

Vennen herstellen zich gedeeltelijk van verzuring

Inleiding

In Nederland liggen 3 à 4000 vennen. Hoewel hun gezamenlijke oppervlakte minder dan 20 km² bedraagt, zijn ze voor de biodiversiteit van Nederland en West-Europa van grote betekenis. Door hun oorspronkelijke voedselarmoede komen er veel soorten planten en dieren voor die in de meeste andere oppervlaktewateren ontbreken [Van Dam & Buskens, 1993; Verkaar *et al.*, 1992]. Veel natuurgebieden met vennen maken daarom deel uit van de Ecologische Hoofd-



DR. H. VAN DAM
AquaSense TEC BV
Wageningen

structuur [Van Zadelhoff & Lammers, 1995].

Vennen worden geheel of voor het grootste deel door regenwater gevoed, waardoor het water voedselarm en zwak gebufferd is. Ze zijn daardoor zeer kwetsbaar voor invloeden van buitenaf en veel vennen zijn in de loop van deze eeuw dan ook ernstig aangetast door menselijke beïnvloeding. Zo verdween in Noord-Brabant tussen 1900 en 1980 60% van de vennen door ontginning en verdroging [Mol, 1986]. Tot diep in de jaren zestig werd eutrofiëring als belangrijkste oorzaak van aantasting van de overgebleven vennen gezien [Schoof-Van Pelt, 1973]. Kort daarna werd duidelijk dat verzuring door atmosferische depositie een minstens even belangrijke oorzaak was voor de achteruitgang van de karakteristieke flora en fauna van de vennen [Van Dam & Kooyman-Van Blokland, 1978; Leuven *et al.*, 1986].

In het kader van het verzuringsbeleid zijn veel maatregelen genomen voor de reductie van de zwavelemissie door industrie en huishoudens, waardoor de atmosferische depositie in Nederland tussen 1980 en 1990 met meer dan de helft is verminderd [Erismann, 1992]. Om na te gaan welke invloed deze maatregelen hebben voor de chemie en biologie van de vennen zijn vanaf 1979 tot en met 1994 regelmatig monsters genomen in drie vennen. Diatomeeën (kiezelwieren) zijn gekozen als indicatoren. Vanwege hun grote gevoeligheid voor veranderingen in de pH worden ze daartoe op internationale schaal veel gebruikt [Ter Braak & Van Dam, 1989; Battarbee, 1994].

In dit artikel worden de voornaamste resultaten gepresenteerd, die niet alleen op zichzelf van belang zijn, maar ook omdat het onderzoek een goed voorbeeld is van

Samenvatting

De Nederlandse vennen hebben belangrijke natuurwaarden die sterk zijn aangetast door verzuring. In drie vennen werd het gedeeltelijk herstel van verzuring door de vermindering van de atmosferische depositie gevolgd door regelmatige bemonstering van chemie en kiezelwieren van 1979 tot 1994 en door studie van oude monsters die sinds 1916 zijn genomen.

In twee van de drie vennen waren de mediane sulfaatconcentraties in 1994 slechts een derde van die in 1980. Piekwaarden van sulfaat werden na extreem droge zomers gemeten. In een ven met een aanvankelijk lage sulfaatconcentratie nam deze enigszins toe. In dit ven nam ook ammonium zeer sterk toe.

Kiezelwieren zijn goede indicatoren voor de verzuring door zwavelverbindingen. De hoeveelheid verzuringsindicatoren nam in twee van de drie vennen sterk af tussen 1980 en 1994. Na droge perioden namen verzuringsindicatoren toe. In het ven met aanvankelijk lage sulfaatconcentraties veranderden de soortensamenstelling van de kiezelwieren weinig. In één ven leken de monsters van 1994 veel meer op die van 1916 dan die van 1980. In een ander ven ontwikkelde zich een situatie die zich in het verleden niet had voorgedaan.

De afname van de atmosferische depositie van zwavelverbindingen had gunstige gevolgen voor de kiezelwieren. Deze positieve veranderingen zijn niet af te leiden uit de veranderingen in de plantengroei. Verdere verbeteringen van de toestand van de vennen zijn te verwachten bij verdere reductie van deze atmosferische depositie.

systematische biologische monitoring van de oppervlaktewaterkwaliteit. Het gebruik van oude monsters voor reconstructie van de referentiesituatie kan voor andere watertypen dan vennen als voorbeeld dienen. Het onderzoek was deel van een interdisciplinaire studie van atmosferische depositie, hydrologie en ecologie van verzuring van vennen door Van Dam *et al.*, [1996], die ook alle noodzakelijke details beschrijven.

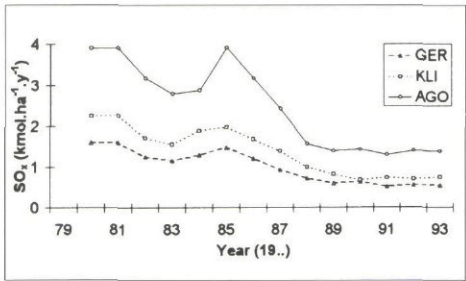
Onderzochte vennen en depositie

Er werden vijf punten in drie vennen onderzocht: Kliplo (KLI) bij Dwingeloo (één punt), Gerritsfles (GER) bij Kootwijk (één punt) en Achterste Goorven bij Oisterwijk (drie punten). Omdat de trends op de drie punten in het laatste ven vergelijkbaar zijn, wordt er daarvan hier slechts één (AGE) besproken. Samen zijn deze drie vennen min of meer representatief voor verzuurde Nederlandse vennen. Na 1968 zijn deze vennen niet meer door direct menselijk ingrijpen beïnvloed. Daarvoor zijn ze soms gebruikt om te zwemmen of om schapen in te wassen [Van Dam & Buskens, 1993].

Het Achterste Goorven (oppervlakte 2,4 ha, gemiddelde diepte 0,6 m) is een lang en smal ven tussen stuifheuvelds die al meer dan een eeuw geleden met grove dennen zijn beplant. In extreem droge jaren, zoals 1976, valt ruim 70% van de bodem droog. Het ven wordt grotendeels gevoed door regenwater, maar er is ook enige grondwaterinvloed. In de winter is er via een duiker afvoer naar het belendende Voorste Goorven. Waterlelie is de meest opvallende plant, terwijl knolrus vooral na droge jaren erg veel voorkomt. Het ven is voedselarm

(mediane concentratie chlorofyl-*a* 10,7 µg l⁻¹) en verzuurd.

