

## Meer en langduriger kroos bij veranderend klimaat

*T.H.M. (Edwin) Peeters (Wageningen Universiteit), G.M. (Peter) Heuts, (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden), J.C. (Jordie) Netten (Nelen & Schuurmans)*

Het klimaat verandert. Dit artikel laat zien dat de veranderingen zullen leiden tot een toename van kroosdekken, met alle negatieve gevolgen voor de waterkwaliteit van dien. De toename kan beperkt worden met maatregelen die de beschikbaarheid van nutriënten beperken.

Het klimaat is aan het veranderen. Op basis van het IPCC-rapport [1] is door het KNMI voorspeld dat de temperatuur in Nederland tot 2050 stijgt met 2 tot 4 °C, afhankelijk van het scenario [2]. Belangrijke indicatoren voor veranderingen in het klimaat zijn onder andere te vinden in de fenologie (jaarlijks terugkerende natuurverschijnselen). Hogere temperaturen beïnvloeden bijvoorbeeld de timing van bladontplooiing en bloei van landplanten [3]. Er is weinig bekend over effecten van opwarming op de fenologie van waterplanten. Hier beschrijven we de resultaten van een onderzoek naar de effecten van veranderingen in weersomstandigheden op het tijdstip van ontstaan van kroosdekken. We veronderstellen dat veranderingen in temperatuur met name zichtbaar zullen zijn op de ontwikkeling van drijvende planten omdat die in direct contact staan met de atmosfeer. We hebben daarom gegevens van krooswaarnemingen in sloten uit de Limnodata Neerlandica ([www.limnodata.nl](http://www.limnodata.nl)) gekoppeld aan gegevens van het KNMI. Uit eerder onderzoek in ondiepe meren lijkt naar voren te komen dat opwarming eenzelfde effect te zien geeft als verrijking met voedingsstoffen. Terugdringen van de voedingsstoffen zou dan een manier kunnen zijn om de effecten van de opwarming te verminderen. Om dit te onderzoeken hebben we een model voor de kroosgroei ontwikkeld. Hiermee zijn we nagegaan tot welk niveau de voedingsstoffen gereduceerd zouden moeten worden om effecten van de opwarming te compenseren. Voor een uitgebreide versie van het onderzoek verwijzen we naar de wetenschappelijke publicatie [4].

