

Waterkwaliteit en ecologische veranderingen in het Markermeer-IJmeer

watervogels
voedselrijkdom
slib
mosselen
spiering

Bij het formuleren van instandhoudingdoelen voor het Natura 2000-gebied Markermeer-IJmeer bleek dat enkele vis- en mosseletende soorten watervogels sterk in aantal waren afgenomen. Het vermoeden bestond dat dit het gevolg was van afnemende voedselrijkdom en klimaatverandering. Twijfels over de haalbaarheid van herstel leidde tot een programma van onderzoek om de oorzaken van de afnames te achterhalen. In dit artikel wordt verslag gedaan van deze Autonome Neergaande Trends (ANT)-studie en enkele belangrijke resultaten.

Afname van aantallen was vooral zichtbaar bij twee groepen vogelsoorten die in open water foerageren (figuur 1). Enerzijds betrof het viseters die vanouds grotendeels waren aangewezen op spiering: fuut (*Podiceps cristatus*), nonnetje (*Mergellus albellus*), grote zaagbek (*Mergus merganser*), dwergmeeuw (*Hydrocoloeus minutus*), visdief (*Sterna hirundo*) en zwarte stern (*Chlidonias niger*), onder meer Piersma et al. (1997), Platteeuw (1985), Voslamber (1991). Anderzijds namen benthivore eenden af die vanouds in de wintermaanden afhankelijk waren van driehoeksmosselen: tafeleend (*Aythya ferina*), kuifeend (*Aythya fuligula*), topper (*Aythya marila*) en brilduiker (*Bucephala clangula*), onder meer De Leeuw & van Eerden (1995). De afnames van deze soorten hebben zich met name in de jaren 90 van de vorige eeuw voltrokken; van enkele soorten ook nog beperkt daarna. In de meer beschut gelegen delen van het gebied, met name het Hoornse Hop, de Gouwzee en het zuidelijke IJmeer, zijn waterplanten toegenomen. De tafeleend weet daarvan te profiteren, en neemt weer toe, vooral in de Gouwzee. Ook de meerkoet (*Fulica atra*) en de in Nederland voorheen zeldzame krooneend (*Netta rufina*) zijn er sterk toegenomen. Sterkte en detailverloop van deze trends zijn gebiedsspecifiek en de oorzaken moeten in de eerste plaats in de regio zelf gezocht worden.

Omdat de twee sleutelsoorten in het voedselaanbod voor vogels in de jaren 80, de spiering (*Osmerus eperlanus*) en de driehoeksmossel (*Dreissena polymorpha*), fors afnamen in een periode met dalende nutriëntenconcentra-

ties, was voedselrijkdom als eerste in beeld als oorzaak. Draagkrachtschattingen gaven aan dat deze voedselbronnen de aantallen vogels uit de jaren 80 niet meer konden voeden (Platteeuw, 2011). Daaruit kon worden afgeleid dat de afnames primair voedselgestuurd waren. In het onderzoek heeft de afnemende aanvoer van voedingsstoffen daarom veel aandacht gekregen.

Aspecten van klimaatverandering die een rol kunnen hebben gespeeld zijn wijzigingen in windkracht en -richting en opwarming, via vervroeging van het voorjaar en eventuele mismatch van predator en prooi, bijvoorbeeld spiering en zoöplankton, of via zuurstoftekorten en anderzortige temperatuurstress in de zomer. Daarnaast kan sprake zijn geweest van effecten van veranderingen in spui en rivierafvoer, bijvoorbeeld door langjarige fluctuaties in neerslag.

Vanaf 1988 is in het vroege voorjaar sprake van commerciële spieringvisserij (figuur 2), waarbij een groot deel van het paaibestand wordt weggevisst (Mous, 2000). De laatste jaren blijft de spieringvisserij vaak gesloten.

In het Markermeer-IJmeer werd slib beschouwd als een extra oorzaak van veranderingen. In de jaren 80 beperkte opgewerveld slib via gebrek aan licht de hoeveelheid fytoplankton. Begin jaren 90 is het doorzicht in het Markermeer-IJmeer afgenomen. Er was echter geen sprake van toename van slib (zwevend stof) op dat moment (Noordhuis, 2010). Onderzoek bleek nodig om de oorzaken te achterhalen en zo oplossingen in beeld te brengen.

RUURD NOORDHUIS

Drs. R. Noordhuis Deltares,
Afdeling Waterkwaliteit &
Ecosystemen, Postbus 177,
2600 MH Delft
ruurd.noordhuis@deltares.nl

Foto Natuurmonumenten-
Ruud Poelstra visdief (*Sterna
hirundo*)

Figuur 1 geïndexeerde vijfjarige gemiddelden in het gehele Markermeer-IJmeer van de aantallen van de geselecteerde ANT-soorten op basis van maandelijks vliegtuigtellingen van RWS. Eenheid: 1 = 100% van het gemiddelde aantal in de periode 1980/81-2012/13. Het aangegeven jaar is de eerste helft van het laatste seizoen waarvoor het vijfjarige gemiddelde is berekend (2012 = geïndexeerd gemiddelde van seizoenen 2008/09 t/m 2012/13).

