

**METEN IS WETEN:
meetmethodologie als fundament voor ontwikkeling en
monitoring van beleid**

door prof.dr. J. Slanina



Inaugurele rede uitgesproken op 30 maart 1995 bij de
aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de
ontwikkeling van meetmethoden voor atmosferisch
onderzoek aan de Landbouwuniversiteit te
Wageningen.

592157

METEN IS WETEN:

meetmethodologie als fundament voor ontwikkeling en monitoring van beleid

1 Het algemene probleem

Er heeft altijd een spanning bestaan tussen diegenen die wetenschappelijk onderzoek aan milieuhygiënische onderwerpen verrichten en diegenen die zich bezig houden met milieubeleid in de ruimste betekenis van dit begrip.

Het milieuprobleem, of in ieder geval zeer belangrijke onderdelen daarvan zijn onder de aandacht van de overheid gebracht via resultaten van wetenschappelijk onderzoek, al dan niet bijgestaan door geëngageerde actiegroepen. En de behoefte van de overheid om beleid te formuleren ter behoud van het milieu, om te weten welke maatregelen hiervoor genomen dienen te worden en (soms) om het beleid en de daarmee samenhangende maatregelen op hun effectiviteit te toetsen heeft tot een niet onbelangrijke financiële bijdrage tot het onderzoek op dit gebied geleid. Deze situatie kan met recht als een nuttige symbiose omschreven worden.

Maar het is niet alleen pais en vree. Vooral als omvangrijke projectvoorstellen de overheid bereiken, wordt in toenemende mate de opmerking vanuit het beleid gehoord dat "we reeds voldoende weten" om goed beleid te kunnen voeren en zelfs wordt, maar meestal sotto voce, de opinie geventileerd dat toenemende mate van kennis vaak tot verwarring en niet eenduidige standpunten leidt. Daarnaast wordt er op gewezen dat veel kennis uit het buitenland geïmporteerd kan worden zodat in Nederland niet het wiel opnieuw uitgevonden hoeft te worden.

De wetenschappers daarentegen zijn voor het overgrote deel van mening dat volstrekt onvoldoende kennis over welhaast alle aspecten van milieuverontreiniging voorhanden is en dat meer en dieper onderzoek een vereiste is.

De overheid heeft in de laatste jaren voornamelijk Nationale Onderzoekprogramma's gefinancierd om gericht onderzoek te bevorderen. Deze "NOP's" hebben tot goede resultaten geleid, maar in de loop van de jaren is de financiële ondersteuning van de overheid meer en meer ingekrompen en vooral activiteiten die buiten de NOP's vallen zijn daardoor getroffen. In een recent COL rapport wordt op deze ontwikkeling gewezen en duidelijk gesteld dat hierdoor met name de infrastructuur van milieuonderzoek, waaronder methodiekontwikkeling, is getroffen.

De ondersteuning van de ontwikkeling van meetmethodieken voor luchtverontreiniging door de overheid is in de loop van laatste jaren sterk verminderd, ongetwijfeld met dezelfde achtergrond als hierboven geschetst voor het totaal van het milieuonderzoek. Deze beperking van de ondersteuning is zo ver voortgeschreden dat nog slechts op enkele plekken in Nederland, op enkele Universiteiten en een tweetal GTI's nog aan onderzoek aan ontwikkeling van meetmethoden voor luchtverontreiniging aandacht wordt besteed.

De vraag is nu of deze situatie voor Nederland BV (om Lubbers te citeren) op langere termijn aanvaardbaar is. Op korte termijn wordt geld gespaard, dat is

duidelijk, maar is dat ook zo indien de langere termijn wat nauwkeuriger wordt gezien.

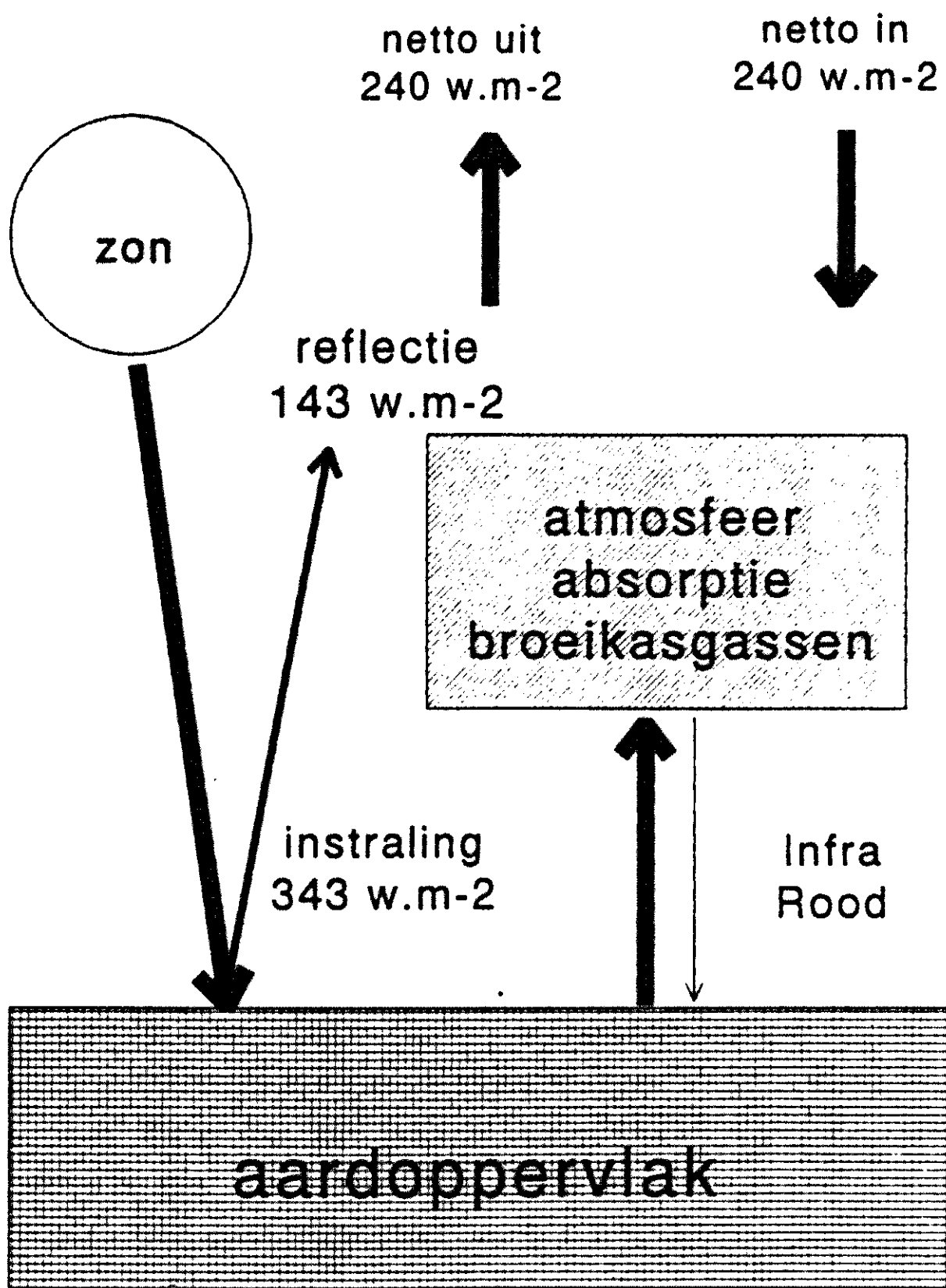
Aan de hand van twee voorbeelden, namelijk de bepaling van de invloed van aerosolen op mogelijke klimaatverandering en de problemen bij de karakterisering van het ammoniak probleem, zullen de volgende stellingen nader worden beschouwd:

1. De toetsing van beleidsdoeleinden vereist nieuwe informatie en dus in veel gevallen verder ontwikkeling van meetmethodieken en meetstrategie.
2. De mate van acceptatie van het beleid is afhankelijk van de risico's verbonden aan overschrijding van kritieke belasting of concentratie door luchtverontreiniging. Naarmate de onzekerheid over deze risico's groter is zal het beleid minder gemakkelijk geaccepteerd worden, vooral als er grote kosten aan verbonden zijn.
3. Het importeren van kennis vanuit het buitenland is soms mogelijk maar soms ook niet. Indien informatie over de specifieke Nederlandse of Europese situatie vereist is, houdt dat in veel gevallen in dat geschikte meetmethoden voorhanden moeten zijn om deze informatie te verkrijgen.
4. De toetsing van de effectiviteit van milieumaatregelen zal een steeds toenemende aandacht krijgen. Ook deze toetsing zal de ontwikkeling van meetmethoden noodzakelijk maken.

2 Broeikaseffect, wordt het nu warmer of kouder? Klimaatverandering door menselijk ingrijpen.

De stijging van de concentratie van broeikasgassen, zoals kooldioxide, methaan en N₂O, lachgas, die is opgetreden sinds de industriële revolutie heeft de stralingsbalans van de aarde beïnvloed. De aarde ontvangt zonnestraling en wordt daardoor opgewarmd. Ieder lichaam met een temperatuur boven het absolute nulpunt van -273.15 °C geeft straling af met een golflengte en intensiteit die van de temperatuur van dit lichaam afhankelijk is. Als de evenwichtstemperatuur van de aarde wordt berekend op grond van de ontvangen intensiteit van zonnestraling en een stralingsgedrag zonder invloed van de atmosfeer, dan blijkt dat de aarde ongeveer 30 graden kouder zou zijn als thans wordt gemeten. De reden van dit verschil is het "natuurlijke broeikaseffect" van de atmosfeer. De aarde ontvangt relatief kortgolvig zonlicht maar straalt, bepaald door de temperatuur aan het aardoppervlak langgolvige (infra-rood) straling uit. De atmosfeer bevat gassen, zoals waterdamp, kooldioxide, methaan, ozon en N₂O (die ook alle aanwezig zijn zonder menselijke invloeden) die een gedeelte van deze infra-rode straling absorberen, waardoor de atmosfeer en ook het aardoppervlak ca. 30 graden wordt opgewarmd, zie Figuur 1.

Dit "natuurlijke broeikaseffect" heeft tijdens het bestaan van de aarde grote veranderingen vertoond. Soms heeft de aardatmosfeer veel grotere concentraties kooldioxide en methaan bevat dan in recenter tijden het geval is geweest.



