Als stevige structuren hebben ze positieve effecten op de omringende wadplaten. Als voedselbronnen spelen ze een cruciale rol in de transitie naar

een rijke zee. Probleem is dat grote arealen biobouwers zijn verdwenen. In het oostelijke deel van de Waddenzee treedt de afgelopen vijftien jaar herstel van mosselbanken op. In het westelijke deel blijft herstel uit. De grote zeegrasvelden van weleer zijn in de gehele Nederlandse Waddenzee dramatisch afgenomen."

Nieuwe wegen

Hoe volledig is het voedselweb van de Waddenzee nu? Hoe brengen we verschuivingen in de rijkdom en de complexiteit van het voedselweb in kaart? En hoe geven

'Waar we vroeger als onderzoekers vooral observeerden, zijn we nu aan de slag met grootschalige experimenten.'



In de Banc d'Arguin in Mauritanië bestudeert Han Olff een ander waddensysteem. "Daar vinden we nog een volledig voedselweb, al wordt het op dit moment aan de bovenzijde afgevlakt door overbevissing op roggen en haaien. Deze twee roggen kocht ik van een visser voor een euro per stuk, om de maaginhoud te bekijken. Roggen van deze omvang horen ook in een rijke Waddenzee thuis."

we nieuwe mosselbanken een duw in de goede richting? Om deze vragen te beantwoorden, verkent Waddensleutels nieuwe wegen. De werkwijze is uniek. "We hebben een sterk experimentele en innovatieve aanpak gekozen. Waar we vroeger als onderzoekers vooral observeerden, en specifieke soorten volgden, zijn we nu concreet aan de slag met grootschalige experimenten. Daarnaast gebruiken we nieuwe geavanceerde analytische technieken." Innovatief is ook het organisatie-model, waarbij wetenschappers en natuurbeschermers samen optrekken. In gelijkwaardigheid, benadrukt Olff, niet als opdrachtgever en opdrachtnemer. "We zijn complementair. Heel inspirerend."

Meer kleur

Aan het onderzoeksproject werken veel mensen en instellingen mee. Postdoctorale onderzoekers, promovendi, onderzoekers, medewerkers en vrijwilligers hebben zich ingezet voor de veldexperimenten en het verzamelen en analyseren van wadmonsters. De resultaten zijn vastgelegd in nieuwsbrieven en publicaties in gerenommeerde wetenschappelijke tijdschriften als Science. De bevindingen overziend, concludeert Olff dat de Waddenzee meer kleur heeft gekregen. "Voor de wadplaten konden we de witte vlek grotendeels inkleuren. Zo weten we nu dat mosselbanken het ecosysteem verrijken, waar de toplocaties met een grote natuurwaarde liggen en hoe belangrijk de ruimtelijke samenhang is."

Ruimtelijke schaal

Waddensleutels heeft het blikveld verbreed. Belangrijke les vindt Olff de ruimtelijke schaal waarop sleutelprocessen zich blijken af te spelen. Natuurherstel vraagt om grootschalige maatregelen, stelt hij. "In de Waddenzee hangt alles met elkaar samen: mosselbanken verrijken hun omgeving, kwelderkreken en ondiepe geulen vormen kraamkamers voor vissen, wadplaten blijken cruciaal voor soorten hoger in het voedselweb, zoals vogels. Overal zie je ruimtelijke interacties. Wat ergens gebeurt, straalt uit op andere naastgelegen gebieden."

Groot denken

Olff vindt dat ook hij de ruimtelijke schaal heeft onderschat waarop processen in de Waddenzee plaatsvinden. Actief biobouwerherstel op een schaal van minder dan een hectare zet volgens hem te weinig zoden aan de dijk. "Daarvoor hebben we ook het Ei van Columbus niet gevonden", erkent hij. Met het beschermen van kleine postzegels komen de 2026-doelen niet binnen handbereik.

"We moeten groot durven denken, minstens op de schaal van kombergingen (zie pagina 26). Grootschalige gebieden moeten met rust gelaten worden. Met andere woorden: niet vissen met sleepnetten, niet baggeren, grote zoet-zoutovergangen herstellen en zorgen dat het water helder en schoon blijft. Dergelijke maatregelen helpen pas echt voor natuurherstel."

Voedselweb: van arm naar rijk

Het huidige voedselweb van de Waddenzee is een rijksmonument zonder dak met een aangetast fundament.



Het verschil tussen een arm en een rijk voedselweb. Bovenstaande figuur laat het voor de Waddenzee zien. Een volledig web is het overheidsdoel voor 2026. Tegen die tijd staat het web als een huis. Met een stevig fundament van mosselbanken en zeegrasvelden, meerdere verdiepingen waar vissen en vogels wonen, en een fors dak van toppredatoren, zoals haaien, roggen en tuimelaars. Dat huis ligt momenteel in verval, legt Han Olff, hoogleraar van de Rijksuniversiteit Groningen, uit. "Momenteel bevindt de Waddenzee zich in het midden van de figuur. Onderin is het fundament verzakt, er missen verdiepingen en bovenin ontbreken delen van het dak. Het gevolg: een smal en daarmee instabiel voedselweb." Zonder maatregelen dreigt het voedselweb verder af te brokkelen. Dan komt het linker deel van de figuur in beeld. "Doen we niets en neemt de druk op de natuur toe, dan houden we een Waddenzee over waar krabben, garnalen en kwallen domineren."

Waddensleutels bewijst: Mosselbanken

bron van leven

Biobouwers als mosselbanken en zeegrasvelden verrijken de Waddenzee. Bij zes mosselbanken nam Waddensleutels de proef op de som. Conclusie: ze zorgen voor méér biodiversiteit en biomassa. En dat niet alleen op de banken zelf, maar ook ver daarbuiten.

Op het eerste gezicht lijkt een mosselbank een zwarte en homogene massa. Niets is minder waar. Van dichtbij sist, pruttelt en bruist het. En wie beter kijkt, ziet dat op de mosselen anemonen, pokken en zeesterren

leven. Vooral bij hoogwater komt de bank tot leven. Er kruipen dan honderden krabben, af en toe zwemt een vis voorbij. Zes mosselbanken verspreid over de Waddenzee plozen de onderzoekers van Waddensleutels volledig uit, waarbij ze alle soortgroepen noteerden. Juist deze brede aanpak maakt het onderzoek uniek, stelt Marjolijn Christianen van Waddensleutels. "Dat biobouwers van groot belang zijn voor een ecosysteem was eerder aangetoond. Maar meestal met één soortgroep, zoals het bodemleven (benthos). Wij hebben alles in kaart gebracht: van vogels tot vissen, van wormen tot algen. Het levert een compleet beeld op. Niet alleen van de zes mosselbanken, maar ook van controlegebieden op circa vijfhonderd meter afstand van de mosselbank."

Els van der Zee

'Biobouwers stabiliseren de ondergrond en bieden een structuur.'

Een kwart meer

Het contrast tussen mossel- en zandbank blijkt groot. Gemiddeld per mosselbank zijn er 40 soorten gezien, tegen 28 soorten op zandplaten. "Dat is 43 procent meer. Op mosselbanken vonden we ook meer speciale soorten, zoals paling, harnasmannetje, zeedonderpad, zeenaald en slakdolf." Niet alleen de soortenrijkdom, ook de biomassa verschilt. "Op mosselbanken komt de biomassa bijna vier keer hoger uit.



Op mosselbanken vinden we 415 gram benthos en vis per vierkante meter (uitgedrukt in drooggewicht), tegen 111 gram op kale wadplaten. "Daarmee staat het onomstotelijk vast: biobouwers hebben een belangrijk faciliterend effect op de biodiversiteit in de Waddenzee. "Dat maakt het in stand houden en herstellen van mosselbanken cruciaal voor de transitie naar een rijke Waddenzee."

Mosselpoep

De meerwaarde blijft niet beperkt tot de banken zelf. Het ruimtelijk effect is veel groter, constateert Els van der Zee van Waddensleutels. Oorzaak: het nutriëntenrijke mosselslijk, dat zich verspreidt over de omgeving. "Mosselen scheiden mosselpoep en ongegeten deeltjes uit. Bodemleven profi-

mosselbank zandplaat

Marjolijn Christianen

'Op mosselbanken komt de biomassa bijna vier keer hoger uit.'

teert daarvan. Tot op tweehonderd meter afstand vonden we veel meer wormen, krabben en schelpdieren. Hoe verder van de banken, hoe minder we aantreffen. Wadvogels als scholeksters, wulpen en rosse grutto's zitten duidelijk geclusterd op de mosselpoep. De dichtheid is drieëneenhalf keer hoger dan op het zandige wad."

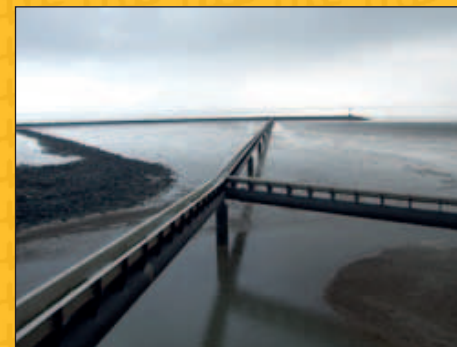
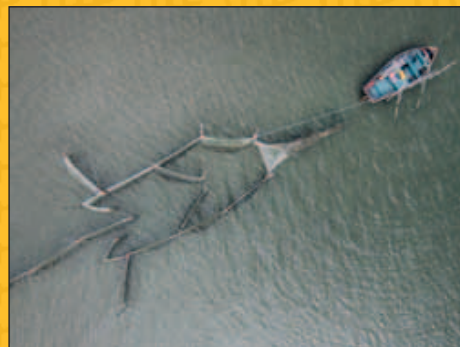
Structuur

Wat maakt biobouwers zo aantrekkelijk? "Enerzijds stabiliseren ze de ondergrond, anderzijds bieden ze een structuur waarin

dieren kunnen schuilen", legt Van der Zee uit. Beide functies onderzocht ze proefondervindelijk bij Schiermonnikoog en Terschelling. "Met kokosmatten maakten we een steviger ondergrond, door het storten van mosselen boden we een bovengrondse structuur." Drie maanden later waren de verschillen met de controleplots groot. Op de kokosmatten huisden gemiddeld 1,6 keer meer soorten dan op de controleplots. Op de gestorte mosselen was de soortenrijkdom met een factor 1,4 toegenomen.