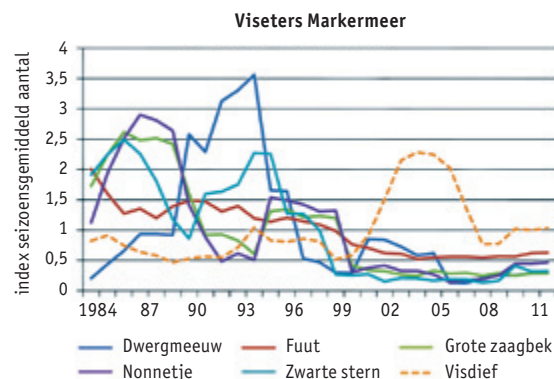
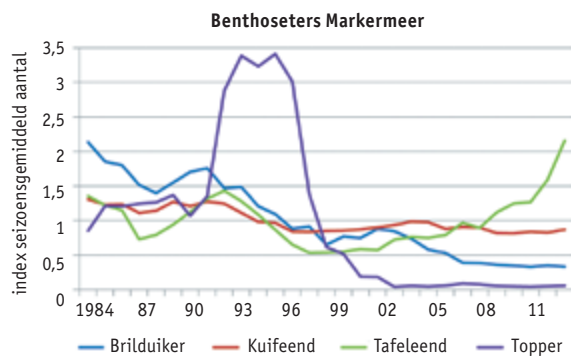
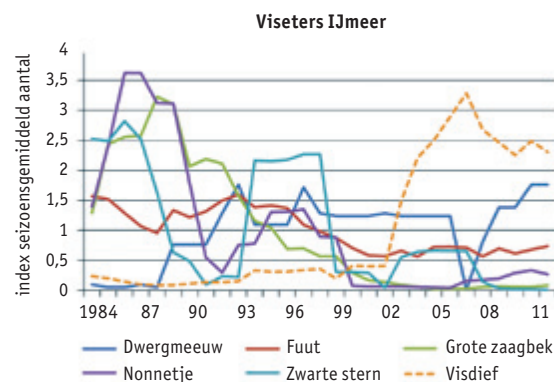
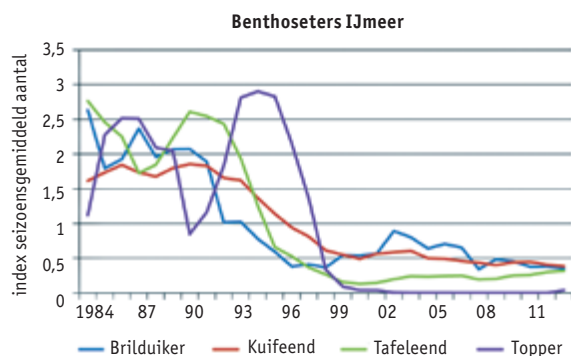


Figure 1 indexed five-year averages of numbers of waterbirds in Lake Markermeer. Brilduiker = Goldeneye, kuifeend = Tufted Duck, tafeleend = Pochard, topper = Scaup, dwergmeeuw = Little Gull, fuut = Great Crested Grebe, grote zaagbek = Merganser, nonnetje = Smew, zwarte stern = Black Tern, visdief = Common Tern.



Figuur 2 dichtheid van grote (oudere) en kleine spiering in het najaar en het verloop van de aanlanding van spiering vanuit het IJsselmeergebied. Gegevens Imares, IJmuiden, gestandaardiseerd vanaf 1989.

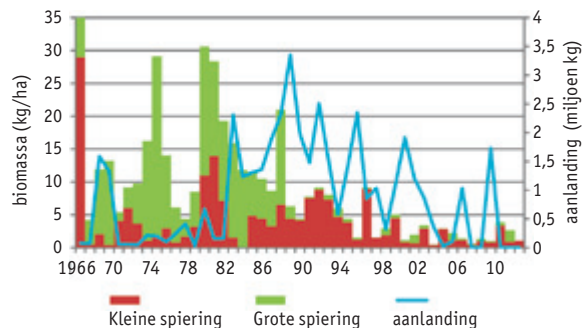
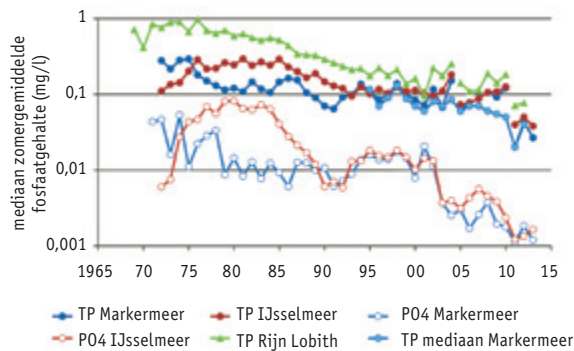


Figure 2 density of larger (older; red bars) and smaller (green bars) smelt in autumn and yearly amount of smelt landed by commercial fishermen (blue line, right axis).

Voedselrijkdom

Na de sluiting van de Houtribdijk in 1975 nam de aanvoer van water, en daarmee fosfaat en stikstof naar het Markermeer-IJmeer sterk af en daalden de concentraties. Vanaf 1977 waren ze lager dan in het IJsselmeer. Tien jaar later begonnen de concentraties fosfaat in de Rijn en IJssel te dalen als gevolg van inspanningen ter bestrijding van de eutrofiëring. De concentraties in het Markermeer-IJmeer reageerden niet zo sterk als in het IJsselmeer, maar de belasting nam wel verder af. Vanaf 1992, in een periode waarin meer water via de Houtribdijk op het Markermeer-IJmeer werd gespuid,



waren de concentraties van totaal fosfaat in de twee meren ongeveer gelijk (figuur 3). Rond 2004 was de afname, net als in het IJsselmeer en de Veluwerandmeren zodanig gevorderd dat de opgeloste fracties van fosfaat en stikstof sindsdien bijna zijn uitgeput. Niet licht, maar fosfaat is nu beperkend voor de hoeveelheid fytoplankton (Harezlak, in voorbereiding).