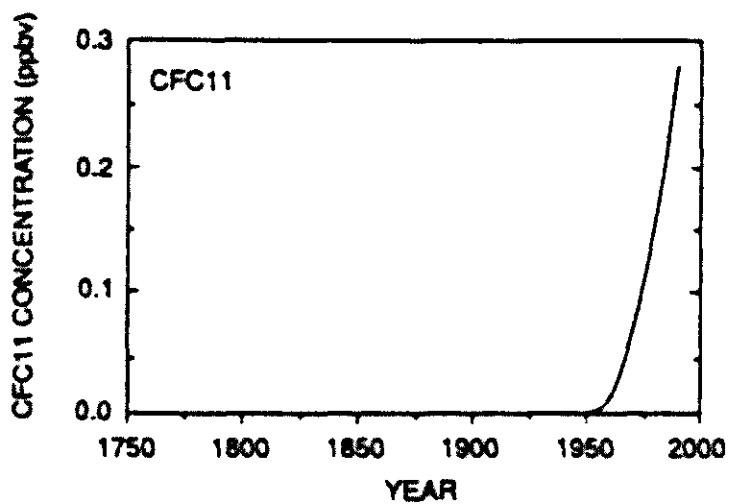
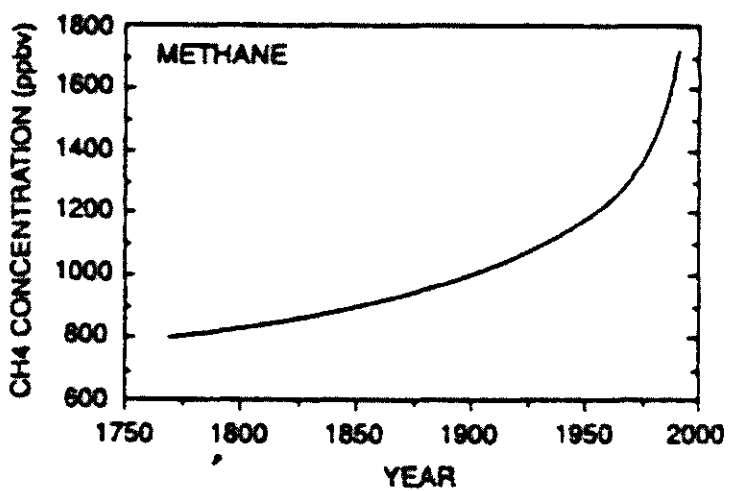
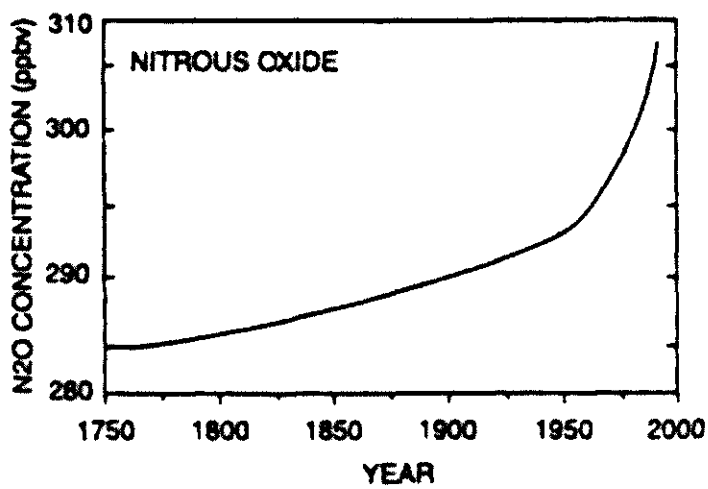
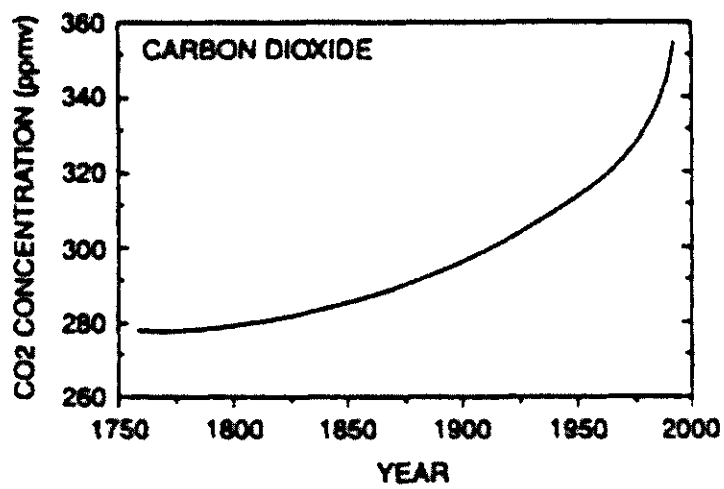
Figuur 1 De stralingsbalans van de aarde, schematisch weergegeven.

Naast dit "natuurlijke broeikaseffect" is er ook sprake van een "antropogeen broeikaseffect", het broeikaseffect dat door emissies verbonden aan

menselijk handelen wordt veroorzaakt en gezien het feit dat dit effect hier behandeld wordt, zal met de term broeikaseffect dit "antropogene broeikaseffect" worden aangeduid. Nu zou men kunnen tegenwerpen dat een werkelijke temperatuurstijging door het broeikaseffect nog niet is aangetoond. Dat is, naar mening van de overgrote meerderheid van de betrokken wetenschappers, inderdaad het geval. Maar de stijging van de concentratie van belangrijke broeikasgassen sinds de industriële revolutie, zoals weergegeven in Figuur 2, heeft een duidelijke invloed op de stralingsbalans van de aarde.

De stijging van de concentratie van CO₂ sinds de industriële revolutie heeft geresulteerd in een toename van straling met een energie van ongeveer 1,5 watt per m², methaan is verantwoordelijk voor naar schatting 0,5 watt en N₂O, fluor-chloorkoolwaterstoffen en ozon voor ongeveer 0,8 watt [1], dit in vergelijking met een gemiddelde energie door instraling van 240 watt per vierkante meter. Dit betekent dat er een merkbare verandering in de stralingsbalans is opgetreden die bij verdere stijging tot temperatuurverandering zal leiden. De huidige schattingen, berekend met modellen geven aan dat bij verdubbeling van de CO₂ concentratie de gemiddelde temperatuur op aarde met 1,5 tot 4,5 graden celsius zou stijgen [2].

Dit zou, vooral gelet op het Nederlandse klimaat, op zich zelve nog geen ramp zijn, ware het niet dat deze temperatuurstijging gepaard zou kunnen gaan met uitdroging van grote gebieden, zeespiegelrijzing, frequentere en zwaardere stormen, verstoring van natuurlijke ecosystemen en van landbouwpatronen,



Figuur 2 De toename van de concentraties van kooldioxide, lachgas, methaan en fluor-chloor-koolwaterstoffen in de atmosfeer van 1750 tot heden.

waardoor een zeer ernstige destabilisering van de mondiale samenleving zou kunnen optreden. De kans op deze ernstige effecten van de verstoring van de stralingsbalans heeft tot een grote intensivering van het onderzoek op dit terrein geleid, waarbij natuurlijk een van de centrale vragen is of reeds het antropogeen broeikas effect optreedt of niet. En wanneer dat nu nog niet merkbaar is blijft de belangrijke vraag wanneer de resultaten van de verstoring van de stralingsbalans eenduidig aangetoond kunnen worden.

De samenhang tussen de verstoring van de stralingsbalans door de toename van broeikasgassen en klimaatverandering is buitengewoon gecompliceerd door het optreden van zogenaamde koppelingen, mechanismen die de verstoring van de stralingsbalans door broeikasgassen compenseren of versterken.

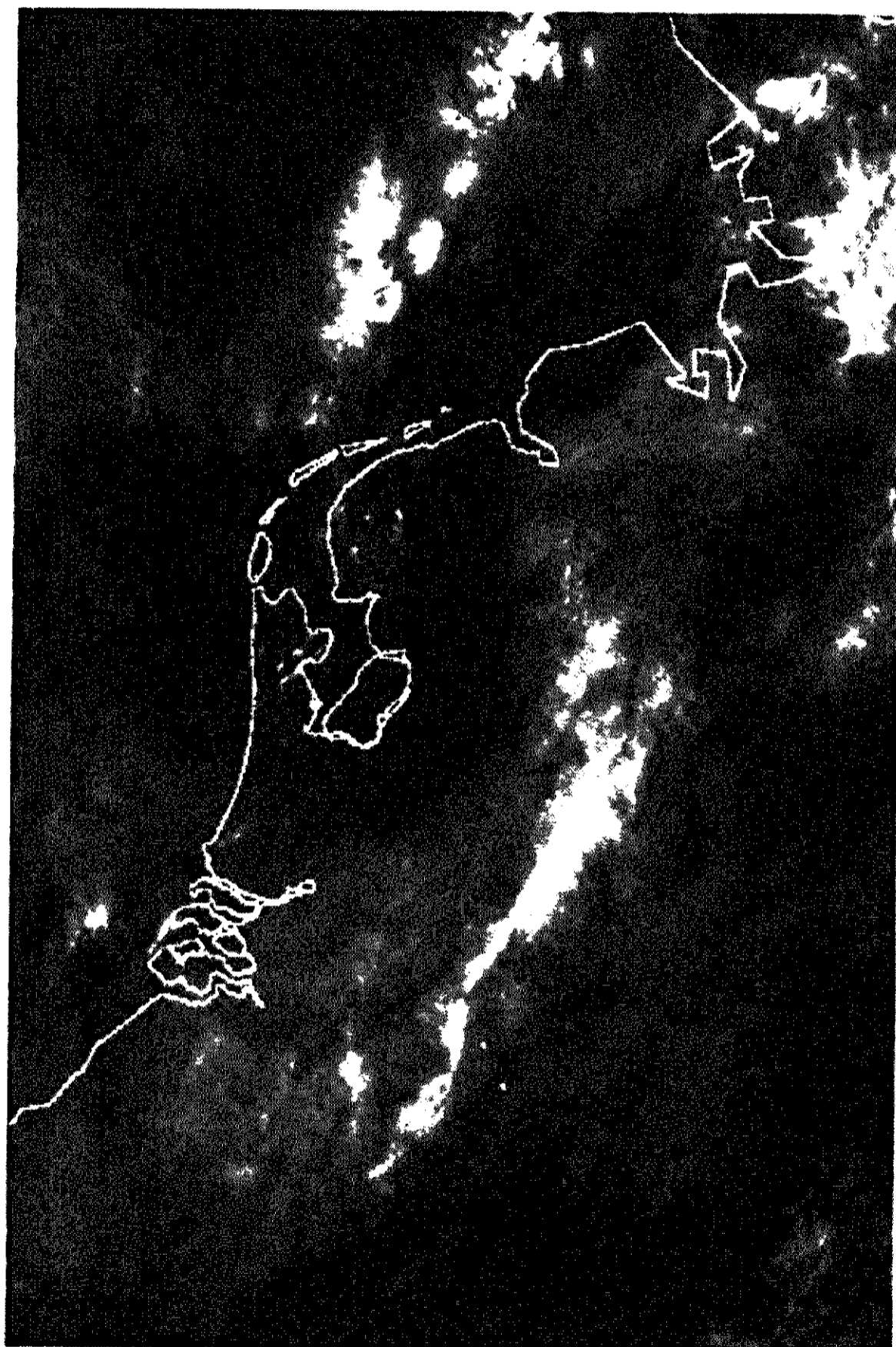
Zonder een uitputtende beschrijving van alle koppelingsmechanismen te willen geven, zijn volgens de internationale wetenschappelijke gemeenschap de volgende koppelingen, buitengewoon belangrijk:

- Dezelfde factoren, industriële en agrarische activiteiten plus bevolkingsgroei, die geleid hebben tot de eerder beschreven grote stijging van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer hebben ook geleid tot een sterke stijging van de concentratie van deeltjes, aërosolen, in de atmosfeer. Deeltjes komen door natuurlijke oorzaken, zoals vulkaanuitbarstingen, opspattend zeewater en zandstormen, in de atmosfeer terecht. Maar menselijk handelen heeft, analoog aan de situatie van de broeikasgassen, tot een grote toename van de concentratie van deeltjes in de atmosfeer geleid. Een aanzienlijk gedeelte van de emissies van zwaveldioxide, stikstofoxiden,

ammoniak en andere stoffen worden via chemische reacties in de atmosfeer omgevormd tot deeltjes, zwaveldioxide tot sulfaat, stikstofoxiden tot nitraat en ammoniak tot ammoniumverbindingen, bijvoorbeeld. Deze componenten maken een aanzienlijk deel uit van de aërosolen in Europa en Amerika en in toenemende mate in Oost-Azië. Deeltjes met een diameter van 0.1 tot 2 micron, en in deze fractie is een groot gedeelte van het antropogene aërosol voorhanden, verstrooien kortgolvig zonlicht effectief. Dit verstrooiend effect is groot wanneer de diameter van deeltjes ongeveer even groot is als de golflengte van het licht dat door de deeltjes wordt verstrooid. Het verschijnsel van lichtverstrooiing is zeer goed waarneembaar tijdens "smogepisoden" waarbij het zicht vaak wordt beperkt tot enkele kilometers door dit verstrooiend effect van deeltjes in de lucht. Het langgolvig infra-rood licht dat de aarde uitstraalt heeft een veel te grote golflengte om door deze deeltjes te worden verstrooid, het wordt ook niet door aërosol geabsorbeerd en het passeert het atmosferisch aërosol dan ook ongehinderd. Dit verschijnsel leidt tot een netto koeling van de aarde. Immers door de verstrooiing van het zonlicht wordt een fractie van het instralende licht teruggekaatst naar de ruimte terwijl het infra-rood licht van de aarde niet wordt gehinderd. De grootte van dit effect is, zoals later uiteen gezet zal worden, nogal onzeker. Maar recente schattingen geven aan dat dit zogenaamde "directe aërosoleffect" de stralingsbalans beïnvloedt met een omvang die, gemiddeld over de gehele aarde, tussen 0,5 en 1,5 watt per vierkante meter zou kunnen bedragen (1,3).

