



Herman van Dam, Adviseur Water en Natuur

Adriëne Mertens, Grontmij|AquaSense

Vennen minder zuur maar warmer

De oorspronkelijk zwakgebufferde voedselarme vennen hebben een hoge natuurwaarde en zijn zeer kwetsbaar voor verzuring en eutrofiëring. De invloed van de voortdurende vermindering van atmosferische depositie van zwavel- en stikstofverbindingen in de laatste 30 jaar is onderzocht in elf geïsoleerde vennen, door systematische bemonstering van waterchemie en kiezelwieren. De zwaveldepositie is op een onschadelijk niveau gekomen, maar de ammonium- en nitraattoevoer is nog veel te hoog. Door zwavelreductie en denitrificatie wordt organische stof afgebroken, waardoor het water met humuszuren (en fosfaten) wordt verrijkt. De kwaliteit van de soortensamenstelling van de kiezelwieren verbetert wel door de vermindering van de depositie, maar de doelsoorten van zwakgebufferde wateren keren slechts ten dele terug. Indicatoren van zure en geëutrofiëerde situaties nemen hun plaats in.



Bemonstering Achterste Goorven in april 2004 (foto: M. Bellemakers).

In Nederland liggen enkele duizenden vennen: van oorsprong voedselarme tot matig voedselarme wateren van de zandgronden. Veel vennen liggen in natuurgebieden en hebben een natuurlijke waterhuishouding: ze worden gevoed door het regenwater en hebben daardoor een wisselend waterpeil. Door de van nature geringe voedselrijkdom en buffercapaciteit is juist dit type wateren kwetsbaar voor menselijke beïnvloeding, als eutrofiëring en verzuring. Vanwege hun hoge natuurwaarde is al veel onderzoek verricht naar de effecten van beïnvloeding en herstelmaatregelen, zoals baggeren en toevoer van gebufferd grond- of oppervlaktewater^{1,2}.

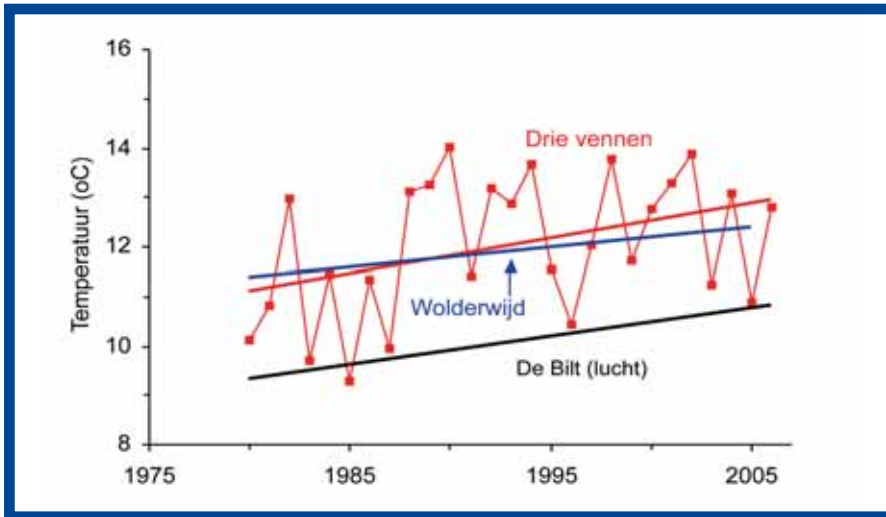
Eén van de grootste knelpunten bij het venbeheer is verzuring door de atmosferische depositie van zwavel- en stikstofverbindingen. Deze bereikte rond 1980 een hoogtepunt en is daarna door allerlei maatregelen sterk afgenomen. De daling zal zich in de toekomst wat minder sterk voortzetten³. Al in de jaren 90 bleken deze maatregelen goed uit te pakken voor de waterchemie en de in het water levende kiezelwieren of diatomeeën. Dit zijn goede indicatoren voor verzuring en eutrofiëring⁴. Hieronder wordt ingegaan op de actuele ontwikkelingen, inclusief die van de klimaatverandering. De details zijn te vinden in een rapport⁵.

