

# Voorwoord

Als ik mezelf met één woord zou moeten omschrijven, zou 'thalassofiel' de spijker op de kop slaan. Een thalassofiel is iemand die bij voorkeur, zij het niet uitsluitend, aan de kust of in de zee leeft en die van de zee houdt. De ziltige algengeur, het ruisen van de golven en de uitgestrektheid van de zee oefenen op mij een onweerstaanbare aantrekkingskracht uit. Naar de zee kijken en naar de golven luisteren heeft een ongelooflijk ontspannend effect op mij. Maar zodra ik onder water ga begint het wonder voor mij pas echt, want daar woedt het leven. Deze wereld onder water heeft zijn eigen tempo en gehoorzaamt aan zijn geheel eigen wetten. Hij is vol kleur en altijd in beweging, soms wat eentonig maar altijd adembenemend.

De raadsels en samenhangen van de zee hebben mij van kinds af aan gefascineerd, en het is dus niet verwonderlijk dat ik van mijn passie mijn beroep heb gemaakt. Ik ben met hart en ziel marien biologe en heb bijna uitsluitend zout water in mijn hoofd. Mijn werkterrein is heel divers en natuurlijk zit ik als marien biologe niet alleen onder en op het water, maar wel zo veel mogelijk. Afhankelijk van mijn bezigheden zie ik de zee soms

maandenlang niet, bijvoorbeeld wanneer ik in een laboratorium proefmonsters analyseer, achter een computer zit om gegevens uit te werken, lezingen houd of een boek over de zee schrijf. Maar als ik dan eindelijk weer in zee kan duiken of snorkelen, dan voelt dat alsof ik thuiskom.

Een van mijn mooiste belevissen onder water was op de Malediven, waar ik tijdens een snorkelsafari een groepje toeristen een goed geconserveerd scheepswrak wilde laten zien. We waren net op weg terug naar de boot toen onze kapitein opgewonden gebaarde dat ik me moest omdraaien. Een paar meter achter me zag ik een rugvin aan het wateroppervlak. Ik kon niet goed zien of de eigenaar van de vin een haai of een dolfijn was, dus zwom ik dichterbij en zag... helemaal niks. Even later begon de kapitein weer wild te gebaren, en kijk: achter mij was een groep dolfinen opgedoken. Maar dat was nog niet alles. Ineens begon het overal om ons heen te bubbelen: er kwamen luchtbelllen vanuit de diepte naar het oppervlak. Het was net alsof we in een whirlpool zaten. De geluiden onder water zwollen aan tot een woest gekwetter, het klonk net als het geluid van vogels aan land. Plotseling waren we omringd door langsnuitdolfijnen die kwetterend en fluitend met elkaar communiceerden, naast ons uit het water sprongen en pirouettes maakten in de lucht – het gedrag waaraan deze dieren hun Engelse naam *spinner dolphins* te danken hebben. Naast en onder ons trokken steeds weer kleine groepjes dolfinen langs, die ons nieuwsgierig opnamen en om het hardst zwommen. De groep van naar schatting

zo'n driehonderd dieren was op de terugweg van de jacht op open zee naar het atol. Als ik zoiets meemaak ben ik helemaal sprakeloos (wat niet zo vaak voorkomt) en ik ben heel dankbaar dat ik zoveel wonderschone momenten heb mogen meemaken.

Helaas zijn er ook genoeg momenten die me verdrietig of woedend maken. Verdrietig was ik toen een bedreigde zeeschildpad onder mijn handen overleed omdat hij in een oud vissersnet verstrikt was geraakt en ik hem niet tijdig kon bevrijden. En ik ben woedend als ik over het strand wandel en rugpijn krijg van het oprapen van aangespoeld plasticafval en als ik stervende of dode koralen onder water zie – hun dood maar al te vaak veroorzaakt door de mens. Anderzijds zijn het juist die momenten die mij ertoe aanzetten mensen te sensibiliseren voor de omgang met de zee. Hoewel twee derde van onze planeet bedekt is met oceanen, die daarmee het grootste ecosysteem op aarde vormen, weten wij tot op heden maar een fractie over wat er in zee allemaal gebeurt. Zelfs het oppervlak van de maan is beter onderzocht dan de diepzee. Overigens hebben maan en zee één ding gemeen: ze hebben meer invloed op ons dan we denken. Aan de zee hebben we niet minder dan ons bestaan te danken, want de zuurstof van een op de twee ademhalingen wordt geproduceerd door mariene microalgen, ongeacht of die lucht diep in het binnenland wordt ingeademd of op het strand van een Waddeneiland. Ook ons klimaat wordt door de zee bepaald – door de warme en koude stromingen, door wolken producerende algen en de wa-

terkringloop. Daarbij biedt de zee sinds duizenden jaren voeding en bescherming, maar ook belangrijke medicijnen, werkgelegenheid en een plek om je te ontspannen. Het ruisen van de golven, het onmiskenbare zeebriesje en de uitgestrektheid hebben een enorme aantrekkingskracht op ons, ze kalmeren en inspireren.