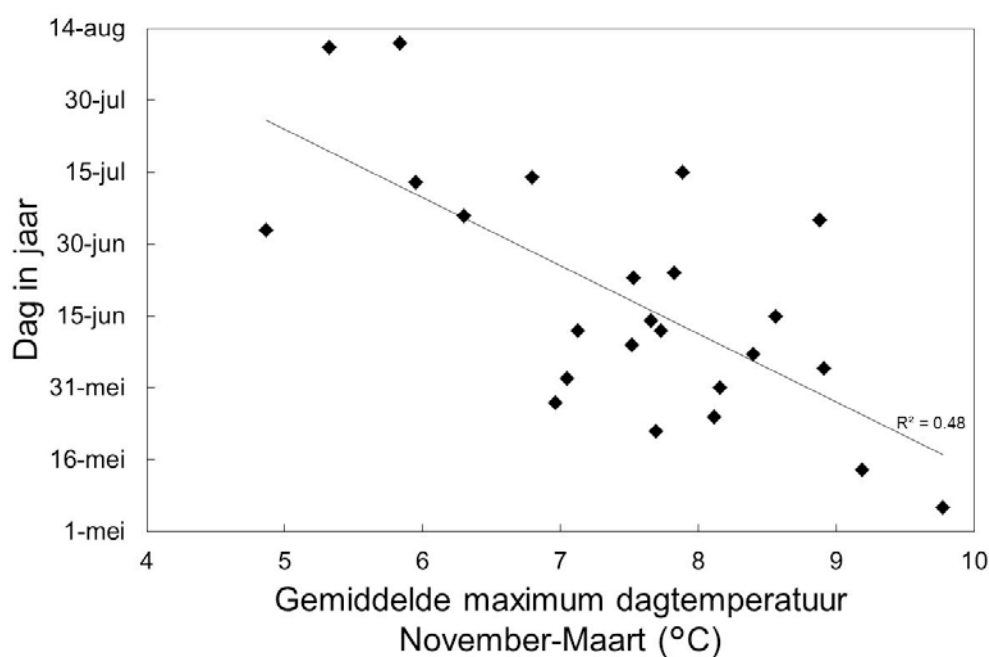
### Wat kroos-drijfslagen doen

Nederland is rijk aan sloten en kleine stilstaande wateren. Die wateren ontvangen vaak veel voedingsstoffen vanuit het omliggende land. Bij een grote toevoer van die voedingsstoffen naar de sloten ontstaan dikke drijfslagen van kroos, die allerlei problemen voor de waterkwaliteit met zich meebrengen. Zo is de watertemperatuur onder een drijfslag lager en blokkeert kroos de uitwisseling van zuurstof uit de lucht met het water. Ook houdt kroos het zonlicht voor de ondergedoken planten tegen en daardoor neemt de fotosynthese (zuurstofproductie) van ondergedoken waterplanten af en kunnen er zuurstofloze omstandigheden ontstaan. Zuurstofloos water heeft negatieve gevolgen voor de biodiversiteit aan vissen en ongewervelde dieren in het water. Ook kan het leiden tot extra nalevering van fosfaat uit de slootbodem. Voor de Kaderrichtlijn Water dient de kroosbedekking onder 15% te blijven om de MEP te bereiken, maar dit wordt niet vaak gehaald. Vaak wordt ook de grens van 50% bedekking gehanteerd omdat bij hogere bedekkingen problemen voor de ondergedoken waterplanten ontstaan.

### Weersomstandigheden en kroosbedekking in periode 1980-2005

Uit de weersgegevens van het KNMI (<http://www.knmi.nl/klimatologie/daggegevens/>) voor De Bilt blijkt dat in de periode 1958-2010 de minimum, maximum en gemiddelde jaartemperatuur toegenomen is met respectievelijk 1,5, 2,0 en 1,9 °C. Ook is de gemiddelde dagelijkse (fotonen)instraling in deze periode toegenomen en wel van 368 tot 394  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ .

Uit de Limnodata Neerlandica zijn de gegevens over kroos in sloten geselecteerd voor de periode 1980-2005. De bedekkingen van kroos zijn genoteerd in een aantal bedekkingsklassen. Voor iedere klasse is per jaar de dag bepaald waarop deze voor het eerst is waargenomen. Wanneer een hogere klasse eerder in het jaar is waargenomen dan een lagere, dan is de waarneming van de lagere klasse niet meegenomen. Deze eerste dag van waarneming is gekoppeld aan waarnemingen van het KNMI over temperatuur. De opkomst van kroosdekken blijkt significant gecorreleerd met de gemiddelde jaartemperatuur, de gemiddelde voorjaarstemperatuur (maart-mei) en de gemiddelde temperatuur in het groeiseizoen (april-september). Ook het aantal vorstdagen in de voorafgaande winter heeft een duidelijke correlatie met het opkomen van kroosdekken, maar de sterkste correlatie is gevonden met de gemiddelde maximale dagtemperatuur in de voorafgaande winter (periode november tot en met maart). Gemiddeld genomen komen de kroosdekken 14 dagen eerder op bij een stijging van 1 °C van de gemiddelde maximum wintertemperatuur (zie afbeelding 1).



**Afbeelding 1. Relatie tussen de gemiddelde maximale luchttemperatuur in de periode november-maart voorafgaand aan de eerste dag dat een dicht kroosdek is waargenomen in de Limnodata Neerlandica over de periode 1980-2005 [4]**

Het belang van wintercondities is bekend van landplanten [5] en van ondergedoken planten in ondiepe plassen [6, 7]. De resultaten van de huidige studie laten duidelijk zien dat de bedekking met drijvende planten in sloten mede bepaald wordt door de wintercondities. Kroos kan overwinteren als drijvende plant op het wateroppervlak of als overwinteringsknop op de waterbodem [8]. De overwinteringsknoppen op de waterbodem starten doorgaans veel later in het groeiseizoen met hun ontwikkeling dan planten die drijven op het oppervlak. In de winter kan vorst de drijvende planten doden. De kroosontwikkeling wordt dan afhankelijk van de

planten die op de bodem liggen, met als gevolg dat de ontwikkeling van het kroos veel later op gang komt. Een voorspelling van het IPCC [1] is dat strenge winters in Nederland minder vaak zullen voorkomen. Kroos zal dus vaker de winter overleven als drijvende plant waardoor er in het voorjaar al meer kroos op de sloten ligt, wat leidt tot een snellere ontwikkeling van kroosdekken. Hogere temperaturen in het voorjaar, die ook voorspeld worden, zullen de aanwezigheid van kroosdekken nog eens extra vervroegen.