Opzet

In 1978 werden elf geïsoleerde vennen in bossen, heiden en stuifzanden geselecteerd, die toen relatief weinig direct door de mens werden beïnvloed. In Drenthe zijn dit *Kliplo*, *Diepveen* en *Poort 2* (bij Dwingelo) en het Ven in het Echterzand, op de Veluwe *Gerritsfles* (Kootwijk), *Kempesfles* (Harskamp) en *Deelense Was* (Hoge Veluwe). In Noord-Brabant vallen het *Achterste Goorven*, *Wolfspuiven*, *Schaapsven* (Oisterwijk) en *Groot Huisven* (Kampina) binnen de selectie. De mediane oppervlakte en diepte zijn respectievelijk 0,8 hectare en 1,2 meter. In de cursief aangegeven (intensief bemonsterde) vennen werden vier maal per jaar monsters voor chemische analyse genomen (algemene parameters, nutriënten, macro-ionen, DOC) en twee maal per jaar monsters voor diatomeeënonderzoek. Tot 1987 werd de waterstand elk kwartaal van een peilschaal afgelezen, daarna één of twee maal per maand. In de overige (extensief bemonsterde) vennen werden eens per vier jaar monsters voor analyse van diatomeeën en chemie genomen. Van alle vennen waren uit eerder onderzoek al diatomeeënmonsters uit de jaren 20 beschikbaar. Deze zijn destijds met een planktonnet genomen, ruim 50 jaar bewaard en in 1978 geanalyseerd. In elk monster zijn 400 schaaltes geteld en het procentuele aandeel van elke soort is berekend. De monsters vanaf 1978 zijn op dezelfde manier genomen en behandeld als de historische monsters.

Temperatuurverhoging

Het was niet de opzet van het onderzoek om de effecten van klimaatverandering vast te stellen: daar was in 1978 nog geen belangstelling voor. Niettemin werd, steeds rond 10 februari, 10 mei, 10 augustus en 10 november, de temperatuur gemeten met



Afb. 1: Jaargemiddelden (kwartaalmetingen) en trend van de watertemperaturen in drie vennen, vergeleken met die in het Wolderwijd (trend van jaargemiddelden op basis van (half)maandelijke metingen en de trend van jaargemiddelden van de luchttemperaturen in De Bilt (bron: KNMI).

een vestzakthermometer, tot op een halve graad nauwkeurig. De toename bedraagt 0,0704 graad per jaar ($r = 0,40$, $p < 0,05$) (zie afbeelding 1). Over de hele periode 1980-2006 betreft het 1,83 graad. Dat is meer dan de toename van 0,0413 graad per jaar in Wolderwijd, één van de Veluwe randmeren. Het gemiddelde van het Wolderwijd ligt op hetzelfde niveau als voor de drie vennen: rond 12 °C. Dat is ongeveer twee graden meer dan de luchttemperatuur in De Bilt, die in de periode 1980-2006 met 0,0568 graad per jaar ($r = 0,59$, $p < 0,001$) is gestegen. De temperatuuroename heeft een belangrijke invloed op de snelheid van de biogeochemische processen in de vennen.

Sulfaat en ammonium nemen af

Afbeelding 2 geeft inzicht in de samenhang tussen de samenstelling van het venwater van één van de intensief bemonsterde vennen, het Goorven, en de natte depositie, zoals die is gemeten te Gilze-Rijen, het dichtstbijzijnde punt van het nationale meetnet voor chemie van de neerslag⁶⁾. De bijdrage van de droge depositie van stikstof- en zwavelverbindingen aan de totale depositie op vennen is niet goed bekend. De natte depositie is voornamelijk de beste benadering van de totale depositie⁷⁾. De te verwachten concentraties van sulfaat, ammonium en nitraat in het venwater zijn

berekend door de gemeten gemiddelde concentraties in de depositie van het betreffende jaar te vermenigvuldigen met de concentratiefactor. Dit is het quotiënt van de chlorideconcentratie in het venwater en het regenwater en bedraagt 5,44.