In dit boek wil ik mijn fascinatie voor de zee met je delen en je meenemen op een reis door een leefgebied waar we nog veel te weinig over weten, maar waar we met ons dagelijkse doen en laten voortdurend schade aan toebrengen. In een toespraak voor de hoofdvergadering van de internationale unie voor natuurbescherming in 1968 vatte de Senegalese milieubeschermer Baba Dioum het krachtig samen: ‘Wij mensen beschermen alleen datgene waarvan we houden. We houden alleen van datgene wat we begrijpen en we begrijpen alleen datgene wat ons wordt geleerd.’ Met dit boek hoop ik de liefde voor de zee die ikzelf ervaar ook bij jou te wekken, en daarmee de wens om dit unieke leefgebied te beschermen. Samen kunnen we de zee helpen te regenereren en zorgen dat we een levenswaardige wereld achterlaten voor de volgende generaties.

En om dat te bereiken nodig ik je uit in de fascinerende wereld van de zeeën te duiken!

# De heimelijke wereldheerschappij van het plankton

Het is echt niet mijn bedoeling je volgende strandvakantie te bederven, maar als je in zee zwemt en je verslikt je, dan slik je veel meer in dan alleen water en zout. Met een mondvol zeewater – hoe helder het ook mag lijken – krijg je naast water en zout ook talrijke organismen binnen, zoals virussen, bacteriën, algen, vislarven, vleugelslakken, kreeftachtigen, medusa's en pijlwormen. Die kleine eiwitrijke snack die je tot je neemt heet **plankton**, afgeleid van het oud-Griekse woord *planktos*, het rond-drijvende. Plankton is het geheel van vrij in het water levende organismen van plantaardige of dierlijke aard, die niet of slechts in zeer beperkte mate in staat zijn zichzelf voort te bewegen en waarvan de zwemrichting wordt bepaald door waterstromingen. Levende wezens die zich actief door het water voortbewegen en die ook tegen de stroom in kunnen zwemmen, zoals vissen, inktvissen, walvissen en schildpadden, worden daarentegen **nekton** (Grieks *nekton* = het zwemmende) genoemd. Veel diersoorten zijn allebei: ze beginnen hun leven als

plankton en behoren als volwassen dieren tot het nekton. Deze organismen, die slechts een deel van hun levenscyclus – meestal als larve – planktonisch leven en in de loop van hun ontwikkeling van leefgebied wisselen, rekent men tot het ‘meroplankton’, in tegenstelling tot het ‘holoplankton’, dat zijn hele levenscyclus planktonisch doorbrengt.

Planktonische organismen zijn weliswaar meestal piepklein, maar ze domineren puur door hun massa. Nekton maakt namelijk minder dan 5 procent uit van de biomassa in de oceanen; meer dan 95 procent van de mariene biomassa bestaat uit piepkleine planktonische organismen, die daarmee de heimelijke heersers van de wereld zijn. Bovendien is plankton niet alleen in het mariene leefgebied alom aanwezig, maar ook in beken, rivieren en meren.

Planktonische organismen worden onderverdeeld in twee hoofdgroepen: het plantaardige **fytoplankton**, waartoe bijvoorbeeld de zoöxanthellen (eencellige algen) en de kiezelwieren en groenwieren behoren, en het dierlijke **zoöplankton**, dat bestaat uit larven, geslachtscellen, piepkleine kreeftachtigen (o.a. het befaamde krill), wormen en medusa’s. Daarnaast wordt plankton ook ingedeeld op grootte, te beginnen met het ‘femtoplankton’\*, waar de virussen toe behoren, tot aan het ‘megaplankton’, waar bijvoorbeeld kwalen toe behoren met

\* Afgeleid van het Scandinavische *femto* = 15. 1 femtometer =  $10^{-15}$  meter (d.w.z. 1 biljardste meter).

tentakels van enkele meters lang.

Wie toevallig net geen watermonster en microscoop bij de hand heeft, maar wel belangstelling heeft voor de vormenrijkdom en schoonheid van deze verborgen waterwereld, kan ik het uiterst informatieve fotoboek van Christian Sarde, *Plankton. Der erstaunliche Mikrokosmos der Ozeane*, aanbevelen en de wonderschone illustraties van Ernst Haeckel in *Kunstformen der Natur*. Als je dan al ontelbare organismen zomaar doorslikt, dan mag je toch op zijn minst even de moeite nemen om die arme zielen een ‘gezicht’ te geven. ‘Ontelbare organismen’ is misschien wat onnauwkeurig uitgedrukt. Uit tellingen blijkt dat er zich in een liter zeewater tot zo’n 10 miljard virusdeeltjes, 1 miljard bacteriecellen, 10 miljoen stuks fytoplankton en 1000 stuks zoöplankton kunnen bevinden. In jouw slokje zeewater wemelt het dus van het leven. Eet smakelijk!

Voordat je nu met een vies gezicht bezweert nooit meer naar het strand te gaan en al helemaal nooit meer een druppeltje zeewater door te slikken, moet je eerst even een blik in je keuken- of medicijnkastje werpen. Liefhebbers van bewuste voeding krijgen plankton-organismen namelijk niet alleen per ongeluk binnen bij het zwemmen in zee, maar ook met opzet, en wel in tabletvorm. Het bekende voedingssupplement spirulina, dat vitamines, antioxidanten en alle essentiële aminozuren bevat, wordt gewonnen uit filamenteuze cyanobacteriën van het geslacht *Arthrospira*, en geconcentreerd in de vorm van groene tabletten verkocht.

Algen en microalgen worden niet pas sinds de moderne tijd gebruikt door de voedings- en cosmetica-industrie. Ze worden al honderden jaren gewaardeerd vanwege hun positieve effecten op onze gezondheid, zowel vanbinnen als vanbuiten. Bioactieve componenten zoals polysacchariden, chlorofyl, vitamine E en ectoïne worden tegenwoordig in de huidcosmetica gebruikt. Ze helpen de huid vocht op te slaan, dienen als bescherming tegen vrije radicalen en uv-licht, ze versterken het immuunsysteem, maskeren nare geurtjes en werken ontstekingsremmend. De reden waarom microalgen al deze bioactieve werkzame substanties produceren, ligt voor de hand: om te overleven moeten deze kleinste organismen zich beschermen tegen milieu-invloeden zoals uv-straling en tegelijk effectieve reparatiemechanismen ontwikkelen. Er zijn cosmeticafabrikanten die daarom hun eigen microalgen produceren en de biologisch actieve substanties hiervan gebruiken voor hun producten.

De medicinale meerwaarde voor lichaam en geest is eveneens al heel lang bekend. Pas in de afgelopen decennia is de ontwikkeling van medicijnen tegen kanker en andere ziektes op basis van bacteriën die in koraalriffen thuis zijn in een stroomversnelling gekomen. (Meer daarover onder 'De onderwaterapotheek'). In de thalassotherapie, een geneeskrachtige behandeling op basis van zeewater, worden al eeuwenlang de werkzame bestanddelen uit zeewater, algen en modder gebruikt in combinatie met zon en een fris zeebriesje. Als je langs het strand van Norderney gaat wandelen, zie je over-



al de informatieborden waarop de gezondheid bevorderende werking van de zuurstofrijke, pollenarme en zuivere zeelucht wordt aangeprezen. Als de wind vanaf zee landinwaarts blaast, is hij verrijkt met aerosolen en jodium, wat de bronchiën ontspant, het slijm losmaakt en allergie- en astmapatiënten opgelucht laat ademhalen. De zeelucht in een sterk wisselend klimaat, zoals aan de Noord- en Oostzee, heeft bovendien een positief effect op de gezondheid van de huid: die wordt beter doorbloed en daarmee beter bestand tegen belastingen, ontstekingen nemen af en wonden helen sneller. Een wandeling aan zee stimuleert de stofwisseling en ook het slaap-waakritme stabiliseert zich. Je voelt je gewoon vitaler.

Tegen het eind van de 18e eeuw ontstond in Duitsland het eerste zeestrandbad in Heiligendamm aan de Oostzee. Vanwege de hoge kosten enerzijds en nieuwe medicijnen anderzijds boette de thalassotherapie in de 20e eeuw aan betekenis in. Maar nog altijd worden aandoeningen aan de luchtwegen en de huid en ook reumatische aandoeningen in thalasso-instellingen behandeld.