Van bloed van lepelaars tot spieren van krabben: om het voedselweb in kaart te brengen, bemonsterde Waddensleutels planten en dieren verspreid over de Waddenzee. Maar liefst 12.000 wadmonsters in totaal, goed voor tien manjaren veldwerk, waarvan de helft door vrijwilligers. Plus de twaalf manjaren voor de verwerking.

12.000 wadmonsters



Al meer dan vijftig jaar vangt het NIOZ vissen en andere zeedieren met de NIOZ-fuik in het Marsdiep bij Texel. 800 monsters vinden hun weg naar Waddensleutels.

Jeltje Jouta, onderzoeker van Waddensleutels, vangt op alle Waddeneilanden jonge lepelaars. Van de vogels neemt ze bloed af. Ze verzamelt ook kots en het voedsel van lepelaars, onder andere garnalen, driedoornige stekelbaarzen, krabben, bootsmannetjes en platvissen.

De energiecentrale in de Eemshaven verbruikt enorme hoeveelheden koelwater. Een visretourgoot (foto) bij de koelwaterinlaat zorgt voor de bescherming van vissen. Circa 1.200 vissen en andere zeedieren van de verplichte vismonitoring zijn bij Waddensleutels aangeleverd.

Tijdens de bemonsteringen voor het NIOZ-meetnet SIBES, varen onderzoekers met rubberboten langs 43 boeien voor het verzamelen van mosselen en pokken. Ze verzamelen zo 250 monsters.

Waddensleutels doet een fuikenonderzoek bij zes Waddeneilanden, zowel op een moselbank als op een nabijgelegen zandplaat. De fuiken zijn om de twaalf uur tijdens laagwater gelegd. De exercitie levert 1.800 monsters op.



De lat ligt hoog. Waddensleutels wil het volledige voedselweb van de Waddenzee in beeld brengen, kaart dekkend en voor alle soortgroepen. Een ambitieuze opdracht, die niet eerder in deze omvang is uitgevoerd. Twintig afzonderlijke projecten leverden de afgelopen jaren wadmonsters aan. Grootleverancier was het NIOZ-meetnet SIBES, dat in samenwerking met Waddensleutels extra monsters nam van het bodemleven (benthos). "In 2011 hebben we op 400 plekken in de Waddenzee 1.600 extra monsters genomen",

vertelt Sander Holthuijsen, onderzoeker van het NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee. Ook de NIOZ-fuik in het Marsdiep bij Texel en het koelwatersysteem bij de kolencentrale in de Eemshaven bleken een aanzienlijke monsterbron. Samen waren ze goed voor 2.000 monsters.

Mosselen op boeien

Vogels, wormen, kwallen, zeesterren, mosselen, vissen, algen: de onderzoekers vingden ze met uiteenlopende, vaak vernieuwende

methoden. Van fuiken tot mistnetten, van wadzeven tot het afschrapen van de bovenlaag van de wadplaat. Voor het bemonsteren van mosselen en pokken op boeien ontwikkelde Holthuijsen met collega Anne Dekinga een zogeheten mosselschraper; een houten stok, met aan het uiteinde een stalen beugel en een net. "Door langs een boei te schrapen, vielen de mosselen en pokken in het net", legt hij uit.

Vogels

Jeltje Jouta, onderzoeker van Waddensleutels, richtte haar focus op wadvogels. In totaal bemonsterde ze er 1.800, hoofdzakelijk lepelaars. "Jonge lepelaars kunnen niet vliegen. Dan kan je ze vangen. Dat hebben we op alle Waddeneilanden gedaan." Van de vogels

Jeltje Jouta

'Jonge lepelaars kunnen niet vliegen.

Dan kan je ze vangen.'

tapte Jouta een klein beetje bloed af. Bloed vertelt wat de vogels hebben gegeten en waar het voedsel vandaan komt. Het aftappen wierp wel een ethisch vraagstuk op. "Voor deze experimenten hebben we toestemming gekregen van de Dier Experimenten Commissie (DEC)", legt Jouta uit. Naast de lepelaars

Stefan Schouten

'We beschikken nu over één van de grootste isotopendatabases ter wereld van een ecosysteem.'



Met mistnetten zijn onder meer op Griend, Richel en Schiermonnikoog steltlopers gevangen, vooral bonte strandlopers, kanoetstrandlopers en drieteenstrandlopers. Op de foto de wadtoren op Richel. Van alle vogels is bloed afgenomen voor het isotopenonderzoek.



Het onderzoeksschip de Navicula vaart jaarlijks in de zomermaanden over de Waddenzee voor de bemonstering van het NIOZ-meetnet SIBES. Speciaal voor Waddensleutels nemen ze 1.600 extra monsters van bodemleven (benthos).

ving ze samen met de NIOZ-vangploeg met mistnetten steltlopers op Griend, Richel en Schiermonnikoog. "Vangen gebeurde 's nachts rond nieuwe maan. Dan zijn de netten minder goed zichtbaar voor vogels. De netten plaatsen we tussen rustplekken en de plekken waar ze hun voedsel halen."

Isotopenonderzoek

Na het verzamelen begint het grote werk. Waar het bemonsteren tien manjaren werk vergt, kost de verwerking ervan twaalf.

Van alle monsters zijn de stabiele isotopen gemeten. De gloednieuwe isotoop-ratio massa spectrometer (irMS), aangeschaft door Waddensleutels, draaide jarenlang overuren. Voordat de monsters in de machine konden, moesten ze worden gedetermineerd, gemeten, gevriesdroogd, geprepareerd, gewogen en in kleine cupjes gestopt. "Een enorm karwei, waar tientallen stagiaires, medewerkers en promovendi aan hebben gewerkt", vertelt NIOZ-isotopenonderzoeker Stefan Schouten. Hij noemt het de grootste dataproductie die

hij ooit heeft gedaan. De gevulde dataset is volgens hem van grote waarde. "We beschikken nu over één van de grootste databases ter wereld met isotopenanalyses van een ecosysteem." Nu de data beschikbaar zijn, begint volgens Schouten het echte denkwerk, namelijk het ontdekken van patronen. "Na publicatie van onze conclusies zal de hele dataset online beschikbaar komen op internet", verzekert hij. "De gegevens zijn met publiek geld betaald. Isotopenonderzoekers over de hele wereld mogen ze gebruiken."



Mosselbanken zijn net

eiken

Een eikenboom laat elk jaar in de herfst ontzettend veel eikels vallen. Daarvan moet er minstens één overleven om het eikenbos te behouden. De rest legt meteen het loodje, of gaat later door gebrek aan licht dood. Hetzelfde geldt voor mosselbanken. Elke bank produceert jaarlijks miljoenen nakomelingen. Af en toe is er een overvloedig jaar. Al die nakomelingen proberen zich te vestigen. Nieuwe locaties zijn fragiel. De kleine mosselen spoelen

weg of worden opgegeten. Zoals eikels worden gegeten door vogels, vallen kleine mosselen ten prooi aan krabben en garnalen. Halen jonge mosselbanken de eerste levensfase, dan stijgen de overlevingskansen. Hoe ouder de banken, hoe robuuster. Ze nemen in omvang toe, beschermen zichzelf tegen golfslag en produceren hun eigen nageslacht. Net als eiken. Oude mosselbanken zijn net als oude statige eiken tegen een stootje bestand.

Wie verorbert wie? De hamvraag in het voedselweb. Met isotopenonderzoek brengt Waddensleutels het voedselweb van de Waddenzee in beeld. Met de unieke dataset van maar liefst twaalfduizend wadmonsters zoeken de onderzoekers naar patronen. Zo blijkt het voedselweb van mosselbanken rijker en robuuster dan van zandplaten.

De voedselkringloop gaat via de maag. Wie een ander organisme eet, stijgt een tree - een zogeheten trofisch niveau - in de voedselpiramide. De onderste tree bestaat uit soorten als plankton en kwelderplanten, de volgende uit wadslakjes en mosselen. Helemaal bovenaan heersen de toppredatoren, zoals tuimelaars en haaien. "Om de voedselkringloop te bepalen, plozen onderzoekers voorheen altijd de maaginhoud uit. Daar troffen ze het dieet van de afgelopen dagen", vertelt Stefan Schouten, isotopenonderzoeker van NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee.

Een beter alternatief dat het afgelopen decennium in zwang raakte, is het isotopenonderzoek. Isotopen zijn een soort handtekening, nagelaten in een organisme, die meer vertelt over zijn voedselbronnen. "Isotopen beantwoorden tal van vragen. Op welk trofisch niveau zit het organisme? Waar halen ze hun voedsel vandaan? En: hoe zitten de organismen met elkaar verbonden, wie eet wie? Met de maaginhoud weten we alleen het dieet van de afgelopen dagen. Met isotopenonderzoek meten we een veel langere periode", legt Schouten uit.

Stikstof en koolstof

Twee stabiele isotopen van de monsters zijn gemeten: van stikstof en koolstof. Beide vertellen een ander verhaal. Schouten: "Stikstofisotopen vertellen waar een dier in het voedselweb zit. Hoe hoger het signaal, hoe hoger de dieren in de voedselketen zitten. Koolstofisotopen vertellen waar de energie waar het voedselweb op drijft uit bestaat: plankton uit het water of kiezelwieren op het land? Koolstof blijft in de keten min of meer constant."

Stefan Schouten

'Stikstofisotopen vertellen op welke hoogte een dier in het voedselweb zit.'

De isotopenwaarden van de twaalfduizend wadmonsters staan intussen in een mega-dataset. De uitdaging is, stelt Schouten, om er consistente patronen in te ontdekken. Wat de dataset in elk geval laat zien, is het ontbreken van delen van de voedselpiramide, zoals de grote roofvis-

sen en diverse toppredatoren, zoals haaien en roggen. Marjolijn Christianen van Waddensleutels: "Van deze soortengroepen hebben we bijna geen monsters. Dat is logisch, omdat ze missen in het ecosysteem van de Waddenzee. Het voedselweb is daarmee incompleet."

Onttrafelen van het voedselweb

Marjolijn Christianen
'Het voedselweb van een mosselbank is veel complexer.'

