

Gisteren, vandaag, morgen

Een terugblik op het probleem van de zure regen

ED BUIJSMAN*

Europa werd aan het eind van de jaren zeventig opgeschrikt door een ernstig milieuprobleem: de zure regen. Deze werd verantwoordelijk gehouden voor, onder andere, het verdwijnen van de vissen in meren in Scandinavië. Later kwam de suggestie dat de zure regen ook grootschalige bossterfte in Europa zou veroorzaken. De bossen in Nederland zouden eveneens gevaar lopen. Iedereen dacht te begrijpen waar het om ging. Immers, 'regen' is water dat uit de atmosfeer valt en 'zuur' daar kon men zich ook wel wat bij voorstellen. Zure regen veroorzaakte in de jaren tachtig veel ophef, maar raakte daarna op de achtergrond. Waarom horen we eigenlijk nog maar zo weinig over de zure regen? Misschien was de zure regen wel een *hype*: een overspannen reactie op een in feite onbetekenend probleem. Dit artikel doet een poging tot reconstructie van de geschiedenis van dit probleem, dat in de jaren tachtig van de twintigste eeuw zoveel ophef veroorzaakte.

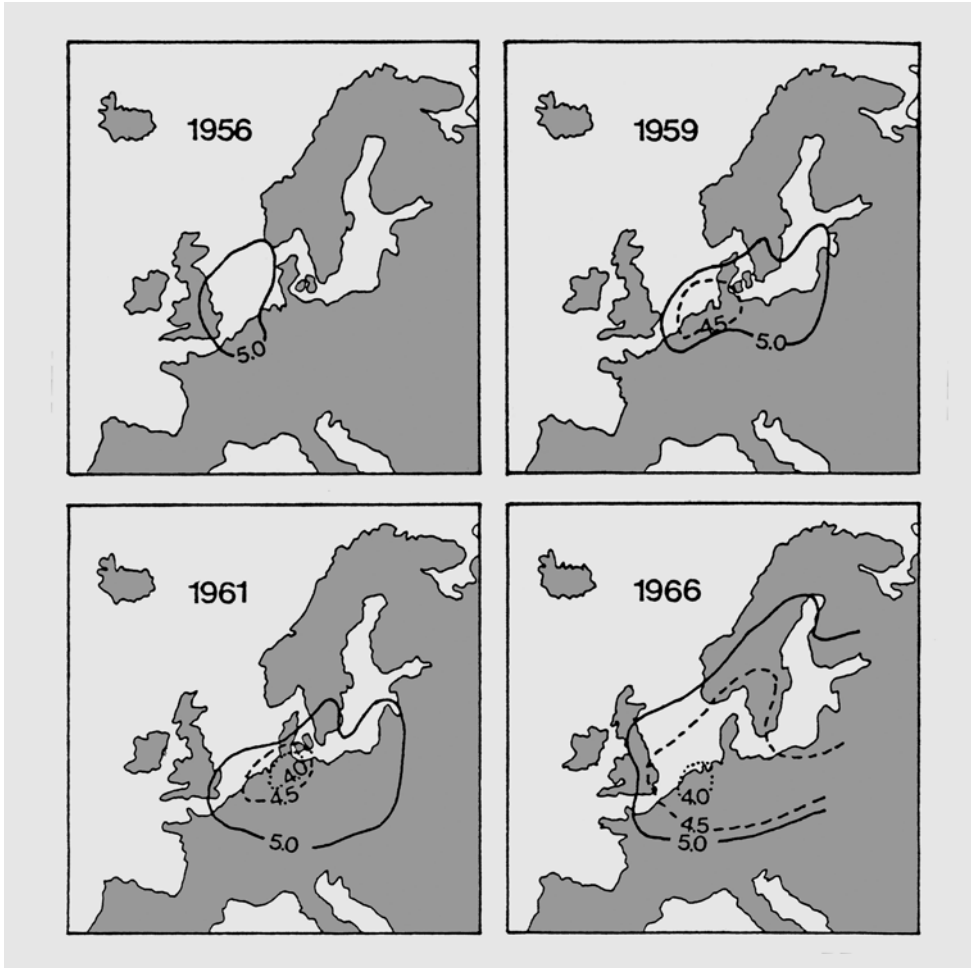
Het begin van een probleem

Berichten over zure regen doken aan het eind van de jaren zeventig in Nederland op. Dit gebeurde in navolging van Duitsland, waar al eerder onrust was ontstaan over luchtverontreiniging en verontreinigde zure regen in relatie tot een mogelijke aantasting van de gezondheid van bomen en bossen. Toch was zure regen niets nieuws. Al in de negentiende eeuw had de Engelsman Robert Angus Smith (1817-1884) op het fenomeen gewezen. De verzuring van de neerslag schreef Smith toe aan de invloed van luchtverontreiniging en dan vooral van zwaveldioxide. Deze stof wordt in de neerslag teruggevonden als sulfaat, zo veel was toen ook al duidelijk. Een verhoogd sulfaatgehalte in regenwater schreef Smith toe aan 'dense masses of people' – en dan vooral aan de kolenstook voor de verwarming van huizen – en 'the presence of great manufactories burning much coal'.¹ Smith wordt dan ook wel als de 'uitvinder' van het begrip 'zure regen' gezien. Geheel terecht is dit niet, want anderen hadden al eerder op verzuurde neerslag gewezen.²

* E. Buijsman, Planbureau voor de Leefomgeving, Postbus 303, 3720 AH Bilthoven, ed.buijsman@pbl.nl.

1 R.A. Smith, *Air and rain. The beginnings of a chemical climatology* (Londen 1872) 227, 246, 273.

2 Gewoonlijk wordt ten aanzien van het ontstaan van het begrip 'zure regen' gerefereerd naar uitspraken van Smith in zijn boek *Air and Rain* van 1872 (n. 1) 227. Echter, al in 1852 schreef hij: 'I do not mean to say that all the rain is acid – it is often found with so much ammonia in it as to overcome the acidity; but in general, I think, the acid prevails in the town'. (R.A. Smith, 'On the air and rain of Manchester', *Memoirs of the Manchester Literary and Philosophical Society* 10 (1852) 207-217). Met evenveel recht zou de Franse apotheker Ducros – die al in 1845 over 'une pluie acide' schreef – als naamgever van de zure regen kunnen worden aangewezen. (M. Ducros, 'Observation d'une pluie acide', *Journal de Pharmacie et de Chimie, Troisième série*, 7 (1845) 273-277). Nog eerder sprak de Duitse onderzoeker Lampadius al van 'Freie Salpetersäure' in de neerslag. (W.A. Lampadius, 'Ueber die Quellwässer des sächsischen Erzgebirges, so wie über die atmosphärischen Wasser', *Journal für praktische Chemie* 1 (1834) 100-111). Zie over het werk van Smith nader: E. Buijsman, *Zure regen, atmosferische processen*, Instituut voor Meteorologie en Oceanografie, rapport V82-29 (Utrecht 1982) 95 en E. Cowling, 'Acid rain in historical perspective', *Environmental Science and Technology* 16 (1982) 110A-123A.



Afb.1. Een veel gebruikte afbeelding om de ontwikkeling van het probleem van de zure regen in Europa te illustreren. De zuurgraad van de neerslag is in pH-eenheden uitgedrukt. Hoe lager de pH-waarde, hoe zuurder de regen. De zure regen spreidde zich over een steeds groter deel van Europa uit. Bovendien werd de regen steeds zuurder. Naar Odén (1976).

Schade aan bomen, bossen en vegetatie door luchtverontreiniging was ook al geen nieuw verschijnsel. De gedocumenteerde geschiedenis hierover gaat in Engeland terug tot de veertiende eeuw.³ De documentatie over luchtverontreiniging in Nederland in vroeger tijden is bescheiden.⁴ In Duitsland verschenen de eerste berichten over schade aan bomen al in het

3 P. Brimblecombe, *The Big Smoke* (London 1987). Zie ook: J. Evelyn, *Fumifugium* (Londen 1661); P. Brimblecombe, 'Industrial air pollution in thirteenth-century Britain' *Weather* 30 (1975) 388-396 en idem, 'London air pollution 1500-1900', *Atmospheric Environment* 11 (1977) 1157-1162.

4 H.A. Diederiks, 'Luchtverontreiniging in het verleden', *Intermediair* 6:37 (1970) 45-51; idem, 'Nijverheid versus milieu in Holland 1500-1990', *Holland regionaal-historisch tijdschrift* 21 (1989) 190-208, i.h.b. 193, 201, 202. en K. Biersteker, 'Luchtverontreiniging in Haarlem in 1608', *Nederlands Tijdschrift voor Sociale Geneeskunde* 112:1 (1968) 33-34.

begin van de negentiende eeuw.⁵ Duitsland bouwde daarmee een traditie op van bosbouw in relatie met omgevingsfactoren. Er werd vooral aan het eind van de negentiende en in de eerste helft van de twintigste eeuw uitvoerig onderzoek gedaan naar de gevolgen van luchtverontreiniging.⁶ Dit onderzoek richtte zich echter vooral op het effect van die luchtverontreiniging, en niet op mogelijk schadelijke invloed van verontreinigde, dan wel verzuurde neerslag.

Het was de Zweedse onderzoeker Svante Odén (1924-1986), die omstreeks 1961 vaststelde dat de regen in het midden en zuiden van Zweden zuur kon zijn. Onderzoek had verder uitgewezen dat sommige meren in Zweden ook zuurder waren geworden. Het was ook Odén die later in de jaren zestig wees op de lage pH-waarde van de neerslag in andere delen van Europa (hoe lager de pH-waarde, hoe zuurder de regen). Hij stelde ook vast dat de Zweedse neerslag vooral zuur was, wanneer de lucht was aangevoerd uit het midden en noordwesten van Europa.⁷ Odén bracht ook letterlijk het oprukkende zuur in kaart (*afbeelding 1*). De neerslag was blijikbaar in tien jaar tijd behoorlijk zuurder geworden. Bovendien had het gebied dat zure regen ontving zich sterk uitgebreid.⁸ Nader onderzoek in de tweede helft van de jaren zestig bevestigde de eerdere bevindingen: in grote delen van Noorwegen en Zweden kwamen verzuurde meren voor. Deze verzuring in het milieu werd vooral toegeschreven aan de toegenomen verzuring van de lucht en de neerslag. Verder was de gedachte: hoe zuurder de neerslag, hoe ernstiger het probleem. De Scandinavische bodems hadden veelal weinig vermogen om de zure regen te neutraliseren. En zo werden dus zowel de dalende pH-waarden in diverse Scandinavische meren, als de teruggang van de visstand in die meren, aan de zure regen toegeschreven. Dit alles markeerde de geboorte van het milieuprobleem 'zure regen'.

Meer onderzoek

Odéns uitspraken over de toegenomen zuurgraad van de neerslag waren grotendeels gebaseerd op metingen in een Europees meetnet voor onderzoek van de chemische samenstelling van de neerslag. Dit meetnet, dat zich uitstrekte over een groot deel van Europa, was sinds 1956 in bedrijf.⁹ Het was vooral bedoeld om inzicht te krijgen in de geografische en temporele ont-

5 W.A. Lampadius, 'Fortgesetzte Beiträge zur näheren Kenntnis des Quellwassers des Sächsischen Erzgebirges, so wie über die atmosphärischen Wasser', *Journal für Praktische Chemie* 6 (1835) 363-382.

6 J. Stoklasa, *Die Beschädigung der Vegetation durch Rauchgase* (Berlijn/Wenen 1923); G. Spelsberg, *Rauchplage: hundert Jahre saurer Regen* (Aken 1985); H. Wislecenus, *Waldsterben im 19. Jahrhundert. Sammlung von Abhandlungen über Abgase und Rauchschäden 1860-1916* (Düsseldorf 1985).

7 S. Odén, 'The acidity problem – an outline of concepts', *Water, Air, and Soil Pollution* 6 (1976) 137-166.

8 S. Odén, Stockholm newspaper, *Dagens Nyheter*, 24 oktober 1967; idem, *Nederbörrens och luftens förurning, dess orsaker, förlopp och verkan i olika miljöer. Statens naturvetenskapliga forskningsråd* (De verzuring van lucht en neerslag en de gevolgen ervan voor het milieu. Alleen in het Zweeds). *Bulletin* no 1 (1968) Ekologikommittén, Stockholm.

9 De Zweedse wetenschapper H. Egner nam in 1945 het initiatief om in Zweden te komen tot een meetnet voor onderzoek naar de chemische samenstelling van de neerslag. De interesse van Egner, een bioloog, ging vooral uit naar de kwestie van de bijdrage van de neerslag aan de stikstoftoevoer naar de bodem. In de daarop volgende jaren werd het meetnet geleidelijk aan uitgebreid naar geheel Scandinavië. C.-G. Rossby, hoogleraar bij het Internationale Instituut voor Meteorologie van de Universiteit van Stockholm, breidde in 1952 het Scandinavische meetnet uit naar Europese schaal. Het doel werd nu ook anders: een beter inzicht te krijgen in de verspreiding over grote afstanden van verontreinigingen in de atmosfeer. Zie: A. Emanuelsson e.a., 'Composition of atmospheric precipitation in Sweden', *Tellus* 6 (1954) 261-267; C.-G. Rossby e.a., 'On the chemical climate and its variation with the atmospheric circulation pattern', *Tellus* 7 (1955) 118-123; H. Egner e.a., 'Current data on the chemical composition of air and precipitation', *Tellus* 7 (1955) 134-139 en E. Buijsman, 'Een kleine geschiedenis van het chemische neerslagonderzoek in Nederland', *Jaarboek voor Ecologische Geschiedenis* (2008), geaccepteerd voor publicatie.

wikkelingen met betrekking tot de chemische samenstelling van de neerslag. Er waren echter problemen met dit meetnet. De geografische dekking ervan was in de loop van de tijd nogal aan veranderingen onderhevig geweest. Bovendien waren er rond 1970 twijfels gerezen over de kwaliteit van de metingen.¹⁰ Het was daarom niet zeker of Odéns uitspraken wel geheel juist waren.

Daarop werd in het begin van de jaren zeventig in Europees verband besloten tot een nieuw en vooral uitgebreider onderzoek op Europese schaal. Dit onderzoek heette in de wandeling het OECD-onderzoek, omdat het werd uitgevoerd onder auspiciën van de 'Organisation for Economic Co-operation and Development' (OECD). Het was bedoeld om beter inzicht te krijgen in het langeafstandstransport van luchtverontreiniging en de daarmee gepaard gaande zure regen.¹¹

Het onderzoek omvatte een groot pakket aan metingen met betrekking tot de samenstelling van de lucht en de neerslag. Daarnaast was een belangrijke rol weggelegd voor de ontwikkeling van atmosferische transportmodellen die dit langeafstandstransport zouden moeten beschrijven. Ook Nederland participeerde in dit onderzoek via een inbreng van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid (RIV).

Het OECD-onderzoek, dat in 1972 van start ging, richtte zich op het vaststellen van de fysisch-chemische milieukwaliteit. De zorg om de zure regen was echter primair ingegeven door de mogelijke schadelijke werking ervan. In Scandinavië werd daarom bovendien een aanvullend onderzoek opgezet met het oogmerk een beter inzicht te krijgen omtrent de omvang en ernst van de effecten. Het Noorse project met de titel *Acid Precipitation – Effects on Forest and Fish* was op dit gebied het grootste.¹² Dit project ging eveneens in 1972 van start. De doelstelling ervan was tweërlei. In de eerste plaats wilde men vaststellen – 'as precisely as possible' – wat in Noorwegen de effecten waren, die de zure regen had op bossen en zoetwatervissen. Daarnaast onderzocht men de effecten op bodem, vegetatie en water, voor zover dat nodig was om de eerste doelstelling te ondersteunen.¹³ Een onderzoek van naar de effecten van luchtverontreiniging was op zo'n grote schaal nog nooit vertoond. Het gaf aan hoeveel zorgen men zich in Scandinavië over deze problematiek maakte.

De resultaten van het Europese onderzoek werden in 1976 gepresenteerd op het *First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem*. Odén veronderstelde dat de dalende pH een gevolg was van toegenomen zwaveldioxide-emissies. Dit laatste kwam tot uiting in een stijgende zwaveldepositie in de neerslag. De zaak was kwantitatief nog niet geheel helder, maar op hoofdlijnen leek het beeld wel duidelijk. Het zuiden van Noorwegen ontving stelselmatig zure regen. Met behulp van atmosferische transportmodellen kon de zure neerslag in het zuiden van Noorwegen gekoppeld worden aan emissies van verzurende

10 M.P. Paterson e.a., 'Data quality and the European Air Chemistry Network', *Atmospheric Environment* 7 (1973) 1163-1171; T.B. Ridder, *Over de chemie van de neerslag, Vergelijking van meetresultaten. Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, Wetenschappelijk rapport W.R. 78-4* (De Bilt, 1978).

11 OECD, *The OECD programme on long range transport of air pollutants. Measurements and findings. Organization for Economic Cooperation and Development* (Parijs 1977) 1-2: [In order] 'to determine the relative importance of local and distant sources of sulphur compounds in terms of their contribution to the air pollution over a region, special attention is being paid to the question of acidity in atmospheric precipitations.'

12 F.H. Braekke (ed.), *Impact of acid precipitation on forest and freshwater ecosystems in Norway: summary report on the research results from the phase I (1972-2975) of the SNSF-project*. Fagrapport 6, SNSF (Oslo 1977). SNSF is het acronym voor 'Sur Nedbørs virkning paa Skog og Fisk prosjekt'.

13 L. Overrein, 'A presentation of the Norwegian project "Acid precipitation – Effects on forests and fish"', *Water, Air, and Soil Pollution* 6 (1977) 167-172.

stoffen in Groot-Brittannië en noordwest en midden Europa.¹⁴ Men realiseerde zich nu ook dat de chemie van de neerslag complexer was dan de simpele redenering dat meer zwaveldioxide-emissie leidt tot meer sulfaat in de neerslag, en daarmee tot een lagere pH. Odén zelf wees bijvoorbeeld in zijn bijdrage op de rol van nitraat in de neerslag. Immers, ook deze stof droeg bij aan de verzuring van de regen, zij het niet in een dusdanige mate als sulfaat. Ook besprak Odén de rol van ammonium in de neerslag. Hierover merkte hij op:

One should believe that the neutralization or partly neutralization of H_2SO_4 by NH_3 , would reduce the acidity of precipitation. This is true only from a pure chemical point of view. The pH-values of precipitation will increase but the acidifying effect of neutral or acidic $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ on biologically active soils and surface waters will be just as strong as that of the pure acid. This is due to the fact that the ammonia part of the salts will be resorbed by the plants in exchange for H. This forms part of the processes I have called 'biological acidification'.¹⁵

Odén wees dus op de mogelijke dubbelrol van ammoniak: zuurneutraliserend in de atmosfeer, maar mogelijk verzurend wanneer het eenmaal vanuit de atmosfeer in ecosystemen terecht was gekomen.¹⁶

De situatie in Nederland

Eind jaren zeventig verschenen in Nederland de eerste berichten dat ook hier de neerslag mogelijk zuur zou zijn.¹⁷ In navolging van ontwikkelingen in het buitenland leidde deze veronderstelling in korte tijd tot een sterke uitbreiding van de onderzoeksactiviteiten op neerslaggebied. Vóór die tijd was de aandacht in Nederland op het gebied van luchtverontreiniging vrijwel volledig gericht geweest op de lokale problematiek. Met de opkomst van het probleem van de zure regen verschoof die aandacht.¹⁸ En inderdaad: Nederlandse metingen bevestigden het beeld: ook Nederland had zure regen (*afbeelding 2*). In hoeverre er in ons land ook problemen waren met ecosystemen, zoals in Scandinavië met de aangetaste meren, was nog niet duidelijk. Onderzoek op dat gebied moest nog beginnen.

In maart 1979 werd in Wageningen het SO_2 -symposium gehouden. De aanleiding tot het symposium lag in het SO_2 *Beleidskaderplan*, dat kort daarvoor door minister Leendert Ginjaar van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer aan de Tweede Kamer was

14 J. Nordø, 'Long range transport of air pollutants in Europe and acid precipitation in Norway', *Water, Air, and Soil Pollution* 6 (1976) 199-217.

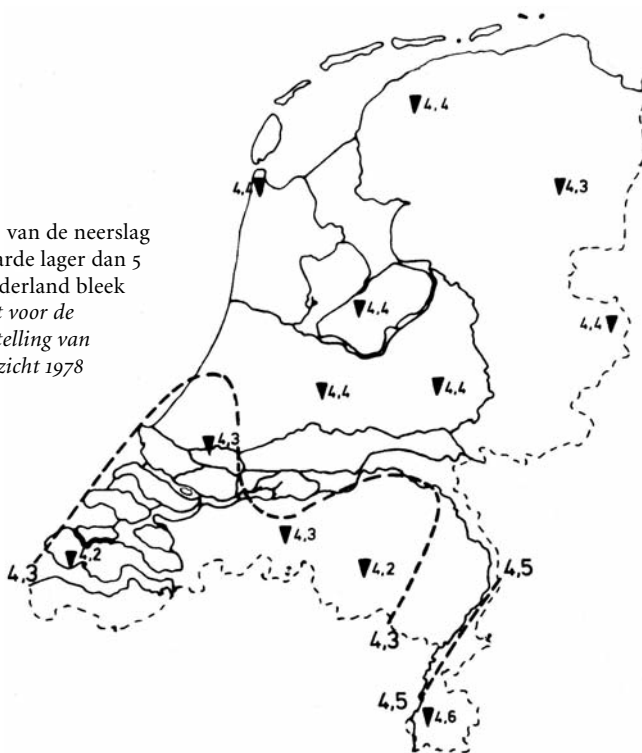
15 Odén, 'The acidity problem – an outline of concepts' (n. 7).

16 Er is soms verwarring over de verzurende werking van ammoniak. In de atmosfeer werkt ammoniak namelijk zuur-neutraliserend. Komt ammoniak (of ammonium) echter in de bodem, dan kan dat verzurend werken. Niet alleen komt dan het zuur vrij dat ammoniak eerder in de atmosfeer had geneutraliseerd, maar bovendien kan door omzetting van ammonium in salpeterzuur extra zuur worden gevormd. De hoeveelheid zuur in neerslag, zoals die tot uiting komt in de pH, volgt grofweg de relatie $2 \times \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- - \text{NH}_4^+$. De hoeveelheid potentieel verzurende bestanddelen kan berekend worden uit $2 \times \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + 2 \times \text{NH}_4^+$. Een vermindering van de hoeveelheid zwavelzuur tikt in de totale hoeveelheid zuur daarom zwaarder door dan in de totale hoeveelheid verzurende stoffen.

17 A.J. Vermeulen, *Acid precipitation in the Netherlands. The relationship between the acidification of precipitation and the emission of sulphurdioxide and nitrogenoxides in the Netherlands* (Haarlem 1978; 19792). Zie ook zijn gelijknamige artikel 'Acid precipitation in the Netherlands', *Environmental Science and Technology* 12 (1978) 1016-1021.

18 E. Buijsman, *Er zij een meetnet ... Een geïllustreerde geschiedenis van het luchtmeetnet van het RIV(M)*. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (Bilthoven 2003) 118.

De zuurgraad (uitgedrukt als pH) van de neerslag in Nederland in 1978. Een pH-waarde lager dan 5 duidt op zure regen. Overal in Nederland bleek de regen zuur te zijn. Uit: *Meetnet voor de bepaling van de chemische samenstelling van de neerslag in Nederland. Jaaroverzicht 1978* (De Bilt en Bilthoven 1979).



gepresenteerd.¹⁹ Het Wageningse symposium ging grotendeels over zwaveldioxide als luchtverontreinigingsprobleem en nauwelijks over zwaveldioxide als (mede-)veroorzaker van de zure regen. Ginjaar zei bij deze gelegenheid:

Het beleid met betrekking tot de bestrijding van de zwaveldioxydeverontreiniging is een twee-sporen beleid, te weten de beperking van de uitworp tot een vastgesteld uitworpplafond en handhaving van een aanvaardbare kwaliteit van de buitenlucht.²⁰

Het *SO₂ Beleidskaderplan* stipte weliswaar een paar punten aan die met zure regen te maken hadden, maar consequenties werden er niet aan verbonden. Het Nederlandse overheidsbeleid richtte zich vooralsnog volledig op het oplossen van nationale luchtkwaliteitsproblemen. Vervolgens vond in mei 1982 in Maastricht het Amerikaans-Nederlandse *NO_x-symposium*

19 VROM, *SO₂ Beleidskaderplan* (Den Haag 1979). Er staan in dit plan enige passages over de milieueffecten van zure regen en de rol van zwaveldioxide daarin. Zo lezen we over de droge depositie, op dat moment nog een slecht bekend fenomeen: 'Ook de adsorptie van SO₂ aan het aardoppervlak draagt bij aan deze verzuring. Het betreft hier complexe verschijnselen die in verschillende landen worden bestudeerd. Kwalitatief zijn de verschijnselen te beschrijven, de getalsmatig uitwerking hiervan is nog moeilijk' (p. 12). Kort daarna zou blijken dat deze 'adsorptie aan het aardoppervlak' in Nederland ongeveer tweederde van de totale flux van verzurende stoffen vanuit de atmosfeer naar het aardoppervlak uitmaakte. En verder: 'Een goede meting van het sulfaatgehalte en de zuurgraad van de neerslag is geen eenvoudige zaak. Daarnaast bestaat er ook nog onvoldoende inzicht in relaties tussen de SO₂-uitworp, de atmosferische omzettingen tot sulfaat, het transport en de depositie door neerslag' (p. 22).

20 E.H. Adema (red.), *Proceedings van het SO₂-symposium* (Wageningen 1980) 4.

plaats. Ook op dit symposium was zure regen nauwelijks onderwerp van gesprek. Zo maakten beleidsambtenaren er in hun lezingen slechts terloops melding van.²¹

Het was in deze periode nog niet duidelijk hoe de relatie lag tussen de zuurgraad van de neerslag en de emissies van stoffen die van invloed zijn op die zuurgraad. Zo was een van de discussiepunten in hoeverre de Nederlandse emissies van verzurende stoffen doorwerkten in de zuurgraad van de Nederlandse neerslag. Sommigen ontwikkelden regressiemodellen op basis van gegevens van de zuurgraad van de neerslag.²² Anderen brachten daar tegenin dat het vanuit atmosferisch-chemisch perspectief niet verklaarbaar was, waarom er een relatie zou zijn tussen de emissies van verzurende stoffen in Nederland en de zuurgraad van de Nederlandse neerslag. Zwaveldioxide en stikstofdioxide (en hun atmosferische reactieproducten) hebben namelijk een atmosferische verblijftijd van enige dagen.²³ Dit betekende dat de verzurende werking van Nederlandse emissies op de neerslag meestal pas zichtbaar zou worden buiten de grenzen van Nederland.²⁴

Het was dit grensoverschrijdende karakter dat om een aanpak in internationaal verband vroeg. En zo werd er onder de paraplu van de 'Economische Commissie voor Europa' van de Verenigde Naties in 1979 het zogenoemde VN-ECE-verdrag inzake grensoverschrijdende luchtverontreiniging (de 'Convention on Long-range Transboundary Air Pollution' of CLRTAP) getekend. Dit verdrag gaf in Europa de aanzet tot een gecoördineerde aanpak van de grensoverschrijdende luchtverontreiniging, onder andere van stoffen met een verzurende werking.

Zure regen was in de jaren zeventig synoniem met zure neerslag; nat van karakter dus. Onderzoek leerde echter dat, naast toevoer vanuit de atmosfeer via de neerslag, ook toevoer mogelijk was zonder tussenkomst van neerslag. Dit was de zogenaamde 'droge depositie'. Stoffen uit de lucht, waaronder de verzurende stoffen, bleken zich ook direct op bodem, water en vegetatie te kunnen afzetten. Ze droegen daardoor bij aan een milieuprobleem dat eerst uitsluitend aan regen was toegeschreven. Lange tijd was het verschijnsel van de droge depositie onopgemerkt gebleven. Wel waren in het OECD-onderzoek al schattingen gemaakt van de omvang van de droge depositie.²⁵ Het bleek enkele jaren later zelfs zo te zijn dat in onze streken deze droge depositie kwantitatief belangrijker was dan de natte depositie.²⁶ Het resultaat was dus, dat er veel meer zure depositie was dan voorheen was verondersteld. Zwaveldioxide en stikstofdioxide veroorzaakten verzuring, maar de al genoemde dubbelrol van ammoniak was nog niet volledig onderkend. Dat veranderde in het begin van de jaren tachtig. Onderzoek had uitgewezen dat ammoniak verzurend op de (Nederlandse) bodem

21 B.C.J. Zoeteman e.a., 'NOx abatement policy in the Netherlands', in: T. Schneider e.a. (eds.), *Air pollution by nitrogen oxides. Proceedings of the US-Dutch International symposium* (Amsterdam 1982) 978-988; S. Zwerver, 'An air quality management system as a tool for establishing a NOx policy', *Ibidem*, 929-950.

22 Vermeulen, *Acid precipitation in the Netherlands* (n. 17) en H. Zeedijk, 'Plaatselijk een zure bui, soms met ammoniak', *Chemisch Weekblad* m207-m209 (1979).

23 Een uitzondering vormt ammoniak. Dit heeft vooral te maken met de lage emissiehoogte waarop het meeste ammoniak in de atmosfeer komt. Ook de snelle verwijderingsnelheid van ammoniak speelt een belangrijke rol. Zie: H. Rodhe, 'Budget and turn-over times of atmospheric sulfur compounds', *Atmospheric Environment* 12 (1978) 671-680.

24 E. Buijsman e.a., 'Hoe komt de pH van regenwater tot stand?' *Chemisch Weekblad* 76 (1980) 379. Het tijdschrift drukte de foutief gespelde naam van 'Buijsman' onder het artikel af.

25 *The OECD programme* (n. 11) 8-17.

26 R.M. van Aalst, 'Depositie van verzurende stoffen in Nederland', in: E.H. Adema e.a. (red.), *Zure regen – oorzaken, effecten en beleid. Proceedings van het symposium 's-Hertogenbosch 1983* (Wageningen 1984) 66-70.

kon inwerken.²⁷ Hiermee had het probleem van de verzuring een nieuwe dimensie gekregen. Vooral toen bleek dat de Nederlandse ammoniakemissies zeer omvangrijk waren.²⁸ Dit gegeven in combinatie met de korte atmosferische verblijftijd van ammoniak, leidde tot de constatering dat een belangrijk deel van de verzurende depositie in Nederland kon worden toegeschreven aan de eigen ammoniakemissies.²⁹

Maatschappelijke onrust

In de jaren zeventig van de vorige eeuw trad een onverwachte, grootschalige bosschade op in Duitsland en in een aantal andere Europese landen. Schade aan bomen en bossen was niet nieuw: rond 1950 was al bosschade geconstateerd in het Ertzgebergte, in de zogenoemde Zwarte driehoek, de grensstreek tussen Duitsland, Polen en het toenmalige Tsjecho-Slowakije. Nieuw was echter de omvang van de schade, en de snelheid waarmee die zich uitbreidde. Als mogelijke verklaring hiervan werd al snel de zure regen geopperd. Verzuring, onder andere via de neerslag, zou leiden tot aantasting van de zuurbufferende capaciteit van de bodem. Voortgang van dit proces zou uiteindelijk de bodem verzuren en bovendien het giftige aluminium uit de bodem vrijmaken. Als gevolg van deze ontwikkelingen zouden bomen aangetast worden of zelfs sterven. Het was de Duitse onderzoeker Bernhard Ulrich die in zijn eigen land in hoge mate bijdroeg tot het ontstaan van opwinding over de zure regen, al was dit aanvankelijk alleen in wetenschappelijke kring. Ulrich schuwde stellige uitspraken niet: 'It cannot be excluded that within a few years or decades the trees growing on the soils investigated are heavily damaged or die to Al-toxicity'.³⁰ Het was ook Ulrich die al in 1981 met de extreme uitspraak was gekomen dat de eerste bossen in Duitsland binnen vijf jaar dood zouden zijn. Ulrich gaf hierbij de volgende uitleg:

Unter dem Einfluß der Luftverunreinigungen hat die Bodenversauerung im Solling in den Jahren zwischen 1966 und 1973 erheblich zugenommen. Als Folge der Bodenversauerung ist die Speicherkapazität der Böden für austauschbare Ca-ionen auf Null zurückgegangen.³¹

Ulrich kreeg steun van zijn collega P. Schütt, die onverklaarbare schadesymptomen in bossen omschreef als 'neuartige Waldschäden'.³² Later kwam Ulrich zelfs met de uitspraak 'Wir stehen vor einem ökologisch Hiroshima'.³³ De boodschap was, kortom, dat er schade optrad van een aard en omvang, die nog nooit eerder waren waargenomen. Vervolgens werd in Duitsland in kringen van bosdeskundigen de term *Waldsterben* bedacht en met die term bereikte het nieuws het grote publiek. De koppen in de kranten logen er niet om: 'Da liegt was in der Luft', 'Der saure Tod', 'O Tannenbaum, wo sind deine Blätter'.³⁴

27 N. van Breemen e.a., 'Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall', *Nature* 299 (1982) 548-550.

28 E. Buijsman e.a., *Een gedetailleerde ammoniak-emissiekaart van Nederland* (Den Haag 1984).

29 W.A.H. Asman e.a., *Import en export van zuur in Nederland*, ECN-Rapport 186 (Petten 1986).

30 B. Ulrich e.a., *Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling*, Schriften aus der Fortslichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 58 (Frankfurt 1979) 263.

31 De bossen waar Ulrich zijn onderzoek deed, lagen in Solling. Vgl. Ulrich, *Deposition* (n. 30) 253.

32 P. Schütt, 'Das Tannensterben – ein Umweltproblem?', *Holz-Zentralblatt* 10 (1980) 545-546; idem, 'Folgt dem Tannensterben ein Fichtensterben?' *Holz-Zentralblatt* 11 (1981) 159-160 en idem, 'Aktuelle Schäden am Wald – Versuch einer Bestandaufnahme', *Holz-Zentralblatt* 12 (1982) 369-372.

33 'Wir stehen vor einem ökologischen Hiroshima', *Der Spiegel* (14 februari 1983).

34 'Säureregen: Da liegt was in der Luft', *Der Spiegel* (16 augustus 1981). Zie ook (1) in *Der Spiegel*: 'Saure Tropfen' (3 december 1979); 'Waldsterben durch Säureregen' (20 september 1982); 'Luftverschmutzung führt zu Gesund-

Gisteren, vandaag, morgen

Toch waren er van meet af ook aan kritische geluiden. Sommige onderzoekers betwijfelden of er wel een dergelijke directe relatie was tussen de zure regen en de geconstateerde symptomen.³⁵ Zo zei de onderzoeker G.H.M. Krause:

Bedenklich an der Diskussion um das Waldsterben war vor allem, daß die wissenschaftliche Deduktion inzwischen einen hohen Grad an Undifferenziertheit erreicht hatte.³⁶

In Nederland maakte zich aanvankelijk niemand druk over de zure regen. Mogelijk dat de zure regen een schadelijke invloed had op een aantal zwak gebufferde vennen, maar daar zou het wel bij blijven, zo was de gedachte.³⁷ De provinciale ambtenaar A.J. Vermeulen had in Nederland aan het eind van de jaren zeventig gewezen op de gevaren van de zure regen.³⁸ Hij rekende uit dat bij ongewijzigd beleid, een toename van de emissies van verzurende stoffen, de zuurgraad van de neerslag in Nederland verder zou dalen van 4,3 rond 1975 naar 3,7 in 1985 en zelfs 3,4 in het jaar 2000.³⁹ Dit betekende op termijn een toename van de hoeveelheid zuur in de neerslag met bijna een factor tien. Vermeulen kreeg echter nauwelijks bijval. Pas rond 1980 kwam er in Nederland in wetenschappelijke kring meer aandacht voor het probleem van de zure regen.⁴⁰

De toestand van de Nederlandse bossen kon pas beoordeeld worden, toen de resultaten van het eerste grote onderzoek naar de gezondheidstoestand van het Nederlandse bos gepubliceerd werden in het *Verslag van het landelijk onderzoek naar de vitaliteit van het Nederlandse bos*. In dit rapport stelden de onderzoekers zonder omwegen 'de gezondheidstoestand van het Nederlandse bos [...] kan gekarakteriseerd worden als zeer zorgwekkend'.⁴¹ Weinig vitaal bos kwam met een percentage van 5% voor; op termijn zou dit deel geveld moeten worden. 1,5% van het bos was er zo slecht aan toe dat het al vrij snel gekapt zou moeten worden. Dit alles gevoegd bij de 40% bos die minder vitaal was, deed vermoeden dat er ook in Nederland sprake was van een ernstig probleem. Als belangrijkste factor wezen de onderzoekers de 'luchtverontreiniging' aan. Dergelijke berichten werden door anderen overgenomen. Zo staat in het in die jaren uitgegeven *Zure-regen boek*: 'In Nederland is ook op grote schaal zichtbare schade geconstateerd met dezelfde symptomen als in West-Duitsland'. En: 'Volgens de West-Duitse normen is zelfs meer dan 90% van het Nederlandse bos aangetast'.⁴²

heitsschäden: Babysterben durch Sauren Regen?' (24 oktober 1983); 'Wenn der Wald stirbt, stirbt der Mensch' (9 januari 1984); 'Saurer Regen: Der Schaden ist irreparabel' (9 april 1984) en (2) in *Der Stern*: 'Der saure Tod' (1982) en *Die Zeit*: 'O Tannenbaum, wo sind deine Blätter' (1982); 'Noch zwanzig Jahre deutscher Wald' (1983).

35 H.J. Braun, 'Zur Erkrankung der Fichten im Forstamt Sauerlach', *Allgemein Forstzeitschrift* 36 (1981) 661.

36 G.H.M. Krause e.a., 'Untersuchungen zur Aufklärung immissionsbedingter Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland, 1984', in: Adema, *Zure regen* (n. 26) 104-112.

37 H. van Dam e.a., 'Impact of acidification on diatoms and chemistry of Dutch moorland pools', *Hydrobiologica* 83 (1981) 425-459; idem, 'Historische veranderingen in microflora en chemie van vennen in relatie tot zure neerslag', in: Adema, *Zure regen* (n. 26) 156-161.

38 A.J. Vermeulen, 'Verzuring van de neerslag: oorzaken en gevolgen', *Natuur en Milieu* 6/7 (1977) 12-21.

39 Vermeulen, *Acid precipitation in the Netherlands* (n. 17).

40 W.A. Asman e.a., 'Verwijdering van luchtverontreiniging door neerslag – het zure regenprobleem', *TNO project: tijdschrift voor toegepaste wetenschappen TNO* 9 (1981) 238-244 en E. Buijsman, e.a., 'Zure regen', *Intermediair* 16:29 (1980) 29, 13-27.

41 Anonymus, *De vitaliteit van het Nederlandse bos. Verslag van het landelijk onderzoek naar de vitaliteit van het Nederlandse bos* (Utrecht 1983) 19.

42 D. van Ooyen e.a., *Het zure-regen boek* (Amsterdam 1984) 31-32.

Het verschijnsel zure regen was in Nederland rond 1980 nog steeds maar in beperkte mate tot de media, en daarmee tot het grote publiek, doorgedrongen. In de jaren daarna veranderde dat echter snel, vooral onder invloed van de zorgelijke berichten uit Duitsland. Er waren in Nederland echter wel grote verschillen waar te nemen in de omvang van de publiciteit.⁴³ Zo bedroeg bijvoorbeeld het aantal artikelen in *De Volkskrant* door de jaren heen aanzienlijk meer dan in *De Telegraaf* (zie afbeelding 3). Een ander opvallend verschil was dat in *De Telegraaf* veel artikelen gericht waren op de rol van het verkeer bij de zure regen, terwijl *De Volkskrant* een veel breder scala bestreek. De artikelen in *De Volkskrant* daarentegen waren vaak als milieuvriendelijk aan te merken. Opmerkelijk was ook dat *De Volkskrant* vrij goed de wetenschappelijke ontwikkelingen volgde. De krantenkoppen waren echter overwegend zorgelijk: 'Het bos is stervende, leve de automobiel', 'Zure regen beangstigt Kamerleden', 'Zure regen vereist snel maatregelen. Minister Ginjaar uit bezorgdheid tijdens congres', 'Schade door zure regen veel groter dan gedacht' en 'Bomen gaan indirect dood aan zure regen'.

De *Vereniging Milieudefensie* fungeerde in Nederland als een belangrijke aanjager van de publieke opinie, samen met organisaties als de *Stichting Natuur en Milieu* en de *Stichting voor Milieu-Educatie*. Het waren ook deze organisaties die er voortdurend op wezen dat er onmiddellijk maatregelen moesten worden genomen. Keer op keer kritiseerden zij de overheid over de veronderstelde lakse houding:

Elke houding die leidt tot uitstel van noodzakelijke maatregelen is onverantwoord. Het is waar dat we nog niet precies weten hoe de verschillende processen die bij de verzuring een rol spelen verlopen. Maar de huidige kennis biedt wel voldoende aanknopingspunten om maatregelen te nemen.⁴⁴

Men realiseerde zich dat een internationale aanpak nodig was; dat wil zeggen dat er in internationaal verband afspraken over emissiereducties nodig waren. Maar dat zou veel tijd kosten, daarom moest de Nederlandse overheid alvast in eigen land met maatregelen komen. Zo pleitten de milieuorganisaties voor de snelle invoering van loodvrije benzine, zodat auto's met katalysatorsystemen konden worden uitgerust. Deze katalysatoren zouden dan de emissie van stikstofdioxide door het verkeer verminderen.

Ten aanzien van de ammoniakuitstoot werd de beëindiging van de groei in de intensieve veehouderij en de bestrijding van mestoverschotten als oplossing voorgesteld. En dan was er nog de zwaveldioxide: in het begin van de jaren tachtig was het die stof die de belangrijkste bijdrage aan de verzuring leek te leveren. Daarbij ging het om voor iedereen herkenbare, grote bronnen als de olieraffinaderijen en de elektriciteitscentrales. Rookgasreiniging zou hier tot de gewenste vermindering van emissies moeten leiden.

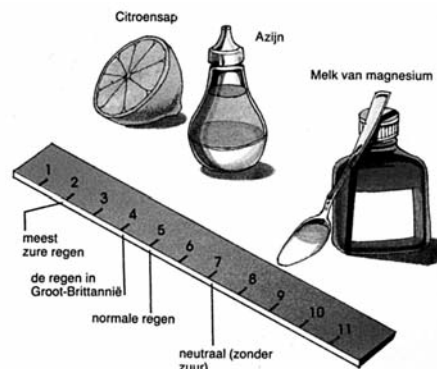
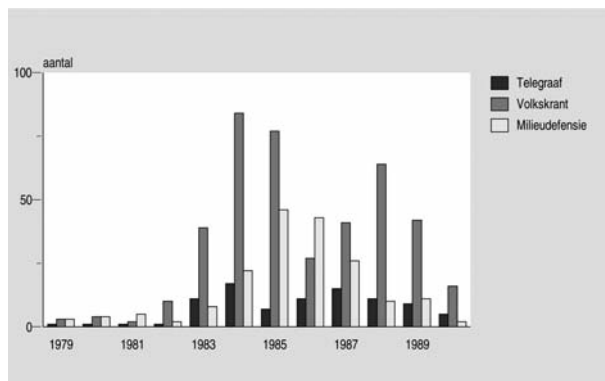
De milieubeweging bleef erop hameren dat de ernst van het probleem door de overheid zwaar werd onderschat. De natuur was ten dode opgeschreven en de maatregelen waren volstrekt onvoldoende. Jarenlang was dat de boodschap van de milieubeweging. Zo viel nog in 1987 te lezen:

Het huidige regeringsbeleid zal er over 25 jaar toe leiden dat de sombere beelden die in haar voorlichtingsactie in 1985 beschreef werkelijkheid worden. Dode bossen, de hei sterft totaal af, vrijwel alle vennen

43 A. Katerstede e.a., *De discussie over zure regen gevolgd in de media* (Utrecht 1991).

44 Van Ooyen, *Het zure-regen boek* (n. 42) 60.

Gisteren, vandaag, morgen



Afb. 3 (links): Aantal artikelen over zure regen in twee landelijke dagbladen en in het blad van de Vereniging Milieudefensie (naar Katerstede (1991)). In de berichtgeving werd in de loop van de jaren in grote lijnen de omgekeerde causaliteitsketen doorlopen. De eerste berichten gingen vooral over de effecten, daarna kwamen de berichten over de veroorzakers en tot slot de verhalen over de maatregelen en de rol van de overheid daarbij. Afb. 4 (rechts): Een populaire presentatie om de ernst van het verschijnsel zure regen aan te duiden. De boodschap was: hoe zuurder, hoe erger. Later bleek de zaak, zeker in Nederland, niet zo simpel in elkaar te zitten.

en ook de grotere wateren raken verzuurd'. En: 'In geheel West- en Midden Europa zijn grote bosgebieden afgestorven. Zodanig dat kaalslag over vele duizenden vierkant kilometers ontstaat.⁴⁵

Toch was deze kritiek niet helemaal terecht. Hoe wezenlijk de ideeën bij de overheid – en in korte tijd – konden veranderen, bleek in 1983 uit de uitspraken van minister Pieter Winsemius van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer:

Verzuring! Tot voor enkele jaren was dit een onderwerp waar we zelden over hoorden. Het was al helemaal moeilijk om ons er iets bij voor te stellen. Nu is dat anders. We worden overspoeld door berichten over de schadelijke effecten over verzuring.⁴⁶

Als reactie op deze onheilspellende berichten zag een stroom van publicaties voor een breed publiek het licht (*afbeelding 3, 4*).⁴⁷ Zo kwam de overheid met een uitgebreide voorlichtingscampagne onder de titel 'Zure regen. Onze eigen schuld. Onze eigen zorg'. De campagne werd ondersteund met foldermateriaal en affiches (*zie afbeelding 5*).⁴⁸

De Nederlandse overheid deed echter meer dan campagnes organiseren om het probleem van de zure regen onder de aandacht van de mensen te brengen. Zo was er sinds 1979 het al

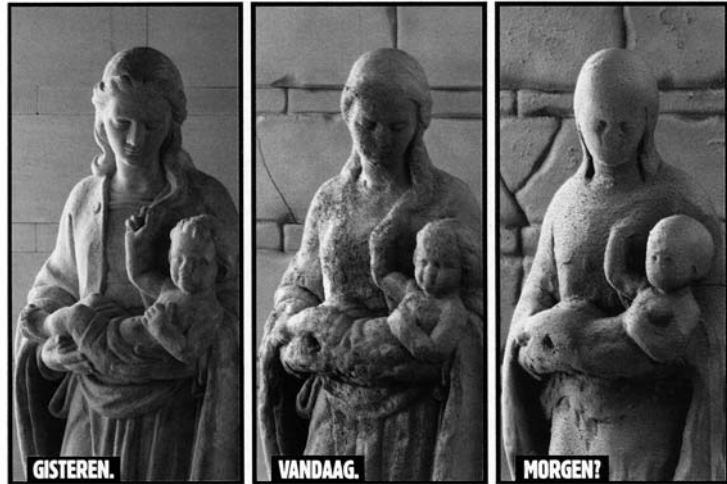
45 T. de la Court e.a., *Zure regen. Gisteren, vandaag, morgen* (Amsterdam 1987); G. Poortinga, *Zure regen, kwaadaardige bedreiging van ons welzijn* (Amsterdam 1984) en J. Schildermans e.a., *Zure regen, de georganiseerde vernietiging* (Berchem 1987).

46 P. Winsemius, 'Opening van het symposium', in: Adema, *Zure regen* (n. 26) 17-20.

47 R. de Fraiture, *Raindrops keep falling on my head: een lessenreeks over zure regen voor de 3e en 4e klassen mavo/havo/vwo* (Utrecht 1987); P. Bruinsma, *Zure neerslag* Aula pocket 751 (Utrecht 1985); idem, *Zure neerslag*, AO-boekje 2112 (Haarlem 1986) en CRMH, *Zure regen: een sluipend onheil dat spoedig moet worden gekeerd* (Den Haag 1987).

48 VROM, *Zure regen. Oorzaken en oplossingen* (Den Haag zij) en VROM, *Zure regen* (Den Haag 1985).

Afb. 5: Een affiche uit de voorlichtingscampagne *Zure regen. onze eigen schuld. onze eigen zorg* (uit: VROM (1985).



genoemde VN-ECE-verdrag inzake grensoverschrijdende luchtverontreiniging (CLRTAP). De eerste concrete uitwerking daarvan volgde in 1985 met het eerste S-protocol.⁴⁹ Hierbij verplichtten de deelnemende landen, waaronder Nederland, hun emissies van zwaveldioxide uiterlijk in 1993 met 30% terug te brengen, gerekend naar het niveau van 1980.⁵⁰ Mede hierdoor zouden de emissies van zwaveldioxide in Nederland tussen 1980 en 1990 met bijna 60% afnemen.⁵¹

Dode bossen of niet?

Een onderzoek naar de toestand van de Nederlandse bossen, dat in het begin van de jaren negentig werd uitgevoerd, leerde dat 35% van het bos tot de categorie behoorde waarover men zich zorgen zou moeten maken. In 1984 was dat nog maar 6,5% geweest. Een belangrijke factor bleek nu de droogte in een aantal voorgaande jaren. Toch merkte men ook ditmaal weer op '[het] blijkt duidelijk dat luchtverontreiniging een rol speelt bij de verslechtering van de vitaliteit'.⁵² De rol van luchtverontreiniging werd echter alleen kwalitatief besproken; een grondige kwantitatieve analyse werd niet gepresenteerd. De onderzoekers stelden: 'de informatie over de oorzaken van de veranderingen in de vitaliteit is gering'.⁵³ Hoe het zat met de rol van luchtverontreiniging bleef vaag. Er waren wel aanwijzingen dat het misschien niet ging om het zuur dat uit de atmosfeer neerdaalt, maar dat stikstof wellicht een belangrijker factor was. Indien in te grote hoeveelheden gebruikt, kon ook deze stof als bemestend element schadelijk werken .

Al met al traden ook in de jaren daarna verbeteringen op in de Nederlandse luchtkwaliteit. Van het zuur in de (echte) regen bleef vrijwel niets meer over en ook de omvang van de zure

49 'S' staat voor zwavel.

50 Later zouden voor de verzurende stoffen nog het NOx-protocol (1988), het Tweede S-protocol (1994) en het Gothenburgprotocol (1999) volgen.

51 RIVM, *Achtergronden bij Milieubalans 95* (Bilthoven 1995).

52 T.F.C. Smits (red.), *De vitaliteit van het Nederlandse bos* 10 (Utrecht, 1992) 5.

53 Ibidem.

depositie nam verder af. In een nieuw onderzoek naar de vitaliteit van het bos, dat in 1998 werd gepresenteerd, werd nu geconcludeerd: 'Het Nederlandse bos is op korte en middellange termijn niet bedreigd in zijn voortbestaan'.⁵⁴ Ook ditmaal werd over een periode van 15 jaar de ontwikkeling in de vitaliteit van het Nederlandse bos getoond. Het waren bomen als de Corsicaanse den, de Douglasspar en de Fijnspar, die het slecht hadden. Exoten dus; soorten die hier eigenlijk niet thuishoren. Ze waren ooit geïmporteerd en aangeplant, bijvoorbeeld om zand vast te leggen.

Een nieuwe opname van de toestand van de bossen, inclusief een retrospectief gedeelte, werd in 2000 uitgevoerd, als onderdeel van het 'Meetnet Bosvitaliteit'. Vergeleken met eerdere metingen bleken de concentraties van sulfaat, stikstof en aluminium in het bodemvocht onder de bossen sterk te zijn afgenomen. Dit resultaat duidde op een afname van de verzuring; een duidelijke verbetering dus. De onderzoekers schreven dit toe aan de sterk afgenomen deposities van verzurende stoffen. Ook stelden zij: 'De weersomstandigheden zijn een belangrijke bepalende factor voor de groei van bomen en het optreden van stress, en ook de samenstelling van het bodemvocht wordt erdoor beïnvloed'.⁵⁵ Elders was over de relatie tussen bosvitaliteit en luchtverontreiniging te lezen:

Gegeven het feit dat de vitaliteit (de naald- en bladbezetting en naald- en bladverkleuring) van bomen geen specifiek symptoom is voor luchtverontreiniging is het niet verwonderlijk dat de trend in de vitaliteit geen duidelijke relatie vertoont met de afnemende stikstof- en zwavelbelasting.⁵⁶

Ook nu merkten de onderzoekers op dat het vooral de exoten, zoals de Douglasspar en de Corsicaanse den, zijn die het moeilijk hebben, hoewel 'er sinds 1996 sprake lijkt van enig herstel'. Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) stelt eveneens dat de problemen met de verzuring niet verdwenen zijn. Zo kan op de lange termijn – waarmee een ordegrootte van 200 jaar wordt bedoeld – bij het handhaven van de huidige emissieniveaus het bos alsnog te gronde gaan aan vergiftiging door aluminium. Dit metaal kan in sterk verzuurde bodems in betrekkelijk hoge concentraties vrijkomen, wanneer de buffercapaciteit van de bodem (dat wil zeggen het zuurneutraliserend vermogen) is opgebruikt.⁵⁷

Een soortgelijke ontwikkeling heeft zich in Duitsland voorgedaan. Al in het begin van de jaren tachtig was kritiek op de manier waarop de 'schade' werd vastgesteld. De gebruikte methoden zouden te grof zijn, de gehanteerde criteria zouden niet of gedeeltelijk relevant zijn en de directe relatie met luchtverontreiniging of zure regen kon eigenlijk niet hard gemaakt worden.⁵⁸ Ook de rol van de media kwam in Duitsland retrospectief onder vuur te liggen.⁵⁹

54 P.J.H.M. Reuver (red.) *Vitaliteit van bossen in Nederland: verslag meetnet bosvitaliteit*, Rapport 4, Informatie en Kennis Centrum Natuurbeheer; Expertisecentrum LNV (Wageningen, 1998) 17.

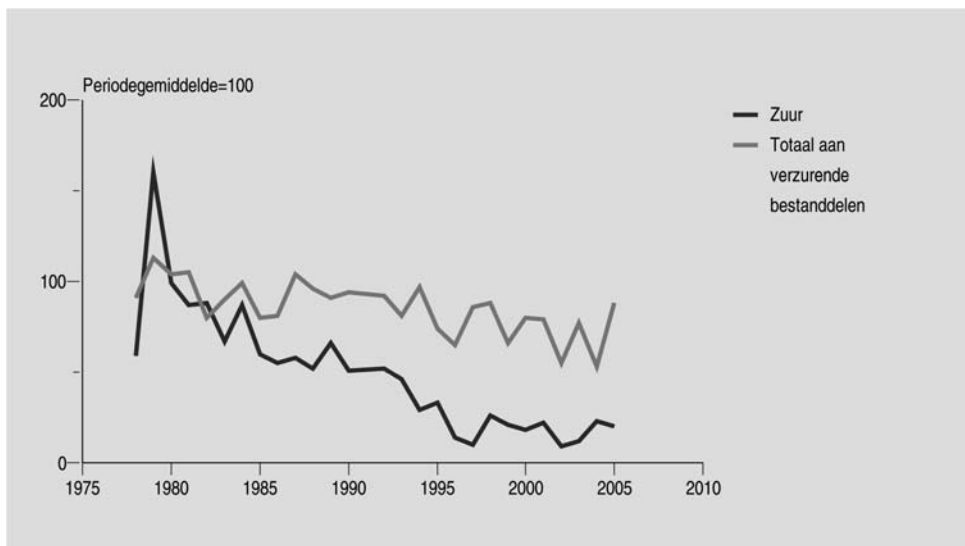
55 W. de Vries, *Verzuring: oorzaken, effecten, kritische belastingen en monitoring van de gevolgen van ingezet beleid* (Wageningen 2007) 16.

56 H. Schoonderwoerd e.a., *Ontwikkeling van bodem, vegetatie, de voedingstoestand van bomen en de boomgroei in het Nederlandse bos: 1990-2000* (Wageningen 2006).

57 *Dossier luchtverontreiniging en verzuring, Milieu- en Natuurplanbureau*, Bilthoven. Zie: www.mnp.nl/nl/dossiers/Grootschalige_luchtverontreiniging (geraadpleegd 7 november 2007).

58 G. Keil, 'Chronik einer Panik', *Die Zeit*, 9 december 2004. O. Kandler, *The air pollution/forest decline connection: The "Waldsterben" theory refuted*, www.fao.org/docrep/vo290e/vo290e07.htm (geraadpleegd 7 november 2007).

59 R. Holzberger, *Das sogenannte Waldsterben. Zur Karriere eines Klischees. Das Thema Wald im journalistischen Diskurs*. Schriftenreihe der Medien-Akademie Weingarten, 1 (Konstanz 1995).

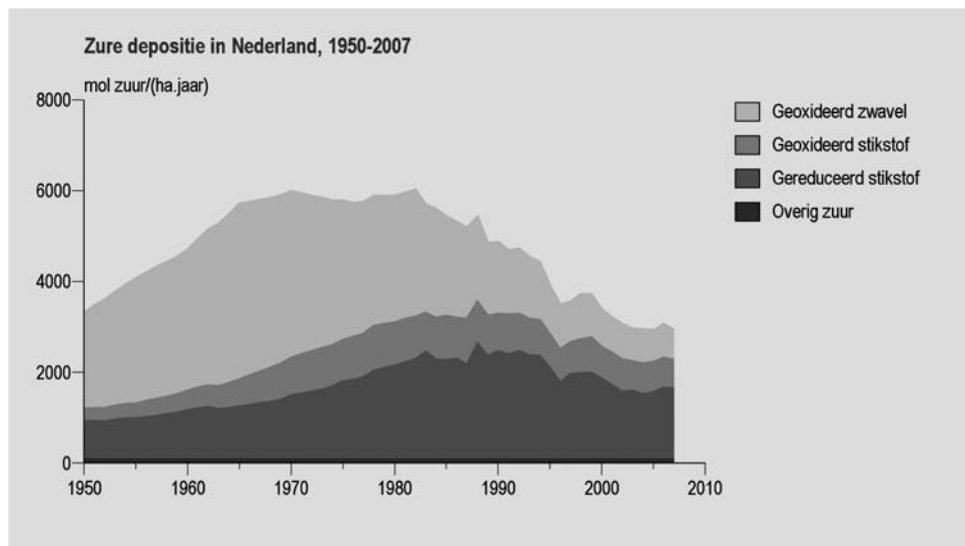


Afb. 6: De ontwikkeling van de hoeveelheid zuur en het totaal aan verzurende bestanddelen in de neerslag in De Bilt (Bron: RIVM). De hoeveelheid zuur is berekend uit de gemeten pH-waarde van de neerslag. De hoeveelheid zuur blijkt sinds 1980 sneller te dalen dan het totaal aan verzurende bestanddelen. Dit komt vooral door de vermindering van de bijdrage van zwavelzuur (als gevolg van de vermindering van de emissies van zwaveldioxide).

Is de zure regen verdwenen?

De neerslag in Nederland is sinds de jaren tachtig onmiskenbaar minder zuur geworden. Lag de pH-waarde van de Nederlandse neerslag in de eerste helft van de jaren tachtig nog tussen de 4,0 en de 4,5, tegenwoordig zien we pH-waarden tussen de 5,0 en 5,5.⁶⁰ Dat betekent dat de hoeveelheid zuur in de neerslag maar liefst met een factor tien is afgenomen (*afbeelding 6*). Nu hoeft dat niet veel te betekenen, want de zuurgraad van de neerslag is een slechte maat voor de vervuiling van de neerslag. Een betere maat is de som van de verzurende bestanddelen, dat is in goede benadering de som van de ammonium-, nitraat- en sulfaatconcentraties. We zien dat er weliswaar ook hierin een daling optreedt, maar dat deze veel minder spectaculair is. Tegenover een afname van de zuurgraad met een factor tien, staat een concentratiedaling van de som van de verzurende stoffen van 'slechts' 30%. Deze ontwikkelingen hebben sommigen ertoe gebracht te beweren dat het probleem van de zure regen niet meer bestaat. Optisch gezien lijkt dat correct, afgaande op de sterk gestegen pH-waarde van de neerslag. In werkelijkheid is deze constatering echter niet juist, omdat de afname van de verzurende bestanddelen in de neerslag veel minder spectaculair is. Bovendien zorgt de neerslag maar voor een derde van de verzurende flux; twee derde is afkomstig van de droge depositie. En het meest belangrijk is nog dat de toevoer van verzurende stoffen vanuit de atmosfeer nog steeds doorgaat, zij het niet in een omvang als 25 jaar geleden.

⁶⁰ Gebaseerd op gegevens over de chemische samenstelling van de neerslag, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Zie: www.lml.rivm.nl/data_val/index.html.



Afb. 7: De jaargemiddelde zure depositie in Nederland, 1950-2007. De grafiek toont de som van de natte en droge depositie. De grafiek is voor de jaren 1950 tot en met 1996 gebaseerd op gegevens uit de *Milieubalans 1999* en voor de jaren 1997 en later aangevuld met gegevens uit latere bronnen, waaronder De Ruiter (2006).

De droge depositie blijkt de afgelopen decennia eveneens aanzienlijk gedaald. Het hoogtepunt lag waarschijnlijk in de jaren zeventig van de twintigste eeuw. In de eerste helft van de jaren tachtig is de daling ingezet. Het overgrote deel van de daling komt voor rekening van de vermindering van de depositie van geoxideerd zwavel (*afbeelding 7*). Deze vermindering is een direct gevolg van de afgenomen emissies van zwaveldioxide in Europa. Dit heeft geleid tot een afname van de luchtconcentraties. Dit heeft zich vervolgens vertaald in een afname van de droge depositie waarvan de omvang in grote lijnen evenredig is met de luchtconcentratie. De emissieafname heeft ook geleid tot een verlaging van de sulfaatconcentraties in de neerslag en daarmee tot een afname van de natte depositieflux (of deeltjesstroom) van geoxideerd zwavel. De depositie van gereduceerd stikstof is sinds 1990 ook afgenomen. Dit is vooral toe te schrijven aan emissiebeperkende maatregelen voor ammoniak in Nederland. De afname van de zure depositie sinds de jaren zeventig ligt in de orde van grootte van 50%.⁶¹

We horen al jaren weinig meer over het probleem van de zure regen. Dat heeft twee redenen. In de eerste plaats is de zure regen niet zo zeer verdwenen, dan wel wordt de ernst ervan tegenwoordig minder hoog ingeschat dan vroeger. Bovendien is op basis van nader onderzoek het inzicht ontstaan dat niet zo zeer verzuring, dan wel vermessing, of eutrofiëring, het grootste probleem is. In de tweede plaats is de zure regen, of beter gezegd de zure depositie, spectaculair verminderd, maar zeker nog niet verdwenen. De inspanningen om te komen tot emissiereducties hebben de situatie dus verbeterd.

