

LUCHTVERONTREINIGING effekten op duinmilieu

Zure regen is "in". De afgelopen twee jaar bereikte dit onderwerp regelmatig de voorpagina van kranten en ook veel tijdschriften besteedden er ruime aandacht aan.

Oekologische gevolgen van luchtverontreiniging waren echter al tientallen jaren geleden aan insiders bekend: uitgestorven meren in Zuid-Skandinavië, plaatselijke bossterfte rond fabrieken. Het bestaan van korstmosarme gebieden rond steden en de waarschijnlijke oorzaak daarvan was zelfs al in de vorige eeuw duidelijk. Redenen om stil te staan bij de vraag of er al gevolgen van zure depositie -en van luchtverontreiniging i.h.a.- bekend zijn voor het duingebied. Welke gevolgen zijn er nog te verwachten?

door H.W.J. VAN DIJK

LUCHTVERONTREINIGING IN NEDERLAND

Bij de luchtverontreiniging valt momenteel de nadruk op de zure depositie: het droog of nat neerslaan (immissie) van verzurende stoffen uit de atmosfeer. De belangrijkste stoffen hierbij zijn zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x), maar ook ammoniak (NH₃) dat in de bodem tot nitraat kan worden omgezet. De belangrijkste bronnen van genoemde stoffen zijn resp. industriële activiteit, het autoverkeer en de landbouw (23). Vergeleken met de overige Europese landen ligt het zwaartepunt van de zuuruitstoot (emissie) bij de stikstofverbindingen.

De totale zure depositie in Nederland is de afgelopen jaren tot zeker het vijfvoudige van het natuurlijke niveau toegenomen. Natuurlijke regen bv. heeft een zuurgraad pH=6, terwijl de pH van de neerslag in ons land tot onder de waarde 4 is gedaald. Nederland behoort daarmee tot de sterkst verzuurde gebieden van de wereld (23).

Naast de bovengenoemde verzurende stoffen omvat luchtverontreiniging verbindingen als roetdeeltjes, (zware) metalen en voor planten erg giftige oxidanten (bv. ozon) en fluorwaterstof (HF).

LUCHTVERONTREINIGING IN HET NEDERLANDSE KUSTGEBIED

De luchtverontreiniging aan de kust is bevorderd door de vestiging van grote industriecomplexen in de nabijheid van zeehavens (Rijnmond, Hoogovens, Delfzijl). De overheersende ZW-wind verhin-

dert echter een al te grote depositie van landinwaarts uitgestoten verontreinigingen.

Figuur 1 geeft een beeld van de verspreiding van verzurende stoffen langs de kust. De hoogste SO₂-concentraties zijn te vinden rond Rijnmond (de raffinaderijen nemen ruim 1/3 van onze nationale SO₂-emissie voor hun rekening). De NO_x-concentraties hangen vooral af van de in de randstad zeer hoge verkeersintensiteit. Het westelijke waddengebied ontvangt relatief veel SO₂ vanuit Duitse industriegebieden.

Resumerend: de totale natte zuurdepositie is het hoogst in de Zuidhollandse duinen (>2200 zuurmol/ha.jr) en het laagst bij Den Helder (<1800 zuurmol/ha.jr). De hoogste ozon-concentraties in Nederland komen voor bij Den Helder, terwijl hoge HF-concentraties vooral voorkomen in het zuiden van Zeeland.

GEVOLGEN

Inmiddels zijn de volgende effecten van luchtverontreiniging op levensgemeenschappen gekonstateerd: vermindering van de soortenrijkdom, wegvallen van soorten uit voedselketens en een verminderde voortplanting, vitaliteit en levensduur van organismen (22). Deze effecten kunnen zowel door rechtstreekse als door indirecte werking van de luchtverontreiniging optreden. Een directe invloed op de vegetatie betreft de blad aantasting door zuurionen, ozon of zware metalen. Indirecte factoren zijn bv. de versnelde uitspoeling van voedingsstoffen uit de bodem, het verdwijnen van symbiotische organismen en het vrijkomen van zware metalen uit de bodem.