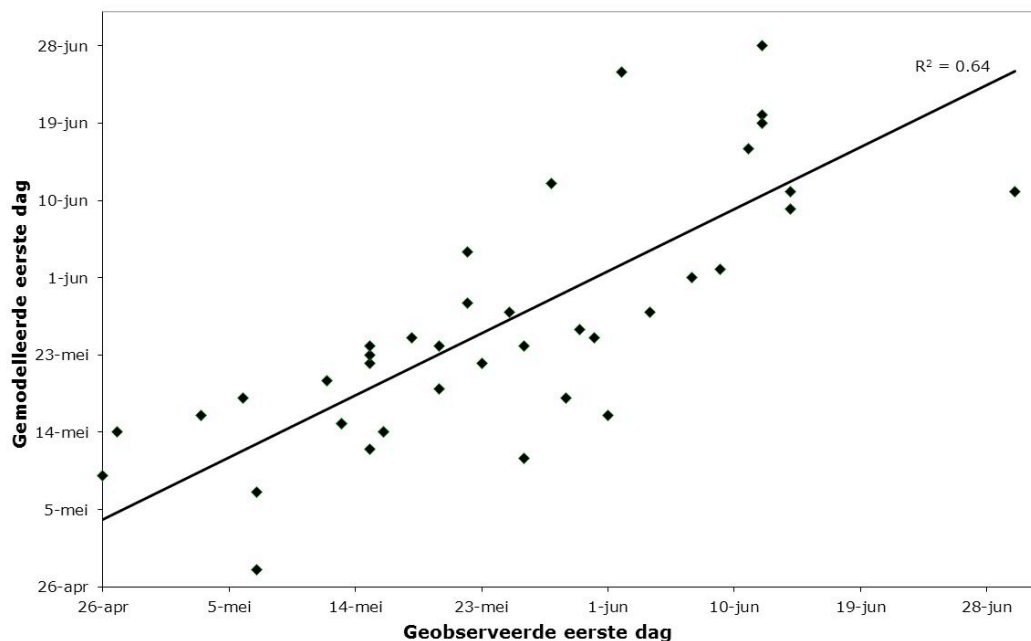
### Kroosbiomassamodel

Het door ons ontwikkelde model beschrijft de ontwikkeling van de kroosbiomassa ( $B$  in gram drooggewicht per vierkante meter) in de tijd. Basis van de berekening is de kroosbiomassa die gerealiseerd wordt bij de maximale groeisnelheid ( $r$  = groeisnelheid per dag) onder optimale omstandigheden voor factoren als temperatuur, licht en voedingsstoffen [9]. Vervolgens wordt de ontwikkeling van de biomassa gelimiteerd door suboptimale omstandigheden voor wat betreft luchttemperatuur [ $f(T_l)$ ], lichtbeschikbaarheid en -intensiteit [ $f(L)$ ], nutriënten [ $f(N,P)$ ] en de aanwezigheid van soortgenoten [ $f(B)$ ]. Verliezen ( $l$ ) als gevolg van mortaliteit en graas zijn eveneens opgenomen. Het model heeft de volgende algemene vorm:

$$\frac{dB}{dt} = r * B * f(T_l) * f(L) * f(N,P) * f(B) - lB$$

Voor de detaillering van de limiterende factoren wordt verwezen naar [4].

Het model is op verschillende manieren getest. Zo is onderzocht of de gemodelleerde eerste dag van een bedekkingsklasse correspondeert met die uit de Limnodata Neerlandica. Het model is daartoe toegepast zonder het limiterende effect van nutriënten mee te nemen, omdat de verwachting is dat dan effecten van klimaatverandering het beste zichtbaar zijn. Afbeelding 2 laat duidelijk zien dat er een significant verband is tussen de voorspelde (gemodelleerde) en waargenomen (geobserveerde) eerste dag.



**Afbeelding 2. Gemodelleerde eerste dag als functie van de geobserveerde eerste dag dat een bedekkingsklasse voor kroos is waargenomen in de periode 1980-2005** Het model is toegepast zonder het limiterende effect van nutriënten mee te nemen [4].