De berekende sulfaatconcentratie neemt vrijwel lineair af met een snelheid van 1,2 mg/l per jaar ($p < 0,001$). Dat komt vrijwel overeen met de gemeten afname van 1,1 mg/l per jaar in het venwater. Dat veroorzaakt ook minder zure omstandigheden: de pH neemt toe met 0,04 punten per jaar ($p < 0,001$). De afname van sulfaat gaat met horten en stoten; vooral na zeer lage waterstanden in het voorafgaande jaar zijn er pieken van sulfaat, die worden veroorzaakt door oxidatie van sulfiden uit het drooggevallen sediment langs de oevers. De eerste piek was na de extreem droge zomer van 1976; de volgende maxima werden bereikt na de eveneens (zeer) droge zomers van 1989-1990, 1996 en 2003. Na dergelijke zomers lopen de sulfaatconcentraties weer snel terug, door wegspoeling bij hoge winterwaterstanden, maar vooral ook door sulfaatreductie, die bij de steeds hogere jaartemperaturen en pH-waarden ook steeds beter verloopt. De pieken worden steeds lager, wat aangeeft dat de voorraad sulfiden in de bodem afneemt. Na de zeer droge en

recordwarme zomer van 2003 was daardoor nauwelijks sprake meer van een piek. De huidige depositie van zwavelverbindingen komt ongeveer overeen met de depositie die toelaatbaar is voor zwak gebufferde meren⁸⁾. Wat zwavel betreft lijkt hier 'de rust te zijn weergekeerd'.

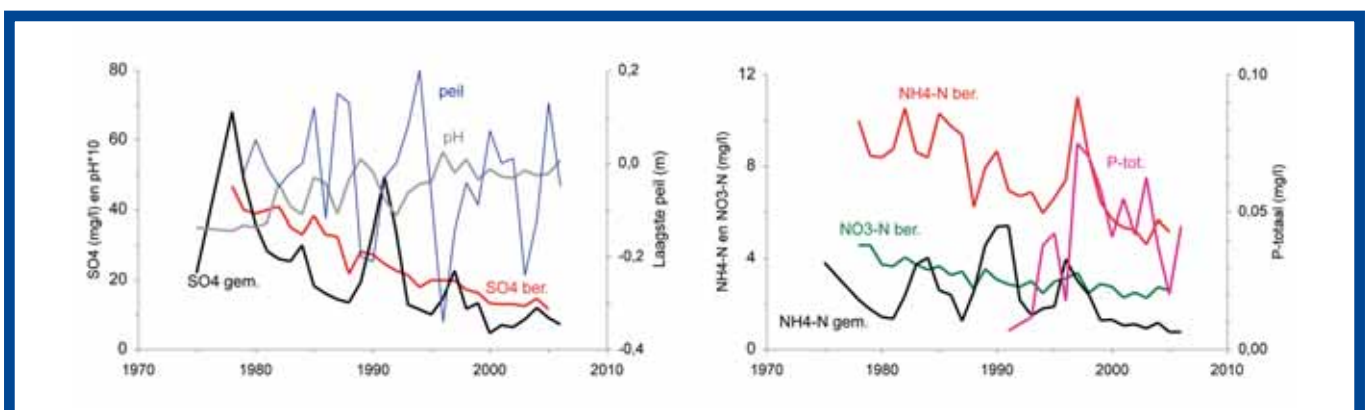
De berekende ammonium- en nitraatconcentraties nemen per jaar af met respectievelijk 0,16 ($p < 0,001$) en 0,06 mg/l ($p < 0,05$). In het venwater is nitraat meestal nauwelijks aantoonbaar, wat duidt op een snelle omzetting naar ammonium, denitrificatie of opname door planten. De gemiddelde berekende concentratie van ammonium is ruim drie maal zo hoog als de gemeten concentratie. Deze laatste heeft bovendien sterke fluctuaties: gedeeltelijk lopen deze parallel met die van de depositie, gedeeltelijk met die van sulfaat. Meer dan voor sulfaat het geval is, wordt de concentratie van de stikstofverbindingen bepaald door biogeochemische processen, als nitrificatie en denitrificatie. De huidige depositie van stikstofverbindingen is met een natte depositie van 11 à 12 g/m² per jaar tien tot twintig maal zo hoog als toelaatbaar (0,5-1 g/m²) voor een duurzame instandhouding van het venecosysteem⁸⁾.

