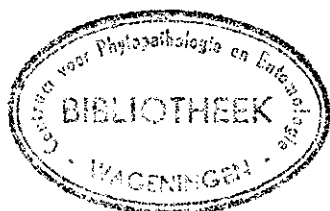


Deze uitgave bevat de teksten van de voordrachten die zijn uitgesproken tijdens het symposium Aërobiologie, dat werd georganiseerd door de Contactgroep Aërobiologie van de Biologische Raad van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen op 27 januari 1972 in het Koninklijk Instituut voor de Tropen te Amsterdam.

aërobiologie



Centrum voor Landbouwpublikaties en Landbouwdocumentatie
Wageningen - 1972

3511-1145/2

ISBN 90 220 0426 0

**Copyright: Pudoc, Centrum voor Landbouwpublicaties en Landbouw-
documentatie, Wageningen**

Druk: A. Verweij, Wageningen

Inhoud

Woord vooraf

Prof. Dr. J. G. ten Houten *Instituut voor Plantenziektenkundig
Onderzoek te Wageningen* 7

De verspreiding van organisch materiaal in de atmosfeer

Prof. Dr. F. H. Schmidt *Koninklijk Nederlands Meteorologisch
Instituut te De Bilt* 10

Vliegende schimmels

Dr. J. C. Zadoks *Laboratorium voor Phytopathologie der Land-
bouwhogeschool te Wageningen* 21

Het dagelijks voorkomen van pollenkorrels in de lucht, in ver- band met het optreden van pollinose

Drs. A. van den Assem *Laboratorium voor Palaeobotanie en
Palynologie van de Rijksuniversiteit te Utrecht* 34

Onderzoekingen naar groene organismen en protozoën in de atmosfeer

Mevr. Dr. M. A. Visch-van Overeem (destijds werkzaam aan het)
Botanisch Laboratorium der Rijksuniversiteit te Leiden 54

Verspreiding van insecten door de lucht

Dr. Ir. L. Brader *Instituut voor Plantenziektenkundig Onder-
zoek te Wageningen* 58

Herkomst, verspreiding en gevolgen van chemische luchtveront- reinigingen

Prof. Dr. J. G. ten Houten *Instituut voor Plantenziektenkundig
Onderzoek te Wageningen* 78

Aërobiologie en de menselijke luchtwegen

Dr. K. de Vries *Afdeling Allergie en Longziekten van het Algemeen Provinciaal, Stads- en Academisch Ziekenhuis te Groningen* 93

Literatuur 104

Register 115

Woord vooraf

PROF. DR. J. G. TEN HOUTEN

In 1968 werd in het kader van het International Biological Programme (IBP) een Internationale Werkgroep Aërobiologie opgericht, waarvan de indeling in grote lijnen met die van de al bestaande Amerikaanse werkgroep overeenstemt. Prof. W. S. Benninghoff (Ann Arbor, U.S.A.) is van beide voorzitter. Het was van meet af aan de bedoeling om onderzoekers van zeer verschillende disciplines die zich met aërobiologische vraagstukken bezig houden, nader tot elkaar te brengen.

Na van deze ontwikkeling kennis genomen te hebben, besloot de Biologische Raad in 1969 tot oprichting van een Nederlandse Contactgroep voor Aërobiologie. Sindsdien heeft in die contactgroep regelmatig overleg plaats gehad tussen een aantal vertegenwoordigers van uiteenlopende takken van wetenschap. In het kader van BION is onlangs de stichting van een Werkgemeenschap Aërobiologie tot stand gekomen. Daarin zullen alleen de aërobiologisch werkzame onderzoekers zitting hebben. Het zal hun taak zijn de lopende en nieuwe onderzoekprojecten op dit gebied aan een kritische beschouwing te onderwerpen.

Onder biologisch belangrijke materialen dienen daarbij niet alleen te worden verstaan de kleine vaste en vloeibare deeltjes van organische en anorganische oorsprong die in aërosolvorm in de lucht aanwezig zijn, maar vooral ook levende en dode sporen van schimmels, stuifmeelkorrels, bacteriën, levende virussen, gisten, algen, protozoën, sporen van cryptogamen, microfauna-elementen en verder ook gasvormige luchtverontreinigingen zoals zwaveldioxyde, ozon, waterstof-fluoride, stikstofoxyden, en andere verbindingen die grotendeels van menselijke activiteiten afkomstig zijn en hetzelfde verspreidingspatroon hebben als de vaste al dan niet levende deeltjes. Wel moeten dergelijke gassen een duidelijk effect hebben op de levensverrichtingen van micro-organismen en andere kleine levende wezens in de

atmosfeer, of ongunstig zijn voor de mens dan wel voor bepaalde planten en dieren die op de plaats leven waar die gassen uiteindelijk het aardoppervlak bereiken.

Deze omschrijving gaat heel wat verder dan de oorspronkelijke definitie van aërobiologie, die alleen gebruikt werd voor de studie van het in de lucht komen, de verspreiding en de landing van zeer kleine biologisch actieve levende of dode organismen, die in of op planten en dieren, inclusief de mens, een schadelijke uitwerking kunnen hebben. Vooral de medici en met name de allergologen hebben lang aan de meer beperkte definitie vastgehouden. Nog steeds houdt een vrij grote groep van medische specialisten zich intensief bezig met al deze contaminaties van de lucht en hun invloed op de menselijke gezondheid. Maar ze onderzoeken nu ook de fysiologische en pathofysiologische activiteiten van biologische en chemische luchtverontreinigingen op de luchtwegen van de mens. Het blijkt verder, dat de medici in tegenstelling tot andere onderzoekers eveneens de luchtverontreinigingen in gesloten ruimten bestuderen.

De medici zijn al vanaf de grijze oudheid geïnteresseerd in door de lucht getransporteerde smetstoffen die men ook wel miasma's heeft genoemd. Het is dan ook geen wonder, dat het enige handboek over experimentele aërobiologie sterk medisch georiënteerd is en dat de medische aërobiologen hun eigen internationale symposia organiseren, zoals het IVth International Symposium on Aerobiology dat in september 1972 in Enschede werd gehouden onder voorzitterschap van Prof. Winkler.

Toch zijn er ook duidelijk niet-medische aspecten aan de aërobiologie. Zo heeft de fytopatholoog er groot belang bij te weten, op welke wijze en over welke afstanden sporen van fytopathogene schimmels zich door de lucht verplaatsen. De palynoloog wil hetzelfde weten voor de stuifmeelkorrels van tal van planten, waarin ook de medische allergoloog ten eerste geïnteresseerd is. Entomologen zijn geïnteresseerd in de wijze van passieve verspreiding van insecten zoals bladluizen, die bovendien als vectoren van virusziekten van planten een belangrijke rol spelen. Zonder kennis van meteorologische parameters kan men nooit een inzicht krijgen in de verplaatsing van biotische en abiotische luchtcontaminaties vanaf de plaats van uitstoting tot aan de plaats van afzetting.

Aërobiologie is niet steeds als een wetenschap ervaren en een cy-nisch hoogleraar heeft eens gezegd dat het enige dat de aërobiologen

bindt het medium lucht is. Maar de laatste jaren heeft ze zich toch tot een geordend geheel ontwikkeld, wat trouwens nodig is als de mens in harmonie met zijn atmosferische omgeving wil blijven leven. Hij dient daartoe de interacties tussen chemische en biologische verontreinigingen die in die atmosfeer voorkomen en hun invloed op mens, plant en dier terdege te kennen. Het leek daarom een goed idee om in bredere kring de verschillende facetten van de aërobiologie nader te bezien, mede omdat men daardoor enig inzicht krijgt in de activiteit van onderzoekers van diverse pluimage waarmee men anders moeilijk of niet in aanraking komt. Dit was dunkt mij alleen al voldoende reden voor het houden van dit symposium. /

De verspreiding van organisch materiaal in de atmosfeer

F. H. SCHMIDT

Inleiding

De verspreiding van vreemde stoffen, in de vorm van gassen, vloeibare of vaste deeltjes, in de atmosfeer is in wezen een meteorologisch probleem. Voor zover in de aërobiologie het passieve transport van kleine organismen wordt bestudeerd, lopen de desbetreffende beschouwingen parallel met die welke betrekking hebben op het transport van anorganische deeltjes. Voor algemene inleidingen betreffende meteorologie wordt verwezen naar Schmidt (1966, 1967) en Pasquill (1962).

Het transport van kleine deeltjes in de atmosfeer wordt bepaald door een vrij groot aantal factoren. De belangrijkste zijn: wind, valsnelheid, turbulentie, neerslag en convectie.

Wind

Deeltjes, die op een of andere wijze in de atmosfeer zijn gebracht, zullen globaal gesproken met de wind worden meegevoerd. Bij b.v. ZW-en wind verplaatsen de deeltjes zich naar het NO-en met een snelheid die overeenkomt met de gemiddelde windsnelheid. In het algemeen neemt de windsnelheid met toenemende hoogte toe, terwijl de wind iets ruimt op het noordelijk halfrond. Op een hoogte van 500 m is de windrichting b.v. NZW geworden, dus ongeveer $22\frac{1}{2}^\circ$ gedraaid in de richting van de wijzers van de klok. Hiermee moet men rekening houden indien men verplaatsingen over grote afstanden wil verklaren.

Valsnelheid

Door hun eigen valsnelheid zullen de deeltjes na enige tijd met het

aardoppervlak (of met een of ander obstakel) in contact komen waarbij kan worden aangenomen dat zij in belangrijke mate of misschien wel geheel zullen worden vastgehouden, zodat zij niet verder zullen worden verspreid. De maximale valsnelheid van kleine deeltjes – dat is de eindsnelheid die korte tijd na het loslaten van de deeltjes wordt bereikt – wordt bij goede benadering gegeven door de wet van Stokes:

$$V_t = (2/9)r^2 \rho g / \eta$$

r = straal van het bolvormig gedachte deeltje

ρ = dichtheid van het deeltje

g = versnelling van de zwaartekracht

η = viscositeitscoëfficiënt van lucht

Zou de dichtheid van de beschouwde deeltjes b.v. gelijk zijn aan die van water, dan zouden de volgende maximale valsnelheden gelden

r	5	10	15	20	25	30	μm
V_t	0,3	1,2	2,7	4,8	7,5	10,9	cm/sec

Een belangrijke factor in verband met de valsnelheid is de bronhoogte, d.w.z. de hoogte waarop de deeltjes in de atmosfeer worden gebracht. Hoe groter de hoogte, hoe groter de afstand is die een deeltje zal kunnen afleggen voor het met de grond in contact komt.

Zo zou bij een windsnelheid van 5 m/sec een deeltje, met een straal van 25 μm en een dichtheid gelijk aan die van water, de grond bereiken op horizontale afstanden x die als volgt van de bronhoogte H afhangen:

H	0	1	2	5	10	20	m
x	0	67	133	333	667	1333	m

Organische deeltjes die op geringe hoogte in de atmosfeer worden gebracht, en dat is veelal het geval wanneer b.v. een normale grassoort de bron is, brengen het volgens deze tabel dus niet ver. Daarbij moet natuurlijk wel worden opgemerkt dat sommige organische deeltjes een geringere dichtheid bezitten dan water of niet bolvormig zijn, waardoor ze minder snel vallen dan zou worden berekend met de wet van Stokes.

Turbulentie

Als het waait, voert de lucht onregelmatige, zg. turbulente beweging-

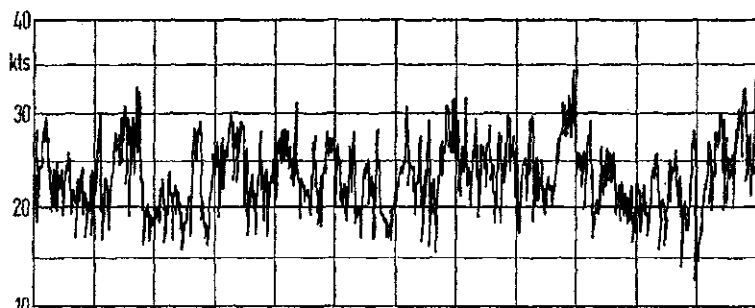


Fig. 1. Voorbeeld van een windsnelheidsregistratie.

gen uit rond de gemiddelde beweging: de wind. Deze onregelmatige bewegingen hebben een horizontale en een verticale component die ieder ogenblik verandert en die b.v. aanschouwelijk wordt gemaakt bij de registratie van de horizontale windsnelheid (fig. 1). Schematisch kunnen we de totale wind, d.i. de gemiddelde wind plus de onregelmatige bewegingen, voorstellen zoals in figuur 2 is gebeurd, waarbij de gemiddelde beweging, de wind, horizontaal is gedacht. De verticale bewegingscomponenten zijn onregelmatig in de tijd verdeeld, zowel opwaarts als neerwaarts. Men kan aannemen, dat de absolute waarde van opwaartse en neerwaartse bewegingen gemiddeld genomen gelijk zijn. Anders gezegd, kleine luchthoeveelheden (b.v. 1 m^3) bewegen omhoog, terwijl op een andere plaats – of op dezelfde plaats op een ander moment – een ongeveer even grote luchthoeveelheid naar beneden beweegt. Deze luchthoeveelheden nemen op hun weg de deeltjes mee die zij in hun uitgangsniveau bevatten. Zou het aantal deeltjes

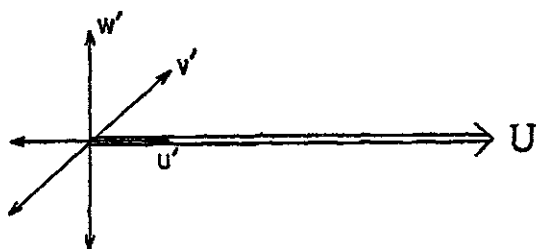


Fig. 2. Schematische voorstelling van de totale wind, U is de gemiddelde windvector; u' , v' en w' stellen de drie componenten van de turbulente snelheden voor.

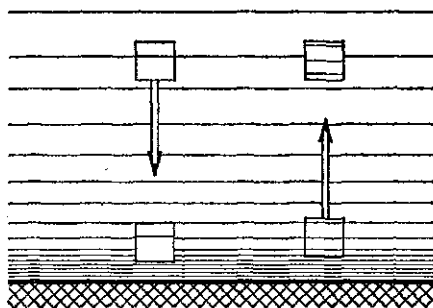


Fig. 3. Vertikaal verplaatste luchthoeveelheden nemen de vreemde stoffen die zij bevatten mee. De dichtheid van de horizontale harcering duidt op de concentratie van deze vreemde stoffen. De concentraties nemen in de uitgangstoestand van beneden naar boven af.

niet in ieder niveau gelijk zijn, dan zouden de verticale bewegingen een homogenisering van de lucht met betrekking tot het aantal deeltjes tot gevolg hebben. Wanneer b.v. het aantal deeltjes per volume-eenheid op geringe hoogte groter is dan op grotere hoogte, hetgeen veelal en zeker wanneer de bronhoogte gering is zoals bij veel organisch materiaal het geval is, zal het gevolg van de onregelmatige bewegingen zijn, dat het aantal deeltjes op grotere hoogte toeneemt en op geringere hoogte afneemt. Aansluitend op het effect van de bronhoogte kan men stellen dat dit betekent dat in de lagere niveaus minder deeltjes snel met de bodem in contact komen, terwijl meer deeltjes in de hogere niveaus de kans krijgen een redelijk grote horizontale afstand af te leggen. Men kan dus zeggen, dat turbulentie de verspreiding van dicht bij de grond in de atmosfeer gebrachte organismen bevordert (fig. 3).

Elementair kan men het bovenstaande als volgt in een formule uitdrukken:

$$F_s = -A \frac{s_2 - s_1}{z_2 - z_1}$$

F_s = opwaartse stroom (in de richting van toenemende z) van deeltjes waarvan het aantal per volume-eenheid gelijk s wordt gesteld

s_1 = concentratie op niveau z_1

s_2 = concentratie op niveau z_2

A = positieve parameter, de uitwisselingscoëfficiënt

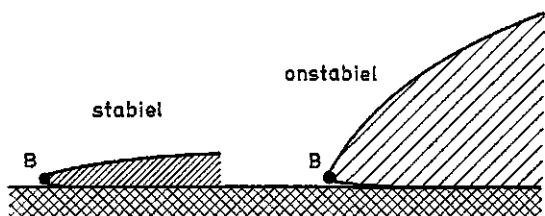


Fig. 4. Verspreiding van vreemde stoffen uit een lage bron bij stabiele en onstabiele opbouw van de atmosfeer.

Het minteken geeft aan dat het transport omhoog is gericht wanneer $s_2 - s_1/z_2 - z_1 < 0$ is, d.w.z. wanneer s met toenemende hoogte afneemt.

Het is duidelijk dat de deeltjesstroom F_s groter is naarmate A groter is. Aangezien A slechts kan samenhangen met de onregelmatige verticale bewegingen, dat is met de turbulentie, kan men stellen dat F_s groter is naarmate de turbulentie in de atmosfeer sterker is.

Nu is de turbulentie vooral sterk ontwikkeld in een onstabiele atmosfeer, dat is een atmosfeer waarin een vertikaal verplaatst deeltje de neiging heeft zich verder van zijn uitgangsniveau te verwijderen. In zo'n geval zullen verticale bewegingen immers worden gestimuleerd! Zou een vertikaal verplaatst deeltje de neiging hebben naar zijn uitgangsniveau terug te keren, dan zouden verticale bewegingen en daarmee de turbulentie worden onderdrukt. Een dergelijke atmosfeer noemt men stabiel. Voor de onderste lagen van de dampkring, die voor ons van belang zijn, geldt dat de grens tussen stabiliteit en onstabiliteit ligt bij een temperatuurafname met toenemende hoogte van ongeveer $1^\circ\text{C}/100\text{ m}$. Een atmosfeer waarin ongeveer deze temperatuurafname wordt aangetroffen, noemt men wel neutraal. Neemt de temperatuur sterker af met toenemende hoogte, dan is deze atmosferische laag onstabil, neemt de temperatuur minder sterk af, dan is de laag stabil. Sterke stabiliteit heerst wanneer de temperatuur met de hoogte toeneemt. Men spreekt dan van een inversie.

Inversies komen in een luchtlaag voor die met de bodem in contact is, vooral 's nachts wanneer het aardoppervlak door uitstraling is afgekoeld. Onstabiliteit zal daarentegen voorkomen, wanneer het aardoppervlak juist een hoge temperatuur heeft, dat is in de namiddag.

Deeltjes die afkomstig zijn uit een bron dicht bij het aardoppervlak

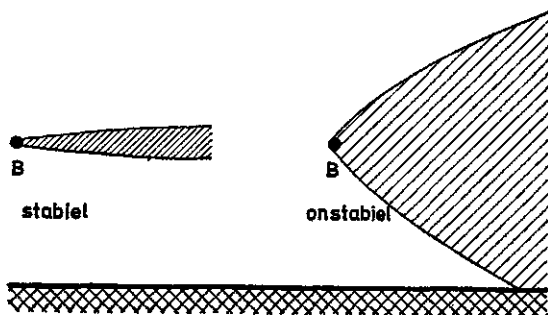


Fig. 5. Verspreiding van vreemde stoffen uit een hoge bron bij stabiele en onstabiele opbouw van de atmosfeer.

zullen zich overdag dus beter verspreiden en verder kunnen verplaatsen dan 's nachts (fig. 4). Bij een hoge bron ligt dit anders. Immers, dan zullen door krachtige turbulentie de deeltjes juist in sterkere mate naar het aardoppervlak worden gevoerd dan alleen ten gevolge van hun eigen valsnelheid het geval zou zijn (fig. 5).

Neerslag

Een vierde factor bij de verspreiding van deeltjes in de atmosfeer is de neerslag. Vreemde bestanddelen in de dampkring worden voor een deel door de neerslag ingevangen en met de neerslag naar het aardoppervlak gevoerd waardoor ze een kortere afstand afleggen dan zonder neerslag het geval zou zijn geweest. Het is daarbij merkwaardig dat gassen zoals SO_2 in het algemeen sterker door de neerslag worden geabsorbeerd dan met deeltjes het geval is. Uitgebreide proeven die ook voor de aërobioloog van belang zijn, zijn gedaan in Frankfurt door Beilke (1970).

Het invangen van deeltjes door neerslag hangt in de eerste plaats af van de 'catch efficiency' (het invangend vermogen) van de regendruppels voor bepaalde deeltjes. De catch efficiency geeft aan welke fractie van de deeltjes in de ruimte die door een vallende regendruppel wordt doorlopen met de druppel in contact komt en wordt ingevangen. Deze fractie neemt toe met de grootte van de deeltjes en vertoont een maximum bij een doorsnede van de neerslagdruppel van ongeveer 2,25 mm. Uit de neerslagintensiteit kan men de gemiddelde druppelgrootte van de neerslag afleiden volgens een relatie op-

fractie van de bronsterkte welke uit de atmosfeer verdwijnt

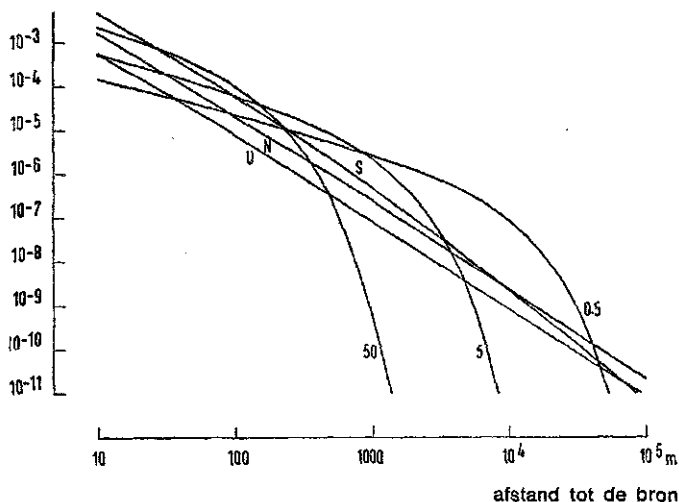


Fig. 6. Vergelijking tussen het effect van turbulentie en neerslag voor de depositie van deeltjes met de dichtheid van water en een diameter van $30 \mu\text{m}$ bij een windsnelheid van $2,7 \text{ m/sec}$. S = stabiele; N = neutrale en U = onstabiele atmosfeer. Neerslagintensiteiten 0,5; 5 en 50 mm/uur.

gesteld door Best (1950), terwijl dan tevens het aantal druppels volgt dat per tijdseenheid per oppervlakteëenheid valt. Hieruit kan in combinatie met de catch efficiency dan weer de mate van wegvangen van de deeltjes door de druppels worden bepaald.

In de figuur 6 is geschetst hoe de verhouding ligt tussen het 'uit-regenen' van deeltjes en het effect van de turbulentie. Daarbij is uitgegaan van deeltjes met de dichtheid van water, een diameter van $30 \mu\text{m}$ en met een windsnelheid van $2,7 \text{ m/sec}$. Langs de verticale as staat de fractie van de productie per tijdseenheid in de bron, die (eveneens per tijdseenheid) wordt neergeslagen.

Het effect van neerslag (resp. met intensiteiten van 0,5, 5 en 50 mm per uur) blijkt op kleine tot middelgrote afstanden sterker te zijn dan dat van de turbulentie (in resp. een stabiele, neutrale en onstabiele atmosfeer). Op grote afstanden wordt de depositie van deeltjes ten gevolge van het invangen door neerslag gering omdat er dan niet voldoende deeltjes meer over zijn. Uiteraard geeft figuur 6 niet meer

dan een illustratie geldig voor speciale omstandigheden. In principe is het mogelijk dergelijke grafieken te construeren voor verschillende waarden van neerslagintensiteit, deeltjesgrootte, deeltjesdichtheid en windsnelheid.

Buien en fronten

Belangwekkend is nu het feit dat juist bij neerslagomstandigheden deeltjes die van zeer ver afkomstig zijn, kunnen worden waargenomen. Maar het gaat daarbij dan ook om bijzondere neerslagomstandigheden, nl. die welke zijn gekarakteriseerd door buien.

Een bui ontstaat onder sterk onstabiele omstandigheden wanneer niet slechts onregelmatige opwaartse en neerwaartse bewegingen van betrekkelijk kleine luchthoeveelheden in de benedenste lagen van de atmosfeer voorkomen, maar ook grote hoeveelheden lucht omhoog kunnen bewegen *tengevolge van de onstabieleit van het aardoppervlak*. Het gaat hierbij om luchthoeveelheden met horizontale afmetingen van soms honderden meters die – zij het ook meestal door het met betrekkelijk korte tussenpozen na en naast elkaar opstijgen – een opwaartse stroming met snelheden tot enige tientallen meters per seconde kunnen vormen die een hoogte van tien kilometer of meer kan bereiken. Men noemt dit verschijnsel *convectie*. Onder deze omstandigheden vormen zich door condensatie van waterdamp in de opstijgende lucht geweldige buien- en onweerswolken waaruit neerslag valt

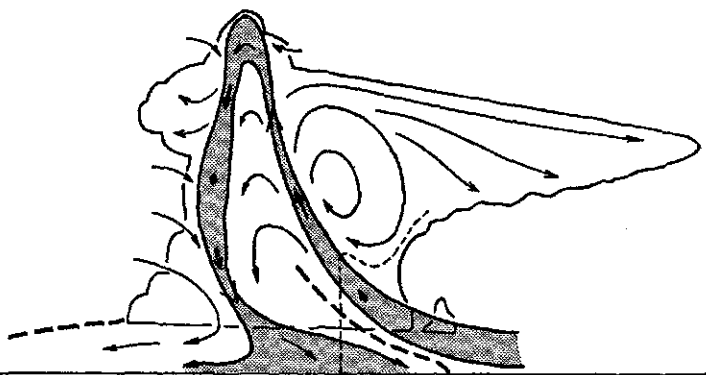


Fig. 7. Schematisch beeld van de stroming in een buienwolk (naar Met. Monographs, Vol. 5, No. 27 van de American Meteorological Society).

met een grote intensiteit. Voor ons probleem, de verspreiding van deeltjes in de atmosfeer, is daarbij vooral de min of meer geordende, krachtige opwaartse stroming van belang, waardoor organisch materiaal tot zeer grote hoogte kan worden meegevoerd hetgeen dan – gezien de veelal krachtige winden in de hogere luchtlagen – kan leiden tot een verplaatsing over honderden kilometers voor het materiaal tenslotte weer – al dan niet in de neerslag – op de grond komt. Figuur 7 geeft een schematisch beeld van de stromingen in zo'n bui.

In dit verband moeten speciaal de buien worden genoemd die gekoppeld zijn aan koufronten die zich met betrekkelijk grote snelheid over het aardoppervlak kunnen bewegen. Bij een dergelijke situatie schuift de koude lucht onder de warme lucht die geforceerd wordt op te stijgen, waarbij indien de warme lucht onstabiel van opbouw is, langs het gehele koufront buien ontstaan die met het front mee bewegen.

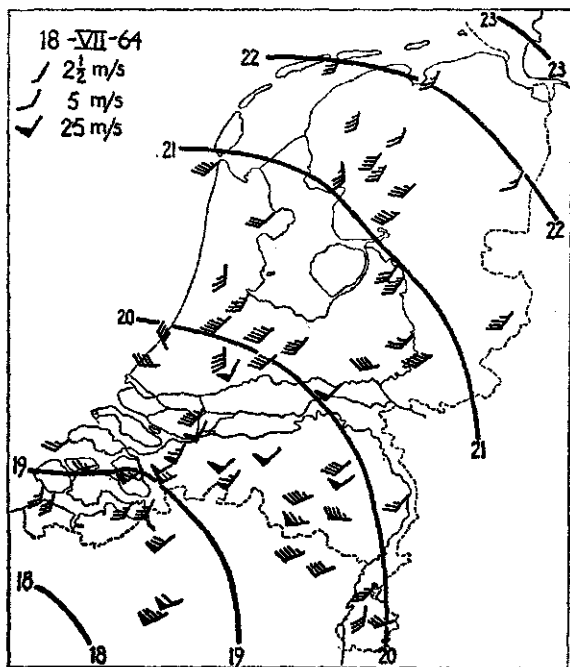


Fig. 8. Koufront trekt, gepaard gaande met krachtige winden op 18 juli 1964 over Nederland (Uitg. K.N.M.I., *Onweders, Optische Verschijnselen, enz. in Nederland*, 82, 1969).

Figuur 8 toont de wijze waarop zo'n front, dat gepaard ging met krachtige winden en veel neerslag over ons land trok op 18 juli 1964. Een voorbeeld van een dergelijk transport over grote afstand vormt de zgn. bloedregen in Italië, een roodachtig gekleurde neerslag tengevolge van zand dat uit de Sahara door de wind over een afstand van meer dan 1000 km is meegevoerd. De zandkorreltjes zijn wellicht kleiner dan veel organisch materiaal maar hebben een grotere dichtheid!

Enige waarnemingen

Waarnemingen omtrent de verspreiding van pollenkorrels en ander organisch materiaal zijn uiteraard op vele plaatsen verricht. Ook in Nederland wordt de wijze van verspreiding onderzocht.

Bekend zijn o.a. de waarnemingen die door Hewson (Dingle e.a., 1959) in de Verenigde Staten zijn verricht met behulp van veldjes met ragweed (*Ambrosia*, een plant die het in Europa niet erg goed doet, maar die in de Verenigde Staten verantwoordelijk wordt gesteld voor veel allergisch ongemak).

Hewson bestudeerde het gedrag van pollenkorrels afkomstig van meer dan 3000 *Ambrosia*-planten die binnen een cirkel met 8 m diameter waren geplant. De pollen werden opgevangen op 90 geprepareerde glazen plaatjes die 60 cm boven de grond concentrisch rond het *Ambrosia*-veld waren geplaatst op afstanden van resp. 6, 12, 25, 50 en 100 m en op een onderlinge hoekafstand van 20° . Ook boven het veld waren plaatjes geplaatst teneinde een indruk te krijgen van het tijdstip waarop de pollen de plant verlieten. Daartoe werden de plaatjes boven het veld om de 2 uur verwisseld en die op de cirkels buiten het veld om de 4 uur. Belangrijk hierbij is het feit dat uitvoerige meteorologische waarnemingen werden verricht, zowel in een thermometerhut als langs een meteorologische mast waarlangs temperatuur en wind gemeten werden op de hoogten 30 cm (alleen de temperatuur), 4, 8, 16 en 32 m. Bovendien werden de straling, de neerslagintensiteit en de dauwvorming (Duvdevani apparatuur) gemeten. Een dergelijke grondige opzet is gewenst indien men de verspreiding van organisch materiaal in een klein gebied wil bestuderen. Afgezien van conclusies omtrent de invloed van de meteorologische omstandigheden op de bronsterkte kon ook een inzicht worden verkregen in de depositie van de pollenkorrels als functie van de afstand tot de bron.

Men vond een depositie omgekeerd evenredig met de afstand tot de macht 2,7. Op een afstand van 200 m was de depositie ongeveer 7,5% van die op een afstand van 12 m. Dat de afname van de depositie met een macht groter dan 2 plaatsvindt is o.a. een gevolg van de turbulente diffusie naar hogere niveaus. De onderzoeken werden later door anderen uitgebreid (Raynor e.a., 1970).

Tenslotte nog een enkele opmerking over een grondig onderzoek dat werd verricht naar het verband tussen het atmosferisch stromingsveld en de migratie van sprinkhanen (Rainey, 1963). Het betreft hier een probleem dat voor ons land niet van erg groot belang is. Bovendien betreft het hier 'organisch materiaal' waarvan men zou denken dat het zelf zijn weg wel kan vinden! Maar uit het onderzoek is duidelijk geworden dat ook zwermen sprinkhanen met de wind worden meegevoerd.

Samenvatting

Resumerend kan worden gesteld dat het transport en de verspreiding van organisch materiaal door de atmosfeer een gecompliceerd gebeuren is, waarbij vele factoren een rol kunnen spelen. Wanneer op het eerste gezicht onwaarschijnlijke verplaatsingen worden geconstateerd dient men de meteorologische omstandigheden tijdens het transport zo goed mogelijk in beschouwing te nemen en eventueel een meteoroloog of het KNMI te raadplegen.

Ten overvloede moge er nog aan worden herinnerd dat in het voorgaande de invloed van de meteorologische omstandigheden, zoals temperatuur en vochtigheid, op het proces van het in de atmosfeer komen van het organische materiaal buiten beschouwing is gelaten. Daaruit zou eens te meer kunnen blijken hoe belangrijk de kennis van meteorologische omstandigheden is voor de aërobiologie.

Vliegende schimmels

DR. J. C. ZADOKS

Inleiding

Schimmels (*Fungi, Mycota*) kunnen maar zelden hun voedsel zelfstandig zoeken. Groei en actieve voortbeweging hebben weinig betekenis voor het zoeken van voedsel. De associatie van de schimmel met zijn voedselbron is veelal van korte duur; frequent verhuizen is regel. Voor de verhuizing beschikt de schimmel over speciale organen, hier aangeduid als sporen (Gregory, 1961, p. VI). De lucht (anemochorie, Gäumann, 1951), het water (hydrochorie), de plant, de mens of de grond kunnen hierbij als transportmiddel dienen.

In dit betoog wordt de anemochorie toegelicht met voorbeelden, in hoofdzaak ontleend aan schimmels die planteziekten verwekken.

Voortplanting en verspreiding

Bij schimmels zijn de voortplanting en de verspreiding gekoppeld. Generatieve voortplanting kan, althans bij de hogere schimmels (*Ascomycotina* en *Basidiomycotina*) leiden tot de vorming van miljoenen sporen per 'individu' (Stakman & Christensen, 1946). Daarnaast kennen vele schimmelsoorten een vorm van vegetatieve voortplanting, met sporenproducties van 10^4 tot 10^5 sporen per dag per cm^2 bladoppervlak (Hogg e.a., 1969; Mehta & Zadoks, 1970; Yarwood, 1961).

De schimmel moet veel energie investeren in zijn verspreidingsmiddelen. Voor *Puccinia recondita*, de bruine roest van tarwe, is de volgende schatting gemaakt. Het door roest geïnfecteerde tarweblad produceert ongeveer zijn eigen drooggewicht aan schimmelsporen (Mehta & Zadoks, 1970). De verhouding tussen de biomassa van het totaal aantal der geproduceerde sporen en de biomassa van het aanwezige sporenproducerend mycelium is ca. 10 op 1.

De totale produktie van één bruine-roestvlek, ontstaan uit één en-

kele spore, is ca. 10.000 sporen (Mehta & Zadoks, 1970). Dit getal is de potentiële vermenigvuldigingsfactor van 1 spore. De minimale vermenigvuldigingsfactor, nodig voor de instandhouding van de soort, is uiteraard 1. De reële vermenigvuldigingsfactor tijdens een epidemie is ca. 10. Deze schimmelsoort moet dus een 10.000-voudig surplus investeren in verspreidingsmiddelen. Staan de waardplanten dicht op een, zoals in een tarwegewas, dan ontstaat een lokaal overschot aan verspreidingsmiddelen. Het gevolg is een epidemie, waarbij de reële vermenigvuldigingsfactor 1000 x kleiner is dan de potentiële vermenigvuldigingsfactor. De meeste sporen gaan dus verloren, doordat zij of op tarweplanten belanden maar niet tot vermenigvuldiging geraken, of op de grond vallen zodat de grond bruin kleurt, dan wel aan het gewas ontsnappen door afvoer met luchtstromingen.