De Gerritsfles (6,0 ha, 0,6 m) ligt op de grens van stuifzand en podzolgronden in een relatief open landschap met veel pijpenstrootjesgras, gedeeltelijk begroeid met grove dennen, berken en vuilbomen. Het ven heeft een schijngrondwaterspiegel en is permanent met water gevuld. In droge jaren kan ongeveer de helft van de bodem droogvallen. Onder water is de bodem voor het grootste deel bedekt met veenmossen. Ook de knolrus komt veel voor. Het ven is verzuurd en zeer voedselarm (mediane concentratie chlorofyl-*a* 1,5 µg l⁻¹). Kliplo (0,6 ha, 0,8 m) wordt voornamelijk door stuifzand omgeven, dat gedeeltelijk met jeneverbessenheide en gedeeltelijk met moerasbos en open grove-dennenbos is begroeid. In extreem droge jaren valt slechts ongeveer 20% van de bodem droog. Het ven wordt uitsluitend door regenwater gevoed. In het open water komen nauwelijks planten voor. Tot 1986 was er nog veel drijvend fonteinkruid. Het ven is niet verzuurd en matig voedselarm (mediane concentratie chlorofyl-*a* 27,8 µg l⁻¹). Tijdens bloei van groenwieren komen chlorofylconcentraties tot 364 µg l⁻¹ voor. De atmosferische depositie van SO_x, NO_y en NH_x werd geschat met behulp van metingen van de natte depositie in de buurt van de vennen, natte en droge depositie in het Landelijk Meetnet Luchtverontreiniging en met depositiemodellen. Uit berekeningen met een ecosysteemmodel bleek dat de droge depositie van SO_x aanzienlijk is, maar die van NO_y en NH_x vermoedelijk verwaarloosbaar. De natte depositie van nitraat en ammonium tussen 1980 en 1993 op elk van de drie



Afb. 1 - Veranderingen in de atmosferische depositie van SO_x op de vennen Gerritsfles (GER), Kliplo (KLI) en Achterste Goorven (AGO) [naar J. W. Erisman in Van Dam et al., 1996].

vennen was respectievelijk ongeveer 0,3 en 0,7 kmol ha⁻¹ jr⁻¹ en vertoonde geen duidelijke trend [Van Dam et al., 1996]. Voor SO_x zijn de deposities het hoogst op het Achterste Goorven, dankzij de sterk beboste omgeving en het laagst op de relatief open gelegen Gerritsfles. Tussen 1980 en 1993 nam de depositie van SO_x af met meer dan 70%; het sterkst tussen 1985 en 1990 (afb. 1).

Chemie

Er werden elk kwartaal monsters genomen voor chemische analyse van macro-ionen (inclusief aluminium), nutriënten en opgeloste organische koolstof (DOC), die volgens standaardmethoden (NEN) in het laboratorium van het Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN) werden geanalyseerd. Er is veel zorg aan besteed om de analyses over de lange periode van onderzoek vergelijkbaar te houden, onder andere door bij wisseling van methoden een tijd lang zowel de oude als de nieuwe methode te gebruiken. De concentratie van organische anionen (A) werd berekend volgens de methode van Oliver [1983] en betrokken bij het berekenen van de ionenbalansen. Het gemiddelde kationenoverschot en de standaardafwijking daarvan bedragen respectievelijk slechts 0,24 en 3,99‰, wat op betrouwbare gegevens duidt. De alkaliniteit (alkc) werd berekend uit het verschil van sterke basische anionen en sterke zure anionen [Shaffer et al., 1988]. In het veld werden naast de waterstand ook steeds pH en elektrisch geleidingsvermogen gemeten. Er werden Spearman rangcorrelatiecoëfficiënten [Siegel, 1956] berekend tussen de chemische parameters en de tijd. Omdat veel van de parameters niet een monotoon stijgend of dalend verloop hadden, werden de trends ook vastgesteld door visuele inspectie van de tijdreeksen. Enkele resultaten zijn weergegeven in tabel I en afbeelding 2. De resultaten tot 1984 zijn al eerder gepresenteerd, waaruit bleek dat de extreme droogte van 1976 een grote invloed had op de chemie van de

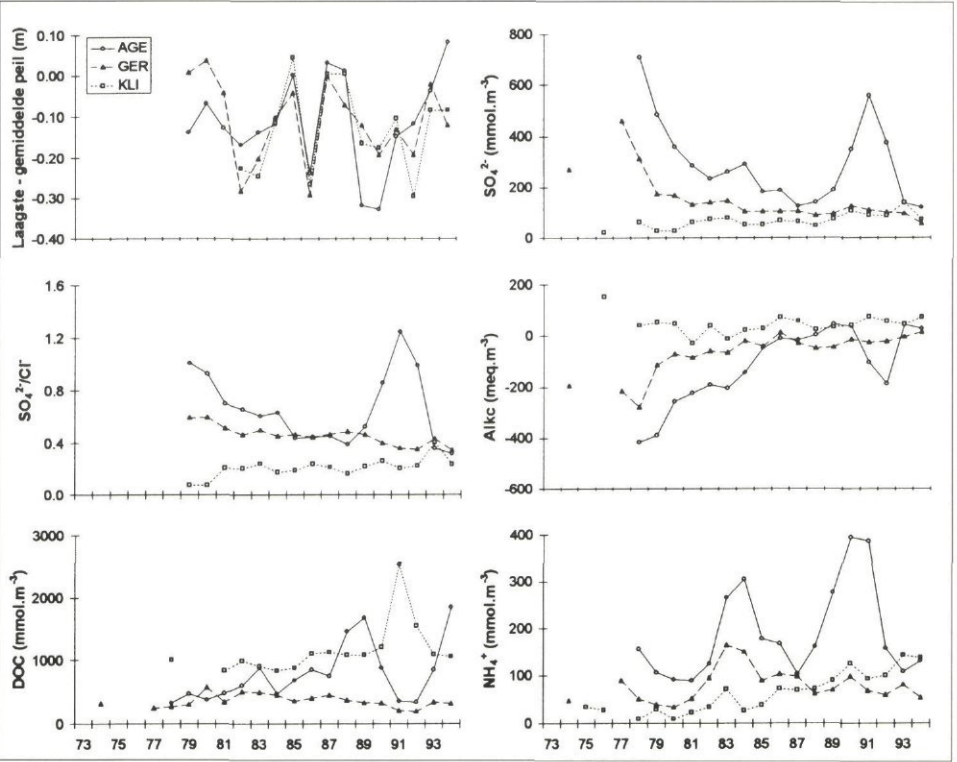
Gerritsfles en in het bijzonder het Achterste Goorven, waar grote delen van de bodem droogvielen. De van de atmosferische depositie afkomstige en in gereduceerde vorm in de bodem opgeslagen zwavelverbindingen werden geoxideerd, waardoor hoge concentraties van sulfaat werden gemeten. Dit leidde tot lage waarden van de pH en de alkaliniteit en het oplossen van kationen als calcium en het toxische aluminium [Van Dam, 1988]. Na de tamelijk droge zomer van 1986 waren de waterstanden in de drie vennen laag, maar in het extreem natte jaar 1987 stegen deze weer snel. In het bijzonder bij