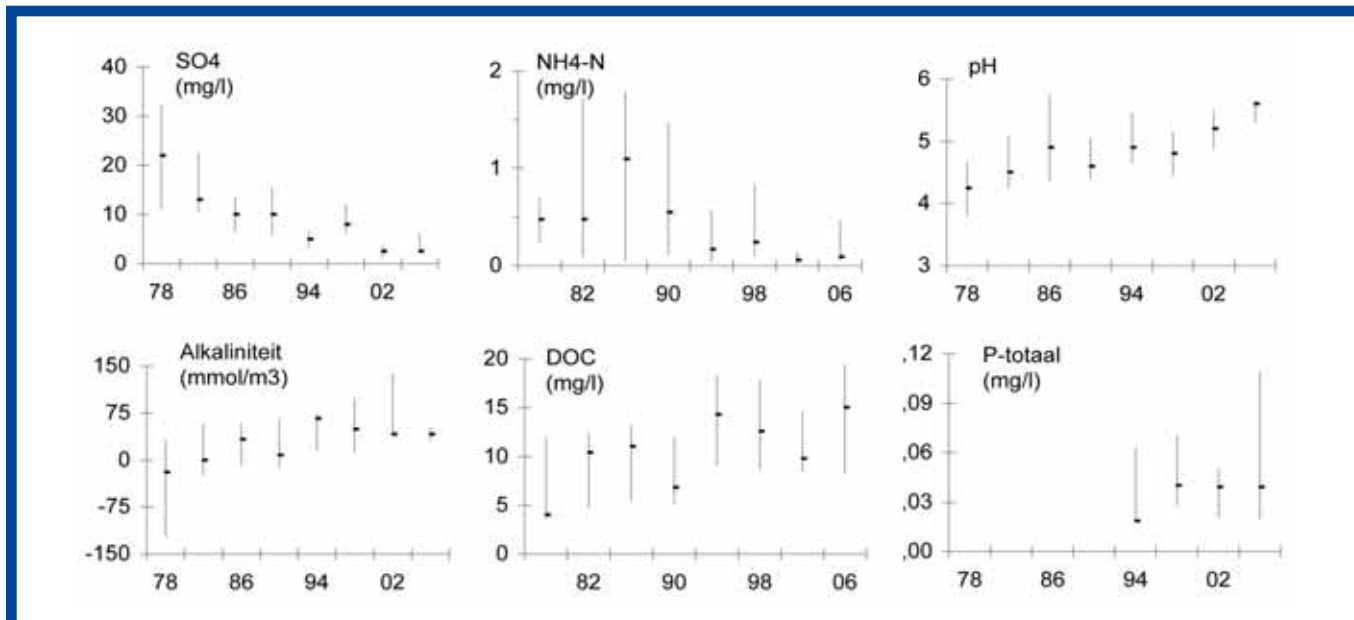
Vanaf 1978 is ook steeds het gehalte aan oplosbaar reactief fosfaat gemeten. Omdat dit vaak beneden de detectiegrenzen (0,01 mg/P/l) ligt is hier geen trend aantoonbaar. Totaal-fosfaat is pas gemeten vanaf 1991, maar een systematische verandering hiervan is in dit ven niet echt duidelijk.