Lucht als transportmiddel

De lucht als transportmiddel van schimmelsporen gedraagt zich als een visceuze massa. Een mens van 70 kg met een oppervlak van ca. $1,5 \text{ m}^2$ heeft een oppervlakte/massa verhouding van $0,02 \text{ m}^2.\text{kg}^{-1}$. Een bolvormige schimmelspore met een straal van $10 \text{ }\mu\text{m}$ en een gladde wand heeft een oppervlakte/massa verhouding van ca. $300 \text{ m}^2.\text{kg}^{-1}$. Het verschil is een 10.000-voud. De wrijvingsweerstand van de lucht is bij het sporetransport van het grootste belang. Dit kan geïllustreerd worden met het begrip relaxatietijd: de tijd die nodig is om aan een stilstaande spore de snelheid van de omringende lucht mee te geven, of omgekeerd, de tijd die nodig is om in stilstaande lucht een horizontaal weggeschoten spore tot stilstand te brengen. Voor een bolronde spore met een straal van $10 \text{ }\mu\text{m}$ is de relaxatietijd $\tau = 1 \text{ msec}$. (Nauwkeuriger: de relaxatietijd τ is de tijdsduur waarin de snelheid v van een in stilstaande lucht horizontaal weggeschoten spore daalt tot v/e ; e is het grondgetal der natuurlijke logaritmen: 2,7 (Chamberlain, 1967).)

De wrijvingsweerstand van de lucht heeft nog een ander effect. Langs ieder grensvlak tussen vaste stof en lucht, dus ook langs het oppervlak van een plant, is de lucht vrijwel in stilstand, terwijl zich boven het grensvlak een dunne luchtlaag bevindt met laminaire stroming. De dikte van deze laag varieert van 0,1 tot 1 mm, al naar gelang de omstandigheden. Een spore moet op zijn vlucht soms twee maal door deze laminaire grenslaag heen, nl. bij de start en landing.

De vluchtbaan

Het woord vlucht wordt hier gebruikt zonder relatie tot actieve voortstuwing, dus net zoals in ballon-vlucht of satelliet-vlucht. De spore beschrijft een vluchtbaan van bron tot doel. We spreken van start, vlucht en landing. Bij de start kan de schimmel een actieve of een passieve rol spelen. Bij de landing is de spore uiteraard passief, maar de sporevorm bepaalt mede de aard van het landingsproces. Vluchtduur en vluchtbaan kunnen kort of lang zijn, seconden en centimeters enerzijds, dagen en honderden kilometers anderzijds. De vluchtbaan van een individuele spore is moeilijk voorspelbaar, die van een sporenwolk is berekenbaar (Schrödter, 1960).

In de vluchtbaan bevinden zich een aantal barrières. De eerste is de 'moederbinding', de adhesiekrachten die de spore binden aan het sporevormend mycelium of de omringende sporenmassa. Vervolgens moet de laminaire grenslaag gepasseerd worden. Daarna vormt het gewas een driedimensionaal gestructureerd obstakel, waarlangs de spore moet ontsnappen, alvorens hij door de wind meegevoerd kan worden over langere afstanden (Zadoks e.a., 1969). Bij de landing vormt het gewas tegelijkertijd doel en obstakel (Hirst & Stedman, 1971), al naar gelang het orgaan van de plant waarop de schimmel zich kan vermenigvuldigen. De laminaire grenslaag werkt nu als een sporenval, waarin de sporen rustig kunnen uitzakken.

Start

Bij de sporestart kan de schimmel een actieve rol spelen door de sporen als projectielen weg te schieten. In de natuur zijn een aantal verschillende schietmechanismen bekend, zoals die van de peritheciën vormende ascomyceten met explosieve asci (Engels: squirt gun mechanism; Ingold, 1971). In een perithecium strekt een rijpe ascus zich snel, b.v. in een minuut, zodat het vrije uiteinde van de ascus iets buiten de mond van het perithecium uitsteekt (fig. 1; Brook, 1969a). De ascus barst open en de sporen worden weggeschoten, ieder apart of in groepjes van 2 tot 8 sporen. Bij *Sordaria fimicola* duurt een schot van 8 sporen minder dan 50 μ sec (Ingold, 1971).

De sporen-ballistiek is fysisch-mathematisch uitgewerkt. Een weggeschoten spore beschrijft een typische vluchtbaan, de sporabool (fig. 2; Buller, 1909). Hoe groter de spore, hoe groter zijn massa en

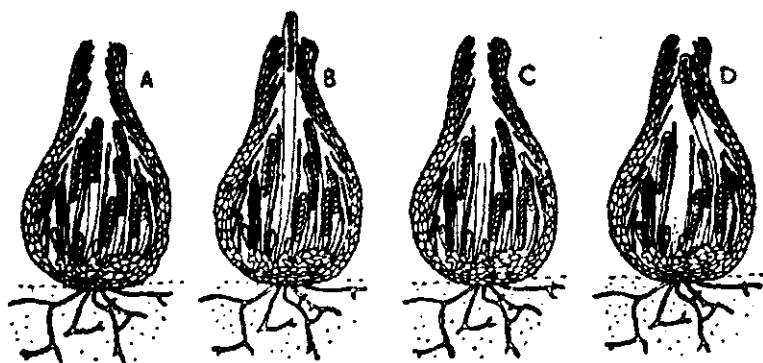


Fig. 1. Sporenuitsstoting bij *Sordaria* sp. De top van een ascus gaat het halskanaal van een perithecium (vruchtlichaam) in (A); enige minuten later komt de top door de mond van het perithecium naar buiten (B); een ogenblik later is de ascus open gebarsten en is het lege omhulsel in het perithecium teruggetrokken (C); enige minuten later strekt zich de volgende ascus. (Naar Ingold, 1953/1960.)

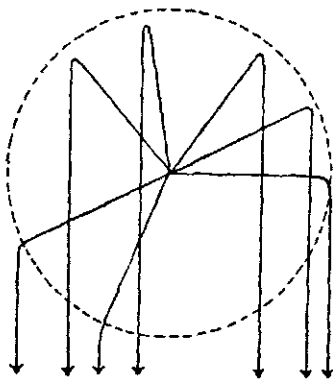


Fig. 2. Sporabolen. De sporen zijn met gelijke beginsnelheid en vanuit eenzelfde punt weggeschoten in verschillende richtingen. De wrijvingsweerstand blijkt belangrijker te zijn dan de zwaartekracht. (Naar Buller, 1909.)

inertie, en des te groter het schietbereik (Ingold, 1971). Bij de coprofiele *Sordaria fimicola* gaat het schietbereik tot ca. 10 cm, voldoende voor de sprong van konijnekeutel naar malse grastop. Voor de fytopathogene pyrenomyceten is een schietbereik van 1 cm ruim voldoende om de sporen door de laminaire grenslaag heen de turbulente luchtlaag in te schieten.

De startsnelheden zijn hoog, tot bijna $100 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$, dus de spore gaat sneller dan een auto. De kinetische energie van ca. 20 nanojoule moet door de ascus geleverd worden. Bezien wij de spore, die klem zit in de elastische mond van de ascus (Ingold, 1971), als een zuiger in een cilinder waarbij de zuiger losschiet als de druk in de cilinder een bepaalde waarde overschrijdt, dan moet deze druk bij *Sordaria fimicola* ongeveer $10^7 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$ bedragen, ofwel bijna 100 atmosfeer. Een dergelijke druk kan mijns inziens alleen maar gegenereerd worden als osmotische druk, door snelle omzetting van een klein aantal macromoleculen in een groot aantal micromoleculen. Ter vergelijking: bij halofyten heeft men tot 150 atmosfeer osmotische druk gemeten (Thomas, 1958).

Naast het schietmechanisme van de ascosporen bestaan in het schimmelijk nog vele andere ballistische principes, die overeenkomen in de eigenschap de barrières van moederbinding en van laminaire grenslaag met één schot te overwinnen.

De barrière van de laminaire grenslaag kan ook doorbroken worden door de sporen op lange dragers (sporoforen) boven de grenslaag uit te tillen. Voorbeelden zijn *Penicillium* en *Aspergillus* spp. met sporoforen van 100 tot $200 \mu\text{m}$ lang, *Piptocephalis* (Mucorales) met sporoforen groter dan 1 mm, en *Phytophthora infestans*, de verwekker van de aardappelziekte, die zijn sporen ook bijna 1 mm omhoog brengt. Bij de laatste kan men door een telescoop de sporendragers met de daarop bevestigde sporen in de wind zien wuiven. Hoe de moederbinding overwonnen wordt is niet altijd duidelijk. De spore ondergaat een proces van rijping dat fysiologisch gekenmerkt wordt door verwerving van het vermogen tot kieming, en dat morfologisch gekenmerkt wordt door vulling en afronding. Bij *P. infestans* en verwante *Peronosporaceae* worden de sporen losgewrongen en weggeslingerd door krampachtige bewegingen van de hygroscopische sporendragers, zodra de luchtvochtigheid beneden een zekere grens daalt (Ingold, 1971; Populer, 1962; De Weille, 1964).

Ten slotte zijn er sporen die op de plant liggen, ofwel in een moei-

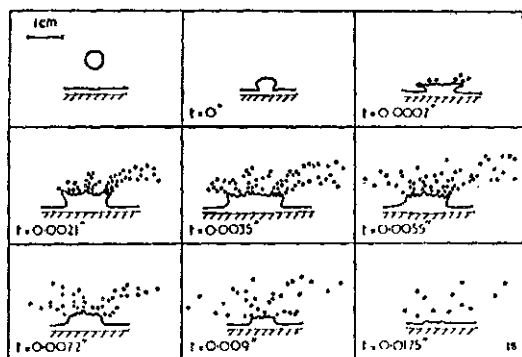


Fig. 3. Een waterdruppel van 5 mm doorsnede valt met een snelheid van $4,4 \text{ m.s}^{-1}$ op een waterfilm en veroorzaakt het opspatten van secundaire waterdruppels, die met sporen beladen kunnen zijn: spetterverspreiding. Nagetekend van een ultra-snelle film. (Naar Gregory, 1961.)

lijk te bevochtigen poederige massa, ofwel ingebed in slijm. In het laatste geval ontstaat bij bevochtiging een kleverige suspensie van sporen in water. Valt een regendruppel met grote snelheid op een dunne laag van deze suspensie, dan verwekt de stootkracht van één grote regendruppel honderden kleine secundaire druppels, waarvan vele met één of meer sporen beladen zijn. Door dit spettermechanisme kunnen de sporen in de turbulente luchtstroom terecht komen (fig. 3; Gregory e.a., 1959). Sporen, die als een droog poeder op de plant liggen, moeten los gestoten worden. De impuls wordt geleverd door vallende regendruppels of door de wind, die de plant in een schokkende beweging brengen en zodoende de sporen losstoten (Hirst & Stedman, 1963; Rapilly e.a., 1970). Overigens dient men te bedenken dat wervels uit de turbulente luchtstroom tot ver in de laminaire luchtlaag kunnen rijden en aldus sporen kunnen oppikken en meevoeren. Details van dit proces zijn onvoldoende bekend.

Periodiciteit

De sporenproductie en de sporenvluicht zijn twee in de tijd gescheiden processen. Beide kennen een zekere periodiciteit, die door het milieu gestuurd kan worden. *Phytophthora infestans* en vele andere *Pero­nosporaceae* vormen hun sporen alleen 's nachts, maar de sporestart

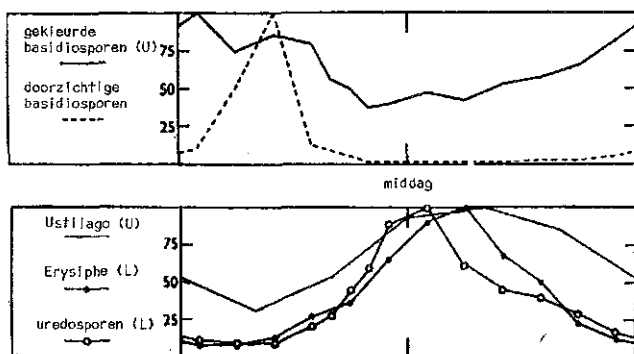


Fig. 4. Circadische ritmen in het sporengelalte van de lucht. De sporengelalten zijn geometrisch gemiddeld, en uitgedrukt als percentage van het hoogste geometrisch gemiddelde sporengelalte. (Naar Hirst, 1953.)

vindt overdag plaats als de luchtvochtigheid scherp daalt (Populer, 1962). *Venturia inaequalis*, de veroorzaker van de appelschurft, schiet zijn ascosporen overdag weg, waarbij het rode deel van het daglicht als herkenningsteken dient (Brook, 1969b). *Sordaria fimicola* echter wordt tot het afschieten van ascosporen bewogen door blauw licht (Ingold & Dring, 1957); licht is hier ook nodig om de projectielen te richten door middel van de lichtgevoelige, positief fototrope, peritheciën-mond. De poederige uredosporen van de roestschimmels worden vooral overdag gevormd, als assimilaten toevloeien en de gevormde sporen door de sterk toenemende turbulentie kunnen worden afgevoerd.

In tegenstelling tot de genoemde dagvliegers zijn er schimmels die de nachtvluht prefereren. Dit zijn dan vaak schimmels met dunwandige, ongekleurde, droogtegevoelige sporen. Deze schimmels, die koele, vochtige nachten met weinig wind en turbulentie verkiezen voor hun verspreiding, beschikken dan ook over een schietmechanisme (Ingold, 1971). Iedere schimmel heeft zijn eigen dagelijkse gang (fig. 4; Gregory & Hirst, 1957; Hirst, 1953; Ingold, 1971; Sreeramulu, 1964), gesuperponeerd over een jaarritme.

Sporenvangers

De verspreiding van sporen door de wind kan gemakkelijk aangetoond worden. In het laboratorium gebeurt dit o.m. in windtunnels, waarin een sporenbron en een sporenvanger opgesteld zijn (Gregory & Stedman, 1953). De sporenbron kan biotisch (sporulerend plantedeel) of abiotisch van aard zijn (b.v. sporenverstuiver); evenzo kan de sporenvanger biotisch (vangplant) of abiotisch zijn (vangapparaat). Vangplanten hebben het voordeel dat men de gevangen sporen direct kan waarnemen onder het microscoop, maar dat men ze ook kan incuberen om dan later de verwekte ziektesymptomen te bekijken. Als nadeel van vangplanten geldt hun fysisch moeilijk te definiëren vorm, en hun relatief geringe vang-efficiëntie, die bovendien erg van de windsnelheid en de turbulentiegraad afhangt. Voor vele proeven verdienen dan ook vangapparaten van bekende, hoge en constante efficiëntie de voorkeur. Vangapparaten zijn er in vele varianten: wel en niet zelfrichtend op de wind, wel en niet volumetrisch, met en zonder tijdregistratie, met verschillende technische principes van sporenvangst en daarbij aansluitende methoden van sporentelling.

De opmerkingen over laboratoriumproeven gelden ook voor veldproeven (Gregory e.a., 1961). In veldproeven gebruikt men als regel zieke planten als sporenbron en gezonde planten als sporenvanger. Windverspreiding wordt overtuigend aangetoond in cirkelvormige proefvelden met een sporenbron in het centrum. Verbanden worden gevonden tussen het tijdstip van sporenstart en -vlucht enerzijds, en de windrichting en de door ziekte aangetaste proefveldsector anderzijds (Van Doorn, 1959; Sreeramulu, 1964). Grote overtuigingskracht hebben de z.g. gradiënt-studies. De aantasting in het veld is het hoogst bij de sporenbron en neemt geleidelijk af in de richting van de heersende wind. De geleidelijke afname van de ziektegraad volgt een patroon, dat bij benadering berekenbaar is met behulp van de gangbare turbulentietheorieën (fig. 5; Gregory, 1961; Sutton, 1953; Pasquill, 1961, 1962), te superponeren over de fytopathologische wetmatigheden (b.v. multiple infection transformation; Gregory, 1948). Ondersteuning van cirkelproeven met vangapparatuur en vangplanten, die gedurende korte tijd geëxposeerd en daarna in het laboratorium geïncubeerd worden, verhogen de bewijskracht.

Aldus krijgt men een indruk van sporenverspreiding met de wind over korte afstand: binnen een proefveld, binnen een praktijkperceel,

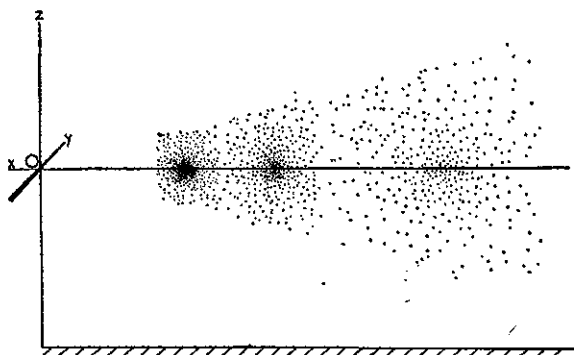


Fig. 5. Turbulente diffusie van een sporenwolk tijdens zijn horizontale verplaatsing in de richting van de wind. 0 is de oorsprong van het assenstelsel in de bron van de sporenemissie; x , y en z zijn de assen in de richting van de wind, dwars op de wind en verticaal. De sporenwolk is weergegeven op drie tijdstippen. (Naar Gregory, 1961.)

of van het ene buurperceel naar het andere. Voor verspreiding over langere afstand zijn andere bewijsmiddelen nodig. In de verticale richting hebben vliegtuigen en ballonnen, uitgerust met vangapparaten, schimmelsporen ontmoet tot op meer dan 10 km hoogte (Gregory, 1961). In de horizontale richting heeft men sporenvangers op geïsoleerde plaatsen opgesteld. Aardappelplanten op Rottumeroog vingen sporen van *Phytophthora infestans*, die over tenminste 11 km Waddenzee moeten hebben gevlogen (Van der Zaag, 1956; Zadoks, 1961). Sporenvangsten boven zee (Gregory, 1961) wijzen op vluchtafstanden van minstens 1000 km. Sporen die als vreemdelingen uit een ver land aan komen waaien, dragen niet alleen hun soortskennmerken als een paspoort met zich mee, maar soms ook nog hun persoonsnummer in de vorm van genetisch vastgelegde virulentiekenmerken. De herkomst van de sporen kan dan met behulp van fytopathologische technieken, die gebruik maken van deze virulentiekenmerken, nader gespecificeerd worden (Dinoor & Levi, 1967). Men maakt hierbij gebruik van het verschijnsel van 'fysiologische specialisatie' bij fytopathogene schimmels, dit is het bestaan van taxa op subspecifiek niveau die wel fysiologisch te onderscheiden zijn maar niet morfologisch. Deze taxa worden aangeduid als 'fysiologische rassen', kortweg 'fysio's', die te determineren zijn met behulp van 'toetssortimenten', reeksen van cul-

tivars van de waard (zie fytopathologische leerboeken, b.v. Stakman & Harrar, 1957).

Lange-afstandsvluchten

De zwarte roest van tarwe, *Puccinia graminis*, kan in vele delen van Noord-Europa, waaronder Engeland en Nederland, niet overwinteren. Daar zij vrijwel iedere zomer in deze landen verschijnt, moet zij wel van elders komen aanwaaien (Hogg e.a., 1969). Dit is mede aangetoond met continu registrerende vangapparaten die opgesteld werden ten behoeve van het medisch-allergologisch onderzoek. Sporen van de zwarte roest werden alleen gevangen in lucht die over het vasteland van Europa had gestreken (fig. 6; Hirst & Hurst, 1967; Hirst e.a., 1967a, b). Een tiental dagen na de sporenvangst in Engeland brak de roestziekte aldaar uit op vangplanten en praktijkpercelen, indien de weersomstandigheden gunstig voor infectie geweest waren. Als regel betrof het luchtmassa's afkomstig van het Iberisch schiereiland. De met sporen beladen luchtmassa legt een weg af, die door meteorologen is te traceren aan de hand van de synoptische weerkaarten, met behulp van de 'back-tracking' techniek (Hogg, 1961). Deze methode kan echter niet de landstreek aanwijzen, waar de lucht met sporen beladen werd. Hiertoe zijn veldwaarnemingen nodig in de door de

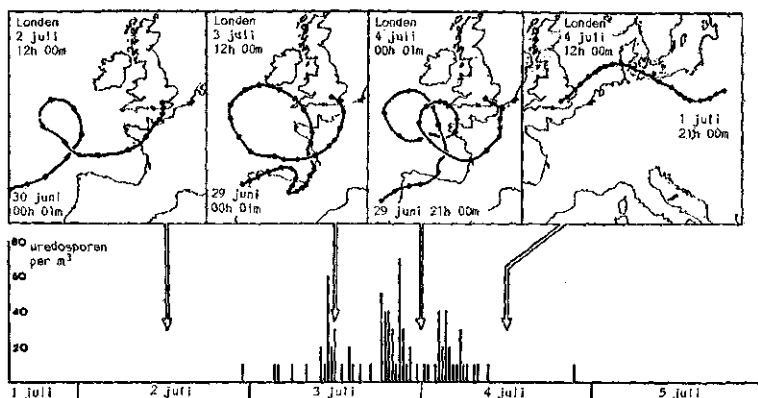


Fig. 6. Door luchtmassa's gevolgde banen en gelijktijdige schattingen van de aantallen zwarte roest (*Puccinia graminis*) uredosporen gevangen te Londen, 1 tot 5 juli, 1958. (Naar Hirst & Stedman, 1963.)

luchtmassa gepasseerde landen. Door alle gegevens als een legkaart in elkaar te passen, werd een inzicht verkregen in de trekbanen van de zwarte roest van tarwe in Europa (Zadoks, 1965).

Boven de brongebieden ontstaat een wolk van roestsporen, tientallen tot honderden kilometers breed en 1 tot 2 km hoog. Deze wolk verplaatst zich in zijn geheel, maar wordt aan zijn onderzijde weggeërodeerd door turbulente depositie aan het aardoppervlak (Hirst & Hurst, 1967). Ver van het brongebied kan de wolk de vorm aannemen van een lens, honderd km breed en 1 km dik, die op een hoogte van 1 km voortschuift. Is de sporenbron een eiland, b.v. Engeland, en is de wind zuid-west tot west, dan kan een vliegtuig vandaag boven de Noordzee vliegen door de sporenwolk van vannacht en enkele honderden kilometers verder door de sporenwolk van gisteren (Hirst e.a., 1967a, b).

Landing

Ter afsluiting van de vlucht moeten de sporen landen. Sporen vallen onder invloed van de zwaartekracht; een bolvormige spore met een straal van $10\text{ }\mu\text{m}$ valt met een snelheid van $0,01\text{ m.sec}^{-1}$. Afzetting van sporen (depositie; Engels: deposition) onder invloed van de zwaartekracht, dus sedimentatie, is vanwege de vrijwel steeds aanwezige turbulentie van ondergeschikt belang, en wel alleen in de laminaire grenslaag, en soms tijdens de windstille stralingsnachten met een stabiele atmosfeer. Turbulente depositie is belangrijker. Net zoals sporen door wervels worden opgenomen, kunnen ze door wervels worden afgezet. Ook kunnen de sporen door luchtstromingen tegen plantedelen aangeslingerd worden: impactie (Engels: impaction). De massa van de spore veroorzaakt een zekere traagheid waardoor de sporen niet met de lucht langs de stroomlijnen om het obstakel heenvloeien, maar er tegen aan botsen (fig. 7). De vorm van het obstakel en de windsnelheid beïnvloeden mede de efficiëntie van de impactie (Chamberlain, 1967; Gregory, 1961; May, 1967).

De genoemde depositie-mechanismen werken alleen op sporen die zich in de onderste luchtlaag bevinden. Sporen uit de hogere luchtlagen worden door de regen uitgewassen. Regen is bijzonder effectief in het schoonwassen van de lucht, waarbij alle stofdeeltjes met inbegrip van schimmelsporen op de grond en de vegetatie terecht komen (Chamberlain, 1967; Gregory, 1961). In ons laboratorium werd door

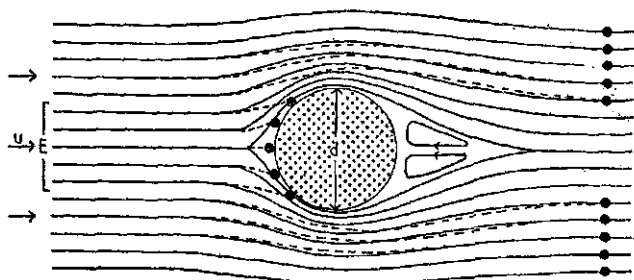


Fig. 7. *Impactie. Stroomlijnen van de lucht en banen van deeltjes in de lucht stromend langs een cylindrisch obstakel. E zijn stroomlijnen die sporen naar de cylinder voeren, d is de diameter van cylinder en u is de windrichting. (Naar Gregory, 1961.)*

Nagarajan gemeten dat een waterdruppel van ca. 4 mm doorsnede, die met terminale snelheid valt door een sporenwolk van 1 m hoogte met een dichtheid van een 30.000 sporen per m^3 , ruim duizend sporen kan uitwassen; dus de 'catch efficiency' is groter dan 1 (Schmidt, p. 15). Vroege infecties van tarwegewassen ver buiten de brongebieden van de zwarte roest werden veroorzaakt door sporen die werden meegevoerd in frontale regens (Rowell e.a., 1966; Schmidt, p. 17). Speciale filtersystemen werden door Roelfs e.a. (1970) ontwikkeld om roestsporen uit het regenwater te isoleren.

Er blijft een vraag: hoeveel sporen zijn bij de landing, soms na een lange vlucht, nog kiem- en infectiekrachtig? Het probleem van de levensduur is nog onvoldoende bestudeerd.

Vorm en functie van sporen

Na de landing volgt bij gunstige omstandigheden kieming en penetratie. Indien de spore is geland op een passende waard, volgt ziekte van de waardplant en vermenigvuldiging van de schimmel. Deze zaken vallen buiten het arbeidsveld van de aërobiologie. Rest slechts de vraag of schimmelsporen in hun enorme vormenrijkdom aangepast zijn aan hun aërobiologische behoeften.

De grote, vrijwel ronde uredosporen van de graanroesten, met relatief lage oppervlakte/massa verhouding, moeten door impactie op blad of stengel terecht komen. Dunne, langgerekte sporen, met relatief hoge oppervlakte/massa verhouding, en kleine sporen hebben een

groter zweefvermogen, omzeilen obstakels, penetreren de gewasruimte, en komen in de rustige lucht binnen de gewasruimte door sedimentatie tot hun doel. Gregory (1961; p. 83) onderscheidt impactoren en penetratoren. Donker gekleurde, vaak dikwandige sporen zijn resistent tegen straling en uitdroging, en derhalve geschikt voor lange luchtreizen, ook overdag, dan de kleine ongekleurde, dunwandige 'hyaline' sporen, die veelmeer de zwervers van het nachtelijk uur zijn.

Een markante uitzondering hierop is de stuifbrandspore, die klein, zwart en dikwandig is, dus aangepast aan windtransport overdag. De kleinheid van de stuifbrandspore die terecht moet komen op de stempel van de gerstebloem, is een aërobiologische aanpassing. De impactie efficiëntie is namelijk het grootst als de spore en het obstakel ongeveer dezelfde diameter hebben. Zo spreken de schimmelsporen kennelijk hun eigen aërobiologische vormtaal, een taal die wij helaas nog onvoldoende verstaan.

Slotopmerking

De aërobiologie is een typische grenswetenschap, die velerlei disciplines tot elkaar brengt. De bijdragen van fysici en meteorologen zijn onontbeerlijk, arts en plantendokter vinden raakpunten van belangstelling. Pollenanalytici tellen schimmelsporen in veenlagen, allergologen doen hetzelfde in de lucht, fysiologen bestuderen de sporestart-mechanismen, morfologen beraden zich over de functie van de sporevorm. Deze wonderlijke mengeling, geïntegreerd tot het hierboven geschetste patroon, is de aërobiologie, gezien door het oog van een fytopatholoog.

Het dagelijks voorkomen van pollenkorrels in de lucht, in verband met het optreden van pollinose

DRS. A. VAN DEN ASSEM

Inleiding

Algemeen Pollinose is een allergische aandoening van de luchtwegen, die veroorzaakt wordt door pollen (stuifmeel) van verschillende plantesoorten. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat het aanbeveling verdient de naam 'hooikoorts' te reserveren voor pollinose veroorzaakt door plantesoorten behorende tot de familie der *Poaceae* (*Gramineae*, grassen). De naam 'hooikoorts', evenwel, is nogal ongelukkig gekozen, daar de aandoening niet door hooi veroorzaakt wordt, het optreden ervan niet aan het hooiseizoen gebonden is, terwijl de aandoening meestal ook niet met het optreden van koorts gepaard gaat (Ey, 1971).

In Europa is het pollen van plantesoorten behorende tot de familie der *Poaceae* de grootste boosdoener. Klachten veroorzaakt door het pollen van andere plantesoorten komen evenwel ook voor, al is het dan in veel mindere mate. Pollinose is een typische seizoen-ziekte en treedt vooral buitenshuis op, bij droog, warm, winderig weer (Voorhorst, 1962).

Het onderzoek¹ heeft drie duidelijke hoofdaspecten.

- 1 Het botanisch aspect: pollenkorrels zijn immers botanische objecten; het zijn de overbrengers van de uiteindelijk ontstane mannelijke kernen, dus van de genen, dus van de erfelijke eigenschappen.
- 2 Het meteorologische aspect: het voorkomen van pollenkorrels in de atmosfeer en de verspreiding van pollenkorrels door de atmosfeer

¹ In het Laboratorium voor Palaeobotanie en Palynologie van de Rijksuniversiteit te Utrecht, wordt een door de Stichting het Nederlands Astma Fonds gesubsidieerd onderzoek uitgevoerd naar het dagelijks voorkomen in de lucht van pollenkorrels (stuifmeelkorrels) van verschillende plantesoorten, in verband met het optreden van pollinose.

worden beide beïnvloed door de steeds wisselende meteorologische omstandigheden.

3 Het medische (allergologische) aspect: de door het pollen veroorzaakte aandoening van de luchtwegen is van allergische aard.

Wijzen van pollenverspreiding Al naar gelang de wijze, waarop het pollen van een bepaalde plantesoort verspreid wordt, kunnen we de pollen producerende plantesoorten ruwweg op de volgende manier indelen (Faegri & Van der Pijl, 1966; Wodehouse, 1971).

1 Anemofiele plantesoorten: het pollen wordt door de wind verspreid.

2 Entomofiele plantesoorten: het pollen wordt door insecten verspreid.

3 Amfifiele plantesoorten: het pollen wordt zowel door de wind als door insecten verspreid.

Zeer algemeen kan gesteld worden, dat anemofiele plantesoorten een grote produktie hebben van relatief klein, droog, poederig, min of meer gladwandig pollen (plaat 1A, B, C, D), terwijl entomofiele plantesoorten de tendens vertonen kleinere hoeveelheden pollen te produceren dat vaak kleverig is en een tamelijk ingewikkeld gesculptureerde wand heeft (plaat 1E). Het bloemdek van anemofiele plantesoorten is vaak gereduceerd, zodat de over het algemeen goed ontwikkelde rijpe meeldraden buiten het bloemdek uitsteken, terwijl de bloemen van entomofiele plantesoorten vaak van honingklieren voorzien zijn en gekleurde bloemblaadjes hebben, waarbinnen de meeldraden min of meer zijn opgesloten (Wodehouse, 1935; Faegri & Van der Pijl, 1966).

Het zal duidelijk zijn, dat de aëropalynologie (de studie van het stuifmeel dat vrij in de lucht voorkomt en de verspreiding ervan), vooral betrekking heeft op pollenkorrels van anemofiele plantesoorten.

Aanwezigheid van pollen in de lucht Wil er een redelijke kans bestaan op aanwezigheid in de lucht van een grote hoeveelheid pollen van een bepaalde plantesoort, dan zal deze plantesoort in ieder geval aan de volgende voorwaarden moeten voldoen (vergelijk 'postulaten van Tommen' in Coca e.a., 1931).

1 De plant moet een grote hoeveelheid pollen produceren.

2 Het pollen van de plant moet door de wind verspreid worden.

- 3 Binnen een bepaald gebied moet de plant veel voorkomen.
- 4 De oppervlakte van het gebied waarbinnen de plant veel voorkomt, mag niet te klein zijn.

Wil er een redelijke kans bestaan, dat het pollen van de plant pollinose kan veroorzaken, dan moet naast de vier reeds genoemde, ook nog aan de volgende voorwaarden worden voldaan.

- 5 Het pollen van de plant moet een stof (allergeen) bevatten, die bij daarvoor gevoelige mensen, die aan expositie bloot staan, klachten veroorzaakt.

- 6 Het pollen van de plant moet voldoende lang in de lucht blijven.

In het typische Hollandse polderlandschap met zijn uitgestrekte weiden en vaak rijk begroeide bermen en slootkanten, zijn de voorwaarden 1 t/m 6 gerealiseerd; het is dus een mogelijke 'bron' van pollinose. Dennenpollen voldoet niet aan voorwaarde 5 en een den-nenbos is dus als mogelijke bron van pollinose niet interessant.

Daar niet alle plantesoorten in dezelfde periode van het jaar bloeien, zijn er in de verschillende perioden van het jaar pollenkorrels van verschillende planten in de lucht te verwachten. Het pollen van de bomen bevindt zich vooral van de winter tot aan de voorzomer in de lucht (maximum: maart-april) en het pollen van kruidachtige planten van het voorjaar tot het najaar (maximum: juni-juli en van grassen van half mei tot half juli).

De tijd waarin het pollen van een bepaalde plantesoort voor het eerst van het jaar in de lucht komt, is afhankelijk van het aantal zonnuren, de temperatuurextremen en de hoeveelheid neerslag in de voorafgaande periode van het jaar (Hyde, 1952a; Ritchie & Lichti-Fedorovich, 1963). Vorst laat in het voorjaar is vaak spelbreker.

Het totaal aantal pollenkorrels van een bepaalde plantesoort, dat in de bloeiperiode van de plantesoort in de lucht komt, is van jaar tot jaar verschillend (Hyde, 1952a, b, 1956, 1959a, b; Hyde & Adams, 1960, Stix, 1971). Dit is grotendeels te verklaren, doordat de meteorologische factoren van jaar tot jaar zeer sterk kunnen verschillen.

Pollinose veroorzakende planten Het blijkt, dat de algemeen in Nederland voorkomende plantesoorten, waarvan het pollen in meer of mindere mate allergeen bevat, verdeeld zijn over een relatief klein aantal plantenfamilies, waarvan de *Poaceae* het meest belangrijk zijn (Wodehouse, 1971). De *Poaceae* zijn zo belangrijk, omdat in de eerste plaats de pollenkorrels van *Poacea* een allergeen gehalte bezitten,

dat vele malen groter is dan dat van pollenkorrels van plantesoorten van andere families (met uitzondering van soorten van het geslacht *Artemisia*, die tot de familie der *Asteraceae* (*Compositae*) behoren) en omdat in de tweede plaats het aantal pollenkorrels van *Poacea* dat in de lucht komt zeer groot is. Tabel 1 geeft een beknopte en tabel 2 (Appendix, pag. 50) een uitgebreide opsomming van algemeen in Nederland voorkomende plantesoorten waarvan het pollen mogelijk pollinose kan veroorzaken. Tevens zijn in de tabellen de bloei-perioden van de verschillende plantesoorten opgenomen en is getracht de betekenis van de plantesoort als pollinose veroorzakende plant aan te geven.

Tabel 1. Beknopte bloeijlijst van pollinose veroorzakende planten in Nederland.

