



Luchtverontreiniging en de achteruitgang van de Nederlandse flora

D. van Dam

In dit artikel worden eerst kort enige resultaten van onderzoek aan korstmossen en de Hanekam beschreven. Daarna worden de voornaamste resultaten gegeven van een onderzoek naar de mogelijke samenhang tussen luchtverontreiniging en verandering in het verspreidingspatroon van een aantal hogere plantesoorten.

Zure neerslag

Luchtverontreiniging hangt voor een groot deel nauw samen met de energievoorziening ten behoeve van vervoer, industriële processen en ruimteverwarming. De energieopwekking vindt immers hoofdzakelijk plaats door verbrandingsprocessen, waarbij kooldioxide (CO₂), zwaveldioxide (SO₂) en stikstofoxiden (NO_x) vrijkomen.

Voor al aan de effecten van SO₂ op epifytische korstmossen is tot nu toe veel aandacht besteed. Steeds meer raakt men er echter van doordrongen dat niet

alleen de diverse effecten van hoge SO₂-concentraties schadelijk kunnen zijn, maar dat 'zure neerslag' op langere termijn ook de ecologische omstandigheden van een standplaats zodanig kan veranderen, dat op den duur niet meer voldaan wordt aan de bestaansvoorwaarden voor bepaalde hogere organismen. De SO₂-concentratie blijkt een goede graadmeter te zijn voor de hoeveelheid 'zure neerslag' die uit de atmosfeer in verschillende vormen naar beneden komt, de depositie. In dit verband speelt ook ammoniak een belangrijke rol. Deze

verbinding werkt weliswaar neutraliserend op zuren, maar bij de oxidatie ervan tot nitraat wordt meer zuur geproduceerd dan er eerst werd geneutraliseerd. Bovendien kan de depositie van stikstofverbindingen leiden tot een verhoogd aanbod van voedingsstoffen (eutrofiëring).

Organismen waarvan verwacht kan worden dat ze door 'zure neerslag' worden bedreigd zullen daarom in eerste instantie hoofdzakelijk gezocht moeten worden onder die soorten die karakteristiek zijn voor niet extreem zure, weinig gebufferde, voedselarme omstandigheden.

Korstmossen

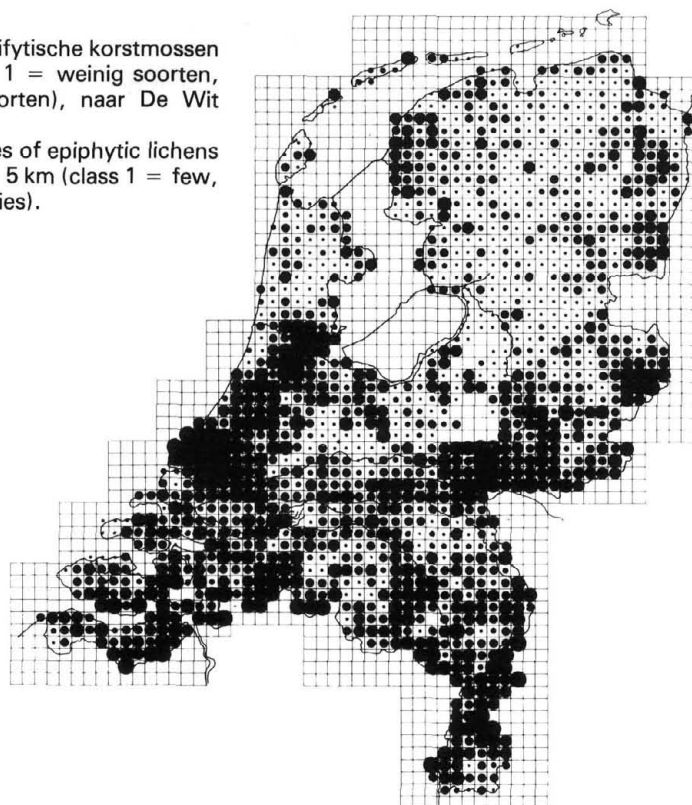
Onderzoek naar effecten van luchtverontreiniging op de verspreiding van plantesoorten in vegetaties op het land is tot nu toe vooral geconcentreerd geweest op epifytische korstmossen. De rijkdom aan soorten blijkt hierbij sterk samen te hangen met de zwaveldioxyde verontreiniging. In Nederland werd dit aangetoond voor Van Dobben (1983) die de vroegere en huidige verspreiding van korstmossen rondom Den Bosch vergeleek. Een landelijk beeld werd al eerder gegeven door De Wit (1976), die hierbij onder meer gebruik maakte van de resultaten van de Werkgroep Herkartering Epiphyten Nederland, die de soortenrijkdom aan epifytische korstmossen voor heel Nederland in inventarisatie-eenheden van 5 bij 5 km (zgn. uurhokken) in kaart bracht. De soortenrijkdom aan epifytische korstmossen bleek vooral sterk samen te hangen met piekconcentraties van SO₂, (zie fig. 1 en fig. 2). Om de intensiteit van het voorkomen van dergelijke piekconcentraties weer te geven wordt veelal gewerkt met de zogenaamde 'percentielwaarden'. In figuur 3 is dit begrip geïllustreerd. In woorden kan dit als volgt worden aangegeven: de X-percentielwaarde (Px) is die concentratie die gedurende 100-X procent van de tijd overschreden wordt.