Probeer het dus van de positieve kant te bekijken, de volgende keer dat je hoestend en proestend uit het water opduikt. Want naast alle cosmetische voordelen heb je net een waardevol tussendoortje verorberd, een portie superfood, gratis en voor niks. En bedenk bovendien dat je aan het plankton, of om precies te zijn aan het fytoplankton, je volgende ademhaling te danken hebt.

## *De groene long*

Waar je je momenteel ook bevindt, in het binnenland, in de Alpen of aan het Noordzeestrand, bij elke ademhaling ben je met de zee verbonden. Het fytoplankton, piepkleine plantaardige organismen van 0,001 tot 1 millimeter groot, produceert namelijk meer dan de helft van alle zuurstof op aarde en wordt daarom ook 'de groene long van de zee' genoemd. Net als de planten aan land doen deze piepkleine organismen namelijk aan fotosynthese, waarbij uit water, koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en lichtenergie glucose (suiker) ontstaat en als 'afvalproduct' zuurstof. Deze fotosynthetisch actieve algen worden 'primaire producenten' genoemd. Sergei Petrovskii van de afdeling toegepaste wiskunde van de universiteit Leicester in Engeland heeft berekend dat de achteruitgang van fytoplankton, veroorzaakt door de effecten van klimaatverandering in de vorm van een temperatuurstijging van het zeewater van 6 °C, zal leiden tot een afname van zuurstof in de zee en in de aardatmosfeer. Het gevolg zou een wereldwijd massaal sterven van mens en dier zijn.

Om te begrijpen wat microalgen kunnen en hoe onmisbaar ze zijn, loont het de moeite om de **koolstofkringloop van de zee** wat nader te bekijken. Koolstof, met als chemisch symbool C, komt in de natuur in pure vorm hoofdzakelijk voor als diamant of grafiet. In gebonden vorm is het bijna overal te vinden en ook wij dragen het in ons – of beter gezegd, wij bestaan eruit. Na zuurstof (O), met 56,1 procent van het gewicht, bestaat het

menselijk lichaam voor 28 procent uit koolstof (C); nog eens 14,8 procent wordt gevormd door waterstof (H), stikstof, calcium, chloor en fosfor, en slechts iets meer dan een procent van het lichaam bestaat uit kalium, zwavel, natrium, magnesium en sporenelementen. En niet alleen de mens is gemaakt van koolstof: de gehele dierlijke en plantaardige biomassa bestaat uit stabiele meervoudige bindingen van dit element met zichzelf en andere elementen. Koolstof is simpelweg de bouwsteen van het leven.

Net als water bevindt koolstof zich op onze planeet voortdurend in een kringloop, zowel boven als onder water. Atmosfeer, landbiosfeer en zee wisselen voortdurend koolstof uit. De uitwisseling van  $\text{CO}_2$  tussen de atmosfeer en de zee vindt plaats tot een diepte van 100 meter, in de zogeheten oppervlaktelaag van de oceaan, en komt tot stand door drukverschillen tussen atmosfeer en zee. In theorie functioneert dat beide kanten op: als de  $\text{CO}_2$ -druk van de atmosfeer, de partiële druk genoemd, laag is, wordt koolstofdioxide uit zee uitgestoten de atmosfeer in. Is de  $\text{CO}_2$ -druk daarentegen hoger, dan lost het gas op in het oppervlaktewater van de zee. Als gevolg van door de mens veroorzaakte  $\text{CO}_2$ -emissies is echter tegenwoordig in de praktijk de partiële druk in de atmosfeer voortdurend hoger dan in zee, zodat er voortdurend  $\text{CO}_2$  in zee oplost.

De gehele in zee opgeloste hoeveelheid  $\text{CO}_2$  is 50 keer zo groot als het  $\text{CO}_2$ -gehalte van de atmosfeer en 20 keer zo groot als de hoeveelheid gefixeerde  $\text{CO}_2$  in planten

en in de bodem aan land. De zee is veruit het grootste opnamesysteem voor  $\text{CO}_2$ , want koolstofdioxide is gemakkelijk oplosbaar in water, en gelukkig maar! Zolang  $\text{CO}_2$  in de lucht zit, reageert het niet, maar zweeft het als gas vrij rond. Het reflecteert de van de aarde opstijgende warmte en draagt door het broeikaseffect bij aan de verdere opwarming van het klimaat. Stuit het gas echter op water, dan reageert het vrijwel volledig, waarbij andere verbindingen worden gevormd, en in deze vorm kan het het klimaat niet verder opwarmen. Voor het allergrootste deel verandert het in anorganische verbindingen met andere waterstof- of zuurstofatomen zoals waterstofcarbonaat en carbonaat; slechts een heel klein deel blijft over als opgeloste  $\text{CO}_2$ . Sinds het begin van de industriële revolutie 200 jaar geleden, toen de mens op grote schaal brandstoffen begon te verbranden en de hoeveelheid koolstofdioxide snel toenam, hebben de oceanen naar schatting circa een kwart van de door de mens veroorzaakte koolstofdioxide opgenomen. De capaciteit van de zee om  $\text{CO}_2$  op te nemen (buffercapaciteit) en om te zetten is echter niet oneindig, en dat leidt met een verder stijgende  $\text{CO}_2$ -concentratie in de atmosfeer nu al tot ernstige problemen, zoals de verzuring van de zeeën.

Naast anorganische zijn er ook organische koolstofverbindingen. 'Particulair organische koolstof' is niets anders dan de opbouw van biomassa van de microalgen, ofwel de primaire producenten. Deze microalgen zetten, zoals gezegd,  $\text{CO}_2$  fotosynthetisch om in suiker

en zuurstof. Daarbij groeien ze en vermeerderen ze zich, ze nemen nog meer CO<sub>2</sub> op, enzovoort. Sterven deze microalgen of worden ze opgegeten door zoöplankton en als fecaliën weer uitgescheiden, dan zinken ze als organische deeltjes samen met de gebonden koolstof in de diepte en vallen daar in hun verschillende elementen uiteen. Zo wordt CO<sub>2</sub> dus uit de atmosfeer verwijderd en naar diepere oceaanelagen getransporteerd. Dit proces wordt de **biologische pomp** genoemd. Aangezien het zinken van deze organische deeltjes in het lichtschijnsel onder water op vallende sneeuw lijkt, heeft men dit fenomeen ‘zeesneeuw’ (Eng. *marine snow*) gedoopt.

Een ander transport van koolstof vindt plaats via de zogenaamde **diepwaterpomp**, die onder andere afhangt van de thermohaliene circulatie, waarop ik nog uitvoeriger zal ingaan in het hoofdstuk ‘(On)eindig blauw’. De rol hiervan in de koolstofkringloop is als volgt samen te vatten. Koud water neemt meer CO<sub>2</sub> op dan warm water, en aangezien koud water zwaarder is, zinkt het met de opgenomen koolstofdioxide naar beneden en transporteert dit zo naar de diepere oceaanelagen (Eng. *downwelling*). Beneden wordt het door de langzaam stromende dieptestromingen verdeeld, om honderden jaren later samen met het opwarmende, voedselrijke water weer naar het wateroppervlak te stromen (Eng. *upwelling*). Daar worden de voedingsstoffen door microalgen opgenomen voor hun stofwisselingsprocessen en de CO<sub>2</sub> wordt deels weer afgegeven aan de atmosfeer.

De koolstofdioxideconcentratie in de atmosfeer wordt

gemeten in ppm (Eng. *parts per million*). 1 ppm komt overeen met één koolstofdioxidemolecuul per een miljoen moleculen droge lucht. In 2016 was de wereldwijde koolstofdioxideconcentratie rond de 400 ppm, terwijl de koolstofdioxideconcentratie in het pre-industriële tijdperk ongeveer 280 ppm was. Zonder de hiervoor beschreven mechanismen zouden we met een nog ernstiger broeikasprobleem zitten dan nu het geval is, want de biologische pomp is zo actief dat de atmosferische CO<sub>2</sub>-concentratie zonder deze pomp zo'n 150 tot 200 ppm hoger zou zijn!

Het fytoplankton in de bovenste, door de zon verlichte waterlaag fixeert jaarlijks circa 108 gigaton (1 Gt = 1 miljard ton) koolstofdioxide, die gebruikt wordt voor de fotosynthese. Dat is een verbijsterende hoeveelheid die zich kan meten met de CO<sub>2</sub>-fixering door landplanten, die 123 gigaton voor hun rekening nemen. De fotosynthesecapaciteit van de veel kleinere mariene algen kan worden verklaard door hun veel snellere ontwikkeling in vergelijking met de langzaam groeiende landplanten. Fytoplankton kan zich explosief vermeerderen, en als de omstandigheden gunstig zijn – wat betekent dat er voldoende licht, CO<sub>2</sub> en voedingsstoffen zoals stikstof en ijzer aanwezig zijn – ontstaat er een algenbloei die zelfs vanuit het heelal zichtbaar is.

Afgezien van deze enorme vaardigheid beheersen de microalgen nog een mechanisme dat relevant is voor het klimaat: ze reageren op het weer en kunnen het zelfs actief beïnvloeden – en daarmee ook het klimaat.