

Herman van Dam & Adrienne Mertens

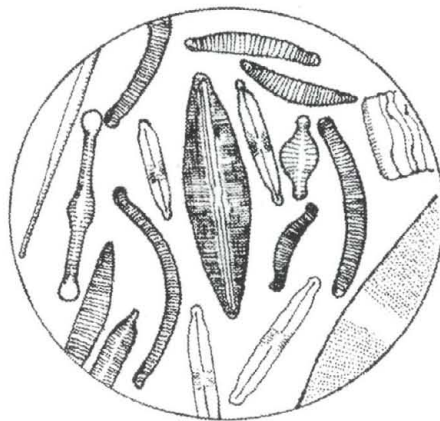
Vennen in weer en wind: lange-termijneffecten van verzuring en klimaatsverandering op chemie en kiezelwieren

De meeste Nederlandse vennen zijn voor hun voeding geheel of grotendeels afhankelijk van de neerslag. In de jaren tachtig hebben verandering van de samenstelling van de neerslag en de verzurende en vermestende effecten daarvan op deze bijzondere en kwetsbare ecosystemen veel aandacht gehad. In de jaren negentig lag het accent op maatregelen daartegen. Uit jarenlange waarnemingen in een aantal vennen blijkt dat ook de stijgingen van de hoeveelheid neerslag en de temperatuur grote effecten hebben op de chemie van het venwater en de daarin voorkomende kiezelwieren.

Al ruim 25 jaar is bekend dat veel Nederlandse vennen zijn verzuurd door droge en natte (potentieel) verzurende atmosferische depositie, ofwel 'zure neerslag'. Sindsdien is daar veel aandacht aan besteed in onderzoek en beheer (o.a. van Dam & Buskens, 1993; Brouwer, 2001; Arts et al., 2002).

Vennen hebben belangrijke natuurwaarden, o.a. door de aanwezigheid van bijzondere soorten waterplanten en -dieren. Kenmerkend voor de waterchemie is de lage alkaliniteit. Dat wil zeggen dat vennen arm zijn aan stoffen als bicarbonaten, die als buffer tegen verzuring kunnen fungeren. De biologische toestand van de vennen is als een graadmeter voor effecten van verzuring op de natuur in het algemeen te beschouwen. Daarom werd in 1978 een lange-termijnonderzoek begonnen naar de biologische en chemische veranderingen die zich in het verleden hebben afgespeeld en zich nog steeds voordoen.

Het doel is om deze veranderingen in verband te brengen met veranderingen in



Kieselwieren onder het microscoop, circa 1000 x vergroot (tekening: H. van Dam).

externe beïnvloeding, met name de verontreiniging door 'zure neerslag'. De toestand in de bestudeerde vennen kan dienen als referentie voor de toestand in andere vennen.

Als biologische indicatoren voor de verzuring dienen hier vooral de diatomeeën of kiezelwieren. Dit zijn microscopisch kleine plantjes met een verkieselde celwand, die uit losse schaalhelften bestaat. Ze komen vrij zwevend als plankton in het water voor, als bruin gekleurd aangroei op waterplanten en beschoeiingen of in de bovenste laag bodemmodder. De soorten zijn goed te determineren en de milieu-eisen, vooral met betrekking tot de zuurgraad zijn goed bekend (van Dam & Arts, 1993; van Dam et al., 1994).

Al eerder werd in dit tijdschrift over de ontwikkelingen tot 1990 geschreven en was er het vermoeden dat de situatie in de vennen zou verslechteren als gevolg van toename van droge zomers (van Dam & Mertens, 1990). Het onderzoek is sindsdien voortgezet en uitgebreid gerapporteerd (o.a. AquaSense, 2003). Dit artikel vat de recente ontwikkelingen samen.

Onderzoeksopzet

Er werden 11 vennen in Drenthe, Noord-Brabant en op de Veluwe uitgekozen (tabel 1, fig. 1). De Kempesfles ligt zeer geïsoleerd in een militair oefenterrein. De andere locaties zijn geheel of gedeeltelijk eigendom van natuurbeheerders. Alle vennen worden geheel door regenwater en soms ook in zeer geringe mate door lokale kwel gevoed, zoals de meeste Nederlandse vennen (Arts et al., 2002).

Alle locaties werden zoveel mogelijk elke vier jaar in de herfst bemonsterd op chemie en kiezelwieren vanaf 1978 tot en met 2002. De drie intensief bestudeerde vennen (Gerritsfles, Kliplo en Achterste Goorven) werden jaarlijks in elk seizoen chemisch bemonsterd en elk half jaar op kiezelwieren. Tevens werd hier steeds de waterstand gepeild.

Bij de start van het onderzoek werd er vanuit gegaan dat er nooit sprake is geweest van sterke menselijke beïnvloeding van deze vennen, maar later is gebleken dat de intensief bemonsterde vennen vooral in de 19e eeuw enigszins geëutrofiëerd danwel gebufferd en wat minder zuur zijn geworden door bijvoorbeeld het gebruik als eendenkooi, schapenwasplaats of door toevoer van landbouwwater.

