

in 1977. Until 1985 it was considered as a very rare species. In the summer of 1986 *H. cornutus* has been observed frequently on 15 railwayembankments. On the embankments of Maastricht *H. cornutus* occurs abundantly (1500-2000 specimens). The most visited plant was *Daucus carota*.

Literatuur

KOSTER, A. 1986. Het genus *Hylaeus* in Nederland. Zoölogische Bijdragen 36. In druk, 120 pp.
LECLERCO, J. et al., 1979. Atlas provisoire des insectes de Belgique. Faculté des sciences agro-

nomiques de l'état. zoologie generale et faunistique Gembloux. kaart 1500.

LEFEBER, V., 1978. Interessante vangsten van Hymenoptera-Aculeata voornamelijk in 1976 en 1977 in Nederland en België. Entomologische berichten 38, 134-138.

Effecten van luchtverontreiniging op kalkgraslandvegetaties

Roland Bobbink¹, Bart F. van Tooren² en Douwe van Dam²

¹Natuurhistorisch Genootschap in Limburg

²Vakgroep Botanische Oecologie, Botanisch Laboratorium, Lange Nieuwstraat 106, 3512 PN Utrecht

Alhoewel welnlg milieuonderwerpen momenteel zo in de belangstelling staan als "zure regen" is van mogelijke effecten op de Limburgse natuur tot nu toe weinig gepubliceerd. In het onderstaande wordt getracht enlgzins in deze leemte te voorzlen door een beeld te schetsen van de mogelijke effecten van luchtverontreiniging op kalkgraslandvegetaties.

Inleiding

De achteruitgang van de visstand in veel Scandinavische meren mag inmiddels een klassiek voorbeeld van de effecten van zure regen genoemd worden. In veel meren is momenteel de zuurgraad zo hoog dat deze meren dode meren geworden zijn. Ook in veel voedselarme vennen in Nederland heeft de verzuring een sterke verarming van de flora tot gevolg gehad (VAN DAM et al., 1981; ROELOFS, 1983). De verschillende stoffen die een rol spelen in "zure regen" vormen een verontreinigingscocktail van zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH₃). Deze drie stoffen hebben zowel afzonderlijk als gezamenlijk een verzurend effect op het milieu, direkt dan wel indirekt. In veel terrestrische systemen is het echter niet uitsluitend deze verzuring die tot verarming leidt. Voor het afsterven van de bossen in Europa worden vele oorzaken aangevoerd waarbij de direkte verzuring slechts één van de factoren is, naast de gedurende de laatste jaren sterk toegenomen toevvoer van nutriënten uit de atmosfeer. Vooral de voor planten belangrijke voedingsstof stikstof (N) is van belang

voor groei en produktie in grasland-oecosystemen.

Stikstof kan in verschillende vormen in de lucht komen. Vooral ammoniak, afkomstig van dierlijke mest (bio-industrie), en stikstofoxiden, afkomstig van vooral verkeer en industrie, zijn hierbij van belang. Deze stoffen kunnen de grond weer bereiken via regen en sneeuw (natte depositie) en mid-

dels de continue depositie van deeltjes uit de lucht (droge depositie). De natte depositie is eenvoudig te meten door analyse van neerslagmonsters, maar voor droge depositie ligt dit veel moeilijker.

In voedselarme oecosystemen zoals kalkgraslanden neemt de produktie sterk toe bij mestgift (o.a. WILLEMS, 1980). Globaal kan gesteld worden dat grassen hiervan meestal meer profiteren dan kruiden. Anders gezegd: een snellere groeirespons maakt hun concurrentiepositie in dit geval beter. Langdurig onderzoek in de Nederlandse heidevelden heeft



Figuur 1. Overzicht van het regenmeetstation aan de voet van de kalkgraslandhelling achter het Grachtbosje in het Gerendal (gem. Valkenburg). Vooraan zijn de 3 open regenvangers te zien. Daar achter staat de automatische regenschrijver voor het vervolgen van de regenval. (foto R. Bobbink).