Stabiele isotopen: mosselbank rijker en complexer

Op zes locaties bemonsterde Waddensleutels alle aanwezige soorten op zowel een mosselbank als een nabijgelegen zandbank. Op basis van het stikstofsignaal van de monsters zijn onderstaande illustraties gemaakt. Ze tonen het lokale voedselweb; de linker van een mosselbank, de rechter van een zandbank. Elke bol is een functionele soortengroep, de verbindingen vormen de connecties tussen de groepen. Ze laten zien wie wie eet. Er zitten ook kannibalen tussen, zoals de krabben. Die eten hun eigen soortgenoten op. Van het voedselweb zien we de eerste drie niveaus. De kleuren van de bollen veranderen van rood naar geel naarmate ze

hoger in de voedselketen zitten. Van de aangetroffen vogels ontbreken isotopenmonsters. Die zijn dan ook niet meegenomen. De verschillen tussen beide voedselwebben zijn groot, concludeert Marjolijn Christianen van Waddensleutels. "Het voedselweb van een mosselbank is veel complexer. Er leven niet alleen meer soorten, maar er zijn ook meer verbindingen. Hoe meer connecties tussen soorten, hoe robuuster het voedselweb over het algemeen is. Met veel soorten en verbindingen stort de voedselpiramide bij het verdwijnen van soorten minder snel uiteen, dan met weinig soorten en verbindingen."



Mosselbank



Zandplaat

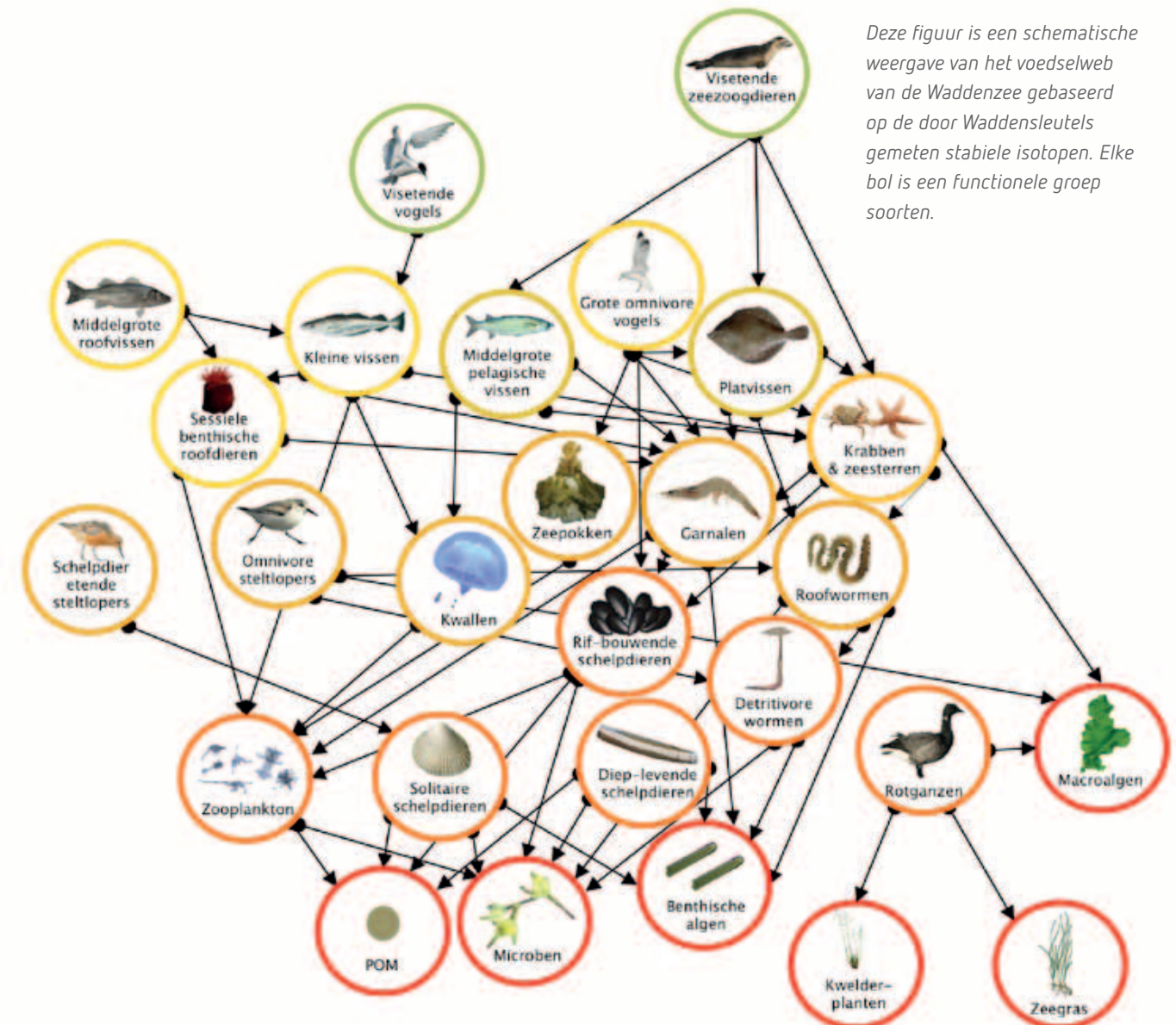
Toppredatoren

Tertiaire consumenten

Secundaire consumenten

Primaire consumenten

Primaire producenten



Gevecht tegen

GOLVEN

Mosselwad is een project dat onderzoek doet naar mosselen onder en boven water. Er is daar ook gekeken naar de effecten van golven. Golfkracht blijkt een belangrijke factor die bepaalt of een locatie geschikt is voor droogvallende mosselbanken. Zijn de krachten te sterk, dan maakt een prille bank geen schijn van kans. Dat stormen en golven desastreus kunnen uitpakken, hebben zowel Waddensleutels als Mosselwad in de praktijk ondervonden. Diverse veldexperimenten, waarbij mosselen op het wad werden gestort, stierven

door golfslag een vroege dood. Het lokale windklimaat speelt een grote rol. Wind genereert golven en verhoogt de waterstand. De variatie aan golfkracht is op Waddenzeeschaal groot. Geschikt voor mosselbanken blijken vooral de luwe plekken onder de eilanden. Het westelijke deel heeft meer last van golfwerking. Daar liggen diepe geulen, waar hogere golven voorkomen. Het oosten biedt een groter areaal aan geschikt mosselhabitat. Daar zijn ook meer mosselbanken te vinden.



Met vallen en opstaan



Bouwen van nieuwe mosselbanken

Nieuwe mosselbanken een duw in de goede richting geven. Dat is wat Waddensleutels proefondervindelijk wilde uittesten. De praktijk blijkt weerbarstig. Grootschalige experimenten mislukten, maar leverden wel nieuwe kennis op. Hopelijk biedt de nieuwste vinding, biologisch afbreekbare mosselkratten, soelaas.

De waddennatuur is gebaat bij een groter areaal mosselbanken. De vraag is: hoe ze te herstellen? Onderzoekers van Waddensleutels experimenteerden de afgelopen jaren met kansrijke en innovatieve methoden. Leren door te doen, luidde de aanpak. Eerste twee testmethoden: het storten van mosselen en het aanleggen van een kokosmat, waaraan mosselen zich beter zouden hechten. Waddensleutels pakte het meteen groots aan. Maar liefst 36 duizend kilo mosselen werd in het voorjaar van 2011 onder drie eilanden op plots neergelegd; de helft op de kale wadbodembodem, de andere helft op kokosmatten. Beide methoden gaven geen verschil. "Bij hevige stormen spoelden de mosselen weg. Binnen tweehonderd dagen waren ze allemaal verdwenen. De kokosmatten raakten bovendien bedolven onder het sediment, waardoor mosselen ze niet konden gebruiken", vertelt

Hélène de Paoli, onderzoeker van Waddensleutels. Later kwam een groot verschil aan het licht tussen het storten van ondergedoken en droogvallende mosselen, zie pagina 24 en 25.

Krabben en garnalen

Naast golfslag en harde wind bleek predatie, in combinatie met een stabiele ondergrond, bepalend voor herstel van mosselbanken. "Krabben en garnalen eten veel mosselbroed", vertelt Tjisse van der Heide, onderzoeker van Waddensleutels. In speciaal ontworpen kooien, gemaakt van horrengaas, hield hij de pedatoren buiten. In totaal plaatste Van der Heide 108 kooien op het wad; de helft open, de andere helft dicht. De ene helft kreeg daarnaast een kokosmat, de andere helft niet. De verschillen waren spectaculair. "Alleen de combinatie van een kokosmat, waar ze zich

met hun hechtdraden aan kunnen vastzetten, en het uitsluiten van predatie leidde tot mosselbroed. In de kooien waar garnalen wél konden komen, of de kooien zónder kokosmat, was nauwelijks iets te zien." Van der Heide concludeert dan ook: zowel predatie als een stabiele ondergrond vormen belangrijke factoren voor herstel.

Hélène de Paoli

'Het is van groot belang om bestaande mosselbanken te beschermen.'

Tjisse van der Heide

'Het principe werkt. We krijgen de techniek in de vingers, maar we zijn er nog niet.'



Mosselkratten

Een speciale mosselkrat biedt mogelijk voor beide een oplossing. De vinding van adviesbureau Bureau Waardenburg bestaat uit een soort fijnmazige honingraat. "De kratten worden reeds gebruikt voor het kweken van driehoeksmosselen om het water te zuiveren. Voor ons lijken de kratten ideaal: ze bieden een hechtingsubstraat voor mossel- en oesterbroed, bescherming tegen predatoren én voldoende weerstand tegen golven en wind", legt Van der Heide uit. Een eerste test met drie kratten bij Schiermonnikoog liet hoopvolle resultaten zien.

Knelpunt was het materiaal, namelijk gewoon plastic. Het plastic vergaat niet en hoort op het wad niet thuis. Samen met Wouter Lengkeek van Bureau Waardenburg bedacht Van der Heide een duurzaam alternatief: een biologisch afbreekbare mosselkrat, gemaakt van aardappelresten uit een patatfabriek. Een noviteit, benadrukt Van der Heide. "De kratten moeten oplossen zodra de mosselbank voldoende volwassen is geworden."

Feugelpölle

Zijn biokratten kwamen als proef bij de Feugelpölle te staan, een kwelder ten zuidwesten van Ameland. Daar liep het Klimaatbufferproject Zuidwest Ameland, een samenwerking van onder meer Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat. Doel van het project: de kust be-



schermen door middel van het bouwen met de natuur. Van der Heide: "Onze zetmeelkratjes leenden zich daar goed voor. Naast de kratten plaatsten ze ook rijshoutendammen op het wad. De takkenbossen waren omwikkeld met kokosmatten." De eerste resultaten zijn hoopgevend, aldus Van der Heide. "Op de zetmeelkratjes zit vooral oesterbroed, op de rijshoutendammen mosselbroed. De voorkeur is te verklaren: mosselbroed verkiest een vezelige structuur, oesterbroed houdt van een gladder oppervlakte."

