

Acid deposition and air pollution; their effects on the forest

J. van den Burg
Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw
"De Dorschkamp", Wageningen

1 Inleiding

In de geïndustrialiseerde wereld neemt sinds de zeventiger jaren de bezorgdheid over schade aan bossen en meren toe. Deze schade wordt toegeschreven aan "zure regen". Met deze uitdrukking wordt bedoeld dat de neerslag, die van nature een 'pH-waarde' van 5,0-5,6 heeft, in sterk geïndustrialiseerde gebieden al sinds de dertiger jaren (62) een pH-daling vertoont tot een waarde van 4,0 à 4,5. In incidentele gevallen zijn zelfs waarden van 2 à 3 waargenomen. Aan dit verschijnsel is vooral in Scandinavië, Canada en de Verenigde Staten aandacht besteed en het wordt over het algemeen beschouwd als de directe oorzaak van het verdwijnen van het dierlijke leven uit veel meren (1, 2, 3, 17). Deze theorie houdt in dat de pH van het regenwater directe invloed heeft op de bosgronden in Midden-Europa (de "bodempverzuuring")² en wel zo intensief dat de bossterfte die daar de laatste jaren – en vooral sinds 1980 – wordt waargenomen, daarvan het gevolg is.

Zowel in de vakpers als in de media is de discussie over de oorzaken van schade aan bossen, over de toekomst van de bossen en over de te nemen maatregelen op gang gekomen. Daarbij is een veelheid van factoren, veronderstellingen en meningen naar voren gebracht. Hoewel men nog niet kan spreken van door iedereen aanvaarde opvattingen over oorzaken, processen en gevolgen is toch een wat duidelijker beeld ontstaan over het vraagstuk van de bossterfte. Dit artikel heeft tot doel, de in de literatuur vervatte informatie samen te vatten, de betekenis van diverse factoren voor het Nederlandse bos zo goed mogelijk aan te geven en iets te zeggen over de stand van zaken van het

Summary

The article gives a review of recent literature concerning probable causes of forest decline in Central Europe and possible implications for Dutch forestry. Because investigations about the impacts of acid deposition and air pollution are in an initial stage, no final conclusions can be drawn. Ozone, next to summer droughts of 1982 and 1983, is a likely candidate for the cause of a less than optimum condition of parts of Dutch forests, especially Norway spruce stands. Sulfur dioxide seems to play a less important role. Actual significance of increased proton inputs into the soil must be considered as not yet critical, because most of the Dutch forests are growing on rather acid soils, and choice of tree species was adapted to conditions of low pH. However, not only air pollution but also increasing acidity remains a menace, albeit presumably on the long run.

bosbouwkundig onderzoek. Het is niet de bedoeling van dit artikel dat de literatuur uitvoerig wordt besproken. Daarvoor wordt verwezen naar een aantal in de literatuuropgave vermelde overzichtsartikelen (1, 2, 3, 6, 15, 16, 17, 19, 22, 24, 25, 28, 30, 31, 33, 29, 40, 41, 45, 46, 47, 56, 57, 59, 60, 61) en bibliografieën (5, 44).

2 De begrippen "zure regen", "zure depositie" en "luchtverontreiniging"

Het verschijnsel van recente bossschade en bossterfte wordt vaak in verband gebracht met het begrip "zure regen". Deze uitdrukking is kort en kernachtig, maar ze heeft verwarring gesticht omdat de indruk werd gevestigd dat bossen alleen werden bedreigd door regenwater met een lage pH-waarde. Deze opvatting wordt in toenemende mate geanueerd. Men heeft oog gekregen voor het feit dat de pH van regenwater veeleer een aanduiding is voor het optreden van veel complexere processen, en dat luchtverontreiniging – een al veel langer bekend maar de laatste jaren wat ondergewaardeerd verschijnsel – van groot belang is. Ook wordt de betekenis van klimatologische, entomo-

¹) In dit artikel wordt onder de pH van de grond verstaan de pH-waarde van de bovengrond, gemeten in een waterextract, d.w.z. de pH-H₂O-waarde. In Nederland wordt veel gebruik gemaakt van de pH-KCl-waarde van grond, die wordt bepaald in een 1 mol KCl-extract. Voor gronden onder bos geldt in het pH-H₂O-traject 3,5-8 bij benadering: pH-KCl = pH-H₂O - 0,8.

²) Bodempverzuuring wordt gedefinieerd als de verlaging van de zuur (= H⁺-ionen) neutraliserende capaciteit van de bodem. Het wordt teweeggebracht door verwijdering van kationen of door toevoeging van zure componenten. Het leidt meestal tot pH-daling, maar deze pH-daling verloopt niet lineair met de bodempverzuuring, juist vanwege het bufferend vermogen van de grond. De pH-daling is niet op eenvoudige wijze uit de bodempverzuuring af te leiden. Bodempverzuuring is dus niet hetzelfde als pH-daling. Het uiteindelijke gevolg van bodempverzuuring is wel dat de H⁺ - en Al³⁺-concentraties in de bodemplossing toenemen, met negatieve gevolgen voor planten en dieren (9).

*) Versijnt tevens als Mededeling 209 van de Dorschkamp.

logische en fytopathologische factoren weer beklemtoond.

Als nadere omschrijving van het begrip "zure regen" geldt de combinatie "zure depositie en luchtverontreiniging", waarmee men wil aanduiden dat zowel het actuele of potentieel zure karakter van een aantal, door menselijke invloed, in de atmosfeer gebrachte stoffen als voor planten direct giftige andere, in de atmosfeer gebrachte stoffen van belang zijn. In grote lijnen gaat het om de volgende stoffen en de processen waardoor ze ontstaan:

– Het verbranden van fossiele brandstoffen in centrales voor de levering van energie en warmte brengt het gas SO_2 (zwaveldioxyde) in de lucht. Het kan als gas door planten direct worden opgenomen en veroorzaakt schade, die onder het begrip luchtverontreiniging valt. Het kan ook als gas in de bodem dringen, en worden geoxydeerd tot H_2SO_4 (zwavelzuur), of gedurende het transport door de lucht in waterdruppels oplossen en dan eveneens langzamerhand worden geoxydeerd. Dit laatste verschijnsel is een van de oorzaken van "zure regen".