Tabel I. Regenval (mm.), pH en gewogen gemiddelde concentratie in mikromol/l. voor nitraat, ammonium en sulfaat per kwartaal in de neerslag in het Gerendal (april 1984 - december 1985).

	mm	nitraat	ammonium	sulfaat	pH
1984					
kwartaal 2	270.5	75	128	73	4.47
3	320.0	36	75	50	4.66
4	173.7	40	61	63	5.71
1985					
kwartaal 1	130.6	74	151	76	4.78
2	235.8	78	101	79	4.65
3	183.4	39	41	46	5.26
4	146.3	49	108	57	5.09

aangevoerd dat de op veel plaatsen optredende vervanging van Struik- en Dopheide (*Calluna vulgaris* en *Erica tetralix*) door Bochtige smeie (*Deschampsia flexuosa*) en Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) het gevolg is van toename van de stikstofaanvoer door de lucht (HEIL & DIEMONT, 1983; DE SMIDT *et al.*, 1984). In dit tijdschrift (BOBBINK & WILLEMS, 1984) is het vermoeden uitgesproken dat ook de toename van Gevinde kortsteel (*Brachypodium pinnatum*) in veel West-Europese kalkgraslanden vermoedelijk samenhangt met de verhoogde stikstoftoevoer via de lucht. De struktuur van een kalkgrasland en ook de soortenrijkdom kunnen hierdoor aanzienlijk veranderen.

In dit artikel willen we in de eerste plaats aangeven hoeveel stikstof in Zuid-Limburg nu eigenlijk wordt aangevoerd via de lucht, ook in vergelijking met de situatie in de rest van Nederland. Vervolgens zal globaal worden aangegeven wat in een kalkgrasland met deze stikstof gebeurt. Hiervoor worden geen directe resultaten van onderzoek aangedragen, dat komt in een later artikel, maar zal getracht worden een breed overzicht te geven van mogelijke effecten. Speciale aandacht gaat hierbij uit naar het effect van stikstof op de groei van Gevinde kortsteel en het effect op de moslaag in kalkgraslanden.

Methode

Vanaf maart 1984 is in een kalkgraslandnatuurservaat in het Gerendal (Gem. Valkenburg) een

regenmeetstation geïnstalleerd (fig. 1). Met behulp van een zelfregistrerende regenschrijver is de hoeveelheid neerslag op 40 cm. boven maaiveld gemeten. Met 3 zgn. open vangers is de neerslag bemonsterd. Elke vanger bestaat uit een opvangtrechter van 15 cm doorsnede met daaraan een verzamelfles van 1 l.

De trechter is op 40 cm hoogte ingesteld en in de trechter is een polyethyleenfilter bevestigd zodat er geen insecten in de fles konden kruipen. De opvangfles is in het donker opgesteld, ter voorkoming van eventuele chemische omzettingen o.i.v. licht. Om de 1-2 weken zijn de flessen geleegd en vervangen door zorgvuldig gereinigde nieuwe flessen. Van de monsters van het zo verzamelde regenwater is de zuurgraad (pH) gemeten en is m.b.v. een aut-analyser de concentratie van ondermeer sulfaat, nitraat en ammonium spektrofotometrisch bepaald.

Verwerking gegevens

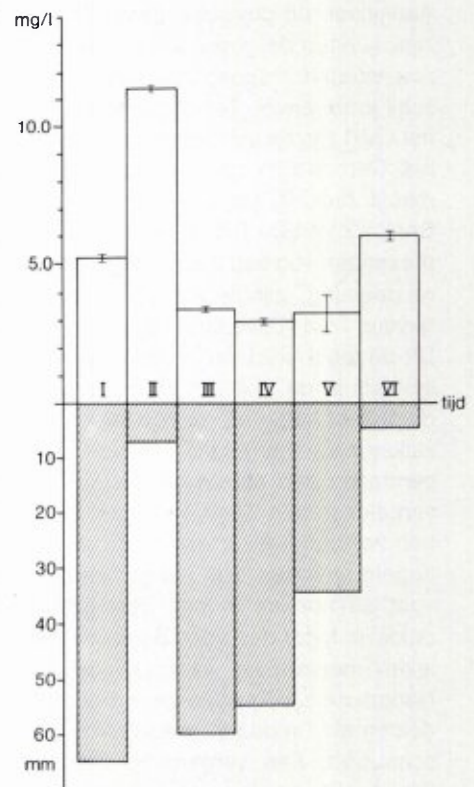
Voor de verschillende chemische verbindingen in het regenwater is het gemiddelde berekend van de concentraties per monsterdatum en door vermenigvuldiging met de hoeveelheid neerslag van de desbetreffende periode is de toevoer bepaald. Vervolgens is op maandbasis de gewogen gemiddelde concentratie berekend volgens de volgende formule: (methode KNMI/RIVM)