- Naast dit "directe aërosol effect" is ook nog het "indirect aërosol effect" van belang. Wolken ontstaan door het condenseren van waterdamp op deeltjes, aërosolen, die in de atmosfeer aanwezig zijn. Wanneer de lucht erg schoon is en er slechts weinig deeltjes voorhanden zijn zullen bij wolkenvorming grote druppels ontstaan, want er zijn slechts weinig condensatiekernen voorhanden. Indien lucht veel meer aërosolen bevat, onder andere door antropogene emissies, dan worden veel meer en dus kleinere druppels gevormd. Ook dit verschijnsel heeft een grote invloed op de stralingsbalans van de aarde. Wolken die geringere aantallen grote druppels bevatten kaatsen niet al het zonlicht terug maar absorberen wel al het door de aarde uitgestraalde infrarood licht. Wordt de gemiddelde druppelgrootte van deze wolk kleiner, doordat deze ontstaan is in verontreinigde lucht, dan neemt het reflecterend vermogen voor zonlicht toe, terwijl de absorptie gevolgd door re-emissie van infrarood licht ongeveer ongewijzigd blijft. Dit fenomeen van wolken die zonlicht niet totaal terugkaatsen is goed te zien in Figuur 3, die een opname in het zichtbaar licht van bewolking boven Noord-West Europa weergeeft.

Een gedeelte van de bewolking heeft een grijze tint: De grijstint duidt op halfdoorlatende wolken. Het onderliggende aardoppervlak is zwart, dus wordt slechts een gedeelte van de inkomende straling door de wolken gereflecteerd. En dit zijn wolken die bestaan uit geringe aantallen en naar verhouding grote druppels. Daarnaast zijn echt witte wolken te zien die duidelijk vrijwel al het zonlicht terugkaatsen, een hoog albedo vertonen



Figuur 3 Opname van bewolking van variërende dikte boven Nederland, met dank aan KNMI.

zoals dat wetenschappelijk wordt uitgedrukt.

De stijging van de concentratie aan aërosolen in de buitenlucht leidt er dus toe dat wolken met grotere aantallen kleinere druppels worden gevormd en dat de terugkaatsing van zonlicht door wolken toeneemt. De omvang van dit effect is met de huidige kennis moeilijk in te schatten maar zou zeer wel in de grootte orde van 1 watt per vierkant meter kunnen liggen.

- Een derde koppeling heeft ook met wolken van doen. Wanneer het warmer wordt op aarde door het broeikas-effect zal ook de verdamping van water vanuit zeeën, oceanen maar ook meren en vegetatie, toenemen. Meer waterdamp in de atmosfeer kan natuurlijk tot een versterkte wolkenvorming leiden, maar de meeste modellen geven aan dat door veranderingen in circulatiepatronen de totale bewolking en daarmee de terugkaatsing van zonlicht afneemt. Met nadruk wordt hier gesteld "kan", want dit hele proces is opnieuw buitengemeen gecompliceerd. Wanneer de atmosfeer warmer wordt, blijft bijvoorbeeld ook meer water als waterdamp aanwezig, omdat lucht bij hogere temperatuur meer waterdamp kan bevatten, zonder dat condensatie in de vorm van wolken optreedt. Waterdamp is een broeikasgas, want het absorbeert infra-rood straling zeer effectief. De modellen die de extra wolkenvorming in de berekening hebben opgenomen, voorspellen of iets lagere temperaturen of aanzienlijk hogere, door veranderingen in wolken patronen bij verdubbeling van de concentratie van broeikasgassen in de atmosfeer.

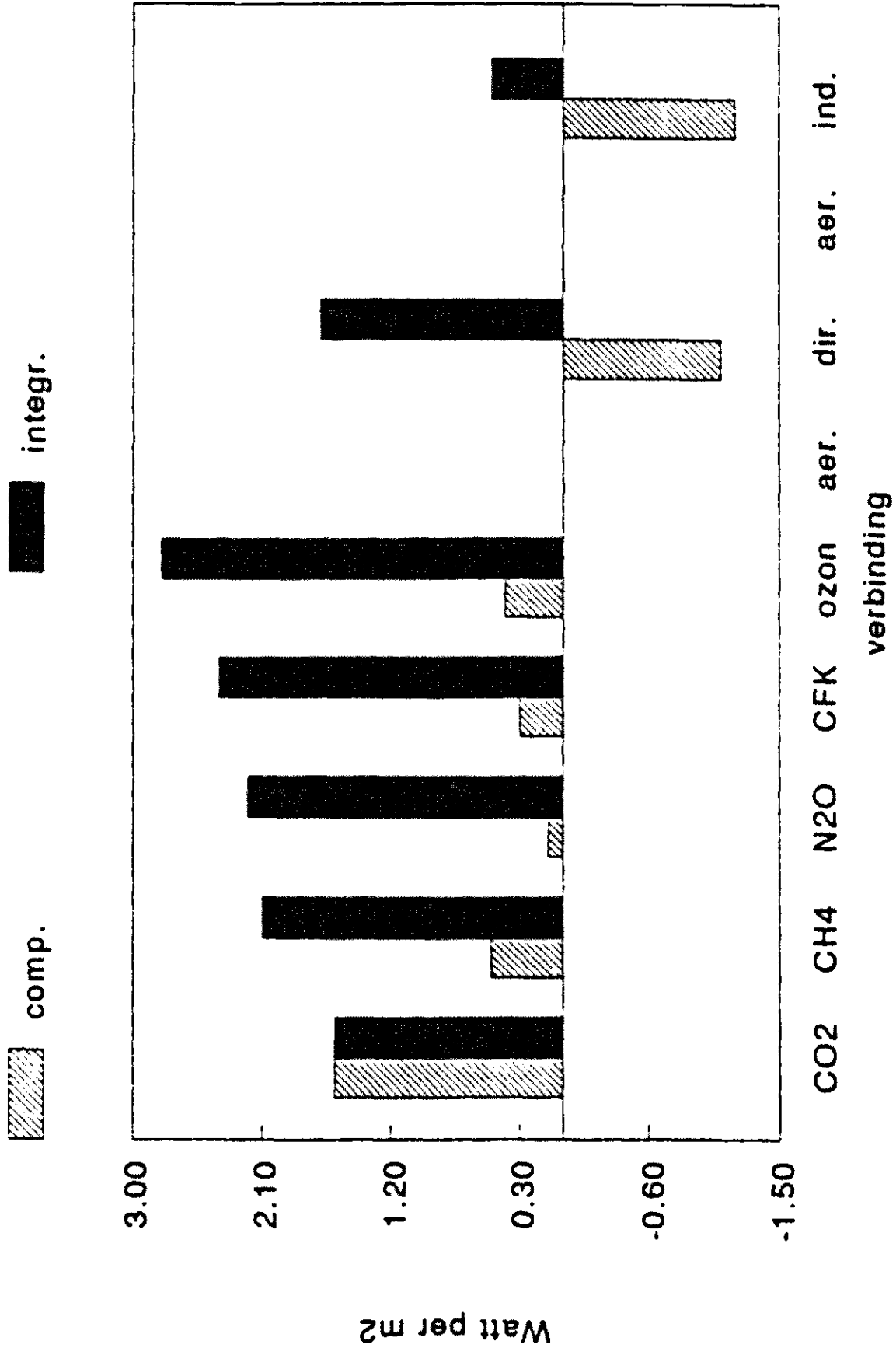
Deze terugkoppelingen leveren een beeld op dat tot verwarring kan leiden:

De toename van de concentratie van aërosolen in vele gebieden door verdergaande economische ontwikkeling zal, via het directe en indirecte effect, de verstoring van de stralingsbalans door de broeikasgassen in aanzienlijke mate compenseren. De tegenkoppeling veroorzaakt door het wolkenstelsel zal ook een belangrijke rol spelen, naar verwachting, alleen is niet bekend in welke richting. Hoe de compensatie door deze drie factoren precies uitwerkt is bij de huidige kennis moeilijk te voorspellen, onder andere omdat aërosolen een lokale invloed hebben en broeikasgassen een mondiale.

De resultante van dat alles kan zeer wel zijn dat het broeikaseffect niet rond het jaar 2000 gedetecteerd zal worden, zoals door sommige onderzoekers vroeger is gesteld, maar dat het wel twee of zelfs drie decennia kan duren, tot na 2020, voordat het optreden van het broeikaseffect echt eenduidig is vastgesteld. De bijdrage van individuele componenten en de integrale invloed van gassen en aërosolen op de stralingsbalans is gegeven in Figuur 4.

Betekent dat nu dat het broeikaseffect van agenda voor milieumaatregelen kan worden afgevoerd? Geenszins, want deze situatie kan betrekkelijk snel veranderen.

- De verblijftijden van de verschillende verbindingen in de atmosfeer, die belangrijk zijn voor het broeikaseffect, zijn zeer verschillend. De verblijftijd van CO₂, met een forse mate van onzekerheid, kan worden geschat op ongeveer



Figuur 4 De bijdrage van individuele componenten en de integrale invloed van gassen en aërosolen op de stralingsbalans.

100 jaar. De verblijftijd van methaan ligt, volgens de huidige inzichten, in de orde van tien jaar (1). Aërosoldeeltjes daarentegen zullen niet langer dan een, maximaal twee weken in de atmosfeer verblijven. Deze situatie houdt in dat wanneer de concentratie aan aërosolen verminderd wordt, op grond van maatregelen die genomen worden vanwege problemen op het gebied van menselijke gezondheid, verzuring en eutrofiëring (een overmatig aanbod van voedingsstoffen, waarover later meer), een snelle verstoring van de stralingsbalans zal optreden. De compensatie verdwijnt.

- De risico's van ernstige effecten van het broeikas-effect zijn moeilijk in te schatten. Het is op dit moment onmogelijk om aan te geven bij welke verstoring van de stralingsbalans grote verschuivingen in neerslagpatronen, een grotere frequentie van zware stormen en andere ernstige verstoringen van ons milieu zullen gaan optreden. In termen van milieupolitiek is hier sprake van een groot dilemma. Het kan enerzijds nog een lange tijd duren voordat daadwerkelijk het broeikas-effect kan worden aangetoond; anderzijds kunnen door noodzakelijke beheersmaatregelen, bijvoorbeeld op het gebied van aërosolen, in de toekomst zeer snelle verschuivingen in de stralingsbalans optreden, waardoor het broeikas-effect weliswaar later dan voorzien, maar dan ook met grotere intensiteit kan optreden. Maatregelen ter voorkoming van het broeikas-effect zijn natuurlijk moeilijker te verkopen, naarmate de gevolgen eerst op langere termijn zullen optreden. De enige oplossing is om een zo nauwkeurig mogelijk alle factoren die met broeikas-effect te

maken hebben in kaart te brengen en met deze kennis de gemeenschap er van te overtuigen dat het probleem, in de vorm van een tijdbom als het ware, daadwerkelijk aanwezig is.

3 De karakterisering van aërosolen ten behoeve van het broeikas-effect

Zowel om de directe als ook de indirecte invloed van aërosolen te kunnen kwantificeren, is kennis op de volgende punten noodzakelijk:

- Kennis van aantallen en grootteverdeling van aërosolen in de atmosfeer is essentieel om in eerste instantie de grootte van het directe als ook het indirecte effect van aërosolen te kunnen schatten. Voor kwantitatieve berekeningen van het indirecte effect moet ook bekend zijn hoe deeltjes de wolken beïnvloeden.
- De chemische samenstelling van aërosolen moet worden vastgesteld. Niet alleen om te kunnen modelleren hoe de emissies van stikstofoxiden, zwaveldioxide en ammoniak tot de vorming van deeltjes leidt maar ook omdat deeltjes een hygroscopisch effect vertonen als functie van hun samenstelling. Deeltjes die uit ammoniumnitraat bestaan zullen eerder water aantrekken dan deeltjes die uit zeezout of siliciumoxide (zand) bestaan. Als deeltjes water aantrekken dan neemt hun diameter toe. Dat betekent dat deeltjes, die in droge toestand te klein zijn om effectief zonlicht te kunnen verstrooien, bij hogere relatieve vochtigheid in de atmosfeer zo groot kunnen worden dat ze wel degelijk een rol spelen. Ook de mate waarin deeltjes de vorming van wolken-druppels beïnvloeden is sterk afhankelijk van de

chemische samenstelling. Hygroscopische deeltjes leiden sneller tot druppelvorming dan deeltjes die bestaan uit onoplosbare stoffen.