– Verbranding van fossiele brandstoffen in centrales en motoren leidt tot vorming van de stikstofoxyden NO en NO_2 (meestal gezamenlijk aangeduid als NO_x). Ze kunnen als gas een nadelige invloed op planten hebben. Belangrijker is dat ze in het atmosferische water oplossen en dan worden geoxydeerd tot HNO_3 (salpeterzuur), eveneens een belangrijke oorzaak van de pH-daling van regenwater. Ook kunnen ze als bron voor de ozonproductie in de atmosfeer fungeren.

– Koolwaterstoffen verbranden in motoren niet volledig, zodat een zekere hoeveelheid van deze stoffen in de atmosfeer komt. In de atmosfeer vormt zich uit reacties van koolwaterstoffen met stikstofoxyden en zuurstof, onder invloed van zonlicht, het gas O_3 (ozon) dat een uiterst reactieve vorm van zuurstof is, en gevaarlijk voor planten. Ook wordt een voor planten gevaarlijke stof als PAN (peroxyacetylnitrat) gevormd, en meerdere verbindingen waarvan de eigenschappen nog weinig of niet bekend zijn.

– Door allerlei menselijke activiteiten worden zware metalen en stoffen als fluoriden en zoutzuur in de lucht gebracht. Hoewel zware metalen potentieel een gevaar vormen voor bossen in verband met toenemende giftigheid ervan bij lager wordende pH-waarden van de bodem, blijven ze in dit artikel buiten beschouwing. Fluoriden en zoutzuur zijn wel gevaarlijk, maar hun betekenis is vooral lokaal.

– In Nederland wordt ook belang gehecht aan ammoniakgas, dat in de atmosfeer wordt gebracht o.a. bij het uitrijden van drijfmest en door ontwijken uit mestopslagplaatsen van intensieve veehouderijbedrijven. Ammoniak lost in de atmosfeer voor een deel in water op. Zowel ammoniak als ammonium kunnen in de bodem

worden omgezet tot salpeterzuur.

– Tenslotte mag niet onvermeld blijven dat sommigen de veranderingen in het bodemgebruik – en vooral de bosbouw – verantwoordelijk stellen voor de toegenomen zuurproductie in de bodem (32, 37). Dit wordt door anderen echter weer ontkend, omdat de zuurinvoer in de bodem in bepaalde gebieden te groot is om alleen uit veranderd bodemgebruik en de natuurlijke zuurproductie in de bodem verklaard te kunnen worden (53).

3 Gevolgen van zure depositie en luchtverontreiniging voor bossen

In de literatuur worden veel gevolgen van zure depositie en luchtverontreiniging beschreven. Hieronder volgt een samenvatting van de processen die optreden of waarvan men aanneemt dat ze nu of in de toekomst gaan optreden.

3.1 Schade als gevolg van wat traditioneel *luchtverontreiniging* "Rauchschäden" wordt genoemd is goed bekend (17, 19, 33, 39). Een van de kenmerken van luchtverontreinigingsschade is tot voor kort geweest dat deze vooral plaatselijk optreedt. De schade wordt veroorzaakt doordat gassen de planten via de huidmondjes binnendringen. Luchtverontreiniging blijkt echter ook de bodem te beïnvloeden (vandaar dat men van zure depositie is gaan spreken) en het aantal mogelijke gevolgen is groter geworden. De waarnemingen van de laatste jaren laten er weinig twijfel over bestaan dat de invloed van luchtverontreiniging zich over veel grotere gebieden uitstrekt dan velen zich vroeger realiseerden.

3.2 Het effect waaraan de laatste jaren de meeste betekenis is gehecht, is dat van de *pH-verlaging* (vaak, maar niet terecht, gelijkgesteld met "verzuring") van bosgronden. Op grond van bodemchemische theorieën (48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56) werd gepostuleerd dat onder omstandigheden van een ongestoorde bosgroei en een normale, d.w.z. niet door industriële activiteiten verhoogde actuele en potentiële verzuring van de neerslag, de pH van de grond gemiddeld niet lager kan worden dan ca. 5,0. Dit wordt verklaard uit de door bodemademhaling veroorzaakte CO_2 -druk en CO_2 -diffusie uit de bodem. Deze ondergrens van 5,0 is echter een gemiddelde waarde, en tijdelijk kunnen lagere pH-waarden voorkomen. Dit tijdelijk dalen van de pH beneden 5,0 wordt veroorzaakt doordat ruimtelijk en tijdelijk in de grond de nitrificatie – waarbij zowel NO_3^- -ionen, die dienen als stikstofbron voor de planten, als H^+ -ionen ontstaan – niet gelijk loopt met de NO_3^- -opname (bij dat laatste proces worden H^+ -ionen geconsumeerd). Dergelijke "zuurschokken" zouden

vooral optreden in warme, droge perioden omdat dan het gevormde NO_3^- wegens de droogte niet door planten kan worden opgenomen en H^+ -consumptie dus niet plaatsvindt. De daardoor veroorzaakte pH-daling is echter van tijdelijke aard en de bodem kan zich herstellen.

Deze grens van pH ca. 5,0 werd echter in de Bronstijd onderschreden toen de mens het bos ging exploiteren en het of omzette in landbouwgrond of ging gebruiken voor strooiselroof. De aanwezige biomassa verdween en daarmee ging een vitaal onderdeel van het ecosysteem verloren, nl. het materiaal dat in de vorm van dood blad, takken en naalden kan nitrificeren. Doordat in de bodem bij pH 5-6 zowel ammonificatie als nitrificatie plaatsvinden (leidend tot de vorming van NH_4^+ resp. NO_3^- , waarvan de opname door de plant vergezeld gaat van produktie resp. consumptie van H^+ -ionen) bleef in grote lijnen de netto-produktie van H^+ -ionen als gevolg van de stikstofopname door de bomen nul en werd alleen H^+ geproduceerd door de bodemademhaling. Dat laatste proces leidt slechts tot een zeer langzame verzuring. Het weghalen van gemakkelijk nitrificeerbaar materiaal had tot gevolg dat de stikstofmineralisatie zich meer en meer ging beperken tot ammonificatie, waardoor alleen NH_4^+ wordt gevormd. Opname van stikstof in de vorm van NH_4^+ door de bomen veroorzaakt produktie van H^+ -ionen hetgeen versnelde bodemverzuring inleidt. Dit heeft tot gevolg dat zich ruwe humus gaat ophopen en dat de pH gaat dalen, totdat het kritische punt van ca. 4,2 wordt bereikt. Als de pH eenmaal zover gedaald is, treedt bij verdergaande H^+ -ionenproduktie gedurende jaren maar een geringe pH-daling op in de volgende jaren omdat bij deze pH aluminiumhydroxyde-ionen in oplossing gaan, die H^+ -ionen kunnen binden zodat verdere pH-daling vertraagd wordt. Maar het resultaat is wel dat de bomen worden geconfronteerd met en een lage pH, en Al^{3+} -ionen. Lage pH-waarden worden door een aantal boomsoorten niet getolereerd en Al^{3+} -ionen zijn bij de dan in de bodemoplossing voorkomende concentraties in zekere mate giftig.