Botanische naam	Nederlandse naam	Bloei- periode (maand)	Maximum bloei	Betekenis ¹
Bomen				
<i>Corylus</i>	hazelaar	1-3	2	±
<i>Alnus</i>	els	2-3		±
<i>Populus</i>	populier	3-4		±
<i>Ulmus</i>	iep	3-4		—?
<i>Salix</i>	wilg	3-5	4	±
<i>Betula</i>	berk	4-5		±
<i>Fraxinus</i>	es	4-5		±
<i>Quercus</i>	eik	5		±
<i>Fagus</i>	beuk	5		—?
Kruiden				
<i>Poaceae</i> (<i>Gramineae</i>)	grassen	5-9	5 ¹ / ₂ -1 ¹ / ₂ 7	++
<i>Rumex</i>	zuring	5-9	6 -1 ¹ / ₂ 7	±
<i>Urtica</i>	brandnetel	5-9	6 ¹ / ₂ -1 ¹ / ₂ 8	+
<i>Plantago</i>	weegbree	5-9	7 -1 ¹ / ₂ 8	±
<i>Artemisia</i>	bijvoet	7-9	8 ¹ / ₂ -1 ¹ / ₂ 9	+
<i>Chenopodiaceae</i>	ganzevoetachtigen	7-9	7 ¹ / ₂ - 8	±

¹ ++ = zeer belangrijk

+ = incidenteel belangrijk

± = misschien incidenteel belangrijk

—? = onbekend, maar waarschijnlijk niet belangrijk

De verspreiding Alhoewel de problematiek rond de verspreiding van kleine deeltjes in de atmosfeer uitvoerig behandeld wordt in de bijdrage van Professor Schmidt, wil ik volledigheidshalve een en ander kort memoreren, daar het hier speciaal de verspreiding van pollenkorrels in de atmosfeer betreft.

De mate waarin pollenkorrels verspreid worden in de atmosfeer, wordt bepaald door eigenschappen van de pollenkorrels en eigenschappen van de atmosfeer (Gregory, 1961).

Eigenschappen van de pollenkorrel die van belang zijn voor de verspreiding, zijn voornamelijk: de vorm, de grootte (voor pollenkorrels van anemofiele plantesoorten voornamelijk variërend van ongeveer 15–45 μm) en de soortelijke dichtheid. Deze drie eigenschappen geven de pollenkorrels van de verschillende plantesoorten een valsnelheid, die varieert van ongeveer 1–7 cm/sec. Grotere valsnelheden zijn echter ook bekend (Rempe, 1937; Pohl, 1937; Durham, 1943, 1946a; Dyakowska & Zurzycki, 1959).

Eigenschappen van de atmosfeer die van belang zijn voor de verspreiding, zijn voornamelijk: de mate van turbulentie, de windrichting en de windsnelheid (Hirst, 1953; Raynor & Ogden, 1965, Schrödter, 1968; Ogden e.a., 1969).

Methoden van onderzoek

Het opvangen van pollenkorrels uit de lucht Ten einde te kunnen bepalen van welke plantesoorten en in welke hoeveelheden pollenkorrels zich in de lucht bevinden, kunnen we op verschillende manieren te werk gaan.

Lange tijd beperkte men er zich toe slechts dat pollen op te vangen, dat uit de lucht uitzakte. Men plaatste hiertoe een petri-schaaltje met een laagje vloeistof of kleverige stof, of een van een kleverig oppervlak voorzien voorwerpglasje, wel of niet afgeschermd, op een horizontaal plateau (Blackley, 1873; Horne, 1935; Durham, 1946b). Dat de efficiëntie van een dergelijke opvangmethode gering is, zal duidelijk zijn wanneer men alleen al bedenkt, dat de windsnelheid en de windrichting sterk wisselende factoren zijn. De efficiëntie van deze methode kan verbeterd worden, door bijvoorbeeld het opvangglasje op een plateau neer te leggen, dat om een vertikale as draaibaar is en van een windvaan voorzien, of vertikaal (loodrecht op de windrichting) te plaatsen (Blackley, 1873), of door een vertikaal opgestel-

de, van een kleverig oppervlak voorziene cylinder te gebruiken (Gregory, 1951; Tauber, 1965). Toch lenen deze methoden zich eigenlijk alleen voor een kwalitatieve bepaling van het in de lucht aanwezige pollen.

Een betere veel betrouwbaarder methode is de volumetrische. Deze methode berust op het volgende principe. Door een spleetvormige opening wordt per tijdseenheid een bepaalde hoeveelheid lucht aangezogen. De aangezogen lucht wordt geleid over een kleverig oppervlak, dat loodrecht op de bewegingsrichting van de aangezogen lucht is geplaatst. De kleine deeltjes, die zich in de aangezogen lucht bevinden, zullen op het kleverige oppervlak achterblijven (May, 1945). Volgens dit principe werkt o.a. ook de in het hiervoor genoemde onderzoek gebruikte 'Hirst spore trap' (Hirst, 1952) en de hiervan afge-

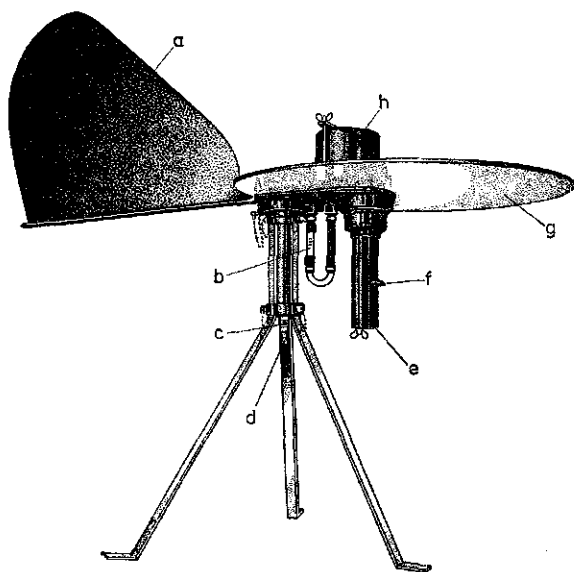


Fig. 1. Hirst spore trap; a = windvaan; b = flowmeter (aangebracht in de weg die de lucht door het apparaat doorloopt); c = in grootte regelbare opening in de luchtweg waarmee de hoeveelheid aangezogen lucht kan worden afgesteld; d = aansluiting voor een vacuum pomp; e = afneembare huls, waarachter preparaathouder; f = aanzuigopening; g = regenscherm; h = afneembare kap waaronder het uurwerk met hijsinrichting, hierdoor wordt de preparaathouder omhoog getrokken.

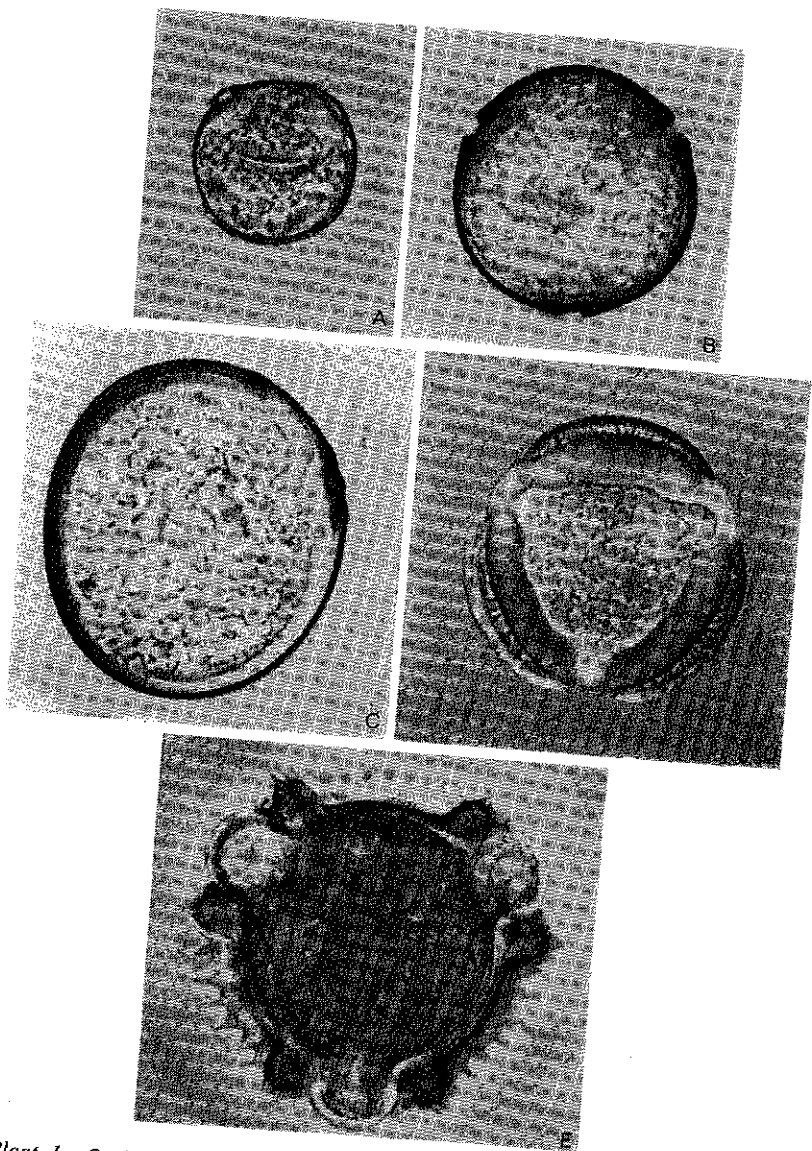
leide en gemodificeerde 'Burkard recording volumetric spore trap'. De werking van het door Hirst ontwikkelde opvangapparatuur wordt hier verklaard met behulp van figuur 1.

Door een spleetvormige opening (14 x 2 mm), wordt door middel van een vacuumpomp een constante hoeveelheid lucht aangezogen (10 l/min). De hoeveelheid aangezogen lucht is af te lezen op een 'flowmeter' en af te stellen via een opening in de luchtweg. Een windvaan zorgt ervoor dat de aanzuigopening steeds in de wind gehouden wordt, terwijl een regenscherm voorkomt dat het apparaat volregent. Achter de aanzuigopening wordt een vertikaal geplaatst objectglasje (76 x 26 mm) met een constante snelheid (2 mm/uur) omhoog gehesen. Op het glasje is een dun laagje vaseline aangebracht. Na 24 uur wordt het glasje vervangen door een nieuw. Op deze manier is na te gaan, welke hoeveelheid pollenkorrels van een bepaalde plantensoort zich op een bepaalde tijd van de dag in een m³ aangezogen lucht bevindt. Volledigheidshalve noem ik nog de 'Rotorod sampler' (Perkins, 1957), 'Rotoroslide sampler' (Ogden & Raynor, 1967) en de hiervan afgeleide 'Swing-shield rotoroslide sampler' (Raynor & Ogden, 1970).

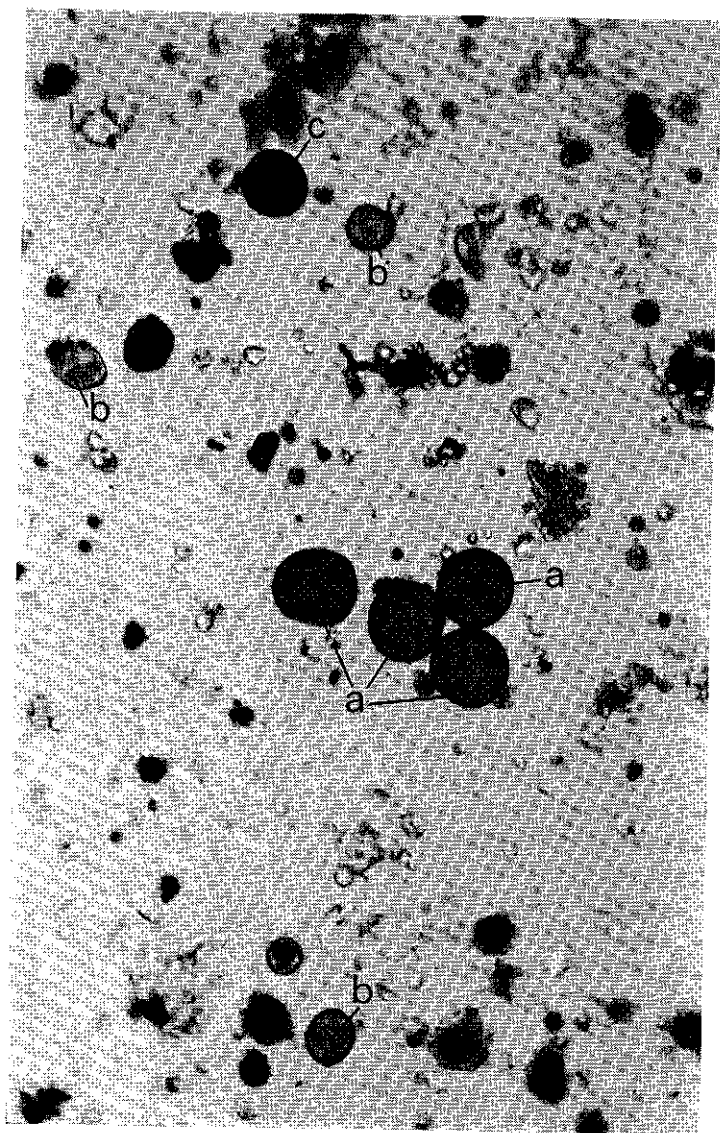
Het prepareren van de opvangglasjes voor analyse De objectglasjes worden ingemaakt in glycerine-gelatine, waaraan ter kleuring van de pollenkorrels saffranine is toegevoegd (10 ml van een 1/50% oplossing van saffranine in water per 100 g glycerine-gelatine) en afgedekt met een dekglasje (60 x 24 mm). De randen worden afgelakt met nagellak. De kleuring is noodzakelijk om de pollenkorrels goed zichtbaar te maken ten opzichte van andere opgevangen deeltjes, terwijl het aflakken gebeurt om de opvangglasjes gedurende lange tijd te kunnen bewaren. Door de microscoop geeft zo'n geprepareerd opvangglasje een beeld te zien zoals weergegeven in plaat 2 en 3.

Het analyseren van de opvangglasjes Het opvangglasje wordt verdeeld in twaalf gelijke delen, die elk een geëxposeerde periode van 2 uren vertegenwoordigen. Elke periode wordt zowel kwalitatief als kwantitatief (volledig) genanalyseerd. De analyse resultaten worden door een computer verwerkt tot.

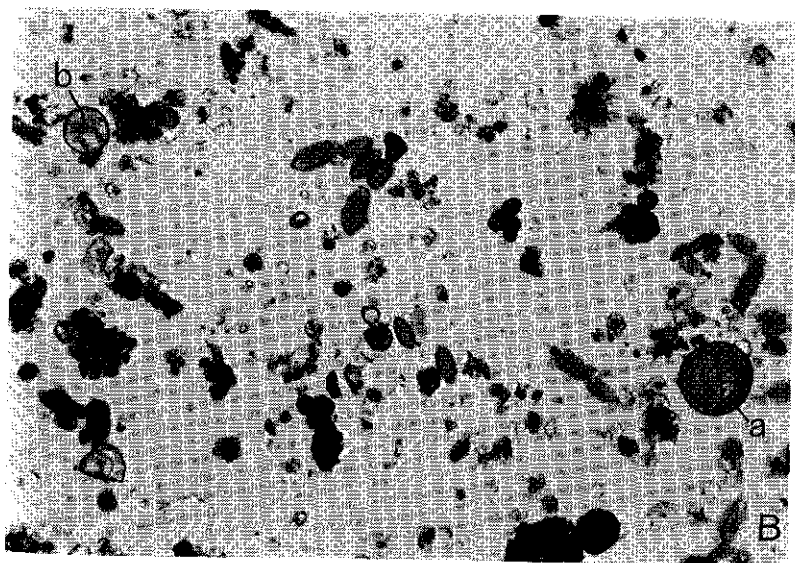
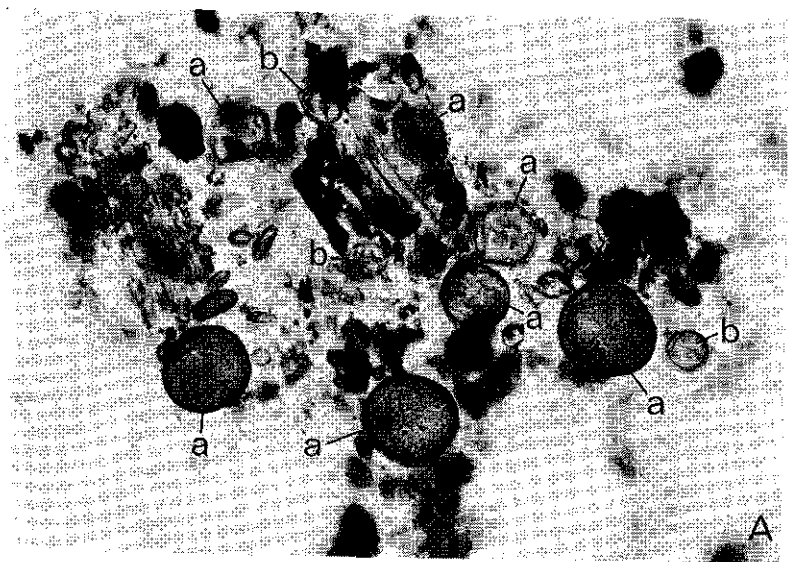
1 Tabellen van het gemiddeld aantal pollenkorrels van elke soort afzonderlijk, per m³ aangezogen lucht per twaalf perioden van elk 2 uren van een dag.



Plaat 1. Optische doorsneden van pollenkorrels, vergroting 1400 $\times$.
 A = *Urtica dioica*; B = *Rumex acetosa*; C = *Poa pratensis*; D = *Artemisia vulgaris*; E = *Sonchus asper*.



Plaat 2. Objectglasje van de opvangplaats in Leiden, Academisch Ziekenhuis, 16 juni 1969, 13.00 uur (vergroting 400 $\times$). a = Poaceae, b = Urtica, c = Rumex.



Plaat 3. Objectglasjes van verschillende opvangplaatsen: A = Utrecht, De Uithof, 4 juli 1971, 11.30 uur (vergroting 350 $\times$); B = Breda, Mastbos, 23 juni 1971, 16.00 uur (vergroting 350 $\times$). a = Poaceae, b = Urtica.

2 Tabellen van het gemiddeld aantal pollenkorrels van elke soort afzonderlijk per m³ aangezogen lucht per dag.

3 Histogrammen gebaseerd op de bovengenoemde tabellen, dus van punt 1 over een dag en van punt 2 over een aantal opeenvolgende dagen (b.v. een maand).

Dat een arbeidsintensieve, tijdrovende kwantitatieve analyse noodzakelijk is, blijkt uit het volgende. Davies (1969) stelt, dat binnen een bepaald gebied een gemiddeld aantal pollenkorrels van *Poacea* van 50 per m³ lucht per dag, een 100% 'hooikoorts-dag' betekent. Hiermee bedoelt hij, dat volgens zijn bevindingen alle mensen die potentieel gevoelig zijn voor het pollen van *Poacea*, op zo'n dag een hooikoorts aanval krijgen.

Relatie tussen de hoeveelheid pollen in de lucht en meteorologische factoren

De dagelijkse gang Figuur 2A en 2B geven de dagelijkse gang van het aantal opgevangen pollenkorrels van *Poaceae* en *Urtica* (brandnetel) over de periode van 1 t/m 8 juli 1971, voor de opvangplaats op het universiteitscentrum 'De Uithof' te Utrecht, waar een Burkard opvangapparaat staat opgesteld. De aanzuigopening van dit opvangapparaat bevindt zich op 2 m hoogte. De meteorologische gegevens zijn de waarnemingen van het weerstation De Bilt, dat dicht bij de opvangplaats is gelegen.

Uit de beide figuren kan het volgende geconcludeerd worden:

1 Verreweg het grootste deel van het pollen bevindt zich tussen 8 uur in de morgen en 8 uur in de avond in de lucht, met duidelijke piekwaarden in de vroege middaguren.

2 Er is een duidelijke minimum hoeveelheid pollen in de lucht in de nacht en vroege morgenuren.

Vergelijken we voorts het verloop over de dag van de hoeveelheid pollen in de lucht met de dagelijkse gang van de meteorologische factoren, dan blijkt het volgende:

1 De dagelijkse gang van de hoeveelheid pollen in de lucht is positief gecorreleerd met de dagelijkse gang van de temperatuur.

2 De dagelijkse gang van de hoeveelheid pollen in de lucht is negatief gecorreleerd met de dagelijkse gang van de relatieve vochtigheid. Aangezien de temperatuur en de relatieve vochtigheid onderling negatief gecorreleerd zijn, kan niet zonder meer geconcludeerd worden,

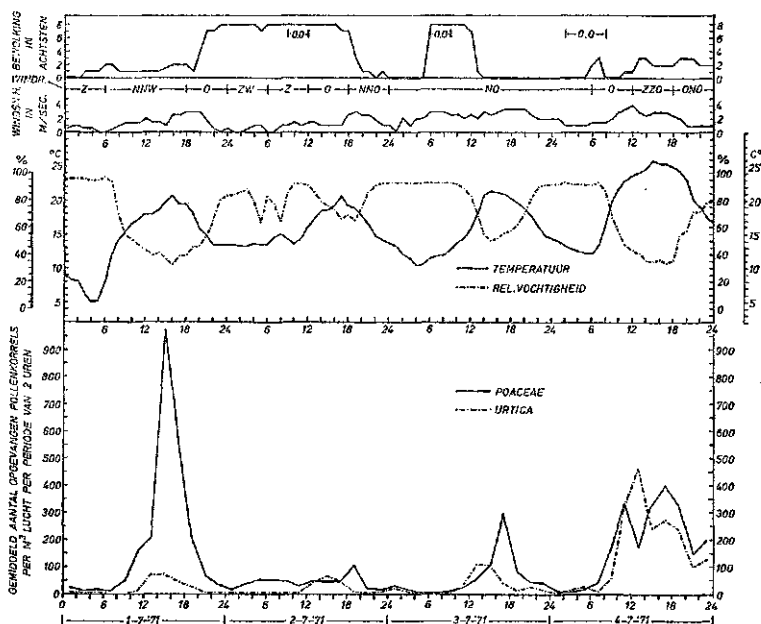


Fig. 2A. Dagelijkse gang van het gemiddeld aantal opgevangen pollenkorrels van Poaceae en Urtica per m^3 aangezogen lucht in relatie tot de dagelijkse gang van enkele meteorologische factoren. (Utrecht, De Uithof, 1 t/m 4 juli 1971.) De getallen 0.0, die in de bewolkingcurve zijn geplaatst, geven een hoeveelheid neerslag aan in de aangegeven periode van minder dan 0.05 mm.

wat het relatieve belang is van de temperatuur en de relatieve vochtigheid met betrekking tot het aantal pollenkorrels, dat in de lucht voorkomt.

3 Gedurende perioden met veel bewolking (meer dan half bewolkt) bevindt zich aanzienlijk minder pollen in de lucht, dan in perioden met weinig of geen bewolking (minder dan half bewolkt). (Dingle e.a., 1959).

4 Tussen de dagelijkse gang van de hoeveelheid pollen in de lucht en de variatie over de dag van de windsnelheid, is moeilijk een duidelijke correlatie aan te tonen, al lijkt het er op dat er zich, met in achtneming van de hiervoor genoemde punten, meer pollen in de lucht bevindt in perioden met windsnelheden hoger dan ongeveer 1,5

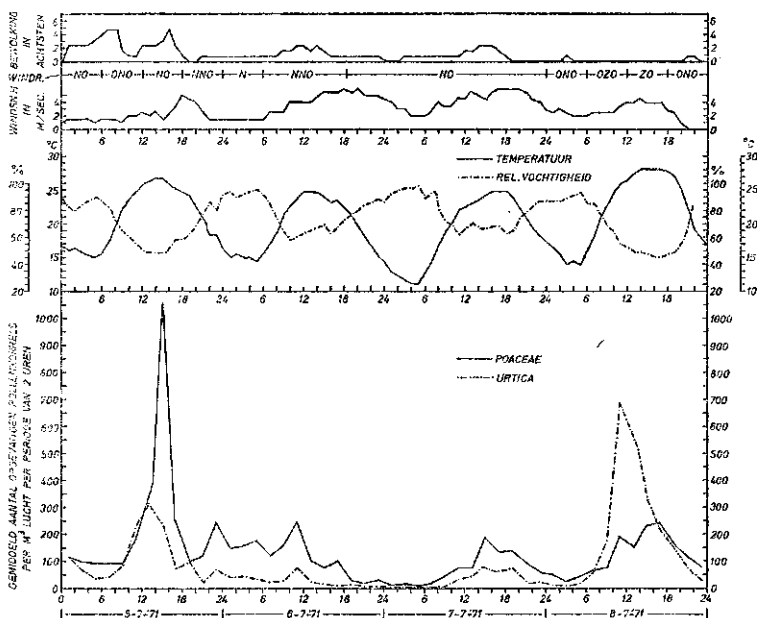


Fig. 2B. Als figuur 2A. (Utrecht, De Uithof, 5 t/m 8 juli 1971.)

m/sec, dan in perioden met lagere windsnelheden. Hierbij moet echter rekening gehouden worden met het feit, dat het weerstation De Bilt betrekkelijk ingesloten ligt in een parklandschap, zodat de windwaarnemingen niet geheel representatief zijn.

Ramalingam (1966) vond, dat er zich bij windsnelheden lager dan 1 m/sec weinig of geen pollen in de lucht bevond. Shapiro & Rooks (1951) stellen, dat bij een windsnelheid groter dan 1,6 m/sec een normale hoeveelheid pollen in de lucht aanwezig is.

5 De heersende windrichting geeft aan, uit welke richting het opgevangen pollen moet zijn aangevoerd.

Het verloop van de daggemiddelden Figuur 3 geeft het verloop van de gemiddelde hoeveelheid pollenkorrels per m³ aangezogen lucht per dag voor *Poaceae* en *Urtica* in relatie tot het verloop van de daggemiddelden van de meteorologische factoren, over de periode van 1 t/m 8 juli 1971 voor de opvangplaats 'De Uithof' (figuur 2). Ook

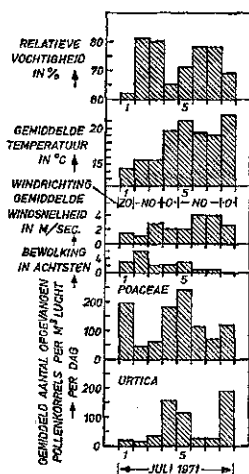


Fig. 3. Het verloop van de daggemiddelden van het aantal opgevangen pollenkorrels van Poaceae en Urtica per m^3 aangezogen lucht in relatie tot het verloop van de daggemiddelden van enkele meteorologische factoren. (Utrecht, De Uithof, 1 t/m 8 juli 1971.)

hier blijkt een positieve relatie tussen de toename van de hoeveelheid pollen in de lucht en de toename van de temperatuur en een negatieve relatie tussen de toename van de hoeveelheid pollen in de lucht en de toename van de relatieve vochtigheid. Het eerder genoemde verband tussen de toename van de bewolking en de afname van de hoeveelheid pollen in de lucht is hier te zien. Figuur 4 laat hetzelfde zien als figuur 3, maar nu over een langere periode en voor de opvangplaats in het Mastbos bij Breda, waar een Hirst opvangapparaat stond opgesteld met de aanzuigopening op 2 m hoogte. De meteorologische waarnemingen zijn die van het weerstation De Bilt. Sinds 1969 worden in het Mastbos, tijdens de therapeutische zomerkampen voor astmatische kinderen, continue metingen gedaan. Uit figuur 4 blijkt ook duidelijk, dat op dagen met regen het pollen uit de lucht verdwijnt. De atmosfeer wordt als het ware 'schoon gewassen' (Dingle & Gatz, 1966).

Vergelijking van figuur 3 met figuur 2 laat duidelijk zien dat, al naar gelang de weersomstandigheden op een bepaalde dag, de piekwaarde van het aantal pollenkorrels per m^3 lucht vele malen groter kan zijn dan het daggemiddelde.

Het door Ebells & Schmidt (1964) beschreven 'uitputtings effect' wordt ook geïllustreerd in figuur 4. De weersomstandigheden in de laatste dagen van juli 1970, die voor het vrijkomen van pollen in de

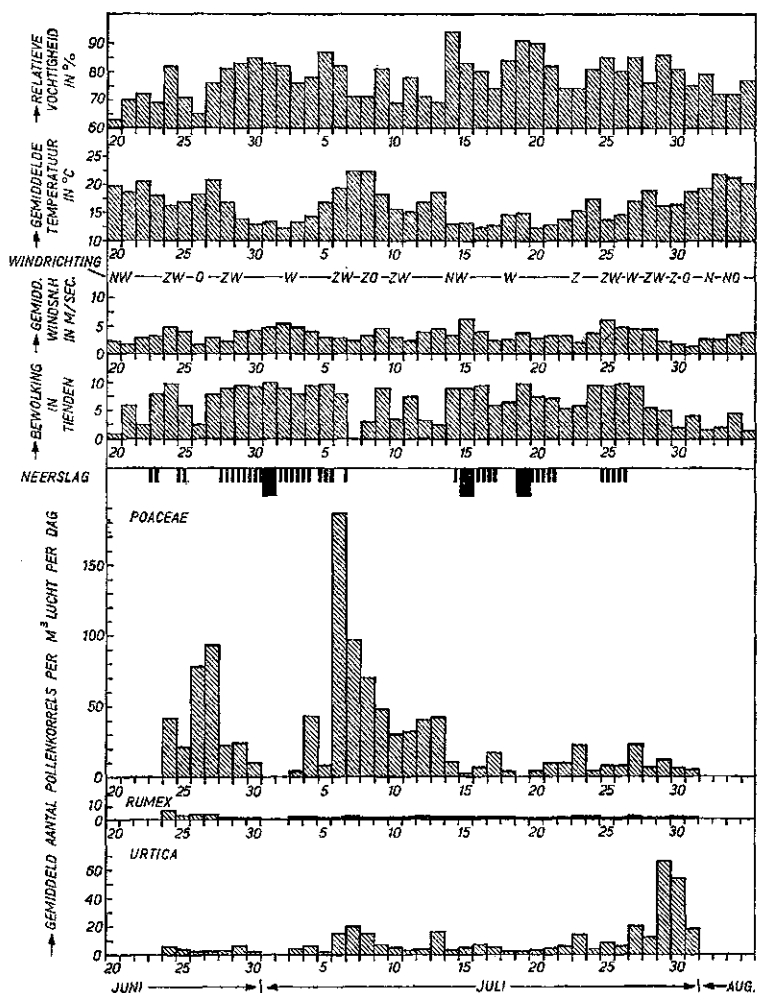


Fig. 4. Het verloop van de daggemiddelden van het aantal opgevangen pollenkorrels van Poaceae, Rumex en Urtica per m³ aangezogen lucht in relatie tot het verloop van de daggemiddelden van enkele meteorologische factoren. (Breda, Mastbos, 20 juni – 4 augustus 1970.)

lucht gunstig waren, beïnvloedden het aantal pollenkorrels in de lucht van *Poacea* niet meer, terwijl het aantal pollenkorrels in de lucht van *Urtica* sterk toenam. Dit verschijnsel is in het kort als volgt te verklaren. In het begin van de bloeiperiode van een bepaalde plantesoort zijn nog niet alle meeldraden van de tot de soort behorende planten rijp. Er is een grote voorraad pollen en het wachten is alleen op gunstige weersomstandigheden om de meeldraden te doen rijpen waarna het pollen kan vrij komen.

Aan het einde van de bloeiperiode van een bepaalde plantesoort zijn bijna alle meeldraden van de tot de soort behorende planten uitgestoven en is de voorraad pollen uitgeput. Er is dan niet genoeg pollen meer aanwezig om de concentratie in de lucht te doen toenemen onder invloed van de gunstiger wordende weersomstandigheden. Dit verschijnsel is ook goed waar te nemen, wanneer tijdens de bloeiperiode van een bepaalde plantesoort na een periode met gematigde temperaturen en een hoge relatieve vochtigheid (b.v. een periode met veel regen), het plotseling warm, droog zonnig weer wordt. Er komen dan veel pollenkorrels van die soort in de lucht. Na een paar dagen echter, ook al blijft het mooi weer, zijn er nog maar weinig pollenkorrels van de soort in de lucht. De planten zijn blijkbaar uitgestoven. Vergelijk hiervoor figuur 4, waar het de *Poaceae* betreft, de periode voor 5 juli en de periode na die datum.

Samenvatting Samenvattend kan algemeen gesteld worden, dat er in de bloeiperiode van een bepaalde plantesoort op mooie heldere dagen (dagen met weinig bewolking, veel zon en een relatief droge lucht) veel pollenkorrels van de soort in de lucht zijn te verwachten. Regen wast de atmosfeer schoon. Als na regen de zon weer gaat schijnen, is er een sterke toename van de hoeveelheid pollen in de lucht te verwachten. Of, komt er na de passage van een koufront mooi weer, dan kunnen we gedurende enige dagen veel pollen in de lucht verwachten (Dingle, 1955). Wordt het weer bepaald door een hogedrukgebied ter plaatse, dan is dat gunstig voor het vrijkomen van pollen, terwijl een lagedrukgebied juist een ongunstige invloed heeft (Ebell & Schmidt, 1964).

Voldoende inzicht in de relatie tussen het te verwachten verloop van de meteorologische omstandigheden en de hoeveelheid pollen in de lucht in een bepaald gebied, zou een voorspelling over de te verwachten hoeveelheid pollen in de lucht mogelijk moeten maken. Tot

nu toe hebben pogingen in deze richting echter niet tot voor de dagelijkse praktijk betrouwbare resultaten geleid (Raynor & Hayes, 1970).

Relatie tussen de hoeveelheid pollen in de lucht en de klachten van hooikoorts patiënten

Op de afdeling Allergologie van het Academisch Ziekenhuis te Leiden wordt een groep van 120 hooikoorts patiënten (dus voor pollen van grassen allergische patiënten), die bij herhaling de polikliniek bezoekt, gevraagd of zij en in welke mate de dag voor hun bezoek aan de polikliniek en de dag daarvoor hooikoorts klachten hebben gehad. Het antwoord van de patiënt wordt al naar gelang de ernst van de klachten met ++, +, ± of - genoteerd. Op deze wijze worden subjectieve gegevens verkregen over de aanwezigheid en de ernst van klachten van hooikoorts patiënten. Het aantal + tekens dat op een dag genoteerd is, wordt gedeeld door het aantal patiënten dat die dag de polikliniek bezocht en vermenigvuldigd met 100. Het zo verkregen getal wordt het 'klachten percentage' voor zo'n dag genoemd.

In figuur 5 wordt het verloop van het klachten percentage over een aantal maanden vergeleken met het verloop van de daggemiddelden van de hoeveelheid pollen van verschillende typen die in die maanden in de lucht voorkwamen, voor de opvangplaats op het terrein van het Academisch Ziekenhuis te Leiden en met het verloop van de daggemiddelden van de meteorologische factoren. De meteorologische waarnemingen zijn die van het weerstation De Bilt. Er blijkt een duidelijke positieve relatie te bestaan tussen de toename van de hoeveelheid pollen van een bepaalde plantesoort in de lucht en de toename van het klachten percentage.

Er zal gezocht moeten worden naar duidelijke wetmatigheden in de relatie tussen meteorologische omstandigheden en het voorkomen van een bepaalde hoeveelheid pollen van een plantesoort in de lucht enerzijds en het aantal en de ernst van de klachten van de voor dat pollen allergische patiënten anderzijds, om tot een 'pollenverwachting' (vergelijkbaar met de weersverwachting) te kunnen komen. Deze pollenverwachting immers kan naast de dagelijkse pollentellingen, de medicus, die een pollinose patiënt te behandelen krijgt, helpen bij het stellen van een eerste (oppervlakkige) diagnose en van belang zijn bij het bepalen van de te volgen therapie.