$$\Sigma (\text{conc.} \times \text{hoeveelheid regen}) / \Sigma \text{hoev. regen.}$$
 Ter vergelijking met de gegevens van het Landelijk Meetnet Regenwatersamenstelling (LMR) van het KNMI/RIVM zijn ook de toevoer gegevens en de gewogen concentratie per kwartaal en per jaar berekend. De gemiddelde pH is als volgt bepaald: uit de gemeten pH-waarden is de waterstofionen-concentratie terug berekend en daarna is het gewogen maandgemiddelde van deze concentratie bepaald. Uit de zo verkregen waarde is de gemiddelde pH-waarde berekend.

Resultaten

In het in het Gerendal opgevangen regenwater zijn sulfaat, nitraat en ammonium in hoge concentraties aangetroffen. Van fosfaat bijvoorbeeld zijn alleen zeer lage waarden in de

neerslag aangetroffen. Opvallend is dat in perioden met veel regenval de concentraties beduidend lager zijn dan in meetweken met een geringe neerslag. Voor nitraat is dit voor een 6-tal weken in figuur 2 weergegeven. Uit deze basisgegevens blijkt ook dat de spreiding in gehalten per monsterdatum gering is en vrijwel altijd minder dan 5% van het gemiddelde bedraagt. Tabel I geeft de gewogen gemiddelde concentraties per kwartaal van de bovengenoemde, in het regenwater aangetroffen verbindingen. Tevens is de hoeveelheid neerslag en de pH vermeld. Duidelijk is dat in het derde en vierde kwartaal de pH wat hoger is en dat de concentratie nitraat en sulfaat juist in het eerste en tweede kwartaal hoger is. Voor ammonium worden de hoogste gehalten aangetroffen in het begin van het jaar. Dit hangt mogelijk samen met het uitrijden van dierlijke mest in deze periode van het jaar.



Figuur 2. Concentratie aan nitraat (mg/l) in het regenwater in het Gerendal gedurende 6 meetweken (03-04-84/13-06-84); per kolom is de standaard deviatie weergegeven. In de onderste helft van de figuur is de regenval in de desbetreffende week weergegeven (mm).

Tabel II Gewogen jaargemiddelden van natte depositie van nitraat, ammonium en sulfaat in mikromol/l. en de pH in het Gerendal (1984 & 1985) en voor Beek (ZL) en De Bilt (1983, LMR-KNMI/RIVM). Ter vergelijking zijn de gehalten voor Hilversum (1932-37; naar RID., uit STOM) toegevoegd.

	Gerendal		Beek (ZL)	De Bilt	Hilversum
	1984	1985	1983	1983	1932-37
nitraat	51	57	63	46	1
ammonium	92	97	119	92	30
sulfaat	61	65	78	56	47
pH	4.71	4.67	4.68	4.57	?

Tabel III. Natte depositie van N (in nitraat en ammoniumvorm) en S (zwavel) in mg/m met het regenwater in het Gerendal.

100 mg/m² komt overeen met 1 kg N of S per hectare.

	Stikstof			Zwavel
	N-Nitraat	N-Ammonium	N-Totaal	
1984				
kwartaal 2	283	492	775	635
2	153	322	475	482
4	97	151	248	347
1985				
kwartaal 1	136	279	415	316
2	217	336	553	594
3	100	105	205	271
4	101	225	326	269

Aangezien dit gewogen gemiddelden zijn, kunnen de gevonden verschillen niet worden toegeschreven aan verschil in regenval. Ter vergelijking met het LMR zijn de jaargemiddelden voor het Gerendal in tabel gezet met de meest recente jaargemiddelden van Beek (ZL) en De Bilt (Tabel II). Als representant van een gebied met "schone neerslag" zijn de vooroorlogse gegevens van Hilversum opgenomen. Uit de tabel blijkt dat in het Gerendal evenals in de rest van Zuid-Limburg, de pH wat hoger is, vermoedelijk door kalkstof uit mergelgroeven. De concentraties aan nitraat en sulfaat zijn vergeleken met Beek wat lager, maar behoren landelijk gezien toch tot de hogere waarden. Het jaargemiddelde voor ammonium in het Gerendal is duidelijk lager dan voor Beek. Vergeleken met andere waarnemingen in Nederland (LMR) zijn deze jaargemiddelden als "modale" waarden te beschouwen. Een vergelijking met de "schone" neerslag van vroeger laat aan duidelijkheid niets te wensen over (Tabel II). Naast het gehalte van verschillende stoffen in het regenwater, is de toevoer ("de natte depositie") met de neerslag op jaarbasis van be-

lang voor het functioneren van het kalkgraslandecosysteem. Per jaar is de volgende toevoer berekend:

1984	1985
19.1 kg N/ha/jaar	15.0 kg N/ha/jaar
17.8 kg S/ha/jaar	14.5 kg S/ha/jaar

De natte depositie van N is vooral hoog in het eerste en tweede kwartaal, terwijl voor S-verbindingen vooral in het tweede kwartaal een verhoogde toevoer is aangetroffen. Vermeld dient nog te worden dat de toevoer van N bijna voor 2/3 uit ammonium-N bestaat (tabel III).

Discussie

Duidelijk is dat ook in het Gerendal, midden in Zuid-Limburg, een aanzienlijke natte depositie van S en vooral N is aangetroffen. Vergeleken met de toevoer gegevens uit de rest van Nederland (KNMI/IVM) zijn deze waarden hoger dan gemiddeld, en in Europees verband zeker als aanzienlijk te beschouwen. De toevoer van N in ammonium-vorm in het Gerendal is re-

latief laag. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de afwezigheid van dichtbij gelegen bioindustrie en het feit dat de depositie van ammonium vooral lokaal plaatsvindt (BUIJSMAN *et al.*, 1984). De hoge depositie van nitraat is waarschijnlijk te danken aan de industriële "omgeving" van Zuid-Limburg, aangezien stikstofoxiden over grote afstand in de lucht getransporteerd worden (FRANTZEN *et al.*, 1983). Ook de gassen SO₂ en NO_x worden in hoge concentraties aangetroffen in Zuid-Limburg (milieunota, provincie Limburg 1985).

In het algemeen wordt gesteld (VAN AALST & DIEDEREN, 1983) dat de neerslag van verzurende stoffen uit de droge depositie 2 keer zo groot is als die uit de natte depositie. Hoewel dit nog onzeker is voor laaggestruktuurde vegetaties als kalkgraslanden zou, deze maat even aanhoudende, dit betekenen dat op de kalkgraslanden in het Gerendal **45 - 60 kg N/ha/jaar** terecht zou komen. Dit is ongeveer evenveel als de gemiddelde stikstof-gift op grasland begin vijftiger jaren (WILLEMSSEN, 1979)!

De effecten van de in het regenwater aangetroffen verbindingen kunnen tweeledig zijn. In de eerste plaats kan er sprake zijn van **verzurend** effect. De toevoer van waterstofionen in de natte depositie is weliswaar gering (bij een gemeten gemiddelde pH van 4.7 en 700 mm neerslag komt dit overeen met 0.14 kmol H⁺ per hectare per jaar), maar omzettingen van ammonium in nitraat zijn bij de verzuring veel belangrijker. Ammonium wordt in kalkgronden snel omgezet in nitraat en bij dit proces komen waterstofionen vrij. Bij de in het Gerendal gemeten concentraties zou dit voor 1985 neerkomen op een zuurtoevoer van 1.4 kmol H⁺ per hectare per jaar. Hier moet de bijdrage van verzurende stoffen uit de droge depositie, zoals SO₂ en aerosolen die ammonium bevatten, nog bij worden opgeteld. Weer aannemende dat de droge depositie 2x zo groot is als de natte, zou dit betekenen dat de verzuring in het Gerendal 4 à 5 kmol H⁺ per hectare per jaar bedraagt. De zuurtoevoer in de bodem van een kalkgrasland is van nature trouwens groter dan die uit de atmosfeer en be-

draagt ruwweg 5 à 15 kmol H^+ per ha per jaar. De graslandvegetatie produceert door de optredende wortelademhaling namelijk grote hoeveelheden koolzuur, waardoor kalk in oplossing gaat. Door 10 kmol H^+ kan 1000 kg kalk opgelost worden. Eén hectare kalkgraslandbodem met 50% kalk zou daardoor in 75 jaar tot een diepte van 1 cm ontkalkt kunnen raken. Op korte termijn is dus geen ontkalking te verwachten, zelfs niet van de bovenste centimeters.