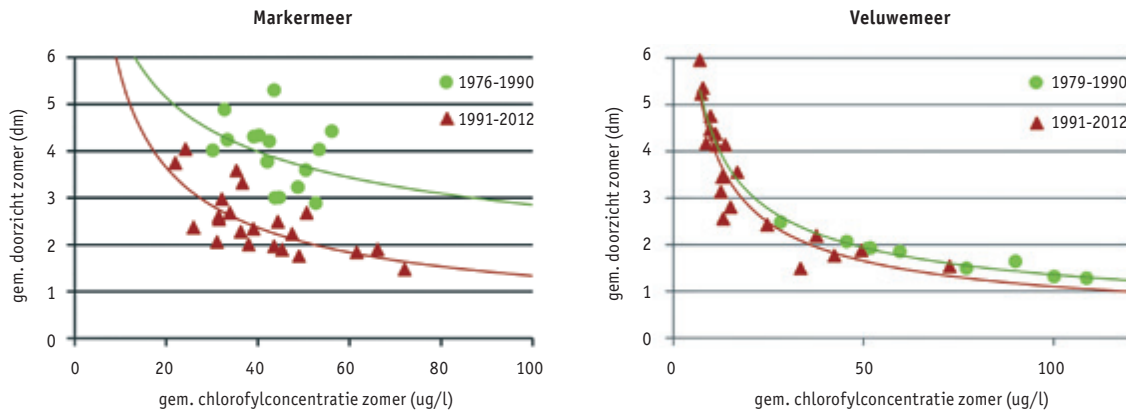
Dat fytoplankton had echter al in het begin van de jaren negentig op de veranderingen gereageerd met een wijziging van de soortsaamenstelling (Noordhuis, 2010), waarschijnlijk als gevolg van de fosfaatlimitatie. Terwijl daarvoor, net als in het IJsselmeer, het fytoplank-

ton werd gedomineerd door de blauwalgen *Microcystis* en draadvormige blauwalgen zoals *Aphanizomenon*, *Anabaena* en *Planktothrix* (Ibelings, 1990) kwamen nu kolonievormende soorten op met losse cellen in een matrix van polysacchariden, zoals *Aphanocapsa*, *Aphanothece* en *Cyanodictyon* (Noordhuis, 2010).

In 1991 nam overal in het Markermeer-IJmeer het gemiddelde doorzicht in het zomerhalfjaar af, zonder dat sprake was van toename van zwevend stof of chlorofyl (RWS monitoringsdata). De relatie tussen chlorofyl (of zwevend stof) en doorzicht versprong definitief naar een ander regime (figuur 4). Ongeveer op het zelfde moment gebeurde dit ook in het IJsselmeer; op de locatie Vrouwezand halveerde de hoeveelheid chlorofyl, maar bleef het doorzicht gelijk. Dit meer heeft een overwegend zandige bodem en zwevend 'slib' is hier veel minder bepalend voor de waterkwaliteit. De afname van het doorzicht, die in het Markermeer-IJmeer in het begin van de jaren negentig gepaard ging met de verandering in de relatie chlorofyl-doorzicht, is dus waarschijnlijk ook hier niet door toename van zwevend slib veroorzaakt. Verandering in de eigenschappen van het fytoplankton zou een oorzaak kunnen zijn (zie verder).

Figuur 3 zomergemiddelden van totaal (TP) en opgelost fosfaat (PO4) gehalten in het IJsselmeer (Vrouwezand, Kornwerd en Steile Bank), het Markermeer (Uitdam/Midden, Noordoost/Lelystad en Hoornse Hop) en in de Rijn bij Lobith. Voor totaal fosfaat in het Markermeer is vanaf 1995 de mediane waarde van alle maandelijkse metingen gegeven. Vanaf 2011 werd een andere analysemethode gebruikt. In de periode 2005-2010 gold bovendien een hogere detectielimiet (0,05 mg/l; vanaf 2010 0,02 mg/l), waar de meeste waarden toen al onder lagen. Gegevens Rijkswaterstaat.

Figure 3 summer averages (April - Sept) of total phosphorus (TP) in water of Lake IJsselmeer, Lake Markermeer and River Rhine at Lobith and of dissolved phosphorus in Lake IJsselmeer and Lake Markermeer.

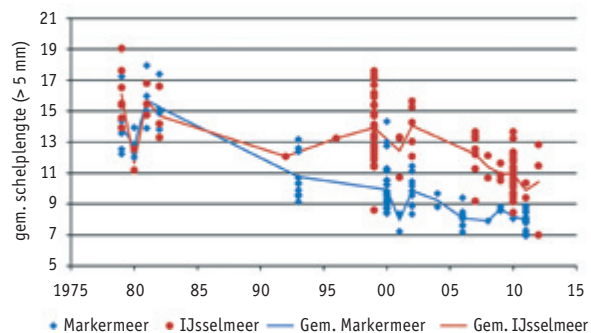


Figuur 4 relatie tussen de zomergemiddelden van chlorofylconcentraties en doorzicht voor en vanaf 1991. Links: locatie Markermeer Midden, rechts: Veluwemeer. Gegevens Rijkswaterstaat.

Figure 4 relationship between summer averages of chlorophyll concentrations and transparency before and since 1991. Left: Lake Markermeer, right: Lake Veluwemeer (shallow macrophyte dominated).

Figuur 5 veranderingen in de gemiddelde lengte van driehoeksmosselen in het IJsselmeer en Markermeer. Metingen uit het najaar, mosselen kleiner dan 6 mm zijn uitgesloten.