Afbraak neemt toe

In afbeelding 3 zijn de veranderingen van de medianen van enkele belangrijke parameters voor de elf vennen samen weergegeven. Behalve voor DOC is er bij alle parameters een significante ($p < 0,05$) verandering in de loop der tijd (Kruskal-Wallistest). Voor DOC is er wel een significante toename ($p < 0,05$) tussen de perioden 1978-1990 en 1994-2006. De grote afname van sulfaat en de toename van pH corresponderen met die in het Goorven. Parallel neemt ook de alkaliniteit toe. Die wordt gegenereerd bij de reductie van sulfaat en denitrificatie. De sterke daling van ammoniumstikstof vanaf 1990 is met 0,05 mg/l per jaar veel groter dan mag

Afb. 2: Jaarlijkse gemiddelden van pH en gemeten (gem.) en berekende (ber.) concentraties in het water van het Goorven van sulfaat, ammonium, nitraat en totaal-fosfaat. Het waterpeil is het verschil tussen het jaarlijks waargenomen laagste waterpeil en het gemiddelde daarvan over alle jaren.



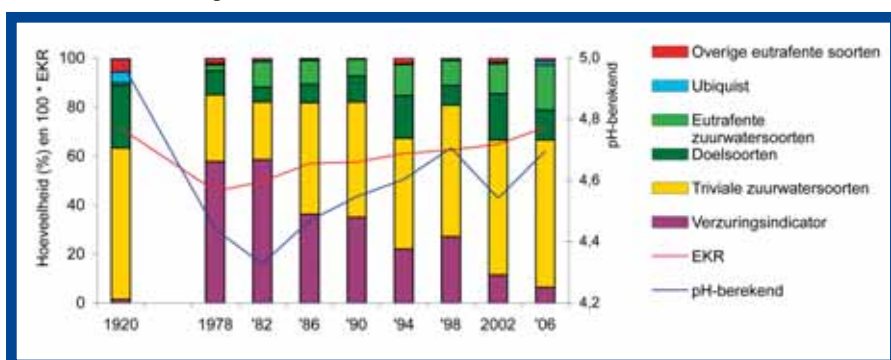


Afb. 3: Veranderingen van mediane waarden van enkele milieuvariabelen in elf vennen. De verticale lijnen verbinden de 25- met de 75-percentielen. Positieve waarden van aciditeit zijn weergegeven als negatieve waarden van alkaliniteit.

worden verwacht op grond van de afname van ongeveer 20 procent van de depositie sindsdien. De afname is veel groter dan in andere Europese zwakgebufferde meren, waar anorganische stikstof ten hoogste 0,01 mg/l per jaar daalt⁹⁾. De grote veranderingen in de ammoniumconcentraties moeten waarschijnlijk worden toegeschreven aan de toename van de alkaliniteit en/of pH, in combinatie met de toegenomen watertemperatuur. Zo werd in een Canadees meer bij een stijging van de (zomer)temperatuur van slechts 18 tot 20 C al een toename van de denitrificatie met een factor 2,4 gemeten⁹⁾.

Bij de afbraak van het organisch materiaal door de reductieprocessen gaat veel organische koolstof in oplossing, wat leidt tot verhoogde concentraties van humuszuren (DOC), zoals in andere Europese meren¹⁰⁾. Bij die afbraak komen ook nutriënten als fosfaat vrij. Voor totaal-fosfaat is de meetreeks nog te kort (16 jaar) en is de seizoensvariatie te groot om significante langetermijnveranderingen te constateren. Wel zijn de maximale waarden in 2006 veel hoger dan in eerdere jaren. Uit bepalingen van totaal-stikstof in 2002 en 2006 zijn mediane N/P-verhoudingen berekend van respectievelijk 80 en 63, wat eerder op fosfaat- dan stikstof-limitatie wijst.

Afb. 4: Veranderingen van de gemiddelde hoeveelheid ecologische groepen van diatomeeën in 93 monsters uit de elf vennen. EKR = ecologische kwaliteitsratio.



Toename eutrafente kiezelwieren

In totaal zijn van de elf vennen uit de periode 1916-2006 279 vergelijkbare monsters geteld, waarin 190 soorten zijn aangehouden. De resultaten zijn deels samengevat in afbeelding 4. De soorten zijn daarvoor ingedeeld in zes ecologische groepen. De groep 'verzuringindicator' bestaat maar uit één soort (*Eunotia exigua*), die ook in het extreem zure afvalwater van metaalmijnen kan voorkomen. De procentuele hoeveelheid hiervan is significant veranderd ($p < 0.001$, Kruskal-Wallistest). In de monsters van de jaren 20 was deze soort bijna afwezig, maar hij was zeer dominant in 1978. Daarna is de hoeveelheid geleidelijk verminderd, met een kleine toename in 1998, toen ook sulfaat weer wat was toegenomen (zie afbeelding 4).