Een tweede en door ons veel ernstiger geacht effect van zure neerslag in kalkgraslanden is een **bemestend** effect, veroorzaakt door de toevoer vanuit de atmosfeer van vooral ammonium en nitraat. Om te begrijpen wat de effecten zijn van de atmosferische depositie zijn bij de vakgroep Botanische Oecologie methoden ontwikkeld om regenwater onder graslandvegetatie (de zogenaamde doorval) op te vangen. Chemische bepalingen van dit water geven aan dat de structuur van de graslanden werkt als een effectief filter voor het invangen van droge depositie. De concentraties van bijv. chloride en sulfaat kunnen meer dan het dubbele bedragen van die in de neerslag. Bovendien is duidelijk geworden dat de vegetatie via de bladeren nitraat en ammonium opneemt (VAN DAM & HEIL, 1986). Er is dus sprake van een soort bladbemesting van het gewas.

Een gedeelte van de toevoer van N bereikt de bodem en wordt volledig door de wortels opgenomen. Metingen in het bodemvocht in kalkgraslanden geven aan dat er in regenrijke perioden in de herfst geen N uitspoelt. De voorraad N, die grotendeels is vastgelegd in organische stof en hieruit door afbraak weer vrijkomt, wordt door de voortdurende toevoer uit de atmosfeer steeds groter. Op den duur zal zich een nieuw evenwicht in stellen tussen aanvoer en afvoer, waarbij de jaarlijks door het kalkgrasland-systeem cirkulerende hoeveelheden op een veel hoger niveau zullen komen.

Door deze verhoogde toevoer van N in een relatief voedselarm oecosysteem als het kalkgrasland is te verwachten dat snelgroeiende plantesoorten be-

voordeeld worden. Bij bemestings-experimenten met NPK in graslanden blijkt elke keer weer (o.a. VAN DEN BERGH, 1979; WILLEMS, 1980) dat hoog opgroeiende grassen de overhand krijgen en de soortendiversiteit sterk daalt. In half-natuurlijke, soortenrijke graslanden zijn echter weinig experimenten uitgevoerd waarbij de effecten van N en P afzonderlijk zijn vervolgd. In een eerder artikel (BOBBINK & WILLEMS, 1984) is de veronderstelling geuit dat de gestage toename van Gevinde kortsteel door de verhoogde N-toevoer wordt veroorzaakt. Bij de toename van deze grassoort neemt de soortendiversiteit af en ontstaat er een hogere begroeiing. In een volgend artikel in dit tijdschrift zullen de resultaten belicht worden van experimenten in kalkgraslanden waarbij de toevoer van N, P en K kunstmatig verhoogd is. Hierbij wordt speciaal de dominantie van grassen en de soortendiversiteit vervolgd. Nu al is duidelijk dat N de dominantie van Gevinde kortsteel sterk bevordert (BOBBINK, in prep.) en P hierbij een ondergeschikte rol speelt. Wel zou het effect van N op lange termijn nog wel eens versterkt kunnen worden door de eerder genoemde ontkalking en een daarmee gepaard gaande verhoging van het fosfaatsniveau (KINZEL, 1983).

De toevoer van luchtverontreinigings-componenten via droge depositie blijkt sterk af te hangen van de vegetatie-structuur. Boven een korte grasmat is de droge depositie waarschijnlijk geringer, maar op een gewas van 1 m hoog komt deze al in de buurt van de waarde van bossen (HUSER *et al.*, geciteerd in VAN DAM, 1983). Op dit moment wordt binnen onze vakgroep geprobeerd ook de droge depositie in kalkgraslanden te meten. Dit is te meer van belang omdat de vegetatie door toenemende dominantie van Gevinde kortsteel duidelijk hoger wordt en daarmee ook de invang van droge depositie extra verhoogd zal worden. Als dit inderdaad zo zou zijn, dan zou de dominantie van Gevinde kortsteel een zichzelf versterkend effect zijn.