De verspreiding van de gevoeligste soorten wordt al beïnvloed als de 90- of 95-percentiel waarden liggen in de orde van grootte van enkele tientallen microgram SO₂ per kubieke meter lucht. Uit onderzoek opgezet door Van Dobben en De Wit met behulp van permanente kwadraten bleek dat een minder gevoelige soort, zoals *Parmelia sulcata* weliswaar niet verdwijnt, maar dat wel de groei-snelheid vermindert.

Figuur 1
Het aantal soorten epifytische korstmossen in uurhokken (klasse 1 = weinig soorten, klasse 6 = veel soorten), naar De Wit (1976).

The number of species of epiphytic lichens in grid squares of 5 × 5 km (class 1 = few, class 6 = many species).

- Klasse 6 (veel korstmossen)
- Klasse 5
- Klasse 4
- Klasse 3
- Klasse 2
- Klasse 1 (weinig korstmossen)
- Geen gegevens aanwezig



Hanekam

De sterke afname van de Hanekam (*Cantharellus cibarius*), die voorkomt in lichte bossen op droge, voedselarme zandgronden, is wel eens toegeschreven aan intensieve pluk van deze soort. Onderzoek door Jansen & De Wit (1979) bracht echter aan het licht dat er geen sprake was van een verband tussen pluk en mate van achteruitgang. Wel bleek de soort juist daar nog veel voor te komen waar een hoge soortenrijkdom aan

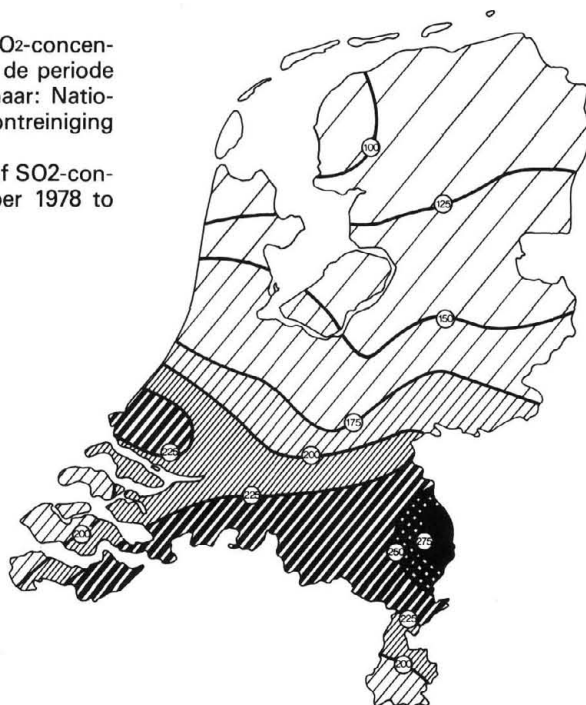
epifytische korstmossen aanwezig is. Omdat de hanekam het grootste deel van zijn levenscyclus als mycelium onder de grond doorbrengt is het niet waarschijnlijk dat directe effecten van luchtverontreiniging verantwoordelijk gesteld kunnen worden voor de achteruitgang van deze soort. Wel valt te denken aan indirecte effecten van luchtverontreiniging via de bodem, waarbij met name verzuring van belang zou kunnen zijn. Ook eutrofiëring als gevolg van een hoge