- De verdeling van aërosolen over de atmosfeer moet bekend zijn. Bijna alle metingen van aërosolen worden aan het aardoppervlak uitgevoerd, om duidelijke logistieke redenen, zodat onvoldoende kennis bestaat over variaties van aantallen en chemische samenstelling van aërosolen als functie van hoogte.
- De ruimtelijke verdeling van aërosolconcentraties over het hele aardoppervlak is heel belangrijk om niet alleen de totale invloed van aërosolen te kunnen berekenen maar ook om regionale verschillen te karakteriseren in verstoring van de stralingsbalans. In de VS en Europa is, enige, kennis op dit gebied voorhanden, voor grote gebieden van de aarde is nauwelijks enige informatie aanwezig.
- De samenhang tussen de emissies van stikstof-oxiden, zwaveldioxide en ammoniak en de vorming van deeltjes moet goed bekend zijn om de invloed van toekomstige economische ontwikkelingen te kunnen voorspellen en de effectiviteit van maatregelen te kunnen inschatten.

In het algemeen kan worden gesteld dat een redelijk aantal methoden ter beschikking staan om de fysische karakterisering (deeltjesaantallen, grootteverdeling van aërosolen) uit te voeren. De meting van de chemische samenstelling is echter een groot probleem. Toen de belangstelling voor problemen rond verzuring begon af te nemen, na 1988, is over de hele wereld de ontwikkeling van methoden om de chemische samenstelling van aërosolen te kunnen meten min of meer

gestopt. Op dit moment worden in het algemeen methoden gebruikt waarbij aërosolen op filters worden afgevangen. Vervolgens worden de deeltjes van de filters afgewassen en met behulp van verschillende analytische technieken geanalyseerd.

Deze methode heeft grote bezwaren:

- Sommige vluchtiger chemische bestanddelen van aërosolen zoals ammoniumnitraat en ammoniumchloride worden weliswaar afgevangen maar zullen in veel gevallen door verdamping van de filters verdwijnen.
- De monstername via filters vereist een lange monstername periode, van 4 tot 24 uur. De invloed van aërosolen op de stralingsbalans is het sterkst op het midden van de dag. Middelingstijden van vele uren kunnen dan ook tot foutieve interpretatie leiden.

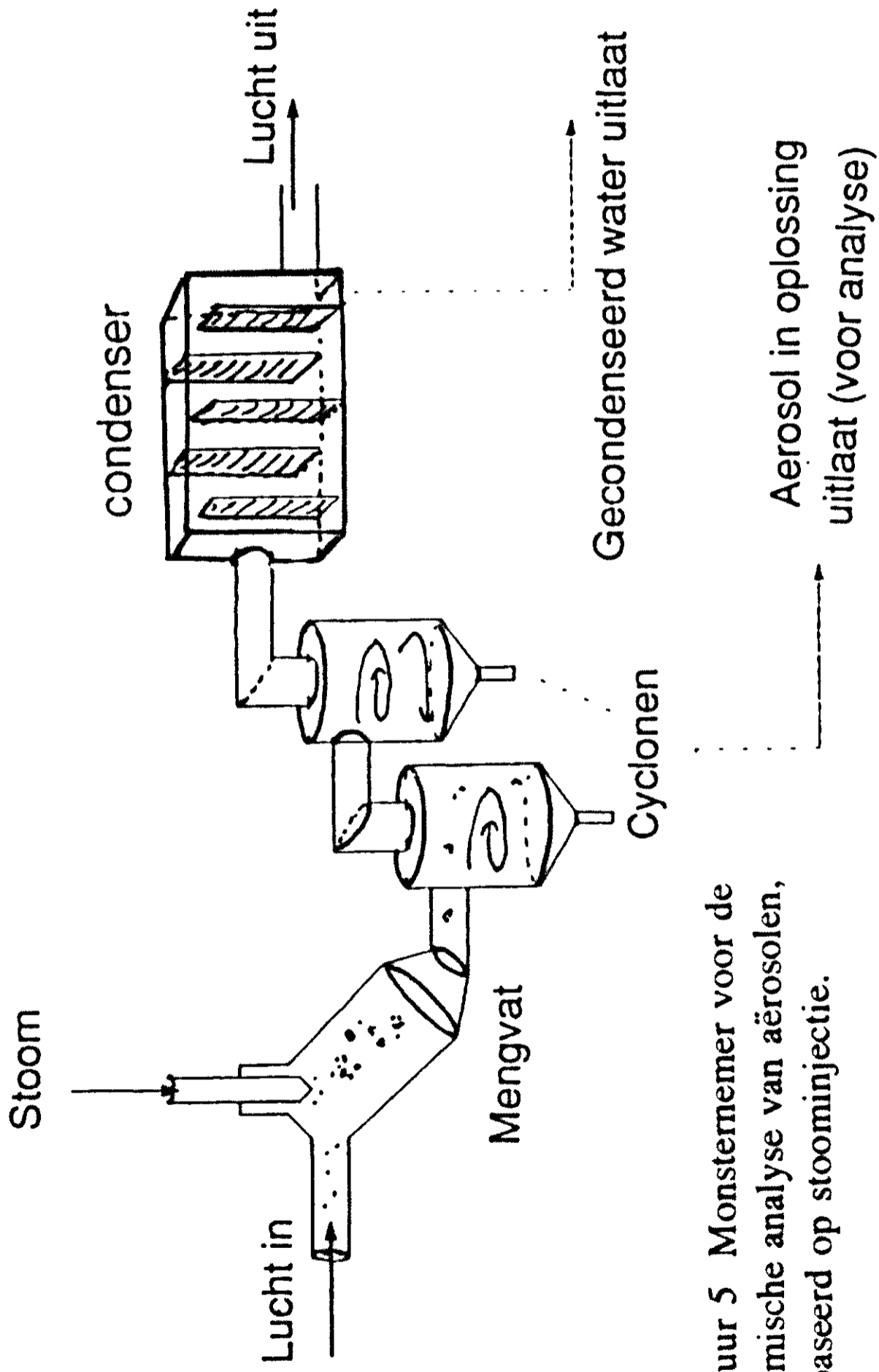
Er zijn geen methoden voorhanden die de chemische samenstelling van aërosolen direct en snel kunnen meten. Dergelijke methoden zijn noodzakelijk om, bijvoorbeeld in vliegtuigen toegepast, een goed beeld te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de chemische samenstelling van aërosolen over de atmosfeer. Massaspectrometrie wordt wel voor deze problemen toegepast. Deze methode is snel en gevoelig maar heeft het enorme nadeel dat belangrijke verbindingen zoals ammoniumnitraat niet gedetecteerd kunnen worden.

Indien deze achterstand in ontwikkeling van meetmethoden voor de chemische karakterisering van aërosolen naast de stellingen van hoofdstuk 1 wordt gehouden, dan ontstaat het volgende beeld:

- **Ad stellingen 1 en 2.** Wat betreft stelling 1 en 2, formuleren van beleidsdoeleinden en acceptatie van het beleid zal het duidelijk zijn dat kennis van de tegenkoppelingen van veranderingen van de stralingsbalans, inclusief de directe en indirecte invloeden van aërosolen erg belangrijk is. Wanneer indicaties van klimaatveranderingen uitblijven bij toenemende stijging van de concentratie van broeikasgassen zal het erg moeilijk zijn om derde wereldlanden maar ook grote groepen in de eigen samenleving er van te overtuigen dat maatregelen noodzakelijk zijn. Slechts indien werkelijk overtuigend kan worden aangetoond dat op dit moment sprake is van elkaar, meer of minder toevallig, compenserende factoren en dat deze compensatie slechts een zeer tijdelijk karakter zal hebben, zoals hierboven reeds betoogd, kan men de gemeenschap van de ernst der situatie overtuigen.

- **Ad stelling 3.** De rol van aërosolen in veranderingen van de stralingsbalans geeft een goed voorbeeld van de gevaren die optreden als buitenlands onderzoek wordt overgenomen zonder verificatie of de resultaten geheel toepasbaar zijn. Recentelijk is bij ECN een monsternamemethode in ontwikkeling genomen die de nadelen van de gebruikelijke filtermethoden vermijdt. De methode berust erop, zie Figuur 5, dat lucht ontdaan wordt van voor de verdere bepaling storende gassen met behulp van een denuder, waarover later meer, en vervolgens wordt stoom toegevoegd.

Onder deze omstandigheden treden dezelfde processen op die in de atmosfeer tot wolkenvorming leiden, de lucht is oververzadigd aan waterdamp, op de

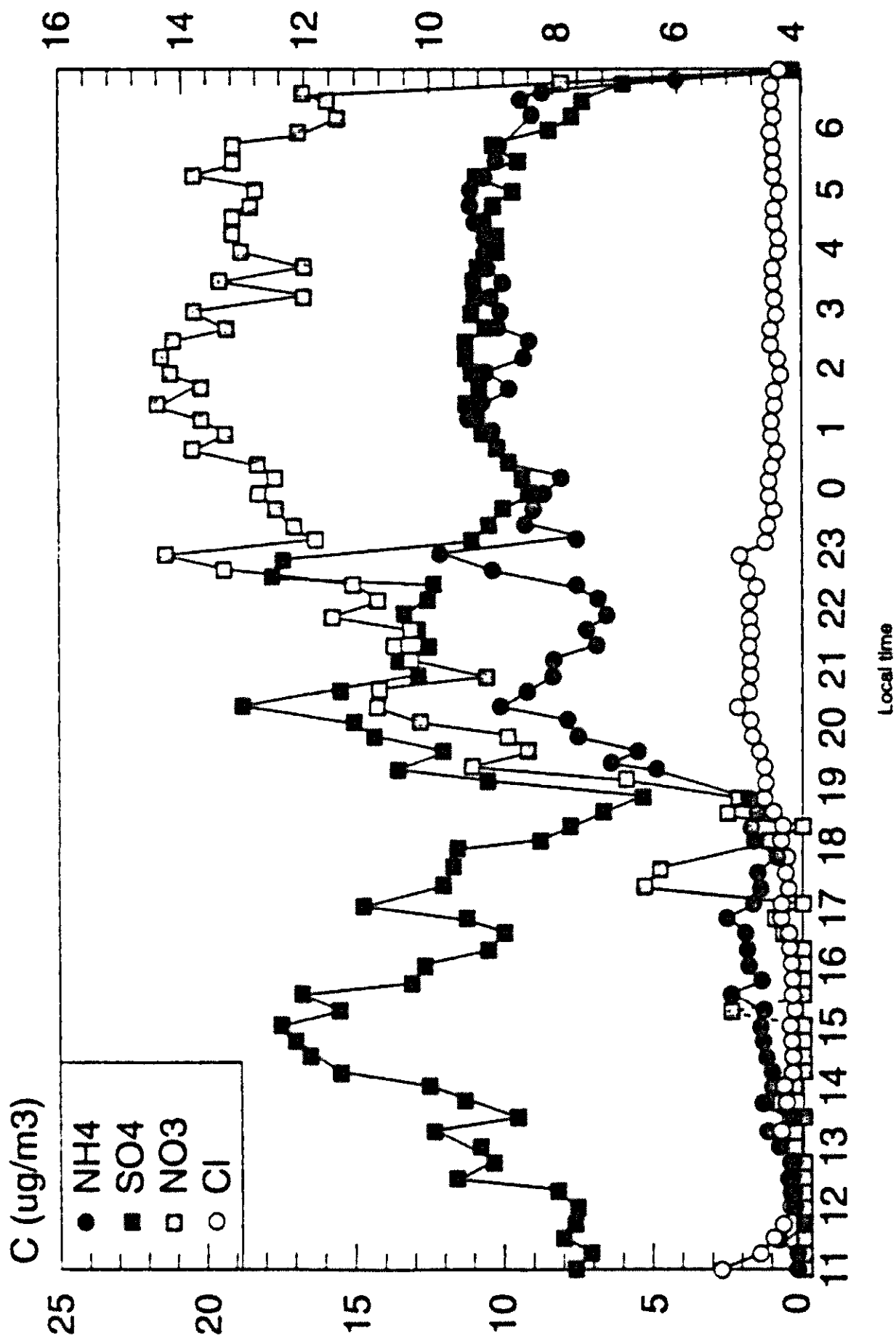


Figuur 5 Monsternemer voor de chemische analyse van aerosolen, gebaseerd op stoominjectie.