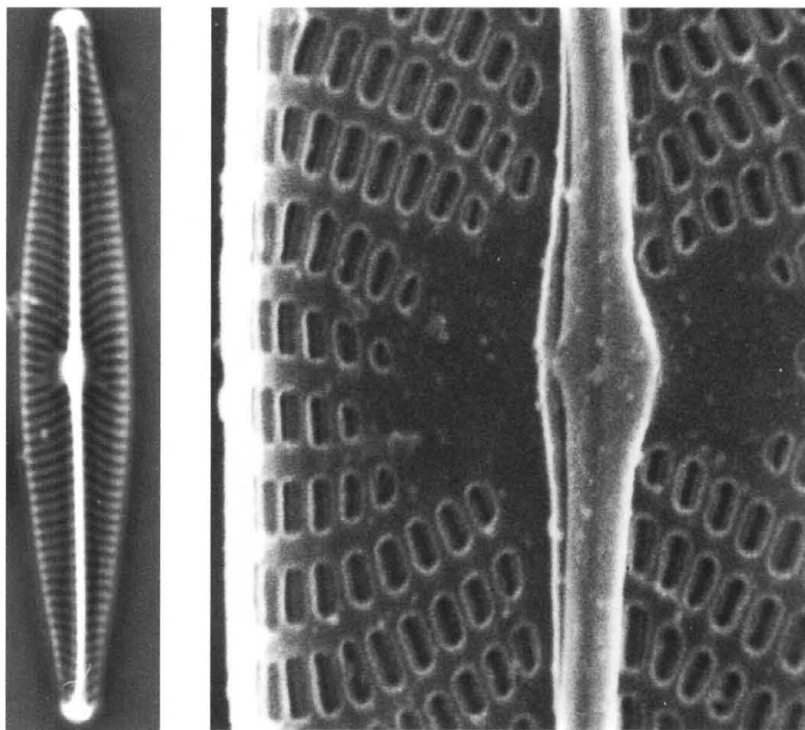
In het Diepveen en het Ven in het Echtenerzand is de waterstand in de jaren tachtig verhoogd. Het Schaapsven is een rommelig ven, waarin mens en hond wel eens een verfrissende duik nemen en waar ook andere tekenen van lichte eutrofiëring zijn. Volgens literatuuronderzoek en opgaven van de beheerders worden rond alle vennen wel eens beheermaatregelen uitgevoerd, zoals het verwijderen van opslag.

Van alle locaties zijn als referentie kiezelwierenmonsters uit de jaren twintig beschikbaar en in een aantal gevallen zijn er ook oude chemische gegevens.

De doelsoort *Navicula heimansii* door het lichtmicroscop (links) en een uitvergroot fragment door het scanning elektronenmicroscop (rechts) (foto's: H. Kooijman-van-Blokland).



Fig. 1. Ligging van de drie onderzoeksgebieden.



Warmer en natter

Het weer, in het bijzonder de variatie in neerslag en verdamping, is een drijvende kracht voor de chemie van het venwater en daarmee de levensgemeenschappen. De twaalf warmste jaren sinds 1980 vallen na 1988. Sinds 1998 is vrijwel elk jaar warmer dan normaal (fig. 2). De laatste decennia van de 20^e eeuw zijn in verhouding erg nat geweest, vooral door toename van de winterneerslag. 1998 is het natste jaar van de 20^e eeuw. Niettemin zijn er ook droge jaren, zoals 1976, 1989, 1991 en 1996 (Können, 1999; Baede, 2003).

Depositie en watersamenstelling

Zwavel- en stikstofverbindingen zijn belangrijke componenten van luchtverontreiniging. Zwavel komt voornamelijk vrij als zwaveldioxide bij de verbranding van fossiele brandstoffen, zoals kolen en olie. Stikstofverbindingen komen als oxiden o.a. vrij in automotoren en als ammoniak in het boerenbedrijf.

De depositie is niet alleen afhankelijk van de samenstelling van de neerslag, maar ook van andere factoren, zoals de venoppervlakte, de aard van de oeverbegroeiing en de mate van expositie aan de wind (aan- of afwezigheid van bos) (Wortelboer, 1998). In tabel 1 staan de deposities van de vennen in 1997. Tevens zijn de kritische depositieniveaus vermeld. Beneden deze niveaus treden geen verzurende en eutrofiërende effecten op voor 95% van de soorten (Arts et al., 2002).

Gemiddeld zijn de deposities in het noorden lager dan in het zuiden. De deposities zijn in alle gevallen hoger dan de kritische depositieniveaus, hoewel de zwaveldepositie in de Drentse vennen bij het huidige beleid uiterlijk in 2010 beneden de kritische grens zal liggen.