Deze theorie, die een verklaring wil geven voor het ontstaan van heidevelden, is nu ook toegepast op bossen, waarvan de atmosferische op antropogene activiteiten berustende, invoer van H^+ -ionen in de laatste jaren sterk was toegenomen. Hier zij overigens opgemerkt dat in deze theorie het bosbeheer een vrij grote rol speelt, en dat niet alleen negatieve, maar ook positieve invloed op de bodem door de mens is uit te oefenen (zie ook 10).

3.3 Als mogelijke gevolgen van de vergrote invoer van H^+ -ionen in het kronendak en op de bodem worden genoemd (15, 16, 17, 22, 27, 28, 31, 40, 41):

- Stijging van niet alleen Al^{3+} - maar ook van die van

Mn^{2+} -concentraties (en ook die van zware metalen) in de bodem tot voor de bomen toxische waarden.

- Uitspoeling van voor de bomen noodzakelijke kationen (K^+ , Mg^{2+} en Ca^{2+}) uit blad, naalden en bodem. Het verschijnsel van versnelde Mg^{2+} -uitspoeling uit boomkronen is bij fijnspar (*Picea abies*) en zilverspar (*Abies alba*) in West-Duitsland op meerdere plaatsen waargenomen, met als gevolg het optreden van zichtbaar magnesiumgebrek. Dit verschijnsel, een gevolg van contact van zuur regenwater, zure mist en zure dauwdruppels met het inwendige van blad en naalden, is ook uit Nederlands onderzoek in kassen bekend. Ozonschade heeft versnelde uitspoeling tot gevolg (40).

- Ophoping van stikstofarme organische stof op de bodem. Deze laag is door haar stikstofarme moeilijk mineraliseerbaar, waardoor ruwe humusvorming en achteruitgang van de stikstofvoorziening gaan optreden.

- pH-daling. De snelheid van dat proces is tamelijk klein. De literatuur noemt snelheden van 0,01-0,02 pH-eenheden. jaar⁻¹. Voor Nederland worden pH-dalingen van 0,03-0,05 pH-eenheden. jaar⁻¹ genoemd voor landbouwgronden (26). Dit betekent dat door vergrote atmosferische invoer van H^+ -ionen veroorzaakte pH-dalingen pas na een reeks van jaren zijn vast te stellen. Verder is voor de interpretatie van pH-veranderingen van belang dat de pH- H_2O amplitude van veel gronden onder bos per jaar in de orde van grootte van minstens één pH-eenheid ligt. De pH-KCl-waarde is veel minder seizoengevoelig.

- De pH heeft invloed op de stikstofmineralisatie maar over bepaalde onderdelen zijn de meningen nog verdeeld. De vraag is nl. of de thans geldende theorie over nitrificatie in de bodem moet worden herzien. Tot nu toe werd meestal aangenomen dat nitrificatie in gronden met pH-waarde beneden 5 van weinig betekenis is. Uit literatuurgegevens valt af te leiden dat in zure gronden onder bos de nitrificatie onder bepaalde omstandigheden groter kan zijn dan wordt aangenomen. Inzicht in het vraagstuk van de nitrificatie in gronden met pH 3-5 is van groot belang omdat veel van de Nederlandse bossen op dergelijke gronden zijn gelegen en de ammoniakimmissie in bepaalde gevallen vrij groot is. Er zijn verder aanwijzingen dat als gevolg van pH-daling bepaalde microorganismen als NO_3^- -consumenten uitvallen waardoor de NO_3^- -concentratie stijgt. Ook veronderstelt men wel dat een vergroot aanbod van NH_4^+ -ionen aan de bodem door droge en natte depositie ook de hoeveelheid geproduceerd NO_3^- doet toenemen.

- Voor een aantal microorganismen (o.a. mycorrhiza) worden negatieve effecten verwacht of aangenomen.

- De meningen over de betekenis van de pH voor

kieming en vooral de verdere ontwikkeling van zaailingen in natuurlijke verjongingen zijn verdeeld. Uit delen van West-Duitsland (o.a. uit Westfalen) komen berichten over verminderde natuurlijke verjonging van de beuk.

— Directe schade aan blad en naalden door "etsing" van de cuticula. De tot nu toe gedane proeven wijzen erop dat dit verschijnsel meestal pas bij pH-waarden lager dan 2,5 à 3,0 optreedt, welke waarden door de neerslag in uitzonderingsgevallen worden bereikt. Ozon schijnt een grotere rol te spelen bij cuticulaschade.

3.4 Zure depositie en luchtverontreiniging houden ook een toegenomen *nitraatinvoer in de bodem* en in Nederland ook een vrij grote hoeveelheid ammoniak en ammonium-ionen in. Het is een onderwerp van discussie of ammoniak in de Nederlandse bossen op pleistocene zandgronden kan worden omgezet in nitraat. Los daarvan betekent deze toegenomen stikstofverbindingenaanvoer een vorm van stikstofbemesting. In de literatuur is men het er over het algemeen over eens dat deze stikstoftoevoer in veel gevallen een positieve invloed op de groei kan hebben omdat van veel gronden de stikstofvoorziening hoogstens voldoende voor gemiddelde groei is. Het formele bewijs is vanzelfsprekend moeilijk te leveren omdat andere factoren ook de groei beïnvloeden. Wel kan deze verbetering van de stikstofvoorziening op den duur tot gevolg hebben dat andere elementen in het minimum kunnen geraken. In West-Duitsland beschikt men over aanwijzingen dat dat met magnesium en in mindere mate met calcium al het geval is. Uiteindelijk kan dan de verbetering van de stikstofvoorziening negatieve effecten hebben.