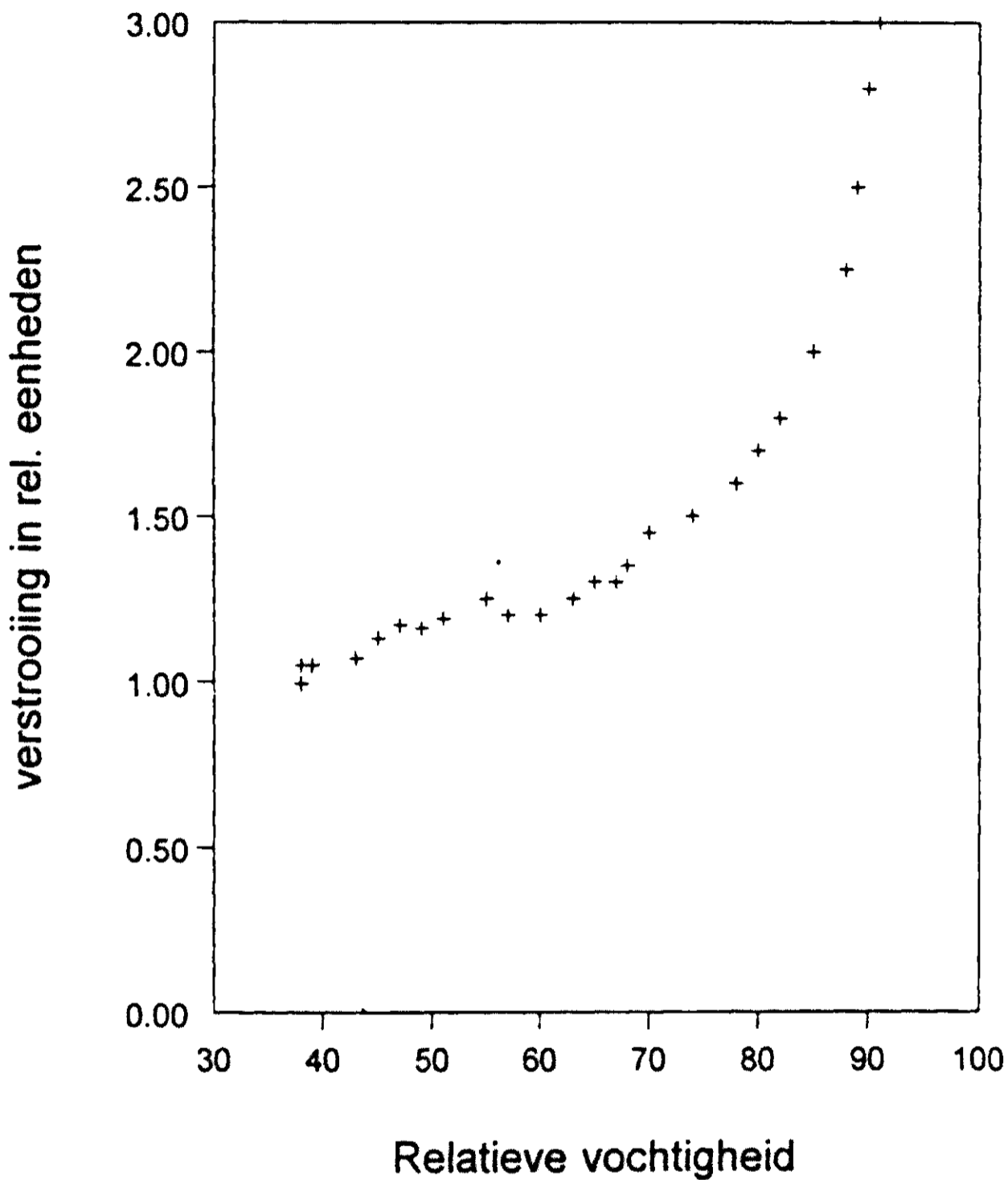
aërosoldeeltjes condenseert water en druppels worden gevormd. Deze druppels worden in een cycloontje afgevangen en geanalyseerd in een ionenchromatograaf, een apparaat dat zeer gevoelig stoffen als sulfaat, nitraat en chloride kan meten. Resultaten van deze metingen worden weergegeven in Figuur 6.

Uit deze resultaten blijkt dat onder Nederlandse condities veel meer ammoniumnitraat dan ammoniumsulfaat aanwezig is. Een belangrijke uitkomst, mede gezien het feit dat de gebruikelijke filtermetingen de neiging hebben om de hoeveelheid ammoniumnitraat nogal sterk te onderschatten. Bovendien is uit het verloop van de concentraties met de tijd ook duidelijk dat simpelweg middelen een verkeerd beeld geeft van de aërosolconcentratie in de periode dat de invloed van aërosolen op de hoeveelheid zonnestraling het grootst is (rond de hoogste stand van de zon). Het grote aandeel ammoniumnitraat heeft tot gevolg dat aërosol deeltjes onder invloed van de hoge relatieve vochtigheid die onder Nederlandse omstandigheden vaak optreedt, als druppels voorhanden zijn en dus een grotere invloed hebben op de lichtverstrooiing dan in droge toestand, zie Figuur 7.

ECN heeft een zogenaamd closure experiment uitgevoerd, waarbij deeltjesaantallen, grootteverdeling, chemische samenstelling en de daarmee verbonden wateropname door aërosolen en de verdeling over de atmosfeer van aërosolen zijn gekarakteriseerd. Op grond van deze gegevens is de vermindering van de intensiteit van zonnestraling berekend en vergeleken met directe metingen met behulp van nefelometrie, meting van de verstrooiing van licht. De uitkomsten

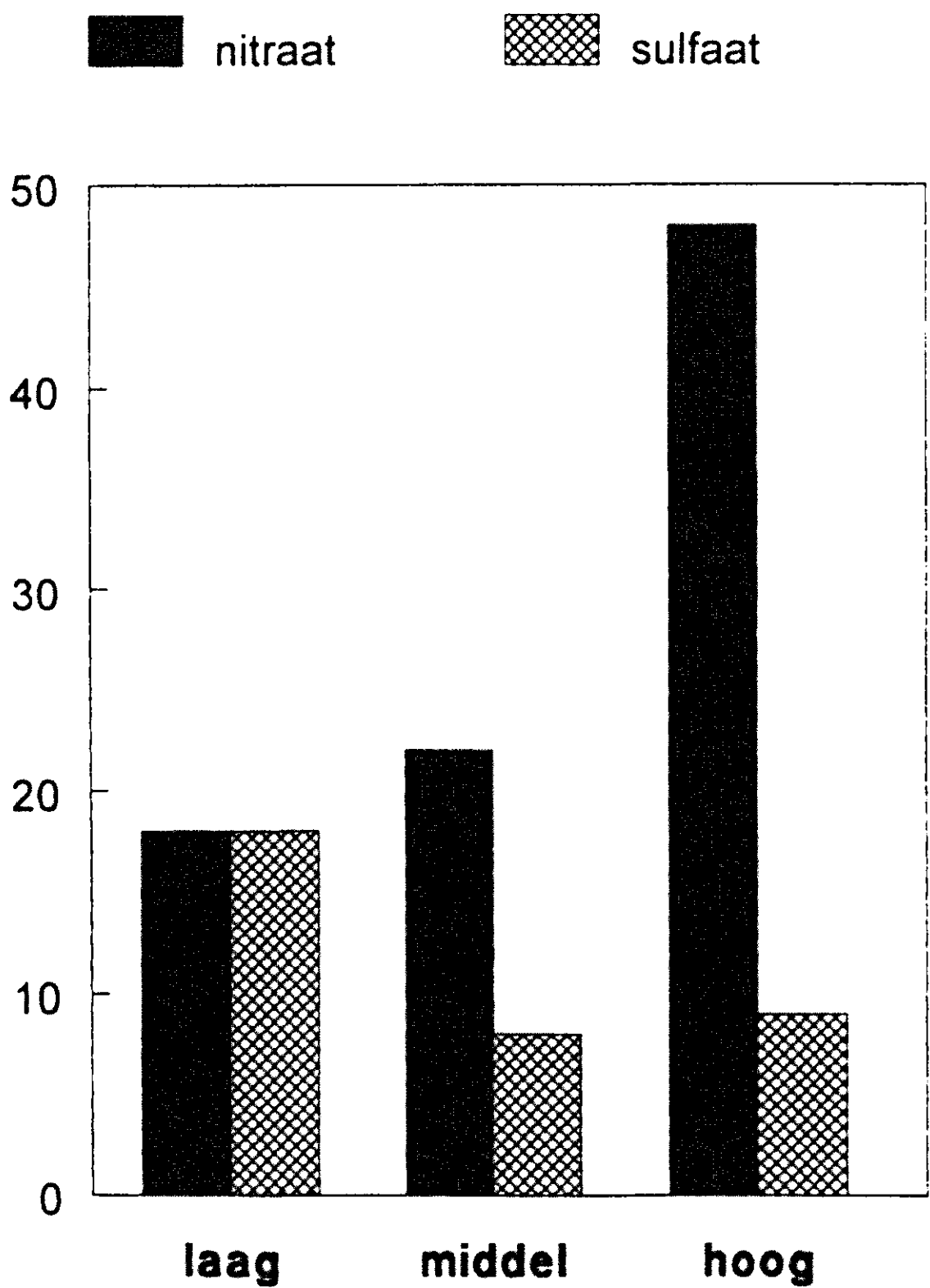


Figuur 6 Concentratie van sulfaat, nitraat, chloride en ammonium in aërosol bij continue metingen gedurende 24 uur.



Figuur 7 Lichtverstrooiing door aërosol als functie van de relatieve vochtigheid. De lichtverstrooiing door droog aërosol heeft de waarde 1.

laten zien dan de berekeningen op grond van aërosol-eigenschappen redelijk goed overeenkomt met de directe verificatie via nefelometrie. De vermindering van instraling bedraagt 10 tot 15 watt per m², waarvan tenminste twee derde wordt veroorzaakt door nitraat, zie Figuur 8.



Figuur 8 Concentratie van sulfaat en nitraat in aërosol, bij een reflectie van ca. 15 watt per m².

Tot nu toe is de directe invloed van op de stralingsbalans door antropogeen aërosol altijd berekend op grond van de toename van sulfaat aërosol sinds de industriële revolutie. Dit komt omdat de eerste berekeningen in de VS zijn uitgevoerd en daar ter plekke is deze wijze van benadering ook niet

geheel correct maar de verhouding nitraat/sulfaat is in de VS veel lager dan in Noordwest Europa. De berekening van de stralingsbeïnvloeding tijdens het closure experiment volgens in de VS gangbare methoden levert een waarde van 4 tot 5 watt per m² op, een factor 3 tot 4 lager. Dit grote verschil ontstaat door de belangrijke bijdrage van nitraat en door druppelvorming. Het is in dit geval duidelijk dat niet zonder meer verder geborduurd kan worden op de buitenlandse benadering maar dat eigen onderzoek in Europa absoluut vereist is en dat voor dit onderzoek geëigende meetmethodieken voorhanden moeten zijn.

- **Ad stelling 4.** De toetsing van de effectiviteit van milieumaatregelen is in dit geval belangrijk om vast te stellen in hoeverre maatregelen, die genomen worden om eutrofiëring, verzuring, fotochemische smog en de invloed van luchtverontreiniging op mens, flora en fauna te beperken, ook invloed hebben op de stralingsbalans van de aarde. Om de effectiviteit van maatregelen ter beperking van de concentratie van aërosolen te kunnen nagaan zijn goede modellen nodig die de vorming van aërosolen uit de gasvormige precursors, stoffen die aanleiding geven tot aërosol vorming zoals zwaveldioxide, stikstofdioxide en ammoniak, beschrijven. Modellen die de emissies van deze precursors koppelen aan grootteverdeling en chemische samenstelling van aërosolen zijn nog niet voor handen. Het is mijn hoop dat de ordinarius van onze vakgroep, de Hooggeleerde Lelieveld, de gelegenheid krijgt om zijn ideeën op dit gebied in feitelijke ontwikkelingen om te zetten. Voor de parameterisering van modellen, het gebruik van de juiste waarden voor bijvoorbeeld de snelheid van chemische reacties en de mate van vorming van

aërosolen maar ook voor de verificatie van deze modellen zal veel werk op het gebied van de chemische karakterisering van aërosolen worden geleverd en dienen dus optimale meetmethoden ter beschikking te komen.

4 Het ammoniakprobleem. Welk varken moet verdwijnen?

Het ammoniakprobleem is de laatste jaren steeds meer urgent geworden. Het probleem is ontstaan omdat ecosystemen, zoals bossen, vennen en heide, worden blootgesteld aan te grote hoeveelheden stikstof. Normaliter is de hoeveelheid stikstof die voor vegetatie ter beschikking staat een van de beperkende factoren voor de ontwikkeling van de vegetatie. Zeer vele planten zijn dan ook zeer zuinig op alle stikstof waarover ze kunnen beschikken. Van nature zijn stikstofverbindingen zoals ammoniak, stikstofdioxide, salpeterzuur en salpeterig zuur in de atmosfeer aanwezig in meestal lage concentraties. Deze stikstofverbindingen bereiken het aardoppervlak en de vegetatie of via opname in wolken en neerslag als natte depositie of rechtstreeks, via droge depositie van gassen en deeltjes. Deze stikstof kan vervolgens door ecosystemen worden opgenomen als essentiële bouwstoffen voor de verdere ontwikkeling.

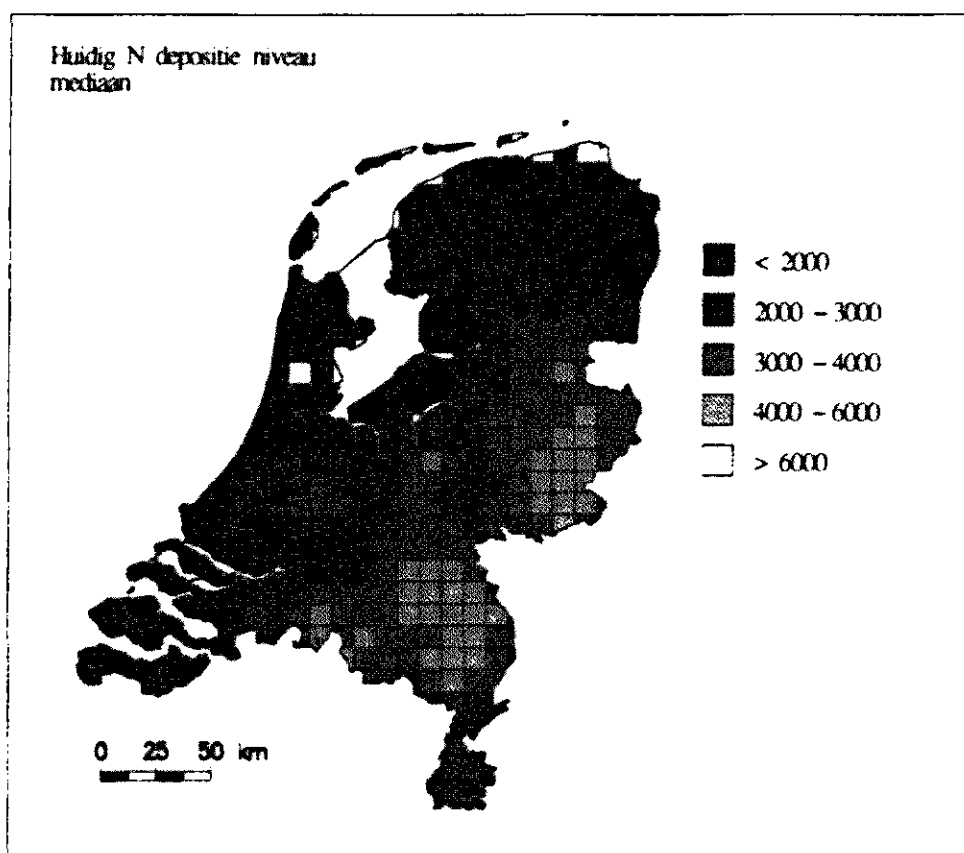
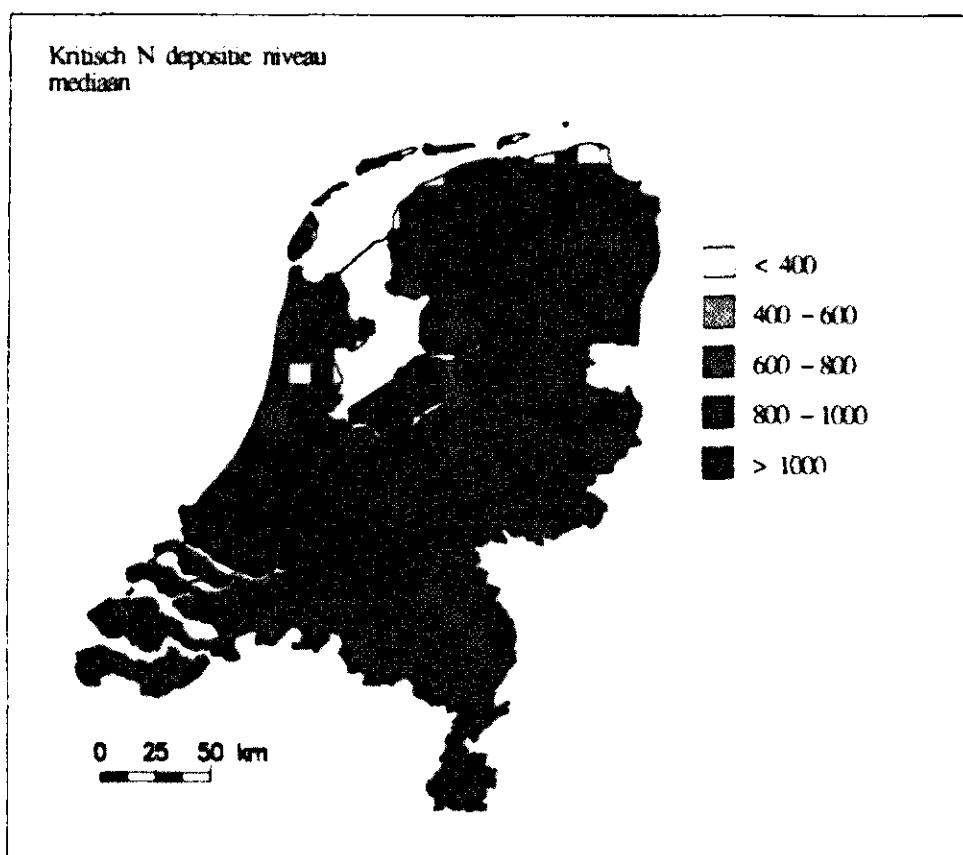
Landbouwkundige activiteiten zijn de voornaamste bron (voor meer dan 80%) [3] van ammoniak in de Nederlandse atmosfeer. Gedurende de laatste decennia zijn de totale landbouwactiviteiten, mede door krachtige inspanningen van de LUW om tot optimalisatie in de landbouw te komen, in zulk een mate toegenomen dat de ammoniakconcentraties

gestegen zijn tot niveaus van ongeveer 6 microgram per m³ gemiddeld met piekwaarden van 50 microgram m³ en hoger nabij gebieden waar intensieve veeteelt plaats vindt. De stijging van de concentratie van ammoniak maar ook van andere stikstofverbindingen zoals salpeterzuur en ammoniumnitraat leidt tot een toename van het aanbod van stikstof dat is gedeponeerd op bladeren of naalden en de bodem. En deze stijging biedt teveel van het goede. Bij een te groot stikstofaanbod nemen planten zowel via de wortels maar ook rechtstreeks vanuit de atmosfeer zoveel stikstof op dat de plant daardoor vergiftigd wordt en er veranderingen in ecosystemen optreden. De voornaamste nadelige effecten van een overaanbod van stikstof zijn (4):

- Bomen worden gevoelig voor plagen en minder vorst-resistent. Er zijn ook aanwijzingen dat bossen minder goed droogte kunnen verdragen.
- Planten die kunnen gedijen bij een laag stikstofaanbod, zoals heide, worden verdrongen door stikstofminnende planten zoals grassoorten.
- In oppervlaktewater treedt eutrofiëring op, een overaanbod van voedingsstoffen, die tot algenbloei leidt. Ernstige algenbloei kan de overige onderdelen van het systeem ernstig beschadigen, onder andere door excessief zuurstofgebruik en de afgifte van toxische stoffen.
- Ammoniak is weliswaar een base, maar ammonium wordt in de bodem, onder invloed van micro-organismen omgezet tot nitraat en zuur. Op deze wijze wordt een belangrijke bijdrage aan de verzuring van grondwater en bodem geleverd. Daarnaast kan zoveel nitraat terecht komen in het grondwater dat dit niet langer bruikbaar is als drinkwater.

Om de maximale belasting door ammoniak en andere stikstofverbindingen te kunnen vastleggen en hieraan maatregelen te verbinden die de emissies van deze verbindingen zodanig beperken dat ernstige effecten achterwege blijven, wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van een systematiek die bekend staat onder de naam "critical loads", kritieke belasting. Dit proces werkt ongeveer als volgt:

- Op grond van eigenschappen van ecosystemen, bodem, grondwaterkwaliteit, samenstelling van oppervlaktewater etc. wordt de maximale stikstofbelasting berekend die deze ecosystemen gedurende lange tijd kunnen accepteren zonder dat er ernstige gevolgen zullen optreden. Het zal duidelijk zijn dat men zeer van mening kan verschillen over de term "ernstige gevolgen". Voor sommigen zal het verdwijnen van enkele zeldzame soorten reeds gelden als "ernstige gevolg". Anderen trekken de grens bij grootschalige aantasting van ecosystemen zoals bossen, heidevelden en vennen. Omvangrijk onderzoek en lange discussie in het kader van de nationale onderzoekprogramma's op het gebied van verzuring heeft een lijst van waarden voor "kritieke belasting" opgeleverd. De waarden voor de kritieke belasting zijn afhankelijk van landgebruik, grondsoort en andere factoren.
- Vervolgens wordt de actuele depositie van stikstofverbindingen vast gesteld. Een overzicht van kritieke belasting en geschatte actuele depositie wordt gegeven in Figuur 9 (5).
- Het verschil tussen kritieke belasting en actuele depositie geeft dan een duidelijke maatstaf voor maatregelen op het gebied van mogelijke emissiebeperking. Is de overschrijding van de