In de vingers

Toch sloegen veel prille kunstmatige mosselen oesterbanken later weg. Sommige omdat de stalen draden doorroesten, andere omdat het zetmeel te snel afbrak. Van der Heide noemt dit *finetunen*. "Het principe werkt. We komen steeds dichterbij, krijgen de techniek in de vingers, maar we zijn er nog niet. We moeten grondstoffen zodanig aanpassen dat de kratten langzamer afbreken. Misschien moeten we ook kokostouw vlechten door de mosselkratten, zodat mosselbroed zich kan hechten." Hij gelooft in zijn zetmeelkratten. "Deze herstelmaatregel kan niet alleen soelaas bieden in de Waddenzee, maar ook in andere ecosystemen. Ik ga hiermee verder. Mijn nieuwe onderzoeksvoorstel is de deur uit."

Geen sinecure

Wat de experimenten van Waddensleutels vooral duidelijk maken is dat het kunstmatig aanleggen van nieuwe mosselbanken geen sinecure is. Hevige stormen, een losse ondergrond en een overdaad aan predatoren maken het een lastige opgave. De Paoli: "Omdat herstel nog steeds ingewikkeld is, is het van groot belang om bestaande mosselbanken en plekken waar nieuwe banken ontstaan te beschermen. Laat ze met rust."

Vijf mosselinnovaties

TESTMETHODE 1 Storten van (ondergedoken) mosselen



Het storten van mosselen kan in potentie het begin vormen van een nieuwe mosselbank. De praktijk bleek anders. Van nagenoeg alle experimenten met het storten van mosselen, ook die van Mosselwad, spoelden de mosselen na verloop van tijd weg.

TESTMETHODE 2 Kokosmatten



Met kokosmatten is getest of mosselen beter overleven als ze zich kunnen hechten aan een stevige ondergrond. De kokosmatten bleken als fundering voor nieuwe mosselbanken niet afdoende. Ze raakten bovendien bedolven onder het sediment.

TESTMETHODE 3: Garnalen- en krabbenkooien



Om het effect van krabben- en garnalenpredatie te meten, zijn op het wad 108 kooien van horrengas geplaatst. De helft van de kooien kregen een kokosmat als stabiele ondergrond. Binnen de kooien met een kokosmat waar predatoren niet konden komen, werd mossel- en oesterbroed gevonden. Een combinatie van het aanbieden van een stabiele ondergrond én het weren van predatoren helpt. Terugkeer van toppredatoren in het voedselweb, waardoor er minder garnalen en krabben zijn, kan positief uitwerken op de vestiging van mosselbanken.



Links een open kooi zonder broed, rechts een kooi zonder garnalen en krabben met broed

TESTMETHODE 4 Mosselkratten



Speciale mosselkratten, een gepatenteerde vinding van Bureau Waardenburg, bieden een plek om te hechten en houden predatoren op afstand. Experimenten met de kratten zijn hoopgevend, zeker nu een biologisch afbreekbare variant is geproduceerd. In de proefkratten zat mossel- en oesterbroed. Verdere ontwikkeling van de techniek is vereist.

TESTMETHODE 5 Rijshoutendammen met kokosmatten



Bij de Feugelpölle onder Ameland zijn constructies neergelegd, vergelijkbaar met de rijshoutendammen op de kwelders van Groningen en Friesland. De dammen bestaan uit takkenbossen, die zijn omwikkeld met kokosmatten. De resultaten zijn matig positief. Het eerste jaar is veel mosselbroed waargenomen. Gevaar is echter dat de constructie te snel afbreekt en met de prille mosselbank gaat drijven.

Rijkdom van mosselbanken

Op zes mosselbanken vinden de onderzoekers van Waddensleutels in totaal 75 soorten vissen, algen, vogels, bodemdieren, kwallen, kreeftachtigen en schelpdieren. Het gros van de soorten staat hier afgebeeld.



**Waddensleutels heeft een pri-
meur. Niet eerder bundelden we-
tenschappers en beheerders bin-
nen een onderzoeksproject van
deze omvang hun krachten in de
Waddenzee. Beide partijen vullen
elkaar aan. De coproductie zorgt
voor veel inspiratie, een grotere
slagkracht en meer diepgang.**

Binnen Waddensleutels trekken weten-
schappers en natuurbeheerders samen op.
Wat ze gemeen hebben, is hun passie en
betrokkenheid bij de Waddennatuur. Het
onderzoeksproject brengt ze samen, door
het koppelen van kennis en natuurherstel.
Tjisse van der Heide, onderzoeker van Wad-
densleutels, noemt het samenwerken een
verrijking. "We vullen elkaar aan. Beheerders
kijken door een andere bril. Waar wij onder-
zoeksvragen en hypothesen zien, denken

zij in beheeroplossingen. Ze stellen andere
vragen, zetten je aan het denken en houden
je bij de les. Dat verdiept mijn onderzoek."
De meerwaarde geldt ook andersom. "Als
beheerder vinden wij het uitermate interes-
sant om met wetenschappers aan tafel te
zitten. Dankzij Waddensleutels boren we een
enorme kennisbron aan, waar we bij ons
dagelijkse beheer baat bij hebben", vertelt
Quirin Smeele, programmamanager Wadden
van Natuurmonumenten.



Quirin Smeele (links) en
Tjisse van der Heide (rechts)

Coproductie wetenschap en natuurbeheer

Quirin Smeele

*'Wetenschappers zorgen voor feiten die breed
worden gedeeld. Juist daar is in de Waddenzee
behoefte aan.'*

Communicatie

Waddensleutels heeft Van der Heide de ogen
geopend. Waar onderzoekers normaliter de
resultaten na afloop alleen publiceren binnen
de wetenschappelijke wereld, gaat hij er nu
actief de boer mee op. Van der Heide verzorgt
geregeld presentaties aan eilanders en ande-
re belangstellenden, geeft vaak interviews en
schrijft zelf mediaberichten. "Wetenschappers
moeten zich meer bewust worden van hun
publieke rol. De maatschappij verlangt dat.
Uitleg in leekentaal is belangrijk. Niet alleen
de eindconclusies zijn het vermelden waard,
ook de route ernaartoe. Onderzoek kost veel
bloed, zweet en tranen. We moeten zichtbaar
maken waar we publiek geld aan besteden."
De communicatie leverde hem de prestigi-

euze Heinekenprijs op, uitgereikt door koning
Willem-Alexander. "De jury koos mij onder
andere omdat ik actief met het onderzoek
naar buiten treed."

Onafhankelijke kennis

De kracht van wetenschap is volgens Smeele
het genereren van onafhankelijke kennis.
"In de natuurbescherming heb je feiten en
meningen. Wetenschappers zorgen voor
feiten die breed worden gedeeld. Juist daar
is in de Waddenzee op dit moment behoefte
aan; objectieve bevindingen, gebaseerd op
wetenschappelijke principes. Wetenschappe-
lijke resultaten worden pas erkend, wanneer
ze gepubliceerd zijn in gerenommeerde
tijdschriften. Dat vereist een *peer review*,

duis dat andere deskundigen de resultaten
erkennen." Nog een pluspunt, aldus Smeele:
"Wetenschappers zetten projecten meer
methodisch op, om van de resultaten te
leren. Die vakkundigheid hebben beheer-
ders niet."

Natuurbeheer vraagt vooral toegepast
onderzoek, terwijl universiteiten zich
overwegend focussen op fundamenteel
onderzoek. Toch ervaart Van der Heide geen
spanningsveld. Integendeel zelfs. "Beide
sluiten binnen Waddensleutels naadloos
op elkaar aan. Toegepast onderzoek begint
met fundamentele vragen. Je moet eerst de
basale mechanismen begrijpen, voordat je
beheermaatregelen kunt formuleren."

Slagkracht

De samenwerking levert meer op dan de
soms der delen. Van der Heide roemt het
grote aantal vrijwilligers, die de beheer-
dersorganisaties kunnen oproepen. "Hun
contacten en achterban vergroten onze
slagkracht, zowel bij het opzetten van de
veldexperimenten als bij het verzamelen van
monsters." Van der Heide en Smeele hebben
de smaak te pakken. Ook binnen andere
projecten, zoals het zaaien van zeegras,
werken ze inmiddels nauw samen.

Lokale beheerders helpen mee

Beheerders van de Waddeneilanden hebben
geholpen om de veldexperimenten handen
en voeten te geven. Jaap Roelofs, beheer-
der van Staatsbosbeheer op Terschelling,
trommelde mensen op en dacht mee. Zo
ontstond het plan met de paardenploeg. "Op
Schiermonnikoog groeven ze de kokosmatten

met de hand in. Dat was veel werk. De vader
van een collega van ons viste hier vroeger
met een takkenfuik op het wad. Het plaatsen
van de fuik deden ze met een paard en een
ploeg. Met dezelfde werkwijze konden we de
gleuven maken, om de kokosmatten vast te
leggen. De ploeg vonden we ergens in een

voortuin. Het werkte heel goed." Roelofs is
erg te spreken over het onderzoeksproject.
Het opent de ogen, zegt hij. "Waddensleutels
verrijkt ons werk. We zijn nu intensiever bij
het natte wad betrokken. Voor het beheer
lag vroeger een harde lijn tussen eiland en
wad. Een onlogische grens, omdat wadvo-
gels beide zijden gebruiken. Bij vloed komen
ze bij ons rusten en eten, bij eb vliegen ze
weer weg." Roelofs merkt dat het blikveld is
verruimd. Hij spreekt van een omslag. "Niet
alleen ons team kijkt naar het natte wad, ook
de eilanders. We moeten de kennis van de
Waddenzee blijven uitbouwen en de buiten-
wereld erbij betrekken."