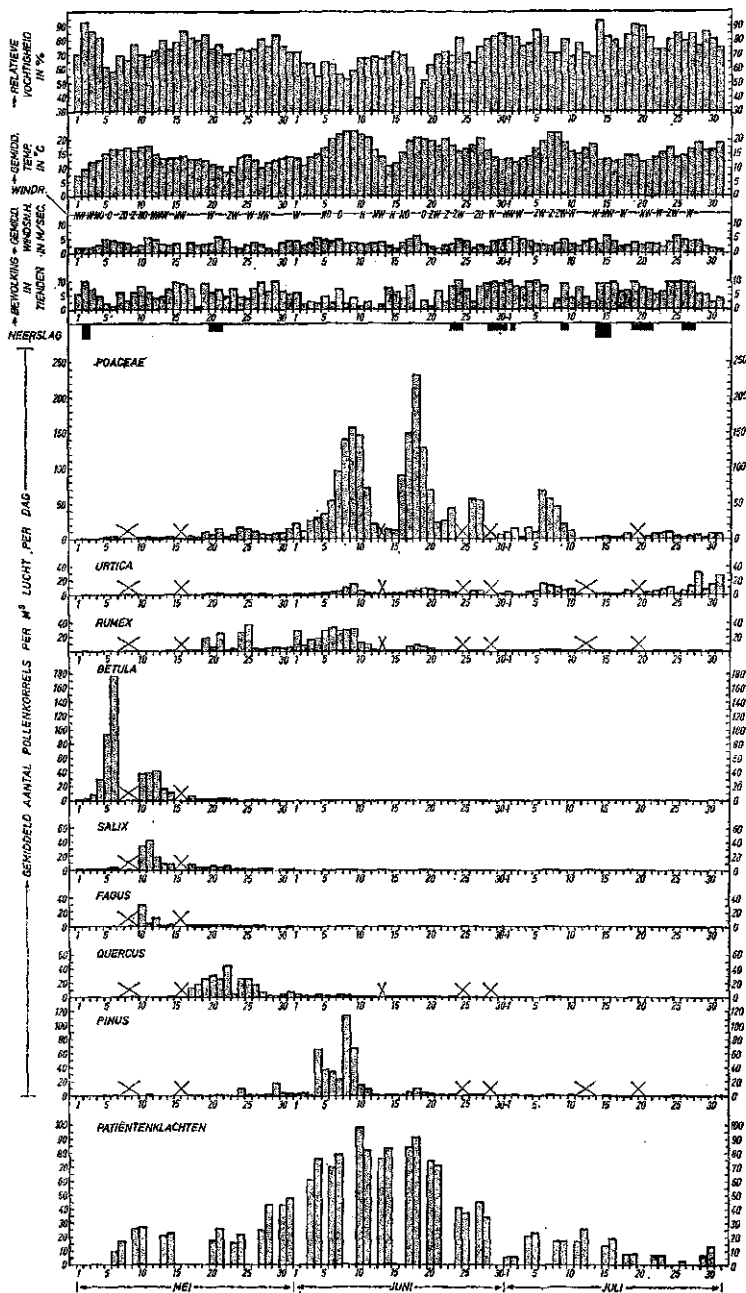


Fig. 5. Het verloop van het 'klachten percentage' (patiëntenklachten in %) in relatie tot het verloop van de daggemiddelden van het aantal opgevangen pollenkorrels van Poaceae, Urtica, Rumex, Betula, Salix, Fagus, Quercus en Pinus, en het verloop van de daggemiddelden van enkele meteorologische factoren. (Leiden, Academisch ziekenhuis, mei-juli 1970.)

Tabel 2. Bloeilijst van pollinose veroorzakende planten in Nederland.

Botanische naam	Nederlandse naam	Bloei- periode (maand)	Bete- kenis ¹
<i>Taxaceae</i>	taxusachtigen		
<i>Taxus baccata</i> L.	taxus	4-5	—?
<i>Cupressaceae</i>	cypresachtigen	3-5	
<i>Thuja orientalis</i> L.	oosterse levensboom	4-5	—?
<i>T. occidentalis</i> L.	westerse levensboom	4-5	—?
<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Sieb. et Zucc.) Endl.	Japanse cypres	3-4	—?
<i>C. lawsoniana</i> (Murr.) Parl.	Californische cypres	3-4	—?
<i>C. obtusa</i> (Sieb. et Zucc.) Endl.	hinokicypres	3-4	—?
<i>Juniperus communis</i> L.	jeneverbes	4-5	—?
<i>Betulaceae</i> (Corylaceae)	hazelaarachtigen	1-5	
<i>Corylus avellana</i> L.	hazelaar	1-3	±
<i>Alnus glutinosa</i> (L.) Vill.	zwarte els	2-3	±
<i>A. incana</i> (L.) Vill.	grauwe els	2-3	±
<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	ruwe berk	4-5	±
<i>B. pubescens</i> Ehrh.	zachte berk	4-5	±
<i>Carpinus betulus</i> L.	haagbeuk	4-5	—?
<i>Fagaceae</i>	napjesdragenden	5-6	
<i>Quercus robur</i> L.	zomereik	5	±
<i>Q. petraea</i> (Mattuschka) Lieblein	wintereik	5	±
<i>Fagus sylvatica</i> L.	beuk	5	—?
<i>Salicaceae</i>	wilgachtigen	3-5	
<i>Populus alba</i> L.	witte abeel	3-4	±
<i>P. canescens</i> (Ait.) Sm.	grauwe abeel	4	±
<i>P. tremula</i> L.	ratelpopulier	3-4	±
<i>P. nigra</i> L.	zwarte populier	4	±
<i>Salix purpurea</i> L.	bittere wilg	4	±
<i>S. triandra</i> L.	amandelwilg	4-5	±
<i>S. fragilis</i> L.	kraakwilg	4-5	±
<i>S. alba</i> L.	knotwilg (schiefwilg)	4-5	±
<i>S. viminalis</i> L.	katwilg	3-4	±
<i>S. repens</i> L.	kruipwilg	4-5	±
<i>S. caprea</i> L.	waterwilg	3-4	±
<i>S. cinerea</i> L.	grauwe wilg	3-4	±
<i>S. aurita</i> L.	geoorde wilg	4-5	±
<i>Ulmaceae</i>	iepachtigen	3-4	
<i>Ulmus glabra</i> Huds.	ruwe iep	3-4	—?
<i>U. carpiniifolia</i> Gled.	gladde iep	3-4	—?

Botanische naam	Nederlandse naam	Bloei- periode (maand)	Bete- kenis ¹
<i>Oleaceae</i>	olijfachtigen	4-5	
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	es	4-5	±
<i>Urticaceae</i>	brandnetelachtigen	5-9	
<i>Urtica dioica</i> L.	grote brandnetel	6-9	+
<i>U. urens</i> L.	kleine brandnetel	5-9	+
<i>Polygonaceae</i>	duizendknoopachtigen	5-11	
<i>Rumex sanguineus</i> L.	bloedzuring	6-7	±
<i>R. conglomeratus</i> Murr.	kluwenzuring	6-8	±
<i>R. hydrolapathum</i> Huds.	waterzuring	7-8	±
<i>R. crispus</i> L.	krulzuring	5-10	±
<i>R. obtusifolius</i> L.	ridderzuring	6-10	±
<i>R. palustris</i> Sm.	moeraszuring	6-9	±
<i>R. maritimus</i> L.	zeezuring	7-9	±
<i>R. acetosella</i> L.	schapezuring	5-10	±
<i>R. acetosa</i> L.	veldzuring	5-6	±
<i>R. thyrsiflorus</i> Fingerh.	geoorde zuring	7-8	±
<i>Chenopodiaceae</i>	ganzevoetachtigen	7-10	
<i>Chenopodium album</i> L.	melganzevoet	7-9	±
<i>C. rubrum</i> L.	rode ganzevoet	7-9	±
<i>Atriplex patula</i> L.	uitstaande melde	7-9	±
<i>A. hastata</i> L.	spiesbladige melde	7-9	±
<i>Beta vulgaris</i> L.	biet	7-10	—?
<i>Aceraceae</i>	esdoornachtigen	4-6	
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	esdoorn	5-6	—?
<i>A. platanoides</i> L.	Noorse esdoorn	4-5	—?
<i>A. campestre</i> L.	Spaanse aak	5-6	—?
<i>Plantaginaceae</i>	weegbreeachtigen	5-11	
<i>Plantago lanceolata</i> L.	smalle weegbree	5-9	±
<i>P. major</i> L.	grote weegbree	5-11	±
<i>P. media</i> L.	ruige weegbree	5-6	±
<i>P. maritima</i> L.	zeeweegbree	5-9	±
<i>P. coronopus</i> L.	hersthoornweegbree	6-9	±
<i>Asteraceae (Compositae)</i>	samengesteldbloemigen	7-11	
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	bijvoet	7-9	+
<i>A. maritima</i> L.	zeealsum	9-10	+
<i>A. lloydii</i> Rouy	zee-averuit	8-10	+
<i>A. abrotanum</i> L.	citroenkruid	9-11	+
<i>A. absinthium</i> L.	absint-alsem	7-9	+
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	alsemambrosia	9-10	+

Botanische naam	Nederlandse naam	Bloei- periode (maand)	Bete- kenis ¹
<i>Poaceae (Gramineae)</i>	grassen	5-9	
<i>Bromus racemosus</i> L.	trosdraaik	5-6	++
<i>B. mollis</i> L.	zachte draaik	5-6	++
<i>B. hordeaceus</i> L.	gerstdraaik	5-7	++
<i>Festuca ovina</i> L.	schapegras	5-6	++
<i>F. rubra</i> L.	rood zwenkgras	5-6	++
<i>F. pratensis</i> Huds.	beemdlenggras	6-7	++
<i>F. arundinacea</i> Schreb.	rietzwenkgras	6-7	++
<i>F. gigantea</i> (L.) Vill.	reuzenzwenkgras	7	++
<i>Puccinellia maritima</i> (Huds.) Parl.	kweldergras	6-9	++
<i>P. distans</i> (L.) Parl.	zilt vlotgras	6-9	++
<i>Glyceria maxima</i> (Hartm.) Holmb.	liesgras	7-8	++
<i>G. fluitans</i> (L.) R. Br.	mannagras	5-7	++
<i>Poa annua</i> L.	straatgras	1-12	++
<i>P. trivialis</i> L.	ruw beemdgras	5-7	++
<i>P. pratensis</i> L.	beemdgras	5-6	++
<i>P. palustris</i> L.	moerasbeemdgras	6-7	++
<i>Briza media</i> L.	trilgras	5-8	++
<i>Molinia caerulea</i> (L.) Moench	pijpestrootje	7-9	++
<i>Dactylis glomerata</i> L.	kroopaar	5-8	++
<i>Cynosurus cristatus</i> L.	kamgras	6-7(9-10)	++
<i>Catabrosa aquatica</i> (L.) P.B.	brongras	5-9	++
<i>Lolium multiflorum</i> Lamk.	Italiaans raaigras	6-10	++
<i>L. perenne</i> L.	Engels raaigras	6-9	++
<i>Elytrigia repens</i> (L.) Nevski	kweek	6-8	++
<i>Secale cereale</i> L.	rogge	6-7	++
<i>Elymus arenarius</i> L.	zandhaver	5-7	++
<i>Hordeum murinum</i> L.	kruipertje (muizengerst)	6-9	++
<i>H. secalinum</i> Schreb.	veldgerst	6-8	++
<i>H. distichon</i> L.	gerst	6-7	++
<i>Avena sativa</i> L.	haver	6-8	++
<i>Parapholis strigosa</i> (Dum.) Hubbard	kromstaart	6-7	++
<i>Phragmites communis</i> Trin.	riet	7-10	++
<i>Nardus stricta</i> L.	borstelgras	5-6	++
<i>Koeleria albenscens</i> DC.	fakkelgras	7	++
<i>Trisetum flavescens</i> (L.) P.B.	goudhaver	6	++
<i>Arrhenatherum elatius</i> (L.) P.B.	Frans raaigras	6-7	++
ex J. et C. Presl			

Botanische naam	Nederlandse naam	Bloei- periode (maand)	Bete- kenis ¹
<i>Corynephorus canescens</i> (L.) P.B.	buntgras	6-7	++
<i>Holcus lanatus</i> L.	witbol	5-8	++
<i>H. mollis</i> L.	zachte witbol	6-8	++
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P.B.	smele	6-7	++
<i>D. flexuosa</i> (L.) Trin.	bochtige smele	6-7	++
<i>Aira caryophyllea</i> L.	zilverhaver	5-6	++
<i>A. praecox</i> L.	vroege haver	4-6	++
<i>Sieglingia decumbens</i> (L.) Bernh.	tandjesgras	6-7	++
<i>Calamagrostis canescens</i> (Web.) Roth	pluimstruisriet	6-7	++
<i>C. epigejos</i> (L.) Roth	duinriet	6-8	++
<i>Ammophila arenaria</i> (L.) Link	helm	6-7	++
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P.B.	windhalm	6-8	++
<i>Agrostis canina</i> L.	kruipend struisgras	6-7	++
<i>A. tenuis</i> Sibth.	gewoon struisgras	6-7	++
<i>A. stolonifera</i> L.	fioringras	6-7	++
<i>Alopecurus pratensis</i> L.	vossestaart	4-7	++
<i>A. geniculatus</i> L.	geknikte vossestaart	5-9	++
<i>A. bulbosus</i> Gouan	knolvossestaart	5-7	++
<i>A. myosuroides</i> Huds.	duist	4-7	++
<i>Phleum pratense</i> L.	timotheegras	6-7	++
<i>P. arenarium</i> L.	zanddoddegras	5-6	++
<i>Hierochloë odorata</i> (L.) P.B.	veenreukgras	4-6	++
<i>Phalaris arundinacea</i> L.	rietgras	6-7	++
<i>Anthoxanthum odoratum</i> L.	reukgras	4-6	++
<i>A. puelii</i> Lecoq et Lamotte	slofhak	5-7	++
<i>Spartina townsendii</i> H. et J. Groves	Engels slijkgras	7-11	++
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	handjesgras	7-9	++
<i>Digitaria ischaemum</i> (Schreb.) Mühlenb.	glad vingergras	7-9	++
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.B.	hanepoot	7-9	++
<i>Setaria viridis</i> (L.) P.B.	groene naaldaar	7-9	++

¹ ++ = zeer belangrijk

+ = incidenteel belangrijk

± = misschien incidenteel belangrijk

—? = onbekend, maar waarschijnlijk niet belangrijk

Onderzoekingen naar groene organismen en protozoën in de atmosfeer

MEVR. DR. M. A. VISCH-VAN OVEREEM

Inleiding

De Weense botanicus Molisch gaf in 1916 de naam 'aëroplankton' aan alle zwevende deeltjes van organische oorsprong in de atmosfeer. Omstreeks 1930 werd het aëroplankton van medische, hygiënische en fythopathologische zijden onderzocht. Met behulp van ballonnen en vliegtuigen werd aangetoond, dat micro-organismen zoals bacteriën, fungi, algen en sporen van mossen en varens over grote afstanden vertikaal en horizontaal verspreid worden.

Het kweken van deze organismen uit de atmosfeer, na het nemen van luchtmonsters, vond echter in die tijd nog niet plaats. Puschkarev was in 1913 de eerste onderzoeker, die protozoën kweekte in steriele voedingsoplossingen, die enige dagen aan de lucht waren blootgesteld. Baas Becking (1934) benadrukte het grote belang van het leven van micro-organismen, dat in latente vorm overal aanwezig is en slechts wacht op de kans zich te ontwikkelen. Hierop zijn de twee regels van Beyerink van toepassing, n.l.

'Alles is overal' en wat dat 'alles' betreft
'Het milieu selecteert'.

Om meer kennis te verkrijgen over de samenstelling van het micro-biële leven werden in 1936 en 1937 door het Botanisch Laboratorium te Leiden luchtmonsters, die op verschillende hoogten genomen werden, geanalyseerd (Van Overeem, 1936, 1937). Er werden toen voor het eerst negen algensoorten, een varenssoort en een mossoort gekweekt en gedetermineerd.

Recente proeven op ditzelfde gebied zijn genomen in de Verenigde Staten door Schlichting¹ (1958, 1961, 1964, 1969) op het Department

¹ Prof. Dr. H. E. Schlichting jr. gaf in 1968 en 1969 college in Cork (Ierland) en in mei 1969 aan het Hugo de Vries Laboratorium in Amsterdam.

of Botany, Raleigh, North Carolina. Gedurende een tiental jaren vond hij een grote verscheidenheid levensvatbare algen en protozoën en hij geeft tevens een overzicht van alle gevangen en gekweekte soorten sinds Puschkarew in 1913 tot 1969.

Eigen proeven in 1936 en 1937

Vorbereidende proeven werden genomen met een 'Rettger's aëroscoop' vanaf het balkon van het laboratorium in Leiden (14,5 m hoog) en vanaf de toren van het St. Hubertus Jachtslot (30 m). Beide gebouwen waren met wieren bedekt, waardoor plaatselijke infectie niet uitgesloten was en de uitkomsten van de proeven dubieus werden.

In 1936 werd een koperen vangapparaat (9,5 x 4,7 x 15,7 cm) in het Botanisch Laboratorium te Leiden ontworpen en in het Kamerlingh Onnes Laboratorium geconstrueerd. Het apparaat was verdeeld in vijf afdelingen, waarin glaswol als filtreermateriaal werd gebruikt. Door de meteorologische dienst van de luchtvaartafdeling in Soesterberg werd dit apparaat onder de ondervleugel van een vliegtuig type Fokker C VI gemonteerd en vanuit de cockpit bediend. Tijdens elk van de zes vluchten werden op vier verschillende hoogten (2000, 1000, 500 en 100 m) luchtmonsters genomen, terwijl één afdeling gesloten bleef als controle. Er werden op deze wijze 24 luchtmonsters genomen.

In het Laboratorium voor Aërodynamica te Delft werd berekend, dat gedurende tien minuten 1 m³ lucht bij windsnelheid van 155 km/uur werd gefiltreerd. Uit controle-proeven in de windtunnel en met het vliegtuig tot 5000 m hoogte bleek, dat infectie van buitenaf uitgesloten was. De meteorologische gegevens op de vier hoogten werden gedurende drie dagen vóór en tijdens elke vlucht niet alleen voor ons land, maar ook voor de streken waarvan de luchtmassa's afkomstig waren, genoteerd en verder uitgewerkt.

De glaswol uit de 5 verschillende afdelingen werd in het laboratorium 15 min in steriel water geschud en verdeeld over zeven verschillende voedingsoplossingen; het cultiveren duurde zes tot acht maanden.

Uit een vergelijking van de weergegevens en de gevonden biologische resultaten volgde de conclusie, dat het grootste aantal micro-organismen gevonden werd tijdens fraai zonnig weer, zonder neerslag, met zware bewolking in de morgen; Chlorococcum werd het meest

Gegevens van luchtmonsters, genomen op 28 augustus 1936 bij fraai, zonnig weer. Derde vlucht van een totaal van zes. (Naar Van Overeem, 1937; p. 39.)

Afde- ling No.	Hoogte (m)	Duur open- stellen (min)	Snel- heid (km/ uur)	Gefil- terde lucht- massa (l)	Cultuur oplossing			Organismen
					No.	pH	temp. (°C)	
5	2000+100	10	181	1210	I	7		<i>Pleurococcus vulgaris</i>
"	"	"	"	"	I	7,8		<i>Chlorococcum</i> sp.
"	"	"	"	"	I	4,4		<i>Chlorococcum</i> sp.
"	"	"	"	"	III	7		<i>Chlorella vulgaris</i>
4	1000	10	179	1190	I	7		<i>Actinastrum</i> sp.
"	"	"	"	"	I	7,8		<i>Stichococcus minor</i>
"	"	"	"	"	I	7	17	<i>Pleurococcus vulgaris</i>
"	"	"	"	"	III	7		<i>Stichococcus bacillaris</i>
3	500	10	176	1160	I	7,8		<i>Aphanocapsa</i> sp.
"	"	"	"	"	III	7		<i>Chlorococcum</i> sp.
"	"	"	"	"	III	7		<i>Phormidium luridum</i> f. <i>nigrescens</i>
"	"	"	"	"	III	7		<i>Aphanocapsa</i> sp.
1	100	10	175	1150	I	7	17	<i>Chlorella vulgaris</i>
"	"	"	"	"	III	7		<i>Phormidium luridum</i> f. <i>nigrescens</i>
2	controle	0		0	—	—	—	geen ¹

¹ negatief in alle media

aangetroffen (7 x op 1 m³ lucht). Het grootste aantal kiemen werd op 500 m hoogte aangetroffen, waaronder de mossoort *Funaria hygrometrica* en de varen *Polystichum Filix-mas*.

Proeven in de Verenigde Staten van 1956 tot 1969

Bij voorbereidende onderzoeken in 1956 door Schlichting (1958) werd de invloed van watervogels op de verspreiding van algen en protozoën onderzocht. Van 1960 tot 1967 werden de proeven voortgezet (Schlichting, 1961, 1964, 1969). Als vangapparaat werd een gemodificeerde 'airwasher' volgens Rettger gebruikt en een ultrafilter ('Millipore Filter', type AA met 0,45 µm poriëngrootte). De lucht-

monsters werden genomen op verschillende hoogten (6, 15, 30, 75 en 150 ft). De meteorologische gegevens werden 24 uur vóór en tijdens het nemen van de monsters genoteerd.

Na een vangperiode van 1-3 uur werd de vloeistof uit de airwasher overgebracht in steriel bodemextract. De helft van de filter werd onderzocht met de microscoop, de andere helft werd in bodemextract gebracht. Het cultiveren duurde negen maanden.

Het grootst in aantal en het grootst in verscheidenheid waren de algen en de protozoën in Noord-Amerika in het droge stoffige deel van Texas (0,8 cellen/ft³), minder in Michigan (0-1,8 cellen/ft³) en het minst aan de kust (op een boot) van Noord-Carolina (minder dan 0,41 cellen/ft³).

Naar aanleiding van zijn uitkomsten is Schlichting van mening, dat niet zozeer de windrichting en de windsnelheid een aanwijzing geven voor de grote hoeveelheid aëroplankton, maar vooral sterke turbulente luchtstromingen. Wordt juist in een dergelijke luchtstroming een luchtmonster genomen, dan verklaart dit het grote aantal kiemen op een bepaalde hoogte (zoals de waarneming op 500 m bij het onderzoek in Leiden, 1936). Daarom is bij het nemen van luchtmonsters, het noteren van de micro-meteorologische waarnemingen van groot belang.

Uit een overzicht van de onderzoeken tussen 1910 en 1968 (Schlichting, 1969) in Duitsland, Nederland, de Verenigde Staten en Taiwan bleken in totaal uit de atmosfeer 187 soorten algen en protozoën gecultiveerd te zijn. Resumerend wijst Schlichting op het belang van deze micro-organismen in de atmosfeer voor de mens.

- 1 In verband met allergische aandoeningen.
- 2 Door toename van de radioactiviteit (algen kunnen in korte tijd radioactief worden).
- 3 Door het verstoppert van filters in zuiveringsinstallaties.
- 4 Als hulpmiddel om de oorsprong van orkanen en stormen te bepalen.
- 5 Als indicatoren voor kleine chemische verontreinigingen in de atmosfeer, waarvoor algen uiterst gevoelig zijn.
- 6 Omdat ze een bijdrage leveren tot de kennis van de verspreiding van micro-organismen over de hele wereld.

Verspreiding van insecten door de lucht

DR. IR. L. BRADER

Inleiding

Het is onmogelijk om binnen deze beperkte ruimte een volledig beeld te geven van alle publikaties over de verspreiding van insecten door de lucht. De behoefte hieraan zal ook nauwelijks gevoeld worden, want ingewijden beschikken over het standaardwerk van Johnson (1969), en voor hen met een meer algemene belangstelling zou dit alleen maar een grote hoeveelheid detailgegevens opleveren, zonder enig inzicht in deze materie te verschaffen.

Na een uitvoerige bespreking van de begrippen verspreiding en migratie, komt Johnson tot de conclusie dat een insect bij verplaatsing over grotere afstanden vrijwel nooit de richting kan bepalen waarin het wordt verplaatst. Het zelfstandig bepalen van de richting is door andere onderzoekers (Williams, 1958; Wolfenbarger, 1946) als één van de hoofdverschillen beschouwd tussen migratie en verspreiding. Johnson stelt voor om migrerende insecten te beschouwen als bijzondere exemplaren van de soort, die gedurende hun vlucht vrijwel niet afgeleid worden door uitwendige prikkels die anders leiden tot normaal gedrag, zoals het leggen van eieren en voedselopname. Chapman (1969) constateert, dat er tijdens het volwassen stadium van veel insecten een fase is, waarin het vlieggedrag overheerst over alle andere gedragsvormen. Het vliegen gedurende deze periode wordt migratie genoemd. Andrewartha & Birch (1954) beschouwen migratie eveneens als een speciale vorm van verspreiding, waarbij als criterium wordt gebruikt, dat bij migratie de (vrijwel) gehele populatie zich verplaatst van de ene plaats naar de andere. Van verspreiding in algemene zin wordt gesproken indien een deel van de populatie zich vanuit het oorspronkelijke woongebied verplaatst naar een nieuw gebied.

De 'Nederlandse Werkgemeenschap voor Aërobiologie' omschrijft aërobiologie in haar discussie-nota als de studie van de wijze waarop

de atmosfeer onontbeerlijk is voor de verspreiding van bepaalde organismen, die zelf als zodanig (relatief) passief staan ten aanzien van de atmosfeer als verspreider.

We kunnen dus zeggen, dat die verspreidingen van insecten, waarbij de luchtstromingen en niet het insect in eerste instantie de verspreiding bepalen, tot het werkgebied van de aërobiologie behoren.

De betekenis van de studie van de entomologische aërobiologie is door Wolfenbarger (1971), voorzitter van de Amerikaanse werkgroep, nader omschreven. Daarbij wijst hij vooral op de gemakkelijke verplaatsing van insecten en andere geleedpotigen door de lucht naar nieuwe gebieden, wat belangrijke consequenties heeft voor het ontstaan van plagen in cultuurgewassen, maar ook voor de overbrenging van voor plant en dier schadelijke micro-organismen. Meer kennis van de verspreiding van insecten door de lucht zou een bijdrage kunnen leveren aan het voorspellen van plagen.

Hierbij is het verzamelen van insecten in de atmosfeer van belang, waarbij de resultaten niet los gezien kunnen worden van de mechanismen, die een rol spelen bij het ontstaan van deze luchtfauna, zoals de vliegactiviteit. Deze is van primaire betekenis voor de aanwezigheid van insecten in de lucht. Het is daarom noodzakelijk om de eigen bijdrage van het insect die leidt tot het passieve transport te betrekken in aërobiologische beschouwingen.

Gevleugelde insecten

Op het vliegmechanisme zal in dit verband niet worden ingegaan, wel op de vliegactiviteit en vliegcapaciteit. Diverse in- en uitwendige factoren hebben een invloed op de vliegactiviteit. Na het uitkomen van het volwassen dier is veelal enige tijd nodig voordat de vliegspieren tot ontwikkeling zijn gekomen en het insect bij gunstige uitwendige omstandigheden kan gaan vliegen. Dit is de zogenaamde tenerale periode.

Als belangrijkste uitwendige factoren voor het gaan vliegen kunnen de volgende genoemd worden:

Licht. De vliegactiviteit van insecten wordt in de eerste plaats bepaald door de dagelijkse wisseling van de lichtsterkte. Dit komt duidelijk tot uiting in het onderscheid, dat gemaakt kan worden tussen dag- en nacht-insecten. De kennis van het werkingsmechanisme van deze factor is echter zeer onvolledig; Johnson (1969) behandelt het

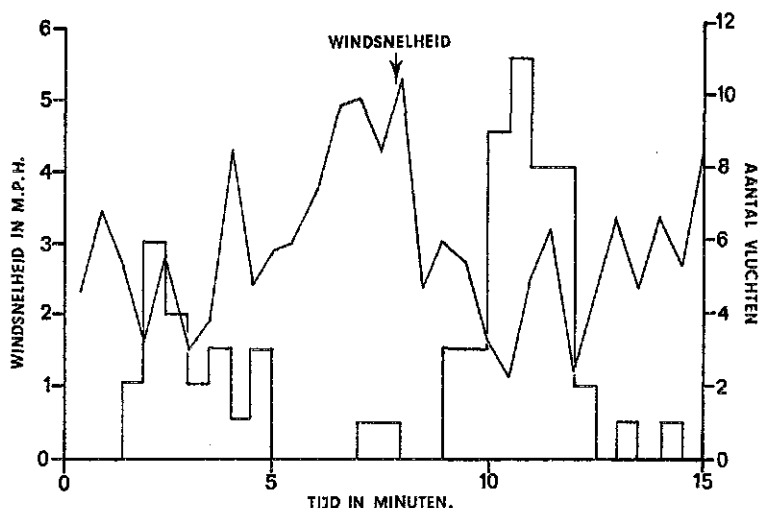


Fig. 1. Verband tussen de vliegactiviteit van sprinkhanen van het geslacht *Nomadacris* en de windsnelheid. Waarnemingen uitgevoerd gedurende op-eenvolgende periodes van 30 sec. (Naar Chapman, 1969.)

effect van zonlicht op de lichaamstemperatuur.

Windsnelheid. In het algemeen kan gesteld worden, dat de vlieg-activiteit van insecten omgekeerd evenredig is aan de windsterkte. De meeste insecten vliegen slechts bij kalm weer en zullen, indien zij daartoe de mogelijkheid hebben, gaan landen bij toenemende windsterkte (fig. 1). Lage windsnelheden scheppen dus in het algemeen gunstige voorwaarden voor de aanwezigheid van insecten in de lucht. Verspreiding over grote afstanden komt tot stand, nadat insecten door atmosferische storingen in hogere luchtlagen of sterkere horizontale luchtstromingen terecht komen. In hoeverre insecten door krachtige windstoten van het aardoppervlak kunnen worden losgerukt, is niet zeker, maar zal vooral afhangen van de aanwezigheid van beschuttingsmogelijkheden. Het is echter wel bekend, dat orkanen van betekenis kunnen zijn voor de verspreiding van insecten over grote afstanden. Hiervan behandelt Hurd (1920) enkele voorbeelden, o.a. de plotselinge verbreiding van de katoensnuitkever (*Anthonomus grandis*) in Texas na de passage van een orkaan in augustus 1915. Ook de bestrijding van de 'Screwworm' (*Cochliomyia hominivorax*)

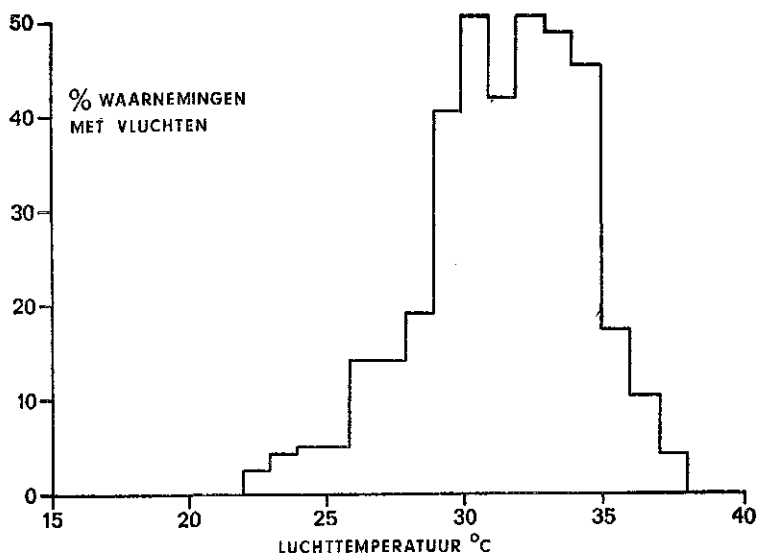


Fig. 2. Verband tussen de vliegactiviteit van sprinkhanen van het geslacht *Nomadacris* en de luchttemperatuur. (Naar Chapman, 1969.)

in Texas, met behulp van de steriele-mannetjes-techniek, ondervindt veel last van aanvoer van nieuwe vliegen uit Midden-Amerika door sterke luchtstromingen.

Luchtvochtigheid. Deze factor blijkt van weinig betekenis voor de vliegactiviteit van insecten; regen heeft een duidelijk negatief effect.

Temperatuur. Binnen de grenzen van het door de lichtintensiteit bepaalde dagritme van de vliegactiviteit is temperatuur de belangrijkste factor. De temperatuur beïnvloedt de lichaamstemperatuur van het insect en brengt daardoor een verandering teweeg in de werking van de vliegspieren. Hierbij kunnen we zowel een ondergrens als een bovengrens onderscheiden (temperatuurdrempels), waarbuiten de vliegactiviteit volledig gestaakt wordt. Dit komt duidelijk tot uiting in het door Chapman (1969) gegeven voorbeeld van de sprinkhaan *Nomadacris septemfasciata* (fig. 2). Het grootste percentage vliegende dieren wordt gevonden tussen 29 en 35°C; beneden 22°C en boven 38°C wordt de vliegactiviteit volledig gestaakt. Deze limieten zijn van soort tot soort sterk verschillend. Taylor (1963) heeft bij een vijftal

insektesoorten veldwaarnemingen verricht en vond onderstaande waarden:

	minimum temp. (°C)	maximum temp. (°C)
<i>Vespa germanica</i> (Duitse wesp)	15,5	niet bepaald
<i>Aphis fabae</i> (zwarte boneluis)	17,5	niet bepaald
<i>Rhagonycha fulva</i> (een weekschild kever)	16,5	25,5
<i>Agrochola lychnidis</i> (een nachtvlinder)	9,0	16,5
<i>Amphipyra tragopaginis</i> (een nachtvlinder)	9,0	21,5

Hij merkt hierbij op, dat de temperatuurdrempel voor een individueel insekt de scheiding is tussen wel of niet vliegen. Boven deze drempel kunnen we dus, rekening houdend met de variatie binnen de groep, een vrij snelle toename van het percentage vliegende dieren verwachten. De oorzaak van de remmende werking van de lage temperatuur moet vooral worden gezocht in de fysiologie van de vliegspier. Enzymen spelen een belangrijke rol bij de energievoorziening van de vliegspier, maar alleen boven een bepaalde temperatuur (Chapman, 1969). De bovengrens wordt vooral bepaald door de maximaal toelaatbare lichaamstemperatuur, waarbij tevens rekening gehouden moet worden met de warmte die tijdens het vliegen wordt geproduceerd. Bij vliegende sprinkhanen blijkt bij een temperatuur van 38°C, de lichaamstemperatuur ongeveer 45°C te bedragen, wat de letale temperatuur erg dicht benadert. Nadat een insekt is gaan vliegen, zal het in geval van een temperatuursdaling beneden de ondergrens het vliegen staken. De door de vliegspieren geproduceerde warmte heeft echter tot gevolg dat deze temperatuurdrempel lager ligt dan die waarbij het betreffende insekt vanuit een rustpositie kan wegvliegen. Dit laatste is duidelijk gedemonstreerd door Cockbain (1961) bij de zwarte boneluis (*Aphis fabae*).

Atmosferische druk. Slechts sterke drukverlagingen blijken enige invloed uit te oefenen op de vliegactiviteit van insecten (Wellington, 1945).

Vliegcapaciteit

Men zou kunnen veronderstellen, dat de vliegcapaciteit van invloed is op de verspreidingsmogelijkheden van een insekt. Deze zal voornamelijk bepaald worden door de voorraden reservevoedsel waarover

het insect kan beschikken. We mogen aannemen, dat bij een grotere vliegcapaciteit niet alleen de mogelijkheid vergroot wordt voor actieve verspreiding over grotere afstanden, maar er tevens een grotere kans is om in sterkere luchtstromingen te raken en passief meegevoerd te worden. Het blijkt echter, dat dit laatste niet gebeurt bij sterke vliegers; in de hogere luchtlagen worden vooral zwakkere vliegers en vleugellose vormen van insecten gevangen. We hoeven hier dan ook niet verder in te gaan op de energievoorziening voor het vliegen.

Ongevreugelde insecten

Hiertoe behoren ook de onvolwassen stadia van de gevleugelde vormen en om praktische redenen worden in dit verband ook de mijten en spinnen tot de (ongevleugelde) insecten gerekend.