het Achterste Goorven hadden de droge zomers van 1989 en 1990 grote invloed. De concentraties van sulfaat, calcium en aluminium namen sterk toe. De humusverbindingen (DOC) vormden complexen met aluminium en sloegen neer, waardoor het water helderder werd. In het Achterste Goorven en de Gerritsfles zijn de mediane sulfaatconcentraties tussen 1980 en 1994 met respectievelijk 69% en 66% afgenomen. In Kliplo was de sulfaatconcentratie in 1994 16% hoger dan in 1980. Bij daling van het waterpeil stijgen de concentraties van veel ionen door verdamping. Om hiervoor te compenseren

TABEL I - Medianen en trends van enkele fysische chemische variabelen. Corr. = rangcorrelatiecoëfficiënt van Spearman (x 100) met de tijd, berekend uit kwartaalwaarnemingen van 1980-1994 in Achterste Goorven E and Gerritsfles (n = 60) en 1981-1994 in Kliplo (n = 55). Alkc = berekende alkaliniteit, DOC = opgeloste organische koolstof, TIC = totaal anorganische koolstof. Haakjes betekenen dat de trend niet erg duidelijk is. C = constant, A = afname, T = toename. *** = p ≤ 0,001, ** = p ≤ 0,01, * = p ≤ 0,05.

variabele	eenheid	Achterste Goorven E			Gerritsfles			Kliplo		
		mediaan	corr.	trend	mediaan	corr.	trend	mediaan	corr.	trend
Al	mmol m ⁻³	21	-2	pieken 79,91	5	-33**	piek 80	4	5	C
Alkc	mmol m ⁻³	-54	57***	T, dal 91-92	-37	45***	T	39	32*	C
Ca	mmol m ⁻³	64	-7	A, piek 90-92	30	14	A tot 82	25	-1	C
Cl	mmol m ⁻³	394	-33**	A	240	-20	-	323	35**	piek 90-93
DOC	mmol m ⁻³	783	41**	T, dal 91-92	346	-41**	C	1082	51***	piek 91
K	mmol m ⁻³	43	-7	A, T sinds 92	26	-28*	A	41	72***	T
Peil	m + NAP	8,35	26*	T, dal 89-91	39,92	0	C	13,01	3	C
Na	mmol m ⁻³	304	-15	A tot 88, piek 90-91	194	-1	A, piek 90-91	261	35**	piek 90-93
NH ₄	mmol m ⁻³	161	19	piek 83-84, 90-91	75	-42***	piek 83-84	70	63***	T
NO ₃	mmol m ⁻³	4	5	-	6	0	C	5	3	C
pH-veld	-	4,3	43***	T	4,2	4	C	5,1	-19	C
pH-lab.	-	4,5	42***	T, dal 91-93	4,5	-12	T tot 82	5,3	-33**	A
SO ₄	mmol m ⁻³	245	-29	A, piek 90-92	104	-58***	A	73	41**	C
SO ₄ /Cl	-	1,19	-22	A, piek 90-92	0,92	-65***	A	0,44	29*	(T)
TIC	mmol m ⁻³	296	-59***	A, T sinds 92	137	-53***	A	183	-55***	A, piek 86

Afb. 2 - Veranderingen in mediane waarden per jaar van enkele milieuvariabelen in het oppervlaktewater van Achterste Goorven E (AGE), Gerritsfles (GER) en Kliplo (KLI).



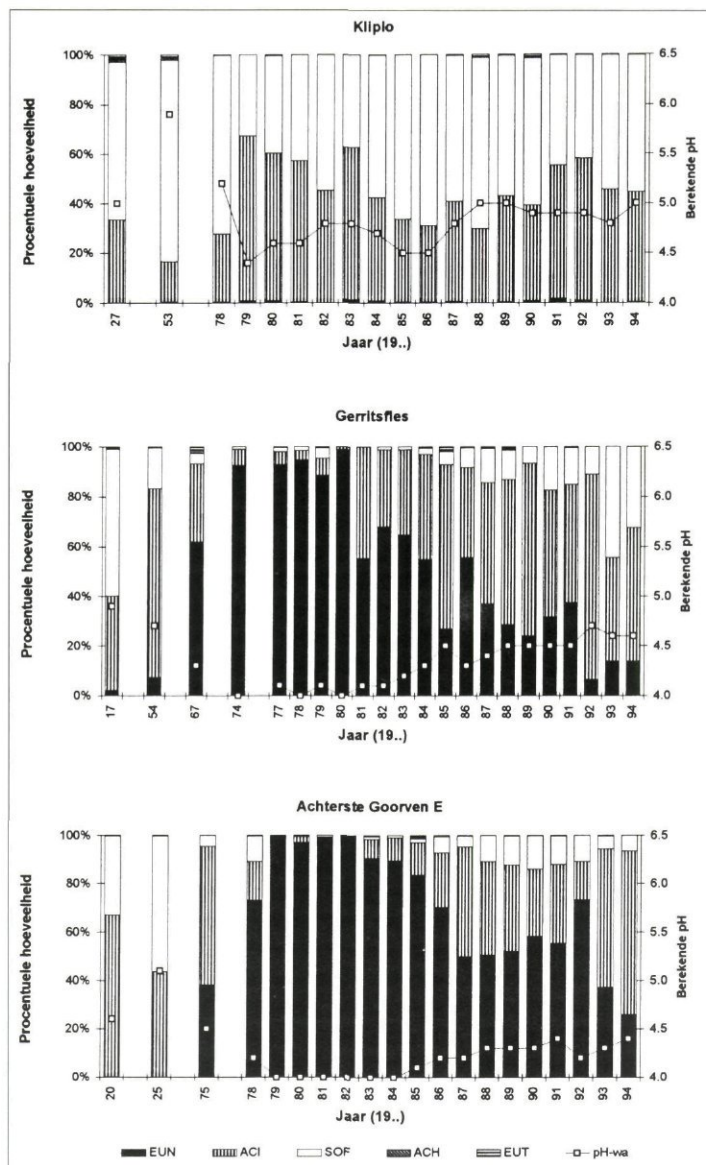
is daarom in afbeelding 2 ook het verloop van het quotiënt $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ weergegeven. In de Gerritsfles is de trend hiervan bijna lineair en significant (tabel I). Hoewel deze afname veel minder snel gaat dan die van de atmosferische depositie van zwavelverbindingen is uit berekeningen met het ecologisch model AquAcid gebleken dat deze afname het gevolg is van de vermindering van de atmosferische depositie [Van Dam *et al.*, 1996]. Helaas waren er voor het Achterste Goorven onvoldoende gegevens voor de toepassing van dit model. Daarom valt niet te bepalen welk deel van de vermindering van de sulfaatconcentratie kan worden toegeschreven aan vermindering van atmosferische depositie van SO_x en welk deel aan herstel van droogteperiodes. Door de intensieve bacteriële zwavelreductie is de sulfaatconcentratie in Kliplo steeds laag [Marnette *et al.*, 1993]. Omdat de bodem niet of nauwelijks droogvalt zijn er geen pieken in de sulfaatconcentratie.