Tot voor kort bestond de Waddenzee op de kaart uit twee kleuren: blauw en bruin, water en droogvallende wadplaten. Waddensleutels heeft - voor het eerst in de historie - de waddennatuurtypen op één kaart ingetekend. Niet eerder kreeg de Waddenzee deze mate van verfijning. Zo zijn de wadplaten onderverdeeld in vier typen, namelijk ondergedoken, lage, middelhoge en hoge wadplaten. Het sediment varieert van slikkig, via fijn zand tot grof zand. Met deze kaart heeft Waddensleutels de Waddenzee meer kleur gegeven. Het brengt het landschap tot leven.

permanent overstroomde zandbanken

in het oosten meer mosselbanken dan in het westen

groot zeegras

grote variatie aan landschapstypen

- Legenda**
Sediment (gebaseerd op Median Grain Size)
- Slikkig
 - Fijn zand
 - Grof zand
 - Kombergingsgebieden
 - Groot zeegras (Z.marina >5 jr 2001_2011)
 - Klein zeegras (Z.noltii >5jr 2001-2011)
 - Droogvallende schelpdieren(>5jr 2001-2011)
 - Geul (>5m)
 - Ondergedoken wadplaten (<-5m-1% droogvallend)
 - Lage wadplaten (1-33% droogvallend)
 - Middelhoge wadplaten (33-67% droogvallend)
 - Hoge wadplaten (67-99% droogvallend)
 - Overstroomd tijdens springtij (99% droogvallend)
 - Droog
 - Hoge slik- en zandplaten
 - Kwelderkreken en -poelen
 - Zilte pionierbegroeiing
 - Lage/jonge kwelders
 - Middelhoge en hoge/oude kwelders
 - Embryonale duinen en strandvlakte
 - Buitendelta

De Waddennatuurkaart laat in één oogopslag zien dat de Waddenzee meer is dan een immense bak water en zand. Waar natuurterreinen op de vaste wal minutieus worden ingetekend in vegetatie- en bodemkaarten, met verfijnde nuanceverschillen, werd het natte wad meestal over één kam geschoren. De Waddennatuurkaart dient als basis voor natuurbeheer op het wad. Het maakt prioritering van beschermingsmaatregelen mogelijk. Het helpt ook om de ruimtelijke samenhang te begrijpen.

Oost-westverschillen

Wat opvalt aan de Waddennatuurkaart is de verscheidenheid, de rijkdom aan landschapstypen. Elk type kent zijn eigen kenmerken, natuurkwaliteiten, kansen en bedreigingen. Vooral de oostelijke Waddenzee oogt kleurrijk, met een grote variatie aan landschapstypen. Variatie vergroot de biodiversiteit. Het oosten kent dan ook een rijker bodemleven; op mid-

delhoge wadplaten ligt de totale biomassa twee keer hoger dan in het westelijke deel. Ook is het voedselweb in het oosten complexer. De westelijke Waddenzee kent grotere wateroppervlakten, meer dynamiek en een intensiever menselijk gebruik. De kaart kleurt er grotendeels paars en zwart. Dat zijn de ondergedoken wadplaten en wadgeulen, die door hun oppervlakte weer eigen unieke potenties hebben. Om deze potenties in kaart te brengen is meer onderzoek nodig. Het westen kent daarnaast een tekort aan mosselbanken. In het oosten groeit nog een klein areaal klein zeegras, terwijl het groot zeegras grotendeels uit de Waddenzee verdwenen is.

Interactieve Waddennatuurkaart online

Een interactieve Waddennatuurkaart is online voor iedereen beschikbaar.
www.waddensleutels.nl

NIEUW! Waddennatuurkaart

Ondergedoken mosselen

Meerdere keren viel het op. Waar mosselen bij het ene veldexperiment bleven liggen, spoelden ze bij het andere met de eerste storm weg. De vraag rees: komt dit door het type mossel - droogvallend of ondergedoken? Hélène de Paoli van Waddensleutels zocht het uit. Bij Schiermonnikoog testte ze beide typen. En ja: na twintig dagen lag nog 67 procent van de droogvallende mosselen ter plaatse, tegen slechts 2 procent van de ondergedoken mosselen. De Paoli conclu-

deert dan ook: "Ondergedoken mosselen zijn ongeschikt voor herstel van mosselbanken." Genetische aangeboren 'nature'-verschillen vond ze niet. Ze wijt de weerbaarheid van droogvallende mosselen aan twee 'nurture'-eigenschappen: de dikkere schelp - als een schild tegen krabben en vogels - en een betere vasthechting aan de ondergrond. "Ondergedoken mosselen hechten zich minder en alleen aan elkaar vast. Breng je ze boven water, dan spoelen ze bij een storm

met elkaar weg." Ondergedoken mosselen 'opvoeden' en deze 'nurture'-eigenschappen aanleren, lukte haar nog niet. Een maand lang liet De Paoli ondergedoken mosselen in een beschermde omgeving op een wadplaat wennen. Een net voorkwam dat ze wegspoelden. De krachttraining sloeg niet aan. Zonder net spoelden ze later alsnog weg. De optie om bij te leren, sluit ze niet uit. "Misschien moeten we ze langer in een net laten wennen?" suggereert ze.



Ondergedoken mosselen zijn WATJES

WAT ZIJN DROOGVALLENDE EN ONDERGEDOKEN MOSSELEN?

Droogvallende mosselen zijn de mosselen op wadplaten. Ze maken deel uit van een mossel- of oesterbank en staan alleen bij hoogwater onder water. Ondergedoken mosselen leven altijd onder water.

Overleving bij veldexperiment



Sterkte van de mosselschaal



Trekkracht van mosselen



Droogvallende mosselen zijn KRACHT-PATTSERS



Krachtpatsters zijn het, de mosselen op zandplaten. Harde wind, beukende golven, de mulle ondergrond: ze krijgen veel te verduren. Toch redden ze het. Dankzij hun overlevingsmechanismen, zoals een uitgekende locatie, hechting aan de ondergrond en het vormen van slimme patronen. Ook al weten ze beter te overleven dan hun ondergedoken collega's, toch zijn ze verre van ideaal als fundering voor nieuwe mosselbanken. Waar haal je immers de mosselen vandaan? "We kunnen moeilijk bestaande droogvallende mosselbanken plunderen om nieuwe te creëren", stelt Hélène de Paoli van Waddensleutels. Stel het lukt om de krachtpatsters te vinden, dan weet De Paoli hoe ze neer te leggen. In proefvlakken testte ze meerdere mosselpatronen. Over hun voorkeursligging zegt ze: "Leg ze niet verspreid neer, dan spoelen ze weg. Na twintig dagen was 63 procent verdwenen. Beter is om de mosselen te clusteren. Dan kruipen ze dicht bij elkaar om wegspoelen te voorkomen en om zich te weren tegen predatoren. Clusteren, bijvoorbeeld in een bandenpatroon, werkt. Na twintig dagen was slechts circa 20 procent weggeslagen." Een hogere ligging biedt geen voordelen, zo wees haar experiment uit. "Bij twaalf proefvlakken hebben we de helft opgehoogd met zandzakken en kokosmatten. De hogere ligging verhoogt de overlevingskans niet. Integendeel zelfs. Ze spoelen sneller weg."

Elke komberging vertelt zijn eigen verhaal

Denken in kombergingen is nieuw in de natuurwereld. De Waddenzee is geen homogeen geheel. Het bestaat uit afzonderlijke deelgebieden, zogeheten kombergingen. Een komberging staat in verbinding met de Noordzee via één zeegat. Met het getij stroomt het water er in en uit. De oost- en westgrens bestaat uit het wantij. Net als een beekdalsysteem, dat bestaat uit een brongebied, bovenloop en benedenloop, vormt een komberging een integraal en samenhangend geheel. Elke komberging vertelt een eigen ecologisch verhaal, met specifieke sterkten en zwakten. Tien kombergingen telt de Waddenzee. Waddensleutels bestudeert de verschillen.

1. MARSDIEP

Het Marsdiep bestaat voor tachtig procent uit water, de rest uit droogvallende wadplaten. De Afsluitdijk sneed in 1932 de komberging doormidden. De dijk veroorzaakte een ecologische catastrofe. De brakwaterzone verdween, en daarmee de brakwatersoorten die er afhankelijk van zijn. Het areaal schelpdierbanken, zeegras en kwelders is er nog steeds bijzonder laag. Alleen het Balgzand in het zuidwesten herbergt een rijker bodemleven.

2. EIJERLANDSE GAT

Het Eijerlandse gat is een vreemde eend in de bijt, omdat de verbinding met het vaste land ontbreekt. De ondergrond is zandig, met weinig slib, er heerst een sterke dynamiek en het huidige areaal schelpdierbanken is laag. Toch liggen er grote natuurkansen, vooral omdat de gebruikersdruk laag is.

3. VLIE

Het Vlie is met 794 vierkante kilometer de grootste komberging. De helft bestaat uit water, de andere helft uit droogvallende wadplaten. Veel van die platen zijn ecologisch waardevol, met name de Ballastplaat ten zuidwesten van Griend. Zowel voor wormen- als schelpdieretende vogels is de plaat van belang. Opvallend is de hoge dichtheid aan wadslakjes. Het is een gebied met veel menselijke activiteiten, zoals drukke scheepvaart, mosselpercelen en garnalenvisserij.

4. BORNDIEP

Het Borndiep bestaat voor de helft uit droogvallende wadplaten. Er komen meer schelpdierbanken voor dan in het Marsdiep, Eijerlandse gat en Vlie. Het areaal kwelder is er met twaalf procent hoog.

5. PINKEGAT

Het Pinkegat is een kleine komberging ten oosten van Ameland. De helft van het gebied bestaat uit droogvallende platen. Het areaal schelpdierbanken is vergelijkbaar met het Borndiep. Vooral de hoge biomassa van nonnetje en schelpkokerworm springt eruit.

6. ZOUTKAMPERLAAG

De Zoutkamperlaag bestaat voor de helft uit droogvallende wadplaten. Het areaal schelpdierbanken is vergelijkbaar met het Borndiep en het Pinkegat. Net als bij het Marsdiep heeft doorsnijding van deze komberging - hier de afsluiting van de Lauwerszee - grote gevolgen. De wadgeul is afgebogen, de zoet-zoutgradiënt grotendeels verdwenen.

7. EILANDERBALG

Het Eilanderbalg heeft, net als het Eijerlandse gat, geen verbinding met het vaste land. Het zeegat ligt tussen Schiermonnikoog en Simonszand. Het areaal schelpdierbanken is er relatief hoog. De kokkelbiomassa ligt vier keer hoger dan in de westelijke Waddenzee.

8. LAUWERS

Het Lauwers bestaat voor bijna zestig procent uit droogvallende wadplaten. Aan de kust prijkt één van de weinige zeegrasvelden van de Waddenzee. Langs de Groninger kust liggen bovendien grote vastelandskwelders. Het Lauwers herbergt een hoge dichtheid kokkels, nonnetjes en wadslakjes.