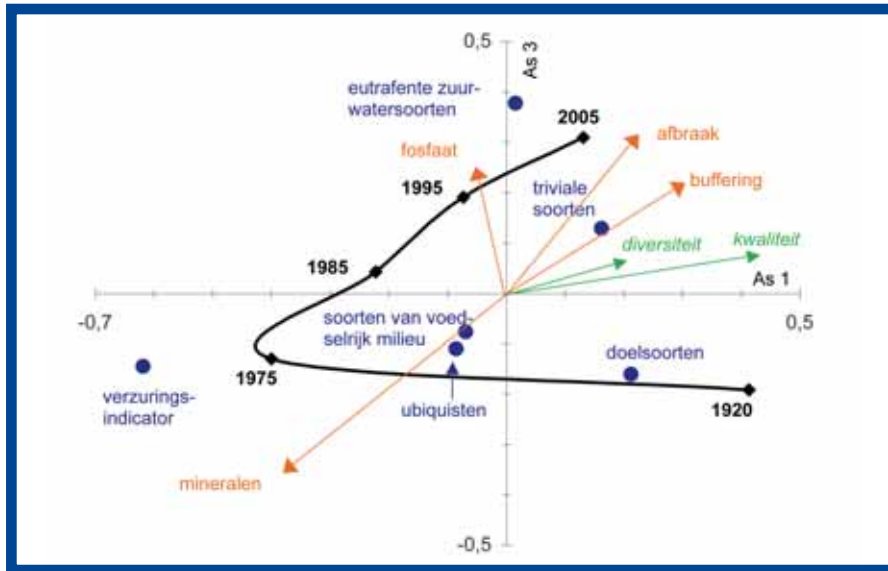
Bij het beheer van vennen gaat het om de doelsoorten uit zwakgebufferde wateren, zoals *E. denticulata* en *Navicula heimansii*. Tussen 1920 en 1978 nemen deze sterk af, maar ze worden vanaf 1994 weer wat talrijker. Ze worden voor een deel vervangen door een groep van soorten die wel voorkomt in zure wateren, maar bij een verhoogd voedselaanbod, zoals *E. naegelii* en *N. mediocris*. Rond 1920 werden deze vooral gevonden in verse hoogveenputjes, waar al mineralisatie van organische stof plaatsvond.

Het talrijkst waren rond 1920 de triviale soorten uit zuur water, zoals *E. bilunaris* en *Frustulia saxonica*, die na een dip in de jaren 80 weer zijn toegenomen. De andere twee groepen, met de ubiquis *Achnanthes minutissima* en de gewone soorten uit voedselrijke wateren, zoals *Nitzschia gracilis* en *Gomphonema parvulum*, waren rond 1920 beperkt aanwezig en daarna nog minder. Ze kwamen vaak voor in vennen die licht werden verontreinigd door bijvoorbeeld uitwerpselen van vogels of door het wassen van schapen.

Uit de soortensamenstelling van de diatomeeën is de pH berekend¹¹⁾. De gemiddelde berekende pH lag in 1920 rond 5 en bereikte een minimum van 4,3 in 1982. Tot 1998 is deze weer toegenomen tot 4,7 (zie afbeelding 4). De relatief hoge waarden van vroeger worden dus niet meer gehaald. Het ecologisch kwaliteitsgetal (EKR) volgens de concept-maatlatten¹²⁾ duidde in 1920 (0,71) nog op een goede kwaliteit. Van 1978 tot 1990 was dit nog onder de maat (<0,60) om daarna weer ongeveer tot de uitgangswaarde (0,72) te stijgen. Bij de constructie van die maatlatten werden bij de doelsoorten de eutrafente zuurwatersoorten nog inbegrepen. De laatste groep is pas onlangs op grond van voortschrijdend inzicht van de doelsoorten afgesplitst. De maatlatten zouden hierop moeten worden aangepast.