De nutriëntenlimitatiefunctie is getest met gegevens verzameld in het PLONS project [10]. Het negeren van de beperking door nutriënten leidt tot een overschatting van de biomassa, zoals verwacht mag worden. Worden de uitkomsten van het model gerelateerd aan de weersgegevens (timing in het seizoen), dan blijkt dat wintercondities wederom een rol spelen, maar dat voor de start van kroosdekken zeker ook de temperatuur in de periode maart-mei van belang is. Het model laat ook zien dat het verdwijnen van de kroosbedekking nauwelijks verschuift in de tijd. De verlenging van het groeiseizoen wordt dan ook alleen veroorzaakt doordat de groei eerder in het jaar begint.

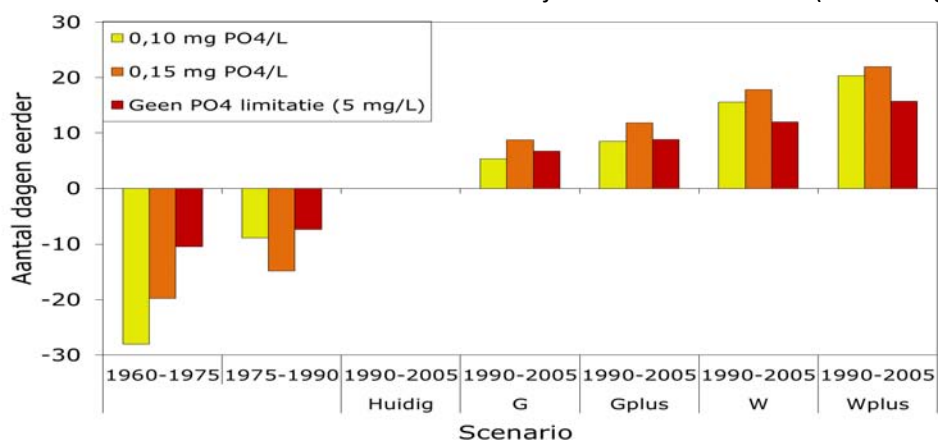
### Effecten van klimaatverandering op kroosdekken

Het model biedt uitstekende mogelijkheden om na te gaan hoe de KNMI-scenario's voor klimaatverandering doorwerken op de kroosdekken. Het KNMI hanteert vier scenario's (tabel 1) voor de in 2050 te verwachten temperaturen. De referentie is de temperatuur in 1990. De G-scenario's zijn gerelateerd aan een gemiddelde toename, de W-scenario's aan meer extreme omstandigheden; de plusscenario's nemen ook veranderingen in luchtcirculaties mee.

**Tabel 1. Verwachte toename van de gemiddelde seizoenstemperatuur in 2050 in °C in Nederland volgens de vier KNMI-scenario's [2] Referentiejaar: 1990.**

Seizoen	Scenario			
	G	G <sub>plus</sub>	W	W <sub>plus</sub>
Winter	0,9	1,1	1,8	2,3
Voorjaar	0,9	1,2	1,8	2,6
Zomer	0,9	1,4	1,7	2,8
Herfst	0,9	1,3	1,8	2,7

De temperatuurreeks van de jaren 1990-2005 is als referentie gebruikt en daar is de toename in temperatuur per seizoen voor de vier scenario's bij opgeteld. Voor verschillende fosfaatconcentraties zijn de scenario's doorgerekend. Ook is gebruik gemaakt van gegevens vanaf 1960 om te analyseren wat de veranderingen tot nu toe zijn geweest. Alle vier de klimaatscenario's leiden tot het eerder verschijnen van het kroosdek (afbeelding 3).