3.5 De betekenis van *sulfaat* voor bos en bodem is tamelijk slecht bekend. In sommige gebieden van de wereld met zwavelarmoede is de met zure depositie en luchtverontreiniging in het bos komende zwavel van positieve betekenis geweest, maar dat is een randverschijnsel. Voor Europa mag men wel aannemen dat de zwavelvoorziening van bossen minstens optimaal is. Sulfaat in de bodem schijnt van betekenis te zijn omdat het door ijzer- en aluminiumoxyden wordt geadsorbeerd en dan niet meer als begeleidend anion voor uitspoelbare kationen kan dienen. Ook kunnen aan dit geadsorbeerde sulfaat negatieve ladingen ontstaan waaraan weer kationen kunnen worden geadsorbeerd, hetgeen een toename van de adsorptiecapaciteit van de bodem betekent. De invloed van het sulfaat-ion op de pH is nog onduidelijk.

3.6 De *overige invloeden* van zure depositie betreffen o.a. allerlei fysiologische processen in bomen, het

bodemleven (bodemflora en -fauna) en allerlei organismen die in bossen leven (insekten, schimmels). Het onderzoek naar deze invloeden komt thans op gang, maar er zijn nog maar weinig resultaten bekend. In West-Duitsland vermoedt men dat in bepaalde gebieden met een hoge SO₂-invoer de stand van de regenwormen duidelijk aan het achteruitgaan is. Ook toenevende vorstgevoeligheid van bomen is een bekend gevolg van SO₂- en NH₃-verontreiniging.

Naast de bovengenoemde nadelige gevolgen van zure depositie moeten de gevolgen van luchtverontreiniging worden genoemd. Deze gevolgen zijn voor SO₂ goed bekend. Voor een beschrijving ervan kan naar de literatuur worden verwezen (17, 19, 30, 33, 39, 47, 59, 60). Tamelijk nieuw zijn het vraagstuk van de ozon schade en vooral de gecombineerde effecten van luchtverontreinigingscomponenten.

4. Een tussentijdse balans van het verschijnsel bosschade en schade aan meren in Midden-Europa en Scandinavië

In de afgelopen jaren is de discussie over de mogelijke oorzaken van bos- en meersterfte snel op gang gekomen, hetgeen zich uit in een stortvloed van symposia en artikelen in periodieken en pers. Daarbij gaat het om drie zaken, nl. de intensiteit van de waargenomen verschijnselen, de verklaring ervan, en de toekomstverwachtingen.

— In grote lijnen neemt de intensiteit van verschijnselen, die wijzen op een verminderde vitaliteit van de bossen in Midden-Europa, toe. In de zeventiger jaren nam men conditieachteruitgang waar bij de gewone zilverspar, en in 1980 viel de aandacht op verspreid optredende boom- en bossterfte. In 1982 bleek na een inventarisatie dat 8% van het bos in de Bondsrepubliek schadeverschijnselen vertoonde (59, 60). Na de zeer hete en droge zomers van 1982 en 1983 nam de intensiteit van de bosschade toe. Voorlopige publicaties (18, 21) vermelden dat in 1983 ca. 35% van het bos in de Duitse Bondsrepubliek in min of meer slechte conditie is, of afstervingsverschijnselen vertoont.

— De interpretatie van deze verschijnselen is nog steeds in discussie (6, 35, 40, 41). Men moet er daarbij op letten dat drie verschijnselen worden genoemd, nl. het "Tannensterben" (sinds ca. 1970 in opvallende mate toenemend), de "Rauchschäden" (de klassieke verschijnselen van luchtverontreinigingsschade, in industriegebieden goed en sinds lang bekend), en het "Waldsterben", dat vooral sinds 1980 wordt waargenomen en dat wegens zijn verbreiding en het aantal boomsoorten dat erbij betrokken is, niet zonder meer viel te verklaren. De hypothese dat de lage pH van het regenwater direct verantwoordelijk zou zijn wordt niet meer als de enig mogelijke gezien. Wel zijn berichten

over pH-dalingen (7, 11, 12, 20, 23, 42, 63) verontrustend. Men denkt thans meer aan andere oorzaken, nl. de langdurige werking van luchtverontreiniging. Sommigen denken ook aan fytopathologische oorzaken, waarbij het de vraag is hoe deze toch weer met zure depositie en luchtverontreiniging samenhangen. Een factor, die van groot belang is voor interpretatie van verschijnselen is het weer. Men moet daarbij bedenken dat het weer en de "zure regen" weliswaar onderling onafhankelijke oorzaken zijn, maar elkaars gevolgen onafhankelijkste oorzaken zijn, maar elkaars gevolgen onafhankelijkste oorzaken zijn.

Bij luchtverontreiniging denkt men aan SO_2 , O_3 en NO_x maar het is een nog steeds bediscussieerde vraag welke van deze factoren de hoofdrol speelt. Vermoedelijk zijn de gecombineerde effecten overheersend. Ook zijn de schadefactoren in de door bossterfte getroffen gebieden niet steeds dezelfde. Zo vermoedt men overheersing van O_3 -schade in het Zwarte Woud, en van SO_2 -schade in het Fichtelgebirge. De fytopathologische factoren worden thans nader onderzocht (13, 14). Er wordt wel gedacht aan een primaire invloed van nematoden en aan schade bij mycorrhiza. Speciale aandacht wordt gewijd aan de nogal getroffen soort *Abies alba*, die sterfteverschijnselen vertoont op allerlei gronden en waarvan wordt vermoed dat o.a. het weer en de luchtverontreiniging een grote rol spelen. Deze soort is nl. nogal droogtegevoelig en het laatste decennium is gekenmerkt door droge zomers. Ook het feit dat vanaf de veertiende eeuw periodiek "Tannensterben" optreedt geeft te denken (34).

Een ondersteuning voor de aandacht voor luchtverontreiniging vormen de verschijnselen in Scandinavië. Zoals bekend is juist in dat gebied het eerst de aandacht gevestigd op meren, waaruit het dierlijk leven verdween. De hypothese dat dat is veroorzaakt door de pH-daling van het regenwater is (ondanks tegenspraak, zie 32) algemeen aanvaard. Opvallend is dat in Scandinavië nog geen gevallen van bossterfte op grote schaal zijn waargenomen. De verklaring voor dit verschil met West-Duitsland is dat in dat laatste gebied zuurvormende componenten (SO_2 , NO_x) als gas direct door de planten worden opgenomen en luchtverontreinigingsschade veroorzaken. Tijdens het transport van SO_2 en NO_x naar Scandinavië lossen deze componenten langzamerhand op in het wolkenwater en worden daar weliswaar geoxydeerd tot zwavelzuur en salpeterzuur maar verliezen daardoor ook hun nadelige werking als luchtverontreinigingsschade veroorzakende factoren. De meeste bossen in Scandinavië liggen op gronden waarvan de pH-waarde lager is dan 4,3. Deze gronden zijn dus al van nature zeer zuur, maar de meest voorkomende soorten fijnspar, groveden en berk zijn goed bestand tegen lage pH-waarden.

5 De gevolgen van bosschade en -sterfte in Midden-Europa voor de houtvoorziening en de economie van het bosbedrijf

Een van de vragen die men zich heeft gesteld na het vaststellen van de pH-daling van het regenwater is of de boomgroei in tot nu toe als gezond beschouwde gebieden ook al achteruitgaat. Het aantal gegevens hierover is beperkt. Uit onderzoek in Groot Brittannië en Scandinavië is tot nu toe gebleken dat geen afnemende trend in de boomgroei htinger daarentegen sterk samen met variaties in de weersomstandigheden. In West-Duitsland daarentegen blijkt uit de nog schaarse, maar in omvang toenemende gegevens dat groeiafname niet vanaf 1980 maar vaker vanaf 1976 optrad (hetgeen ook een verband met de droogte in dat jaar doet vermoeden) en dat eigenlijk de groeiafname al begint in de vijftiger jaren. Men neemt daarom een samenhang aan met de sterk oplevende industriële activiteiten na de Tweede Wereldoorlog, welke luchtverontreiniging tot gevolg had (61).

Tot op heden heeft men in West-Duitsland het houtaanbod kunnen beheersen door zo weinig mogelijk schadehout op de markt te brengen. Er zijn echter tekenen dat in 1984 dit niet meer mogelijk is. Maatregelen tegen het ineenstorten van de houtmarkt zijn o.a. wering van import uit Oosteuropese landen (waar men eveneens veel schadehout heeft), export van schadehout naar andere landen, en beperking van dunningen tot het noodzakelijke peil. Ook werking – naar analogie van in de stormschadejaren 1972 en 1973 getroffen maatregelen – gedacht aan beperking van de houtkap in staatsbosbedrijven om de particuliere bosbouwer de kans te geven zijn hout te kunnen afzetten. Uit het oogpunt van bosgezondheid en -stabiliteit zijn dat echter gevaarlijke maatregelen. Toch zijn dat lapmiddelen en men vreest voor de toekomst van de particuliere bosbouwer, die gedwongen is tot houtkap over te gaan en eveneens op grote schaal moet gaan herbebossen. Het is niet uit te sluiten dat de Nederlandse houtmarkt hiervan op korte termijn de weerslag ondervindt. Men vreest daarentegen dat op wat langere termijn de productiecapaciteit van de Westduitse bossen zo sterk achteruit zal gaan dat houttekort in de Duitse Bondsrepubliek zal optreden met de daaraan verbonden negatieve consequenties voor de handelsbalans en de werkgelegenheid.

6 De situatie in Nederland

In Nederland is recente bossterfte op grote schaal nog niet waargenomen. Veel schadeverschijnselen, die

aan bomen in de laatste jaren zijn waargenomen, zijn toe te schrijven aan extreme weersomstandigheden in de laatste jaren, nl. de droge en hete zomers van 1976, 1982 en 1983, de strenge winter van 1978/79, de warme winter en de natte lente van 1983. De auteur van dit artikel is zich ervan bewust dat velen dit standpunt niet delen. Het is toe te geven dat boomsoorten primair kunnen zijn verzwakt omdat hun vitaliteit is achteruitgegaan door luchtverontreiniging. Het opsporen van het aandeel van de oorzaken van de schade die bomen ondervinden is een onderzoeksprobleem. Het naaldverlies van een aantal boomsoorten in het najaar van 1983 is toe te schrijven aan schade, veroorzaakt door luizen (64). Uit het tot nu toe in Nederland verrichte onderzoek (4, 8, 26, 27, 36, 38, 39, 43, 58) zijn aanwijzingen te vinden dat er in Nederland invloeden werkzaam zijn, die in Midden-Europa hun tol al eisen, maar over de werkelijke situatie zijn nog geen definitieve uitspraken te doen. Vergelijking met de situatie in Midden-Europa leert dat boomsterftē, zonder al te duidelijke voorafgaande signalen, plotseling kan optreden. Wat hieronder volgt is deels op feiten, maar ook op aannemelijke veronderstellingen gebaseerd:

- *Luchtverontreiniging*: Het vermoeden bestaat dat de actuele betekenis van SO₂-gas voor het Nederlandse bos geringer is dan die van ozon. Er zijn aanwijzingen dat atmosferische ozonconcentraties in Nederland vrij vaak in het gebied van voor bomen kritische concentraties liggen (36). Omdat ozonschade veel gelijkenis vertoont met droogteschade is onderscheid tussen deze factoren lastig. Groeiafname wordt ook door ozon veroorzaakt, maar dat is in het veld moeilijk meetbaar. Belangrijker nog is de combinatie van SO₂ en O₃.
- *Zure depositie*: als men zich beperkt tot de actuele pH van het regenwater in Nederland (die ca. 4-4,5 be-

draagt) dan is de huidige situatie nog niet fataal. Zeer veel Nederlandse bossen zijn al tientallen jaren gelegen op pleistocene zandgronden met pH-KCl-waarden 2,7-3,5 (pH-H₂O 3,5-4,3) en zelfs lager, zonder zichtbare schade. Niet de pH maar het bodemvruchtbaarheidsniveau bepaalt daar in grote mate de groei en de gezondheidstoestand. Het is uit onderzoek en praktijk bekend dat op deze gronden de soorten groveden, zwarte den, fijnspar, douglas, Japanse lariks, berk, zomereik en ook beuk goed kunnen groeien als andere groeiplaatsfactoren dan de pH voldoende zijn. Men heeft juist het zuurresistente karakter van deze boomsoorten gebruikt om er de heide (die ten tijde van de bosaanleg in Nederland een pH-KCl van rond 3,0 had) mee te bebossen. Potentieel betekent de vergrote invoer van zuur natuurlijk een gevaar voor deze soorten, als de buffercapaciteit van de bodem is uitgeput. Ook uitspoeling van voor het bos noodzakelijke kationen behoort tot de mogelijkheden, getuige wat in West-Duitsland optreedt.