De depositie van stikstofverbindingen, in het bijzonder van ammonium en ammoniak, heeft naast die van zwavelverbindingen een grote invloed op de verzuringstoestand van gevoelige ecosystemen [Bobbink & Roelofs, 1995]. In de onderzochte vennen is meer dan 90% van de anorganische stikstof als ammonium aanwezig (tabel I). In Kliplo neemt de ammoniumconcentratie sterk toe, van 20 mmol m^{-3} in 1981 tot 142 mmol m^{-3} in 1993-1994, bij vrijwel constante depositiewaarden. In het Achterste Goorven zijn er pieken in 1981-1984 en 1989-1991. De laatste valt samen met de sulfaatpiek en wordt wellicht veroorzaakt door de mineralisatie van stikstofcomponenten uit het sediment, maar de oorzaak van de eerste piek is niet duidelijk. In Gerritsfles is er een klein maximum in 1981-1984. Fluctuaties van het ammoniumgehalte kunnen ook worden veroorzaakt door veranderingen in de hoeveelheid knolrus, die ammonium opneemt [Schuurkes *et al.*, 1986].

Kieselwieren

Oude monsters (1916-1974) werden verkregen uit collecties van diverse instituten. Recent werden de kieselwieren steeds in mei en november bemonsterd door een planktonnet voorzichtig door de allerbovenste laag van de waterbodem en waterplanten te trekken. Van de kieselwieren werden volgens standaardmethoden preparaten gemaakt. In elk preparaat werden 400 kiezelchaaltjes geteld en gedetermineerd met de flora van Krammer & Lange-Bertalot [1986-1991] en het procentuele aandeel van elke soort werd berekend.

Afb. 3 - Lange-termijnveranderingen in relatieve hoeveelheid van ecologische groepen van kieselwieren en berekende pH (pH-wa) in Kliplo, Gerritsfles en Achterste Goorven E. EUN = *Eunotia exigua*, ACI = triviale soorten uit zure wateren, SOF = soorten uit zachte wateren en zeldzame soorten uit zure wateren, ACH = *Achnanthes minutissima*, EUT = soorten uit eutrofe, brakke of organisch verontreinigde wateren.



Ecologische groepen en berekende pH

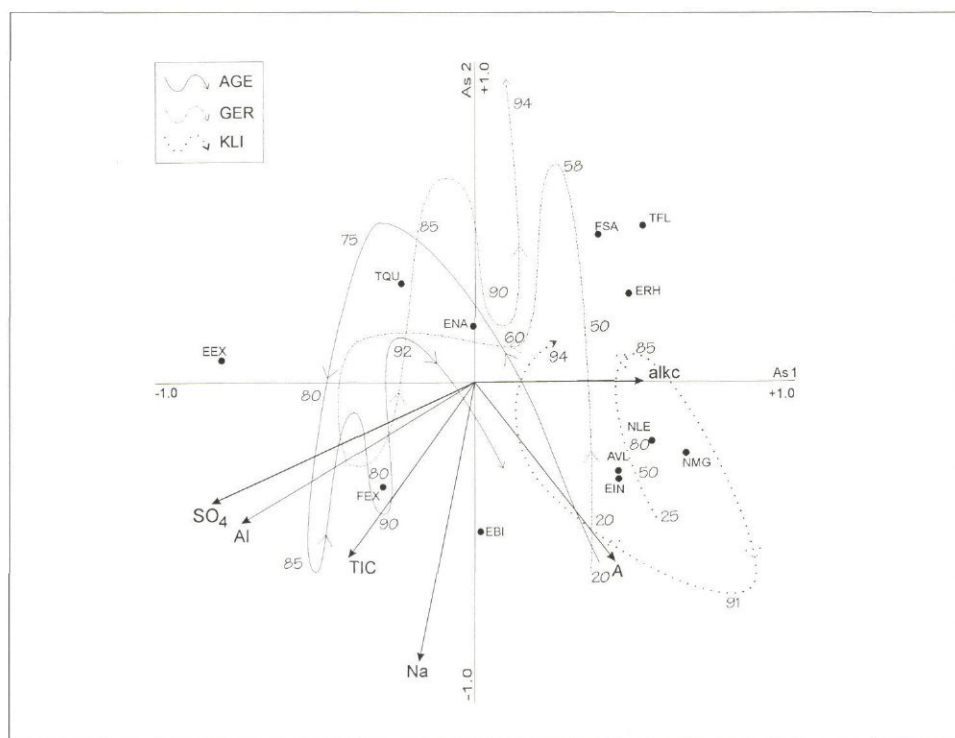
De 148 aangetroffen soorten werden ingedeeld in vijf ecologische groepen volgens Van Dam & Mertens [1989] en Van Dam & Arts [1993]: EUN *Eunotia exigua*: een soort die zeer resistent is voor verzuring en de daardoor veroorzaakte hoge concentraties van zware metalen en aluminium, ACI triviale soorten uit (van nature) zure wateren, SOF soorten uit zachte wateren en zeldzame soorten uit zure wateren, ACH *Achnanthes minutissima*: een zeer algemene soort uit allerlei zoete wateren, EUT soorten uit eutrofe wateren, brakke wateren en organisch verontreinigde wateren. De pH werd uit de kieselwieren berekend als gewogen gemiddelde van de pH-optima van de aangetroffen soorten [Ter Braak & Van Dam, 1989].