depositie van stikstofverbindingen zou een oorzaak kunnen zijn voor de achteruitgang van de hanekam. De depositie van stikstofverbindingen blijkt in Nederland wel 50 kg stikstof per ha per jaar te kunnen bedragen (Van Breemen e.a. 1982). Langzame veranderingen die samenhangen met de organische stofhuishouding van de bodem vormen ook een factor waarbij een verband met de afname van de hanekam vermoed zou kunnen worden.

Figuur 2

Waarden van daggemiddelde SO_2 -concentratie bij het 95-percentiel voor de periode oktober 1978 tot maart 1979, naar: Nationaal Meetnet voor Luchtverontreiniging (1979).

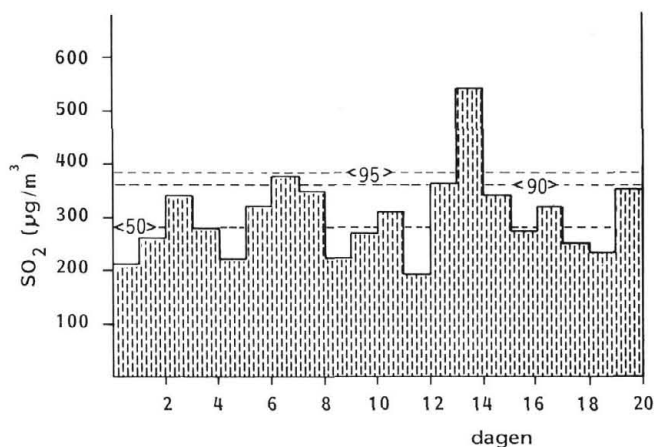
95-percentile of daily averages of SO_2 -concentration in the period October 1978 to March 1979.



Figuur 3

Voorbeeld om het gebruik van percentielwaarden te illustreren. Meetperiode 20 dagen, zodat 1 dag overeenkomt met 5% van de periode. De SO_2 -concentratie is in 95% van de tijd niet hoger dan 380 (95-percentiel) in 90% niet lager dan 360 en in 50% niet hoger dan 280 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Example to illustrate the use of percentile-values. In this case the SO_2 -concentration is less than 380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for 95% of the time (19 days). It is then said that the SO_2 95-percentile amounts to 380 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Hogere planten

Factoren van invloed op verspreiding

Het Rijks Instituut voor Natuurbeheer heeft onderzocht in hoeverre de achteruitgang van hogere planten in Nederland toegeschreven zou kunnen worden aan luchtverontreiniging (Van Dam, 1983). Hiertoe werd het verschil in de verspreiding van plantesoorten voor en na 1950 vergeleken met de mate van luchtverontreiniging, op verschillende wijzen gekarakteriseerd. Eind vorige eeuw werd begonnen met een landelijke inventarisatie van vaatplanten in Nederland. Deze eerste inventarisatieronde werd afgesloten in 1950. Een tweede inventarisatieronde, met een iets afwijkend inventarisatienetwerk (zogenaamde uurhokken van 5×5 km) werd grotendels voltooid in 1980. De gegevens van beide inventarisaties berusten bij het Rijksherbarium, dat zo bereidwillig was verspreidingskaartjes beschikbaar te stellen, voorzover die nog niet gepubliceerd zijn in de Atlas van de Nederlandse Flora. Vele soorten blijken sterk achteruitgegaan te zijn in uurhokverspreiding. Voor Valkruid of Wolverlei (*Arnica montana*) wordt dit geïllustreerd in figuur 4. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat de achteruitgang zoals gegeven door het verschil in de uurhokverspreiding een sterke onderschatting kan opleveren van de werkelijke achteruitgang van het aantal populaties of het aantal individuen van een soort, omdat de intensiteit van het voorkomen binnen een uurhok niet wordt aangegeven. De achteruitgang van de Nederlandse flora wordt vooral veroorzaakt door:

1. ontginning
2. urbanisatie
3. ontwatering
4. bemesting
5. veranderd beheer

Om aan te kunnen geven of ook luchtverontreiniging van invloed is,



moeten bovenstaande factoren of onbelangrijk of zo goed mogelijk bekend zijn. Verschillende overwegingen leidden ertoe om vooral die soorten te bestuderen die karakteristiek zijn voor vegetaties op droge, kalkarme, voedselarme zandgronden. Of er na 1950 nog geschikt biotoop voor dergelijke soorten aanwezig was werd bepaald door na te gaan in hoeverre op topografische kaarten van omstreeks 1960 nog aangegeven zijn: kustduinen, zandverstuivingen, heidevelden en bossen op niet-holocene bodem.

De gebruikte criteria voor indeling van een uurhok in een bepaalde biotoopklasse zijn genoemd in tabel 1. Voor uurhokken waar nog grote oppervlakten ogenschijnlijk geschikt biotoop aanwezig waren, werd verwacht dat de achteruitgang geringer zou zijn dan voor uurhokken waar geen of nog slechts kleine restanten geschikt biotoop over waren. Een nadere indruk van het voorkomen van geschikt biotoop voor soorten van droge, kalkarme, voedselarme zandgronden werd verkregen door van 33 vrij algemene soorten die hier verwacht kunnen worden te bepalen of deze na 1950 inderdaad nog aanwezig waren. Tot deze soorten behoren o.a. Struikelheide (*Calluna vulgaris*), Pilzegge (*Carex pilulifera*), Liggend Walstro (*Galium hercynicum*), Zandblauwtje (*Jasione montana*) en Blauwe Bosbes (*Vaccinium myrtillus*). Als minder dan 16 van deze soorten aanwezig waren werd een uurhok uitgesloten van verdere analyse. Het ligt dan immers voor de hand dat ook andere factoren dan luchtverontreiniging verantwoordelijk kunnen zijn voor de afwezigheid van soorten. De uurhokken die uiteindelijk wel volledig in beschouwing werden genomen zijn weergegeven in figuur 5.

Als criteria voor de mate van luchtverontreiniging werden opgenomen:

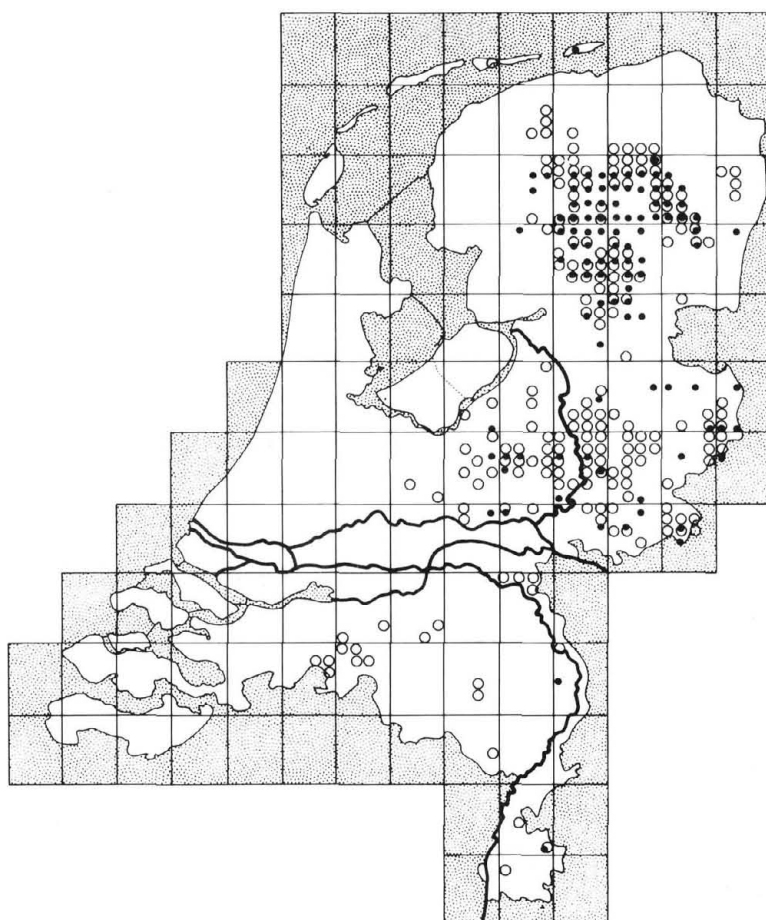
- soortenrijkdom aan epifytische korstmossen volgens een indeling in zes klassen, zoals gegeven door De Wit (1976); zie figuur 1.
- de waarde van het SO₂ 95-percentiel voor het winterhalfjaar 1978-1979, ingedeeld in acht klassen met intervallen van 25 microgram SO₂ per m³ (hoogste klasse meer dan 250 microgram per m³; zie figuur 2).
- een indeling in eveneens acht klassen van het SO₂ 98-percentiel voor dezelfde periode.

Tabel 1 Criteria waaraan een uurhok minimaal behoefde te voldoen om tot een bepaalde biotoopklasse gerekend te worden. De oppervlakte van één uurhok bedraagt 2500 ha.

Tabel 1

Minimum criteria for gridsquares required for a habitatclass. The surface of one gridsquare is 2500 ha.

biotoopklasse	criterium 1 heide, zandverstuiving, duinen	criterium 2 bos op niet-holocene bodem
0	holoceen	0 - 5 ha
1	pleistoceen, maar geen heide enz.	5 - 20 ha
2	+ tot 5 ha	20 - 100 ha
3	5 - 20 ha	100 - 500 ha
4	20 - 50 ha	500 ha
5	50 - 200 ha	
6	200 - 500 ha	
7	500 ha	



Zowel de soortenrijkdom aan epifytische korstmossen als de waarden voor de SO₂-percentielen bleken sterk samen te hangen met de achteruitgang van de onderzochte hogere planten. Hierna wordt verder alleen aandacht besteed aan het SO₂ 95-percentiel als maat voor luchtverontreiniging.

Figuur 4

De verspreiding van Valkruid (*Arnica montana*) over uurhokken vóór 1950 (open cirkeltjes) en in de periode 1950-1980 (zwarte stippen).

The distribution of *Arnica montana* before 1950 (circles) and during the period 1950-1980 (Black dots) in grid squares.

Gevoeligheid voor luchtverontreiniging

Als maat voor de achteruitgang van een soort werd het terugvindpercentage genomen. Dit is het percentage van het aantal uurhokken waar een soort na 1950

soort werd het terugvindpercentage genomen. Dit is het percentage van het aantal uurhokken waar een soort na 1950

gevoonden. Als een soort na 1950 in een uurhok voorkwam werd hierbij aangenomen dat er voor 1950 ook wel goede groeiplaatsen waren, maar dat de soort hier toen niet werd gevonden. Voor de meeste soorten is dit een realistische veronderstelling.