- Een bijzonder geval van luchtverontreiniging in Nederland vormt de vrij hoge jaarlijkse *atmosferische stikstofinvoer* in het bos (gemiddeld 60 kg N/ha⁻¹jaar⁻¹), in de vorm van ammoniak afkomstig van veehouderijbedrijven. Dit beïnvloedt weliswaar de groei positief, maar de NH₃- en NH₄-componenten kunnen tot verzuring en daarna tot pH-daling aanleiding geven en zullen dan op den duur een negatieve werking hebben omdat K⁺-, Ca²⁺- en Mg²⁺-ionen uitspoelen. Directe schade veroorzaakt door ammoniakgas afkomstig van legkippenbatterijen aan Corsicaanse den op afstanden van 25-50 m van deze batterijen is waargenomen en leidde tot toxische stikstofgehalten en uitspoeling van kalium uit de naalden. (Zie overzicht).

Een voorbeeld van de gevolgen van ammoniakemissie is af te leiden uit onderzoek naar de naaldsamenstelling van zwarte den in bossen in de omgeving van IJsselsteyn en Venray. In onderstaande tabel zijn gegevens van opstanden op verschillende afstanden van legkippenbatterijen weergegeven (bemonsteringsdatum 25 maart 1983).

ligging van de opstanden t.o.v. legkippenbatterijen	naaldsamenstelling (% van de drogestof)					symptomen en interpretatie
	N	P	K	Ca	Mg	
25-50 m	3,76	0,13	0,34	0,14	0,05	ernstige naaldnecrose en zeer hoge N-gehalten van de naalden veroorzaakt door NH ₃ -immissie (luchtverontreinigingschade); lage K-gehalten, veroorzaakt door uitspoeling van K uit beschadigde naalden, en/of door K-NH ₄ -antagonisme in de bodem
	2,81	0,11	0,35	0,26	0,04	
100-300 m	1,39	0,22	0,74	0,30	0,08	meestal gezonde naalden, soms Mg-gebrek óf primair door laag Mg-voorzieningsniveau van de bodem, óf door NH ₄ veroorzaakt secundair laag Mg-voorzieningsniveau; mogelijk plaatselijk verhoogd N-gehalte van de naalden en plaatselijk laag K en Ca-gehalte van de naalden
	1,79	0,10	0,91	0,08	0,02	
	1,35	0,10	0,46	0,11	0,02	

7 Maatregelen om zure depositie en luchtverontreiniging en hun gevolgen te voorkomen

Hoewel over de processen die zure depositie en luchtverontreiniging veroorzaken in bos en bodem op veel punten nog verschil van mening bestaat, gaat er toch steeds meer een communis opinio heersen over het acute gevaar van luchtverontreiniging en het toekomstige gevaar van zure depositie. Zure depositie en luchtverontreiniging zijn passief aan deze schadeveroorzakers blootgesteld en met beheersmaatregelen zijn deze oorzaken niet te bestrijden. In beginsel moet daarom niet bestrijding van de gevolgen, maar preventie van de oorzaken voorop staan, d.w.z. het terugdringen van de uitworp van al die stoffen die boven hun natuurlijk niveau schade veroorzaken.

Iets geheel anders is als men van bosbouwkundige zijde die maatregelen zou kunnen treffen waarmee men de thans reeds ernstige gevolgen tracht tegen te gaan. Deze maatregelen zijn echter te beschouwen als noodsprongen, die men niet mag verwarren met preventieve maatregelen. Tot de in de literatuur genoemde bestrijdingsmaatregelen behoren o.a. beheersmethoden in bestaande bossen en zodanige aanlegmethoden dat de vitaliteit zo goed mogelijk is. Het werkelijke probleem wordt daarmee echter niet opgelost en als preventieve methode voldoen ze niet. Veredeling met het doel bomen te kweken die redelijk resistent zijn tegen zure depositie en luchtverontreiniging wordt niet aangeraden omdat resistentie slechts betekent dat de schade op een later tijdstip optreedt en omdat het de noodzaak van preventie zou verminderen.

Andere methoden die worden aanbevolen zijn bemesting (29) en bekalking (52). De laatste methode wordt aangeraden om bodemverzuring tegen te gaan, maar ze is niet zonder gevaren en is alleen aan te bevelen als de situatie zo ernstig is dat van permanente schade en de onmogelijkheid om zonder bekalking gezond bos te behouden sprake is. Het voert hier te ver de uitvoerige literatuur over de gevolgen van bekalking van bossen te bespreken. Ook hier geldt dat niet bestrijding van de gevolgen, maar preventie van de oorzaken de aangewezen weg is. Het zelfde is het geval voor bemesting, die als preventieve maatregel geen zin heeft, maar wel in bepaalde gevallen een methode is om bossen te redden. Te denken valt o.a. aan magnesiumbemesting daar waar magnesiumgebrek de conditie van bomen doet achteruitgaan.

Met het thema bemesting raakt men ook aan het verschijnsel dat vanuit de atmosfeer in droge en natte vorm ongeveer 30-100 kg stikstof.ha⁻¹.jaar⁻¹ en onge-

veer 50-100 kg zwavel.ha⁻¹.jaar⁻¹ in het Nederlandse bos komen. De stikstof- en zwavelbehoefte in de vorm van bruto door een volwassen bos van gemiddelde groei op te nemen hoeveelheden bedraagt in ronde getallen 50 kg N.ha⁻¹.jaar⁻¹ en 5 kg S.ha⁻¹.jaar⁻¹. Blijkbaar kunnen delen van het Nederlandse bos hun behoeften aan N en S uit de atmosfeer dekken. De beantwoording van de vraag of dit een goede of verkeerde zaak is hangt af van de doelstelling van het bos en van de toekomstige gevolgen. Als produktie een hoofdoelstelling is, bestaat tegen atmosferische stikstofbemesting geen overwegend bezwaar (waarbij natuurlijk wel de gevolgen van deze stikstofbemesting voor andere bodemfactoren en voor de bosvitaliteit in het oog moeten worden gehouden – men denke aan de kans op het optreden van K-, Ca- en Mg-gebrek, vitaliteitsvermindering en vorstschade door luchtverontreiniging). De betekenis van hoeveelheden zwavel, sterk boven de behoefte uitgaand is nog ondoorzichtig.