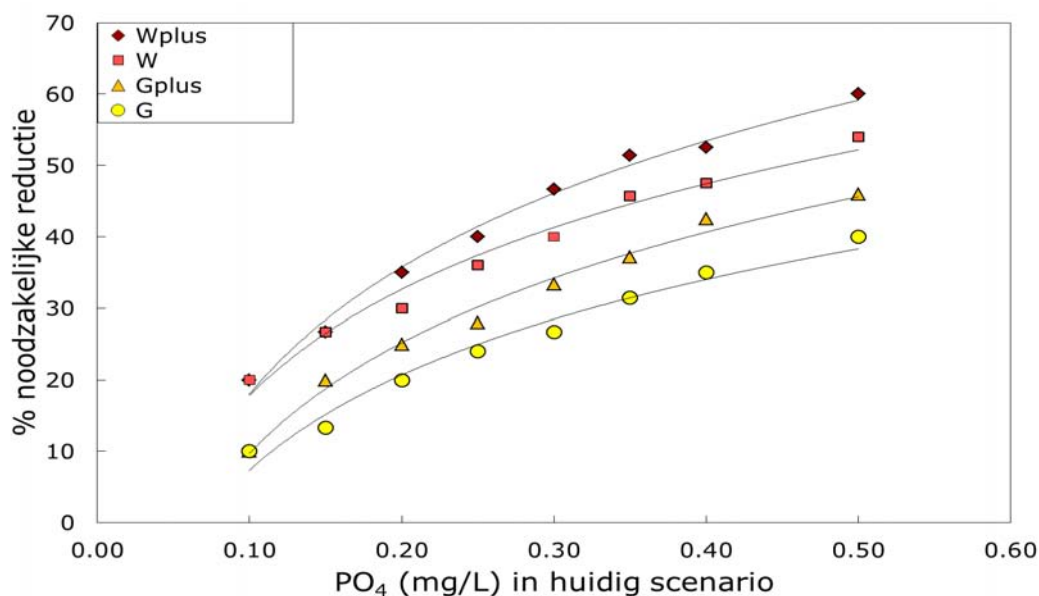


**Afbeelding 3. Het aantal dagen dat het kroosdek eerder opkomt voor de verschillende klimaat-scenario's en onder verschillende fosfaatconcentraties, zoals berekend met het model over de jaren 1990-2005 Tevens zijn de modelresultaten opgenomen van de perioden 1960-1975 en 1975-1990 [4].**

Afhankelijk van het scenario en de beschikbaarheid van nutriënten is de verschuiving 5 tot 23 dagen. Is er sprake van limitatie door nutriënten dan komt het kroosdek later in het jaar op. Bij orthofosfaat ( $\text{PO}_4^{2-}$ )-concentraties beneden  $0,05 \text{ mg PO}_4^{2-} / \text{l}$  vormen zich in geen enkel scenario kroosdekken. Bij het meest extreme scenario (W-plus) ligt het kroosdek zo'n drie weken eerder op de sloten. Dat is vergelijkbaar met de verandering tussen de perioden 1960-1975 en 1990-2005. De verschuiving in de opkomst van het kroosdek in het G-plus scenario ligt in dezelfde orde van grootte als de verschuiving tussen de perioden 1975-1990 en 1990-2005. De resultaten laten duidelijk zien dat hogere temperaturen eenzelfde effect te zien geven als hogere gehalten aan voedingsstoffen. Zulke effecten van opwarming zijn ook gesuggereerd in eerdere studies in ondiepe plassen [11, 12]. De berekeningen suggereren dat zelfs bij lagere nutriëntengehalten het kroosdek vaker zal verschijnen. Eenzelfde verwachtingspatroon is gesuggereerd voor blauwwieren in ondiepe plassen [13].

Reductie van nutriënten kan mogelijk de effecten van opwarming verminderen. Met het model is uitgerekend *hoe groot* de reductie in nutriënten zou moeten zijn om de effecten van opwarming te compenseren (afbeelding 4). De modelstudie laat duidelijk zien dat zo'n compensatie mogelijk is maar ook dat de reductie moet toenemen met de opwarming en afhankelijk is van de huidige fosfaatconcentratie.

Simulaties laten zien dat een reductie van 10 tot 20% nodig is bij concentraties van  $0,10 \text{ mg PO}_4^{2-} / \text{l}$  en van 40 tot 70% bij concentraties van  $0,5 \text{ mg PO}_4^{2-} / \text{l}$ . Het Planbureau voor de Leefomgeving voorspelt echter dat als gevolg van al genomen maatregelen ter vermindering van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater slechts een reductie in de fosfaatconcentratie van 3% bereikt zal worden in 2025 [14]. Deze reductie is aanzienlijk kleiner dan nodig is volgens de simulaties en zal waarschijnlijk niet voldoende zijn om de effecten van opwarming volledig te compenseren. Andere manieren van beheer van sloten zullen ontwikkeld moeten worden om eerder en langer kroosbedekking op de sloten te voorkomen.



**Afbeelding 4. Procentuele reductie in orthofosfaatgehalte om de effecten van de opwarming volgens de vier KNMI-scenario's te compenseren [4]**

## Maatregelen nodig

Veel waterbeheerders in Nederland ervaren een kroosdek in het landelijke gebied niet als problematisch. Zolang ophoping van kroos niet voor hydraulische problemen zorgt en niet leidt tot klachten ondernemen zij geen actie. Bij gemalen zijn vaak wel zogenaamde krooshekken, die regelmatig worden ontdaan van drijfvuil en waarmee kroos wordt verwijderd. Bij langere perioden van kroosbedekking en zuurstofloosheid zullen echter meer sloten ongeschikt worden voor vissen. Van vissoorten uit de boezemwateren die sloten nodig hebben om te paaien zal de populatie achteruitgaan. Hierdoor zal de ecologische kwaliteit van het waterlichaam verslechteren.