Kiezelwieren en waterchemie

Om de soortensamenstelling overzichtelijk weer te geven, is gebruik gemaakt van hoofdcomponentenanalyse of principale componentenanalyse (PCA) met het programma Canoco¹³⁾. De datareductie gebeurt op zo'n manier dat in zo weinig mogelijk dimensies een zo groot mogelijk deel van de variatie wordt weergegeven. In totaal zijn daarvoor 142 monsters met 182 soorten geselecteerd. Hiervan zijn de 75 soorten die samen 99,75 procent van de abundantie vertegenwoordigen, gebruikt. Van 94 monsters zijn voor de meeste fysisch-



Afb. 5: Hoofdc componentenanalyse van kiezelwieren. De toppen van de oranje pijlen geven de (gemiddelde) correlatie met significante milieuvariabelen aan (mineralen: Ca, Mg, SO₄, Al, EGV; afbraak: opgeloste organische koolstof, nitriet; buffering: pH en alkaliniteit). De toppen van de groene pijlen geven de correlaties met de diversiteit (aantal soorten) en de kwaliteit (EKR) aan. De scores van de ecologische groepen zijn abundantie gewogen gemiddelden van de soorten uit deze groepen. De scores van de monsters zijn gemiddelden per periode (vet) van alle 142 monsters van de ordinatie (1920: 1916-1933, 1975: 1970-1979, 1985: 1980-1989, 1995: 1990-1999, 2005: 2000-2005).

chemische parameters waarnemingen beschikbaar. Daarvan zijn correlatiecoëfficiënten met de ordinatie-assen berekend. Vooral de eerste en derde as hebben een aantal significante correlaties met belangrijke milieuvariabelen, die zijn uitgezet in afbeelding 5. Beide assen samen verklaren 35 procent van de totale variatie in de soortensamenstelling.

Omdat het aantal monsters groot is, zijn de monsters per periode gemiddeld. De soorten zijn samengevoegd tot ecologische groepen. Duidelijk is te zien dat de doelsoorten vooral in de monsters van 1920 veel voorkomen. Door de sterke verzuring waren ze rond 1975 grotendeels vervangen door de verzuringsindicator. Net als andere, veel voorkomende soortengroepen, ligt deze aan de rand van het diagram. Waar de verzuringsindicator aanwezig is, zijn de ionenconcentraties hoog en is de pH laag, zoals uit de richting van de pijlen kan worden afgeleid. De eutrafente zuurwatersoorten vormen een derde hoekpunt van het diagram. Zij komen vooral voor in de meest recente monsters. De richting van de pijlen indiceert dat deze soorten het vooral goed doen bij verhoogde fosfaatconcentraties (door verhoogde afbraak van organische stof in wat minder zure omstandigheden). De ubiquisten en

soorten uit alledaagse, voedselrijke wateren zijn minder talrijk en liggen daardoor meer in het centrum van het diagram. Halverwege de doelsoorten en de eutrafente zuurwatersoorten liggen de triviale soorten uit zure wateren. Opvallend is dat stikstofcomponenten hier geen directe relatie hebben met de soortensamenstelling, maar indirect waarschijnlijk wel, als gevolg van nitrificatie en opvolgende denitrificatie. Hierbij wordt veel organisch materiaal afgebroken, waarbij onder andere fosfaat vrijkomt.

Hoewel in de meest recente monsters de diversiteit en de kwaliteit weer toenemen, blijkt dat de afname van de zure depositie wel verbeteringen geeft in de vennen, maar dat de oude situatie hiermee niet wordt hersteld.