Alvorens de gekonstateerde en potentiële effecten op duinorganismen te bespreken, komen daarom eerst de veranderingen van bodem en water door met name zure depositie aan bod.

DUINBODEMS

Van nature is de neerslag enigszins zuur waardoor ook in de oorspronkelijke situatie een langzame uitloging van de bodem plaatsvindt. Daardoor kon in de duinen een veelheid van kalkgradienten ontstaan die mede de grote variatie van de plantengroei bepaalt.

Bij afnemende pH-waarden van de bodem werken respectievelijk kalk, mineralen, humus, aluminium- en ijzeroxiden stabiliserend (bufferend) op de zuurgraad (22). Bij verzuring worden deze buffersystemen achtereenvolgens aangetast. Bodems met een laag kalkgehalte hebben slechts een gering bufferend vermogen en zijn daarom erg gevoelig voor zure regen. De hier toch al lage pH wordt makkelijk verder verlaagd. In het duingebied betreft dit de nagenoeg kalkloze duinvaaggronden (de duinen van het "Waddendistrikt" boven Bergen) en de kalkarme podzolgronden in plaatselijk nog bestaande binnenduintranden en strandwallen tussen Bergen en Monster (22). Bij het huidige niveau van zure depositie kan dit soort bodems binnen enkele tientallen jaren tot grote diepte zijn bufferende capaciteit verliezen en verzuren. De verzuringstijd van de wortelzone wordt voor de duinvaaggronden op 5 tot 25 jaar geschat, voor de podzolgronden op 40 tot 280 jaar (22). Bij deze uitloging en verlaging van de pH spoelen behalve het weinige kalk ook andere plantenvoedingsstoffen (kalium en magnesium) versneld uit en kan soms het voor planten giftige aluminium vrijkomen.

Ook in de kalkrijke duinen zijn effecten van zure depositie op de bodem te verwachten. De kalkafvoer blijkt voor de bovenste 3 dm duinbodem per jaar 1,5 % van de totale hoeveelheid te bedragen (Verbrande Pan bij Bergen, 15), gerekend over de bovenste 2,5 m slechts 0,0007 % per jaar (NH Duinreservaat bij Castricum, 31).

Het eerste getal van kalkuitspoeling levert een periode van minder dan 100 jaar op waarin het duin van kalkrijk kalkarm wordt, het tweede getal een periode van 3500 jaar voordat 90% van de bodemkalk is uitgespoeld en de bodem-pH tot onder de waarde 7 is gedaald.

Hieruit blijkt het grote belang van verstuiving als beheersmaatregel tegen een overal dominerende uitloging van de bovengrond: vastgelegd kalkrijk duin vertoont over 100 jaar een kalkarm aspect, terwijl verstuiving van de bovenste meters totale uitloging van het duinoppervlak met duizenden jaren zal vertragen!

GRONDWATER

Duingebieden waarvan de bodem makkelijk kan verzuren, zijn in het algemeen ook gevoelig voor aantasting van de grondwaterkwaliteit. Tot grote diepte kan verzuring van het grondwater optreden, vooral indien plaatselijk slecht doorlatende lagen ontbreken, het watervoerende pakket tot grote diepte kalkloos is en het grondwater zuurstofhoudend is (22). Verder wordt het grondwater rijker aan Ca, Mg en K-ionen en aan sulfaat en nitraat. Als de bodem sterk verzuurd is, kan de aluminium- en ijzerconcentratie gaan oplopen.

Ook in kalkrijke duinen zijn echter gevolgen voor het grondwater gekonstateerd, bv. een gedurende de afgelopen 20 jaar verdubbelde afvoer van nitraat uit de bovenste 2,5 m duinbodem o.i.v. de in deze periode verdubbelde NO_x-emissie (31).

Veranderingen van de vegetatie o.i.v. luchtverontreiniging (bv. eventuele bossterfte of stimulering van Duindoorn-groei) zullen de grondwaterkwaliteit indirect beïnvloeden. De grondwaterkwaliteit is namelijk ook sterk afhankelijk van de vegetatie. Zo vangen bossen relatief veel depositie in en worden bodem en grondwater eronder sneller verzuurd en verontreinigd, terwijl onder duindoornstruwelen extreem hoge nitraatgehalten in het grondwater voorkomen (10,31).