De depositieniveaus binnen de regio's vertonen grote verschillen, die samenhangen met de omgeving van de vennen. Het Achterste Goorven ligt erg beschermd door de lange, smalle vorm en doordat het bos vrijwel overal tot vlak op de oever staat

(foto op pag. 18). Daardoor is de concentratie van stikstof hier erg hoog.

De concentraties sulfaat, ammonium en nitraat gemeten in de neerslag bij het dichtstbijzijnde meetstation te Gilze-Rijen staan in figuur 2 uitgezet voor de periode 1978-2000. Vergelijkbare gegevens zijn er ook voor de andere vennen. Voor sulfaat is de natte depositie tussen 1978 en 2000 meer dan gehalveerd. In Gilze-Rijen (vlakbij het Achterste Goorven) is er een afname van waarden rond 650 tot 300 mol h⁻¹ j⁻¹. De zwavelverbin-

Regio	Gemeente	Beheerder	Type	Ven	Gem. opp (ha)	Max. diepte (m)	Stikstofdep. (mol ha ⁻¹ j ⁻¹)	Zwaveldep. (mol ha ⁻¹ j ⁻¹)
Drenthe	Dwingeloo	SBB	M26	<i>Kliplo</i>	0.5	1.1	1161	349
	Dwingeloo	SBB	M26	Diepveen	0.8	1.2	1163	349
	Dwingeloo	SBB	M26	Poort 2	0.02	1.3	1150	349
	Ruinen	SBB	M26	Ven Echtenerzand	0.2	>1	1242	370
Veluwe	Apeldoorn	SBB	M12	<i>Geritsfles</i>	6.8	1.2	1430	452
	Ede	Def.	M13	Kempesfles	0.9	1.0	1315	452
	Ede	HV	M12	Deelense Was	0.5	1.3	1394	510
Brabant	Oisterwijk	NM	M12	<i>Achterste Goorven</i>	2.4	1.9	2715	502
	Boxtel	NM	M12	Groot Huisven	3.4	1.7	1458	583
	Oisterwijk	NM	M13	Wolfspuiven	0.7	0.6	1581	643
	Berkel-Enschot	BL	M12	Schaapsven	1.6	1.0	1751	578
					Gemiddelde 11 vennen	1.6	1.3	1615
				Landsgemiddelde	-	-	2309	460
				Kritisch depositieniveau			<713	<400

Tabel 1. Onderzochte locaties met de depositie van zwavel- en stikstofverbindingen in 1997 volgens Arts et al. (2002). Intensief bemonsterde vennen cursief.

Beheerders: BL = Brabants Landschap, Def. = Ministerie van Defensie, HV = Nationale Park 'De Hoge Veluwe', NM = Vereniging Natuurmonumenten, SBB = Staatsbosbeheer. Watertypes conform Elbersen et al. (2002): M12 = ondiepe, zwak gebufferde plassen, M13 = ondiepe, zure plassen, M26 = ondiepe, zwak gebufferde hoogveenplassen.

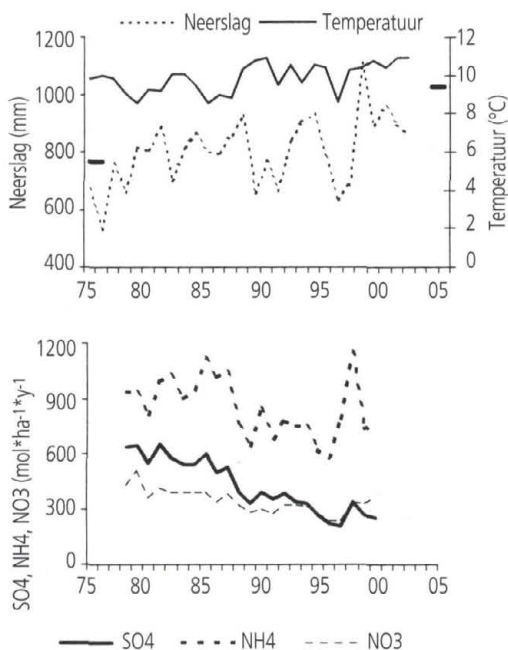


Fig. 2. Boven: Verloop van de jaarlijkse gemiddelde neerslaghoeveelheid en temperatuur te De Bilt sinds 1975. De streepjes langs de verticale assen zijn de gemiddelde neerslag en temperatuur (1901-2002). Gegevens uit Können (1999) en jaarrapporten KNMI 1999-2002 (www.knmi.nl). Onder: Depositie van sulfaat, ammonium en nitraat in de neerslag te Gilze-Rijen (gegevens RIVM).

zijn sterk afhankelijk van de temperatuur en worden bevorderd door de recente stijgingen van de zomertemperatuur.