9. SCHILD

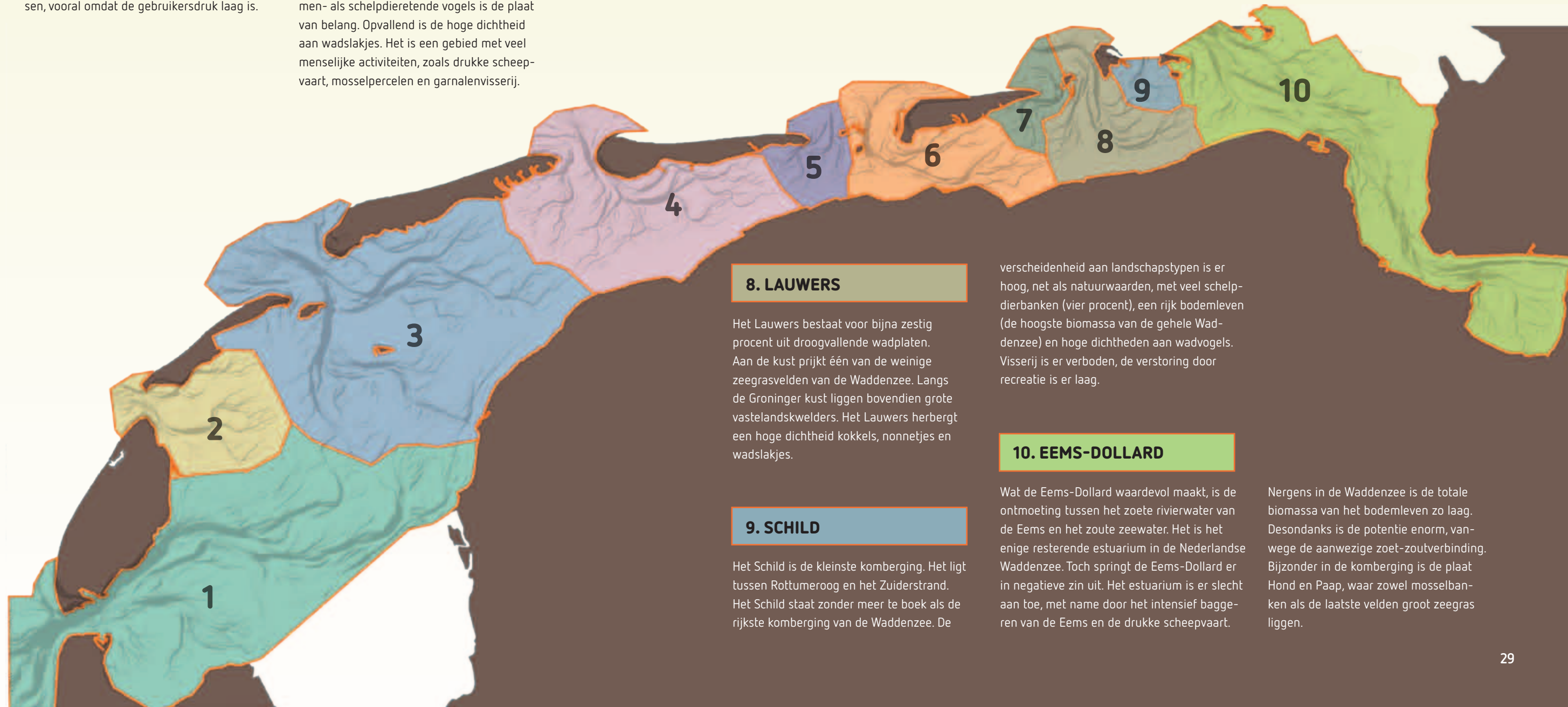
Het Schild is de kleinste komberging. Het ligt tussen Rottumeroog en het Zuiderstrand. Het Schild staat zonder meer te boek als de rijkste komberging van de Waddenzee. De

verscheidenheid aan landschapstypen is er hoog, net als natuurwaarden, met veel schelpdierbanken (vier procent), een rijk bodemleven (de hoogste biomassa van de gehele Waddenzee) en hoge dichtheden aan wadvogels. Visserij is er verboden, de verstoring door recreatie is er laag.

10. EEMS-DOLLARD

Wat de Eems-Dollard waardevol maakt, is de ontmoeting tussen het zoete rivierwater van de Eems en het zoute zeewater. Het is het enige resterende estuarium in de Nederlandse Waddenzee. Toch springt de Eems-Dollard er in negatieve zin uit. Het estuarium is er slecht aan toe, met name door het intensief baggeren van de Eems en de drukke scheepvaart.

Nergens in de Waddenzee is de totale biomassa van het bodemleven zo laag. Desondanks is de potentie enorm, vanwege de aanwezige zoet-zoutverbinding. Bijzonder in de komberging is de plaat Hond en Paap, waar zowel mosselbanken als de laatste velden groot zeegras liggen.



Inzet van vrijwilligers 'Roepen ze ons op, dan gaan we meteen weer'



Waddensleutels drijft deels op de inzet van vrijwilligers. Meer dan honderd waddenliefhebbers hielpen mee met het verzamelen van monsters en de experimenten in het veld. Twee vrijwilligers vertellen over hun werk.

Het storten van mosselen, aanleggen van kokosmatten, neerleggen van mosselpatronen, legen van de fuiken: al deze activiteiten van Waddensleutels waren niet mogelijk zonder de inzet van vele vrijwilligers. Maar liefst honderd mensen deden mee. Ed Nijhof was één van hen. Hij behoort tot de zogeheten 'Kwartjesploeg'; een club van vijf mannen die geregeld in de natuur meehelpt. Aan Waddensleutels bewaart hij goede herinneringen. "We hebben het unieke mogen beleven om vloerbedekking in de Waddenzee te leggen", blikt hij lachend terug. Hij doelt op

de kokosmatten, die ze bij Schiermonnikoog, Ameland en Terschelling op het wad moesten neerleggen. Het bleek een arbeidsintensieve klus. "We moesten de randen van de matten ingraven. Op Schiermonnikoog deden we dat met de hand, op Ameland werd de hulp ingeroepen van een ploeg die werd getrokken door paarden."

Bijzonder motiverend

De Kwartjesploeg stond er bepaald niet alleen voor. Meer dan vijftientig vrijwilligers hielpen met de kokosmatten mee, plus natuurlijk de onderzoekers van Waddensleutels. "Later hebben sommige van onze Kwartjesploeg meegewerkt met het storten van de mosselen. Met kruiwagens verspreiden ze mosselen over de plots." Schitterend vond Nijhof het werk. "Je loopt met afgaand water het wad op. Een prachtige wereld. Wat mij aansprak, was het enthousiasme van de jonge onderzoekers. Dat werkt bijzonder motiverend. Het was één grote gezellige en hardwerkende ploeg. 's Avonds kregen we

Chris Darley

'In de Waddenzee ben ik omringd door natuur.'

uitleg over het project, ook later werden we in Leeuwarden en Assen op de hoogte gehouden van de resultaten." Nijhof zou graag weer meedoen. "Roepen ze ons op, dan gaan we meteen weer. Ze weten ons te vinden."

Perfekte zomervakantie

Ook het NIOZ-meetnet SIBES draait mede dankzij het werk van vrijwilligers. Aan boord van de Navicula, het onderzoeksschip van NIOZ, gaan voor het bemonsteren altijd vier vrijwilligers mee. Chris Darley bood zich de afgelopen drie jaar aan. Heerlijk vond hij het. Zijn perfecte zomervakantie, stelt hij. "Twee tot drie weken ben ik op zee. Overdag varen we met rubberboten over het wad en verzamelen we monsters. In de Waddenzee ben ik omringd door natuur. Het is er stil, geen vliegtuigen, je voelt de kokkels onder je voeten. Bijna utopisch." Dit jaar hoopt Darley mee te kunnen als crew, niet als vrijwilliger. "Dan ben ik de volle acht weken op zee."

Bijzondere ervaring

Darley spande zich ook in voor andere onderdelen van Waddensleutels. Als stagiaire verwerkte hij monsters en verrichtte hij isotopenanalyses. Hij hielp ook mee met het optuigen en het legen van fuiken bij De Cocksdorp op Texel. "We hebben daar twee fuiken geplaatst: één op een mosselbank, en één verderop op een zandbank. Vervolgens moesten we ze elk getij met laagwater legen, vier getijden lang. Ook 's nachts. Een bijzondere ervaring, om in het pikkedonker met maneschijn op het wad te lopen. Vooral als het water opkomt."

Ed Nijhof

'Het was één grote gezellige en hardwerkende ploeg.'



Mengen van **zout** en **zoet**

De Waddenzee doet haar naam eer aan. Het is tegenwoordig een zoute zee. Geen riviermonding meer, zoals vroeger het geval was. In een monding - ook wel estuarium genoemd - ontmoeten zout zeewater en zoet rivierwater elkaar. Door het mengen ontstaat brak water, een bijzonder milieu, waar specifieke planten en dieren afhankelijk zijn. Oorspronkelijk kende de Waddenzee grote brakke gebieden. Tal van rivieren, zoals

het Reitdiep en de Fivel, mondden er uit. Nu rest enkel de Eems-Dollard als laatste natuurlijke riviermonding. De rest - waaronder de Zuiderzee en de Lauwerszee - is afgesloten met dijken en sluisen. Het gevolg laat zich raden. Waddensleutels' isotopenonderzoek wijst inderdaad uit dat de Waddenzee is veranderd in een marien systeem. Een zee dus, zonder waardevolle zoet-zoutgradiënten.

De Waddenzee telt vijf toplocaties onder de droogvallende platen. Deze hotspots vormen de kroonjuwelen van het wad. De ecologische waarde is er torenhoog. Het bodemleven springt eruit, net als de vogelrijkdom. Alle toplocaties liggen in de luwte van eilanden. Bescherming van deze wadplaten en hun omgeving is urgent. De huidige beschermingsmaatregelen laten de meeste toplocaties links liggen.



Waddensleutels wijst prioritaire gebieden aan

toplocaties op wadplaten

De Waddennatuur zoekt de luwte op. De Waddenzee kent een sterke dynamiek. Wind, golfslag, getij: wadplaten krijgen hevige natuurkrachten te verduren. Daar waar de krachten op de platen afnemen, liggen de toplocaties voor bodemleven en daarmee voor de vogels die afhankelijk zijn van deze voedselbron. Dat blijkt uit een analyse van Waddensleutels, waarbij de ruimtelijke spreiding van tientallen kenmerkende diersoorten - zoals mosselen, wapenwormen, kokkels en scholeksters - is vergeleken. De verspreidingskaarten vertonen overlap. De vijf toplocaties springen er als grote noemer uit.