OPPPERVLAKTEWATER

Duinplassen kunnen zowel rechtstreeks door invallende depositie, als via afspoeling uit het omringende duin of via grondwaterstromingen beïnvloed worden. Vooral de kleine wateren die zwak gebufferd zijn (alkaliniteit lager

dan 1 meq/l) blijken gevoelig. Momenteel is al ca. 3/4 van de venen en beken op de hogere zandgronden sterk verzuurd (18,21).

De te verwachten effecten voor de duinplassen zijn nog onduidelijk. Het grondwater zal, voordat het verzuurd is nog lange tijd verhoogde K-, Mg- en Ca-koncentraties vertonen door versterkte uitloging van de bovengrond. Mogelijk mede daarom zijn de laatste jaren vaak pH-stijgingen in plaats van dalingen in duinplassen gekonstateerd (10,16,20,21).

Een sterke pH-daling wordt verwacht in kleine, ondiepe duinmoerassen, waarvan het water een alkaliniteit lager dan 2 meq/l vertoont en de bodem bedekt wordt door een dikke laag organisch materiaal die 's zomers droogvalt. De pH-daling wordt hier versterkt door oxidatie van zwavel- en stikstofverbindingen bij de mineralisatie van het organische materiaal (18).

Genoemde abiotische effecten (op bodem en duinwater) hebben gevolgen voor de hele levensgemeenschap van de duinen. Zo gaan bv. verzurende plassen steeds meer op elkaar lijken (nivellering) en steeds minder soorten bevatten (verarming). Sterk verzuurde plassen zullen nog slechts matten van zuurresistente draadwieren bo-

venop een dikke laag organisch materiaal die door de lage pH nauwelijks wordt afgebroken (18). Deze nivellering en verarming worden achtereenvolgens geïllustreerd aan de hand van korstmos-, bos-, kruiden- en heidevegetaties. Van deze vegetaties is momenteel voldoende bekend om een perspectief voor de duinen te schetsen.

KORSTMOSSEN

Korstmossen komen in het duingebied bodembewonend en op bomen of struiken (epifytisch) voor. Van bodembewonende bekermossen (*Cladonia*) is in de afgelopen tientallen jaren de vitaliteit duidelijk afgenomen. Veel soorten vertonen tijdens hun ontwikkeling een etagegewijze opbouw van het thallus. Soorten die twintig jaar geleden nog vaak individuen met 5 etages opleverden, komen nu in de Z.-hollandse duinen niet meer verder dan 2 etages.

Gevoeliger dan de bodembewoners zijn veel epifyten. Veel van de soorten op boomschors zijn al aan het begin van deze eeuw uit Nederland verdwenen door de toegenomen luchtverontreiniging (waarbij vooral de SO₂-immissie van belang lijkt (34)). Ook de epifytenpopulaties van het duingebied zijn verarmd, maar tot dusverre veelal

Hoogovens bij Wijk aan Zee: een jaarlijkse uitstoot van 13 milj. kg SO₂, 15 milj. kg NO_x, 4 milj. kg koolwaterstoffen en 190 milj. kg koolmonoxide en bovendien veel zware metalen (naar 1) nabij het Noordhollands Duinreservaat en de Kennemerduinen....

Aerophoto Schiphol BV

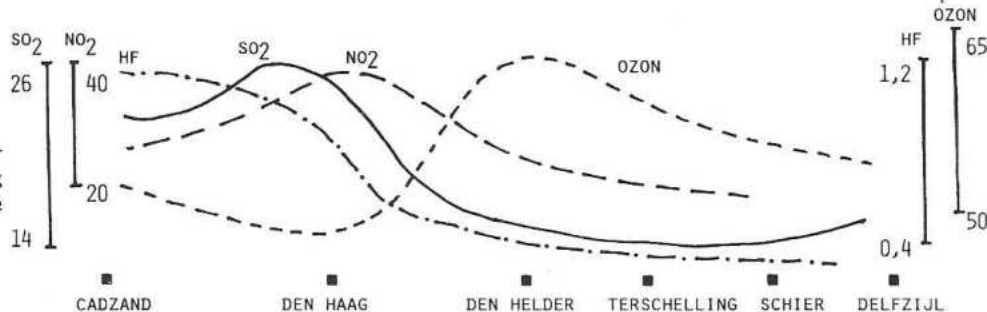


minder dan in het achterland (zie fig. 2). De overheersende ZW-wind lijkt hier van belang. Mede door de er geringere SO₂-immissie lijken veel zeldzame soorten (bv. *Anaptychia ciliaris*, *Parmelia trichotera*, *Physcia aipolia*) nagenoeg of geheel tot de duinen beperkt te zijn (4). Zoals figuur 2 aangeeft behoort inmiddels toch een deel van het duingebied (Z.-Holland en noordelijk N.-Holland) tot de "epifytenwoestijn" van de randstad. Zelfs op de relatief weinig verontreinigde Waddeneilanden gaan de epifyten qua vitaliteit en soortenrijkdom sterk achteruit. Bv. de er nog voorkomende baardmossen (*Usnea* en *Alectoria*) worden niet langer dan ca. 4 cm terwijl ze in de vorige eeuw zelfs nog vlakbij Amsterdam 2 dm lang konden worden.

BOSSEN

De grote belangstelling voor de "zure regen" ontstond toen in Middeuropa grote boscomplexen bleken af te sterven als gevolg van luchtverontreiniging (o.a. 28,32). In Zwitserland is alleen al tussen 1983 en 1984 het aangetaste bosoppervlak van 14 tot 34 % toegenomen (mond.med. Prof. W. Schutt). In ons land bedraagt de aantasting nu 49 % van het bosoppervlak; vooral naaldopstanden op arme zandgrond nabij bioïndustriën vertonen veel schade (8).

De oorzaken van de aantasting van bossen zijn nog volop in onderzoek. Het is inmiddels wel duidelijk dat de directe effecten van de luchtverontreiniging de gekonstateerde aantasting onvoldoende verklaren en dat indirecte effecten via de bodem een belangrijke rol spelen. Nihlgard noemt 3 theorieën ter verklaring van bossterfte (zure regen-, ozon- en stress-theorie) en voegt daar zelf nog zijn ammonium-theorie aan toe (25). Het is duidelijk dat deze theorieën elkaar grotendeels overlappen en aanvullen. Zo lijkt de vorming van ozon o.i.v. luchtverontreinigingscomponenten vooral in het hooggebergte verantwoordelijk voor bossterfte (28), maar is nabij intensieve veehouderijen de ammonium-theorie goed bruikbaar (27, 30). Bij het onderzoek naar de oorzaken van bossterfte is de nadruk van de zure regen verlegd naar interacties van verhoogde ozon-koncentraties, zure mist en klimatologische factoren (6). Ook de sterke afname van mycorrhizavormende schimmels die van groot belang zijn voor de wortelopname



Figuur 1. Gemiddelde waarden van luchtverontreinigings-componenten (naar: 26) Koncentratie 1982/83 (µg/m³), behalve HF (invang µg/g kalkpapier, dag).

van bomen, krijgt momenteel veel aandacht (3).

Veel duinbossen, vooral de aan-geplante dennenbossen zonder opgeschoren randbegroeiing, staan al onder een grote (klimatologische) stress door zeewind en zoute inwaai. Met name de op voor verzuring gevoelige duinbodems staande bossen lijken daarom potentiële slachtoffers van de extra stress door luchtverontreiniging, zo niet van de verzuring op zichzelf dan wel van de inwerking van ozon of van overbemesting met stikstofmineralen. Hierbij is van belang dat ozon de hoogste luchtkoncentraties in het kustgebied vertoont. Verder is bij een in het duingebied vaak overschreden stikstofdepositie van 30 kg N/ha.jr (de natuurlijke immissie bedraagt ca. 1 kg/ha.jr (19,14)) met name in bossen op voedselarme bodems al na 20 tot 25 jaar stikstofverzadiging gekonstateerd (2).

Niet alleen de aantasting van bestaande duinbossen moet punt van aandacht zijn, ook invloeden van luchtverontreiniging op de succesie van struweel- en bostypen verdienen nader onderzoek. Recente waarnemingen tonen aan dat de luchtverontreiniging -met name de eutrofiëringcomponent daarvan- sterk de ontwikkeling van moerasbossen verstoort (33). De via paleobotanisch onderzoek aangetoonde ontwikkelingslijn van matig voedselrijk elzenbos via voedselarm/matig voedselrijk nat berkenbos tot voedselarm hoogveen (35) treedt momenteel niet meer op. De trend is nu een omgekeerde lijn: een vervanging van berken door elzen, dus een verschuiving van voedselarmere naar voedselrijkere moerasbossen. Analoge ontwikkelingen zijn ook in het Duin- en het Waddendistrikt denkbaar.

KRUIDEN- EN HEIDEVEGETATIES

Veel plantesoorten in Nederland zijn vooral door de toename van de luchtverontreiniging sterk achteruitgegaan gedurende de afgelopen vijftig jaar. Het betreft o.a. de in de duinen voorkomende Eikvaren en Rozenkransje (11).

Nabij de kust zijn directe effecten zoals bladbeschadiging gekonstateerd aan gevoelige kweekplanten (RIVM 1983). Ozon veroorzaakt sterke bladbeschadigingen bij tabak in de kop van Noord-Holland en op Texel, fluorwaterstof bladpuntbeschadiging bij tulp en gladiol in het zuiden van de Zeeuwse kust. De natuurlijke kruidenvegetatie wordt echter waarschijnlijk vooral via indirecte effecten -bv. eutrofiëring en uitlegging van de bodem- beïnvloed.

Zo blijkt op basis van vegetatiewaarnemingen de kalkgrens naar het zuiden te verschuiven (5,29). De zure regen zal dit proces versnellen. Niet alleen uit het sterke oprukken van de Struikheide in de "Verbrande Pan" bij Bergen kan de komende verschuiving van kalkminnende naar meer kalkmijdende plantesoorten in het Duindistrikt worden afgeleid. Steeds meer zuurpreferente soorten zijn hier de afgelopen tientallen jaren doorgedrongen. Een voorbeeld is de op de waddeneilanden vaak dominerende Kraaiheide die nu ook in de Luchterduinen en in de duinen van Walcheren voorkomt. Voor de Luchterduinen kan zelfs een hele serie kalkmijdende plantesoorten genoemd worden die daar tot enkele jaren geleden niet voorkwamen zoals Dopheide, diverse Veenmos-soorten, Koningsvaren en Dubbelloof (23).

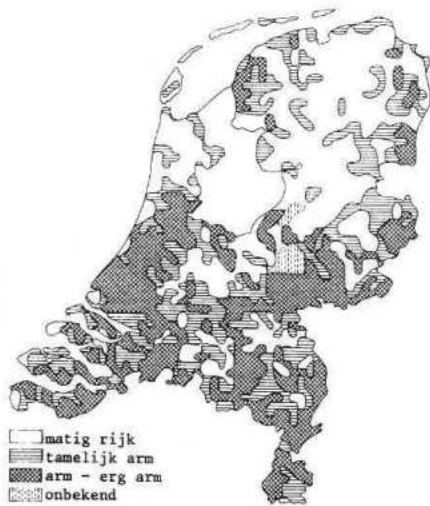
Een eerste aanzet tot kwantificering van de rol van luchtverontreiniging bij dit proces biedt een onderzoek dat zich afspeelde in de duingebieden Berkheide en Meijendel (12). Hierbij werd de verrassende ontdekking gedaan dat

in Berkheide op jonge vergravingen hoge bedekkingen van kalkmijdende vegetatietypen voorkomen. Een extreem voorbeeld vormen de zuidhellingen 6 tot 10 jaar na vergraving, waar de ekotooptypen "kalk-arme mosvlakte", "kalkloos schraal grasland" en "kalkloze pioniersteppe" tot 60 % van het oppervlak kunnen beslaan terwijl op de niet vergraven maar overigens vergelijkbare zuidhellingen maar 20 % door deze ekotooptypen wordt ingenomen.