61 J.F. de Ruiter e.a., *Zuur- en stikstofdepositie in Nederland in de periode 1981-2002* (Bilthoven 2006).

Dat neemt niet weg dat men zich af kan vragen waarom de sombere voorspellingen uit de jaren tachtig niet zijn uitgekomen: 'Waarom zijn de bossen niet dood?'. In de eerste plaats bleken de aanvankelijke, eenvoudige hypothesen over de 'stervende bossen' slecht onderbouwd en op termijn ook niet te bewijzen. Verder waren de gebruikte methoden om gezondheidstoestand van bossen vast te stellen, weinig of niet geschikt voor dat doel. Het gaat echter te ver om te stellen dat er dus helemaal geen effecten zouden zijn. Die zijn er zeker, maar men werd zich ervan bewust dat een bos niet hetzelfde als een boom. De bomen gingen weliswaar niet dood, maar bossen konden wel degelijk van karakter veranderen. Zo was er bijvoorbeeld de eerder genoemde stikstoftoevoer die heeft bijgedragen aan een verarming in de ondergroei van bossen.⁶²

Maar er was nog iets veranderd. De zorg over het hoge niveau van de verzurende depositie en de effecten ervan had al in het begin van de jaren tachtig geleid tot afspraken over emissiereductie van verzurende stoffen. De verzurende depositie is daarop ook verminderd, waarbij vooral die van geoxideerde zwavelverbindingen sterk is afgenomen. Minder depositie leidt, op termijn, tot minder verzuring. Onderzoek heeft bevestigd dat de concentratie van verzurende stoffen in de Nederlandse bossen aanzienlijk is afgenomen. Daardoor neemt ook de concentratie van giftige stoffen, die door verregaande verzuring in de bodem gemobiliseerd worden (zoals aluminium) eveneens af.⁶³ Hiermee wil echter niet gezegd zijn dat de problemen tot het verleden behoren. De aanzienlijke fluxen van verzurende depositie hebben, naast een daling van de pH van het bodemvocht en de uitspoeling van voedingsstoffen, geleid tot een afname van de buffercapaciteit. Deze zorgt ervoor dat de zure depositie kan worden geneutraliseerd. De gereduceerde zuurfluxen van tegenwoordig tasten echter nog steeds de buffercapaciteit aan. Het komt er dus op neer dat het tempo van de aantasting door de afgenomen depositie sterk omlaag is gegaan, maar dat de aantasting nog steeds doorgaat. Een herstel van het buffervermogen vereist een nog verdergaande reductie van de depositie.⁶⁴

Niettemin kunnen we stellen dat de vitaliteit van het Nederlandse bos sinds de jaren tachtig is verbeterd. In de jaren tachtig werden nog vele honderden hectaren grove den en Corsicaanse den gekapt, bijvoorbeeld vanwege het voorkomen van schimmelziekten. Deze ziekten vonden mede hun oorzaak in de te hoge stikstofbelasting. Onderzoek heeft uitgewezen dat schimmelziekten sinds 2000 sterk in intensiteit en frequentie zijn afgenomen. Ook de gele verkleuring in de winter van dennennaalden, een indicator voor een slechte vitaliteit, komt momenteel in veel mindere mate voor dan vroeger. Maar belangrijker is dat de criteria waarmee de gezondheidstoestand van afzonderlijke bomen werd beoordeeld, niet representatief bleken voor de gezondheidstoestand van bossen. Hypothesen over de directe relatie tussen luchtverontreiniging, zure depositie en de gezondheidstoestand van bossen waren bijzonder moeilijk te onderbouwen. Toch merkte Peter van den Tweel, in de jaren tachtig medewerker van de afdeling bosontwikkeling van Staatsbosbeheer, in 2003, in een interview over de Nederlandse bossen op: 'de overheid heeft adequaat gereageerd met maatregelen aan de bron: er werden normen gesteld voor de uitwerp van schadelijke stoffen door de industrie, de landbouw en het verkeer. Tegelijkertijd werden maatregelen getroffen die de effecten van de verzuring bestrijden'.⁶⁵ Dit alles heeft er mede toe bijgedragen dat Nederland het doemscenario van massale bossterfte bespaard is gebleven.

62 RIVM, *Milieubalans 2002* (Bilthoven 2002); MNP, *Milieubalans 2005* (Bilthoven 2005); MNP, *Milieubalans 2007* (Bilthoven 2007).

63 Ibidem.

64 De Vries, *Verzuring* (n. 55).

65 H. Schmit, 'Bossterfte. Bespaard voor een doemscenario', *Trouw*, 5 augustus 2004.

Conclusies

Het probleem van de zure regen heeft een opmerkelijke ontwikkeling doorgemaakt. Het was in de jaren zestig van de twintigste eeuw dat zwaveldioxide lange tijd als de enige veroorzaker van de zure regen werd beschouwd. De toename van de kennis op het gebied van de atmosferische chemie bracht de erkenning dat ook stikstofdioxide belangrijk waren voor de verzuring. De rol van ammoniak als potentieel verzurende stof zou uiteindelijk in de jaren tachtig geaccepteerd worden.⁶⁶ Zure regen was aanvankelijk een probleem dat zich alleen via de neerslag leek te manifesteren. Onderzoek leerde echter dat het niet alleen om natte depositie ging, maar ook om droge depositie. En toen het beeld wetenschappelijk compleet was, bleek dat de stikstofdepositie waarschijnlijk een groter probleem was dan de zure depositie. De gezondheidstoestand van bomen en bossen werd in de jaren tachtig beoordeeld aan de hand van criteria die later niet adequaat bleken. Hypotheses over relaties tussen luchtverontreiniging en zure regen en dode bossen konden uiteindelijk niet bewezen worden. Veeleer is duidelijk geworden dat de gezondheidstoestand van bomen en bossen door een complex van factoren wordt bepaald, waarvan verzuring er één is. De bossen zijn dus niet doodgegaan. Wel zijn er effecten van verzuring op ecosystemen waarneembaar en is door de overmatige stikstofdepositie de ondergroei in de bossen van karakter veranderd. De zure depositie heeft bovendien een aanslag gepleegd op de buffercapaciteit van de bodem. De reductie in de emissies van verzurende stoffen hebben dit proces (nog) niet tot staan gebracht, maar wel het tempo van aantasting sterk vertraagd.

Er kwam vanaf het midden van de jaren tachtig een Europabreed proces van forse emissiereductie van zwaveldioxide op gang. Dit heeft geleid tot een navenante afname van de verzurende depositie. Later volgden, zij het minder spectaculair, emissiereducties van stikstofdioxide en ammoniak. Reducties die overigens nog steeds doorgaan. We kunnen dan ook concluderen dat zure regen zeker geen hype was.

SUMMARY

Yesterday, today, tomorrow. A retrospective look at the acid rain problem

Last century, at the end of the seventies, Europe was startled by a serious environmental problem: acid rain. Acid rain was held responsible for the decline of fishes in Scandinavian lakes. Later, it was suggested that acid rain could lead to forest dieback over vast areas of Europe. Forests in the Netherlands could be at great risk, as well. It was clear to everyone what it was all about, for 'rain' means water falling from the atmosphere and the meaning of 'acid' was evident, too. Acid rain caused much commotion in the eighties but, since then, it has faded into the background. Why is it, that there is so little attention paid to acid rain these days? Maybe the acid rain problem was a hype; with an exaggerated reaction to a problem that was, in fact, insignificant. This article aims to reconstruct the history of one of the most prominent environmental problems of the twentieth century.

⁶⁶ Om aan te geven hoe groot de verzuring (of eigenlijk het verzurende effect) is, wordt in Nederland de term 'potentieel zuur' gebruikt, gedefinieerd als de maximale verzuring, die zwaveldioxide, stikstofdioxide en ammoniak in bodem en water teweeg kunnen brengen. De daadwerkelijke verzuring in bodem en water kan lager zijn. Dit hangt af van een aantal processen in de bodem en van de opname van de stoffen door planten.

The article describes the origin of the acid rain problem in the 1960s and describes the scientific research that was carried out to develop a better understanding of the problem from an atmospheric chemical point of view. Subsequently, it treats the rise of public awareness in the seventies. The article subsequently focuses on the situation in the Netherlands. The initial research into forest health showed alarming results. This led to widespread concern within the Netherlands, which, once more, urged the government to come into action. Some measures to reduce air-polluting emissions were already taken in the early 1980s. However, these were meant, mainly, to improve local air quality. As the eighties progressed, acid rain provided an additional argument for reducing air pollution. This article presents the consequences of the emission reductions for the acidity of acid rain, and it discusses – in brief – the acid rain problem in light of current scientific knowledge. Finally, it answers the question of why forests did not die.