Er blijkt grote overeenkomst te bestaan in de wijze waarop gebruik wordt gemaakt van de lucht als transportmedium bij systematisch sterk verschillende groepen. Het onderzoek naar ongevreugelde insecten betrof vooral gevallen, waar economisch belangrijke insecten een onverwacht grote verspreidingscapaciteit bleken te bezitten.

Burgess (1913) heeft in dit verband als eerste onderzoek verricht naar de verspreiding van rupsen van de plakker (*Lymantria dispar*), een belangrijk schadelijk insect van een aantal loofhoutsoorten in Noord-Amerika en elders. Het centrum van de aantasting door dit insect was rond 1900 gelegen in de omgeving van Boston (Mass.), van waaruit een regelmatige uitbreiding werd geconstateerd. Aangezien de wijfjes van *L. dispar* zeer gebrekkige vliegers zijn, werd vooral passief transport van rupsen en eihoopjes op diverse vervoermiddelen verondersteld. Strengere controlemaatregelen hierop hadden echter betrekkelijk weinig resultaat en bovendien bleken nieuwe infecties ver verwijderd van wegen voor te komen. Dit leidde tot een nader onderzoek van het gedrag van de rupsen, waaruit bleek dat jonge rupsen het vermogen hebben om een spinseldraad te produceren, waaraan zij zich door de wind laten vervoeren. Later onderzoek met behulp van lijmvallen toonde aan, dat op deze manier verplaatsingen over afstanden van meer dan 50 km mogelijk zijn (Collins, 1917). Uit recent onderzoek blijkt, dat de spinseldraadproduktie door de conditie van de waardplant wordt bepaald. Het verschijnsel treedt namelijk alleen op bij jonge rupsen, die zich op ontbladerde bomen bevinden (Van der Linde, 1971) en waarbij wij dus kunnen aannemen, dat er

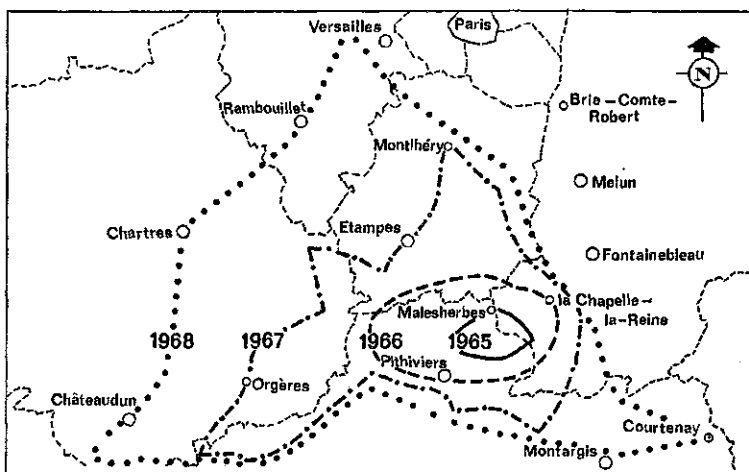


Fig. 3. Regelmatige uitbreiding van de aantasting van graanvelden ten zuiden van Parijs door de bladroller (*Cnephasia pumicana*). (Naar Chambon, 1969.)

sprake is van voedselgebrek.

Ook bij *Cnephasia pumicana*, een bladroller, die sinds 1965 in graanvelden ten zuiden van Parijs vrij aanzienlijke schade veroorzaakt, is bekend dat de vlinders zich weinig verspreiden. Toch heeft deze plaag zich de laatste jaren met een grote regelmaat in westelijke richting uitgebreid (fig. 3).

Chambon (1969) heeft deze uitbreiding nader onderzocht en komt daarbij eveneens tot de conclusie, dat het onvolwassen stadium, de jonge rupsen, zich gemakkelijk laten verspreiden. Het eerste rupsenstadium overwintert tussen diverse plantedelen, binnen een gesponnen cocon. Na hervatting van de activiteit in het voorjaar zijn de rupsen sterk positief fototactisch en kruipen naar de toppen van de stengels. Daar wordt een spinseldraad van 5-15 cm gesponnen, waaraan ze blijven hangen tot ze door de wind worden meegevoerd. De rupsen zijn dan ongeveer 1 mm lang. Door lijmvallen op verschillende hoogtes en afstanden van de infectiehaard te plaatsen, toonde Chambon aan dat de rupsen op deze manier over aanzienlijke afstanden verspreid kunnen worden.

We kunnen wel aannemen dat deze vorm van verspreiding bij vele

andere vlindersoorten voorkomt en misschien zelfs van grotere betekenis is, dan men tot nu toe vermoedde.

Fleschner e.a. (1956) geven een kort overzicht van de literatuur betreffende de verspreiding van spintmijten door de lucht. Daaruit blijkt, dat vrij aanzienlijke hoeveelheden van deze geleedpotigen in de lucht worden aangetroffen, en dat, evenals bij gevleugelde insecten, deze aantallen het grootste zijn bij zwakke winden. De eigen waarnemingen van deze onderzoekers in Californië leverden een groot aantal detailgegevens op.

Een sinaasappelaanplant werd door bespuiten met minerale olie bijna volledig vrijgemaakt van de rode citrusmijt (*Metatetranychus citri*), waarna er voortdurend een nauwgezette controle werd verricht op het opnieuw optreden van deze mijten. De eerste mijten, uitsluitend vrouwtjes, werden 5 maanden na de bespuiting waargenomen op een aantal bomen langs de wegkant; tegelijkertijd werd geconstateerd dat mijten door luchtstromingen over de weg werden aangevoerd. Het bleek, dat er grote aantallen op bomen in een sinaasappel-aanplant aan de overzijde van de weg voorkwamen. Deze mijten hingen bij duizenden aan spinseldraadjes en zwakke luchtstromen voerden deze naar de boomgaard aan de overkant. Deze massale verspreiding duurde verscheidene dagen, wat in korte tijd tot sterke infecties leidde.

Proeven in kassen toonden aan, dat de mijtenpopulatie op een sinaasappelboom vrij geleidelijk stijgt tot een bepaalde dichtheid, waarna plotseling een vrij groot aantal vrouwtjes spinseldraden produceert en door een zwakke luchtstroom wordt meegevoerd, wat een sterke daling van de populatie op de waardplant tot gevolg heeft (fig. 4). De onderzoekers schrijven dit gedrag voornamelijk toe aan een veranderde kwaliteit van het voedsel.

De bruine avocadomijt (*Oligonychus punicae*) vertoont eenzelfde gedrag, overigens alleen onder kalme weersomstandigheden, veelal 's nachts, waarbij spinseldraden van een lengte van meer dan een meter geproduceerd kunnen worden. Van deze soort werd ook duidelijk geconstateerd dat mijten bovendien in opwaartse richting worden meegevoerd, wat de mogelijkheid van verspreiding over grotere afstanden nog aanzienlijk vergroot.

Een andere avocadomijt (*Eotetranychus sexmaculatus*) gedraagt zich vrijwel identiek. Bij een spintmijt (*Tetranychus urticae*) werd daarentegen het spinnen van een speciale spinseldraad in het geheel

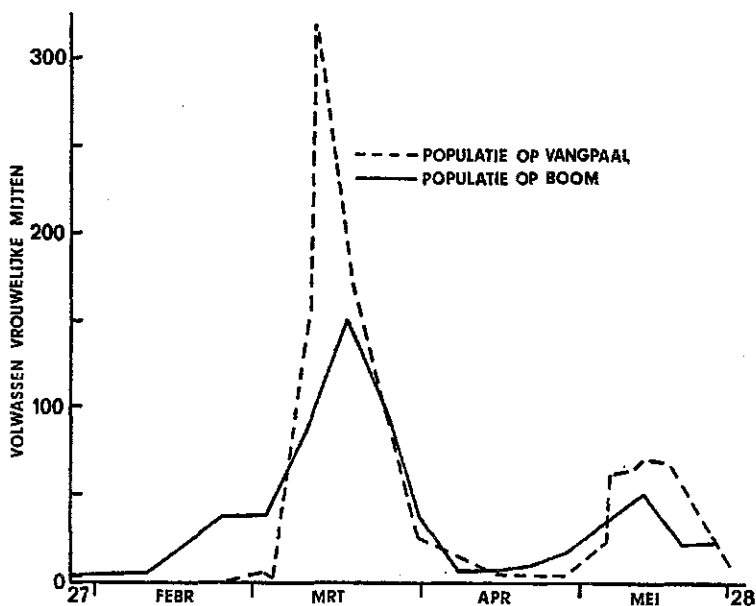


Fig. 4. De gemiddelde aantallen vrouwtjes van de rode citrus mijt (*Metatetranychus citri*) gevonden per 10 bladeren van 6 jonge sinaasappelbomen en op 2,5 meter lange vangpalen opgesteld in de 4 hoeken van de kas. (Naar Fleschner e.a., 1956.)

niet waargenomen.

Verschillende groepen spinnen blijken onder bepaalde omstandigheden eveneens gebruik te maken van een speciaal voor dit doel gesponnen draad om zich door de wind te laten verspreiden. Richter (1970) heeft onder laboratoriumomstandigheden de uitwendige condities voor dit gedrag nader geanalyseerd; hij vond dat voor enkele *Pardosa*-soorten windsnelheden van 0,35–1,10 m/sec optimaal waren. Bij snelheden boven 3 m/sec zochten de spinnen beschutting achter diverse obstakels.

Nishiki (1966) beschrijft, dat in Japan verschillende soorten spinnen tegen het eind van oktober naar het uiteinde van diverse uitsteeksels klimmen en daar een spinseldraad produceren. Grote aantallen kunnen op deze manier door de lucht worden vervoerd.

Samenstelling van de insektenfauna en verticale verspreiding in de atmosfeer

Verreweg het grootste aantal publikaties over de samenstelling van de luchtfauna heeft een zuiver beschrijvend karakter. Een verklaring over ontstaan en voortbestaan van deze biomassa wordt doorgaans niet gegeven. Voor het verzamelen van insekten in de atmosfeer worden 3 typen vallen gebruikt: lijmvallen, vangnetten en de laatste jaren zuigvallen. De laatste geven ongetwijfeld de beste resultaten, vooral voor de kleinere insekten, (Taylor, 1951), maar ze kunnen alleen gebruikt worden voor waarnemingen dicht bij het aardoppervlak. Vangsten op grotere hoogtes worden uitgevoerd door vangnetten of lijmvallen te bevestigen aan luchtballonnen, vliegers en vooral vliegtuigen.

Johnson (1969) stelt, dat insekten slechts in de atmosfeer verblijven

Tabel 1. Vangsten van insekten overdag op verschillende hoogtes boven het gebied van Tallulah, Louisiana; bemonsteringstijd 10.000 minuten op iedere aangegeven hoogte. (Naar gegevens van Glick, 1939.)

		Hoogte (voeten)				
		200	1000	2000	3000	5000
<i>Araneida</i>	spinachtigen	612	358	229	96	37
<i>Acarina</i>	mijten	23	13	4	2	0
<i>Diptera</i>	vliegen	5033	1959	1048	580	290
<i>Coleoptera</i>	kevers	2165	514	165	97	53
<i>Hymenoptera</i>	vliesvleugeligen	1602	503	241	112	64
<i>Homoptera</i>	luizen en cicaden	1453	565	370	281	104
<i>Heteroptera</i>	wantsen	535	212	109	56	23
<i>Thysanoptera</i>	thripsen	43	21	10	8	3
<i>Lepidoptera</i>	vlinders	35	12	12	6	1
<i>Psocoptera</i>	stofluizen	30	15	4	8	6
<i>Odonata</i>	libellen	12	6	0	1	0
<i>Thysanura</i>	franjestaaarten	11	15	4	3	0
<i>Collembola</i>	springstaaarten	6	5	4	4	5
<i>Isoptera</i>	termieten	8	6	2	1	0
<i>Orthoptera</i>	rechtvleugeligen	3	5	3	0	0
<i>Neuroptera</i>	gaasvliegen	5	2	0	3	0
<i>Ephemeroptera</i>	haften	2	1	2	0	0
<i>Trichoptera</i>	schietmotten	2	0	0	0	1
<i>Mecoptera</i>	schorpioenvliegen	0	0	0	0	3
<i>Siphonaptera</i>	vlooien	1	0	0	0	0

zolang ze actief vliegen. Deze opvatting is ongetwijfeld juist voor de meeste insecten die we aantreffen op geringe hoogte, (afhankelijk van de soort tot ongeveer 100 m), maar lijkt niet houdbaar voor vele exemplaren, die op grotere hoogte worden aangetroffen. Enkele belangrijke resultaten van de analyses van de luchtfauna zullen dit nader aantonen.

In de Verenigde Staten is gedurende een vijftal jaren met behulp van vliegtuigen een uitgebreide inventarisatie uitgevoerd boven een bepaald gebied in Louisiana; de resultaten zijn weergegeven in de tabellen 1 en 2 (Coad, 1931; Glick, 1939). Dit werk was vooral opgezet voor het verkrijgen van een beter inzicht in de verspreiding van de voornaamste plagen van de katoencultuur. Hierbij was de leidende gedachte, dat de verzamelde gegevens het uitvoeren van bestrijdingsmaatregelen (voornamelijk quarantainevoorschriften) gemakkelijker

Tabel 2. Vangsten van insecten overdag op verschillende hoogtes boven het gebied van Tallulah, Louisiana. (Naar gegevens van Glick, 1939.)

		Hoogte (voeten)				
		7000	9000	11000	13000	15000
Bemonsteringstijd (min)		385	270	224	171	20
<i>Araneida</i>	spinachtigen	1	4	3	0	1
<i>Acarina</i>	mijten	0	0	0	0	0
<i>Diptera</i>	vliegen	25	4	7	6	0
<i>Coleoptera</i>	kevers	4	1	4	0	0
<i>Hymenoptera</i>	vliesvleugeligen	3	2	3	4	0
<i>Homoptera</i>	luizen en cicaden	8	0	1	5	0
<i>Heteroptera</i>	wantsen	2	1	1	0	0
<i>Thysanoptera</i>	thripsen	0	0	1	0	0
<i>Lepidoptera</i>	vlinders	0	0	0	0	0
<i>Psocoptera</i>	stofluizen	0	0	0	0	0
<i>Odonata</i>	libellen	0	0	0	0	0
<i>Thysanura</i>	franjestaanen	0	0	0	0	0
<i>Collembola</i>	springstaarten	1	0	1	0	0
<i>Isoptera</i>	termieten	0	0	0	0	0
<i>Orthoptera</i>	rechtvleugeligen	0	0	0	0	0
<i>Neuroptera</i>	gaasvliegen	0	0	0	0	0
<i>Ephemeroptera</i>	haften	0	0	0	0	0
<i>Trichoptera</i>	schietmotten	0	0	0	0	0
<i>Mecoptera</i>	schorpioenvliegen	0	0	0	0	0
<i>Siphonaptera</i>	vlooien	0	0	0	0	0

zouden maken. Waarnemingen op grote hoogte waren nodig, omdat al meermalen verspreidingen waren waargenomen in een richting, die alleen door hogere luchtstromingen verklaard kon worden.

Het blijkt uit de tabellen, dat vertegenwoordigers van de meeste insectenordes, evenals mijten en spinnen, tot op vrij grote hoogtes in de atmosfeer aangetroffen kunnen worden. Wel nemen deze aantallen met toenemende hoogte vrij snel af. De insecten werden het gehele jaar door gevangen; waarbij de hoogste vangsten in de maand mei en de laagste in de maanden december en januari geregistreerd werden. Grote vangsten in de hogere luchtlagen kwamen vooral voor onder weersomstandigheden, waarbij sprake was van sterke opstijgende luchtstromingen.

Glick berekende uit de verzamelde resultaten, dat in de luchtkolom boven 1 vierkante mijl gemiddeld ongeveer 25 miljoen insecten voorkwamen.

Vleugelloze insecten behorend tot de ordes Thysanura en Collembola, werden vrij regelmatig gevangen tot 5000 voet hoogte; daarnaast kwamen ook grote aantallen larven van Heteroptera, Orthoptera, Coleoptera, Lepidoptera en Diptera in de vangsten voor. Deze vangsten en de aanzienlijke aantallen Araneida en Acarina bevestigen dat geleedpotigen passief tot op grote hoogte boven het aardoppervlak meegevoerd kunnen worden. Glick constateerde bovendien, dat op grotere hoogtes vooral kleinere insecten werden gevangen; de grotere insecten, vooral ook de sterke vliegers bleven dicht bij de grond. Het bleek, dat diverse economisch belangrijke insecten in de hogere luchtlagen werden aangetroffen. De katoenwants (*Lygus pabulinus*) werd tot 5000 voet gevangen; de katoenluis (*Aphis gossypii*) kwam regelmatig voor tot op 3000 voet, één exemplaar werd op 13.000 voet gevangen; de katoensnuitkever (*Anthonomus grandis*) bleek tot op 2000 voet aanwezig te zijn. Deze door Glick gepubliceerde gegevens vormen verreweg het meest volledige materiaal over de verticale luchtverspreiding van insecten.

Hardy & Milne (1938) hebben in Engeland gegevens verzameld met behulp van aan vliegers bevestigde netten. Met deze techniek konden zij tot op 1500 voet hoogte insecten vangen. Evenals Glick constateerden zij, dat 'aëroplankton' voornamelijk bestaat uit kleine insecten, die overigens bekend staan als zwakke vliegers.

De Franse onderzoeker Berland (1935) was tot dezelfde conclusie gekomen en stelt, dat de kleinere insecten door een gunstigere opper-

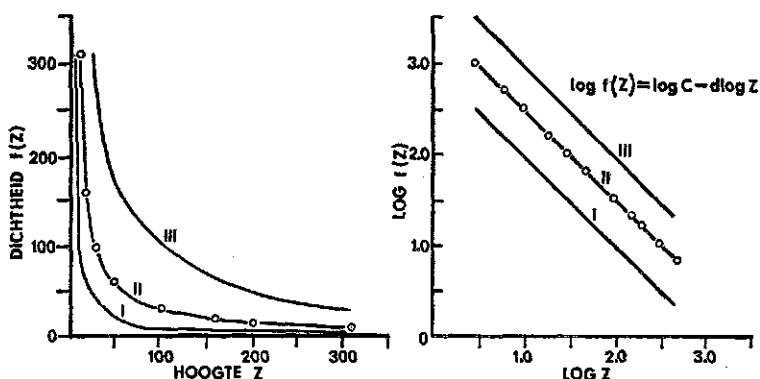


Fig. 5. Hypothetische krommen voor de insekten-dichtheid $f(Z)$ op verschillende hoogten uitgaande van de empirisch opgestelde formule $f(Z) = C(Z)^{-d}$ (links). Krommen I, II en III gelden voor verschillende waarden van de dichtheid op hoogte 0, afhankelijk van de soort en de omstandigheden. (Naar Johnson, 1969.)

vlaktes/gewicht verhouding een grotere kans hebben om door opstijgende luchtstromingen te worden meegevoerd. Hij stelt voor om te spreken van een 'zône entomologique terrestre', die zich tot ongeveer 300 m hoogte zou uitstrekken, waarbinnen insekten de richting van hun vlucht kunnen bepalen. Daarboven ligt de 'zône planctonique', waarbinnen de insekten geen enkele weerstand kunnen bieden aan de weerselementen. Deze scheiding is echter weinig zinvol, daar deze verdeling van soort tot soort verschillend zou moeten zijn en bovendien sterk afhankelijk is van het heersende weertype.

Een analyse van uitgebreide gegevens over de verticale verspreiding van insekten in de lucht, zoals die van Glick, geeft aan dat er voor de diverse groepen van insekten sprake is van een duidelijk verband tussen de dichtheden op verschillende hoogtes (fig. 5). Johnson (1957) heeft voor de beschrijving van deze dichtheidsprofielen de volgende formule ontwikkeld:

$$\log f(Z) = \log C - d \log Z$$

$f(Z)$ = dichtheid op hoogte Z

C = dichtheid op hoogte 0

d = regressiecoëfficiënt log hoogte/log dichtheid (deze moet voor elke groep of soort empirisch bepaald worden)

Deze formule geeft de mogelijkheid aan om met behulp van metingen op 2 verschillende hoogtes een goede schatting te geven van de hoeveelheid zich in de lucht bevindende insecten. Voor economisch belangrijke soorten is dit vooral van betekenis voor het voorspellen van mogelijke invasies. Hierbij moeten wij ons echter wel realiseren, dat een dergelijk verband alleen te leggen is, indien we werken met gemiddelden van een grote reeks waarnemingen. In individuele gevallen kunnen vrij sterke afwijkingen van dit schema gevonden worden, waarbij de gevonden relatie een schijnbaar goed verband oplevert (Johnson, 1969).

Horizontale verspreiding van insecten in de lucht

Horizontale verspreiding over grote afstanden is door diverse onderzoekers waargenomen. Elton (1925) constateerde bij zijn onderzoekingen op Spitsbergen een plotselinge invasie van de bladluis (*Dilachnus piceae*) en van de zweefvlieg (*Syrphus ribesii*), beide onbekend in de fauna van Spitsbergen en Groenland. Nauwkeurige analyse van het weertype in de dagen voorafgaande aan deze invasie, bracht Elton tot de conclusie dat deze insecten afkomstig moesten zijn van het Kola schiereiland, gelegen bij de Witte Zee en meer dan 1200 km van Spitsbergen verwijderd. Gezien de windsnelheid was het waarschijnlijk dat er slechts 12-14 uur nodig was geweest om deze afstand te overbruggen.

Felt (1923) geeft een overzicht van het opnieuw vestigen door insecten in het gebied rond de Krakatau na de uitbarsting van 1883. In 1908 werden verschillende soorten insecten op dit eiland gevonden, waarvan ongeveer 20% vleugelloze. Mede op grond van gegevens van vangsten op zee en in woestijnen concludeert hij, dat vele insecten betrekkelijk ongericht verspreid worden.

Voor de kust van Florida is de herkolonisatie door insecten na volledige vernietiging van de fauna op een aantal eilanden bestudeerd (Simberloff & Wilson, 1969). Hierbij bleken zowel zwakke als sterke vliegers vrij spoedig weer op de eilanden te worden aangetroffen, voornamelijk als gevolg van passief transport door de lucht.

Hardy & Milne (1937) vingen in netten aan scheepsmasten verschillende insecten op de Noordzee. Het verst van de kust verwijderd, ongeveer op 200 km, werden voornamelijk luizen, kleine vliegen, gaasvliegen en Microlepidoptera gevangen.

Belangrijke onderzoeken over de horizontale verspreiding van insecten door de lucht worden door Australische onderzoekers verricht. Door middel van op schepen bevestigde netten worden regelmatig vangsten uitgevoerd op verschillende afstanden van het vaste land. Vrij regelmatig vangt men op deze manier insecten op meer dan 1000 km van het vaste land. Het valt ook in deze gegevens op, dat zwakke vliegers, voornamelijk kleinere Homoptera, ver van het vaste land verwijderd worden aangetroffen, evenals spinnen (Holzapfel e.a., 1970; Guilmette e.a., 1970). Bij de horizontale verspreiding van insecten blijkt er dus eveneens een grote rol toegekend te moeten worden aan het passief meevoeren door de lucht.

In dit verband wordt een speciale plaats ingenomen door de massale verplaatsingen van insecten, die in de literatuur als trek of migratie worden omschreven. Hierbij wordt de rol van de wind als verspreider in een bepaalde richting veelal van geen betekenis geacht. In de inleiding is reeds gesteld, dat er wel degelijk rekening moet worden gehouden met de windrichting.

Het duidelijkste voorbeeld hiervan is ongetwijfeld de woestijnsprinkhaan (*Schistocerca gregaria*). Rainey (1963a) heeft de diverse gegevens hierover samengevat. Deze sprinkhaan komt voor in een gebied, dat zich uitstrekt van Afrika benoorden de equator via het Midden-Oosten tot en met India. Zwermen van middelmatige grootte beslaan een oppervlakte van circa 20 km² en bevatten ongeveer 10⁹ sprinkhanen, met een totaalgewicht van 2.000 ton. De grootste zwermen kunnen meer dan 1.000 vierkante km beslaan. De sprinkhanen in een dergelijke zwerm eten dagelijks ongeveer hun eigen gewicht aan voedsel, terwijl sprinkhanen circa 6 maanden leven. Verplaatsingen over een afstand van 3500 km in een periode van ongeveer 30 dagen zijn vrij normaal. In 1951 bracht Rainey de hypothese naar voren, dat de zwermen zich zouden verplaatsen met de heersende windrichting, wat de nauwe en nuttige (althans voor zover het de sprinkhanen betreft) samenhang veroorzaakt tussen de richting van de zwerm en regenval. Hij heeft 9 voorbeelden van zwermverplaatsingen geanalyseerd en toont aan, dat de heersende windrichting bepalend is voor de richting waarin de zwerm zich verplaatst (fig. 6). Tevens blijkt duidelijk, dat verreweg de meeste zwermen zich ten opzichte van de grond verplaatsen met een snelheid, die kleiner is dan de windsnelheid, hoewel de windsnelheid meestal kleiner was dan de vliegsnelheid. Een verplaatsing onafhankelijk van de windrichting zou dus zeer wel moge-

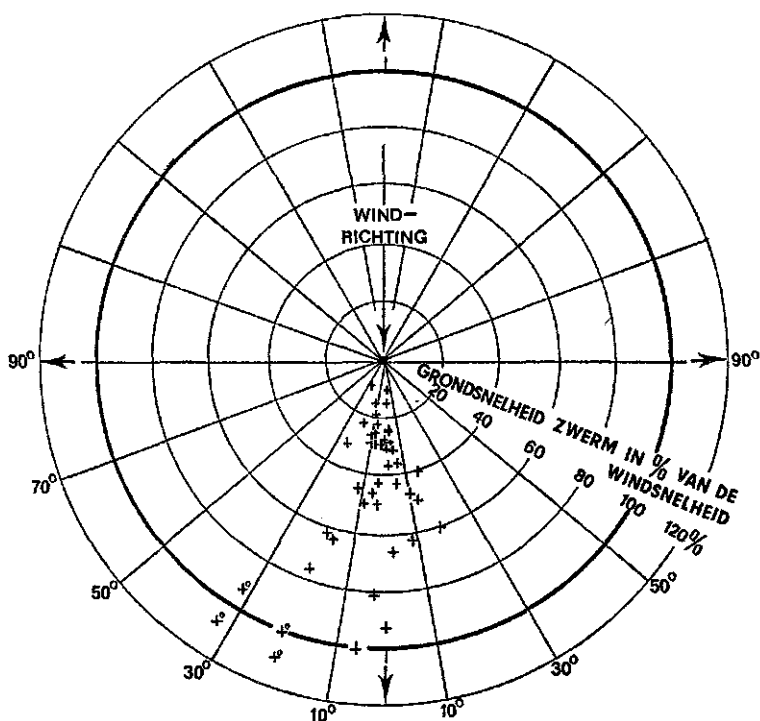


Fig. 6. Richting en snelheid van de verplaatsing van individuele zwermen van de woestijnsprinkhaan (*Schistocerca gregaria*) afhankelijk van de windrichting (+° zwermen hoger vliegend dan 900 m). (Naar Rainey, 1963.)

lijk zijn geweest. De lage grondsnelheden worden overigens voor een belangrijk deel toegeschreven aan de karakteristieke onderbroken vlucht van sprinkhanen, waarbij onder een zwerm altijd grote aantallen op de grond aangetroffen worden. Deze door de windrichting bepaalde verplaatsing verklaart ook, waarom het broedseizoen en de broedplaatsen in Afrika zo nauw verbonden zijn met de ligging van de intertropische convergentiezone (Rainey, 1963b).

Hurst (1969) rekent de insecten, wat hun manier van verspreiding door de lucht betreft, als intermediair tussen materiaal als sporen of stuifmeelkorrels en vogels. Hierbij denkt hij in de eerste plaats aan trekvlinders en behandelt als voorbeeld *Danaus plexippus*, één van

de bekendste trekkers uit Noord-Amerika. Deze vlinder brengt de winter door in de zuidelijke streken van Noord-Amerika en keert in het voorjaar terug naar Canada. Ook bij dit insect blijkt de gunstige windrichting op het juiste moment de verspreiding in belangrijke mate mogelijk te maken.

Dit blijkt overigens ook duidelijk voor de vlinder *Spodoptera exempta*, een schadelijk insect voor grasland en bepaalde voedselgewassen in Oost-Afrika. Het tijdstip van massale trek valt samen met het moment, waarop de heersende wind uit de voor het insect gunstige richting waait (Brown & Swaine, 1966).

Ook de verplaatsingen van de dagpauwoog (*Inachis io*) en van de rouwmantel (*Nymphalis antiopa*) blijken bepaald te worden door de heersende windrichting (Roer, 1969, 1970).

Hurst trekt dan ook de conclusie, dat de meeste migraties bepaald worden onafhankelijk van het insect, althans nadat het is gaan vliegen. Hieruit kunnen we overigens ook de conclusie trekken, dat plotselinge storingen in het weerbeeld voor de soorten, die voor hun voortbestaan van deze migratie afhankelijk zijn, grote nadelige gevolgen hebben.

In 1958 had een plotselinge zeer grote invasie plaats van de koolmot (*Plutella maculipennis*) in oost Schotland. Er werden 5-10 exemplaren per inch² gevonden (French, 1967). Na een nauwkeurige studie van de weerkaarten van de voorafgaande dagen kwam men tot de conclusie, dat deze insecten afkomstig waren uit een gebied ten oosten van de Baltische Zee, circa 1500 km verwijderd, een afstand die in 3-4 dagen afgelegd moest zijn.

Een kleinere invasie, waarbij eveneens duidelijk de grote betekenis van de heersende windrichting werd gedemonstreerd, was die van een nachtvlinder (*Spodoptera (Laphygma) exigua*) in mei 1962 in zuid Engeland. Het insect, dat daar normaal sporadisch voorkomt, werd plotseling in grote aantallen aangetroffen. Het bleek, dat er de voorafgaande dagen een vrij constante zuid-westelijke wind had geheerst, en enkele dagen daarvoor een oost-noord-oostelijke luchtstroom boven Marokko. Daarmee was de vlucht van deze vlinder nauwkeurig te reconstrueren; het brongebied lag bij de kust van Marokko en het totale traject was in circa 5 dagen afgelegd, met een gemiddelde snelheid van ongeveer 35 km/uur (fig. 7).

Bij deze twee laatste voorbeelden kunnen we nauwelijks spreken van migratie, noodzakelijk voor het voortbestaan van het insect. We

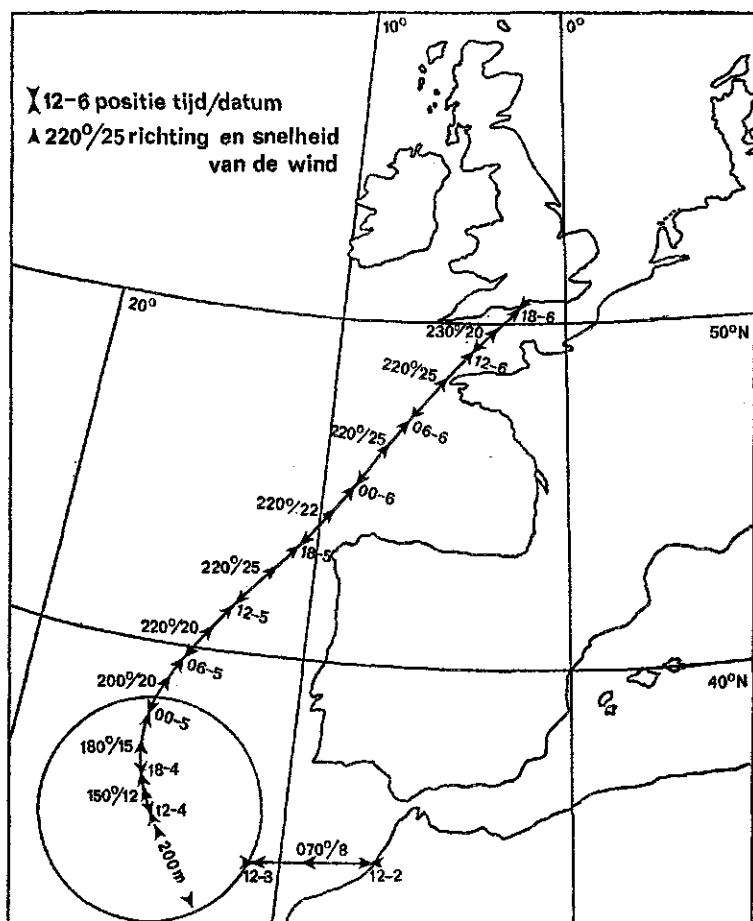


Fig. 7. Verplaatsing van een 'zwerm' van een nachtvlinder (*Spodoptera exigua*) van 2 tot 6 mei 1962. De vlinders werden vanaf 6 mei 18.00 uur aan de zuidkust van Engeland gevangen. Aan de hand van weergegevens betreffende de voorafgaande dagen kon berekend worden, dat deze dieren 2 mei omstreeks 12.00 uur uit Marokko vertrokken waren. (Naar French, 1967.)

hebben hier ongetwijfeld te maken met twee toevallige verspreidingen, veroorzaakt door voor het insect ongunstige weersomstandigheden.

Deze verplaatsingen over zeer grote afstanden van als trekkers bekend staande soorten geven overigens een nog veel duidelijker bewijs van de extreme mogelijkheden voor een passieve verspreiding van insecten. De ontwikkelingstoestand van het insect op een bepaald moment in zijn levenscyclus is bij al deze voorbeelden ongetwijfeld van primaire betekenis. Maar de verspreiding als zodanig, althans wat de richting betreft, lijkt voornamelijk door de verspreider, in dit geval de lucht, bepaald te worden en kan derhalve over onverwacht grote afstanden plaats vinden.

Betekenis van de luchtverspreiding van insecten

Studies over de luchtverspreiding van insecten worden doorgaans uitgevoerd met het doel om een beter inzicht te krijgen in de betekenis hiervan voor de bestrijding van insecten. Dit wordt o.a. duidelijk gedemonstreerd door de waarnemingen in Texas en Mexico over de verplaatsingen van de roze katoenbolrups (*Pectinophora gossypiella*) (Glick, 1939, 1957). De resultaten van dit onderzoek hebben een duidelijk inzicht gegeven in de betekenis van quarantaine-gebieden en hebben geleid tot een zeer doelmatige bestrijding van dit insect.

Johnson (1969) merkt op, dat vrijwel de gehele aardoppervlakte onderworpen is aan een continue regen van insecten, die vrijwel onopgemerkt blijft.

In bijna alle behandelde voorbeelden merken de onderzoekers op, dat de gevangen insecten levend zijn en blijkbaar geen schadelijke gevolgen ondervinden van hun transport door hogere luchtlagen. Binnen de continenten kunnen we dan ook verwachten, dat insecten zich in het gebied, waar zij gunstige levensvoorwaarden vinden, ongestoord kunnen verspreiden en deze verspreiding zal zeker niet verhinderd worden door quarantainerestricties aan de verschillende landsgrenzen (Johnson, 1967). De betekenis van de kennis van de luchtverspreiding moet vooral gezocht worden in het tijdig voorspellen van deze verplaatsingen. In dit verband hebben de regelmatige waarnemingen over de vluchten van bladluizen in Engeland en Nederland, met behulp van zuigvallen, reeds grote diensten bewezen bij het tijdig nemen van bestrijdingsmaatregelen tegen deze overbrengers van virusziekten in landbouwgewassen.

Steeds meer wordt bij het onderzoek naar de bestrijding van insecten de nadruk gelegd op het zoeken naar andere dan chemische bestrijdingsmethoden. De toepassing van de nu bekende technieken vereist meestal een goede kennis omtrent de mogelijkheid van immigratie van soortgenoten in een eenmaal behandeld gebied. Het zal duidelijk zijn, dat de passieve luchtverspreiding hierbij vaak de grootste onbekende is. De studie hiervan zal dan ook voor het bepalen van het te voeren beleid inzake deze nieuwe methoden onontbeerlijk blijken.