8 Tot slot: vragen aan het onderzoek

Uit het voorgaande zal duidelijk zijn geworden dat zich wel een beeld begint af te tekenen van wat er thans aan de hand is met de bossen, maar dat men niet alleen gevolgen maar ook oorzaken moet analyseren: de dosis-effectrelaties. Voor Nederland betreft dit de volgende vragen, vanuit bodemkundig-bosbouwkundig standpunt:

- Welke invloed heeft het bos op de bodem en welke bosbouwkundige maatregelen ter bestrijding van bodemverzuring en de daarmee samenhangende nevenverschijnselen zijn daaruit af te leiden.
- Hoe snel is de buffercapaciteit (of anders gezegd de zuurneutralisatiecapaciteit) van verschillende gronden uitgeput en wanneer verschuift de pH naar ongewenst lage waarden, m.a.w. hoe hangt de pH van de bodemverzuring af.
- Welke tolerantie hebben boomsoorten tegen de thans optredende processen en wanneer is – in verband met de vorige vraag – de tolerantiegrens bereikt.
- Wat zijn de gevolgen van de grote stikstofinvoer, zwavelinvoer en H⁺-ionen via de atmosfeer en via de bodem. Het vraagstuk van o.a. de nitrificatie bij lage pH-waarden is van groot belang omdat het antwoord erop mede bepaalt hoeveel sneller door een door nitrificatie eventueel toegenomen H⁺-ionenproduktie het tijdstip van een voor wel alle boomsoorten kritieke pH-waarde 3,0 naderbij wordt gebracht. Ook verslechtering van de kalium-, calcium- en magnesiumvoorziening, achteruitgang van de stikstofmineralisatie, toename van de ruwe humusvoorraad en nadelige effecten van zware metalen horen hiertoe.

Literatuur

- 1 Acidification – a boundless threat to our environment. 1983. Swedish Ministry of Agriculture. 40 p.
- 2 Acidification today and tomorrow. 1982. Swedish Ministry of Agriculture, Environment '82 Committee. 231 p.
- 3 Acid rain. 1982. Swedish Forestry Association. 32 p.
- 4 Appelo, C. J. 1982. Verzuring van het grondwater op de Veluwe. *H₂O* 15 (18): 464-468.
- 5 Auswirkungen Saurer Niederschläge auf Waldökosysteme – Sonder-Bibliographie. 1983. Dokumentationsstelle der Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, Bonn. 16 S.
- 6 Binns, W. O., and D. B. Redfern. 1983. Forest decline in Germany: observations on soils, nutrition and pathology made during a study tour 24 September to 6 October 1982. Note Forestry Commission. 10 p.
- 7 Blume, H. P. 1981. Alarmierende Versauerung Berliner Forsten. *Berliner Naturschutzblatt* 1981: 713-715.
- 8 Breemen, N. van, P. A. Burrough, E. J. Velhorst, H. F. van Dobben, T. de Wit, T. B. Ridder and H. F. R. Reinders. 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* 299: 548-550.
- 9 Breemen, N. van, C. T. Driscoll en J. Mulder. 1983. De rol van zure atmosferische depositie en interne H⁺-productie bij verzuring van bodem en water. Voordracht Studiekroeg Koninklijke Nederlandse Bosbouwvereniging (te publiceren in het Nederlands Bosbouw Tijdschrift).
- 10 Burg, J. van den. 1979. Veranderingen in heidegronden door bebossing. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 51 (3): 69-81; Mededeling Rijksinstituut voor onderzoek in de bos- en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, nr. 174.
- 11 Butzke, H. 1981. Versauern unsere Wälder? Erste Ergebnisse der Überprüfung 20 Jahre alter pH-Wert-Messungen in Waldböden Nordrhein-Westfalens. *Der Forst- und Holzwirt* 36 (21): 542-548.
- 12 Butzke, H. 1983. Bodenversauerung auch in Bayern. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (13): 339-340.
- 13 Courtois, H. 1983a. Die Pathogenese des Tannensterbens und ihre natürlichen Mechanismen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 154 (4 & 5): 93-98.
- 14 Courtois, H. 1983b. Die Tannenwurzel-Mykose, ihre Ursachen und Folgen. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (8): 211-213.
- 15 Cowling, E. B., and R. A. Linthurst. 1981. The acid precipitation phenomenon and its ecological consequences. *Bioscience* 31 (9): 649-654.
- 16 Dam, D. van. 1983. Invloed van luchtverontreiniging op de Nederlandse flora en op verzuring van de bodem. Rapport Rijksinstituut voor Natuurbeheer nr. 83-11. 263 p.
- 17 Effects of SO₂ and its derivatives on natural ecosystems, agriculture, forestry and fisheries. 1981. Report of an IERE Working Group. Central Electricity Generating Board, Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, England. 4 + 31 + 92 + 67 + 77 + 13 p.
- 18 Ergebnisse der zweiten Waldschadeninventur in der Bundesrepublik Deutschland. 1983. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (42): 1126.
- 19 Erkennen von Immissionsschäden an Waldbäumen. 1983. Sonderdruck *Allgemeine Forstzeitschrift*. 16 S. BLV-Verlagsgesellschaft, München.
- 20 Evers, F. H. 1983. Orientierende Untersuchungen langfristiger Bodenreaktionsänderungen in südwestdeutschen Düngungs-Versuchsflächen. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (13): 317-320.
- 21 Fläche des Waldsterbens seit 1982 verviervacht. 1983. *Holz-Zentralblatt* 109 (127), S. 1.
- 22 Fuhrer, J., and C. Fuhrer-Fries. Interactions between acidic deposition and forest ecosystem processes. *European Journal of Forest Pathology* 12: 377-390.
- 23 Glatzel, G., E. Sonderegger, M. Kazda und H. Puxbaum. 1983. Bodenveränderungen durch schadstoffangereicherte Stammablaufniederschläge in Buchenbeständen des Wienerwaldes. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (26 & 27): 693-694.
- 24 Hatzfeld, J. 1982. Stirbt der Wald? – Energiepolitische Voraussetzungen und Konsequenzen. *Alternative Konzepte, Schriftenreihe der Georg Michael Pfaff Gedächtnisstiftung* Nr. 41. 230 S.
- 25 Hatzfeld, H. 1983. Was kann der Forstmann waldbaulich gegen das Waldsterben tun. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (32): 810-811.
- 26 Henkens, Ch. H. 1983. Invloed van de neerslag op de kalktoestand van de grond. *Bedrijfsontwikkeling* 14 (9): 641-648.
- 27 Heringa, J. W. 1971. Guttatie en dauwdruppels als aanleiding voor enkele fysiologische ziekten. *Landbouwkundig Tijdschrift* 83 (7): 263-267.
- 28 Hornbeck, J. 1981. Acid rain: facts and fallacies. *Journal of Forestry* 79 (7): 438-443.
- 29 Hüser, R. 1983. Forstdüngung mit Blickrichtung auf die Immissionsbelastungen. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (41): 1089-1092.
- 30 Immissionsbelastungen von Waldökosystemen, erweiterte Neuauflage. 1983. Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen. 57 S.
- 31 Johnson, D. W. 1981. Acid rain and forest productivity. In: *Proceedings of the XVIIth IUFRO World Congress, Japan 1981, Division 1, p. 73-89.*
- 32 Krug, E. C. and Ch. R. Fink. 1983. Acid rain on acid soil: a new perspective. *Science* 221: 520-525.
- 33 Malhotra, S. S., and R. A. Blauel. 1980. Diagnosis of air pollutant and natural stress symptoms on forest vegetation in Western Canada. Information Report, Northern Forest Research Centre NOR-X-228. 84 p. Environment Canada, Edmonton, Alberta.
- 34 Mayer, H. 1979. Zur waldbaulichen Bedeutung der Tanne im mitteleuropäischen Bergwald. *Forst- und Holzwirt* 34: 333-343.
- 35 Mellanby, K. 1983. Acid precipitation and the Black Forest. *Nature* 304: 486.
- 36 Mooi, J. 1982. Responses of some poplar species to mixtures of SO₂, NO₂ and O₃. *Proceedings 12th International meeting for specialists in air pollution damages in forests (IUFRO subject group S2.09)*. Oulu, Finland 23-29 August 1982 (in press).
- 37 Nilsson, S. I., H. G. Miller and J. D. Miller. 1982. Forest growth as a possible cause of soil and water acidification: an examination of the concepts. *Oikos* 39: 40-49.
- 38 Poortinga, G. 1982. Breekt de zure regen ons nu al op? – De toekomst van de houtvoorziening in gevaar. *De Houtwereld* 35 (21): 23-27.
- 39 Posthumus, A. C. 1981. De invloed van luchtverontreiniging op planten. *Natuur en Techniek* 49 (7): 488-507.
- 40 Prinz, B. 1983. Gedanken zum Stand der Diskussion über die Ursache der Waldschäden in der Bundesrepublik