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in afbeelding 3. Sinds het begin van de eeuw is *Eunotia exigua* sterk

toegenomen, vooral ten koste van de soorten uit zachte wateren. In Kliplo zijn de veranderingen gering. Behalve in Kliplo is er een duidelijke afname van de berekende pH tussen 1920 en 1980. Sinds 1978 is er een sterke afname van *E. exigua* in het Goorven en de Gerritsfles, min of meer parallel aan de afname van de atmosferische depositie van SO_x , maar met een vertraging van enige jaren (vergelijk afb. 2). Daardoor nemen de zachtwatersoorten toe en stijgt de berekende pH. De recente veranderingen in de twee vennen zijn gevolgen van het herstel van de droogte van 1976 en van de afgenomen atmosferische depositie. De toename van *E. exigua* in het Goorven na de droge zomers van 1989 en 1990 is een gevolg van de sulfaatpiek die door de droogte werd veroorzaakt.

Ordinatie

In de ecologie zijn methoden ontwikkeld om de soortensamenstelling overzichtelijk



Afb. 4 - Ordinatie-diagram van de eerste twee assen van de redundantie-analyse. Significante ($p \leq 0,05$) milieuv variabelen zijn met pijlen aangegeven (A = organische anionen, alk = berekende alkaliniteit, TIC = totaal anorganische koolstof), de meest voorkomende soorten met punten (AVL = *Anomoeoneis vitrea* fo. *lanceolata*, EBI = *Eunotia bilunaris*, EEX = *E. exigua*, EIN = *E. incisa*, ENA = *E. naegelii*, ERA = *E. rhomboidea*, FEX = *Fragilaria exigua*, FSA = *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, NLE = *Navicula leptostriata*, NMG = *N. micropunctata*-groep, TFL = *Tabellaria flocculosa*, TQU = *T. quadriseptata*). De plaats van de 124 monsters is niet apart aangegeven, maar door middel van lijnen (A . Goorven = getrokken lijn, Gerritsfles = streep-lijn, Kliplo = stippellijn) is de enigszins geschematiseerde verplaatsing van de monsterpunten in de loop der tijd weergegeven. De bij deze lijnen geplaatste cijfers geven de jaren van deze eeuw aan.

weer te geven en te relateren aan de gemeten milieuv variabelen. Als er in een verzameling monsters n soorten voorkomen kan de plaats van een monster in een n -dimensionale vectorruimte eenduidig worden weergegeven door als coördinaten de hoeveelheid van elk van de voorkomende soorten in het betreffende monster te gebruiken. De multidimensionale puntenwolk wordt geprojecteerd in een klein aantal dimensies. Deze z.g. ordinatietechnieken worden nu in de ecologie veel gebruikt [Jongman *et al.*, 1987].

Er is hier gebruik gemaakt van RDA (redundantie analyse). Hierbij wordt ervan uitgegaan dat er lineaire relaties tussen milieuv variabelen en het voorkomen van soorten bestaan. In een biplot worden niet alleen de monsters maar ook de soorten als vectoren afgebeeld. Hierdoor is het mogelijk om bij benadering de soortensamenstelling van de monsters uit een figuur af te lezen. Bovendien wordt er nog als voorwaarde gesteld dat de assen ook nog een functie moeten zijn van de milieuv variabelen. RDA is een soort multivariate vorm van regressie-analyse, waarin de soortgegevens worden gemodelleerd als een functie van de milieugegevens. Omdat alle milieuv variabelen, behalve pH, water-

stand en temperatuur scheef waren verdeeld, zijn ze voor het uitvoeren van de RDA logaritmisch getransformeerd. Alleen de 26 meest algemene soorten werden gebruikt bij de analyse, waarbij tegelijkertijd de significante ($p \leq 0,05$) milieuv variabelen werden geselecteerd [Ter Braak 1988, 1990].

De belangrijkste resultaten zijn in afbeelding 5 weergegeven. Sulfaat is de belangrijkste milieuv variabele, die 21% van de variatie in de soortensamenstelling verklaart. De correlatiecoëfficiënt met de eerste as is in absolute zin hoog ($-0,82$), zoals kan worden afgelezen uit afbeelding 5, door projectie van de pijlpunt van sulfaat op de eerste as. De volgende belangrijke variabele, natrium ($\approx$ chloride), is hoog gecorreleerd ($r = -0,87$) met de tweede as. In volgorde van belangrijkheid werden voorts nog totaal anorganische koolstof ($\approx$ kooldioxide), organische anionen, alkaliniteit en aluminium als significante milieuv variabelen geselecteerd. Samen verklaren deze 44% van de variatie in de soortensamenstelling.

Veranderingen in concentraties van sulfaat, anorganische koolstof, organische anionen, aluminium en alkaliniteit zijn typerend voor verzurende meren en vennen [Leuven

et al., 1986; Reuss & Johnson, 1986].

Hoewel andere milieuv variabelen ook van belang zijn, wordt de soortensamenstelling van de kiezelwieren dus in hoge mate door de verzuringstoestand bepaald. Seizoensvariatie heeft weinig invloed op de soortensamenstelling en – verrassenderwijs – ook nitraat- of ammoniumstikstof niet, hoewel nutriënten in het algemeen een grote invloed op het voorkomen van kiezelwieren in vennen hebben [Van Dam & Buskens, 1993].

De meest belangrijke soort op de eerste as is de verzuringsresistente *Eunotia exigua* ($r = -0,80$). De soort komt veel voor in monsters die rond 1980 uit het Achterste Goorven en de Gerritsfles werden genomen en waarin toen hoge sulfaatconcentraties werden gemeten. Daarentegen komen *Navicula leptostriata* en de *N. micropunctata*-groep vooral voor in water met veel organische zuren (humus) en weinig minerale zuren. Deze soorten komen vooral voor in Kliplo en de vooroorlogse monsters uit de Gerritsfles en het Achterste Goorven. Op de tweede as scoort vooral *Eunotia bilunaris*, die zowel in wateren met organische als minerale zuren kan voorkomen.

De veranderingen van de posities van de monsters uit de drie vennen zijn globaal met lijnen in afbeelding 4 weergegeven. De monsters die rond 1920 in het Achterste Goorven werden genomen liggen rechts-onder in het diagram. Dit suggereert dat het ven toen humeus van karakter was, wat ook klopt met oude beschrijvingen van de plantengroei [Van Dam & Buskens, 1993]. Er is geen duidelijke verandering in de soortensamenstelling van de kiezelwieren na de extreme droogte van 1921 [Schuurmans, 1977], toen een groot deel van de bodem van het Achterste Goorven droogviel, net als in 1976. Het monster dat in 1975, net voor dit droge jaar werd genomen ligt linksboven in het diagram, wijzend op een ven met helder water en een betrekkelijk lage sulfaatconcentratie, in overeenstemming met de directe waarnemingen van Kwakkestein [1977]. Na de extreme droogte van 1976 nam het sulfaatgehalte sterk toe en was er een explosieve toename van *Eunotia exigua*. Na de droogteperiode van 1989-1991 waren de scores op de tweede as weer tijdelijk lager door een nieuwe toename van deze soort. In 1994 is de situatie weer een heel eind op weg naar de historische toestand.