Herkomst, verspreiding en gevolgen van chemische luchtverontreinigingen

PROF. DR. J. G. TEN HOUTEN

Inleiding

Bij de behandeling van de verspreiding van levend materiaal in de atmosfeer kan niet worden ontkomen aan een beschouwing over de rol die chemische verontreinigingen daarbij spelen.

Ook vaste deeltjes in de vorm van stof zijn soms van belang omdat ze als condensatiekernen fungeren, waardoor bewolking en zelfs regen kunnen ontstaan. In de daarbij gevormde waterdruppeltjes kunnen zowel levende en dode vaste deeltjes als sommige gasvormige stoffen (waaronder SO_2 , NO_2 , HF en HCl) worden opgenomen, die met de neerslag het aardoppervlak bereiken. Een interessante vraag daarbij is, wat er gebeurt met niet in water oplosbare gassen als koolwaterstoffen, CO, CO_2 , mercaptanen (stinkstoffen!) en ethyleen. Gewoonlijk zullen die aan allerlei oppervlakken worden geadsorbeerd, maar er zijn aanwijzingen dat een deel ervan in de hogere luchtlagen aanwezig blijft, zoals door Rutten (1970) is verondersteld voor CO_2 en wat men in ieder geval mag verwachten van bepaalde componenten van de uitlaatgassen van hoogvliegende straalvliegtuigen. Helaas is hierover nog weinig bekend.

Vaste chemische deeltjes kunnen direkt schadelijk zijn, maar ook hierover zijn nog betrekkelijk weinig gegevens beschikbaar. Vermeld dient te worden, dat cementstof soms aanleiding kan geven tot verstopping van huidmondjes van bladeren, terwijl de werking van het voor mens en dier zo giftige loodoxyde uit de uitlaatgassen van auto's neergeslagen op de planten langs de grote wegen alom bekend is.

Bij iedere beschadiging van planten veroorzaakt door gasvormige (en andere) luchtverontreinigingen spelen de weersomstandigheden natuurlijk een belangrijke rol, vooral de temperatuur, de windsterkte en de luchtvochtigheid. Er zal gelegenheid zijn daar nog nader op te wijzen. Minder bekend is, dat ook de ouderdom en de voedingstoe-

stand van het blad van belang zijn, terwijl zelfs de aard van de bodem en de bemesting een rol kunnen spelen. Dit zijn echter onderwerpen die buiten het kader van deze bijdrage vallen.

Herkomst, aard en verspreiding van chemische verontreinigingen

Chemische luchtverontreiniging ontstaat bij allerlei industriële processen, bij het stoken van verwarmingsinstallaties voor woon- en werkruimten en in kassen, en bij gebruik van niet-elektrische transportmiddelen, zowel op de weg als op het water en in de lucht. Van deze laatste dienen behalve de voornaamste vervuiler, het gémotoriseerde wegverkeer, ook water- en luchtverkeer genoemd te worden. Daar is als 'nieuwe' vervuiliingsbron de bio-industrie bijgekomen, die door een hoge concentratie van dieren (vooral kippen en varkens) zoveel gasvormige stoffen, waaronder ammoniak, in de lucht brengt, dat naast stankoverlast ook schade aan gewassen op naburige bedrijven kan optreden. Dit komt hier verder niet ter sprake. Sommige verontreinigingen komen vrijwel overal voor, zoals die veroorzaakt door auto's en huisbrandinstallaties: men kan ze algemeen noemen. Andere zijn vooral lokaal van belang, zoals die veroorzaakt door bepaalde industrieën.

Van algemene bronnen zijn afkomstig: zwaveldioxyde (SO_2), stikstofdioxyde (NO_2), ethyleen, koolwaterstoffen, ozon, peroxyacetylnitrat (PAN), roet en loodoxyden. Lokale verontreinigingen zijn bijvoorbeeld: waterstoffluoride (HF), zoutzuur (HCl), ammoniak, cementstof en vlieggas (o.a. ijzer- en andere metaaloxiden). Ook het eerder genoemde SO_2 en de koolwaterstoffen kunnen van een lokale bron afkomstig zijn.

Sommige van deze verontreinigingen komen voor in gasvorm, andere als vaste of vloeibare deeltjes. Als de laatste klein genoeg zijn (1-10 μm) vormen ze met de lucht een vaak zeer stabiele 'aërosol' die veel licht kan absorberen, wat een verminderde plantengroei tot gevolg kan hebben die, vooral als ze samen met grotere deeltjes op het glas van kassen neerslaan, aanzienlijk kan zijn.

Als de meteorologische omstandigheden ongunstig zijn, kunnen luchtverontreinigingen zich over grote afstand verplaatsen. Zo is de verlaging van de pH van sommige Zweedse meren waarschijnlijk te wijten aan de verzuring van regendruppels in SO_2 -bevattende luchtstromingen die van de industrieconcentraties in Engeland, Nederland

en Duitsland afkomstig zijn.

Wat in vorige bijdragen over het transport van schimmelsporen, pollenkorrels en kleine insecten is gezegd, geldt in principe ook voor chemische luchtverontreinigingen. Maar er is één belangrijk verschil: speciaal gasvormige verbindingen kunnen ook gevaarlijk worden wanneer er nauwelijks luchttransport plaats vindt, m.a.w. tijdens een zeer stabiele atmosferische toestand, vooral als een inversielaag niet te hoog boven het aardoppervlak aanwezig is, bijvoorbeeld op 80–200 m. De verontreinigingen kunnen dan niet opstijgen of weggevoerd worden. Treedt zo iets op bij wolkeloze hemel, dan reageren bepaalde componenten van de verontreiniging, zoals onverzadigde koolwaterstoffen en NO_2 , onder invloed van het ultraviolette deel van het zonlicht met elkaar waarbij een aantal oxydantia ontstaan die aanleiding geven tot de vorming van 'smog'. In die smog kunnen vrij hoge concentraties van aldehyden, ozon en peroxyacylnitraten voorkomen (bij aanwezigheid van SO_2 soms zwavelzuurnevels). Een dergelijke zeer ongewenste gang van zaken is al sedert enkele decennia bekend uit het gebied van Los Angeles en in recente tijd ook uit de omgeving van andere grote bevolkings- en industrie-agglomeraties zoals het Rijnmondgebied. Dit kan nadelig zijn voor de volksgezondheid, schade toebrengen aan gewassen en bederf of corrosie van materialen veroorzaken.

Invloed op planten en dieren

Vooralsnog gasvormige verontreinigingen kunnen, door hun vermogen om via de huidmondjes het blad binnen te dringen, ernstige verstoringen van de normale metabolische processen veroorzaken. Dat gebeurt bij verscheidene gasen al bij concentraties van 0,01–0,1 delen per miljoen (zie tabel 1).

Een uitzondering vormt waterstoffluoride, dat niet alleen door de huidmondjes maar door het gehele bladoppervlak binnen kan dringen; het wordt dan naar de bladranden getransporteerd en daar vastgelegd. Zodra een bepaalde drempelwaarde is overschreden, treden daarbij verbrandingsverschijnselen op (plaat 4¹). Vandaar dat die beschadigingen zowel voorkomen na kortdurende begassing (6 uur) met HF -concentraties van 15 delen per miljard als na langdurige begassing.

¹ Plaat 4–8 tussen p. 88 en 89.

Tabel 1. Minimum concentraties van gasvormige verontreinigingen nodig voor het verwekken van schade. (Naar Heggstad, 1971.)

Gas	Concentratie	Tijdsduur
<i>Ozon</i>		
Tabak (Bel-W3)	0,05 ppm	4 uur
Tabak (Bel-W3)	0,08 ppm	2 uur
Pinto-boon	0,08 ppm	4 uur
Radijs	0,08 ppm	2 uur
Weymouthden	0,10 ppm	4 uur
Diverse schimmelsporen	0,10 ppm	
<i>Zwaveldioxyde</i>		
Luzerne	1,25 ppm	1 uur
Luzerne	0,48 ppm	4 uur
Luzerne	0,28 ppm	24 uur
Weymouthden	0,05 ppm	1 uur
In het algemeen is de vegetatie niet gevoelig voor een concentratie beneden 0,30 ppm.		
<i>Fluoride</i>		
Gladiol (vatbaar ras)	0,1 ppb	5 weken
Gladiol (vatbaar ras)	1,2 ppb	enkele dagen
Gladiol (vatbaar ras)	10 ppb	24 uur
HF-concentraties van 1 ppb of minder kunnen gevoelige soorten beschadigen of accumulatie veroorzaken tot 40-500 ppm in voedselgewassen en fluorose bij dieren, speciaal jonge.		
<i>Peroxyacetylnitraten</i>		
Pinto-boon:		
peroxyacetylnitraat	0,10-0,14 ppm	1 uur
peroxypropionynitraat	0,02-0,03 ppm	1 uur
peroxybutylnitraat	0,01-0,03 ppm	1 uur
<i>Ethyleen</i>		
Orchidee	0,05 ppm	6 uur
Anjers	0,1 ppm	6 uur
<i>Stikstofoxyde</i>		
Pinto-boon en tomaat	0,5 ppm	10-12 dagen
Pinto-boon	6 ppm	2 uur (zon)
	3 ppm	2 uur (donker)
<i>Chloor</i>		
Radijs	0,10 ppm	2 uur
Luzerne	0,10 ppm	2 uur
Pinto-boon	0,80 ppm	4 uur

(vervolg op p. 82)

	Concentratie	Tijdsduur
<i>Gasmengsels van SO₂, O₃ en NO₂</i>		
Tabak (Bel-W3)	0,30 ppm SO ₂ + 0,03 ppm O ₃	2 uur
Radijs, tomaat, luzerne	0,10-0,20 ppm SO ₂ + 0,03-0,05 ppm O ₃	4 uur
Tabak (Bel-W3)	0,1 ppm SO ₂ + 0,1 ppm NO ₂	4 uur
Tabak (Bel-W3)	0,05 ppm SO ₂ + 0,05 ppm NO ₂ + 0,05 ppm O ₃	4 uur

ppm = delen per miljoen (parts per million)

ppb = delen per miljard (parts per billion)

(bijvoorbeeld vier maanden) met zeer lage concentraties HF (0,7 delen per miljard). Dat bij een gas als SO₂ dit cumulatieve effect niet of nauwelijks optreedt, is te danken aan het feit dat SO₂ wordt omgezet in onschadelijke sulfaten die vanuit de bladeren naar de wortels worden getransporteerd.

Biologisch interessant is, dat de ene plantesoort sterk reageert op een bepaalde gasvormige luchtverontreiniging, en de andere veel minder, en dat de ene soort voor de ene verontreiniging, de andere soort voor de andere gevoelig is. Bovendien komen er grote verschillen in gevoeligheid voor tussen de rassen van één soort. Dat is vooral van belang bij cultuurgewassen opdat men zo nodig in besmette gebieden alleen de minder gevoelige rassen kan telen. Dit gebeurt inderdaad: bijvoorbeeld ozon-resistente tabaksrassen in de oostelijke Verenigde Staten, minder HF-gevoelige gladioolvariëteiten in het IJmondgebied. Bij appels en peren zijn grote rasverschillen bekend t.a.v. SO₂.

De symptomen die bepaalde gasvormige verontreinigingen tevoorschijn roepen zijn dikwijls zo karakteristiek, dat gevoelige planten als indicatoren voor de aanwezigheid van bepaalde gassen kunnen dienen (Van Raay, 1969; Schönbeck et al., 1970). Zo kon in 1965 aan de hand van karakteristieke verschijnselen bij diverse gewassen en wilde planten voor het eerst de aanwezigheid van peroxyacetylnitraat (PAN) aangetoond worden in het Rijnmondgebied en het Westland. Voordien waren de symptomen alleen uit de Amerikaanse literatuur bekend. Onlangs is deze diagnose bevestigd door middel van kunst-

matige begassing met PAN, een methode die voor alle gasvormige luchtverontreinigingen trouwens het beste geschikt is om de gevolgen van concentraties en inwerkingsduur te bestuderen.

Bij de nu volgende behandeling van de schadelijke werking van de belangrijkste gasvormige luchtverontreinigingen zal niet op hun biochemische werking binnen de plant worden ingegaan, omdat dit buiten het kader van de aërobiologie valt en tot het terrein van de plantepathologie behoort.

Algemene luchtverontreinigingen

Zwaveldioxide (SO_2) is in hoofdzaak afkomstig van de verbranding van zwavelhoudende brandstoffen (in ons land vooral minerale olie) maar kan ook bij industriële processen worden gevormd (zwavelzuurbereiding, stikstofmeststoffenfabrieken). De totale uitworp bedroeg in 1970 voor Nederland 700 000 ton. Typisch voor SO_2 -beschadiging is het afsterven van bladweefsel tussen de nerven waarbij de nerven zelf groen blijven (plaat 5). Het gas schijnt vooral op de bladgroenkorrels in te werken. Voor een gevoelig ras als luzerne is 0,5 dpm SO_2 (= 1300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) gedurende 6 uur voldoende om afsterving van bladweefsels te veroorzaken. Ook gerst, haver, radijs, spruitkool, peen en bepaalde appellassen zijn gevoelig. Van de wilde flora kunnen witte klaver, zwarte nachtschade, ratelpopulier, beuk, spar, lijsterbes, mossen en korstmossen genoemd worden.

Vele mossen en korstmossen zijn tien of meermalen gevoeliger voor SO_2 dan de meest gevoelige vaatplanten (Gilbert, 1969; Skye, 1968). Wel bestaan ook hier grote verschillen tussen de soorten. Zo verdwijnt het mos *Hypnum cupressiforme* al bij een jaarlijks gemiddelde SO_2 -niveau boven 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (= 0,016 dpm) terwijl het korstmos *Parmelia saxatilis* afsterft bij een gemiddelde concentratie van 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; enkele andere soorten houden het nog uit bij 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Rondom onze grote steden en industrie centra ligt het SO_2 -gemiddelde al zo hoog, dat daar geen epifytische korstmossen meer voorkomen. Barkman (1961, 1969) spreekt dan ook van epifytenwoestijnen.

In Canada bleek de omgeving van een ijzergieterij met een jaarlijkse SO_2 -emissie van omstreeks 100 000 ton tot op een afstand van 18 km een opvallende verarming van de flora te vertonen (Gordon & Gorham, 1963), terwijl enkele resistente soorten zich sterk uit-

breidden door het wegvallen van de gevoelige soorten. Het allergevoeligst was de weymouthden (*Pinus strobus*), die tot op een afstand van 55 km niet meer als zaailing werd aangetroffen; de ratelpopulier (*Populus tremula*) ontbrak geheel tot op een afstand van 27 km van het bedrijf. Het sulfaatgehalte van meren en vijvers was tot op een afstand van 4 km het 10-voudige van normaal en de pH van het water bedroeg tot 10 km van het bedrijf maar 3,2 tegen normaal 6,5 buiten het verontreinigde gebied. Van de te verwachten 24 soorten waterplanten kwamen er tot op een afstand van 10 km nog maar een paar voor, nl. *Eleocharis acicularis* f. *submersa* en *Juncus pelocarpus* f. *submersus*, beide onder water groeiende biezesoorten.

In Nederland is alleen tot op enkele kilometers afstand van SO₂ emitterende bedrijven schade aan gewassen geconstateerd, vermoedelijk door de grotere zorg die hier door de industrie aan het opvangen van de schadelijke gassen wordt besteed. Zulke zaken zijn te onderzoeken aan de hand van proefveldjes met een aantal gewassen, die elk voor een bepaalde luchtverontreiniging gevoelig zijn, op verschillende afstanden (in diverse windrichtingen) van de vermoedelijke emissiebron (Ten Houten, 1965). Het opsporen van zo'n bron is mede belangrijk voor het uitkeren van schadevergoedingen aan boeren en tuinders. Bij algemene verontreinigingen is het doorgaans helaas minder eenvoudig de emissiebronnen te identificeren.

Uitlaatgassen van auto's zijn na het zwaveldioxyde de bron van de voornaamste algemene gasvormige verontreinigingen. Het gaat hier om koolmonoxyde (CO), onverzadigde koolwaterstoffen als olefinen (waaronder ethyleen) en stikstofoxyde. Verscheidene van deze stoffen kunnen echter ook afkomstig zijn van de industrie (koolwaterstoffen vooral van olieraffinaderijen en overslagbedrijven).

Behalve ethyleen zijn koolwaterstoffen niet direct nadelig voor planten, maar ze reageren bij aanwezigheid van zonlicht met stikstofoxyden in de atmosfeer waardoor oxyderende stoffen als ozon en peroxyacetylnitraat (zogenaamde fotochemische luchtverontreinigingen) ontstaan, die wél, en al in lage concentratie, beschadiging bij planten veroorzaken. Ook kunnen ze bepaalde planteziekten zoals die door *Botrytis* verergeren (Manning et al., 1969), of dat, zoals bij enkele virusziekten, onder bepaalde omstandigheden doen (Brennan & Leone, 1970). Deze fotochemische luchtverontreinigingen komen later nog ter sprake.

Koolmonoxyde (CO) is voor planten niet vergiftig, voor de mens en warmbloedige dieren daarentegen in hoge mate, omdat het zich met de hemoglobine van het bloed verbindt tot carboxyhemoglobine waardoor het zuurstoftransport wordt geblokkeerd. Daar auto's de voorname bron van dit gas zijn is vooral in drukke steden een te hoge CO-concentratie geconstateerd.

Ethyleen functioneert in de plant als een hormoon dat speciaal bij verouderingsprocessen een rol speelt. Als de concentratie in de atmosfeer oploopt tot 0,1 ppm treden na verloop van tijd vreemde symptomen op zoals epinastie bij tomatenplanten, het gesloten blijven van anjers, niet bloeien van witte Petunia's en bloemknopval bij tomaten en Paulownia's die daardoor in het centrum van Parijs niet meer bloeien.

Stikstofoxyden ontstaan bij alle verbrandingsprocessen als de temperatuur hoog oploopt. Dat gebeurt o.a. in de automotor; vandaar dat het gemotoriseerde verkeer een niet onbelangrijke bron voor stikstofoxyden is. Ook sommige industriële processen geven aanleiding tot de vorming van NO en NO₂. De concentraties in sterk geïrbaniseerde en geïndustrialiseerde gebieden veroorzaken gewoonlijk geen acute schadesymptomen bij planten, maar wel kunnen door een relatief lage concentratie groei-afwijkingen ontstaan. Zo treden bij permanente begassing van tomatenplanten met 0,25 ppm NO₂ bladversmallingen en duidelijke oogstvermindering (plaat 6 en 7), zelfs van $\pm 22\%$ op (Spierings, 1971).

Fotochemische luchtverontreiniging speelt een rol die zeker zo belangrijk is als die van de stikstofoxyden. Het gaat daarbij om reacties met onverzadigde koolwaterstoffen waardoor oxydantia als ozon, aldehyden en peroxyacylnitraten (waaronder PAN) ontstaan. Daar deze stoffen langzaam gevormd worden is het begrijpelijk dat hun concentratie op de plaatsen waar de genoemde reactie-componenten vrij komen niet zo hoog is.

Zo was het ozongehalte tijdens de smogperiode van september-oktober 1971 in Naaldwijk gewoonlijk hoger dan in Vlaarding (Brasser, 1971) waarschijnlijk omdat het luchtpakket waarin ozon werd gevormd zich zeer langzaam vanaf het Rijnmondgebied naar Naaldwijk verplaatste. In Californië, waar de miljoenen auto's de

voornaamste oorzaak voor het ontstaan van ozon zijn, heeft men gevonden, dat de prachtige pijnbomen (*Pinus ponderosa*) van de San Bernardino-bergen op een afstand van meer dan 100 km van Los Angeles bij duizenden afsterven door ozonaantasting van de naalden. Dat wordt daar vooral veroorzaakt door de opstijging van het verontreinigde luchtpakket tegen de hellingen van genoemde bergen.

Uit dit voorbeeld blijkt wederom dat de plaats van emissie van verontreinigingen op grote afstand kan liggen van het centrum van de zgn. immissie, dat is de plaats waar de hoogste concentratie van de verontreiniging op leefniveau wordt waargenomen.

Ozon beschadigt de cellen van het palissadenparenchym; vooral bepaalde tabaksoorten zijn er gevoelig voor (plaat 8) maar ook spinazie die met bladverbranding reageert.

Specifieke luchtverontreinigingen, speciaal waterstoffluoride

Het zou te ver voeren om alle meer specifieke gasvormige luchtverontreinigingen te behandelen. Een uitzondering moet echter gemaakt worden voor waterstoffluoride (HF), een industriegas afkomstig van superfosfaatfabrieken, metallurgische bedrijven (zoals aluminium-smelterijen en hoogovens), steenfabrieken en bepaalde chemische industrieën. Dit gas is buitengewoon schadelijk voor sommige plantesoorten, mede omdat het fluor zich in de plant ophoopt, zodat zelfs een concentratie van één deel per miljard delen lucht bij een inwerkingsduur van enige maanden al duidelijk schadelijke bladverbrandingen veroorzaakt, die bij een gevoelig tulperas tot een oogstreductie van 32% aan bollen bleken te leiden (Wolting, 1971).

Belangrijk is dat dit gas over afstanden van tientallen kilometers met de lucht kan worden vervoerd en zo ver van de plaats van emissie nog de vegetatie kan beschadigen. De Tsjechen Hajduk & Ruzicka (1969) hebben dit nagegaan aan de hand van permanente kwadraten op verschillende afstanden van een aluminiumfabriek. Zoals te verwachten was, bevatten de kwadraten die het dichtst bij de bron lagen het kleinste aantal plantesoorten; daar groeiden alleen een paar resistente grassen, zoals kweek (*Elytrigia repens*), rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en struisgras (*Agrostis*). Verder bleek ook een aantal scherm-bloemigen zoals wilde peen (*Daucus carota*), kleine bevernel (*Pimpinella saxifraga*) en bereklauw (*Heracleum sphondylium*) goed tegen HF bestand te zijn. Voordat de fabriek in bedrijf kwam, groeiden er

gemiddeld 26 soorten per permanent kwadraat. Enige jaren na het inbedrijfstellen was dat niet ver van de fabriek teruggelopen tot enkele soorten. Het frequentie-verloop van die resistente soorten is zeer verschillend. Zij nemen de plaats in van de afgestorven vatbare soorten, maar uiteindelijk bleek bijvoorbeeld de resistente blaassilene met dezelfde frequentie in de biocoenose voor te komen als vóór het optreden van de verontreiniging terwijl fioringras (*Agrostis stolonifera*) zich sindsdien massaal had vermeerderd.

Bij andere onderzoeken werd vooral op de bomen en struiken gelet: zo bleek in Noorwegen dat dennenbossen tot op een afstand van 10-13 km van een aluminiumfabriek volledig afstierven en dat naaldbeschadiging nog voorkwam tot op een afstand van 32 km van de emissiebron.

Ook bijen zijn erg gevoelig voor waterstoffluoride. Kalveren en schapen kunnen ernstige kaak- en beenbeschadigingen krijgen als gevolg van het eten van met fluorverbindingen besmet gras (Tesink, 1954; Ender, 1969). Er zijn aanwijzingen dat ook hazen en herten van deze 'industriële fluorosis' te lijden hebben. Gelukkig geldt ook hier, dat dit gas in Nederland minder ernstige schade veroorzaakt dan elders wel het geval is.

Invloed van chemische luchtverontreinigingen op in de lucht aanwezige micro-organismen e.d.

Chemische verontreinigingen kunnen ook inwerken op de levende wezens in de lucht, zoals schimmelsporen, pollenkorrels en bacteriën, die overigens zelf ook deel uitmaken van de luchtverontreiniging.

Zo zijn er aanwijzingen dat SO_2 de overlevingskansen van sommige plantepathogene schimmels vermindert, maar meer onderzoek hierover is gewenst. Over ozon is iets meer bekend: dit gas bleek de kieming van grote gepigmenteerde schimmelsporen, zoals van *Chaetomium*, *Stemphylium* en *Alternaria*, niet te beïnvloeden, zelfs niet bij concentraties van 1 ppm gedurende 6 uur, maar de kleine, meestal hyaline, sporen van de plantepathogenen *Fusarium oxysporum*, *Colletotrichum lagenarium*, *Verticillium albo-atrum* en *V. dahliae* bleken niet meer te kiemen na slechts enkele uren aan 0,5 of 1 ppm ozon te zijn blootgesteld (Hibben & Stotzky, 1969).

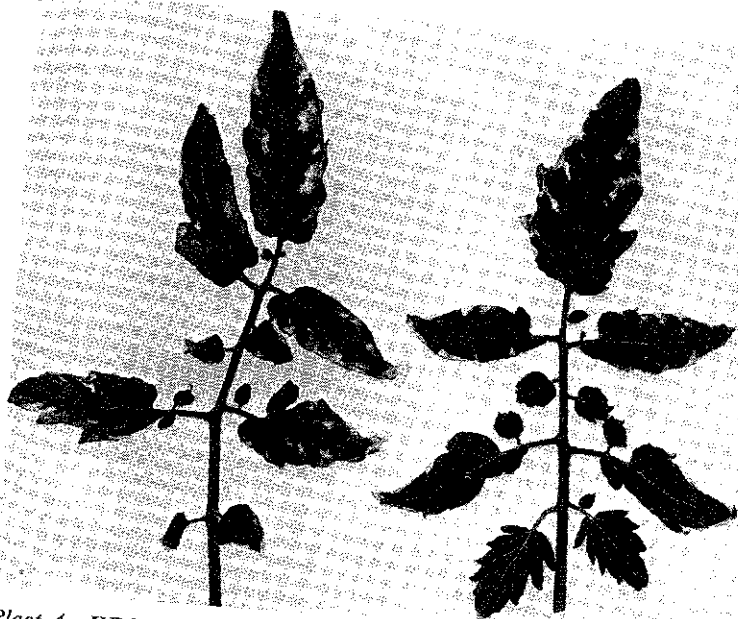
Sharp (1967) vond dat in Montana, gedurende perioden van luchtverontreiniging, niet nader geïdentificeerde in de atmosfeer voorko-

mende ionen van gemiddelde grootte het kiemingspercentage van uredosporen van *Puccinia striiformis* (de oorzaak van gele roest in tarwe) verminderden. Bij vergelijkende proeven in Alaska, waar men alleen kleine ionen in de atmosfeer vond, gebeurde dit echter niet. Aceetaldehyde stimuleerde de groei van de parasitaire schimmel *Sclerotium rolfsii* (Fries, 1971); anderzijds is te verwachten dat formaldehyde bij geringe concentraties in de atmosfeer een fungistatische of fungitoxische werking zal uitoefenen. Het lijkt de moeite waard, dit nader te onderzoeken omdat aldehyden als componenten van fotochemische luchtverontreiniging geregeld in de atmosfeer voorkomen en daarvan is 53-80% formaldehyde, acroleïne of propenal (Guicherit, 1971).

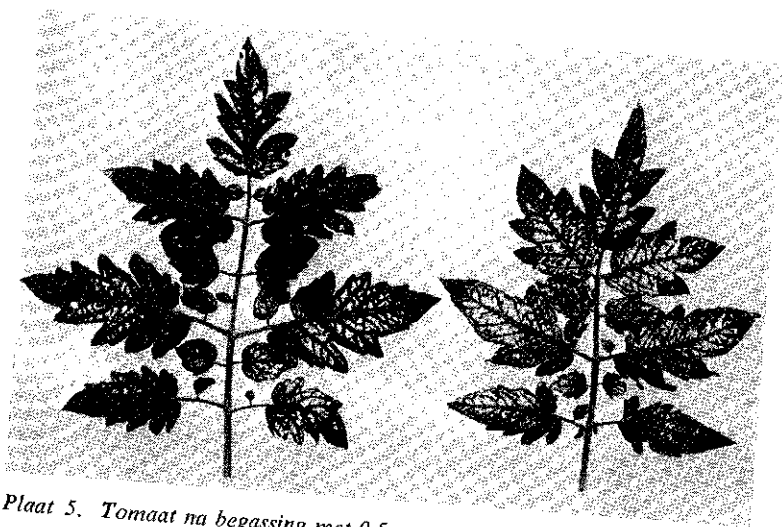
Over de invloed van chemische luchtverontreiniging op de levensvatbaarheid van stuifmeelkorrels is weinig bekend. Wel is gebleken dat ook hier grote verschillen kunnen bestaan. Zo bleek dat stuifmeel van *Lycopersicon pimpinellifolium*, in de bloeiwijze aan 0,1 ppm ozon blootgesteld, een vermindering van de kieming met 40% vertoonde; dat was niet het geval met de meest tolerante variëteit van de tomaat (*Lycopersicon esculentum*). Stuifmeel van beide *Lycopersicon*-soorten op een kunstmatig medium aan 0,1 ppm ozon blootgesteld, reageerde in geen enkel geval (Gentile e.a., 1971).

De invloed van bepaalde gassen op bacteriën is vooral door medische aërobiologen onderzocht (zie Dimmick & Akers, 1969). De bactericide werking van lucht wordt gewoonlijk toegeschreven aan zuurstof. Hess (1965) heeft daarover uitgebreide proeven genomen met bacteriën-bevattende aerosolen en Heckly & Dimmick (1968) toonden aan dat een zuurstofconcentratie van 0,001% in een stikstofatmosfeer al voldoende was om de overlevingskans van drooggevroren *Serratia marcescens* te verminderen.

Op verscheidene plaatsen is men doende de invloed van luchtverontreinigende componenten op de levensvatbaarheid van microben in de atmosfeer te onderzoeken. Bepaalde smog-componenten blijken duidelijk letaal te zijn voor *Escherischia coli* (Druett & Packman, 1968); 2-penteen-ozon was dat al in een concentratie van 1 deel per miljard, maar dat gold niet voor zuivere ozon, zelfs niet in een 10 x zo hoge concentratie. Helaas hebben deze onderzoekers niet met een 100 x zo hoge ozonconcentratie (0,1 ppm) gewerkt: dan zou er waarschijnlijk wel een duidelijk effect zijn geweest, want schimmelsporen van verscheidene soorten blijken bij 0,1 ppm ozon niet meer te kie-



Plaat 4. HF-beschadiging van tomaat na begassing met 10 ppb ('parts per billion', delen per miljard) gedurende 6 uur.



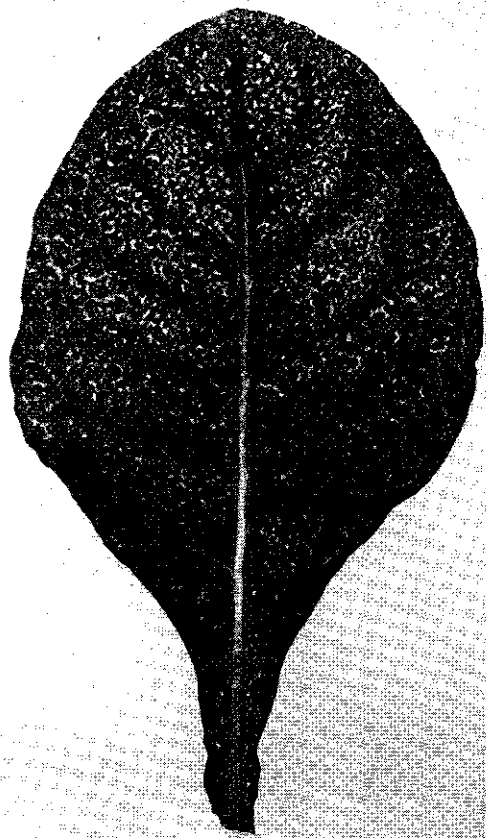
Plaat 5. Tomaat na begassing met 0,5 ppm SO_2 gedurende 6 uur.



Plaat 6. Tomaten in begassingskasje na 4 maanden begassing met 0,25 ppm NO₂.



Plaat 7. Tomaten in begassingskasje na 4 maanden zonder NO_2 begassing (controle).



Plaat 8. Bel W_3 tabak na 6 uur begassing met 0,8 ppm ozon.

men (Heggestad, 1971). Dergelijke ozonconcentraties komen geregeld in de atmosfeer voor.

Het meten van luchtverontreiniging

Wil men iets doen tegen de luchtverontreiniging dan is het noodzakelijk die niet alleen te identificeren maar ook te kwantificeren. Daarbij maakt het veel verschil of men in een gebied met schade aan gewassen de emissiebron wil opsporen of dat men in een complex gebied van industrieën en woonwijken (zoals bijvoorbeeld de Rijnmond) snel bepaalde maatregelen moet kunnen nemen ter bescherming van de volksgezondheid. In het eerste geval kan men een bemonsteringsduur van bijvoorbeeld 24 uur aanhouden of, als het om waterstoffluoride gaat, zelfs met 14-daagse of maandelijkse analyses volstaan. Voor de bepaling van 24-uurs gemiddelden van het SO_2 -gehalte kan het SO_2 worden opgevangen in een met waterstofperoxyde-oplossing gevulde fles, nadat het stof door een filter uit de lucht is verwijderd. Na 24 uur wordt automatisch op een volgende wasfles met filter overgeschakeld. De analyses kunnen dan eens per week worden verricht. Deze methode wordt gebruikt door het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO in Delft. Is het evenwel nodig, de situatie op de voet te volgen ter bescherming van de volksgezondheid, dan is tenminste elk half uur een concentratiemeting noodzakelijk, die dan volledig automatisch moet geschieden. Het hiervoor door TNO ontwikkelde apparaat berust op een chemisch colorimetrisch principe.

De verwerking van grote aantallen meetuitkomsten brengt enige moeilijkheden met zich mee, die hier geen uitvoerige behandeling behoeven. Wel dient te worden vermeld dat naast de bepaling van gemiddelde waarden en piekwaarden ook een frequentieverdeling van de verschillende concentraties van belang is.

Maar zelfs als men beschikt over die waarden, dan nog moet men met het trekken van conclusies voorzichtig zijn. Zo is gebleken dat de SO_2 -concentratie in het Nieuwe Waterweggebied tussen 1962 en 1968 geleidelijk aan verminderde, ondanks de voortschrijdende industrialisatie. De industrie schreef dit toe aan schoner werken en steeds meer overschakelen op aardgas voor verwarming en energieopwekking. Maar het KNMI kon aantonen dat over die periode de gemiddelde windsnelheid, met name in het winterseizoen, van jaar tot jaar enigszins was toegenomen, waardoor het SO_2 beter werd ver-

spreid. Vermoedelijk ligt de waarheid in het midden, maar dit voorbeeld toont duidelijk aan hoe gecompliceerd dit vraagstuk is en hoe voorzichtig men moet zijn met zijn conclusies.

De laatste jaren worden in het westelijk industriegebied niet alleen SO_2 maar ook ozon, NO_2 en een hele reeks koolwaterstoffen gemeten. Ten dele zijn hiervoor al automatische apparaten beschikbaar. Toch komen in dergelijke streken ongetwijfeld nog andere mogelijk schadelijke stoffen in de atmosfeer voor. In de komende jaren zal onze kennis hiervan geleidelijk toenemen. De algemene tendens om steeds strengere eisen aan de industrie te stellen wekt de verwachting dat alles in het werk gesteld zal worden om verontreinigingen van het milieu zoveel mogelijk te beperken.

Tenslotte nog iets over meetnetten. Gewoonlijk zijn die vooral bedoeld voor het meten van chemische verontreinigingen, maar in enkele landen (b.v. in West-Duitsland) meet men op een beperkt aantal plaatsen (fig. 1) ook systematisch het aantal stuifmeelkorrels en schimmelsporen (Stix, 1971). In Nederland is een landelijk meetnet in opbouw bestaande uit ongeveer 250 meetpunten (fig. 2), die ten

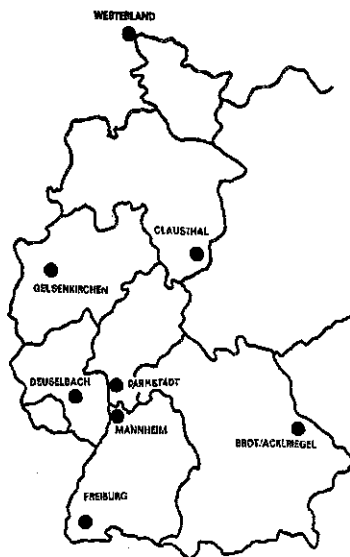


Fig. 1. Acht meetpunten in West-Duitsland, waar de lucht o.a. wordt onderzocht op bestanddelen van biologische oorsprong.