De luchtverontreiniging hoeft zuurminnende vegetaties niet alleen te bevorderen, maar kan deze ook aantasten. Zo gaan op het vasteland de kalkmijdende heidevegetaties sterk achteruit.

Hier lijkt niet substraatverzuring de doorslaggevende oorzaak van de teruggang te vormen. Vooral de accumulatie van stikstofverbindingen in de bovengrond lijkt -via het stimuleren van de groei van voedselminnende grassen als Pijpestroetje- de heidestruiken de das om te doen (7,17,27).

Soortgelijke verschijnselen zien we op de waddeneilanden waar uitgestrekte soortenrijke vochtige heiden geleidelijk zijn overwoerd door soortenarme begroeiingen van voornamelijk Duinriet, Kruipwilg en Cranberry. Tot dusverre zijn hiervoor als oorzaken genoemd dalingen van de waterstand, de daarmee gepaard gaande versterkte mineralisatie van organisch materiaal en het beëindigen van de beweiding. De depositie van voedingsstoffen (m.n. stikstofverbindingen) vormt hier mogelijk een aanvullende verklaring.



Figuur 2. De rijkdom van epifytische korstmossen in Nederland (situatie ca. 1972; uit 34)

FAUNA

Voor de Nederlandse situatie zijn de gevolgen van luchtverontreiniging op dierlijke organismen slecht bekend (13,17). Elders is echter waargenomen dat veel water- en bodemdieren een lage pH slecht verdragen; in de zure hoogveensplassen komt bv. maar één vissoort voor (17). Veel effecten zullen indirect, o.a. via veranderingen van de vegetatie, optreden.

De sterke invang van zware metalen en andere giftige stoffen door grote kruiden, struiken en bossen nabij industriële centra als Hoogovens en Rijnmond kan op den duur een sterke accumulatie van deze stoffen in de strooisellaag opleveren. De vitaliteit van hier levende dieren is inmiddels al merkbaar aangetast (13,15).

KONKLUSIES

1. Het is moeilijk om de gevolgen door luchtverontreiniging te scheiden van andere factoren (bv. veranderd duinbeheer, hydrologische veranderingen). Uit waarnemingen elders is echter af te leiden dat ook de levensgemeenschappen van het duingebied zullen verarmen en nivelleren door de werking van de luchtverontreiniging (uitwissen van gradiëntsituaties, eutrofiëring).
2. Veel duingebieden (m.n. duinvaag- en podzolgronden) zijn erg kwetsbaar voor verzuring en eutrofiëring.
3. Inmiddels zijn al onomkeerbare effecten door luchtverontreiniging opgetreden: aantasting van het bufferende systeem van de duinbodem, plaatselijke verzuring van bovengrond en water en plaatselijke accumulatie van zware metalen in de bovengrond.
4. Ook in de kalkrijke duinen lijkt de zure regen de vegetatie al te beïnvloeden. Het beheer (t.a.v. verstuiwing) is hier een belangrijke factor.
5. De eutrofiëring door de luchtverontreiniging mag niet onderschat worden. In de duinen zijn sterk verhoogde stikstof-belastingen van het grondwater geconstateerd terwijl elders duidelijke effecten op diverse vegetaties zijn aangetoond.
6. Er is een omvangrijk tijdreeks-onderzoek in het duingebied nodig ter ondersteuning van een beleid voor emissie-bestrijding en een aangepast duinbeheer. Bij dit onderzoek verdienen de volgende punten veel aandacht:
 - mogelijkheden van (verstuiwings)

beheer i.r.t. de versnelde uitlozing
 -akkumulatie van zware metalen in de bovengrond van bossen en struiken i.r.t. de fauna (nabij belangrijke emissiebronnen)
 -voedingsstoffenbalansen van vegetaties, bodem en grondwater
 -interrelaties van klimatologische stress met luchtverontreinigingscomponenten i.r.t. duinbossen
 -extra aandacht voor duinvaag- en podzolgronden en voor de gebieden nabij belangrijke emissiebronnen.

De auteur schreef dit artikel mede naar aanleiding van een inventarisatie van oekologisch duinonderzoek dat hij bij het Centrum voor Milieukunde te Leiden en de Stichting Duinbehoud uitvoert.