Er werd geprobeerd de verschillen in terugvindpercentages over een tweedimensionale indeling van luchtverontreiniging (5 niveaus) en biotoopverlies (7 niveaus) te verklaren met een wiskundig model. Meer details hierover zijn te vinden in de rapporten van Dam (1983). De belangrijkste uitkomsten zijn dat biotoopverlies en luchtverontreiniging samen een groot deel van de verschillen in terugvindpercentages kunnen verklaren. Voor enkele soorten, waaronder Maanvaren (*Bothrychium lunaria*) en Duivelsnaaiaren (*Cuscuta epithymum*) worden de verschillen vooral verklaard door biotoopverlies en vrijwel niet door luchtverontreiniging (tabel 2). Soorten waarbij juist

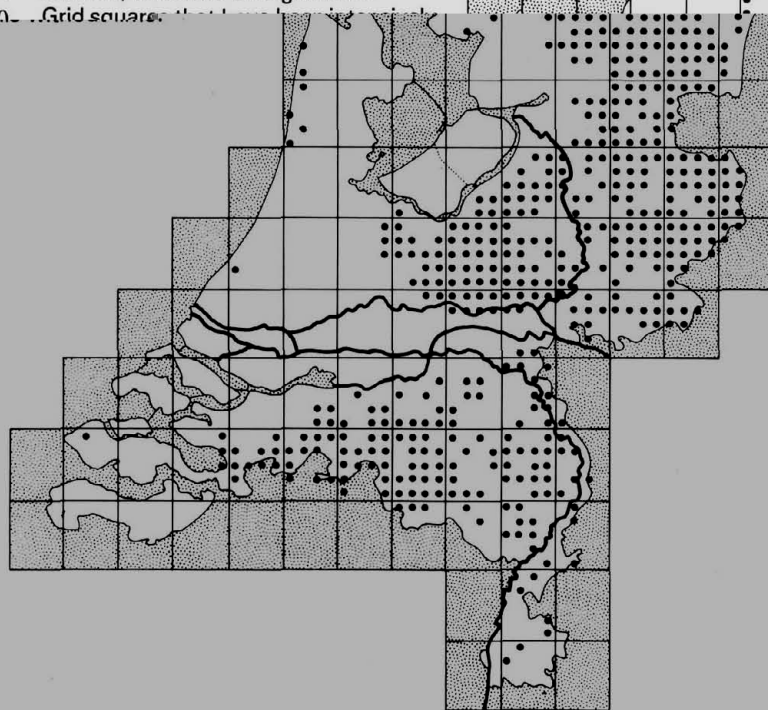
door luchtverontreiniging veel van de verschillen verklaart zijn Valkruid, Kleine Zonnedauw (*Drosera rotundifolia*), Eiken (*Polypodium vulgare*), Borstelgras (*Nardus stricta*), Grote Wolfsklauw (*Lycopodium clavatum*), Rozenkransje (*Antennaria dioica*), Kleine Wolfsklauw (*Lycopodium tristachyum*), Dwergviltkruid (*Filago minima*) en Hondsviooltje (*Viola canina*). Ook de achteruitgang van het vormend Groot Gaffeltandmos (*Platanus scoparium* cf.) blijkt sterk geassocieerd te zijn met waarden voor het 95-percentiel. Gegevens over de verspreiding van deze soort zijn gebaseerd op door Bremer en Vogelpoel (1979) onderzocht herbariummateriaal. Voor sommige soorten, zoals Kraaiheide (*Calluna vulgaris*) en Gaspeldoorn (*Euonymus europaeus*) bestaat wel een sterke verband tussen hun achteruitgang en luchtverontreiniging, maar een oorzake-gevoelingsverband is extra moeilijk aantoonbaar, omdat deze soorten in Nederland de grens van hun areaal bereiken.

Vergelijking van zogenaamde dosis-responscurves van epifytische korstmossen (figuur 5), de cantharel (figuur 6), het fructificerend voorkomen van Groot Gaffeltandmos (niet opgeno-

Figuur 5

Na 1950 goed onderzochte uurhokken waarin tevens veel soorten voorkomen die karakteristiek zijn voor droge, voedselarme, kalkarme zandgronden.

Grid squares, that contain many species which are characteristic of dry, food-poor, calcareous sand dunes.



Tabel 2 Soorten waarbij verschillen in terugvindpercentage voor een groot deel door luchtverontreiniging en/of biotoopverlies verklaard worden.

(a) percentages verklaard door luchtverontreiniging en biotoopverlies.
(b) percentages uitsluitend verklaard door luchtverontreiniging.