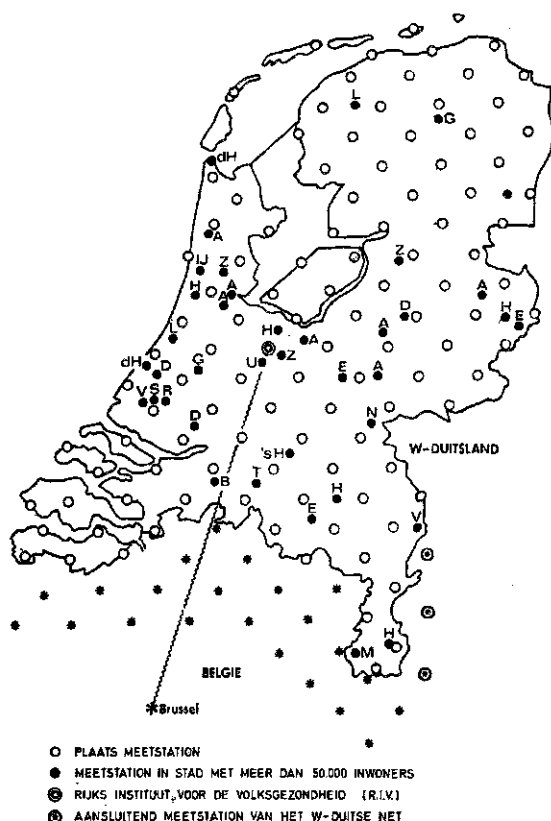


Fig. 2. Luchtmeetkaart van Nederland (zonder regionale verdichtingen).

dele in vierkanten op afstanden van omstreeks 20 x 20 km liggen, met daarnaast nog regionale verdichtingen (Spaander, 1971). Begonnen wordt met coulometrische SO_2 -metingen die via regionale computers en telefoon- of telegraafverbindingen naar de centrale computer van het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid te Bilthoven worden doorgegeven. Later zullen ook ozon, NO_2 en NO worden gemeten. Ons net sluit aan op het Duitse meetnet. Het is de bedoeling op een 25-tal plaatsen eveneens veldjes met indicatorgewassen aan te leggen. Ook in andere landen (o.a. in Engeland en de Verenigde Staten) beschikt men over een landelijk meetnet voor chemische bepa-

lingen. Een ontwerp voor een wereldomvattend meetnet is gemaakt door SCOPE (Special Committee on Problems of the Environment,) een commissie van de International Committee of Scientific Unions (ICSU). Dat zal op de Conferentie van de Verenigde Naties in 1972 in Stockholm worden behandeld. Voor aërobiologen is het van belang kennis te nemen van de Proceedings van een conferentie over 'Aerobiology objectives in atmospheric monitoring' (uitgegeven door Benninghoff en Edmonds, 1971).

Samenvatting

Chemische luchtverontreinigingen van uiteenlopende aard kunnen zich over vaak grote afstanden verplaatsen. Vooral gasvormige hebben op verscheidene plantesoorten, waaronder bomen, een zeer schadelijke werking. Dergelijke verontreinigingen behoeven niet alleen van industrieën afkomstig te zijn: in welvarende dichtbevolkte gebieden spelen ook het gemotoriseerde verkeer en de verwarming van gebouwen een belangrijke rol. Daarbij kunnen verschillende componenten in de atmosfeer samenwerken en tot vorming van 'smog' aanleiding geven.

Luchtverontreinigingen kunnen verder het optreden van parasitaire planteziekten bevorderen, hoewel ze anderzijds de symptomen daarvan kunnen camoufleren.

De gegevens over de invloed van chemische luchtverontreiniging op schimmelsporen, bacteriën en pollenkorrels in de lucht zijn nog schaars, maar wel is het duidelijk dat ook hier, evenals bij planten, grote verschillen in reactie bestaan.

Om de mate van verontreiniging te kunnen volgen, zijn en worden in veel landen meetnetten aangelegd waarbij in sommige gevallen behalve chemische ook biotische componenten worden gemeten.

Aërobiologie en de menselijke luchtwegen¹

DR. K. DE VRIES

Inleiding

Ons lichaam staat voortdurend bloot aan stoffen (deeltjes en vreemde gassen) uit de atmosfeer, die van belang kunnen zijn voor de menselijke pathologie. De plaats waar het meest intensieve contact optreedt tussen de buitenlucht en het lichaam is het ademhalingsorgaan. Dit kan nader geïllustreerd worden aan de hand van de volgende gegevens.

Het totale oppervlak van de ademhalingsorganen bij de mens bedraagt 40–90 m², afhankelijk van de ademhalingsfase. Een indrukwekkende grootte, indien men het vergelijkt met de totale lichaamsoppervlakte van de mens, welke gemiddeld 1,7 m² bedraagt. De frequentie van de respiratiecyclus bedraagt 11–15 per minuut. Bij elke in- en uitademing wordt 450–600 ml lucht in de ademhalingsorganen verplaatst, d.w.z. een passage van 8–10 m³ per etmaal (Tameling, 1970). Deze cijfers geven duidelijk de mogelijkheid aan van het binnendringen in het lichaam van vreemd materiaal. Bepaalde facetten van de aërobiologie en pathologie van luchtwegen hebben derhalve uitgesproken raakvlakken.

Vanuit een klinisch standpunt gezien, is het moeilijk vast te stellen waar de aërobiologische aspecten eindigen en de specifiek klinische problemen beginnen. Het is daarom noodzakelijk elk probleem, welke zowel de aërobiologie als de menselijke pathologie betreft, nader te situeren. Het accent in deze voordracht zal gelegd worden op de in-

¹ De vermelde resultaten werden verkregen van de Werkgroep TNO; Epidemiologie van de CARA; Gezondheidsorganisatie TNO (Van der Lende, 1970, 1971) en voorts uit eigen onderzoek gesubsidieerd door de Gezondheidsorganisatie TNO en EGKS.

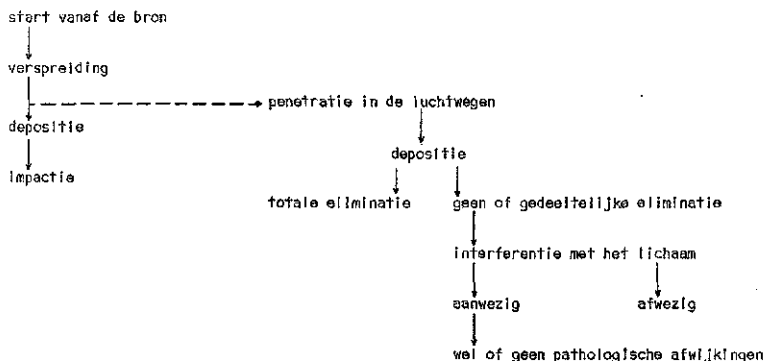


Fig. 1. Schema van de klassieke en klinische aërobiologie.

terferentie tussen biologische en chemische prikkels met de ademhalingsorganen.

Een ietwat willekeurig onderscheid kan gemaakt worden tussen de 'klassieke' en de 'klinische' aërobiologie (fig. 1). Bij de klassieke aërobiologie (IBP, 1971 kunnen de volgende stappen onderscheiden worden: start vanaf de bron, verspreiding, depositie en 'impactie' (inwerking) van de in de lucht passief voortbewogen elementen. De klinische aërobiologie kan worden gezien als een aftakking tussen de verspreiding en de depositie met het volgende verloop: penetratie in de luchtwegen, depositie mechanismen, gehele of gedeeltelijke eliminatie van de vreemde bestanddelen, interferentie met het lichaam, hetgeen al of niet gevolgd kan worden door bepaalde symptomen, welke al dan niet gepaard kunnen gaan met pathologische verschijnselen.

Penetratie en depositie

De ingeademde lucht ondergaat in de ademhalingsorganen aanzienlijke veranderingen t.a.v. de stroomsnelheid, vochtigheidsgraad en temperatuur. Anatomisch en functioneel onderscheidt men de ademhalingswegen, welke alleen de lucht geleiden, en het respiratoire gedeelte, waar de zuurstof opname en de koolzuur afgifte plaats vinden.

Bij de ademhalingswegen onderscheidt men: de neusgang, de neus-

keelholte, het strottenhoofd, de trachea (luchtpijp), die zich splitst in een linker en een rechter hoofdbronchus. De rechter bronchus vertoont nu 3 splitsingen en de linker 2 (naar de verschillende longkwabben); vanaf dit punt splitsen zich de luchtwegen paarsgewijs, met de trachea meegerekend 19 maal (Liebow e.a., 1968). In het respiratoire gedeelte volgt nog een viervoudige splitsing. Naar de periferie neemt de dwarsdoorsnede van de afzonderlijke luchtwegen aanzienlijk af, van 1,6 cm in de trachea tot 0,03 cm in de eindorganen: alveoli (longblaasjes). Echter, door het exponentieel toenemen van het aantal elementen neemt de totale doorsnede van de luchtwegen aanzienlijk toe, waardoor de stroomsnelheid van ongeveer 150-180 ml/sec in de trachea in de kleinere luchtwegen aanzienlijk vermindert en in de alveoli tot praktisch nul nadert (Hatch & Gross, 1964).

Tijdens het passeren van de luchtstroom door de neus treedt een turbulentie op, waardoor de meeste deeltjes groter dan 10 μm in de neus reeds uitgefiltreerd worden. Deze turbulentie treedt eveneens op in de kleinere luchtwegen, gezien de richtingsveranderingen van de luchtstroom, omdat de luchtwegen niet in elkaars verlengde liggen. Deze turbulentie in combinatie met de grootte van het deeltje, de diameter van de luchtweg en de stroomsnelheid bepalen de plaats in de luchtwegen waar het deeltje zal neerkomen (de depositie). Ongeveer 90% van de deeltjes groter dan 2 μm worden in de grotere en kleinere bronchiën neergeslagen. Kleinere deeltjes in de orde van een 0,5-2 μm penetreren in het respiratoire gedeelte, waarbij eveneens omstreeks 90% wordt neergeslagen. Bij de depositie hier speelt de turbulentie een minder grote rol, gezien de afname van de luchtstroomsnelheid; de depositie in dit gebied is afhankelijk van de zwaartekracht. Deeltjes kleiner dan 0,2 μm vertonen weinig depositie en worden voor het grootste deel weer uitgedemd (Joosting, 1971; Green, 1970).

Eliminatie

Het lichaam heeft een aantal mogelijkheden om zich van de neergeslagen deeltjes te ontdoen. De ademhalingswegen tot aan het respiratoire gedeelte zijn bekleed met trilhaarepitheel. Het trilhaar heeft een snelle slag naar de neuskeelholte toe; de frequentie van de slagen kan 1300 per min bedragen. Hierdoor wordt de slijmlaag, die het epitheel bedekt, in beweging gezet met een snelheid van 1-2 cm/min.

Het gedeponeerde materiaal op de slijmlaag bereikt op deze wijze binnen een uur de neuskeelholte, waar het onder normale omstandigheden ingeslikt wordt. De snelheid van het slijmtapijt is sterk afhankelijk van de dikte van de slijmlaag ten opzichte van de trilhaargrootte. Ontstekingen en prikkelende stoffen kunnen een verandering van de slijmlaag ten gevolge hebben waardoor de snelheid aanzienlijk vermindert, wat mogelijk gecompenseerd wordt door het hoesten.

De deeltjes, welke in het respiratoire gedeelte gedeponeerd worden, hebben een aanzienlijk langzamere eliminatie dan in de ademhalingswegen wegens het ontbreken van het trilhaarepitheel. Bij de eliminatie in het respiratoire gedeelte speelt o.m. de alveolaire vloeistof, die wordt afgescheiden door de longblaasjes, een rol, welke in ongeveer 24 uur de helft van het gedeponeerde materiaal verwijderd. Het opgenomen materiaal wordt afgebroken door een bepaalde cel (de macrofaag) die wordt afgevoerd, hetzij naar het slijmtapijt, hetzij naar de regionale lymfeklieren.

De luchtwegen hebben nog andere middelen ter beschikking om zich tegen de invasie van pathogeen materiaal te beschermen, als immuunglobulinen (b.v. IgA) en verschillende enzymen. Indien de ademhalingsorganen niet in staat zijn het geïnhaleerde materiaal op adequate wijze te elimineren, dan kunnen er pathologische reacties ontstaan (Green, 1970).

Interactie van exogene prikkels met de ademhalingsorganen

Figuur 2 geeft enkele wijzen van wisselwerking van exogene prikkels met de ademhalingsorganen.

Biologische elementen, als virussen, bacteriën en schimmels, kunnen op basis van hun pathogene eigenschappen aanleiding geven tot primaire infecties van de luchtwegen of het longweefsel; deze infecties

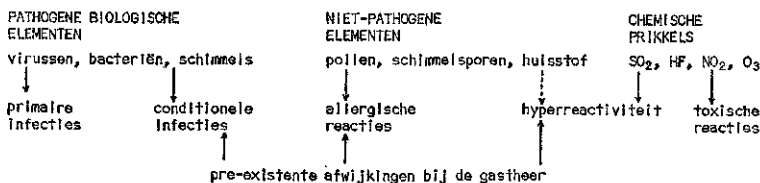


Fig. 2. Interferentie mechanismen van exogene prikkels met de ademhalingsorganen.

kunnen resulteren in een zekere graad van immuniteit. Dikwijls dienen pre-existente laesies van de bronchiaalboom aanwezig te zijn, voordat een bacteriële- of schimmelinfectie kan plaats vinden. Deze pre-existente afwijkingen kunnen ontstaan door virusinfecties, toxische laesies door chemische stoffen, of de afwijkingen zijn aanwezig in de vorm van een functionele of anatomische luchtwegvernaauwing. Dit soort infecties noemt men conditionele infecties.

Chemische prikkels, als SO_2 , HF, NO_2 en O_3 , kunnen toxische reacties uitlokken, die zich uiten in een destructie van de epitheliumlaag van het slijmvlies en/of van de alveolaire cellen. Een ernstige vorm van destructie is de chemische alveolitis, waarbij de gasuitwisseling tussen de luchtwegen en de bloedcirculatie in de longen zijn gestoord. Toxische reacties treden hoofdzakelijk op bij incidentele zware exposities aan chemicaliën (chloordampen, stikstofoxyden). Het is mogelijk dat chronische exposities in lagere concentraties aanleiding kunnen geven tot chronische afwijkingen in de longen. Er is een geleidelijke overgang van toxisch anatomische reacties naar meer functionele reacties op basis van een veranderde reactiviteit van de luchtwegen. Bij deze veranderde reactiviteit (hyperreactiviteit) kunnen lage concentraties van chemische prikkels pathologische reacties veroorzaken, zoals contractie van het gladde spierweefsel in de bronchuswand of slijmvlieszwelling, welke leiden tot een vernauwing der luchtwegen; fysische prikkels, als koude en mist kunnen bij daartoe gepredisponeerde personen een luchtwegvernaauwing veroorzaken.

Niet-pathogene biologische elementen, als pollen, schimmelsporen en huisstof kunnen allergische reacties veroorzaken. Na de penetratie van het geïnhalede materiaal in de weefsels worden de plasmacellen gestimuleerd tot de vorming van specifieke antistoffen (antilichamen, immuunglobulinen); deze eerste fase wordt de sensibilisatie genoemd. Bij hernieuwde expositie treedt een antigeen-antilichaambinding op, welke kan leiden tot de allergische reactie. De vorming van antilichamen (vooral IgE-immuunglobulinen), die bij deze reacties van groot belang zijn, is afhankelijk van genetische factoren.

Dit overzicht wil onderstrepen, dat een aantal interacties tussen de exogene prikkels en de ademhalingsorganen mede afhankelijk zijn van de toestand van de gastheer.

Klachtenpatroon van de CARA In epidemiologisch opzicht kan de CARA (chronische aspecifieke respiratoire aandoeningen) (Orie e.a.,

1961) gedefinieerd worden als chronische hoest, chronisch opgeven van sputum en/of kortademigheid.

Het belang van dit syndroom kan worden geïllustreerd door een korte samenvatting te geven van 2 epidemiologische onderzoeken in Nederland door Van der Lende en medewerkers (1970, 1971). Het ene onderzoek werd verricht in een landelijk gebied in Oost-Groningen (Vlagtwedde), de andere in een industrieel gebied (Vlaardingen). De gegevens werden verkregen met behulp van een internationaal gestandaardiseerde vragenlijst. De resultaten, gerangschikt naar plaats en leeftijdsgroepen, zijn weergegeven in tabel 1.

De hoge presentie van de drie symptomen is opvallend. Er is een duidelijke toename van de klachten in de oudere leeftijdsgroepen. De symptomen hoesten en sputum opgeven liggen in het algemeen hoger in Vlaardingen dan in Vlagtwedde. Een uitvoeriger analyse in betrekking tot andere relevante factoren, als rookgewoonten, zal hier achterwege blijven. De manifestatie van het klachtenpatroon bij de CARA kunnen uiteenlopen, zowel bij de personen onderling, als tijdens het ziekteverloop. Op de verschillende factoren, die het uiteindelijke ziektepatroon bepalen, zal hier niet verder worden ingegaan, hoewel juist door de veelheid aan factoren de aantoonbaarheid van een verband tussen klachten en expositie aan bepaalde prikkels bemoeilijkt wordt. De twee belangrijkste mechanismen, waardoor exogene prikkels een rol kunnen spelen bij de manifestatie van de luchtwegvernauwing: de allergie en de hyperreactiviteit, zullen nader worden belicht.

Tabel 1. Percentage borstklachten over verschillende leeftijdsgroepen. (Naar Van der Lende, 1970.)

	15-24 jaar	25-34 jaar	35-44 jaar	45-54 jaar	55-64 jaar
<i>Chronische hoest</i>					
Vlagtwedde	5,9	9,3	17,3	24,0	27,4
Vlaardingen	8,9	13,5	17,4	34,2	36,7
<i>Chronisch opgeven</i>					
Vlagtwedde	5,2	8,7	11,6	12,4	12,6
Vlaardingen	6,4	14,5	20,5	23,8	35,4
<i>Kortademigheid</i>					
Vlagtwedde	0,6	2,3	3,2	7,6	12,6
Vlaardingen	3,9	6,2	4,6	5,0	13,7

Hyperreactiviteit In het klinisch onderzoek kan gemakkelijk worden aangetoond of er een verhoogde reactiviteit (een sneller ontstaan van luchtwegvernauwing resp. kortademigheid) bestaat t.a.v. niet allergische prikkels. Dit kan geschieden door het toedienen per aërosol met toenemende concentraties van een luchtwegvernauwende stof (histamine). De laagste concentratie van de histamine, welke juist nog een luchtwegvernauwing te zien geeft (dit is objectief te meten door de longfunctie te bepalen), is een maat voor de hyperreactiviteit (De Vries, 1961).

Bij de epidemiologische onderzoeken door Van der Lende (1970, 1971) werd deze bepaling tevens verricht. De resultaten, gerangschikt naar plaats, leeftijdsgroep en histamine concentratie zijn gegeven in tabel 2. Hoe lager de concentratie was, des te sterker was de reactiviteit. In de oudere leeftijdsgroep (40-65 jaar) werd een sterkere hyperreactiviteit gevonden dan in de jongere leeftijdsgroep (15-39 jaar). Er waren geen duidelijke verschillen tussen de twee plaatsen. Er moet wel met nadruk op gewezen worden, dat onder 'hyperreactiviteit' wordt verstaan een combinatie van pathofysiologische processen, die door de bepaling van de histamine drempel niet ontrafeld worden en waar het te ver zou voeren deze thans nader te bespreken. Tot op zekere hoogte is de histamine reactiviteit een maat voor de te verwachten reacties bij expositie aan andere prikkels als b.v. koude, mist en zwaveldioxyde (De Vries, 1971). De irriterende werking van sommige chemicaliën als ammonia, zoals deze zich uit in hoesten en hypersecretie, loopt niet parallel met de luchtwegvernauwende werking. De luchtwegvernauwende werking van koude en mist komt tot stand via een reflex-prikkeling; de werking van zwaveldioxyde berust waarschijnlijk op een ingrijpen op de stofwisseling van

Tabel 2. *Presentie hyperreactiviteit in %. (Naar Van der Lende, 1970.)*

		Histamine drempel in mg/ml					
		norm	32	16	8	4	1
Vlagtwedde	15-39 jaar	66,8	13,5	8,3	6,8	3,9	0,7
	40-65 jaar	27,4	20,1	19,9	19,1	10,4	3,2
Vlaardingen	15-39 jaar	68,6	17,6	7,7	3,4	1,8	1,0
	40-65 jaar	35,9	17,3	13,8	15,4	13,0	4,6

het gladde spierweefsel. Het moet zeer waarschijnlijk geacht worden, dat het 'hyperreactieve mechanisme' geïnduceerd kan worden door exogene oorzaken.

Allergisch mechanisme Naast de hyperreactiviteit voor niet-allergische prikkels, is het belang aangetoond van allergische prikkels als b.v. pollen, schimmels en huisstof (waarschijnlijk een produkt van de huisstofmijt; Voorhorst e.a., 1969). De allergische reacties worden gekenmerkt door een fundamentele antigeen (allergeen) antilichaam binding. Deze binding is specifiek en kan vergeleken worden sleutel-slot verhouding. De manifestaties van de allergische reacties kunnen sterk uiteenlopen. De basiselementen van een allergische reactie zijn antigeen, antilichaam en reagerend weefsel. De volgende indeling is daarom aantrekkelijk, omdat zij enkel rekening houdt met deze elementen, zonder de fenomenologie bij de classificatie te betrekken, alleen de 'grondmechanismen' (Gell & Coombs, 1968). Twee van de vier hoofdtypen zijn:

Type-I allergische reactie (hooikoorts-, reagentype of atopie) kenmerkt zich wanneer het complex cel met daaraan het oppervlak gefixeerde antilichaam zich bindt met het antigeen.

Type-III allergische reactie (*Arthus*- of serumziekte type) heeft als grondpatroon een complex van gebonden antigeen en antilichaam (het complex kan meerdere antigenen en antilichamen bevatten), dat toxisch werkt op het omringende weefsel of bepaalde enzymen activeert.

Bij de type-I allergische reactie behoren de antilichamen tot een bepaalde immuunglobuline klasse: het IgE, dat in een bijzonder lage spiegel in het serum voorkomt (250-1000 ng), waardoor het bijzonder moeilijk is om deze antilichamen met in vitro methoden aan te tonen. De aanwezigheid van deze antilichamen kan wel gemakkelijk in vivo door middel van huidtesten worden aangetoond. Na intracutane injectie ziet men na 5-10 min een witte, scherp omschreven verhevenheid optreden, met daarom heen een diffuse rode stof.

Deze huidtesten werden eveneens verricht bij de epidemiologische onderzoeken door Van der Lende (1970, 1971). In tabel 3 wordt een samenvatting gegeven van de resultaten, gerangschikt naar plaats, leeftijdsklasse en naar verschillende allergeen extracten. De extracten van schimmels en pollen waren afkomstig van een gevarieerd uitgangsmateriaal. De hoogste frequentie van positieve huidtesten werd

Tabel 3. Percentage positieve huidtesten bij verschillende allergeenextracten. (Naar Van der Lende, 1970.)

	Vlagtwedde		Vlaardingen	
	15-39 jaar (n = 1781)*	40-64 jaar (n = 1046)	15-39 jaar (n = 1557)	40-64 jaar (n = 1182)
Huisstof	51,1	10,3	52,9	20,9
Schimmels	29,7	19,2	23,9	40,9
Pollen	6,3	1,8	11,7	2,6

* n = Totaal aantal personen.

gevonden met huisstof, gevolgd door successievelijk de gemengde schimmel- en pollen extracten. Er is een duidelijke afname van het aantal positieve huidtesten te zien in de oudere leeftijdsgroep: dit staat in duidelijke tegenstelling tot de bevindingen betreffende de hyperreactiviteit.

Ofschoon er wel een verband gevonden is tussen de borstklachten, met name de kortademigheid en de histaminedrempel (hyperreactiviteit), kon dit verband t.a.v. de borstklachten met de uitslag van het allergisch huidonderzoek niet aangetoond worden. Hiervoor zijn de kwantitatieve en kwalitatieve gegevens omtrent de expositie onmisbaar. Voorts dient niet uit het oog verloren te worden, dat de expositie aan huisstof voornamelijk binnenshuis plaats vindt en waarschijnlijk sterk in intensiteit kan variëren.

Naast deze aanwijzingen voor een type-I allergie werd een onderzoek verricht naar de aanwezigheid van precipiterende antilichamen, die in zekere zin als graadmeter kunnen gelden voor de mogelijkheid van het optreden van type-III allergische reacties. Deze precipiterende antilichamen behoren tot de immuunglobulineklasse G (IgG). Zij kunnen gemakkelijk worden aangetoond in vitro door de dubbel diffusie techniek van Ouchterlony (1962).

De antigenen van verschillende schimmels werden getest; huisstof werd niet getest, omdat nog geen geschikt antigeen werd gevonden voor deze methode.

In tabel 4 worden de resultaten van dit gedeelte van het onderzoek samengevat, dat enkel bij 400 willekeurig verkregen sera uit de Vlagtwedde populatie werd verkregen. De volgende schimmels werden getest: *Aspergillus fumigatus*, *A. nidulans*, *A. versicolor*, *A. repens*,

Tabel 4. Frequentieverdeling van de precipitatielijnen van verschillende schimmels in %. (Naar Van der Lende, 1970.)

	Aantal lijnen				
	0	1	2	3	4
<i>Aspergillus fumigatus</i>	37	39	19	4	1
<i>Aspergillus nidulans</i>	25	47	23	3	2
<i>Aspergillus versicolor</i>	35	50	12	2	1
<i>Aspergillus repens</i>	15	66	16	2	1
<i>Absidium corymbifera</i>	19	60	16	5	0
<i>Cladosporium herbarum</i>	33	45	20	2	0
<i>Penicillium notatum</i>	37	47	16	0	0
<i>Altenaria tenuis</i>	46	46	8	0	0

Absidium corymbifera, *Cladosporium herbarum*, *Penicillium notatum* en *Altenaria tenuis*. Er werden vrij frequent 1 of 2 precipitatielijnen tegen deze schimmels gevonden. Het is nog niet duidelijk of deze bevindingen klinisch enige betekenis hebben. Wel kunnen deze bevindingen beschouwd worden als een indicatie voor de gegeneraliseerde expositie van de bevolking aan deze schimmels. Waarbij niet uit het oog mag worden verloren, dat er een duidelijke gemeenschappelijkheid van antigenen bij de genoemde schimmels bestaat (kruisantigeniciteit). Het hoge percentage positieve huidtesten op schimmelextracten in de oudere leeftijdsgroep in Vlaardingen behoeft nog een nadere analyse; een redelijk gefundeerde verklaring is nog niet te geven.

Klinisch experimenteel provocatie onderzoek

Het klinisch experimenteel onderzoek kan geschieden d.m.v. provocatietesten. In het kader van de aërobiologie is dan te denken aan simulatieproeven waarbij de expositie aan een bepaalde prikkel, wat betreft de hoeveelheid en tijdsduur, nagebootst wordt aan de hand van de natuurlijke omstandigheden; dit in combinatie met de registratie van het effect, met name de bronchusvernauwing.

Een dergelijk simulatie onderzoek werd slechts sporadisch verricht. Dit is te wijten aan de variabiliteit waaraan de natuurlijke expositie onderhevig is, als aan de voortdurende wisselingen van de toestand van de ademhalingswegen, die zo kenmerkend zijn voor personen met

een chronische aspecifieke respiratoire aandoening. Bovendien is een quantitative bepaling van het huisstof allergeen in het binnenklimaat tot dusverre nog niet mogelijk geweest. Voor de kliniek evenwel blijven de provocatietesten t.a.v. het onderzoek van verschillende reactievormen na allergeeninhalatie van groot belang, evenals het provocatieonderzoek met chemische prikkels.

Als illustratie zullen hier de verschillende reactievormen na huisstofprovocatie (Booy-Noord e.a., 1971) vermeld worden:

Een vroege reactie. Deze reactie treedt vrijwel direct op na 10 min inhalatie van een verstoven huisstofextract. Het maximum van de responsie, gemeten door bepaling van de longfunctie treedt op na 10-15 min, terwijl binnen 1-1½ uur spontaan de oorspronkelijke toestand bereikt wordt.

Een late reactie. Deze reactie treedt op 6-8 uur na het geven van de provocatie. De response heeft meestal een vrij progressief verloop en kan 24 uur aanhouden.

Deze vroege en late reactie kunnen zowel afzonderlijk als gecombineerd voorkomen.

Deze provocatietesten geven tevens de mogelijkheid om verdere informatie te verkrijgen over het mechanisme, dat ten grondslag ligt aan deze vormen van responsie: door beïnvloeding van het effectorgaan door selectief werkzame middelen, welke op een bepaald punt ingrijpen in het procesverloop.

Besluit

Deze bijdrage is een mengsel van aërobiologische en klinische gegevens, zonder dat tot een bevredigende synthese kan worden gekomen. Aan de hand van het voorafgaande blijken er grote moeilijkheden te bestaan om de kloof te overbruggen tussen aërobiologie en de klinische problematiek van de chronische aspecifieke respiratoire aandoeningen. Practisch gezien zullen er zich minder grote moeilijkheden voordoen met scherp omschreven ziektebeelden als de pollinose. Slechts een enkel facet van de 'klinische' aërobiologie werd belicht en het is mogelijk, dat hierdoor een te eenzijdige indruk werd gegeven. De problemen van virale en bacteriële infecties verdienen minstens even grote aandacht en hebben hun eigen specifieke detailproblemen; hetzelfde geldt voor de aërobiologische en klinische aspecten van de luchtverontreiniging.

Literatuur

De verspreiding van organisch materiaal in de lucht

(Prof. Dr. F. H. Schmidt)

- Beilke, S., 1970. Untersuchungen über das Auswaschen atmosphärischer Spurenstoffe durch Niederschläge. Institut für Meteorologie und Geophysika, Universität Frankfurt, 65 pp.
- Best, A. C., 1950. The size distribution of raindrops. *Q. Jl R. met. Soc.* 76: 16-36.
- Dingle, A. N., G. C. Gill, W. H. Wagner & E. W. Hewson, 1959. The emission, dispersion, and disposition of ragweed pollen. *Adv. Geophys.* 6: 367-387.
- Pasquill, F., 1962. Atmospheric diffusion. Van Nostrand Company, London, 297 pp.
- Rainey, R. C., 1963. Meteorology and the migration of desert locusts. *Tech. Notes Wild met. Org.* 54, 117 pp.
- Raynor, G. S., E. C. Ogden & J. V. Hayes, 1970. Dispersion and deposition of ragweed pollen from experimental sources. *J. appl. Met.* 9: 885-895.
- Schmidt, F. H., 1966. Inleiding tot de meteorologie. Aula 112, 325 pp.
- Schmidt, F. H., 1967. Palynology and meteorology. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 3: 27-45.

Vliegende schimmels

(Dr. J. C. Zadoks)

- Brook, P. J., 1969a. Effect of light, temperature, and moisture on release of ascospores by *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint. *N.Z. Jl agric. Res.* 12: 214-227.
- Brook, P. J., 1969b. Stimulation of ascospore release in *Venturia inaequalis* by far red light. *Nature, Lond.* 222: 390-392.
- Buller, A. H. R., 1909. Researches on fungi, Vol. I. Longmans, Green & Co., London.
- Chamberlain, A. C., 1967. Deposition of particles to natural surfaces. In: P. H. Gregory & J. L. Monteith (Eds): Airborn microbes. Cambridge University Press: 138-164.
- Dinoor, A. & M. Levi, 1967. The relation of oat crown rust outbreaks in

- autumn in Israel to long-distance dissemination. *Israel Congr. Pl. Path.* 1: 13-14.
- Doorn, A. M. van, 1959. Onderzoekingen over het optreden en de bestrijding van valse meeldauw (*Peronospora destructor*) bij uien. *Tijdschr. PlZiekt.* 65: 193-255.
- Gäumann, E., 1951. Pflanzliche Infektionslehre. 2te Aufl., Birkhäuser, Basel, 681 pp.
- Gregory, P. H., 1948. The multiple-infection transformation. *Ann. appl. Biol.* 35: 412-417.
- Gregory, P. H., 1961. Microbiology of the atmosphere. Leonard Hill, London, 251 pp.
- Gregory, P. H., E. J. Guthrie & M. E. Bunce, 1959. Experiments on splash dispersal of fungus spores. *J. gen. Microbiol.* 20: 328-354.
- Gregory, P. H. & J. M. Hirst, 1957. The summer air-spores at Rothamsted in 1952. *J. gen. Microbiol.* 17: 135-152.
- Gregory, P. H., T. J. Longhurst & T. Sreeramulu, 1961. Dispersion and deposition of airborne Lycopodium and Ganoderma spores. *J. appl. Biol.* 49: 645-658.
- Gregory, P. H. & O. J. Stedman, 1953. Deposition of air-borne Lycopodium spores on plane surfaces. *Ann. appl. Biol.* 40: 651-674.
- Hirst, J. M., 1953. Changes in atmosphere spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. *Trans. Brit. mycol. Soc.* 36: 375-393.
- Hirst, J. M. & O. J. Stedman, 1963. Dry liberation of fungus spores by raindrops. *J. gen. Microbiol.* 33: 335-344.
- Hirst, J. M. & G. W. Hurst, 1967. Long-distance spore transport. In: P. H. Gregory & J. L. Monteith (Eds): Airborne microbes. Cambridge University Press: 307-344.
- Hirst, J. M., O. J. Stedman & W. H. Hogg, 1967a. Long distance spore transport: methods of measurement, vertical spore profiles and the detection of immigrant spores. *J. gen. Microbiol.* 48: 329-355.
- Hirst, J. M., O. J. Stedman & G. W. Hurst, 1967b. Long distance spore transport: vertical sections of spore clouds over the sea. *J. gen. Microbiol.* 48: 357-377.
- Hirst, J. M. & O. J. Stedman, 1971. Patterns of spore dispersal in crops. In: Preece & Dickinson (Eds): Ecology of the leaf surface. Academic Press, London: 229-237.
- Hogg, W. H., 1961. Meteorology in relation to recent black rust epidemics. *Trans. Br. mycol. Soc.* 44: 137-138.
- Hogg, W. H., C. E. Hounam, A. K. Mallik & J. C. Zadoks, 1969. Meteorological factors affecting the epidemiology of wheat rusts. *Techn. Notes Wld met. Org.* 99: 1-143.
- Ingold, C. T., 1953/1960. Dispersal in fungi. Clarendon Press, Oxford.
- Ingold, C. T. & V. J. Dring, 1957. An analysis of spore discharge in *Sordaria*. *Ann. Bot.* 21: 465-477.
- Ingold, C. T., 1971. Fungal spores, their liberation and dispersal. Clarendon Press, Oxford, 302 pp.
- May, K. R., 1967. Physical aspects of sampling airborne microbes. In:

- P. H. Gregory & J. L. Monteith (Eds): Airborne microbes. Cambridge University Press: 60-80.
- Mehta, Y. R. & J. C. Zadoks, 1970. Uredospore production and sporulation period of *Puccinia recondita* f. sp. *tritici* on primary leaves of wheat. *Neth. J. Pl. Path.* 76: 267-276.
- Pasquill, F., 1961. The estimation of the dispersion of windborne material. *Met. Mag.* 90: 33-49.
- Pasquill, F., 1962. Atmospheric diffusion. Van Nostrand, London, 297 pp.
- Populer, Ch., 1962. La dissémination du *Peronospora* du tabac, *Peronospora tabacina* Adam. *Parasitica* 18: 1-7.
- Rapilly, F., J. Fournet & M. Skajennikoff, 1970. Études sur l'épidémiologie et la biologie de la rouille jaune du blé *Puccinia striiformis* Westend. *Annls Phytopath.* 2: 5-31.
- Roelfs, A. P., J. B. Rowell & R. W. Romig, 1970. Sampler for monitoring cereal rust uredospores in rain. *Phytopathology* 60: 187-188.
- Rowell, J. B. & R. W. Romig, 1966. Detection of urediospores of wheat rusts in spring rains. *Phytopathology* 56: 807-811.
- Schrödter, H., 1960. Dispersal by air and water - the flight and landing. In: Horsfall & Dimond (Eds): Plant pathology III, Academic Press, New York: pp. 169-227.
- Sreeramulu, T., 1964. Incidence of conidia of *Erysiphe graminis* in the air over a mildew-infected barley field. *Trans. Br. mycol. Soc.* 47: 31-38.
- Stakman, E. C. & C. M. Christensen, 1946. Aerobiology in relation to plant disease. *Bot. Rev.* 12: 205-253.
- Stakman, E. C. & J. G. Harrar, 1957. Principles of plant pathology, The Ronald Press Co., New York, 581 pp.
- Sutton, O. G., 1953. Micrometeorology. McGraw-Hill Publ. Co., New York, 333 pp.
- Thomas, M., 1958. Plant physiology. J. & A. Churchill Ltd., London, 4th ed., 692 pp.
- Yarwood, C. E., 1961. Uredospore production by *Uromyces phaseoli*. *Phytopathology* 51: 22-27.
- Weille, G. A. de, 1964. Forecasting crop infection by the potato blight fungus. *K. ned. met. Inst. Meded. Verh.* 82: 1-144.
- Zaag, D. E. van der, 1956. Overwintering en epidemiologie van *Phytophthora infestans*, tevens enige nieuwe bestrijdingsmogelijkheden. *Tijdschr. PlZiekt.* 62: 89-156.
- Zadoks, J. C., 1961. Yellow rust on wheat, studies in epidemiology and physiologic specialization. *Tijdschr. PlZiekt.* 67: 69-256.
- Zadoks, J. C., 1965. Epidemiology of wheat rusts in Europe. *Pl. Prot. Bull. F.A.O.* 13: 97-108.
- Zadoks, J. C., A. O. Klomp & S. D. van Hoogstraten, 1969. Smoke puffs as models for the study of spore dispersal in and above a cereal crop. *Neth. J. Pl. Path.* 75: 229-232.