Figure 5 changes in average shell length of Zebra Mussels in Lake IJsselmeer and Lake Markermeer. Mussels smaller than 6 mm excluded.

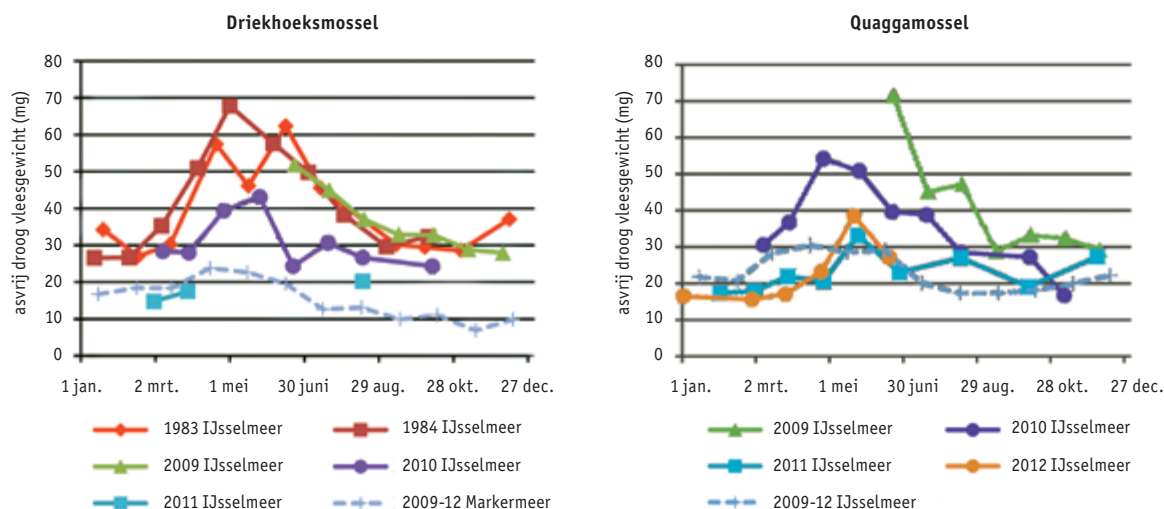


In het IJsselmeer ging de afname van chlorofyl niet gepaard met afname van de primaire productie (Harezlak, in voorbereiding) doordat met de wijzigingen in de soortensamenstelling de turn-over van fosfaat sterk versnelde. De productie op basis van fosfor nam wel af, wat moet hebben geresulteerd in een slechte kwaliteit van fytoplankton als voedsel voor secundaire producenten als watervlooiën en driehoeksmosselen. Experimenten binnen het project toonden aan dat watervlooiën die

werden gevoerd met algen met een lage fosfor/koolstof ratio een laag voortplantingssucces hebben (Sarpe et al., in voorbereiding). Experimenten met driehoeksmosselen (*Dreissena rostriformis*) lieten zien dat het drooggewicht lager wordt ten opzichte van het natgewicht (Mandemakers, 2013). De details van de afname van de driehoeksmosselen sluiten hierop aan. Vooral in het Markermeer-IJmeer nam de gemiddelde lengte van deze mosselen af (figuur 5) door vertraging van de groei (Bij de Vaate, 1991; 2012a). In de jaren tachtig was er weinig verschil in schelp lengte tussen de meren, maar vanaf de jaren negentig waren deze mosselen in het Markermeer-IJmeer aanzienlijk kleiner dan in het IJsselmeer en was het vleesgewicht in relatie tot de schelp lengte aanmerkelijk lager (De Leeuw, 1997; Noordhuis & van Schie, 2001; Noordhuis & Houwing, 2003; Bij de Vaate, 2012a), zie figuur 6. Later namen ook in het IJsselmeer de lengtes af, en dat was ook het geval met de vetgehalten (Noordhuis, 2010). Op hun beurt waren de driehoeksmosselen dus minder

Figuur 6 seizoensverloop van asvrij droog vleesgewicht van driehoeks- en quaggamosselen met een schelp lengte van 25 mm, in IJsselmeer en Markermeer, berekend op basis van regressieformules (Bij de Vaate, 1991; 2012a).

Figure 6 seasonal development of ash free dry weight of Zebra Mussels and Quaggamussels with a shell length of 25 mm, calculated with regression formulas (Bij de Vaate, 1991; 2012a).



aantrekkelijk geworden als voedsel voor vogels. Wat dat betreft leek de opkomst van een nieuwe exoot, de quaggamossel, aanvankelijk een uitkomst. Deze nauwe verwant van de driehoeksmossel is ondanks de afname van de condities voor driehoeksmosselen sinds 2007 sterk in opkomst. Hij groeit sneller en heeft inmiddels veel hogere dichtheden bereikt dan bij de driehoeksmossel ooit zijn vastgesteld (o.a. Bij de Vaate, 2012a; 2012b). Deze soort weet dus efficiënter om te gaan met het beschikbare voedsel. Het vleesgewicht ten opzichte van de schelpenlengte is vergelijkbaar met dat van de driehoeksmossel. Het vlees bevat echter naar verhouding minder fosfor en net als de driehoeksmossel reageert de quaggamossel op fosfaatarm voedsel met verlaging van de drooggewicht-natgewicht ratio. Het gebied met de hoogste dichtheden van quaggamosselen is het meest zuidelijke deel van het IJsselmeer, aansluitend op de uitgang van het Ketelmeer. In dit relatief voedselrijke deelgebied was het seizoensverloop van de vleesgewichten ten opzichte van de schelpenlengte in 2009 ongeveer gelijk aan het verloop in 1983 en 1984 (Bij de Vaate, 1991). Ondertussen namen de dichtheden van quaggamosselen sterk toe ten koste van de overgebleven driehoeksmosselen (Noordhuis, 2009; Bij de Vaate, 2012b). De relatieve vleesinhoud ging daarbij echter sterk omlaag, zowel bij quaggamosselen als bij driehoeksmosselen (Bij de Vaate, 2012a), zie figuur 6.