- Deutschland. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (18): 460-468.
- 41 Rehfuess, K. E. 1983. Walderkrankungen und Immission – eine Zwischenbilanz. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (24): 601-610 und 38 (26 & 27): 640.
 - 42 Reichmann, H., und H. Streit. 1983. Fortschreitende Bodenversauerung und Waldschäden im industrienahen Stadtwald Wiesbaden. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (13): 322-328.
 - 43 Roelofs, J. 1983. Toenemende gevolgen van zure neerslag in Nederland. *Natuur en Milieu* 7 (5): 13-15.
 - 44 Schrader, S., U. Greve und H. R. Schönwald. 1983. Saure Niederschläge und Waldschäden – Bibliographie. *Mitteilungen der Bundesanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 138*. 108 S. (vervolgd met "Aanvullende literatuurlijst over de invloed van luchtverontreiniging op bossen", juli 1983. 9 p. Staatsbosbeheer, Inspectie Bosbouw, Afdeling Bosontwikkeling).
 - 45 Schüller, G. 1983. Unser derzeitiger Wissenstand über das Tannensterben. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (8): 208-210.
 - 46 Smidt, S. 1982. Untersuchungen über das Auftreten von sauren Niederschlägen in österreichischen Waldgebieten. *Allgemeine Forstzeitung* 93 (12): 331-333.
 - 47 Smith, W. H. 1981. *Air pollution and forests*. 379 p. Springer, New York, Heidelberg, Berlin.
 - 48 Ulrich, B. 1980a. Die Bedeutung von Rodung und Feuer für die Boden- und Vegetationsentwicklung in Mitteleuropa. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 99: 376-384.
 - 49 Ulrich, B. 1980b. Die Wälder in Mitteleuropa: Messergebnisse ihrer Umweltbelastung, Theorie ihrer Gefährdung, Prognose ihrer Entwicklung. Vortrag vor dem Deutschen Forstverein am 24.9.1980.
 - 50 Ulrich, B. 1980c. Zur Stabilität von Waldökosystemen. *Forstarchiv* 52 (5): 165-170.
 - 51 Ulrich, B. 1981. Destabilisierung von Waldökosystemen durch Biomassenutzung. *Forstarchiv* 52 (6): 199-203.
 - 52 Ulrich, B. 1983a. Belastung und Belastbarkeit von Waldökosystemen mit Luftverunreinigungen. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* 154 (4 & 5): 76-82.
 - 53 Ulrich, B. 1983b. Effects of accumulation of air pollutants in forest Ecosystems. Symposium Acid Deposition, a challenge for Europe. Karlsruhe 19-21 sept. 1983. 20 p.
 - 54 Ulrich, B. 1983c. Stabilität von Waldökosystemen unter dem Einfluss des sauren Regens. *Allgemeine Forstzeitschrift* 38 (26 & 27): 670-677.
 - 55 Ulrich, B. und E. Matzner. 1983. Ökosystemare Wirkungsketten beim Wald- und Baumsterben. *Der Forst- und Holzwirt* 38 (18): 468-474.
 - 56 Ulrich, B., R. Mayer und P. K. Khanna. 1979. Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. *Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt*, Band 58. 291 S.
 - 57 Ulrich, B., und J. Pankrath (editors). 1983. *Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems*. 390 p. Reidel, Dordrecht, Boston (USA), Londen.
 - 58 Verstraten, J. M. 1982. De bodem als bufferend systeem tegen verzuring. Inaugurale rede Universiteit van Amsterdam, 18 oktober 1982. 15 p.
 - 59 Walderkrankung und Immissionseinflüsse. 1983. Eine Information des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Stand April 1983. 24 S.
 - 60 Waldschäden durch Luftverunreinigung. 1982. Bericht des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, des Bundesministers des Innern und des Länderrausschusses für Immissionsschutz. *Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A (Angewandte Wissenschaft) Heft 273*. 65 S. + 3 Anlagen.
 - 61 Wenzel, K. F. 1982. Ursachen des Waldsterbens in Mitteleuropa. *Allgemeine Forstzeitschrift* 37 (45): 1365-1368.
 - 62 Winkler, P. 1982. Zur Trendentwicklung des pH-Wertes des Niederschlags in Mitteleuropa. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 145: 576-585.
 - 63 Zezschwitz, E. von 1982. Akute Bodenversauerung in den Kammlagen des Rothaargebirges. *Forst und Holzwirt* 37 (10): 275-276.
 - 64 Grijpma, P. 1983. Een luize(n)jaar! *Bosbouwvoorlichting* 22 (4): 3-4 (1983).