Drs. M.M.L. Beckers gaf kritisch commentaar op het artikel.

LITERATUUR

1. ANONYMUS 1980. Rapport Emissieregistratie N.-Holland. Staatsuitg., Den Haag
2. AGREN G 1983. p.233-244 in: Ecological effects of acid deposition. Nat.Swed.Environm.Board.
3. ARNOLDS E, JJ BARKMAN & A JANSSEN 1984. Mogelijke oorzaken en gevolgen van veranderingen in de Nederlandse mycoflora. KNNV/NMV.
4. BARKMAN JJ 1958. Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Van Gorcum, Assen.
5. BIJLEVELD HAS 1978. Natura 75,8,236-239.
6. BLANK LW 1985. Nature 314,6009,311-314.
7. BLOEMENDAAL F 1985. Intermediair 21,14,29-34.
8. BOER WMJ den 1985. De Levende Natuur 8,2,39-42.
9. DIJK HWJ v 1984. Duin 6,4,17-23.
10. DIJK HWJ v & JA MELTZER 1981. H2O 14,23,264-267.
11. DOBBEN HF v & D v DAM 1984. p.128-133 in "Zure Regen". PUDOC, Wageningen.
12. DOES HP v & W LIGTVOET 1984. Vegetatiesuksessie na vergraving. Rapport Afr.Milieubirol.RUL.
13. ELJSACKERS H 1984. Verzuring door atmosferische depositie; Bodembioologie. Ministeries VROM/L&V.
14. ERIKSON E 1952. Composition of atmospheric precipitation 1. Nitrogen compounds. Tellus 4, 215.
15. ERNST WHO 1984. p.30-40 in: Van duingebied naar duinbeheer. PWN, Bloemendaal.
16. HARTOG C den e.a. 1983. Effects of acid precipitation on freshwater systems in the Netherlands. NATO panel III. Chapel Hill N.C.
17. HEIL GW & WH DIEMONT 1983. Vegetatio 53,113-120.
18. HIGLER LWG 1984. Verzuring door atmosferische depositie: Oppervlaktewater en hydrobiologie. Ministeries VROM/L&V.
19. HUSAR RB & JM HOLLOWAY 1983. p.95-115 in "Ecological Effects of Acid Deposition". Solna.
20. KILHAM P 1982. Limnol. & Oceanogr. 27, 856-867.
21. LEUVEN RSEW e.a. 1983. p.141-147 in "Zure Regen". PUDOC, Wageningen.
22. MANUEL AR e.a. 1984. Verzuring door atmosferische depositie; Evaluatierapport. Ministeries VROM/L&V.
23. MINISTERIE VROM 1985. Zure regen. 30 pp.
24. MOURIK J & G LONDO 1985 (ip). Vestiging van bijzondere plantensoorten in het infiltratiegebied der AWD (Gorteria).
25. NIHLGARD B 1985. Ambio 14, 1, 2-9.
26. RIVM 1984. Nationaal Meetnet voor Luchtverontreiniging. NML-RIVM nr.26.
27. ROELOFS JGM e.a. 1983. p.134-140 in "Zure Regen". PUDOC, Wageningen.
28. SCHUTT W e.a. 1983. So stirbt der Wald. BLV, München.
29. SIPKES C 1975. Gorteria 7, 179-181.
30. SMIT AT & AL Bosch 1985 (ip). Vitaliteit van grove dennenhoeven i.r.t. intensieve veehouderij. Med.Bosbouw Tijdschr.
31. STUYFZAND PJ 1984. H2O 17, 8, 152-160.
32. ULRICH B 1983. p.31-41 in: "Acid deposition". Reidel, Dordrecht.
33. WIEGERS J 1985. Succession in fen woodland ecosystems in the Dutch haf District. Diss., UVA.
34. WIT, A de 1976. Epiphytic lichens and air pollution in The Netherlands. RIN Verh.8, Leersum.
35. ZINDEREN BAKKER, EM van 1942. De Levende Natuur 47, 1, 1-7 / 47, 2, 25-29.