De spiering daarentegen is in recente jaren niet duidelijk magerder dan in de jaren 80 (Deerenberg et al., in voorbereiding). Wel is de gemiddelde lengte sinds de tweede helft van de jaren 80 lager. Dat kan te maken hebben met de spieringvisserij, waarbij de afname van grotere (oudere) spiering aanvankelijk werd gecompenseerd door verhoogde hoeveelheden kleine (jongere) spiering. Vanaf 1992 nam echter ook de kleine spiering af (figuur 2). Dat viel min of meer samen met de omslag

in de soortsaamenstelling (en voedselkwaliteit) van het fytoplankton.

Slib

Slib ontstaat door erosie van de kleibodem van het Markermeer-IJmeer, grotendeels onder invloed van bioturbatie: activiteit van bodemdieren zoals wormen en muggenlarven (onder meer Cadée, 2001; De Lucas Pardo et al., 2013). Dit materiaal verplaatst zich met waterbewegingen, sedimenteert weer en consolideert voor een deel. Er ontstaat een bodemopbouw bestaande uit de kleibodem met daarop een laag anaeroob materiaal dat alleen nog bij storm opwerfelt en vervolgens een top-laag van aeroob materiaal dat al bij weinig wind in beweging komt.

De concentraties van zwevend stof na correctie voor de windsnelheid zijn rond 1990 toegenomen, maar alleen in de wintermaanden en alleen in het midden en, nog wat sterker, in het oosten van het meer. Omdat in het zomerhalfjaar geen sprake was van een significante toename van zwevend stof, terwijl de relatie tussen chlorofyl en zwevend stof eveneens weinig veranderde, moet de afname van het doorzicht in het begin van de jaren negentig vooral zijn veroorzaakt door veranderingen bij het fytoplankton. Dat kan gebeurd zijn in de vorm van verandering van de mate van lichtabsorptie door de opgetreden wijziging in de soortsaamenstelling.

Daarnaast verandert met de soortsaamenstelling ook de het gedrag van de algen in relatie tot slib. De draadvormige blauwalg *Aphanizomenon* (soort uit de jaren 80) gaat vlokvorming van algen en slibdeeltjes bij hogere concentraties tegen (De Lucas Pardo et al., in voorbereiding). De polysaccharidekolonies van *Aphanotheca* (jaren 90 soort) vormen bij lagere windsnelheden juist grote vlokken met slibdeeltjes. Bij rustig weer kan het water daardoor helderder worden. In meer turbulent water

zou de concentratie van zwevend stof juist kunnen toenemen, zoals in de wintermaanden is gebeurd, door vertraagde bezinking. De verklaring van de afname van het doorzicht ligt waarschijnlijk in de details van dit soort processen, maar is nog niet volledig.

Visserij

Omdat viseters in het verleden in hoge mate afhankelijk waren van spiering, heeft de rol van visserij op deze soort veel aandacht gekregen. De visgemeenschap van het Markermeer-IJmeer wordt al sinds 1966 gemonitord, maar pas vanaf 1989 gebeurt dit betrouwbaar genoeg voor onderzoek naar de rol van de visserij. De uitkomsten moeten echter met enig voorbehoud gebracht worden: al voor die tijd was de visserijdruk op spiering hoog en met name in de periode 1988-1992 lieten klimaatfactoren en nutriëntenbelasting grote veranderingen zien. Enerzijds is duidelijk dat sinds 1988 een zeer groot deel van het paaibestand van spiering omstreeks maart wordt weggevisst (Mous, 2000), zodat deze soort voor visetende vogels in de daaropvolgende maanden verminderd beschikbaar is. Met name de visdief, die als broedvogel in het gebied voorkomt, heeft in die periode behoefte aan prooi als spiering (Van der Winden *et al.*, 2013). Anderzijds is er in recente jaren geen duidelijk verband tussen het aandeel van het paaibestand dat is weggevisst en het aandeel van grotere spiering in het najaarsbestand; de relatie tussen stijgende zomertemperatuur en afnemende omvang van het najaarsbestand lijkt sterker. Dat suggereert dat andere sterftefactoren het effect van visserij in de loop van de zomer 'inhalen'.

Veranderend voedselgebruik vogels

Hoewel de populatieomvang van een aantal soorten is afgenomen, is het niet zo dat deze vogelsoorten niet hebben ingespeeld op de veranderingen in het gebied.