Conclusies

De chemische toestand van de vennen, met name de alkaliniteit, is vooral door de afname van de depositie van zwavelverbindingen verbeterd. De daling van de depositie van ammonium en nitraat is nog veel te gering voor een duurzame instandhouding van venecosystemen. De sterke zwavelreductie en denitrificatie veroorzaken afbraak van organische stof. De toename van de temperatuur zal bijdragen aan versterkte sulfatreductie en denitrificatie. Daardoor neemt het gehalte aan opgeloste organische koolstofverbindingen (humuszuren) en nutriënten als fosfaat toe (interne eutrofiering).

De soortensamenstelling van de kiezelwieren is wezenlijk verbeterd ten opzichte van het hoogtepunt van de verzuring rond 1980, maar is door waarschijnlijk door de nog altijd verhoogde voedselrijkdom wezenlijk verschillend van die rond 1920.

Er zijn weinig beheermaatregelen te

bedenken anders dan het verminderen van de atmosferische depositie. Het maken van een struik- en bosvrije strook van ten minste enkele tientallen meters breed langs de vennen kan misschien enig soulaas bieden. Het verwijderen van nutriënten uit geïsoleerde vennen (baggeren) levert pas blijvend succes op als de depositie van stikstofverbindingen zeer aanzienlijk daalt.

LITERATUUR

- 1) Bobbink R., E. Brouwer, J. ten Hoopen en E. Dorland (2004). Herstelbeheer in het heidelandschap: effectiviteit, knelpunten en duurzaamheid. In 'Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit: 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur' van G. van Duinen (red.). Rapport EC-LNV 2004/305, pag. 33-70. Expertisecentrum LNV.
- 2) Arts G. en H. van Dam (2002). Nederlandse vennen in de problemen: gevoelig voor eutrofiering, vermessing en verzuring. Boombiad nr. 6, pag. 12-13.
- 3) De Ruiters J., W. van Pul, J. van Jaarsveld en E. Buijsman (2006). Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981-2002. Rapport 500037005/2006. Milieu- en Natuurplanbureau.
- 4) Van Dam H. (1997). Vennen herstellen zich gedeeltelijk van verzuring. H₂O pag. 366-370, 361.
- 5) Van Dam H. en A. Mertens (2008). Monitoring van vennen 1978-2006: effecten van klimaatverandering en vermindering van verzuring. Rapport 202542. Grontmij/AquaSense. Rapport 606. Adviseur Water en Natuur. (www.library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/lang/1866010).
- 6) KNMI/RIVM (1979-1988). Jaarrapporten chemische samenstelling van de neerslag over Nederland. Vanaf 1989 ongepubliceerde gegevens RIVM.
- 7) Wortelboer F. (1998). Modelling the effect of atmospheric deposition on shallow heathland lakes in the Netherlands: dry deposition on water: now you see it, now you don't. Environmental Pollution nr. 102, pag. 539-546.
- 8) Arts G., P. van Beers, J. Belgers en F. Wortelboer (2001). Gedifferentieerde normstelling voor nutriënten in vennen: onderbouwing en toetsing van kritische depositieniveaus en effecten van herstelmaatregelen op het voorkomen van isoetiden. Alterra. Rapport 262.
- 9) Saunders D. en J. Kalf (2001). Denitrification rates in the sediments of Lake Memphremagog, Canada. Water Research nr. 35, pag. 1897-1904.
- 10) Skjelkvåle B., J. Stoddard, D. Jeffries, K. Torseth, T. Hogåsen, J. Bowman, J., Mannio, D. Monteith, R. Mosello, M. Rogora, D., Rzychon, J. Vesely, J. Wieting, A. Wilander en A. Worsztynowicz (2005). Regional scale evidence for improvements in surface water chemistry 1990-2001. Environmental Pollution nr. 137, pag. 165-176.
- 11) Ter Braak C. en H. van Dam (1989). Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. Hydrobiologia nr. 178, pag. 209-223.
- 12) Van der Molen D. (red.) (2004). Referenties en concept-maatlatten voor meren voor de Kaderrichtlijn Water. STOWA. Rapport 2004/42.
- 13) Ter Braak C. en P. Smilauer (2002). CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: soft-ware for canonical community ordination (version 4.5). Biometris.

Microscopische opname van de doelsoort *Neidium densestriatum* (foto: A. Mertens).