De stikstofverbindingen komen in de meeste vennen vooral in de vorm van ammonium voor. Ammonium daalt in alle vennen significant ($p < 0,001$) van 36 mmol m^{-3} in 1978 tot 4 mmol m^{-3} in 2002 (fig. 3). Dat is na verdunningscorrectie gemiddeld een afname van $0,8 \text{ mmol m}^{-3} \text{ j}^{-1}$. De verschillen tussen de vennen zijn echter zeer groot. De hoogste waarden worden vooral in de jaren tachtig gemeten, met name in het Achterste Goorven.

Er zijn niet veel vergelijkbare getallen uit het buitenland, omdat daar stikstof in verzuringsgevoelige wateren vooral als nitraat aanwezig is. De afname daarvan bedraagt meestal $\leq 0,1 \text{ mmol m}^{-3} \text{ j}^{-1}$, maar waarden dicht onder $1 \text{ mmol m}^{-3} \text{ j}^{-1}$ zijn aangetroffen in zuidelijk Noorwegen, Duitsland, Slowakije en Tsjechië (Evans et al., 2001).

dingen die via de regen en de lucht in de vennen terecht komen zijn in het water vooral opgelost als sulfaat terug te vinden. In de jaren voor 1978 hadden zich door reductie van met de neerslag aangevoerde zwavelverbindingen veel sulfiden in de venbodem opgehoopt (van Dam & Mertens, 1990). Tijdens de extreme droogte van 1976 vielen de meeste vennen grotendeels droog en werden de sulfiden geoxideerd tot zwavelzuur. Daardoor namen de sulfaatconcentraties plotsklaps sterk toe. Na 1978 is er een sterke afname van sulfaat (fig. 3). Door lage waterstanden in 1990 en 1996 worden er incidenteel nog hogere concentraties gemeten, maar de concentratie steeg niet meer zo hoog: enerzijds een gevolg van uitputting van sulfiden in de bodem, anderzijds waarschijnlijk van versnelde sulfaatreductie door hoge zomertemperaturen.

De snelheid van de sulfaatafname over de afgelopen 24 jaar in alle vennen bedraagt na correctie voor toename van de hoeveelheid neerslag $4,8 \text{ mmol m}^{-3} \text{ j}^{-1}$. Dat is zeer hoog in vergelijking met de snelheden van rond de $2 \text{ mmol m}^{-3} \text{ j}^{-1}$ die elders in Europa worden gevonden (Evans et al., 2001; Skjelkvåle et al., 2001). Dit verschil hangt vermoedelijk samen met de ondiepe Nederlandse vennen in vergelijking met de buitenlandse meren.

Ammonium wordt door nitrificerende bacteriën in vennen omgezet in nitraat, dat door denitrificerende bacteriën kan worden omgezet in stikstofgas, dat ontsnapt naar de atmosfeer. Deze processen

De resultante van al deze processen is een toename van de alkaliniteit (voornamelijk bicarbonaat) (fig. 3).

De gemiddelde stijging in alle vennen is na verdunningscorrectie $3,2 \text{ meq m}^{-3} \text{ j}^{-1}$, hetgeen goed overeenkomt met sommige wateren in Scandinavië en Tsjechië en hetgeen hoger is dan in bijvoorbeeld Duitsland en Slowakije (Evans et al., 2001; Skjelkvåle et al., 2001).

De pH is sterk gecorreleerd met de alkaliniteit; de pH neemt significant ($p < 0,005$) toe van 4,3 in 1978 tot 5,1 in 1986 en blijft daarna hangen op waarden rond 5.

Gevolgen voor kiezelwieren

De monsters werden genomen met een planktonnet, dat niet alleen door de vrije waterlaag werd getrokken, maar ook over de bodem en tussen waterplanten door, zoals dat ook al in het begin van de 20e eeuw gebeurde (van Dam & Mertens, 1990).

Van elk monster werd een preparaat gemaakt, nadat het organisch materiaal was verwijderd. Onder het microscoop werden 400 schaalhelften van kiezelwieren gedetermineerd en geteld. Bij de verdere berekening werden de 400 schaalhelften op 100% gesteld.

De zuurgraad (pH) van het water waaruit het getelde monster was genomen, werd berekend als het gewogen gemiddelde van de zuurgraadoptima van de aangetroffen soorten (ter Braak & van Dam,

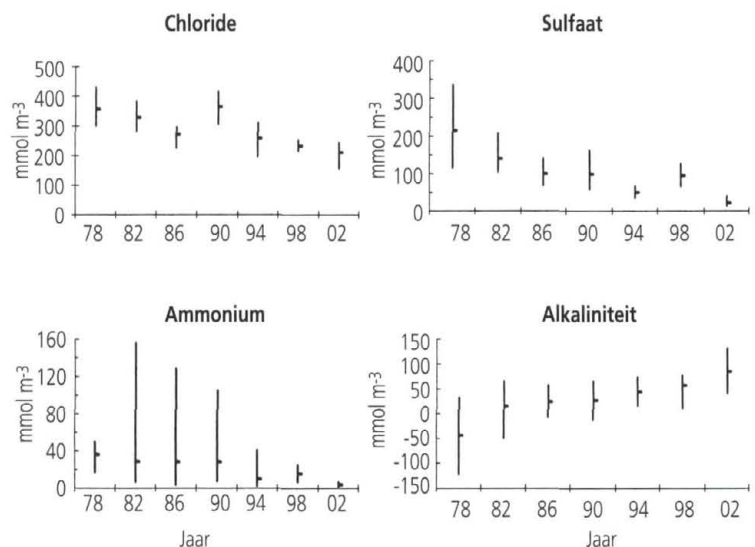
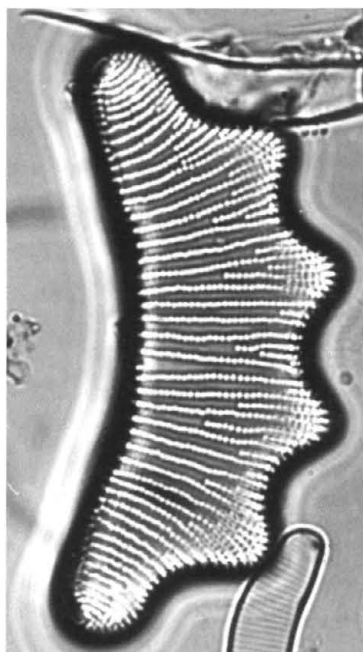


Fig. 3. Veranderingen van enkele milieuvariabelen over 24 jaar in 11 vennen. Chloride wordt niet of nauwelijks opgenomen door planten en dieren en is daarom een goede indicator voor veranderingen in het neerslagoverschot. Voor chloride en alkaliniteit zijn rekenkundige regressiegemiddelden gebruikt, voor ammonium en sulfaat meetkundige regressiegemiddelden. De verticale lijnen verbinden de 25- met de 75-percentielwaarden.



Boven: de doelsoort *Eunotia robusta*,
onder: de verzuringsindicator *Eunotia exigua*
onder het lichtmicroscop (foto's: A. Mertens).

1989). Ter vergelijking met de situatie tussen 1978-2002 werden ook tellingen uitgevoerd in monsters die bij eerdere onderzoeken vanaf 1916 tot en met 1977 in deze vennen zijn genomen en in oude planktoncollecties werden aangetroffen (van Dam & Mertens, 1990). In totaal waren er 251 historische en recente monsters beschikbaar, waarin 180 soorten werden gevonden.

Het aantal kwantitatief belangrijke soorten is gering. Meer dan 95% van de aangetroffen individuen behoort tot de 16 soorten uit tabel 2. Het zijn soorten die op en tussen allerlei substraten leven en niet in het vrije water als plankton. De soorten zijn ingedeeld in vier ecologische groepen. Het belangrijkste zijn de doelsoorten; dit zijn de positieve indicatoren waar het in zwak gebufferde wateren om gaat en waarin de specifieke waarde van vennen tot uiting komt. De aanwezigheid van de verzuringsindicator (*Eunotia exigua*) kan als een negatief signaal worden beschouwd, evenals de aanwezigheid van trofie- en storingsindicatoren.

Uit tabel 2 blijkt dat tussen de periode rond 1920 en de periode 1978 - 2002 de verzuringsindicatoren sterk zijn toegenomen, ten koste van de doelsoorten. Sommige doelsoorten, zoals *Tabellaria binalis* zijn zelfs uit de tellingen verdwenen. De soort komt voor op kale zandbodems van Oeverkruidvennen, die in verzuurde vennen met veenmossen en detritus zijn overdekt.

In figuur 4 is het verloop van de drie belangrijkste ecologische groepen van ca 1920 tot 2002 in alle 11 vennen uitgezet, samen met de zuurgraad, zoals die uit de diatomeeën is berekend.

De afname van de berekende pH tussen 1920 en 1978 is vooral het gevolg van de significante ($p < 0,001$) toename van de verzuringsindicator (*Eunotia exigua*) in deze periode. Na 1978 neemt deze soort vrijwel van jaar op jaar (behalve van 1994 naar 1998) significant af. De tijdelijke verhoging in 1998 is nog een nawee van de droge periode 1995-1996, toen in sommige vennen de sulfaatconcentratie tijdelijk was verhoogd (fig. 3). De afname van *E. exigua* na 1978 gaat gepaard met een significante ($p < 0,005$) toename van de gewone soorten uit zuur water. In 1994 en 2002 zijn er significant ($p < 0,01$) meer doelsoorten dan in 1978.

Kwaliteit

De Europese Kaderrichtlijn Water (EU-KRW, 2000) eist van de lidstaten dat de kwaliteit van waterlichamen regelmatig wordt gerapporteerd op een schaal met de vijf klassen: zeer goed, goed, matig, ontoereikend en slecht. In 2015 moet de toestand van alle wateren voldoen aan de eisen van de KRW: de kwaliteit moet dan in de klassen goed of zeer goed vallen.

Door Arts et al. (2002) zijn voorlopige klassenindelingen gemaakt voor de beoordeling van de ecologische kwaliteit

Ecologische groep	Toelichting	Soort	pH-optimum	Gemidd. procent. hoeveel.	
				1916-'33	1978-2002
Verzuringsfactoren	Soorten uit verzuurde wateren	<i>Eunotia exigua</i>	4.1	7	36
Gewone soorten	Gewone soorten uit onverstoorde vennen	<i>Frustulia saxonica</i> + <i>F. crassinervia</i>	4.2	18	14
		<i>Eunotia incisa</i>	5.0	19	7
		<i>Eunotia bilunaris</i>	4.3	11	4
		<i>Tabellaria quadrisepata</i>	4.6	6	7
		<i>Eunotia rhomboidea</i>	4.9	2	11
Doelsoorten	Soorten die vooral in (zeer) zwak gebufferde wateren voorkomen en vaak zeldzaam zijn in Nederland en de rest van Europa. In deze soorten komt de specifieke natuurwaarde van vennen tot uiting.	<i>Navicula subtilissima</i> -groep	4.0	8	5
		<i>Eunotia naegelii</i>	4.2	4	7
		<i>Tabellaria binalis</i>	-	6	-
		<i>Tabellaria flocculosa</i>	5.0	4	2
		<i>Navicula heimansii</i> + <i>N. heimansioides</i>	5.9	2	1
		<i>Eunotia denticulata</i>	-	2	0
Achnanthes minutissima	Algemeenste soort zoetwaterdistomee ter wereld, die in veel verschillende soorten oppervlaktewateren voorkomt.	<i>Achnanthes minutissima</i>	6.8	2	0
		<i>Anomoeoneis vitrea</i> fo. <i>lanceolata</i>	5.9	1	1
Trofie- en storingsindicatoren	Algemene soorten uit voedselrijke en organisch verontreinigde wateren	<i>Nitzschia gracilis</i>	-	1	0
		<i>Gomphonema parvulum</i>	5.1	1	0

Tabel 2. Gemiddelde procentuele hoeveelheden van de meest belangrijke soorten kiezelwieren in oude en recente monsters. De pH-optima zijn ontleend aan ter Braak & van Dam (1989). De soorten zijn ingedeeld in ecologische groepen (van Dam & Arts, 1993).

Fig. 4. Langetermijnveranderingen van gemiddelde waarden van de met kiezelwieren berekende pH en belangrijkste ecologische groepen in 11 vennen.

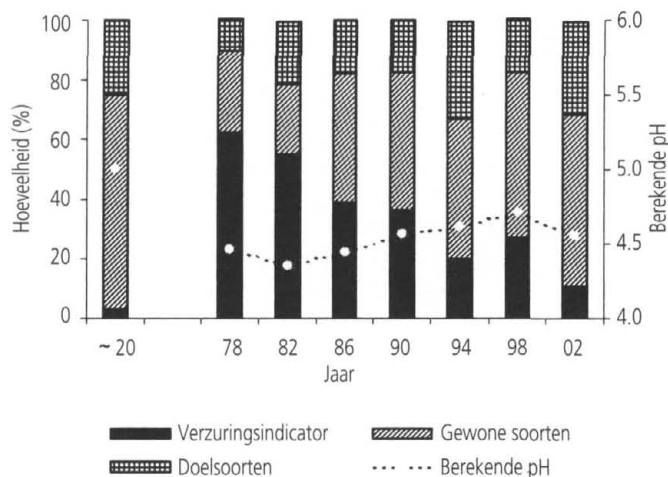
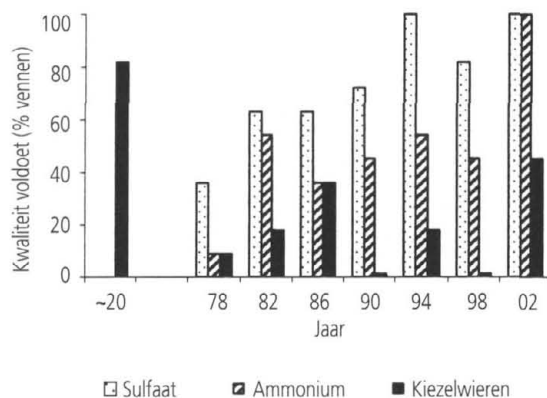


Fig. 5. Percentage van de onderzochte vennen dat voor drie verschillende ecosysteemkenmerken volgens Arts et al. (2002) voldoet aan de eisen van de Europese Kaderrichtlijn Water.



van vennen, gebaseerd op de soortensamenstelling van hogere planten en mossen, kiezelwieren, en de concentraties van sulfaat en voedingsstoffen (ammonium). Voor sulfaat voldoet het water aan de eisen als de concentratie onder de 10 mg l^{-1} (104 mmol m^{-3}) ligt en voor ammonium als de concentratie hiervan niet meer dan $0,2 \text{ mg l}^{-1}$ ($14,2 \text{ mmol m}^{-3}$) bedraagt. Voor de kiezelwieren is een klassenindeling gemaakt waarbij geringe hoeveelheden van de verzuringsindicator en grote hoeveelheden doelsoorten wijzen op een (zeer) goede kwaliteit.

Bij het begin van de systematische waarnemingen, in 1978, voldeed maar 36% van de onderzochte locaties voor sulfaat aan de eisen van de KRW (fig. 5). In 1994 was dit gestegen tot 100%. Na de droogte rond 1996 was er in 1998 een kleine teruggang, maar in 2002 voldeed 100% van de locaties aan de eisen. Voor ammonium had in 1978 slechts 9% van de locaties (1 ven) voldoende kwaliteit. Na dit jaar steeg het aantal vennen met voldoende kwaliteit in 1982 tot iets minder dan de helft in de periode 1982-1998. In 2002 voldeden alle vennen aan de eisen voor ammonium.

Voor de kiezelwieren voldeed in 1978 maar 9% aan de eisen. In 1986 was dit percentage opgelopen tot 36, maar daarna vond weer een terugval plaats. In 1990 en 1998 waren er geen vennen met voldoende kwaliteit voor de kiezelwieren. Pas in 2002 was er weer een aanmerkelijke verbetering, toen 45% voldoende kwaliteit had. Dit is echter nog steeds veel lager dan rond 1920, toen 82% van de locaties voldeed aan de eisen. De paar vennen die toen al onvoldoende scoorden voor de kiezelwieren waren min of meer grens-gevallen.

De discrepantie tussen de chemische kwaliteit en de door de kiezelwieren aangegeven kwaliteit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat de samenstelling van de kiezelwieren ook door andere milieuvariabelen dan sulfaat en ammonium wordt bepaald, zoals zuurgraad, de concentraties van humusstoffen en metalen (o.a. aluminium).

Verdere ontwikkelingen in de vennen

Bij verdere afname van zwavel- en stikstofbelasting mag een verdere verbetering van de chemische en biologische toestand van

de vennen worden verwacht. Dit uit zich snel bij microscopische organismen, die niet een sterke relatie hebben met de samenstelling van de venbodem.

De verbetering zal worden bevorderd door een toename van de omzetsnelheden bij stijging van de temperatuur. Een toename van de frequentie van droge zomers kan daarbij schadelijk zijn. Klimaatmodellen voorspellen een toename van de neerslag in het winterhalfjaar. Hierdoor zal de uitspoeling uit de vennen toenemen en de concentratie van door atmosferische depositie aangevoerde stoffen in de vennen afnemen.

In welke mate dat werkelijk het geval zal zijn zal nog moeten blijken. Daarom is het noodzakelijk om de ontwikkelingen te volgen. Zo schreven wij in 1990 in dit tijdschrift dat de toestand van de vennen zou verslechteren door toename van de frequentie van droge zomers. Uit de metingen sindsdien blijkt dat dit althans deels wordt gecompenseerd door een toename van de winterneerslag en de hogere jaartemperaturen. Dit kan aanleiding zijn om bijvoorbeeld de huidige kritische depositieniveaus nog eens onder de loep te nemen.

Het hier gepresenteerde monitoringsnetwerk biedt een uitstekend kader om de toekomstige ontwikkelingen te volgen en sluit aan op vergelijkbaar werk in andere landen (Kvaeven et al., 2001). Voor een adequate voortzetting van het meetnet is dan echter wel een permanente financiering van de werkzaamheden noodzakelijk.

Literatuur

- AquaSense, 2003.** Monitoring vennen 1978-2002: effecten van klimaatsverandering en vermindering van verzuring. In opdracht van: Ministerie van VROM, Waterschap Reest & Wieden, Waterschap Veluwe en Waterschap Vallei en Eem. Amsterdam (te raadplegen op <http://www.aquasense.nl/leaflets/1780rap.pdf>).
- Arts, G.H.P., H. van Dam, F.G. Wortelboer, P.W.M. van Beers & J.D.M. Belgers, 2002.** De toestand van het Nederlandse ven. In opdracht van: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Klimaatverandering en Industrie. Alterra-rapport 542 / AquaSense-rapport 02.1715. Alterra, Wageningen / AquaSense, Amsterdam / RIVM, Bilthoven.
- Baede, A.P.M., 2003.** Klimaatsveranderingen in Nederland. De Levende Natuur 104 (3): 70-74.
- Braak, C.J.F. ter & H. van Dam, 1989.** Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods. *Hydrobiologia* 178: 209-223.
- Brouwer, E., 2001.** Restoration of atlantic softwater lakes and perspectives for characteristic macrophytes. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.



Door de langgerekte vorm en het bos tot aan de venrand is de depositie van stikstof- en zwavelverbindingen op het Achterste Goorven erg hoog (foto: KLM Luchtfotografie, okt. 1992).

Dam, H. van & A. Mertens, 1990. Lange-termijnonderzoek naar verzuring van vennen. De Levende Natuur 91 (5): 184-192.

Dam, H. van & G.H.P. Arts, 1993. Ecologische veranderingen in Drentse vennen sinds 1900 door menselijke beïnvloeding en beheer. Provincie Drenthe / DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek / Grontmij Advies en Techniek, Assen, Leersum, De Bilt.

Dam, H. van & R.F.M. Buskens, 1993. Ecology and management of moorland pools: balancing acidification and eutrophication. *Hydrobiologia* 265: 225-263.

Dam, H. van, A. Mertens & J. Sinkeldam, 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from The Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 117-131.

Elbersen, J.W.H., P.F.M. Verdonchot, B. Roels & J.G. Hartholt, 2002. Definitiestudie KaderRichtlijn Water (KRW). I. Typologie Nederlandse oppervlaktewateren. Rapport 669. Alterra, Wageningen.

EU-KRW, 2000. Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Europese Unie, Brussel.

Evans, C.D., Cullen, C. Alewell, J. Kopáček, A. Marchetto, F. Moldan, A. Prechtel, M. Rogora, J.

Vesely & R. Wright, 2001. Recovery from acidification in European surface waters. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 5: 283-297.

Können, G.P. (red.), 1999. De toestand van het klimaat in Nederland 1999. KNMI, De Bilt.

Kvaeven, B., M.J. Ulstein, B.L. Skjelkvåle, G.R. Raddum & H. Hovind, 2001. ICP Waters - an international programme for surface water monitoring. *Water, Air & Soil Poll.* 130: 775-780.

Skjelkvåle, B.L., J. Mannio, A. Wilander & T. Andersen, 2001. Recovery from acidification of lakes in Finland, Norway and Sweden 1990-1999. *Hydrol. Earth Syst. Sc.* 5: 327-337.

Wortelboer, F.G., 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. *Environm. Poll.* 102, S1: 539-546.

Summary

Long-term effects of acidification and climatic change on chemistry and diatoms of low-alkalinity pools

From 1978 through 2002 chemistry and diatoms were sampled regularly in 11 relatively pristine Dutch low-alkalinity pools to establish the effects of decreasing acid atmospheric deposition.

During the period of observation the quantity of precipitation, particularly in winter, was higher than in the previous century. Consequently chloride concentrations in the pools declined from 355 mmol m⁻³ in 1978 to 211 mmol m⁻³ in 2002.

Sulphur and nitrogen deposition declined by about 50 and 20% to average quantities of 1487 and 467 mol ha⁻¹ j⁻¹ respectively. Sulphate concentration in the pools declined from an average of 214 mmol m⁻³ in 1978 to 21 mmol m⁻³ in 2002. Ammonium decreased

from 36 to 4 mmol m⁻³ over the same period. Alkalinity and pH increased from -44 meq m⁻³ and 4.3 in 1978 to 85 meq m⁻³ and 5.0 in 2002 respectively.

These changes are large in comparison with deeper lakes in the rest of Europe. Presumably the large decreases are partly due to increased sulphate reduction, nitrification and denitrification by the extremely high annual temperatures since 1988.

From 1978 to 2002 the relative abundance of the diatom *Eunotia exigua*, which is highly characteristic for acidified lakes, decreased from 60% to 10%, which is still higher than the value of 3% in reference samples taken in 1920 from the same pools. From 1978 to 2002 the relative abundance of species from moderately acid waters increased from 10% to 31%, in comparison with 22% in the reference samples.

In terms of the European Water Framework Directive in 1978 only 9% of the pools had a sufficient (good or very good) ecological water quality. In 2002 water quality was sufficient in 45% of the investigated pools, in comparison with 82% in the reference period.

A further amelioration of water quality can be expected with a continued decrease of atmospheric deposition of nitrogen and sulphur compounds and increased winter precipitation and annual temperatures.

Dankwoord

De terreinbeheerders (tabel 1) verleenden toestemming voor het verrichten van het onderzoek. Het onderzoek werd gefinancierd door het Ministerie van VROM (Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie Klimaatverandering en Industrie), de Ministeries van LNV en Defensie, de Waterschappen Reest & Wieden, Veluwe, Vallei & Eem en De Dommel, de voormalige Zuiveringschappen Drenthe en Veluwe, de Europese Gemeenschap, het Beijerinck-Poppingfonds, de Stichting TAO, AquaSense en de onderzoekers.

Drs. F.G. Wortelboer stelde gegevens over de atmosferische depositie beschikbaar en bekeek de rapportage kritisch. Drs. P.W.M. van Beers, dr. F.W.B. van den Brink, dr. W. Gotjé, dr. R. Riegman, ir. K.H. Sanders en D. Tempelman leverden waardevolle opmerkingen bij concepten van dit artikel.

Dr. H. van Dam & ing. A. Mertens
AquaSense
Postbus 95125
1090 HC Amsterdam
e-mail: herman.vandam@aquasense.nl