In de Gerritsfles neemt de score op de tweede as toe tussen circa 1920 en 1958, waarschijnlijk door een afname van de sulfaatconcentratie in deze periode [Van Dam, 1988]. Na het extreem droge jaar 1959 [Schuurmans, 1977] viel waarschijnlijk een groot deel van de venbodem droog,

met zwaveloxidatie en een toename van zuurtolerante soorten als gevolg. Van 1964 tot aan het einde van de jaren tachtig was *E. exigua* hier dominant, maar door de gestage afname van de sulfaatconcentratie daarna kregen ook minder verzurings-tolerante soorten weer een kans. Na 1992 ging *Eunotia naegeli* veel optreden. In oudere monsters uit de Gerritsfles ontbreekt deze soort. Anders dan in het Achterste Goorven ontwikkelt de toestand van de Gerritsfles zich niet in de richting van de historische toestand. In Kliplo zijn de verschillen tussen oude en recente monsters betrekkelijk gering. De ligging rechtsonder van de monsters uit 1991 heeft waarschijnlijk te maken met de piek van organische anionen ($\approx$ opgeloste organische koolstof, afb. 2) in dat jaar. De daarop volgende verschuiving naar links heeft waarschijnlijk te maken met de toename van sulfaat sindsdien (afb. 2). De eutrofiëring van dit ven, zoals blijkt uit de toename van ammonium en het af en toe optreden van groenwierenbloei, heeft zich nog niet in de kiezelwiersamenstelling gemanifesteerd.

Slotopmerkingen

Uit het onderzoek is duidelijk geworden dat de maatregelen voor de reductie van de SO_x -depositie, vooral tussen 1985 en 1990, positieve effecten op de vennen hebben: de sulfaatconcentratie is gedaald, verzurings-tolerante kiezelwieren zijn afgenomen en verzuringsgevoelige kiezelwieren zijn toegenomen. Vooral na droge jaren worden de effecten van verzuring goed zichtbaar, door de oxidatie van sulfiden uit het sediment. Vergelijkbare effecten zijn ook waargenomen in andere, minder intensief bemonsterde, vennen [AquaSense TEC, 1995a, b].

De bruikbaarheid van kiezelwieren als indicatoren voor verzuring door atmosferische depositie van zwavelverbindingen is bevestigd.

In geïsoleerde vennen is sulfaat de belangrijkste milieuvariabele voor hun verspreiding. Ze reageren sneller op de verbeterde omstandigheden dan hogere planten, door hun veel kortere levenscyclus. Tot nu toe zijn in Nederland slechts verzuringsgevoelige hogere planten teruggekeerd in vennen waar zeer bewust herstelmaatregelen zijn uitgevoerd [Bellemakers *et al.*, 1993].

In enkele meren in het buitenland is met paleolimnologische methoden, waarbij restanten van kiezelwieren uit het sediment als indicatoren zijn gebruikt, herstel van verzuring aangetoond [b.v. Juggins *et al.*, 1996], maar nog niet door regelmatige 'real-time' bemonstering, omdat de beschikbare waarnemingsreeksen van vijf

jaar daarvoor te kort zijn [Lancaster *et al.*, 1996]. Doordat er in Nederland, anders dan in andere landen, hoogwaardige, systematisch verzamelde meetreeksen zijn, kan waarschijnlijk voor het eerst het herstel van oppervlaktewateren van verzuring door atmosferische depositie op de voet worden gevolgd [Skjelkvåle *et al.*, 1994].

Tussen 1980 en 1994 is de emissie van SO_x in Nederland al met 70% afgenomen en verdere reducties liggen in het verschiet [Nijpels, 1989; RIVM 1993, 1995]. Daardoor valt waarschijnlijk nog een verdere verbetering van de chemische en biologische toestand te verwachten. Tussen 1980 en 1994 zijn de emissies van NO_y en NH_x slechts met respectievelijk 10 en 27% gedaald. Verdere reducties liggen in het verschiet [Nijpels, 1989; RIVM 1993, 1995], maar de emissieveranderingen zijn moeilijk in depositieveranderingen te vertalen, omdat de depositiesnelheden van anorganische stikstofverbindingen boven vennen nog zeer onzeker zijn. Met het ecosysteemmodel AquaAcid kunnen concentraties van anorganische stikstofverbindingen worden berekend, maar dit model moet nog worden uitgebreid en verbeterd [Van Dam *et al.*, 1996]. Voortgezette systematische waarneming van de biologische en chemische toestand van een beperkt aantal vennen is noodzakelijk voor het ontwikkelen van dergelijke modellen en om de toekomstige verzuringstoestand te kunnen volgen. Intensieve meetgegevens van een beperkt aantal vennen geven inzicht in de processen die in tal van vennen spelen en zijn ook referentiemateriaal voor de beoordeling van de waterkwaliteit van vennen in het algemeen. Zo zal de recente langdurige droogteperiode vanaf juli 1995 ongetwijfeld van grote invloed zijn op de toestand van de vennen, evenals zomerdroogten die mogelijk door veranderingen in het klimaat frequenter zullen gaan optreden.

Verantwoording

Dr. L. W. G. Higler (IBN-DLO) gaf toestemming voor het gebruik van het door zijn instituut verzamelde gegevens. Het Staatsbosbeheer en de Vereniging Natuurmonumenten gaven toestemming tot het betreden van hun terreinen. Ing. J. A. Sinkeldam (IBN-DLO), ing. A. Mertens en ir. A. Otte gaven technische ondersteuning. Dr. ing. J. W. Erisman (RIVM) stelde zijn depositieberekeningen beschikbaar. Discussies met drs. F. G. Wortelboer (RIVM) en ir. H. Houweling (IBN-DLO) droegen bij tot beter inzicht in de chemie en hydrologie van vennen. Het onderzoek werd ten dele gefinancierd door het Directoraat-Generaal Milieu-

beheer van het ministerie VROM (contactnr. 95140022).