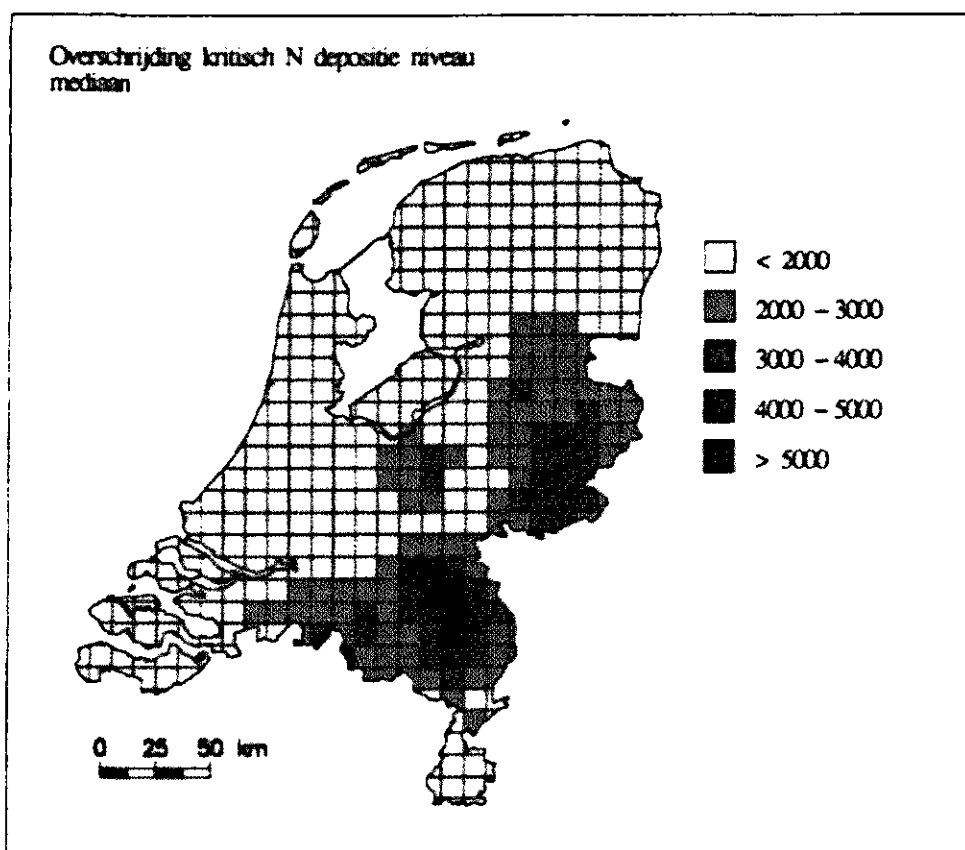
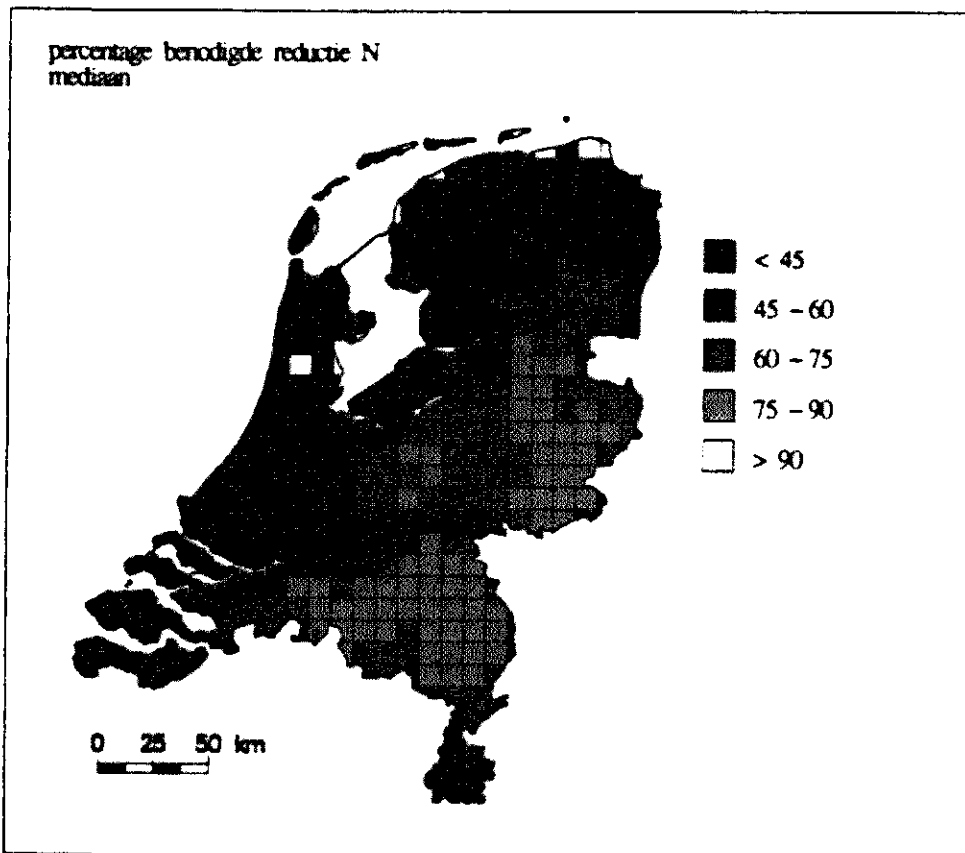


Figuur 9 Kritieke belasting en actuele depositie van stikstofverbindingen in Nederland, met dank aan het Staring Instituut.

"kritieke belasting" bijvoorbeeld lokaal 300% dan zouden de concentraties van stikstofverbindingen ter plekke tot een derde gereduceerd moeten worden en kan, via modellen, worden berekenend welke aanpassingen in de emissies van deze verbindingen noodzakelijk zijn om deze vermindering te bereiken, zie Figuur 10)

Deze methode lijkt een goed wetenschappelijk fundament op te leveren om tot een samenhangend beleid op het gebied van verzuring en eutrofiëring te komen. Het woord "lijkt" wordt hier gebezigd omdat weliswaar de "kritieke belasting" methode op zich zelve genomen een prima benadering van het probleem mogelijk maakt, maar de onzekerheden vormen een groot probleem om de methode goed te kunnen toepassen en bemoeilijken de acceptatie in brede kring van de uitkomsten van het beleid.

- De huidige schattingen (zie Figuur 9) van "kritieke belasting" zijn behept met een aanzienlijke onzekerheid. Het huidige systeem van berekening van deze kritieke belasting leidt tot zulke lage schattingen van de maximaal toelaatbare belasting in gebieden zoals bijvoorbeeld midden- en noord-Scandinavië dat de belasting van verzurende componenten, ontstaan door natuurlijke emissies, reeds de limiet overschrijdt. Dat is natuurlijk heel merkwaardig, want de conclusie is toch dat deze ecosystemen gedurende de lange tijd dat ze bloot gesteld zijn aan deposities uit natuurlijke bronnen schade zouden dienen te vertonen. En er is niets dat daar op wijst. Ook dichterbij huis zijn er aanwijzingen over grote onzekerheden. Vele bossen in Nederland zijn gedurende lange perioden



Figuur 10 Overschrijding van de kritieke belasting en samenhangende gewenste emissiebeperkingen voor Nederland, met dank aan het Staring Instituut.

- blootgesteld aan belastingen die ver boven de kritieke belasting liggen. Een overschrijding van de kritieke belasting betekent niet, zoals sommigen in verleden hebben doen geloven, dat bossen meteen ziek worden en afsterven, maar de kans op afwijkingen neemt toe naarmate de overbelasting groter is en gedurende een langere periode plaats vindt. Maar onze bossen staan er de laatste tijd wel erg gezond bij, hoewel er wel veranderingen in de ondergroei zijn opgetreden door verhoogde stikstofdepositie. Nader onderzoek naar betere schattingen van kritieke belastingen, een voor de hand liggend arbeidsterrein van de LUW, zal naar mijn mening onontkoombaar zijn in de toekomst.
- De relatie tussen de enorm verspreide en variabele bronnen van ammoniak en de concentraties op een bepaalde locatie kan uitsluitend op grond van verspreidingsmodellen worden berekend. Zoals reeds eerder is opgemerkt bestaat er nog steeds een grote behoefte aan betere regionale modellen die de onzekerheid in bron-receptor relaties verkleinen.
 - De schattingen van de belasting door natte maar vooral door droge depositie zijn nog steeds erg onzeker. In feite is de onzekerheid in de schatting van de jaarlijkse belasting door depositie van ammoniak op een willekeurig gebied met een omvang van vijf bij vijf kilometer in de orde van vijftig tot negentig procent in de Nederlandse situatie. De onzekerheid in onze schattingen van de depositie over Europa is nog groter. Over grote gebieden in Zuid-Europa is vrijwel geen kennis, gebaseerd op metingen, voorhanden.

5 Meetmethoden voor ammoniak ten behoeve van monitoring van beleid

In dit kader zal de onzekerheid in de depositieschattingen nader onder loep genomen worden. Natte depositie is geen groot probleem, het RIVM meetnet levert alle noodzakelijke gegevens. De schatting van droge depositie levert wel grote problemen op. In feite zijn twee grootheden van belang om een schatting van de belasting door droge depositie te kunnen maken. De eerste vraag is naar de depositiesnelheid van ammoniak. De depositiesnelheid geeft aan hoeveel ammoniak bij een gegeven atmosferische concentratie zal neerslaan en het milieu belasten. De tweede centrale vraag is welke jaarlijks gemiddelde concentratie op een bepaalde plaats voorhanden is. De belasting door depositie kan vervolgens berekend worden als het produkt van concentratie, depositiesnelheid en tijd. Op grond van deze jaargemiddelde concentratie worden emissiebeperkende maatregelen afgeleid.

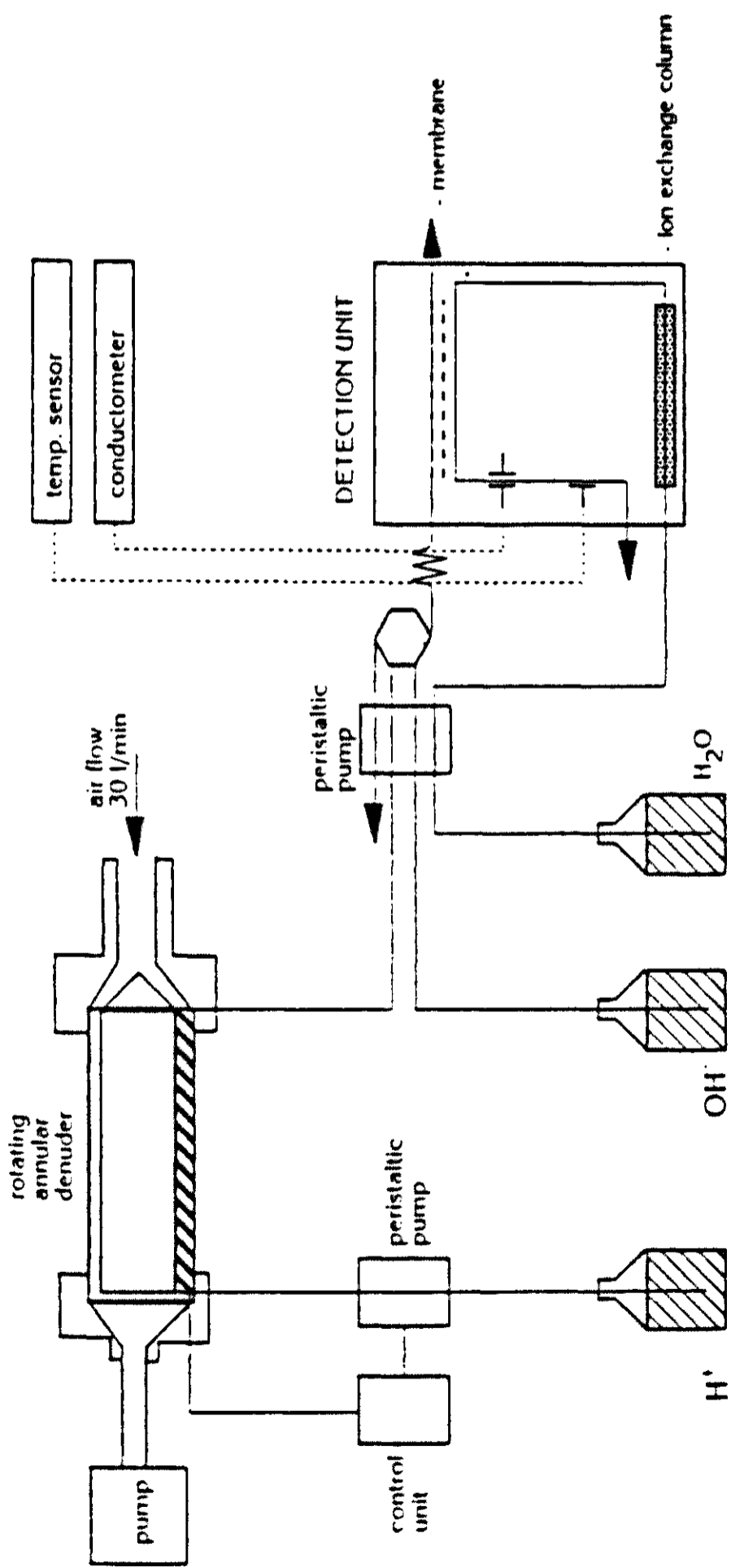
De meting van fluxen veroorzaakt door droge depositie van ammoniak waaruit de depositiesnelheid wordt afgeleid, stelt zeer hoge eisen aan meetmethoden. In het geval van ammoniak wordt de depositieflux herleid uit de concentratie verschillen als functie van de hoogte (bijvoorbeeld door de ammoniakconcentratie te meten op 1, 2 en 5 meter hoogte boven een bos. Aan het vegetatieoppervlak verdwijnt ammoniak door depositie. Daar zullen dus de concentraties lager zijn dan op grotere hoogte. De grootte van dit verschil hangt samen met turbulentie van de atmosfeer en andere factoren die het transport van gassen zoals ammoniak in de lagere atmosfeer bepalen en de depositiesnelheid van het ammoniak. De

depositieflux wordt dus berekend uit zeer kleine verschillen, in de orde van één tot enkele procenten, in metingen van meestal lage concentraties van ammoniak.