Tot slot gaan we in op de effecten van de huidige luchtverontreiniging op mossen, een geheel andere kompo-

nent van het oecosysteem. Van oudsher zijn kalkgraslanden bijzonder rijk aan mossen en korstmossen (BARKMAN, 1953). Korstmossen zijn echter vrijwel geheel uit de kalkgraslanden verdwenen terwijl ook een groot aantal mossoorten sterk verminderd of zelfs verdwenen zijn (DURING & WILLEMS, 1986). Dit is in de eerste plaats het gevolg van het verdwijnen of het verwaarlozen van veel graslanden. Daarnaast is ook de verandering van beheer (vroeger begrazing, nu veelal maaien) waarschijnlijk van belang. Met name van korstmossen maar ook van mossen (RAO, 1982) is echter eveneens bekend dat veel soorten gevoelig zijn voor luchtverontreiniging. DURING & WILLEMS (1986) vermoeden dan ook dat een deel van de achteruitgang van mossen en korstmossen in kalkgraslanden samenhangt met de toegenomen luchtverontreiniging, deels door directe effecten, deel indirect door de bovengenoemde structuurveranderingen in de graslanden. Mossen kunnen echter ook op geheel andere wijze betrokken zijn bij de effecten van luchtverontreiniging op het oecosysteem. In tegenstelling tot hogere planten is voor mossen het winterhalfjaar het belangrijkste groeiseizoen. Mossen bezitten geen wortels en nemen voedingsstoffen (maar b.v. ook zware metalen!) direct via de bladeren op. Mossen zijn dus in staat gedurende het winterhalfjaar nutriënten uit de lucht in te vangen die anders voor het oecosysteem mogelijk verloren zouden gaan, door uitspoeling etc. In voorjaar en zomer, als de moslaag deels afsterft, komen deze nutriënten dan ter beschikking van de dan actieve kruidlaag. De complementaire groeiperiode van mossen en hogere planten resulteert dus in het beter vasthouden van nutriënten in het systeem. Berekend is (VAN TOOREN *et al.*, 1986) dat de stikstofopname van de kruidlaag in de zomer in sommige kalkgraslanden voor 10% afkomstig kan zijn van de uit de moslaag vrijkomende stikstof.

In het bovenstaande zijn enkele voorbeelden gegeven van de vele mogelijke effecten van de huidige luchtverontreiniging op de Zuidlimburgse kalk-

graslanden. Het blijkt dat ook in een goed gebufferd systeem, waar de depositie van zuur op korte termijn niet veel effect zal hebben, de effecten toch groot kunnen zijn. Vermoedelijk hangt dit grotendeels samen met de toegenomen stikstofdepositie. Vele andere chemische processen kunnen echter in de toekomst ook van groot belang blijken te zijn, waarbij de giftige werking van zwaveldioxide (SO₂) nu al een kwalijk voorbeeld is. Het is o.a. deze zwaveldioxide die heeft gemaakt dat we in Nederland van epifytenwoestijnen spreken, in Zweden de meren dood zijn, en in Duitsland en Oost-Europa 'das Waldsterben' grote vormen aan heeft genomen.

Moge dit artikel er toe bijdragen dat de flora van onze Zuidlimburgse kalkgraslanden niet de weg gaat van de korstmossen en de vissen.....

Dankzegging

Enkele collega's zijn we erkentelijk voor hun suggesties ter verbetering van de tekst. Dank zijn we ook verschuldigd aan Staatsbosbeheer voor de verleende toestemming onderzoek te doen op de kalkgraslanden en die door hun reservaatbewaking het ons tevens mogelijk maakt apparatuur op de hellingen te laten staan. Dit onderzoek werd gesubsidieerd door een subsidie van het Prins Bernhard Fonds aan het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg terwijl het onderzoek tevens wordt gesteund door de Stichting voor Biologisch Onderzoek (BION), die wordt gesubsidieerd door de Nederlandse Organisatie voor Zuiver Wetenschappelijk Onderzoek (ZWO).

Summary

South-Limburg belongs to the most air-polluted

regions of the Netherlands. In a chalk grassland in central South-Limburg (The Gerendal) rainwater was analyzed during 1984 and 1985. On average the wet deposition of nitrogen was more than 17 kg/ha/year and of sulphate 16 kg.

The possible effects of this deposition on a chalk grassland ecosystem are discussed. The most important effect will not be an acidification of the top soil layer but an extra nutrient input resulting in a change of the structure of the vegetation. There will be an increase of *Brachypodium pinnatum* combined with a decrease of many other species. Probably also the species richness of mosses will decrease.