Literatuur

- AquaSense TEC, (1995a). *Chemical and biological monitoring in acid sensitive surface waters in The Netherlands 1994*. Wageningen.
- AquaSense TEC, (1995b). *Veluwe vennen en leemkuilen onder de loep: ontwikkeling van een beleidsvisie voor toekomstig onderzoek en beheer*. Wageningen.
- Battarbee, R. W., (1994). *Diatoms, lake acidification and the Surface Water Acidification Programme (SWAP): a review*. *Hydrobiologia*, 274: 1-7.
- Bellemakers, M. J. S., Maessen, M., Cals, M. J. R. en Roelofs, J. G. M. (1993). *Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring van oppervlaktewateren: eindrapport monitoringsprogramma eerste fase*. Vakgroep Oecologie, Werkgroep Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen, Nijmegen.
- Bobbink, R. and Roelofs, J. G. M. (1995). *Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: the empirical approach*. *Water, Air, Soil Poll.*, 85: 2413-2418.
- Braak, C. J. F. ter (1988). *CANOCO - a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1)*. DLO-Groep Landbouwwiskunde, Wageningen.
- Braak, C. J. F. ter (1990). *Update notes: Canoco version 3.10*. DLO-Groep Landbouwwiskunde, Wageningen.
- Braak, C. J. F. ter and Dam, H. van (1989). *Inferring pH from diatoms: a comparison of old and new calibration methods*. *Hydrobiologia*, 178: 209-223.
- Dam, H. van (1988). *Acidification of three moorland pools in The Netherlands by acid precipitation and extreme drought periods over seven decades*. *Freshw. Biol.*, 20: 157-176.
- Dam, H. van en Arts, G. H. P. (1993). *Ecologische veranderingen in Drentse vennen sinds 1900 door menselijke beïnvloeding en beheer*. Provincie Drenthe, Assen/DLO-Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek, Leersum/Grontmij Advies en Techniek, De Bilt.
- Dam, H. van and Buskens, R. F. M. (1993). *Ecology and management of moorland pools: balancing acidification and eutrophication*. *Hydrobiologia*, 265: 225-263.
- Dam, H. van and Kooyman-van Blokland, H. (1978). *Man-made changes in some Dutch moorland pools, as reflected by historical and recent data about diatoms and macrophytes*. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 63: 587-607.
- Dam, H. van en Mertens, A. (1989). *Diatomeeën van oude en recente aquatische macrofyten uit het Beeven in relatie tot het beheer*. *Diatomedelingen*, 8: 15-23.
- Dam, H. van, Houweling, H., Wortelboer, F. G. and Erisman, J. W. (1996). *Long-term changes of chemistry and biota in moorland pools in relation to changes of atmospheric deposition*. AquaSense TEC, Wageningen /DLO-Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO), Wageningen/National Institute for Health and Environmental Protection (RIVM), Bilthoven.
- Erisman, J. W. (1992). *Atmospheric deposition of acidifying compounds in the Netherlands*. Ph. D. Thesis, Utrecht University.
- Jongman, R. H. G., Braak, C. J. F. ter and Tongeren, O. F. R. van (1987). *Data analysis in community and landscape ecology*. Pudoc, Wageningen.
- Juggins, S., Flower, R. J. and Battarbee, R. W. (1996). *Paleolimnological evidence for recent chemical and biological changes in the U.K. acid waters monitoring network sites*. *Freshw. Biol.* 36: 203-219.
- Krammer, K. and Lange-Bertalot, H. (1986-1991). *Bacillariophyceae*. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, D., red. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/1-4*. Fischer, Stuttgart.
- Kwakkestein, R. (1977). *Onderzoek naar de Desmidiaceëflora van de vennen in het gebied rond*

per m³ geproduceerd drinkwater lager zijn, scoort nanofiltratie op het criterium 'economie' toch hoger. Dit komt doordat bij het conventionele scenario de exploitatiekosten snel stijgen wanneer de kleur van het grondwater in de praktijk hoger uitvalt dan de aangenomen waarde. De financiële consequenties van een verhoogde kleur zijn bij nanofiltratie veel beperkter doordat de deelstroomverhouding eenvoudig aangepast kan worden.

'Landschap' heeft een laag gewicht en de voorkeur voor nanofiltratie voor 'landschap' heeft dan ook nauwelijks effect op de eindscore. Deze voorkeur wordt veroorzaakt door de compacte bouw en het geringere ruimtegebruik.

Vooraf bij de subcriteria 'productie herbruikbaar afval' en 'bestuurlijk en maatschappelijk draagvlak' waren de meningen over conventioneel of nanofiltratie nogal verdeeld.

Meer aandacht voor milieu

De keuze van de WMO voor nanofiltratie op pompstation Hammerflier is onderschreven in de panelsessie. Opvallend is wel de lagere score van nanofiltratie voor 'milieu'. Dit wordt voornamelijk veroorzaakt door het concentraat. De subcriteria 'grondstoffenverbruik' en 'beïnvloeding milieu-compartimenten' scoren laag doordat het concentraat op oppervlaktewater wordt geloosd. Wanneer de milieubezwaren van nanofiltratie kunnen worden vermindert, zal het scenario in totaal beter gaan scoren. Een brede gebiedsgerichte benadering van de concentraatlozing kan een positieve bijdrage aan de waardering voor milieu geven. Als het concentraat namelijk geloosd wordt met het effluent van een afvalwaterzuivering, waar ook het drinkwater uiteindelijk op terecht zou komen, is het netto-effect, met uitzondering van de toevoegingen, veel minder groot dan bij een willekeurig lozingspunt. Door een zorgvuldige locatiekeuze van het lozingspunt hoeft 'beïnvloeding milieucompartimenten' niet negatief te scoren. Wanneer de milieuaspecten hoger scoren zal automatisch ook het draagvlak verbeteren.

Verbreiding draagvlak

Uit andere studies is bekend dat de samenstelling van het panel van invloed is op de toekenning van de gewichten [Grondwaterbeheer Midden Nederland, 1992]. Het kan daarom raadzaam zijn om een dergelijke afwegingssessie niet alleen te beperken tot vertegenwoordigers van het eigen bedrijf, maar bijvoorbeeld ook overheden, milieuorganisaties e.d. hierbij uit te nodigen. Verwacht mag worden dat de uiteindelijke keuze dan een breder draagvlak geniet.

CRIME-DAV met panelsessie: nuttige systematiek

Het enthousiasme bij de WMO'ers over de methodiek was erg groot. De waarderingsmethode op zich is niets nieuws (multi-criteria analyse). Echter door de opzet in de vorm van een panelsessie, het direct verwerken per computer van de scores, het bediscussieren van scores en gewichten, leidt ertoe dat aan het eind van de sessie (in een dag) een integrale keuze kan worden gemaakt uit enkele zuiverings-scenario's. Uiteraard is een goede voorbereiding van de sessie van belang. De panelsessie heeft voor de WMO duidelijk gemaakt, dat men met de keuze voor nanofiltratie op de goede weg zit. Bij de verdere uitwerking zullen vooral de milieuaspecten een rol spelen. Het panel kwam tot de conclusie dat de methodiek geschikt is voor het afwegen van scenario's en beslissingen binnen de WMO, met name ook in het stadium van planvorming.