De prooikeuze van de betrokken vogelsoorten is in principe opportunistisch. Het hoge aandeel spiering en driehoeksmossel in het menu van de vogels in de jaren tachtig, ging samen met de dominantie van deze soorten in het ecosysteem. Voedselonderzoek wijst uit dat ook andere prooi-soorten worden gegeten. Visdieven bijvoorbeeld, voeren ook relatief veel baars, pos en blankvoorn aan de jongen (Van de Ven, 2011). In magen van benthoseters werden niet alleen driehoeksmosselen aangetroffen, maar ook veel brakwaterhorentjes (*Potamopyrgus antipodarum*), erwtenmosseltjes (*Pisididae*) en vlokreeftjes (*Gammaridae*). Bij de kuifeend is het aandeel van deze prooi ten opzichte van mosselen veel hoger dan in de jaren tachtig (De Leeuw & Van Eerden, 1995; Van Rijn *et al.*, 2012). De ruimtelijke verspreiding van benthivore watervogels heeft de laatste jaren verschuivingen vertoond in het voordeel van gebieden waar de waterplanten zijn toegenomen. Bij de tafeleend gaat dit samen met herstel van de gemiddelde aantallen. Mosselgebieden, waar vanaf 2007 de quaggamossel sterk is toegenomen, zijn ondanks die toename eerder minder populair geworden. Het aantal kuifeenden vertoont geen herstel in relatie tot de kolonisatie van deze nieuwe mossel en is zelfs iets verder afgenomen.

Discussie en conclusies

Het beeld dat uit het ANT-onderzoek naar voren komt is dat afname van de aanvoer van voedingsstoffen de basis is van de ecologische veranderingen en de neerwaartse trends van vogels. Deze afname heeft geleid tot een vermindering van de waarde van het fytoplankton als voedsel voor watervlooien en mosselen. Driehoeksmosselen werden magerder en minder geschikt als voedsel voor vogels. De beschikbaarheid van spiering voor visetende vogels is afgenomen door een combinatie van visserij, afgenomen voedselrijkdom en toegenomen watertempe-



Foto Aat Barendregt

ratuur door klimaatverandering. Deze ontwikkelingen zijn in het Markermeer-IJmeer sterker geweest dan in het IJsselmeer doordat hier bovendien een deel van de productie van fytoplankton aan het voedselweb wordt onttrokken door vlokvorming met slibdeeltjes.

Die vlokvorming verklaart mogelijk het feit dat de driehoeksmosselen in het Markermeer-IJmeer kleiner en magerder zijn dan in het IJsselmeer. Bij rustig weer wordt een aanzienlijk deel van de vlokken te groot voor filtratie door deze mosselen (De Lucas Pardo *et al.*, in voorbereiding). Mosseletende eenden waren begin jaren negentig al slechter af in het Markermeer-IJmeer door een relatief ongunstige relatie tussen duikdiepte en ca-

lorische waarde van de mosselen (De Leeuw, 1997). De eenden hebben weliswaar een voorkeur voor kleinere mosselen (de Leeuw, 1997), maar een voortdurende vermindering van de calorische waarde kan betekenen dat een groot deel van de mosselpopulatie niet meer rendabel kan worden benut. Kuif- en tafeleenden werden bovendien rond 1996 verleid om zich te verplaatsen naar de randmeren door toename van de driehoeksmosselen daar (Noordhuis, 2010; Noordhuis *et al.*, 2002). Hier komen de mosselen op geringere diepte voor en hebben ze een hoger relatief vleesgewicht (Noordhuis & Van Schie, 2001; Noordhuis & Houwing, 2003).

Bij spiering is het verhaal complexer. Tegenwoordig is er

geen duidelijke relatie tussen de omvang van de visserij in het voorjaar en de samenstelling van het najaarsbestand. Dat suggereert dat andere sterftefactoren ook een rol spelen. Voedselgebrek lijkt niet de primaire factor, omdat de spiering niet magerder is geworden. Een negatieve relatie tussen de gemiddelde hogere zomertemperatuur en de kleinere omvang van het bestand aan grotere spiering in het IJsselmeergebied suggereert invloed van klimaatverandering (zie ook Kangur *et al.*, 2013). Spiering is een noordelijke vis die in Nederland de zuidgrens van het verspreidingsareaal bereikt. Hij behoort tot een groep van soorten die negatief reageert op de huidige klimaatverandering, hoewel de relaties met watertemperatuur niet overal gelijk zijn (Jeppesen *et al.*, 2012).

De afname van de aanvoer van voedingsstoffen en klimaatverandering zijn de drijvende krachten van de neerwaartse trends. Daarmee is volledig herstel van de situatie in de jaren tachtig niet meer in beeld. Toch is er ruimte voor verbetering. Zowel in het Markermeer-IJmeer als in het IJsselmeer is de reactie van het ecosysteem relatief sterk geweest doordat het arm is aan diversiteit, als gevolg van de kunstmatige inrichting van het gebied. De vogelgemeenschap was sterk afhankelijk van slechts twee voedselsoorten. Toen deze soorten afnamen waren alternatieven nauwelijks voorhanden. Een grotere diversiteit aan soorten verkleint de betekenis van soortspecifieke reacties op factoren als afname van fosfaat en klimaatverandering en geeft een efficiënter gebruik van de resterende nutriënten. Naast specifieke maatregelen gericht op de driehoeksmossel of spiering (verbetering in trek, reguleren visserij) is dus vooral vergroting van de habitatdiversiteit zinvol. Mogelijke maatregelen betreffen dan het inrichten van ondervertegenwoordigde habitats als ondieptes, het aanleggen van luwe gebieden, het versterken van gradiënten in doorzicht en het verbete-

ren van de kwaliteit van overgangen van land naar water, liefst in combinatie met meer natuurlijke waterpeilfluctuaties. Deze uitkomst ondersteunt dus de lijn van maatregelen die voor het Markermeer en IJmeer al was ingezet. Nieuw zijn onder meer de uitkomsten over de relatie tussen algen en slib (De Lucas Pardo *et al.*, in voorbereiding), waardoor een deel van de primaire productie aan het voedselweb wordt onttrokken. Door middel van het voornoemde type maatregelen kan in het Markermeer-IJmeer plaatselijk de rol van opgewerveld sediment worden verkleind, zodat de primaire productie beter benut kan worden.