Het verschil zit niet in de soortenrijkdom, die is op wadplaten in de hele Waddenzee ongeveer gelijk. De vijf toplocaties kenmerken zich vooral door hun hoge biomassa. De kwantiteit is bepalend, niet het aantal soorten.

Beschutting

Wat de toplocaties gemeen hebben, is hun nauwe band met de eilanden. Ze liggen dichtbij Vlieland, Griend, Ameland, Schiermonnikoog en de beide Rottums. Onder deze eilanden is er beschutting. De wind en getijde-energie komt overheersend uit het noordwesten, met alle golfslag en dynamiek

van dien. Ten zuidwesten van de eilanden blijft het relatief rustig. Mosselbanken, wadvogels, wadpieren en andere soorten profiteren daarvan. De geanalyseerde toplocaties gaan alleen de droogvallende wadplaten aan. Voor andere landschapstypen, zoals wadgeulen, permanent overstroomde zandbanken en voordelta's, zijn nog onvoldoende gegevens voorradig om waardevolle toplocaties aan te wijzen.

Conflicten

De vijf toplocaties zijn niet alleen rijk aan biomassa, maar ook kansrijk. Ze staan te boek als de beste locaties voor droogvallende schelp-

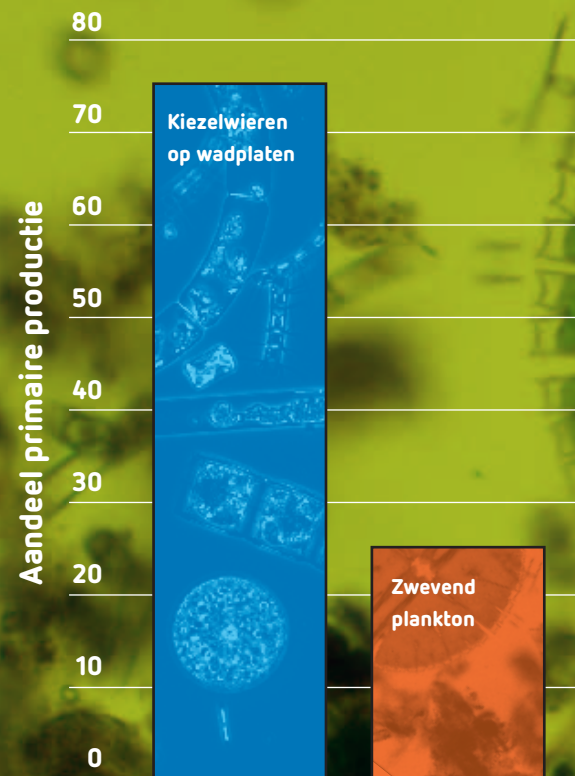
dierbanken en zeegrasvelden. Dat maakt het intensiveren van het beschermen van deze toplocaties van groot belang. Verstoring - zoals baggeren en bodemberoerende visserij - moet er worden tegengegaan. Het bestaande pakket beschermingsmaatregelen is niet toereikend om de natuurpotentie te benutten. Afgelonte maatregelen blijken slecht te matchen met de ligging van de toplocaties. Alleen bij Rottumerplaat en Rottumeroog is al jarenlang menselijk gebruik verboden, zoals gas- en schelpenwinning. De grote natuurwaarde van deze toplocatie laat zien dat het verbod werkt. Bij de andere toplocaties gelden

geen of nauwelijks verboden. Het beschermingsniveau is er buitengewoon laag. In de omgeving van Griend is de visserij-intensiteit hoog.

Integrale aanpak

Waddensleutels beveelt aan om de vijf toplocaties prioriteit te geven. Om de huidige natuurwaarden te borgen, moet de gebruikersdruk op korte termijn omlaag worden gebracht. Niet alleen in de toplocaties zelf, maar ook ver daarbuiten, bij voorkeur in de hele komberging. Toplocaties staan niet op zichzelf. Waddensleutels toont aan dat de

Waddenzee een samenhangend kuststelsel vormt. Soorten zijn mobiel, er bestaat veel ruimtelijke interactie. Maatregelen op de vierkante meter, zoals het aanwijzen van kleine beschermde gebieden, bieden geen duurzame oplossing. Ze zorgen onvoldoende voor natuurherstel en terugkeer van ontbrekende schakels in het voedselweb. De ambitie van een rijke Waddenzee vraagt om integrale en grootschalige beschermingsmaatregelen.

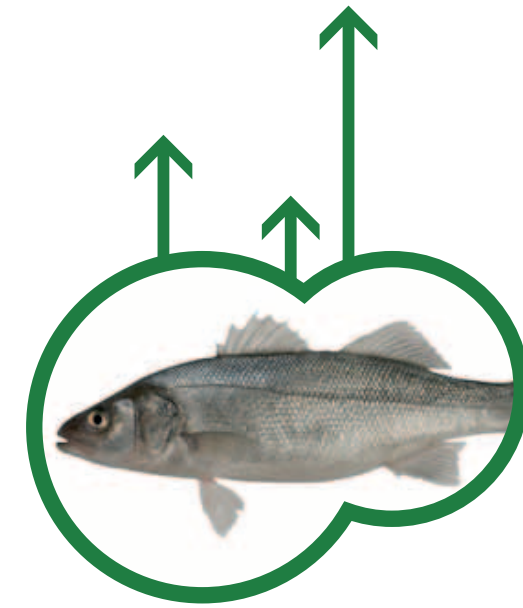


WADDENZEE

staat op eigen benen

Wordt de natuur in de Waddenzee gevoed door energie uit de rivieren of staat de Waddenzee op eigen benen? Waaruit bestaat de basis van het voedselweb in de Waddenzee? Is dat het zwevend plankton in het water of zijn het de kiezelwieren op de wadplaten? Waddensleutels geeft uitsluitsel: 75 procent van de primaire productie bestaat uit kiezelwieren (benthische algen) op wadplaten, slechts een kwart uit zwevend plankton. "Dat betekent dat de Waddenzee grotendeels op eigen benen staat. De energie die wordt geproduceerd aan de basis van het voedselweb van droogvallende wadplaten - ofwel de primaire productie - ontstaat voor het overgrote deel in de Waddenzee zelf.

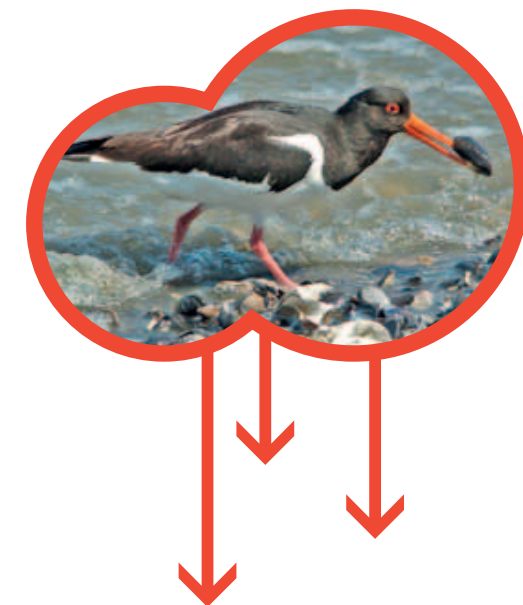
Het wordt niet via het water van elders, zoals de Noordzee of de grote rivieren, aangevoerd", vertelt Marjolijn Christianen van Waddensleutels. Isotopenonderzoek bracht deze eyeopener aan het licht. "De waarde van het koolstofisotoop van organismen vertelt ons in welke mate de energie voor het voedselweb wordt geleverd door zwevend plankton of kiezelwieren op de wadplaten." Dit inzicht vergroot de waarde van droogvallende wadplaten. "Bescherm de wadplaten. Laat de productieve wadplaten met rust, om de primaire productie in stand te houden. Zonder dit fundament brokkelt het voedselweb van de Waddenzee uiteen."



Stijgers en dalers

Langjarig monitoren is essentieel voor natuurbeheer. Waddenzeebrede meetnetten, waarbij soorten over een lange periode op een systematische wijze in kaart worden gebracht, brengen trends in beeld. Ze maken onder meer duidelijk welke soorten in de lift zitten, en welke dalen. Monitoren vergt een lange adem. Dankzij vijftig jaar vismonitoring met de NIOZ-fuik in het Marsdiep weten we dat de zeebaars toeneemt, terwijl andere soorten, zoals schol en wijting, juist afnemen. De biomassa aan vis

is fors gedaald. Na vijftig jaar is slechts tien procent over. Het NIOZ-meetnet SIBES laat verschuivingen zien in het bodemleven op de wadplaten. Vogelmeetnetten van Sovon Vogelonderzoek Nederland wijzen uit dat broedvogels het moeilijk hebben in de Waddenzee. Zo neemt het aantal scholeksters, een soort die internationaal vooral van de Waddenzee afhankelijk is, schrikbarend af, deels vanwege verdwenen mosselbanken. Sinds 1990 is de scholeksterpopulatie meer dan gehalveerd.



Wilfred Alblas (Natuurmonumenten)

‘Dankzij Waddensleutels krijgen we zicht op de wortels van het systeem.’

De wadplaten rust geven. Natuurmonumenten en Staatsbosbeheer, beide partner in Waddensleutels, zien dat als dé belangrijkste les van het onderzoeksproject. Dankzij Waddensleutels weten natuurbeheerders meer over de grote variatie in de Waddenzee en de wijze waarop de natuur in de Waddenzee werkt. Bovendien toont het project de behoefte aan een natuurbeheerder voor de Waddenzee aan.

Waddensleutels brengt waardevolle kennis aan het licht. Over onder meer de ecologische processen op het wad, het voedselweb en de kansen voor natuurherstel. “Waddensleutels verrijkt ons inzicht en zicht op de Waddenzee. Onze beheerders begrijpen nu beter hoe het ecosysteem functioneert. Ze krijgen daarnaast praktische beheertools in handen.” Aan het woord is Tamara Bok, gebiedsmanager Wadden van Staatsbosbeheer. Wilfred Alblas, regiodirecteur Noord van Natuurmonumenten, sluit zich daarbij aan: “Natuurbeheer moet gestoeld zijn op gefundeerde kennis. In onze natuurterreinen op de vaste wal werken we al langer nauw met de wetenschap samen. Van ecosystemen, zoals beekdalen en duinen, weten we welke ecologische processen een sleutelrol spelen.” Voor de Waddenzee ontbraken

kennis en contacten, stelt Alblas. “Dankzij Waddensleutels krijgen we zicht op de wortels van het systeem. We begrijpen nu het belang van biobouwers, en waarom we wadplaten moeten beschermen.”