Literatuur

- Grondwaterbeheer Midden Nederland (1992). *Een nieuw evenwicht, Grondwaterbeheer Midden Nederland*, Rapport van de Stuurgroep. Lelystad, 6 november 1992.
- Nieuwenhuize, R. F. van en Rotterdam, J. J. van (1996). *Instrumentarium voor de duurzame veiligstelling van de drinkwatervoorziening (1)*. CRIME-DAV: een nieuwe set criteria en meetlatten voor het maken van keuzes. H₂O (29) 1996, nr. 24, p. 704-707.
- Nederlof, M. M. e.a. (1996). *Membraanfiltratie: een integrale afweging van succesfactoren en valkuilen*. Kiwa-rapport SWI 96.201, december 1996.
- Paassen, J. A. M. van e.a. (1997). *Verlaging van kleur en hardheid met nanofiltratie op pompstation Hammerflier*. H₂O (30) 1997, nr. 11, p. 362 e.v.
- Sombekke, H. D. M. e.a. (1996). *Ps. Hammerflier: verwijdering van kleur en hardheid, conventioneel of nanofiltratie*. Kiwa-rapport SWI 96.200, december 1996.

• • •

Hammerflier

• Slot van pagina 365.

- Stand van zaken ontharden in korrelreactoren in Nederland*. Kiwa-rapport SWE 95.001.
4. Merks, C. W. A. M., Nederlof, M. M. en Brink, H. (1996). *Korrelreactoren voor ontharding; membraanprocessen voor gecombineerde problemen, verslag Kiwa workshop 'Ontharden in de toekomst'*. H₂O (29) 1996, nr. 29, p. 283-285.
5. Watson, I. and Hornburg, C. D. (1989). *Lowenergy membrane nanofiltration for removal of color, organics and hardness from drinking water supplies*. Desalination 72: 11-22.
6. Morin, O. J. (1994). *Membrane Plants in North America*, Journal American Water Works Association 86: 42-54.
7. Sombekke, H., Paassen, J. A. M. van, Rotterdam, J. J. van en Nederlof, M. M. (1997). *Toepassing van CRIME-DAV bij WMO voor keuze zuivering op Hammerflier*. H₂O (30) 1997, nr. 11, p. 358 e.v.
8. Fu, P., Ruiz, H., Thompson, K. and Sprangenberg, C. (1994). *Selecting membranes for removing NOM and DBP precursors*. Journal American Water Works Association, 86: 55-72.
9. Rietman, B. M. en Verdouw J. (1996). *Start onderzoek nanofiltratie Hammerflier: een waardevolle ervaring*

- of een kostbaar fiasco?* Kiwa-rapport SWI 96.138.
10. Schippers, J. C. en Verdouw, J. (1980). *The Modified Fouling Index, a method of determining the fouling characteristics of water*. Desalination 32: 137-148.
11. Kooij, D. van der (1992). *Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth*. Journal American Water Works Association, 84: 57-65.

• • •

Vennen

• Slot van pagina 370.

- Oisterwijk. I. De vennen in het westelijk gedeelte*. Hugo de Vrieslaboratorium, Universiteit van Amsterdam, Amsterdam.
- Lancaster, J., Real, M., Juggins, S., Monteith, D. T., Flower, R. J. and Beaumont, W. R. C. (1996). *Monitoring temporal changes in the biology of acid waters*. Freshw. Biol. 36: 179-201.
- Leuven, R. S. E. W., Kersten, H. L. M., Schuurkes, J. A. A. R., Roelofs, J. G. M. and Arts, G. H. P. (1986). *Evidence for recent acidification of lentic soft waters in The Netherlands*. Water, Air, Soil Poll., 30: 387-392.
- Marnette, E. C. L., Houweling, H., Dam, H. van and Erisman, J. W. (1993). *Effects of decreased atmospheric deposition on the sulfur budgets of two Dutch moorland pools*. Biogeochemistry, 23: 119-144.
- Mol, A. W. M. (1986). *Overzicht van hydrobiologische literatuur in Noord-Brabant*. RIN-rapport 86/4. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum.
- Nijpels, E. H. T. M. (1987). *Tussentijdse evaluatie verzuringsbeleid*. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer/Ministerie van Verkeer en Waterstaat/Ministerie van Landbouw, 's-Gravenhage.
- Nijpels, E. (1989). *Bestrijdingsplan verzuring: de problematiek van de verzuring*. Tweede Kamer der Staten-Generaal, vergaderjaar 1988-1989 18 225, nr. 31. SDU, 's-Gravenhage.
- Oliver, B. G., Thurman, E. M. and Malcolm, R. L. (1983). *The contribution of humic substances to the acidity of colored natural waters*. Geochim. Cosmochim. Acta, 47: 2031-2035.
- Reuss, J. O. and Johnson, D. W. (1986). *Acid deposition and the acidification of soils and waters*. Springer, New York.
- RIVM (1993). *Milieurendement van het NMP-2: aanvulling op de nationale milieuerkenning 3*. Samsom H. D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
- RIVM (1995). *Milieubalans 95*. Samsom H. D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
- Schuurkes, J. A. A. R., Kok, C. J. and Hartog, C. den (1986). *Ammonium and nitrate uptake by aquatic plants from poorly buffered and acidified waters*. Aquat. Bot., 24: 131-146.
- Schuurmans, C. J. E. (1977). *Meteorologische aspecten van de droge zomer van 1976*. H₂O, (10) 1977, p. 178-180.
- Shaffer, P. W., Hooper, Eshleman, R. P. K. N. and Church, M. R. (1988). *Watershed vs in-lake alkalinity generation: a comparison of rates using input-output studies*. Water, Air, Soil Poll., 39: 263-273.
- Skjellkvåle, B. L., Newell, A. D., Raddum, G., Johannessen, M., Hovind, H., Tjomsland, T. and Wathne, B. (1994). *The six years report: Acidification of surface water in Europe and North America*. Dose/response relationships and long-term trends. Norwegian Institute for Water Research, Oslo.
- Siegel, S. (1956). *Nonparametric statistics for the behavioral sciences*. McGraw-Hill, New York.
- Verkaar, D., Duuren, L. van en Schaminée, J. (1992). *De internationale betekenis van Nederland voor hogere planten op grond van biografische gegevens*. De Levende Natuur 93: 34-39.
- Zadelhoff, E. van and Lammers, W. (1995). *The Dutch ecological network*. Landschap, 12: 77-88.

• • •