Enkele vogelsoorten hebben al laten zien in te kunnen spelen op de toename van andere prooisorten (Van Rijn *et al.*, 2012), en met name de tafeleend laat daarbij duidelijk herstel van de aantallen zien. Toename van waterplanten en de daarmee geassocieerde ongewervelden en vissoorten spelen daarbij een cruciale rol. Enkele van de vogelsoorten in het gebied zijn op deze manier waarschijnlijk slecht te bedienen. Dat betreft soorten die het vooral moeten hebben van groot open water en die vaak uitsluitend in de wintermaanden aanwezig zijn (grote zaagbek, nonnetje, toppe, brilduiker). Andere soorten reageren positief, zoals ook is gebleken tijdens het ecologisch herstel van de Veluwerandmeren (Noordhuis *et al.*, 2002). Bedreigde soorten van oevervegetatie en moerassen, die nu in het gebied ontbreken, krijgen nieuwe kansen. Hoewel een volledige terugkeer naar de situatie van de jaren tachtig dus niet voor alle doelsoorten mogelijk is, bestaat er in meer algemene zin, juist in het Markermeer-IJmeer, ruimte voor vergroting van het ecologisch rendement. Een toename van de diversiteit maakt het systeem minder gevoelig voor toekomstige veranderingen, waarmee ook meer ruimte ontstaat voor andere dan ecologische ontwikkelingen in het gebied.

Tot slot

Dit onderzoek, getiteld *Autonome Neergaande Trends IJsselmeergebied*, is uitgevoerd door een consortium van de ministeries van LNV (nu EZ) en VenW (nu IenM), Building with Nature, Deltares, NIOO, TU Delft, WUR

en Imares. Een belangrijk deel van het werk is gedaan door vijf aio's; M. de Lucas Pardo, D. Sarpe, J. 't Hoen, B. van Zuidam en M. Keller. In maart 2014 is een eindadvies uitgebracht (Noordhuis *et al.*, 2014).

Summary

Water quality and ecological changes in Lake Markermeer-IJmeer

Ruurd Noordhuis

Waterbirds, nutrients, silt, mussels, smelt.

During the 1990s, water quality and ecology of Lake Markermeer-IJmeer changed. Water transparency diminished and numbers of several species of waterbirds decreased, following the decline of their main prey, zebra mussels (*Dreissena polymorpha*) and smelt (*Osmerus eperlanus*). Lake Markermeer-IJmeer has high concentrations of suspended sediment. However, not an increase of suspended silt, but rather a decrease of nutrient concentrations caused the changes. Phytoplankton became phosphorous limited instead of light limited and spe-

cies composition changed in favour of species with low phosphorous demand. Hence, food quality of phytoplankton decreased. In addition, flocculation of algae with silt particles removed part of the algae from the food web. Growth rate and caloric value of zebra mussels decreased. Numbers of several species of benthivorous birds declined. However, remaining birds now have a more diverse diet, and some species benefit from increase of macrophytes, foraging on plants, gastropods and gammarids. The explanation of the decrease of the smelt population is more complex, entailing interaction of decreasing food availability, climate change and commercial fishery. Some of the piscivorous bird species may benefit from increased habitat diversity as well, if this leads to a more diverse fish stock.

Literatuur

Cadée, G.C., 2001. Sediment dynamics by Bioturbating Organisms. Ecological Comparisons of Sedimentary Shores. Ecological Studies 151: 127-148.

Deerenberg, C., M.J.C. Rozemeijer, K.E. van de Wolfshaar & S. van Rijn, in voorbereiding. Onderbouwing herijking en harmonisatie spieringprotocol – benodigde kennis, beschikbare kennis en kennislacunes. Concept rapport Imares, IJmuiden.

Harezlak, V., in voorbereiding. Algal primary production in Lake IJsselmeer under different nutrient levels – a modelling study.

Ibelings, B.W., 1990. Algenbloei in het IJsselmeer. Rapport Laboratorium voor Microbiologie Universiteit Amsterdam.

Jeppesen, E., T. Mehner, I.J. Winfield, K. Kangur, J. Sarvala,

D. Gerdeaux, M. Rask, H.I.J. Malmquist, K. Holmgren, P. Volta, S. Romo, R. Eckman, A. Sandström, S. Blanco, A. Kangur, H. Ragnarsson Stabo, M. Tarvainen, A.M. Ventelä, M. Søndergaard, T.L. Lauridsen & M. Meerhoff, 2012. Impacts of climate warming on the long-term dynamics of key fish species in 24 European lakes. *Hydrobiologia* 694: 1-39.

Kangur, K., P. Kangur, K. Ginter, K. Orru, M. Haldna, T. Möls & A. Kangur, 2013. Long-term effects of extreme weather events and eutrophication on the fish community of shallow lake Peipsi (Estonia/Russia). *J. Limnology* 72(2): 376-387.

Leeuw, J.J. de, 1997. Demanding divers. Ecological energetics of food exploitation by diving ducks. Van Zee tot Land 61. Lelystad/Groningen. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied en dissertatie Universiteit Groningen.