Beter beschermen

Waddensleutels' hoofdconclusie, volgens de terreinbeheerders: wees zuinig op de toplocaties voor biodiversiteit, daar waar grote potentie is voor biobouwers en kies voor voldoende schaalgrootte. Alblas: “Het positieve effect van mosselbanken blijkt veel groter dan we dachten. Echt een eyeopener. Een mossel is meer dan te oogsten etenswaar voor mensen, voedsel voor vogels of een interessante diersoort. Ze bieden beschutting, verrijken hun omgeving en helpen zo veel andere soorten. Zelfs tot op honderden meters van een mosselbank.”

Een pasklare maatregel voor grootschalig herstel van mosselbanken heeft Waddensleutels niet opgebracht. Omdat gebleken is dat aanleg erg moeilijk is, pleiten de terreinbeheerders voor een betere bescherming van de mosselbanken op de wadplaten. Waddensleutels laat daarnaast zien dat

de waarde van de wadplaten verder strekt dan een ondergrond voor mosselbanken. De platen zijn de basis van het voedselweb. “Waddensleutels toont aan dat kiezelwieren op wadplaten de zonnecellen van de Waddenzee vormen. Daar begint het voedselweb. Wadplaten blijken dus van immens belang als bron van het leven in de Waddenzee.”

Pure natuurwinst

Dat inzicht krijgt gehoor. Nu al gebruiken natuurbeschermers de opgedane kennis om het beleid en de politiek te beïnvloeden. Zo besloot de staatssecretaris recent om de garnalenvisserij op wadplaten een halt toe te roepen. Met de nieuwe inzichten konden de natuurbeschermers hun zienswijze op de garnalenvergunningen goed beargumenteren. Nieuwe maatregelen staan op stapel. Alblas: “Afgesproken is dat de visserijdruk van de garnalenvisserij de komende tijd gehalveerd wordt. Daarvoor worden nieuwe gebieden voor de garnalenvisserij gesloten, zodat het bodemleven daar de kans krijgt om zich ongestoord te ontwikkelen. Met de kaart (pagina 30-31) van Waddensleutels weten we nu waar we deze gebieden moeten zoeken. Bij eerdere onderhandelingen wees de visserij zelf gebieden aan. Beter is om dat vanuit een goede ecologische onderbouwing te doen. We hebben het tenslotte over een gebied met de hoofdfunctie natuur.”

Geen estuarium

Waddensleutels leert dat mosselbanken en zeegrasvelden met het ouder worden steeds rijker zijn aan soorten. Een goed argument om ze met rust te laten. Opmerkelijk vindt Alblas de conclusie dat de Waddenzee geen estuarium meer is, maar een zee. “Dat blijkt uit de isotopenanalyse. We zijn dus een cruciaal kenmerk van onze ondiepe kustzee

Tamara Bok (Staatsbosbeheer)

‘Waddensleutels heeft het open wad op de kaart gezet.’

kwijtgeraakt. Behalve de Eems-Dollard zijn alle grote verbindingen tussen zoet en zout verdwenen. De Eems-Dollard zelf is ernstig aangetast. Wij pleiten daarom voor herstel van grootschalige zoet-zoutverbindingen. De Vismigratierivier in de Afsluitdijk is een stap in de goede richting. Ook bij het Lauwersmeer en het Amstelmeer liggen kansen.” Wat Waddensleutels volgens Bok duidelijk maakt, is het immense belang van langdurige monitoring. “De SIBES-gegevens van het leven in de wadbodem waren voor Waddensleutels van onschatbare waarde, maar de financiering rondkrijgen is elke keer een puzzel zolang het afhankelijk is van project- en compensatiefinanciering. Voor natuurbeheer zijn de juiste meetgegevens onmisbaar.”

Natuurbeheerder ontbreekt

Waddensleutels laat de meerwaarde zien van terreinbeheerders die zich sterk maken voor het natte wad. Alblas: “Als terreinbeheerders nemen wij nu het voortouw. Dit doen we op het wad zonder formele positie. We hebben slechts enkele wadplaten in beheer. Op het overgrote deel van het wad staat de overheid aan het roer. Diezelfde overheid zet zich ook in voor andere belangen, waaronder de exploitatie van de Waddenzee. Net als Griend en delen van de Waddeneilanden verdienen ook de wadplaten en wadgeulen adequate natuurbeheerders. Beheerders die de natuur een stem geven, bedreigingen signaleren en

kansen met gebruikers verzilveren. En die samenwerken met de wetenschap om het beheer verder te verbeteren en te onderhouden.” Terreinbeheerders stellen voor hun gebieden ecologische beheer- en monitoringplannen op, waarin de natuurdoelen, het beheer en de monitoring staan beschreven. Eigenlijk is het vreemd, constateert Alblas, “dat alle natuurterreinen in Nederland een duidelijke natuurbeheerder kennen, behalve de Waddenzee. Nota bene de grootste en belangrijkste wildernis van ons land.”

Inhoudelijk gesprek

Waddensleutels slaagt erin om een breed publiek te bereiken. Terreinbeherende organisaties beschikken over de benodigde mediakanalen, tijdschriften, vrijwilligers en contacten. Als Werelderfgoed verdient de Waddenzee die aandacht. Bok: “Waddensleutels heeft het open wad op de kaart gezet. Nu we het systeem beter begrijpen, en de kansen en bedreigingen zien, gaat het wad meer leven. Bij onze beheerders, maar ook bij anderen, zoals eilanders, wadvaarders en andere gebruikers. Dat bleek bijvoorbeeld tijdens de overleggroepen op de eilanden, waar onderzoekers van Waddensleutels uitleg gaven. Dankzij Waddensleutels kunnen we nu gesprekken voeren op basis van wetenschappelijk verantwoorde kennis. Daar is iedereen bij gebaat. Dat geeft een stevige fundering voor een dialoog.”

Beheerders met resultaten aan de slag

RUST

Geef de wadplaten



Blijvende samenwerking

Het succes van Waddensleutels smaakt naar meer. Natuurherstel vergt voortdurend kennisontwikkeling, stellen natuurbeheerders en wetenschappers. Nieuwe onderzoeksvragen dienen zich aan.

Wilfred Alblas van Natuurmonumenten wil de samenwerking voortzetten. "Waddensleutels heeft beide werelden bij elkaar gebracht. We leren ontzettend veel van elkaar. De onderlinge kruisbestuiving inspireert en zorgt voor vernieuwende ideeën. Daar gaan we zeker mee door." Tamara Bok van Staatsbosbeheer doet mee. "De interactie met wetenschappers moet blijvend zijn. Net als op het land reeds plaatsvindt, moeten we voor het beheer in de Waddenzee een structurele samenwerking optuigen, waarin beheerders en wetenschappers zich buigen over beheervraagstukken. Steeds gericht op de praktijk en in contact met de samenleving."

Han Oloff, hoogleraar ecologie aan de Rijksuniversiteit Groningen sluit zich graag aan. Een tweetal nieuwe onderzoeksvragen dient zich volgens hem aan. "Nu we de wadplaten in beeld krijgen, willen we als volgende stap de biobouwers en het bijbehorend voedselweb onder water onder de loep nemen. Met Waddensleutels hebben we vooral het fundament van het voedselweb bestudeerd. Vervolgens rijst de vraag: hoe zit het met de top van het voedselweb? Hoe krijgen we toppredatoren, zoals haaien, roggen en visarenden, weer terug? Dit zijn vragen die beheerders stellen en waarmee de wetenschap graag aan de slag gaat. De slechtvlak en de bruinvis zien we al steeds vaker. Nu de rest nog."

Colofon

Dit magazine is een uitgave van het project Waddensleutels. Binnen het project werken vier kennisinstellingen en natuurbeschermingsorganisaties samen. In het projectteam zitten:

- Natuurmonumenten
- Staatsbosbeheer
- Rijksuniversiteit Groningen
- NIOZ Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee

Website: www.waddensleutels.nl

April 2015

Opzet, tekst en productie
Addo van der Eijk

Redactie
Quirin Smeele
Alje Zandt
Tjisse van der Heide
Marjolijn Christianen
Han Oloff
Joeri Lamers

Vormgeving
AlbertsKleve, bureau voor grafisch ontwerp BNO

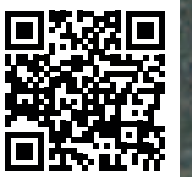
Druk
Drukkerij Van Gorcum

Beeldverantwoording
Marjolijn Christianen (p. 16 onder)
Tanya Compton (p.1 links, 10 rechts)
Ecomare (p. 5 rog, wijting, 13 wijting)
Addo van der Eijk (p. 6)
Natuurmonumenten - Foto Fitis (p. 24)
Petra de Goeij (p. 8 midden)
Tjisse van der Heide (p. 17 midden-onder)
Hans Hillewaert (p. 3, 5, 7, 8, 9, 13, 18, 19)
Sander Holthuisen (p. 8 rechts)
Jan van de Kam (p. 4)
Elwin van der Kolk (p. 5 vogels, 13 kanoet, 18 - 19 vogels)
Natuurmonumenten - Gerhard Kornelis (p. 33 onder)
Staatsbosbeheer - Joeri Lamers (p. 21, 34)
NIOZ (p. 9 links)
Natuurmonumenten - Ron Offermans (p. 19 zeeanemoon, binnenzijde omslag)
Alfred Oosterman (p. 20)
Hélène de Paoli (p. 25)
Natuurmonumenten - Ruud Poelstra (p. 7 scholekster)
Shutterstock (cover, p. 5, 7, 11, 13, 14, 29, 33 boven)
Natuurmonumenten - Ruben Smit (p. 10 links, 36, binnenzijde achterflap, achterflap)
Sportvisserij Nederland (p. 7 puitaal, 18 - 19 vissen)
Chris Smit (p. 2)
Natuurmonumenten - Ferry Siemensma (p. 32)
Staatsbosbeheer (p.1 bord, 16 links, 17 rechts)
Uitgeverij 12 Provinciën (p. 22-23, 30-31 satellietbeeld)
Peter Visser (p. 9 rechts)
Lodewijk van Walraven (p. 8 links)
Natuurmonumenten - Alje Zandt (p. 1 boven, 15, 16, 17, 28)

Het onderzoek is mogelijk gemaakt door steun van het Waddenfonds



Ontdek meer over de Waddenzee! Op www.waddensleutels.nl vind je interactieve kaarten en een uitgebreid wetenschappelijk rapport van de onderzoeksgegevens van Waddensleutels en partnerprojecten.





WADDEN
sleutels