Literatuur

- AALST, R.M. van & H.S.M.A. DIEDEREN, 1983. De rol van stikstofoxyden en ammoniak bij de depositie vanuit de lucht van bemestende en verzurende stoffen op de Nederlandse bodem. MT-TNO-rapport R 83-58. Delft.
- BARKMAN, J.J., 1953. Cryptogamen. In: DIEMONT, W.H., A.J.H.M. VAN DE VEN en J.J. BARKMAN. De kalkgraslanden van Zuid-Limburg. Publ. Natuurhist. Gen. Limburg, Reeks 6:1-30.
- BERGH, J.P. VAN DEN, 1979. Changes in the composition of mixed populations of grassland species. In: M.J.A. WERGER (ed.). The study of vegetation, Den Haag; Junk.
- BOBBINK, R. & J.H. WILLEMS, 1984. Het gras Gevinde kortsteel (*Brachypodium pinnatum*) (L.) Beauv.) en de soortenrijkdom van de Zuidlimburgse kalkgraslanden. Natuurhist. Maandbl. 73:227-231.
- BUJSMAN, E., A.W. VERMETTEN & W.A.H. ASMAN, 1984. Ammoniak in de Nederlandse atmosfeer. In: E.H. ADEMA & J. VAN HAM (eds.). Zure Regen; oorzaken, effecten en beleid, Wageningen; Pudoc: 36-41.
- DAM, D. VAN, 1983. Invloed van luchtverontreiniging op de Nederlandse flora en op verzuring van de bodem. Rapport RIN 83/11.
- DAM, D. VAN & G.W. HEIL, 1986. Throughfall chemistry of herbaceous species growing on lysimeters. In: H.F. HARTMANN (ed.). Proceedings of the seventh world clean air congress, vol V, Melbourne; J.G. Holmes: 222-223.
- DAM, H. VAN, G. SUURMOND & C.J.F. TER BRAAK, 1981. Impact of acidification on diatoms and chemistry of Dutch moorland pools. Hydrobiologia 83: 425-459.
- DURING, H.J. & J.H. WILLEMS, 1986. The impoverishment of the bryophyte and lichen flora of the Dutch chalk grasslands in the thirty years 1953-1983. Biol. Conserv. 36 : 143-158.
- FRANTZEN, A.J., R.L. ADOLPHS & W. SCHIPPER, 1983. De chemische samenstelling van de neerslag in Nederland. Lucht en omgeving 2 : 132-135.
- HEIL, G.W. & W.H. DIEMONT, 1983. Raised nutrient levels change heathland into grassland. Vegetatio 53: 113-120.
- KINZEL, H., 1983. Influence of limestone, silicates and soil pH on vegetation. In: O.L. LANGE, P.S. NOBEL, C.B. OSMONO & H. ZIEGLER (eds.). Physiological Plant Ecology IV C, Berlin; Springer Verlag: 201-244.
- KNMI/RIVM, 1985. Chemical composition of precipitation over the Netherlands; annual report 1983. De Bilt/Bilthoven.
- Provincie Limburg, 1985. Milieunota. Uitgave provincie Limburg, Maastricht.
- RAO, D.N. 1982. Responses of bryophytes to air pollution. In: A.J.E. SMITH (ed.). Bryophyte Ecology, Londen; Chapman & Hall : 445-471.
- ROELOFS, J.G.M., 1983. Impact of acidification and eutrophication on macrophyte communities in soft waters in The Netherlands. I. Field observations. Aquatic Botany 17 : 139-155.
- SMIOT, J.T. DE, J.J.M. BERDOWSKI, A.M.H. BRUNSTING, G.W. HEIL & R. ZEIJLINGA, 1984. Hedendaags heidebeheer, terug naar vroeger. Natuur en Techniek 52 : 690-709.
- S.T.O.M., 1983. Lange termijn ontwikkelingen van voedselarme milieus en grondwater van pleistocene zandgronden. Rijksuniversiteit Utrecht.
- TOOREN, B.F. VAN, J. DEN HERTOEG & J. VERHAAR, 1986. The role of bryophytes in a chalk grassland ecosystem. Acta Botan. Hung. (in press).
- WILLEMS, J.H., 1980. An experimental approach to the study of species diversity and above-ground biomass in chalk grassland. Proc. K. Ned. Akad. Wet. Series C 83 : 279-306.
- WILLEMSSEN, W. 1979. Het grasland in Nederland. Zutphen; Uitg. Terra.