- Leeuw, J.J. de & M.R. van Eerden, 1995.** Duikeenden in het IJsselmeergebied. Herkomst, populatiestructuur, biometrie, rui, conditie en voedselkeuze. Flevovericht 373. Lelystad. RWS Directie IJsselmeergebied.
- Lucas Pardo, M. A. de, M. Bakker, T. van Kessel, F. Cozzoli & J. C. Winterwerp, 2013.** Erodibility of soft freshwater sediments in Markermeer: the role of bioturbation by meiobenthic fauna. *Ocean Dynamics* 63/9-10, pp 1137-1150. Topical Collection on the 11th International Conference on Cohesive Sediment Transport.
- Lucas Pardo, M. A. de, D. Sarpe & J.C. Winterwerp, in voorbereiding.** Effect of blue-green algae on the flocculation of suspended sediments in a shallow lake. Consequences for ecology and sediments transport processes. To be submitted to *Ocean Dynamics*.
- Mandemakers, J., 2013.** The impact of suspended sediments and phosphorous scarcity on zebra mussel and quagga mussel growth. Wageningen. Master's thesis Utrecht University / NIOO-KNAW.
- Mous, P.J., 2000.** Interactions between fisheries and birds in IJsselmeer, The Netherlands. Proefschrift, Wageningen Universiteit.
- Noordhuis, R., 2009.** Tweekleppigen in IJsselmeer en Markermeer, 2006-2008. Lelystad. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.
- Noordhuis, R. (red.), 2010.** Ecosysteem IJsselmeergebied: nog altijd in ontwikkeling. Trends en ontwikkelingen in water en natuur van het Natte Hart van Nederland. Lelystad Rapport Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Noordhuis, R., S. Groot, M. Dionisio Pires & M. Maarse, 2014.** Wetenschappelijk eindadvies ANT-IJsselmeergebied. Vijf jaar studie naar kansen voor het ecosysteem van het IJsselmeer, Markermeer en IJmeer met het oog op de Natura 2000 doelen. Utrecht. Deltares 1207767-000.
- Noordhuis, R. & E.J. Houwing, 2003.** Afnam van Driehoeksmosselen in het Markermeer. Oorzaken en gevolgen van een vermoedelijke "crash" met betrekking tot waterkwaliteit, slibhuishouding en natuurwaarden. Lelystad. RIZA rapport 2003.016.
- Noordhuis, R., D.T. van der Molen & M.S. van den Berg, 2002.** Response of herbivorous waterbirds to the return of Chara in Lake Veluwemeer, The Netherlands. *Aquatic Botany* 72: 349-367.
- Noordhuis, R. & J. van Schie, 2001.** Conditie van Driehoeksmosselen in het IJsselmeergebied in 2001. Lelystad. RIZA rapport 2001.188X.
- Piersma, T., P. Wiersma & M.R. van Eerden, 1997.** Seasonal changes in the diet of Great Crested Grebes *Podiceps cristatus* indicate the constraints on prey choice by solitary pursuit-diving fish-eaters. In: M.R. van Eerden (ed.) Patchwork. Patch use, habitat exploitation and carrying capacity for water birds in Dutch freshwater wetlands. Van Zee tot Land 65: 351-376. Lelystad. Rijkswaterstaat Directie IJsselmeergebied.
- Platteeuw, M., 1985.** Voedseloecologie van de Grote (*Mergus merganser*) en de Middelste Zaagbek (*Mergus serrator*) in het IJsselmeergebied 1979/1980 en 1980/1981. RIJP rapport 1985-48 Abw. Lelystad. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
- Platteeuw, M., 2011.** Draagkracht benodigd voor het behalen van de instandhoudingsdoelstellingen Natura 2000 in IJsselmeer en Markermeer voor watervogelsoorten met een autonome neerwaartse trend. Lelystad. Notitie Rijkswaterstaat Waterdienst.
- Rijn, S. van, M. Bovenberg, K. Hasenaar, M. Roos & M.R. van Eerden, 2012.** Voedsel van overwinterende duikeenden in het IJsselmeergebied. Culemborg. Rapport Delta Milieu.
- Sarpe, D., L.N. de Senerpont Domis, S.A.J. Declerck, E. van Donk & B. Ibelings, in voorbereiding.** On the consequences of re-oligotrophication of a large shallow lake for life history of *Daphnia*. Submitted to *Inland Waters*.
- Vaate, A. bij de, 1991.** Distribution and aspects of population dynamics of the zebra mussel, *Dreissena polymorpha* (Pallas, 1771), in the lake IJsselmeer area (The Netherlands). *Oecologia* 86: 40-50.
- Vaate, A. bij de, 2012a.** Driehoeks- en Quaggamosselen in Marker- en IJsselmeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in de periode juni 2009 t/m juni 2012. Lelystad. Hydrologisch Adviesbureau Waterfauna rapport 2012/02.
- Vaate, A. bij de, 2012b.** De dichtheid van Driehoeks- en Quaggamosselen in het IJsselmeer: resultaten van een gebiedsdekkende kartering uitgevoerd in 2012. Lelystad. Hydrologisch Adviesbureau Waterfauna, rapport 2012/03.
- Ven, P. van de, 2011.** Our Common Tern in IJsselmeer. MSc Thesis Wageningen Universiteit.
- Winden, J. van der, S. Dirksen, A. Gyimesi & M.J.M. Poot, 2013.** Broedsucces en voedsel van visdieven op de Kreupel 2011-2012. Voortgangsrapport met overzicht van 2009-2012. Culemborg. Bureau Waardenburg bv, rapport nr. 12-217.
- Voslamber, B., 1991.** Meeuwen in het IJsselmeergebied. Voedseloecologie van zeven op het meer voorkomende soorten. Lelystad. Intern rapport 9 Liw. Rijkswaterstaat Directie Flevoland.