Tabel 2

Species of which a greater part of the variation is explained by airpollution and/or by loss of habitat.

a) percentage explained by airpollution and loss of habitat.
b) percentage explained by airpollution only.

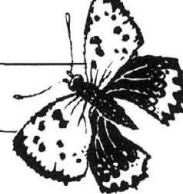
Soort	(a)	(b)
Valkruid	69	66 <i>Arnica montana</i>
Groot Gaffeltandmos	70	50 <i>Dicranum scoparium</i> cfr.
Eikvaren	53	50 <i>Polypodium vulgare</i>
Borstelgras	53	44 <i>Nardus stricta</i>
Klein Zonnedauw	59	41 <i>Drosera rotundifolia</i>
Hanekam	41	41 <i>Cantharellus cibarius</i>
Kleine Wolfsklauw	39	36 <i>Lycopodium tristachyum</i>
Grote Wolfsklauw	52	32 <i>Lycopodium clavatum</i>
Rozenkransje	46	32 <i>Antennaria dioica</i>
Dwergviltkruid	51	28 <i>Filago minima</i>
Hondsviooltje	31	21 <i>Viola canina</i>
Maanvaren	59	3 <i>Botrychium lunaria</i>
Duivelsnaaiaren	45	2 <i>Cuscuta epithymum</i>

men in figuur) en enkele soorten hogere planten (figuur 7) laat zien dat de gevoeligheid van deze organismen in dezelfde orde van grootte ligt. Het korstmos *Lecanora carpineae* is het meest gevoelig, maar vele organismen blijken een dosis-responscurve te vertonen die ongeveer

overeenkomt met het als matig gevoelig beschouwde korstmos *Ramalina farinacea*.

Literatuur

Bremer, N. van, P. A. Burrough, E. J. Velthorst, H. F. van Dobben, T. de Wit, T. B.

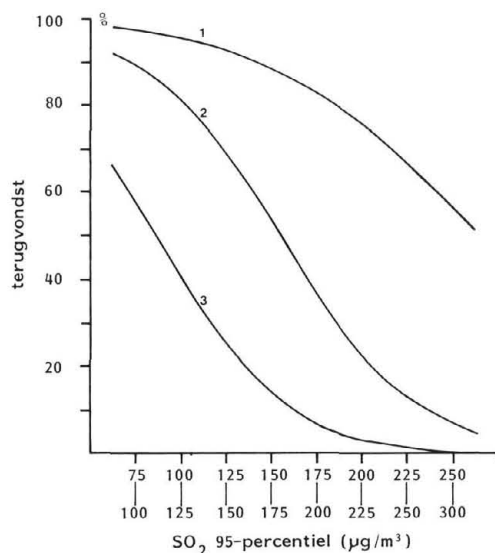


figuur 6

Verband tussen SO_2 95-percentiel en voorkomen in uurhokken van drie soorten epifytische korstmossen.

Relation between SO_2 95-percentile and presence in grid squares of three epiphytic lichens species.

- = *Parmelia sulcata* ($r = 0.68$)
- = *Ramalina farinacea* ($r = 0.88$)
- = *Lecanora carpinea* ($r = 0.79$)
- = 1348 for all species

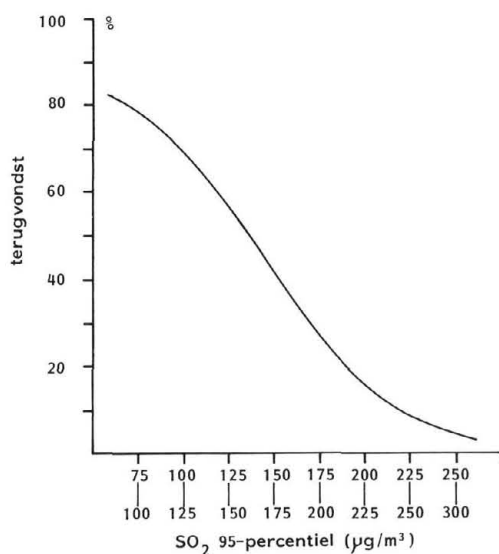


figuur 7

Verband tussen SO_2 95-percentiel en mate van voorkomen van Hanekam op plaatsen waar deze voorheen aanwezig was.