In de stedelijke omgeving wordt kroosbedekking door de waterbeheerders wel als problematisch ervaren, omdat het leidt tot klachten van burgers over bijvoorbeeld stankoverlast, vissterfte en onveiligheid. Ook in de stedelijke omgeving zullen kroosproblemen toenemen als gevolg van de klimaatverandering, en zelfs sterker dan in het landelijk gebied, omdat in de stad de luchttemperaturen hoger zijn dan in het buitengebied. Ervaringen uit het landelijke gebied leren dat een andere inrichting van de watergangen (groter en dieper maken) kan leiden tot beduidend minder kroosproblemen. Hier liggen mogelijkheden om in de stedelijke omgeving mee aan de slag te gaan door bijvoorbeeld extra diep te baggeren.

## Literatuur

1. IPCC (2007). Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Editors Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L.). Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA.
2. Hurk, B. van den, Klein Tank, A., Lenderink, G., Ulden, A. van, Oldenborgh, G.J. van, Katsman, C., Brink, H. van den, Keller, F., Bessembinder, J., Burgers, G., Komen, G., Hazeleger, W. & Drijfhout, S. (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt, The Netherlands.
3. Linkosalo, T., Häkkinen, R., Terhivuo, J., Tuomenvirta, H. & Hari, P. (2009). The time series of flowering and leaf bud burst of boreal trees (1846–2005) support the direct temperature observations of climatic warming. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 453–461.
4. Peeters, E.T.H.M., Zuidam, J.P. van, Zuidam, B.G. van, Nes, E.H. van, Kosten, S., Heuts, P.G.M., Roijackers, R.M.M., Netten, J.J.C. & Scheffer, M. (2013). Changing weather conditions and floating plants in temperate drainage ditches. *Journal of Applied Ecology*, 50: 585–593.
5. Kreyling, J. (2010). Winter climate change: A critical factor for temperate vegetation performance. *Ecology*, 91: 1939–1948.
6. Kosten, S., Kamarainen, A., Jeppesen, E., Van Nes, E.H. van, Peeters, E.T.H.M., Mazzeo, N., Sass, L., Hauxwell, J., Hansel-Welch, N., Lauridsen, T.L., Sondergaard, M., Bachmann, R.W., Lacerot, G. & Scheffer, M. (2009). Climate-related differences in the dominance of submerged macrophytes in shallow lakes. *Global Change Biology*, 15,: 2503–2517.
7. Netten, J. & Peeters, E. (2011). Winterweer kan effectiviteit van KRW-maatregelen beïnvloeden. *H<sub>2</sub>O*, 16: 34-35.
8. Hillman, W.S. (1961). The Lemnaceae, or Duckweeds. A review of the descriptive and experimental literature. *Botanical Review*, 27: 221–287.
9. Nicklisch, A., Shatwell, T. & Köhler, J. (2008). Analysis and modelling of the interactive effects of temperature and light on phytoplankton growth and relevance for the spring bloom. *Journal of Plankton Research*, 30: 75–91.
10. Peeters, E., Klein, J. de, Scheffer, M. (2007). Onderzoek naar het ecologisch functioneren van Nederlandse sloten. *H<sub>2</sub>O*, 40: 30-31.

11. Jeppesen, E., Kronvang, B., Meerhoff, M., Sondergaard, M., Hansen, K.M., Andersen, H.E., Lauridsen, T.L., Liboriussen, L., Beklioglu, M., Ozen, A. & Olesen, J.E., 2009. Climate change effects on runoff, catchment phosphorus loading and lake ecological state, and potential adaptations. *Journal of Environmental Quality*, 38, 1930–1941.
12. Moss, B., Kosten, S., Meerhoff, M., Battarbee, R.W., Jeppesen, E., Mazzeo, N., Havens, K., Lacerot, G., Liu, Z., Meester, L. de, Paerl, H. & Scheffer, M. (2011). Allied attack: Climate change and eutrophication. *Inland Waters*, 1: 101–105.
13. Wagner, C. & Adrian, R. (2009). Cyanobacteria dominance: Quantifying the effects of climate change. *Limnology and Oceanography*, 54: 2460–2468.
14. PBL (2008). Kwaliteit voor later – Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water. Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven.