

Lange-termijnonderzoek naar verzuring van vennen

H. van Dam &
A. Mertens

Vooraf in vennen waarvan de bodem in extreem droge zomers zoals in 1976 droogvalt, heeft de verzuring door atmosferische depositie een groot effect. Het herstel hiervan duurt vijf tot vijftien jaar. Door het broeikas effect neemt de frequentie van extreem droge jaren waarschijnlijk zodanig toe, dat - bij voortdurende zure neerslag - een gezonde biologische evenwichtstoestand van vennen niet mogelijk zal zijn.

Al meer dan tien jaar is het duidelijk dat veel geïsoleerde Nederlandse vennen zijn verzuurd door droge en natte (potentieel) verzurende atmosferische depositie, ofwel 'zure neerslag'. Dit blijkt onder meer uit de vier proefschriften over dit onderwerp (Van Dam, 1987; Schuurkes, 1987; Leuven, 1988; Arts, 1990).

Vennen hebben belangrijke natuurwaarden, o.a. met betrekking tot de aanwezigheid van bijzondere soorten macroscopische en microscopische waterplanten. Door hun lage alkaliniteit zijn ze bijzonder kwetsbaar voor verzuring. Dat wil zeggen dat ze arm zijn aan stoffen als bicarbonaten, die als buffer tegen verzuring kunnen fungeren. Door deze eigenschappen is de biologische toestand van de vennen als een graadmeter voor de effecten van verzuring op de natuur in het algemeen te beschouwen. Daarom werd in 1979 een lange-termijnonderzoek begonnen naar de biologische en chemische veranderingen, die zich in het verleden hebben afgespeeld en zich thans nog voordoen. Het doel is om deze te volgen en in verband te brengen met veranderingen in externe beïnvloeding, met name de verontreiniging door 'zure neerslag'. De toestand in de intensief bestudeerde vennen kan dienen als referentie voor de toestand in andere ven-



nen, welke meer incidenteel worden bestudeerd.

Als biologische indicatoren voor de verzuring fungeren hier de met het blote oog zichtbare water- en oeverplanten (macrofyten) en vooral de diatomeeën of kiezelwieren. Dit zijn microscopisch kleine plantjes met een verkiezelde celwand, die uit losse schaalhelften bestaat. Sommige soorten zweven vrij in het water (plankton). Andere leven in de bovenste modderlaag van de bodem, als aangroei op waterplanten of als een bruin gekleurde slijmerige bedekking van bijvoorbeeld steigerpalen. In Nederland komen in alle watertypen samen ongeveer duizend soorten voor, waarvan een paar honderd in vennen. De soorten zijn doorgaans goed te determineren en

Fig. 1. J. Heimans met een planktonnet. Hij gebruikte dit net vooral voor het vangen van sialgalen (desmidiaceeën), die niet alleen vrijzwevend in het water (plankton), maar vooral op en tussen waterplanten voorkomen, op dezelfde plaats als de kiezelwieren (diatomeeën). In de flesjes met de oude monsters bevinden zich behalve het plankton vaak ook stukjes van waterplanten en vlokken bodemmodder. J. Heimans hunting desmids.

de milieu-eisen, vooral met betrekking tot de zuurgraad, zijn goed bekend. Internationaal worden ze als de beste indicatoren voor waterverzuring beschouwd (Charles et al., 1989).

Dit artikel is een samenvatting van eerdere rapportages (o.a. Van Dam, 1987; Van Dam & Mertens, 1988), waarnaar wordt verwezen voor details en uit-

gebreide literatuuropgaven, en gegevens betreffende zeer recente ontwikkelingen.

Onderzochte vennen

Het onderzoek werd uitgevoerd in het Achterste Goorven (hierna te noemen Goorven) bij Oisterwijk, de Gerritsfles bij Kootwijk en het ven Kliplo bij Dwingelo, nadat bij oriënterend onderzoek aan monsters uit enkele tientallen vennen in 1975, 1977 en 1978 was gebleken dat dit een reeks van zeer sterk tot nauwelijks verzuurde vennen is. Van deze wateren zijn bovendien relatief veel oude onderzoeksgegevens bekend.

Deze vennen zijn tot ongeveer 1900 door menselijke activiteiten, zoals het wassen van schapen en waterinlaat, beïnvloed (Van Dam, 1987). Daarna was de chemische samenstelling van het oppervlaktewater (vrijwel) uitsluitend afhankelijk van die van het regenwater. Gerritsfles en Kliplo zijn geïsoleerde vennen met een schijngrondwaterspiegel: het water stagneert op een ondoordringbare laag boven het eigenlijke grondwater. Voor het Goorven is dit nog niet met zekerheid aangetoond.

Uit figuur 2 blijkt dat in de extreem droge zomer van 1976 in Goorven, Gerritsfles en Kliplo respectievelijk ongeveer 80, 70 en 20% van de venbodem droog viel.

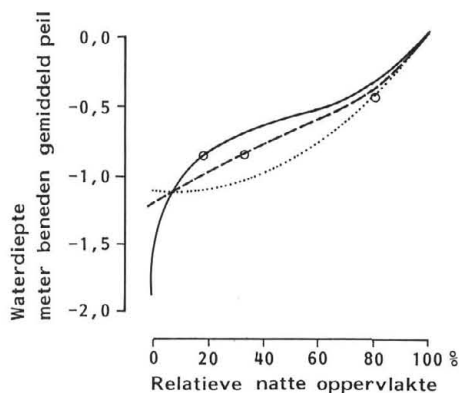


Fig. 2. De waterdiepte op het diepste punt in relatie tot de relatieve oppervlakte van de waterspiegel. De relatieve oppervlakte bij een bepaalde peilstand is honderd maal het quotiënt van de oppervlakte van de waterspiegel bij deze diepte en de oppervlakte van de waterspiegel bij gemiddelde waterdiepte. Het waterpeil in de droge zomer van 1976 is geschat. Getrokken lijn: Goorven; streepjeslijn: Gerritsfles; stippellijn: Kliplo; o: toestand in de zomer van 1976. Plot of water depth against relative area of water surface. Solid line: Goorven; broken line: Gerritsfles; dotted line: Kliplo; o: situation in extremely dry summer of 1976.

Tabel 1. Morfometrische en hydrologische gegevens. Morphometrical and hydrological data.

	Goorven	Gerritsfles	Kliplo
Oppervlakte (ha)	2,4	6,8	0,6
Maximale diepte (m)	1,9	1,2	1,1
Gemiddelde diepte (m)	0,6	0,7	0,8
Retentietijd ^a water (jaar)	0,8	0,8	1,0
Retentietijd chloride (jaar)	5,2	2,3	3,5
Neerslagoverschot ^b (mm.jaar ⁻¹)	63	330	189

a De retentietijd (theoretische verblijftijd) van een stof is gelijk aan de gemiddelde massa van die stof in het ven, gedeeld door de gemiddelde jaarlijks toegevoerde massa van die stof door de neerslag.

b Het neerslagoverschot is gelijk aan $P - f \times E_0$, waarin P de neerslag is en E_0 de verdamping van een open-wateroppervlak, zoals die door het KNMI worden opgegeven. De factor f verschilt voor elk ven en hangt o.a. af van de aanwezigheid van bomen en struiken langs de oever.

Tabel 1 is een samenvatting van enkele belangrijke morfometrische (de vorm betreffende) en hydrologische gegevens. De snelheid waarmee een ven zich van externe storingen, zoals de droogte van 1976, herstelt, hangt samen met de retentietijd. Na een periode van drie maal de retentietijd is ongeveer 95% van de oorspronkelijk aanwezige deeltjes van die stof verwijderd. De retentietijd van zuiver water is korter dan die van chloride, omdat veel water het ven verlaat door verdamping. Chloride, een biologisch en geochemisch nauwelijks actieve stof, verlaat het ven slechts als het met het water in de winter, tijdens een hoog peil, over de ondoordringbare venwand stroomt. Daar het jaarlijkse neerslagoverschot bij het Goorven geringer is dan bij de andere hier besproken vennen, is de retentietijd voor chloride in het Goorven het langst. Stoffen die in het ven biologisch worden afgebroken, zoals sulfaat en nitraat, hebben een kortere verblijftijd dan chloride.

Methoden

De ondergedoken waterplanten werden in september 1984 gekarteerd vanuit een rubberboot. De oeverplanten werden toen vanaf de wal genoteerd. Historische gegevens werden verzameld uit verspreide notities in tijdschriftartikelen, rapporten en ander ongepubliceerd materiaal uit archieven van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer en het Staatsbosbeheer.

Elk kwartaal werden vanaf augustus 1979 tot en met november 1989 monsters genomen voor chemische analyse. De pH, een maat voor de zuurgraad, werd ter plekke in het veld gemeten (pH_v). De overige bepalingen werden verricht in het laboratorium van het

Waterleidingbedrijf Midden-Nederland, volgens de aldaar gebruikelijke methoden. Kliplo werd pas vanaf mei 1981 regelmatig bemonsterd. Voor de periode augustus 1979 - februari 1981 werden resultaten van anderen gebruikt. Oude chemische gegevens, voornamelijk over de pH, werden verkregen uit notitieboekjes van J. Heimans en opgezocht in publikaties en archieven.

Maandmonsters van de neerslag werden opgevangen in de nabijheid van de vennen in 1982-1984 en geanalyseerd in het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

In de verzamelingen van het Hugo de Vries-laboratorium van de Universiteit van Amsterdam, het Limnologisch Instituut te Nieuwersluis en het Rijksinstituut voor Natuurbeheer werden zoveel mogelijk diatomeeënmonsters van vroegere onderzoekers opgespoord, vooral van J. Heimans (fig. 1). Vanaf november 1979 tot en met november 1989 werden elk half jaar monsters genomen met een planktonnet (fig. 3).

Van elk monster werd een preparaat gemaakt, nadat het organisch materiaal eerst met waterstofperoxyde was verwijderd. Onder het microscoop werden 400 schaalhelften van diatomeeën geteld en de procentuele hoeveelheid van elke soort werd berekend. Daarbij werd het aantal van 400 schaalhelften op 100% gesteld. De zuurgraad (pH_d) van het water waaruit het getelde monster was genomen, werd berekend als het gewogen gemiddelde van de zuurgraadopnamen van de aangetroffen soorten (Ter Braak & Van Dam, 1989).

Macrofyten

Bij het interpreteren van de veranderingen in het voorkomen van macrofyten

Fig. 3. H. van Dam neemt een monster met een planktonnet op het vaste bemonsteringspunt in het Goorveen in mei 1987 (foto: Werry Crone).

H. van Dam hunting diatoms.

(tabel 2) moet enige reserve in acht worden genomen, daar de auteurs met de opgaven van vóór 1980 niet voor ogen hadden een kwantitatieve beschrijving te maken.

Niettemin is de vooruitgang van een verzuringsindicator als Knolrus in Goorven en Gerritsfles evident. In Gerritsfles is ook Veenmos toegenomen, ten koste van zeldzame, verzuringsgevoelige soorten als Waterlobelia (*Lobelia dortmanna*) en Moerassmele (*Deschampsia setacea*), die hier vroeger voorkwamen. In Goorven en Gerritsfles zijn soorten uit matig zuur tot neutraal water als Duizendknoopfonteinkruid, Wateraardbei, Drijvende egelskop, Teer vederkruid en Vlottende bies afgenomen of



	Goorven		Gerritsfles		Kliplo	
Van:	1912	1976	1916	1973	1924	1965
Tot:	1959	1984	1958	1984	1958	1984
Soorten van sterk zuur water						
Lange zonnedauw	•	•			•	• <i>Drosera anglica</i>
Ronde zonnedauw	•	•			•	• <i>Drosera rotundifolia</i>
Veelstengelige waterbies	•	•	•	•	•	• <i>Eleocharis multicaulis</i>
Knolrus	•	•	•	•		• <i>Juncus bulbosus</i>
Witte snavelbies	•	•			•	• <i>Rhynchospora alba</i>
Veenmos	•	•	•	•	•	• <i>Sphagnum spec.</i>
Klein blaasjeskruid	•	•	•		•	• <i>Utricularia minor</i>
Soorten van matig zuur water						
Kruipend struisgras	•	•	•	•	•	• <i>Agrostis canina</i>
Snavelzegge	•	•	•	•	•	• <i>Carex rostrata</i>
Veenpluis	•	•	•	•	•	• <i>Eriophorum angustifolium</i>
Waterviel	•	•	•	•	•	• <i>Hydrocotyle vulgaris</i>
Moerashertshooi	•	•				• <i>Hypericum elodes</i>
Pitrus	•	•	•	•	•	• <i>Juncus effusus</i>
Pijpestrootje	•	•	•	•	•	• <i>Molinia caerulea</i>
Gagel	•	•				• <i>Myrica gale</i>
Duizendknoopfontein- kruid	•					• <i>Potamogeton polygoni- folius</i>
Wateraardbei	•		•	•	•	• <i>Potentilla palustris</i>
Drijvende egelskop			•	•	•	• <i>Sparganium angusti- folium</i>
Soorten van zuur tot neutraal water						
Teer vederkruid	•					• <i>Myriophyllum alterni- florum</i>
Drijvend fonteinkruid	•	•	•	•	•	• <i>Potamogeton natans</i>
Vlottende bies	•		•			• <i>Scirpus fluitans</i>
Soorten van zuur tot alkalisch water						
Gewone waterbies	•		•	•		• <i>Eleocharis palustris</i>
Witte waterlelie	•	•				• <i>Nymphaea alba</i>
Riet	•	•			•	• <i>Phragmites australis</i>

Tabel 2. Voornaamste soorten macrofyten in verschillende perioden. •: weinig; •: matig veel; •: veel; •: massaal. De indeling in zuurgraadgroepen is ontleend aan diverse publikaties, o.a. Bloemendaal & Roelofs (1988).

Predominant macrophyte species in different periods. Size of symbol is proportional to estimated abundance (smallest dot: rare species, largest dot: species covering almost whole bottom of pool).

verdwenen. Moerashertshooi, dat rond 1920 zeer uitbundig groeide in het Goorven en er ook in 1976 nog regelmatig voorkwam, is daar thans verdwenen als gevolg van de verzuring.

Na de droogte van 1976 nam de hoeveelheid Knolrus in Gerritsfles en Goorven toe, totdat in 1979 het open water bijna geheel met een rood-groen 'grasveld' was bedekt. De zeer hoge niveaus van vrij koolzuur na de droogte van 1976 bevorderden de fotosynthese van Knolrus, welke koolzuur gemakkelijker dan andere plantensoorten door het blad opneemt (Bloemendaal & Roelofs, 1988). Daarna nam de Knolrus geleidelijk weer af.

In Kliplo zijn de veranderingen minder spectaculair. De Drijvende egelskop kwam hier vroeger veel voor en is in 1984 voor het laatst gesignaleerd. Deze soort is karakteristiek voor voedselarme tot matig voedselarme vennen met een zandige veenmodderbodem in of nabij stuifzanden. Daarentegen nam de hoeveelheid Drijvend fonteinkruid toe, het-

geen op voedselverrijking zou kunnen duiden.

Chemie

Uit tabel 3 blijkt dat de samenstelling van de neerslag bij de vennen representatief is voor die van vennengebieden in heel Nederland. Verder komt de watersamenstelling van Gerritsfles en Goorven in veel opzichten goed overeen met die van het gemiddelde verzuurde Nederlandse ven, zodat mag worden verwacht dat ook de processen in de twee vennen representatief zijn voor de Nederlandse situatie. Het water van Kliplo wijkt af door een relatief hoge pH en alkaliniteit en relatief lage sulfaat- en aluminiumgehalten.

De verschillen in de samenstelling van het venwater zijn veel groter dan die van de neerslag. De chlorideconcentratie is het hoogst in het Goorven, dat de langste retentietijd (verblijftijd) heeft, en het laagst in Gerritsfles, met de

kortste retentietijd.

Voor elke stof kunnen we de concentratie in het ven berekenen voor het geval er geen biologische processen plaatsvinden. Aangenomen dat chloride niet actief is, zou de sulfaatconcentratie in het Goorven gelijk zijn aan het product van de sulfaatconcentratie in de neerslag en het quotiënt van de chlorideconcentratie in het venwater en die in de neerslag ($120 \times 407 / 69 = 708 \mu\text{eq.l}^{-1}$). Daar de gemeten concentratie $492 \mu\text{eq.l}^{-1}$ bedraagt (tabel 3), is er een tekort van $216 \mu\text{eq.l}^{-1}$. Dit komt door bacteriële afbraak van sulfaat en organische stof, waarbij onoplosbare sulfiden en zwavelwaterstofgas worden gevormd. Dit gas heeft de geur van rotte eieren, die vaak is waargenomen bij het doorwaden van de oeverzone van vennen. De sulfiden worden in de bodem opgeslagen. Bij de reductie van $1 \mu\text{eq}$ sulfaat wordt ook $1 \mu\text{eq}$ bicarbonaat gevormd, een bufferstof, die de alkaliniteit en

eventueel ook de pH verhoogt. Uit een dergelijke berekening voor Kliplo blijkt dat daar een zeer sterke sulfaatreductie moet zijn, waardoor de pH hier relatief hoog is.

Nitraat verdwijnt bijna geheel, als gevolg van omzetting in gasvormig stikstof (denitrificatie). Hierbij komt voor $1 \mu\text{eq}$ nitraat ook $1 \mu\text{eq}$ bicarbonaat vrij. De concentraties ammonium zijn in de vennen veel lager dan verwacht op grond van de neerslagsamenstelling. Door het z.g. nitrificatieproces wordt ammonium omgezet in nitraat. Dit kost per μeq ammonium $2 \mu\text{eq}$ bicarbonaat. De opname van $1 \mu\text{eq}$ ammonium door planten, bv. door het Veenmos in Gerritsfles, kost $1 \mu\text{eq}$ bicarbonaat en heeft eveneens een verzurenswerking.

Door de grote toevoer van sulfaat, nitraat en ammonium door de verontreinigde neerslag ontstaat dus een ingewikkeld spel van processen die de pH kunnen verhogen of verlagen, zoals o.a. door Schuurkes (1987) nader wordt uiteengezet.

De concentratie van kalium in venwater is 1,5 tot 4 maal zo groot als de concentratie die uit de neerslagsamenstelling kan worden berekend (tabel 3). Vermoedelijk wordt kalium door de extreem hoge ammoniumdepositie uit de bodem weggespoeld. Dit heeft nu hoge concentraties in het venwater tot gevolg, maar op den duur kan dit uitlogingsproces mogelijk tot kaliumtekorten bij planten leiden.

Uit vergelijking van de gemeten zuurgraad (pH_v) in de periode 1911-1930 met waarnemingen na 1970 blijkt dat vooral Goorven en Gerritsfles zijn verzuurd; voor Kliplo is dit in mindere mate het geval (fig. 4). Het sulfaatgehalte van Goorven en Gerritsfles is in 1911-1930 ongeveer even hoog als na 1985. Ook de kleur van het water in de Gerritsfles is niet veranderd: het water is meestal even kleurloos en helder als leidingwater.

In Kliplo is er geen systematische verandering in pH_v en sulfaatgehalte van 1977 tot 1989 geconstateerd (fig. 4). In de extreem droge zomer van 1976, toen het water nog 80% van de venbodem bedekte (fig. 2), was het sulfaatgehalte erg laag door sterke sulfaatreductie bij hoge temperatuur. Meer dan 70% van de bodem van Gerritsfles en Goorven viel droog. De gereduceerde zwavelverbindingen (sulfiden) in de bodem

	Goorven	Gerritsfles	Kliplo	Nederland
Venwater/poolwater				
Kleur (mg.l^{-1} platina)	23 (2-93)	7 (1-22)	32* (16-45)	- -
Zuurgraad in veld (pH_v)	4,0 (3,5-6,2)	4,1 (3,7-5,5)	4,7 (3,9-7,8)	3,9 (3,3-4,9)
Alkaliniteit ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	29 (0-295)	16 (0-147)	58 (0-262)	16 (0-140)
Ammonium ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	181 (30-493)	94 (4-261)	50 (0-144)	64 (2-480)
Kalium ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	45 (31-84)	33 (15-113)	37 (23-90)	58 (12-230)
Aluminium ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	76 (6-278)	21 (10-89)	15* (7-36)	47 (0-885)
Chloride ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	407 (169-508)	243 (141-353)	313 (254-395)	328 (100-3580)
Nitraat ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	4 (2-13)	8 (2-23)	5 (0-19)	19 (0-725)
Sulfaat ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	492 (167-1020)	240 (146-396)	115 (21-187)	461 (0-2454)
Neerslag / precipitation				
Zuurgraad (pH)	4,4	4,4	4,5	4,7
Ammonium ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	108	94	87	116
Kalium ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	5	4	4	4
Chloride ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	69	84	90	87
Nitraat ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	48	50	49	47
Sulfaat ($\mu\text{eq.l}^{-1}$)	120	105	98	116

Tabel 3. Enkele fysische en chemische waarnemingen. Voor oppervlaktewater Goorven, Gerritsfles en Kliplo gemiddelden (minima, maxima) van kwartaalwaarnemingen van augustus 1979 tot en met november 1989. Voor neerslag gemiddelden van metingen in 1982-1984. Tevens is de gemiddelde samenstelling van 188 verzuurde vennen in geheel Nederland vermeld, die werden bemonsterd in 1983-1986 (Maenen, 1987). De neerslag voor Nederland is de gemiddelde samenstelling van het regenwater in 1983-1986 op de stations in vennengebieden van het KNMI/RIVM-meetnet. *In Kliplo ontbreken waarnemingen van 1979 en 1980.

Selected physical and chemical characteristics. For pools means (minima, maxima) of quarterly observations from August 1979 to November 1989. For precipitation volume weighted means of monthly measurements in 1982-1984. For The Netherlands the composition of 188 weakly alkaline surface waters and the composition of precipitation in areas with moorland pools according to the national wet deposition network over the period 1983-1986 are given also.

oxideerden door toetreding van zuurstof tot zwavelzuur. Daardoor is hier een duidelijke piek van sulfaat na 1976 (fig. 4). Vooral van 1977 tot 1980 is pH_v in deze vennen laag. In het Goorven duurt het tien jaar, twee maal zo lang als in de Gerritsfles, voordat het sulfaatgehalte weer op een stabiel, laag niveau is. Dit hangt waarschijnlijk samen met de grotere bodemoppervlakte die in het Goorven is drooggefallen (fig. 2) en met de lange retentietijd van opgeloste stoffen (tabel 1).

In het Goorven neemt na 1986 het sulfaatgehalte af, terwijl pH_v sterk stijgt, vermoedelijk door sulfaatreductie en denitrificatie (fig. 4). Het water werd donkerbruin door de humusverbindingen. Deze gaan bij hogere pH-waarden

in oplossing, doordat ze geen onoplosbare complexen meer vormen met aluminium, dat hier veel voorkomt (tabel 3). In de Gerritsfles is de pH_v tussen 1981 en 1986 relatief hoog en daalt later weer. De oorzaken hiervan zijn nog niet geheel duidelijk. Mogelijk is er een verband met de activiteit van het massaal voorkomende Veenmos, dat verzurend werkt door opname van ammonium en andere positief geladen ionen, zoals calcium.

Diatomeeën

In totaal werden 95 monsters bestudeerd, waarin 102 soorten diatomeeën werden aangetroffen. Twaalf soorten, welke 95% van de totale hoeveelheid uitmaken, zijn vermeld in tabel 4. Voor

de berekening van de gemiddelde hoeveelheid van elke soort in een ven is een weging toegepast voor het aantal beschikbare oude en recente monsters.

De aangetroffen soorten zijn verdeeld in vier ecologische groepen:

1. *Eunotia exigua*. Deze groep bestaat uit één soort, die zeer resistent is voor verzuring en de daarmee gepaard gaande hoge concentraties van aluminium en zware metalen. De soort is daarom in de Nederlandse, Duitse en Belgische vennen in deze eeuw sterk toegenomen.
2. Gewone soorten uit zure wateren, die algemeen zijn in niet al te sterk verzuurde of anderszins vervuilde vennen.
3. Doelsoorten. Dit zijn soorten uit laag-alkaliene wateren die de laatste vijftig jaar door verzuring en voedselverrijking ernstig achteruit zijn gegaan. Ze worden vaak in gemeenschappen van het oeverkruidverbond gevonden en hebben een hoge natuurwaarde.
4. Overige soorten, die niet goed in de vorige groepen zijn onder te brengen. Ze komen slechts weinig voor in de onderzochte vennen.

Gezien het minder zure karakter van Kliplo is het niet verwonderlijk dat de doelsoorten hier 64% van de totale hoeveelheid uitmaken. In de twee andere vennen is hun score slechts 19-24% (tabel 4). Uit figuur 5 blijkt dat de soortensamenstelling van Kliplo in de loop der tijd relatief weinig is veranderd. De berekende pH (pH_d) heeft in 1948-1958 een piek, die niet is te verklaren. Het verschil tussen pH_v (6,0) en pH_d (5,0) in dit ven van 1924 tot 1929 kan te maken hebben met onnauwkeurigheden in de vroegere methode van pH-bepaling (colorimetrisch), maar ook met de relatief grote standaardafwijking (0,7 eenheid) van de pH-schattingmethode.

In het Goorven zijn de veranderingen groter. Er waren hier vier monsters beschikbaar van 1919 en 1920 en vijf monsters van 1922 tot 1928. Net als in 1976 kon men tijdens de extreem droge zomer van 1921 dwars door dit ven lopen (pers. meded. J. Heimans). Na 1921 namen de doelsoorten en de pH_d zeker niet af. Blijkbaar hadden zich te weinig sulfiden in de bodem verzameld om, zoals na de droogte van 1976, verzuring door omzetting in zwavelzuur te veroorzaken. In 1975 is *Eunotia exigua* sterk toegenomen en is er nog

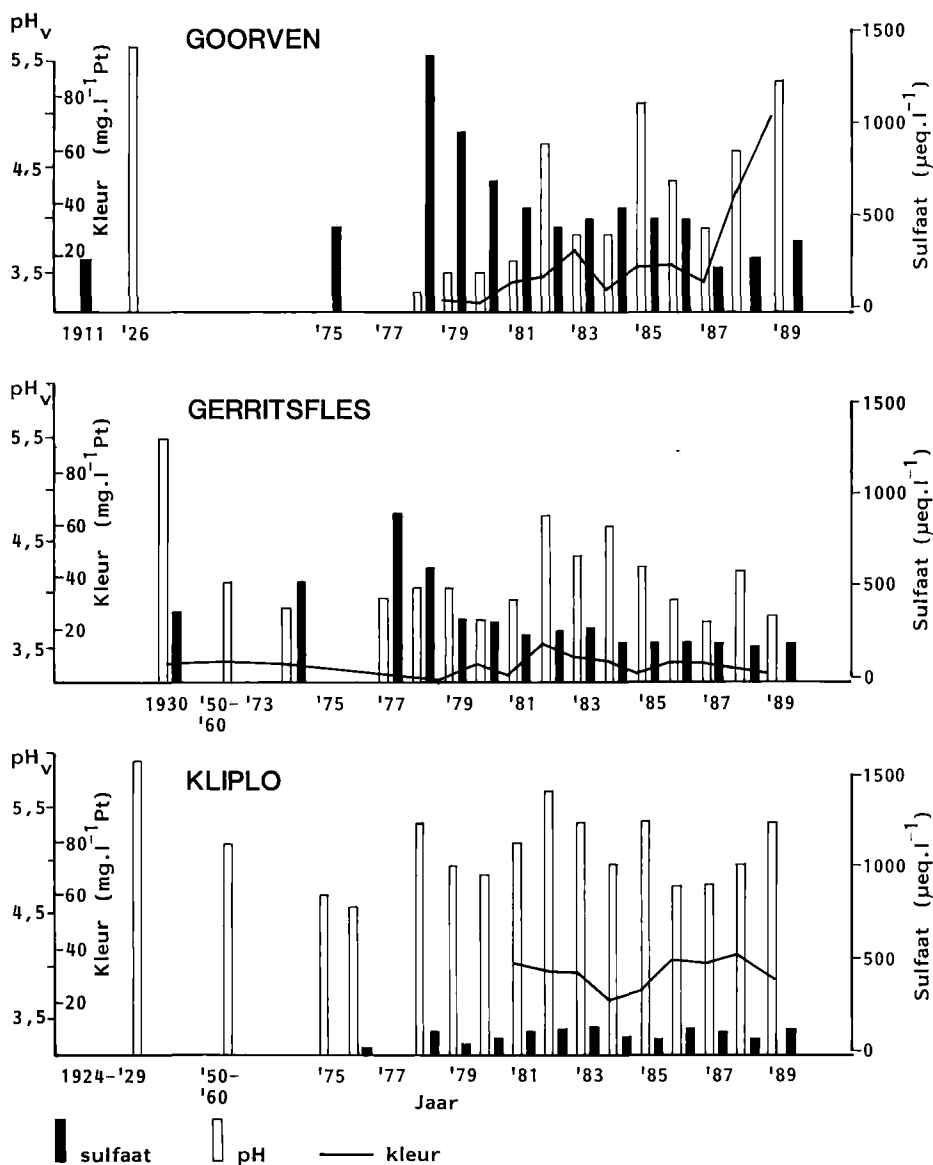


Fig. 4. Veranderingen in pH_v , sulfaatconcentraties en kleur. Vanaf 1979 medianen van kwartaalwaarden, daarvoor medianen van beschikbare gegevens.
Changes in median values of field measured pH, sulphate concentrations and colour.

pH-opt.	Goorven	Gerritsfles	Kliplo	Totaal
Eunotia exigua				
4,1 <i>Eunotia exigua</i>	40	34	0	25
Gewone soorten uit zuur water / common taxa from mineral-acid pools				
4,2 <i>Frustulia rhomboides</i> var. <i>saxonica</i>	14	13	12	13
4,9 <i>Eunotia rhomboidea</i>	1	17	8	9
4,6 <i>Tabellaria quadrisepata</i>	12	8	2	7
4,3 <i>Eunotia bilunaris</i>	6	5	7	6
Doelsoorten / taxa from organic-acid or slightly mineral-acid pools				
5,0 <i>Eunotia incisa</i>	10	11	10	10
5,9 <i>Navicula heimansii</i>	6	0	13	6
5,9 <i>Brachysira vitrea</i> fo. <i>lanceolata</i>	2	2	14	6
5,0 <i>Tabellaria flocculosa</i>	0	3	14	6
4,0 <i>Navicula subtilissima</i>	4	3	9	5
5,6 <i>Fragilaria virescens</i>	1	0	2	1
— <i>Navicula hoeferi</i>	1	0	2	1
Aantal waargenomen soorten / number of taxa	56	73	53	102
Aantal monsters / number of samples	32	38	25	95

Tabel 4. Zuurgraadoptimum, gemiddelde procentuele hoeveelheid van de meest algemene soorten diatomeeën, aantal soorten en aantal monsters per ven en in totaal. De soorten zijn ingedeeld in ecologische groepen.

Optimal pH-values, average percent abundance of most common diatom taxa, number of taxa and number of samples from each moorland pool and in total. Taxa are classified according to ecological groups (see caption fig. 5).

maar weinig over van de doelsoorten. Na de schoksgewijze verzuring in 1976 nam deze soort toe, totdat er in 1980 bijna een monocultuur van aanwezig was (evenals van de Knolrus, waarmee de ecologie van *E. exigua* goed overeenkomt). Met het geleidelijk dalen van de sulfaatconcentratie en het stijgen van pH_v na 1980 neemt de soort weer in aantal af en gaan er zelfs weer doelsoorten voorkomen (fig. 6). De stijging van pH_d (fig. 5) blijft achter bij die van pH_v (fig. 4). Dit komt doordat er nog veel *E. exigua*, die een laag pH-optimum heeft, voorkomt (tabel 4). Daar de kiezel-schaaltjes nog lange tijd na het afsterven van de diatomeeën aanwezig kunnen zijn, is in de meest recente tellingen de hoeveelheid levende *E. exigua* waarschijnlijk overschat. Na 13 jaar heeft het ven zich nog niet helemaal hersteld van de gevolgen van de droogte van 1976, hetgeen mede veroorzaakt wordt door de lange retentietijd van opgeloste stoffen (tabel 1).

Ook in Schotse en Canadese meren is met behulp van kiezelwieren een

stijging van de pH geconstateerd, die daar wordt toegeschreven aan een afname van de sulfaatconcentratie in de neerslag (o.a. Battarbee et al., 1988). In Nederland is tussen 1978 en 1984 een geringe afname van de natte zure depositie, o.a. sulfaat, geconstateerd, maar deze is te klein om de veranderingen in het Goorven te verklaren.

In de Gerritsfles bestond in 1916-1918 59% van de kiezelwieren uit doelsoorten. In 1950-1958 waren de doelsoorten afgenomen tot 16% en was er al 7% *E. exigua* (fig. 5). Na de zeer droge zomers van 1959 en 1973 wordt deze soort overheersend. Na de zomer van 1976 duurt het minder lang dan in het Goorven voordat herstel op gaat treden, waarschijnlijk doordat de retentietijd van opgeloste stoffen in de Gerritsfles korter is dan in het Goorven (tabel 1).

Besluit

Uit ons onderzoek blijkt dat de chemie, de macrofyten en de kiezelwieren van Goorven en Gerritsfles sterk worden beïnvloed door de zure neerslag. Door

de achteruitgang van bijzondere soorten is die beïnvloeding als negatief te waarderen. Vooral na extreem droge jaren als 1959 en 1976 treedt de verzuring naar voren, maar niet in het ven Kliplo, waarvan de bodem dan nauwelijks droogvalt. Het herstel na een hevige verstoring, bijvoorbeeld droogte, duurt ongeveer drie maal de retentietijd van opgeloste stoffen, dat wil zeggen vijf tot vijftien jaar.

Gelukkig worden er in de naaste toekomst maatregelen genomen om de gevolgen van verzuring van een aantal vennen tegen te gaan. De maatregelen, o.a. uitbaggeren, zijn als een verstoring van de huidige situatie te beschouwen. Gezien de naar verwachting lange hersteltijd, is het teleurstellend dat in de chemische en biologische monitoring van de effecten in eerste instantie slechts is kunnen voorzien voor een periode van drie jaren (Cals & Roelofs, 1990).

Door het broeikas-effect zal de frequentie van droge jaren als 1921, 1959 en 1976 waarschijnlijk met een factor vijf tot tien toenemen, waarbij nieuwe records zullen worden gebroken (Wigley, 1989). Door de lange hersteltijd na een hevige verstoring zullen de vennen in de toekomst - nog meer dan thans al het geval is - doorlopend uit hun evenwichtstoestand verkeren, waardoor de bijzondere soorten op den duur nog verder achteruit zullen gaan.

Van Dam & Van Apeldoorn (1978) bespraken de gevolgen van de droogte van 1976 voor de natuur in Nederland. Zij pleitten voor het opzetten van een systematisch meetnet om de reacties van ecosystemen en levensgemeenschappen op fluctuaties van milieufactoren te kunnen volgen en in de toekomst voorspellingen te kunnen doen. Ook onderzoek voor de opbouw van een referentiekader voor het beoordelen van de veranderingen achtten zij noodzakelijk. Na de suggesties van Van der Hammen et al. (1984) voor de opzet van een Interprovinciaal Permanent Aquatisch Meetnet (IPAM) is er in enkele provincies (o.a. Noord-Holland en Utrecht) een begin gemaakt met zo'n meetnet, maar door bezuinigingen en meningsverschillen met het Rijk worden deze meetnetten thans weer ingekrompen.

Ons onderzoek heeft enkele belangrijke functies van lange-termijnonderzoek, zoals het volgen van de effecten van zeldzame gebeurtenissen (droogval-len), van langzame processen (verzuring)

en het genereren van hypothesen voor causaal-analytisch onderzoek (zwavelhuishouding) duidelijk gemaakt (Franklin, 1988). Het is daarom - mede ten behoeve van de onderbouwing van het natuur- en milieubeleid en de toetsing van de in dat kader voorgestelde maatregelen - dringend noodzakelijk dat het permanent aquatisch meetnet in een groot aantal Nederlandse natuurgebieden spoedig goed functioneert.

Literatuur

Arts, G. H. P., 1990. Deterioration of Atlantic soft-water systems and their flora, a histo-

rical account. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Battarbee, R. W., R. J. Flower, A. C. Stevenson, V. J. Jones, R. Harriman & P. G. Appleby, 1988. Diatom and chemical evidence for reversibility of acidification of Scottish lochs. *Nature* 332: 530-532.

Bloemendaal, F. H. J. L. & J. G. M. Roelofs (red.), 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.

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.

Cals, M. J. R. & J. G. M. Roelofs, 1990. Prae-

advies effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in oppervlaktewateren. Vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Charles, D. F., R. W. Battarbee, I. Renberg, H. van Dam & J. P. Smol, 1989. Paleoecological analysis of lake acidification trends in North America and Europe using diatoms and chrysophytes. In: *Soils, aquatic processes, and lake acidification*. Springer. New York: 207-276.

Dam, H. van, 1987. Verzuring van vennen: een tijdsverschijnsel. Proefschrift Landbouwuniversiteit Wageningen.

Dam, H. van & R. C. van Apeldoorn, 1978.

De droogte van 1976 en de natuur in Nederland. *H₂O* 11: 278-281.

Dam, H. van & A. Mertens, 1988. Tijdsreeksen van gegevens over chemie en diatomeeën uit enige verzuurde vennen. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. Intern rapport 88/47.

Franklin, J. F., 1988. Importance and justification of long-term studies in ecology. In: *Long-term studies in ecology: approaches and alternatives*. Springer. New York: 1-19.

Hammen, H. van der, T. H. L. Claassen & P. F. M. Verdonchot, 1984. Handleiding voor hydrobiologische milieu-inventarisatie: eindverslag Interprovinciale Ambtelijke Werkgroep Milieu-inventarisatie, subwerkgroep Hydrobiologie. Provinciale Waterstaat van Noord-Holland. Haarlem.

Leuven, R. S. E. W., 1988. Impact of acidification on aquatic ecosystems in The Netherlands with emphasis on structural and functional changes. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Maenen, M. M. J., 1987. Fysisch-chemische en biotische karakteristieken van zwak gebufterde wateren in relatie tot de zuurgraad. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen. Rapport 1987-1.

KNMI-RIVM, 1983-1986. Chemische samenvatting van de neerslag over Nederland. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt / Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven. Jaarrapporten.

Schuurkes, J. A. A. R., 1987. Acidification of surface waters by atmospheric deposition with emphasis on chemical processes and effects on vegetation. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Wigley, T. M. L., 1989. Effects of changing climate on the frequency of extreme events. *Climate Monitor* 17: 44-55.

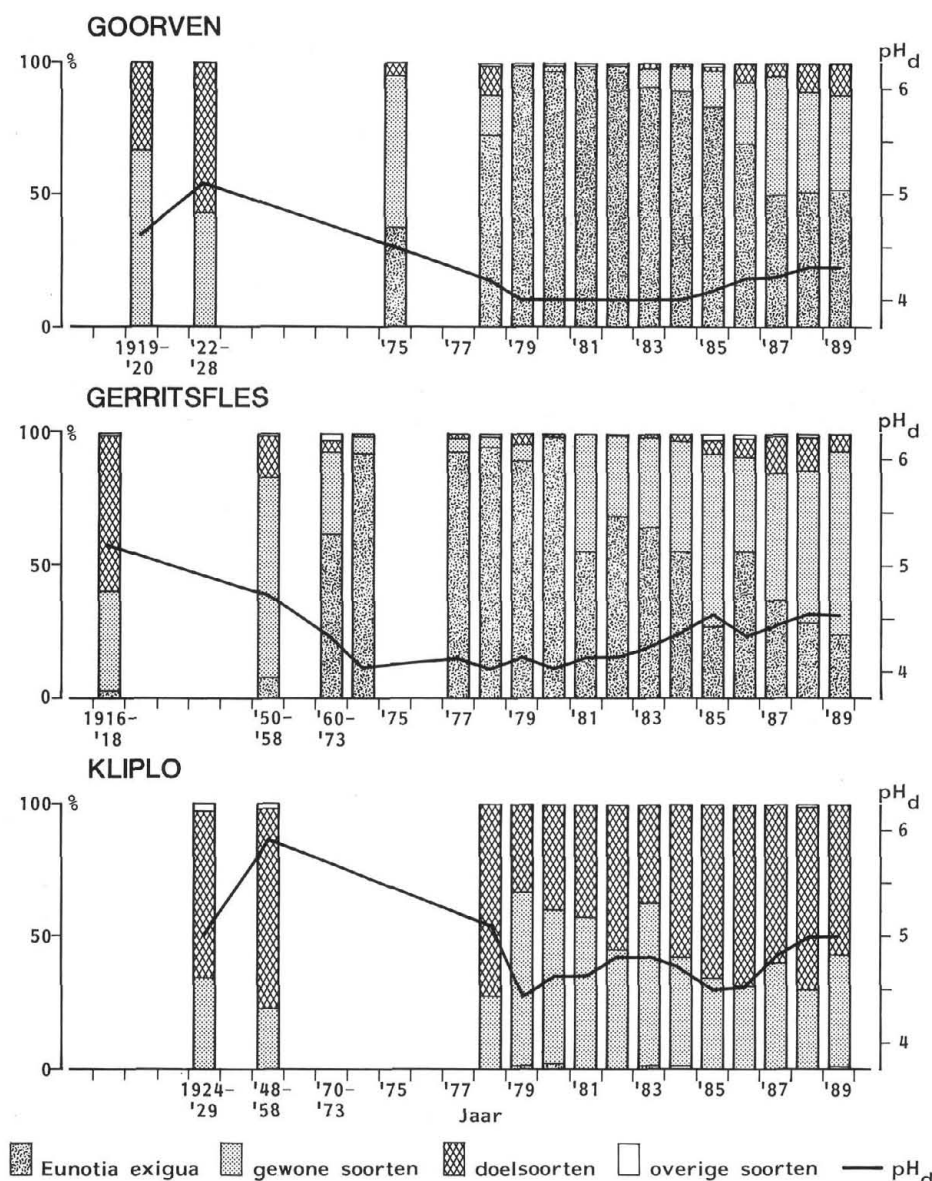


Fig. 5. Veranderingen in de procentuele hoeveelheden van de ecologische groepen kiezelwieren (staven). De lijn geeft het verloop van de berekende pH weer. Vóór 1974: gemiddelden van aangegeven perioden, daarna: jaargemiddelden.

Changes in percent abundance of ecological groups of diatoms (bars). Regularly dotted: common taxa from mineral acid-pools; cross-hatched: target taxa, inhabiting organic-acid or slightly mineral-acid pools; open: other taxa. The line represents diatom-inferred pH. Prior to 1974: average values of indicated periods, later: yearly average values.

Summary

Long-term research on acidification of moorland pools

Historical data of macrophytes and chemistry of three moorland pools were compared with recent data. Chemistry and diatom assemblages were monitored from 1979 to 1989. Also preserved diatom samples from 1916 onwards were studied.

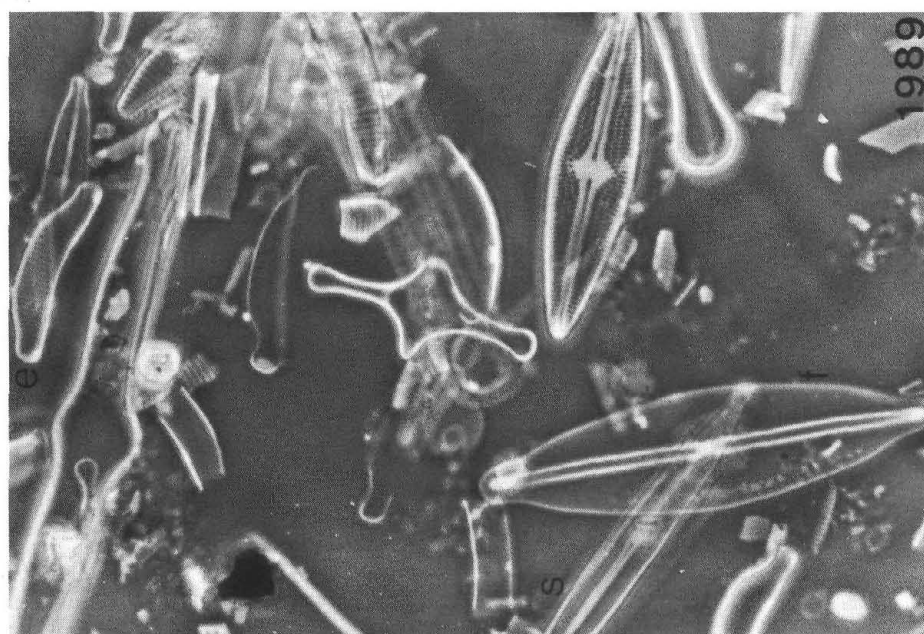
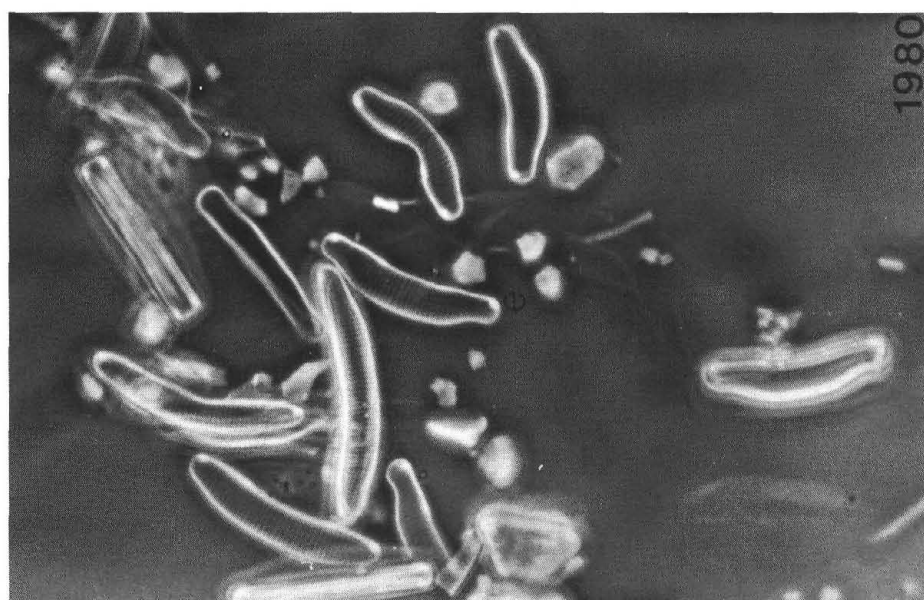
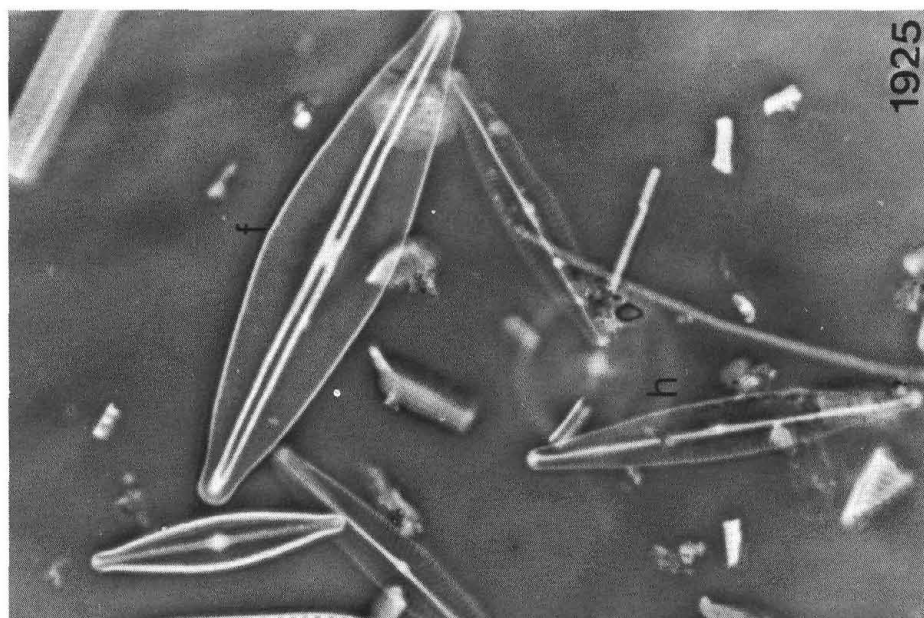


Fig. 6. Kiezelwieren uit het Goorven. Op de microfoto van het monster van 1925 komen schaalhelften van de doelsoort *Navicula heimansii* (h) voor. De grootste schaalhelft is van de gewone soort *Frustulia rhomboides* var. *saxonica* (f). In 1980 komt alleen *Eunotia exigua* (e) voor. In 1989 komen weer doelsoorten voor, bv. *Navicula subtilissima* (s) (foto's: Klaas Eeverds).

Diatoms from Goorven in different years.

Direct observations and biological data indicate a decrease of pH by c. 0,5 unit over a period of seven decades in a pool where 20% of the bottom desiccates in extremely dry years, and 2 pH units in a pool where 70% of the bottom is exposed to the atmosphere in such years.

In two pools where more than half of the bottom desiccated in 1976, observed concentrations of sulphate were highest in 1977-78 and decreased later on. *Juncus bulbosus* had a maximum in 1977-80. *Eunotia exigua* became the dominant diatom after 1976 and decreased after 1980 in the pool Gerritsfles, with a retention time for conservative inorganic solutes of 2,3 years and after 1984 in the pool Goorven, with a retention time of 5,2 years. In Goorven the diatoms indicated no acidification after the extreme drought of 1921. In the pool Goorven after 1986 an increase of pH and alkalinity was observed, with a concomittant decrease of *E. exigua*. These changes are attributed to alkalinity production during denitrification and sulphate reduction. Increase of desiccation frequency by the greenhouse effect will prevent the moorland pools from being in a biological equilibrium phase.

Dankwoord

Dr. P. F. M. Coesel, H. Kooyman-van Blokland (Universiteit van Amsterdam) en drs. B. Salomé (Limnologisch Instituut KNAW) stelden oude monsters beschikbaar. Het Staatsbosbeheer en de Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten in Nederland gaven toestemming voor bezoek aan hun archieven en terreinen. Wijlen prof. dr. J. Heimans stelde ongepubliceerde veldgegevens ter beschikking. J.A. Sinkeldam verleende technische hulp en ir. H. Houweling hielp bij het verwerven van hydrologische inzichten. Het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) analyseerde een aantal neerslagmonsters. Het RIVM en de Europese Gemeenschap (contractnr. ENV-650-N(N)) financierden delen van het onderzoek.

Dr. H. van Dam & A. Mertens,
Rijksinstituut voor Natuurbeheer,
Postbus 46,
3956 ZR Leersum