Het dagelijks voorkomen van pollenkorrels in de lucht, in verband met het optreden van pollinose

(Drs. A. van den Assem)

- Blackley, Ch. H., 1873. Experimental researches on the causes and nature of Catharrhus Aestivus (hay-fever or hay-asthma). Reprint, 1959. Dawson's of Pall Mall, London, 202 pp.
- Coca, A. F., M. Walzer & A. A. Thommen, 1931. Asthma and hay-fever in theory and practice. Thomas, Springfield, 851 pp.
- Davies, R. R., 1969. Aerobiology and the relief of asthma in an alpine valley. *Acta Allerg.* 24: 377-395.
- Dingle, A. N., 1955. A meteorological approach to the hay fever problem. *J. Allergy* 26(4): 297-304.
- Dingle, A. N. & D. F. Gatz, 1966. Air cleansing by convective rains. *J. appl. Met.* 5: 160-168.
- Dingle, A. N., G. C. Gill, W. H. Wagner Jr. & E. W. Hewson, 1959. The emission, dispersion and deposition of ragweed pollen. In: F. N. Frenkel & P. A. Sheppard (Eds): Atmospheric diffusion and air pollution. *Adv. Geophys.* 6: 367-387.
- Durham, O. C., 1943. The volumetric incidence of atmospheric allergens. 1. Specific gravity of pollen grains. *J. Allergy* 14(6): 455-461.
- Durham, O. C., 1946a. The volumetric incidence of atmospheric allergens. 3. Rate of fall of pollen grains in still air. *J. Allergy* 17(2): 70-78.
- Durham, O. C., 1946b. The volumetric incidence of atmospheric allergens. 4. A proposed standard method of gravity sampling, counting and volumetric interpolation of results. *J. Allergy* 17(2): 79-86.
- Dyakowska, J. & J. Zurzycki, 1959. Gravimetric studies on pollen. *Bull. Acad. pol. Sci. Cl. II. Sér. Sci. biol.* 7(1): 11-16.
- Ebell, L. F. & R. L. Schmidt, 1964. Meteorological factors affecting conifer pollen dispersal on Vancouver Island. Dept. Forestry Publication 1036, 28 pp.
- Ey, W., 1971. Pollen und Sporen als Krankheitsursache im Hals-, Nasen- und Ohrenbereich. In: Allergien durch Pollen und Sporen. Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Bonn-Bad Godesberg, Mitteilung 4: 78-87.
- Faegri, K. & L. van der Pijl, 1966. The principles of pollination ecology. Pergamon Press, London, 248 pp.
- Gregory, P. H., 1951. Deposition of airborne *Lycopodium* spores on cylinders. *Ann. appl. Biol.* 38: 357-376.
- Gregory, P. H., 1961. The microbiology of the atmosphere. Leonard Hill, London, 205 pp.
- Hirst, J. M., 1952. An automatic volumetric spore trap. *Ann. appl. Biol.* 39: 257-265.
- Hirst, J. M., 1953. Changes in atmospheric spore content: diurnal periodicity and the effects of weather. *Trans. Br. mycol. Soc.* 36(4): 375-393.
- Horne, A. S., 1935. On the numerical distribution of micro-organisms in the atmosphere. *Proc. R. Soc. (Series B)* 117: 154.

- Hyde, H. A., 1952a. Studies in atmospheric pollen. 5. A daily census of pollen at Cardiff for the six years 1943-1948. *New Phytol.* 51: 281-293.
- Hyde, H. A., 1952b. Grass pollen in Great Britain. *Acta Allerg.* 5: 98-112.
- Hyde, H. A., 1956. Tree pollen in Great Britain. *Acta Allerg.* 10: 224-245.
- Hyde, H. A., 1959a. Volumetric counts of pollen grains at Cardiff, 1954-1957. *J. Allergy* 30(3): 219-234.
- Hyde, H. A., 1959b. Weed pollen in Great Britain. *Acta Allerg.* 13: 186-209.
- Hyde, H. A. & K. F. Adams, 1960. Airborne allergens at Cardiff, 1942-1959. *Acta Allerg. Suppl.* 7: 159-169.
- May, K. R., 1945. The cascade impactor: an instrument for sampling coarse aerosols. *J. sci. Instrum.* 22: 187.
- Ogden, E. C. & G. S. Raynor, 1967. A new sampler for airborne pollen: the roto-slide. *J. Allergy* 40(1): 1-11.
- Ogden, E. C., J. V. Hayes & G. S. Raynor, 1969. Diurnal patterns of pollen emission in *Ambrosia*, *Phleum*, *Zea* and *Ricinus*. *Am. J. Bot.* 56(1): 16-21.
- Perkins, W. A., 1957. The rotorod sampler. Second semi-annual report, Aerosol Laboratory, Stanford University, California, CML 186.
- Pohl, E., 1937. Die Pollenerzeugung der Windblüter. *Beih. bot. Zbl.* 56 A: 365-470.
- Ramalingam, A., 1966. A volumetric survey of the atmospheric pollen over Paddy Fields at Visakhapatnam in 1960 and 1961. *Palynol. Bull.* 2: 11-17.
- Raynor, G. S. & J. V. Hayes, 1970. Experimental prediction of daily ragweed concentration. *Ann. Allergy* 28: 580-585.
- Raynor, G. S. & E. C. Ogden, 1965. Twenty-four-hour dispersion of ragweed pollen from known sources. Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Springfield, Virginia, 17 pp.
- Raynor, G. S. & E. C. Ogden, 1970. The swing-shield: an improved shielding device for the intermittent roto-slide sampler. *J. Allergy* 45(6): 329-332.
- Rempe, H., 1937. Untersuchungen über die Verbreitung des Blütenstaubes durch die Luftströmungen. *Planta* 27: 93-147.
- Ritchie, J. C. & S. Lichti-Federovich, 1963. Contemporary pollen spectra in central Canada. 1. Atmospheric samples at Winnipeg, Manitoba. *Pollen Spores* 5(1): 95-114.
- Schrödter, H., 1968. Meteorologische Aspekte der Palynologie unter Berücksichtigung phytopathologisch-epidemiologischer Probleme. *Ber. dt. bot. Ges.* 81(11): 552-556.
- Shapiro, R. S. & R. Rooks, 1951. The accuracy of the reported ragweed pollen count as a measure of the actual pollen exposure of individuals in that community. *J. Allergy* 22(5): 450-460.
- Stix, E., 1971. Vorkommen von Pollen und Sporen in der Luft. In: Aller-

- gien durch Pollen und Sporen. Kommission zur Erforschung der Luftverunreinigung, Bonn-Bad Godesberg, Mitteilung 4: 46-77.
- Tauber, H., 1965. Differential pollen dispersion and interpretation of pollen-diagrams. *Danm. geol. Unders. II* 89: 1-69.
- Voorhorst, R., 1962. Basic facts of allergy. Stenfert Kroese n.v., Leiden, 266 pp.
- Wodehouse, R. P., 1935. Pollen grains. McGraw-Hill, New York, 574 pp.
- Wodehouse, R. P., 1971. Hayfever plants. Hafner, New York, 2 ed., 280 pp.

Onderzoekingen naar groene organismen en protozoën in de atmosfeer

(Mevr. Dr. M. A. Visch-van Overeem)

- Baas Becking, L. G. M., 1934. Geobiologie. Van Stockum & Zn., 's-Gravenhage, 263 pp.
- Overeem, M. A. van, 1936. A sampling-apparatus for aëroplankton. *Proc. Kon. Akad. Wet. te A'dam* 39(8), 11 pp.
- Overeem, M. A. van, 1937. On green organisms occurring in the lower troposphere. *Extrait du Recueil des Travaux Botan. Néerl.* 34: 389-439 (Ook als proefschrift, Leiden).
- Schlichting jr., H. E., 1958. The role of waterfowl in the dispersal of algae. Ph. D. Thesis, Michigan State University, Michigan, 259 pp.
- Schlichting jr., H. E., 1961. Viable species of algae and protozoa in the atmosphere. *Lloydia* 24(2): 81-88.
- Schlichting jr., H. E., 1964. Meteorological conditions affecting the dispersal of airborne algae and protozoa. *Lloydia* 27(1): 64-78.
- Schlichting jr., H. E., 1969. The importance of airborne algae and protozoa. *J. Air Pollut. Control Ass.* 19(12): 946-951.

Verspreiding van insecten door de lucht

(Dr. Ir. L. Brader)

- Andrewartha, H. G. & L. C. Birch, 1954. The distribution and abundance of animals. University of Chicago Press, Chicago, 782 pp.
- Berland, L., 1935. Premiers résultats de mes recherches en avion sur la faune et la flore atmosphériques. *Annls Soc. ent. Fr.* 104: 73-96.
- Brown, E. S. & G. Swaine, 1966. New evidence on the migration of moths of the african armyworm, *Spodoptera exempta* (Wlk.) (Lepidoptera, Noctuidae). *Bull. ent. Res.* 56: 671-684.
- Burgess, A. F., 1913. The dispersion of the Gipsy Moth. *Bull. Bur. Ent. U.S. Dep. Agric.* 119, 62 pp.
- Chambon, J. P., 1969. Extension d'un foyer et dispersion des populations d'une tordeuse (*Cnephasia pumicana* Zeller, Lepidoptère Tortricidae). *Annls Zool. Ecol. anim.* 1: 433-444.

- Chapman, R. F., 1969. The insects, structure and function. The English Universities Press Ltd, London, 819 pp.
- Coad, B. R., 1931. Insects captured by airplane are found at surprising heights. *Yb. Agric. U.S. Dep. Agric.* 1931: 320-323.
- Cockbain, A. J., 1961. Low temperature thresholds for flight in *Aphis fabae* Scop.. *Entomologia exp. appl.* 4: 211-219.
- Collins, C. W., 1917. Methods used in determining wind dispersion of the Gipsy Moth and some other insects. *J. econ. Ent.* 10: 170-177.
- Elton, C. S., 1925. The dispersal of insects to Spitzbergen. *Trans. R. ent. Soc. Lond.* 1925: 289-299.
- Felt, E. P., 1923. Dispersal of insects by air currents. *Bull. N.Y. St. Mus.* 274: 59-129.
- Fleschner, C. A., M. E. Badgley, D. W. Ricker & J. C. Hall, 1956. Air drift of spider mites. *J. econ. Ent.* 49: 624-627.
- French, R. A., 1967. Long distance movement of two migrant Lepidoptera in relation to synoptic weather conditions. Proc. III Int. Congr. Biomet. (Pau, 1963): 565-569.
- Glick, P. A., 1939. The distribution of insects, spiders and mites in the air. *Tech. Bull. U.S. Dep. Agric.* 673, 150 pp.
- Glick, P. A., 1957. Collecting insects by airplane in southern Texas. *Tech. Bull. U.S. Dep. Agric.* 1158, 28 pp.
- Guilmette, J. E., E. P. Holzapfel & D. M. Tsuda, 1970. Trapping of air-borne insects on ships in the Pacific, Part 8. *Pacif. Insects* 12: 303-325.
- Hardy, A. C. & P. S. Milne, 1937. Insect drift over the North Sea, 1936. *Nature, Lond.* 139: 510.
- Hardy, A. C. & P. S. Milne, 1938. Studies in the distribution of insects by aerial currents. Experiments in aerial tow-netting from kites. *J. Anim. Ecol.* 7: 199-229.
- Holzapfel, E. P., D. M. Tsuda & J. C. Harrell, 1970. Trapping of airborne insects in the Antarctic area, Part 3. *Pacif. Insects* 12: 133-156.
- Hurd, W. E., 1920. Influence of the wind on the movements of insects. *Mon. Weath. Rev. U.S. Dep. Agric.* 48: 94-98.
- Hurst, G. W., 1969. Meteorological aspects of insect migrations. *Endeavour* 28: 77-81.
- Johnson, C. G., 1957. The distribution of insects in the air and the empirical relation of density to height. *J. Anim. Ecol.* 26: 479-494.
- Johnson, C. G., 1967. International dispersal of insects and insect-borne viruses. *Neth. J. Pl. Path.* 73: (Suppl. 1) 21-43.
- Johnson, C. G., 1969. Migration and dispersal of insects by flight. Methuen, London: 763 pp.
- Linde, R. J. van der, 1971. Der Schwebeflug der jungen Raupen des Schwammspinners (*Lymantria dispar* L.) und der Einfluss der Nahrungspflanze auf das Auftreten desselben. *Z. angew. Ent.* 67: 316-324.
- Nishiki, S., 1966. On the aerial migration of spiders. *Acta arachnologica* 20: 24-34.
- Rainey, R. C., 1951. Weather and the movements of locust swarms: a new hypothesis. *Nature, Lond.* 168: 1057-1060.

- Rainey, R. C., 1963a. Meteorology and the migration of desert locusts. *Tech. Notes Wld met. Org.* 54, 115 pp.
- Rainey, R. C., 1963b. Seasonal and longer-period changes in the desert locust situation. *Tech. Notes Wld met. Org.* 69: 255-264.
- Richter, C. J. J., 1970. Aerial dispersal in relation to habitat in eight wolf spider species (*Pardosa*, *Araneae*, *Lycosidae*). *Oecologia* 5: 200-214.
- Roer, H., 1969. On the biology of *Inachis io* L. (Lep. *Nymphalidae*), with special reference to its migrations in the Central European area. *Zool. Anz.* 183: 177-194.
- Roer, H., 1970. Studies on the migratory behaviour of *Nymphalis antiopa* L. (Lep., *Nymphalidae*). *Z. angew. Ent.* 65: 388-396.
- Simberloff, D. S. & E. O. Wilson, 1969. Experimental zoogeography of islands: the colonization of empty islands. *Ecology* 50: 278-296.
- Taylor, L. R., 1951. An improved suction trap for insects. *Ann. appl. Biol.* 38: 582-591.
- Taylor, L. R., 1963. Analysis of the effect of temperature on insects in flight. *J. Anim. Ecol.* 32: 99-117.
- Wellington, W. G., 1945. Conditions governing the distribution of insects in the free atmosphere. Introduction. *Can. Ent.* 77: 7-15.
- Williams, C. B., 1958. *Insect migration*. Collins, London, 235 pp.
- Wolfenbarger, D. O., 1946. Dispersion of small organisms, distance dispersion rates of bacteria, spores, seeds, pollen, and insects; incidence rates of diseases and injuries. *Am. Midl. Nat.* 35: 1-152.
- Wolfenbarger, D. O., 1971. Aerobiology objectives in atmospheric monitoring. In: W. S. Benninghoff & R. L. Edmonds (Eds): *Proc. Conf. Aerobiol. Objectives atmos. monitoring, US/IBP Aerobiology program handbook 1*, 66 pp.

Herkomst, verspreiding en gevolgen van chemische luchtverontreinigingen

(Prof. Dr. J. G. ten Houten)

- Barkman, J. J., 1961. De verarming van de Cryptogamenflora in ons land gedurende de laatste honderd jaar. *Natura, Amsterdam* 58: 141-151.
- Barkman, J. J., 1969. The influence of air pollution on bryophytes and lichens. In: *Air pollution, Proc. First Eur. Congr. Infl. Air Pollut. Pl. Anim.* (Wageningen, 1968), Pudoc, Wageningen: 197-209.
- Benninghoff, W. S. & R. L. Edmonds (Eds), 1971. *Proc. Conf. Aerobiol. Objectives atmos. monitoring, US/IBP Aerobiology program handbook 1*, 66 pp.
- Brasser, L. J. e.a., 1971. Analyse van de smogsituatie in de Randstad Holland met speciale verwijzing naar de smogperiode van 17 sept. t/m 7 okt. 1971. Werkrapport G 500 I.G. TNO, oktober-nummer.
- Brennan, E. & I. A. Leone, 1970. Note on the interaction of tobacco mosaic virus and ozone in *Nicotiana glauca*. *J. Air Pollut. Control. Ass.* 20: 470.

- Dimmick, R. L. & Ann B. Akers (Eds), 1969. An introduction to experimental aerobiology. Wiley-Interscience, New York, 494 pp.
- Druet, H. A. & L. P. Packman, 1968. Sensitive microbiological detector for air pollution. *Nature, Lond.* 218: 699.
- Ender, F., 1969. The effects of air pollution on animals. In: Air pollution, Proc. 1st Europ. Congr. Influence Air Pollut. Pl. Anim. (Wageningen, 1968), Pudoc, Wageningen: 245-255.
- Fries, N., 1971. Effects of volatile organic compounds on the growth and development of fungi. Lecture 1st Int. mycol. Congr., Exeter, 1971.
- Gentile, A. G., W. A. Feder, R. E. Young & Z. Santner, 1971. Susceptibility of *Lycopersicon* spp. to ozone injury. *J. Am. Soc. hort. Sci.* 96: 94-96.
- Gilbert, O. L., 1969. The effect of SO₂ on lichens and bryophytes around Newcastle upon Tyne. In: Air pollution, Proc. First Eur. Congr. Influence Air Pollut. Pl. Anim. (Wageningen, 1968), Pudoc, Wageningen. 223-237.
- Gordon, A. G. & E. Gorham, 1963. Ecological aspects of air pollution from an iron sintering plant at Wawa, Ontario. *Can. J. Bot.* 41: 1063-1078.
- Guicherit, R., 1971. Oxidatieve luchtverontreiniging; meetmethodieken en meetresultaten. *Chem. Weekblad* 67(32): F8-F15.
- Hajduk, J. & M. Ruzicka, 1969. Auswirkung von Luftverunreinigungen auf Wildpflanzen und die Vegetation. In: Air pollution, Proc. First Europ. Congr. Influence Air Pollut. Pl. Anim. (Wageningen, 1968), Pudoc, Wageningen. 183-193.
- Heckly, R. J. & A. L. Dimmick, 1968. Correlations between free radical production and viability of lyophilized bacteria. *Appl. Microbiol.* 16: 1081-1085.
- Heggestad, H. D., 1971. Abnormal concentrations of gases of biological significance. In: W. S. Benninghoff & R. L. Edmonds (Eds): Proc. Conf. Aerobiol. Objectives atmos. Monitoring, US/IBP Aerobiology program handbook 1.
- Hess, C. E., 1965. Effects of oxygen on aerosolized *Serratia marcescens*. *Appl. Microbiol.* 13: 781-787.
- Hibben, C. R. & G. Stotzky, 1969. Effects of ozone on the germination of fungus spores. *Can. J. Microbiol.* 15: 1187-1196.
- Houten, J. G. ten, 1965. Agrarische aspecten van luchtverontreiniging. *Wat. Bodem Lucht* 55: 46-62.
- Houten, J. G. ten, 1972. Air pollution and plant health. *EPPO Bull.* 4: 65-77.
- Manning, W. J., W. A. Feder & I. Perkins, 1970. Ozone injury increases infection of Geranium leaves by *Botrytis cinerea*. *Phytopathology* 60: 669-670.
- Raay, A. van, 1969. The use of indicator plants to estimate air pollution by SO₂ and HF. In: Air pollution. Proc. First Eur. Congr. Influence Air Pollut. Pl. Anim. (Wageningen, 1968), Pudoc, Wageningen: 319-329.
- Rutten, M. G., 1970. De geschiedenis van de atmosfeer. In: Biosfeer en

- mens, Pudoc, Wageningen: 15-40.
- Schönbeck, H., M. Buck, H. van Haut & G. Scholl, 1970. Biologische Meszverfahren für Luftverunreinigungen. VDI-Ber. 149.
- Skye, E., 1968. Lichens and air pollution. *Acta phytogeogr. suec.* 52: 1-123.
- Sharp, E. L., 1967. Atmospheric ions and germination of uredospores of *Puccinia striiformis*. *Science N.Y.* 156: 1359-1360.
- Spaander, J., 1971. De bestrijding van de luchtverontreiniging in Nederland. Belg. Arch. Soc. Geneesk. Hyg. Arb. Gen. Ger. Gen. 3: 181-194.
- Spierings, F., 1971. Influence of fumigations with NO_2 on growth and yield of tomato plants. *Neth. J. Pl. Path.* 77: 194-200.
- Stix, E., 1971. Vorkommen von Pollen und Sporen in der Luft. In: E. Landes & H. Ziegler (Eds): Kolloquium Allergien durch Pollen und Sporen (Darmstadt, April, 1970). D.F.G. Komm. Erf. Luftverunr. Mitt. VI.
- Tesink, J., 1954. Fluorvergiftiging bij runderen en haar beïnvloeding door het toedienen van aluminiumsulfaat. Proefschrift Utrecht, 184 pp.
- Wolting, H. G., 1971. Gevoeligheid van tulpen voor HF bij langdurige begassing met zeer lage concentraties. *Bedrijfsontwikkeling (editie Tuinbouw)* 1: 53-57.

Aërobiologie en de menselijke luchtwegen (Dr. K. de Vries)

- Booy-Noord, H., N. G. M. Orie & K. de Vries, 1971. Immediate and late bronchial obstructive reactions to inhalation of house dust and protective effects of disodium cromoglycate and prednisolone. *J. Allergy Clinical Immunology* 48: 344-354.
- Gell, P. G. H. & R. R. A. Coombs, 1968. Clinical aspects of immunology. Blackwell Scientific Publications Oxford and Edinburg, 2nd edition: 575-596.
- Green, G. M., 1970. The J. Burns Amberson lecture: In defence of the lung. *Am. Rev. resp. Dis.* 102: 691-703.
- IBP, 1971. Aerobiological Newsletter nr 5.
- Joosting, P. E., 1971. De reactie van de ademhalingswegen op exogene prikkels. II. *Tijdschr. soc. Geneesk.* 49: 463-468.
- Lende, R. van der, 1970. Possible indicators of endogenous factors in the development of CNSLD. In: N. G. M. Orie & R. van der Lende (Eds): Bronchitis III. Royal van Gorcum, Assen: 52-70.
- Lende, R. van der, 1971. Epidemiologisch CARA-onderzoek. *Tijdschr. soc. Geneesk.* 49: 450-458.
- Liebow, A. A. & D. E. Smith (Eds), 1968. The lung. Williams & Williams Company, Baltimore.
- Orie, N. G. M., H. J. Sluiter, K. de Vries & G. J. Tammeling, 1961. Chronische aspecifieke respiratoire aandoeningen. *Ned. Tijdschr. Geneesk.* 105: 2136-2139.
- Ouchterlony, O., 1962. Diffusion-gel-methods for immunological analysis.

Prog. Allergy 6: 30-154.

Hatch, T. F. & P. Gross, 1964. Pulmonary deposition and retention of inhaled aerosols. Academic Press: 1-74.

Tammeling, G. J., 1970. Adembenemend. Inaugurele rede, Groningen.

Voorhorst, R., F. T. M. Spieksma & H. Varekamp, 1969. House dust and the house dust mite. Stafleu's Scientific Publications Company, Leiden.

Vries, K. de, 1961. Discussion on the physiopathology of chronic bronchitis. In: N. G. M. Orie & H. J. Sluiter (Eds): *Bronchitis Royal van van Gorcum*, Assen.

Vries, K. de, H. Booy-Noord, R. van der Lende & G. J. Tammeling, 1971. Reactivity of the airways to exogenous stimuli. In: *Chronic inflammation of the bronchi. Prog. resp. Res.* 6: 66-77.

Register

- Absidium corymbifera* 102
 Acarina 67-69
Actinastrum sp. 56
 ademhalingsorgaan 93 e.v.
 , depositie van deeltjes 94
 , eliminatie van deeltjes 95
 , penetratie van deeltjes 94
 , wisselwerking met exogene prikkels 96
 aërobiologie 7-8, 33, 58, 83, 93, 103
 , entomologische 59
 , klassieke 94
 , klinische 94
 aëropalynologie 35
 aëroplankton 54, 57, 69
 aërosol 7, 79, 88
 algen 7, 54 e.v.
 allergeen 36
 allergisch mechanisme 98, 100
Alnus 37
Alternaria 87
 - *tenuis* 102
 alveoli 95
Ambrosia 19
 amfibiele plantesoorten 35
 ammoniak 79, 99
 anemocherie 21
 anemofiele plantesoorten 35, 38
Anthonomus grandis 60, 69
Aphanocapsa sp. 56
Aphis
 - *fabae* 62
 - *gossypii* 69
 Araneida 67-69
Artemisia 37, 51
 - *vulgaris* 40-41
 ascomyceten 23
Ascomycotina 21
 ascus, explosieve 23, 24
Aspergillus spp. 25
 - *fumigatus* 101-102
 - *nidulans* 101-102
 - *repens* 101-102
 - *versicolor* 101-102
 Asteraceae 37
 atmosfeer, stabiele, neutrale en onstabiele 14-16, 31, 80
 atmosferische druk, invloed op vliegactiviteit van insekten 62
 bacteriën 7, 54, 87-88, 96
Basidiomycotina 21
 berk 37, 48, 50
Betula 37, 48, 50
 beuk 37, 48, 50
 bewolking 45, 48, 78
 bijen 87
 bijvoet 37, 51, zie ook *Artemisia*
 bio-industrie 78
 bladluis 71
 bloedregen 19
 bloeijlijst van pollinose veroorzakende planten 37, 50-53
Botrytis 84
 brandnetel 37, 51, zie ook *Urtica*
 bronhooft 11
 bruine roest van tarwe 21-22
 buien 17 e.v.
 Burkard recording volumetric spore trap 40

CARA (chronische aspecifieke respiratoire aandoeningen) 97-98

catch efficiency 16, 17, 32

cementstof 78, 79

Chaetomium 87

Chemopodiaceae 37, 51

chloor 81

Chlorella vulgaris 56

Chlorococcum 55-56

cicaden 67-68

Cladosporium herbarum 102

Cnephasia pumicana 64

Cochliomyia hominivorax 60

Coleoptera 67-69

Collembola 69

Colletotrichum lagenarium 87

Compositae, zie *Asteraceae*

convectie 10, 17

Corylus 37, 50

dagpauwoog 74

Danaus plexippus 73

deeltjes in de atmosfeer

, concentratie 13

, dichtheid 11

deeltjesgrootte 11, 16

den, zie *Pinus*

dennebos 36, 87

depositie 31, 94, 95

, afstand tot de bron 16, 19, 20

diffusie, turbulente 20, 29

Dilachnus piceae 71

Diptera 67-69

Duitse wesp 62

eik 37, 48, 50

els 37

entomofiele plantesoorten 35

Eotetranychus sexmaculatus 65

es 37, 51

Escherichia coli 88

ethyleen 78, 81, 84-85

Fagus 37, 48-50

fluorosis, industriële 87

fotochemische luchtverontreiniging
84-85

Fraxinus 37, 51

fronten 17 e.v.

Funaria hygrometrica 56

fungi 54

Fusarium oxysporum 87

fysiologische

- rassen 29

- specialisatie 29

ganzevoetachtigen 37, 51

gassen 7, 78 e.v.

gele roest bij tarwe 88

gisten 7

Gramineae, zie *Poaceae*

grassen 37, 86, zie ook *Poaceae*

hazelaar 37, 50

Heteroptera 67-69

Hirst spore trap 39-40

histamine drempel 99

hoesten 98

Homoptera 72, 67-68

hooikoorts 34, 41, 47, 100

huidtesten 101, 102

huisstof 96-97, 100-101, 103

Hymenoptera 67-68

hyperreactiviteit 98-100

Hypnum cupressiforme 83

iep 37, 50

impactie 31-32, 94

Inachis io 74

insekten 35, 58 e.v.

, gevleugelde 59 e.v.

, migratie van 58, 72

, ongevleugelde 63 e.v.

, verspreiding van 58 e.v., 76

insekten-dichtheid, formules van 70

insektenplagen 59, 68, 74

invangend vermogen, zie catch efficiency

katoenbolrups, roze 76

katoenluis 69

katoensnuitkever 60, 69

katoenwants 69

kevers 67-68

koolmonoxyde 84-85

koolmot 74

koolwaterstoffen 78-80, 84

korstmossen 83

kortademigheid 98-100

koude 99

Lepidoptera 69, 71

licht, invloed op vliegactiviteit van
insekten 59

loodoxyde 78-79

luchtmonsters 54 e.v.

luchtverontreinigingen, chemische
78 e.v.

, herkomst, aard en verspreiding
van 79 e.v.

, invloed op micro-organismen
87 e.v.

, invloed op planten van 80 e.v.

, meetnetten van 90-91

, meten van 89

luchtwegvernaauwing 98-99

luizen 67-68

Lycopersicon

- *esculentum* 88

- *pimpinellifolium* 88

Lygus pabulinus 69

Lymantria dispar 63

mercaptanen 78

Metatetranychus citri 65-66

meteorologie 10 e.v.

meteorologische omstandigheden

35-36, 41 e.v., 56-57, 78-79

microben 88

micro-organismen 7, 54, 59, 89

mijt 63, 67, 69

, avocado 65

, rode citrus 65-66

, spint 65

mist 99

mossen 54 e.v., 83

Mucorales 25

neerslag 10, 15 e.v., 42-43, 45

Nomadacris 60-61

- *septemfasciata* 61

Nymphalis antiopa 74

Oligonychus punicae 65

opwaartse stroom van deeltjes 13-14

Orthoptera 67-69

ozon 7, 78 e.v.

Parmelia saxatilis 83

pathologie, menselijke 93 e.v.

Pectinophora gossypiella 76

Penicillium 25

- *natatum* 102

peritheciën 23-24

Peronosporaceae 25-26

peroxyacetylnitrat (PAN) 79,

81-82

Phormidium luridum f. *nigrescens*
56

Phytophthora infestans 25-26, 29

Pinus 48

- *strobus* 84

Piptocephalis 25

plakker 63

Plantago 37, 51

Pleurococcus vulgaris 56

Plutella maculipennis 74

Poa pratensis 40-41

Poaceae 34 e.v., 52-53

pollen(korrels) 19, 34 e.v., 87,
96-97

pollenverwachting 47

pollinose 34 e.v., 103

Polystichum Filix-mas 56

populier 37, 50

Populus 37, 50

- *tremula* 84

protozoën 7, 54 e.v.

provocatietesten 102

Puccinia

- *graminus* 30-31

- *recondita* 21-22

- *striiformis* 88

pyrenomyceten 25

Quercus 37, 48, 50

radioactiviteit 57

ratelpopulier 84

rechtvleugeligen 67-68

regen 46, 61, 72, 78-79

relaxatietijd 22

Rettger airwasher 56

roet 79

rouwmantel 74

Rumex 37, 40-41, 45, 49, 51

- *acetosa* 40-41

Salix 37, 48, 50

schermbloemigen 86

schimmels 21 e.v., 87, 96, 101

Schistocerca gregaria 72-73

Sclerotium rolfsii 88

screwworm 60

Serratia marcescens 88

smog 80, 85, 88, 92

Sonchus asper 40-41

Sordaria fimicola 23-25, 27

spettermechanisme 26

spinachtigen 67

spinnen 63, 66, 68-69, 72

Spodoptera

- *exempta* 74

- *exigua* 74-75

sporabool 23-24

sporelanding 22 e.v., 31 e.v.

sporen 7, 21 e.v., 54, 96-97

sporenbron 28

sporenghalte van de lucht 27

sporestart 22 e.v.

sporevluchtbaan 23

sporofoeren 25

sprinkhanen

, migratie van 20

, verspreiding van 60 e.v.

, woestijn 72-73

sputum, chronisch opgeven van 98

Stemphylium 87

Stichococcus

- *bacillaris* 56

- *minor* 56

stikstofoxyde 7, 78 e.v.

Stokes, wet van 11

stuifmeel(korrels) 7, 88, zie ook

pollen

Syrphus ribesii 71

temperatuur 41-46, 48, 61-62

temperatuurdrempel bij insecten 62

Tetranychus urticae 65

Thysanura 69

turbulentie 10 e.v., 16, 28, 38, 95

uitlaatgassen 78-79, 84

uitwisselingscoëfficiënt 13-14

Ulmus 37, 50

Urtica 37, 40 e.v., 51

- *dioica* 40-41

valsnelheid van deeltjes 10 e.v., 15, 38

vangapparaten 28 e.v., 55

varens 54 e.v.

Venturia inaequalis 27

verspreiding van deeltjes in de atmosfeer

, horizontale 11, 29 e.v.

, verticale, zie opwaarde stroom

Verticillium

- *alboatrum* 87

- *dahliae* 87

Vespula germanica 62

virussen 7, 96

vlieg 67-68

, gaas 71

, zweef 71

vliegactiviteit bij insekten 59 e.v.
vliegas 79

vliegcapaciteit bij insekten 62 e.v.
vliesvleugeligen 67-68

vlinders 73-74

vochtigheid van de lucht 25, 27,
41-46, 48, 61

wantsen 67-68

waterstoffluoride 7, 78 e.v.

weegbree 37, 51

weymouthden 84

wilg 37, 50

wind(snelheid) 10, 12, 35, 38,
42-45, 48, 60, 72-73

zône

- entomologique terrestre 70

- planctonique 70

zoutzuur 78-79

zuring 37, 51, zie ook *Rumex*

zwarte boneluis 62

zwarte roest van tarwe 30-32

zwaveldioxyde 7, 15, 78 e.v.

zwavelzuurniveaus 80