Relation between SO_2 95-percentile and recovery of *Cantharellus cibarius* on old find spots.

$r = 0.63$, $n = 94$.

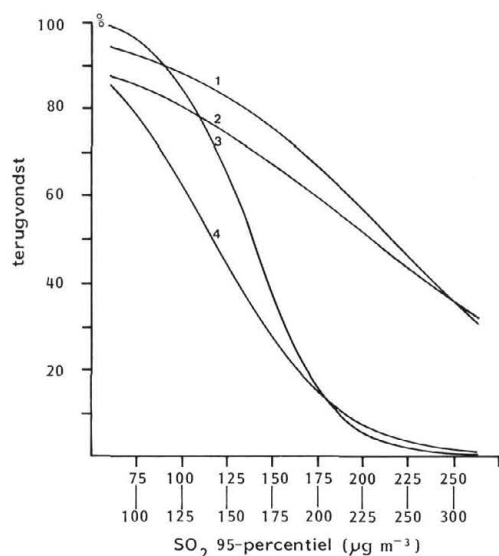


figuur 8

Verband tussen SO_2 95-percentiel en terugvindpercentage van vier soorten hogere planten.

Relation between SO_2 95-percentile and percentage of recovery of four herbaceous species.

- = *Nardus stricta*
- = *Viola canina*
- = *Arnica montana*
- = *Antennaria dioica*



Ridder & H. F. R. Reijnders 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature* 299: 548-550.

Breemer, P. & D. A. J. Vogelpoel 1979. Bijdragen tot de revisie van de Nederlandse Bladmossen II: *Dicranum* Hedw. sectie *Dicranum*. *Lindbergia* 5: 121-125.

Dam, D. van 1983. Invloed van luchtverontreiniging op de Nederlandse flora en op verzuring van de bodem. RIN rapport 83/11.

Dobben, H. F. van 1983. Changes in the epiphytic lichen flora and vegetation in the surroundings of 's Hertogenbosch (the Netherlands) since 1900. *Nova Hedwigia*: in press.

Jansen, E. & T. de Wit 1979. Veranderingen in de verspreiding van de cantharel in Nederland. *Coolia* 21: 117-123.

Nationaal Meetnet voor Luchtverontreiniging 1979. Verslag over de periode 1 april 1978 - 1 april 1979. NML-RIV Rapport 16.

Wit, T. de 1976. Epiphytic lichens and air pollution in The Netherlands. *Bibl. Lichenol.* 5.

Summary

Airpollution and the decrease of cormophytic plants in the Netherlands.

In the Netherlands the influence of air pollution and acid precipitation on the distribution of various types of organisms has been investigated. For epiphytic lichens, diatom assemblages in moorland pools, and also the mushroom species, *Cantharellus cibarius* the distribution is thought to be limited by air pollution and acid precipitation. Until recently no studies were known dealing with the influence of air pollution and acid precipitation on the distribution of cormophytic plants country-wide in the Netherlands. Results of a study are reported in which former (up to 1950) and present (1950-1980) distribution of cormophytic plants in grid squares of 5×5 km were compared. Accounting for loss of habitat and precision of inventory before and after 1950, a strong correlation was found between the decrease of at least 10 selected species and air pollution. The species concerned include *Antennaria dioica*, *Arnica montana*, *Dicranum scoparium* cfr., *Dipharium* (= *Lycopodium*) *tristachyum*, *Drosera rotundifolia*, *Filago minima*, *Lycopodium clavatum*, *Nardus stricta*, *Polypodium vulgare* and *Viola canina*. The sensitivity to air pollution of such cormophytic plants was found to be in the same order of magnitude as already established for epiphytic lichens. Only the most sensitive lichen species shows more pronounced concentration-response curves.

Drs D. van Dam
Rijksinstituut voor Natuurbeheer
Postbus 46
3956 ZR Leersum