Het is essentieel dat verschil wordt gemaakt tussen ammoniak aanwezig in gasvormige toestand en ammoniak dat als ammonium in deeltjes voorhanden is. Gassen worden sneller gedeponerd dan deeltjes. Metingen moeten dus het verschil kunnen maken tussen de concentratie van een component in gasvormige en in vorm van deeltjes.

Denuders kunnen dit. Een denuder is niets anders dan een buis, waardoor de te bemonsteren lucht geleid wordt. Gassen zullen, doordat ze een hoge diffusiesnelheid hebben, de wand bereiken en daar afgevangen worden. Deeltjes vertonen een zeer lage diffusiesnelheid, kunnen zich daardoor maar zeer beperkt zijwaarts verplaatsen en zullen de denuder passeren zonder te worden opgenomen. Door ECN is een zogenaamde natte denuder ontwikkeld (zie figuur 11) die er op berust dat lucht door een roterende buis wordt geleid.

Door deze rotatie wordt een absorptievloeistof over de wanden verdeeld die wordt opgevangen en met behulp van meting van geleidbaarheid wordt het ammoniumgehalte in deze vloeistof bepaald. Deze methode is in staat om lage ammoniakconcentraties te meten met een precisie van 1 procent. Met behulp van deze methode is de depositiesnelheid van ammoniak gemeten in Nederland. Uit deze metingen is in de praktijk bevestigd dat onder Nederlandse condities een hoge depositiesnelheid van ammoniak óptreedt. Dit komt omdat bij de heersende weersgesteldheid in Nederland zeer vaak waterlaagjes op vegetatie



Figuur 11 Nat denuder systeem voor de bepaling van ammoniak in lucht.

optreden. Laboratoriumonderzoek van Adema en Hofschreuder van de LUW heeft al jaren geleden aangetoond dat zulke waterlaagjes een grote invloed hebben en de depositiesnelheid van gassen zoals ammoniak en zwaveldioxide sterk vergroten.

Door metingen in het laboratorium en in het veld is weliswaar een veel beter schatting van de depositie van ammoniak mogelijk maar de berekeningen zijn nog steeds met een aanzienlijke onzekerheden behept omdat de extrapolatie van metingen op een bepaalde plaats en specifieke condities tot algemeen geldende beschrijvingen nog steeds niet echt goed mogelijk is, ondanks het belangrijke werk dat o.a. door het RIVM op dit gebied is uitgevoerd.

Daarnaast is het natuurlijk wat beangstigend dat het fundament onder het Nederlands beleid op dit gebied gevormd wordt door resultaten die in feite met slechts één meetmethode zijn verkregen, ook al is men het er in wijde kring over eens dat deze methode de beste is die voorhanden is. Alternatieve methoden, o.a. gebaseerd op metingen van absorptie van laserlicht door ammoniak zoals uitgewerkt worden bij LUW en KUN kunnen in de toekomst enig soelaas bieden. Daarnaast blijft het probleem bestaan dat de depositiesnelheid van deeltjes erg onzeker is. Deze belangrijke bijdrage kan pas geëvalueerd worden indien betere meetmethoden voor aërosolen, zoals in het voorgaande beschreven, verder ontwikkeld zijn.

De lokale concentraties worden, in de huidige praktijk, berekend met behulp van regionale modellen, die getoetst worden met metingen op een beperkt aantal lokaties. Gezien de reeds eerder vermelde stand van zaken op het gebied van regionale modellen zijn

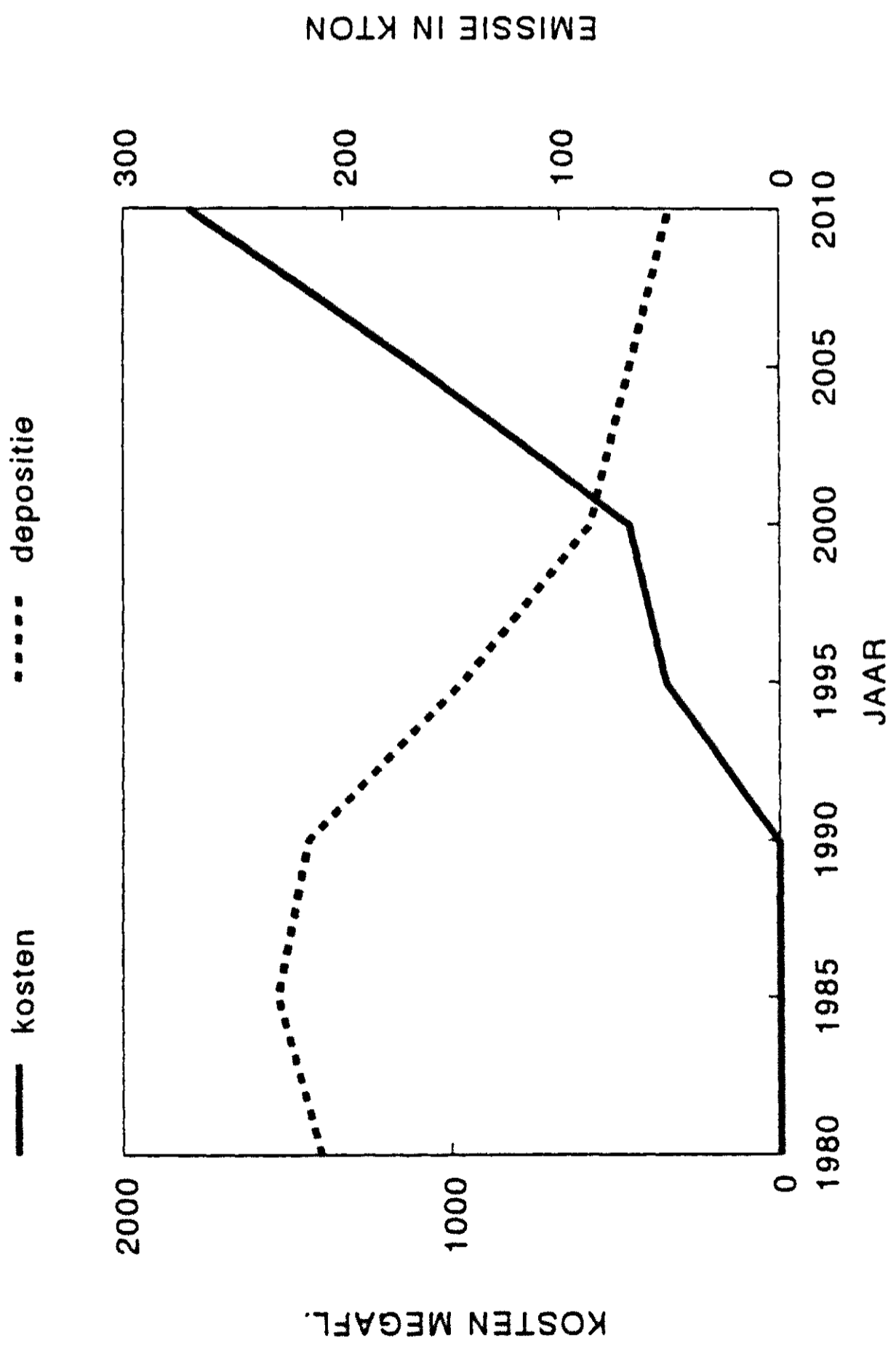
deze schattingen met aanzienlijke onzekerheden behept.

Wanneer de huidige stand van zaken wat betreft de karakterisering van de belasting door depositie van ammoniak wordt gerelateerd aan de stellingen van hoofdstuk 1, dan ontstaat het volgende beeld:

- **Ad stelling 1.** Er heeft tot nu toe nog geen echt systematisch debat in Nederland plaats gevonden waarin duidelijke conclusies zijn bereikt over de risico's waaraan ecosystemen mogen worden bloot gesteld. Wat willen we precies beschermen en tegen welke prijs. Bij dit debat spelen onzekerheden over "kritieke belasting" natuurlijk een bijzonder belangrijke rol.

- **Ad stelling 2.** Een grote onzekerheid behoeft de start van beleid gericht op verminderingen van belasting en dus van emissies niet in de weg te staan. Indien, zoals in de Nederlandse situatie duidelijk het geval was, grote overschrijdingen (in de orde van honderden procenten) van kritieke belastingen optreden, dan kan natuurlijk ook bij grote onzekerheden de noodzaak van beleid duidelijk worden onderbouwd. Maar naarmate de belastingen dichter bij de kritieke belasting liggen en de maatregelen steeds duurder worden, zoals altijd het geval is bij stijgende emissiebeperkingen, volgens een verloop als geschetst in Figuur 12 dan gaan deze onzekerheden een steeds grotere rol spelen.

Op de Nederlandse situatie toegespitst, leidt dit tot de conclusie dat de Nederlandse overheid voldoende kennis ter beschikking heeft om de eerst fasen van een "mestbeleid" op te tuigen, maar dat het begrijpelijk is

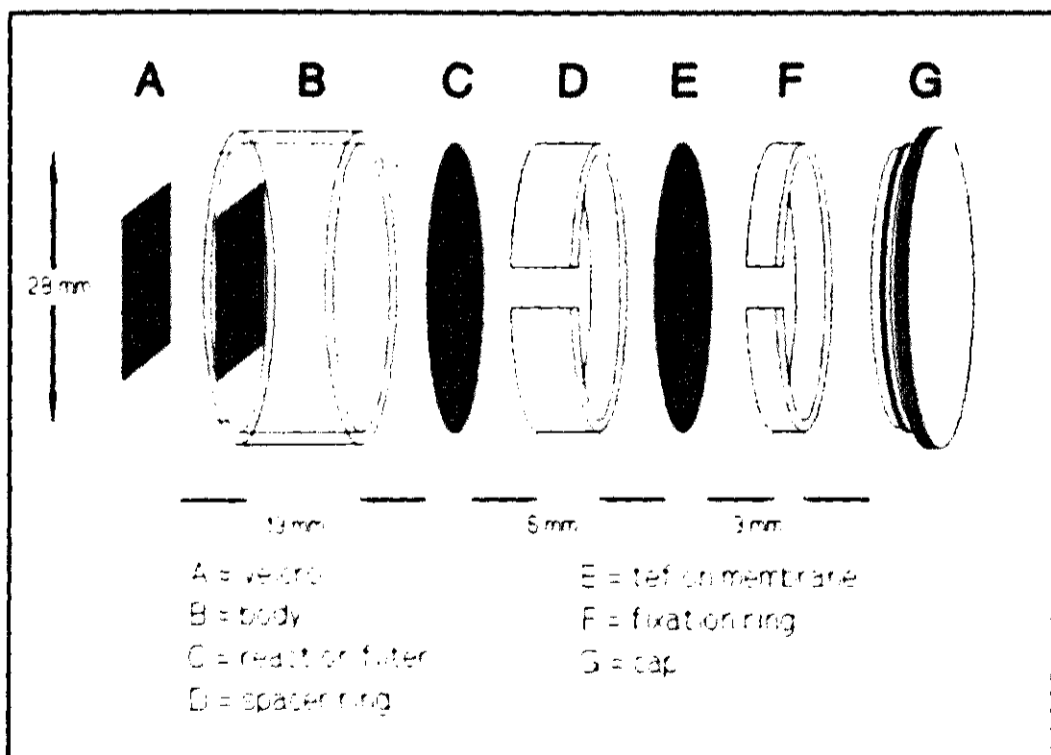
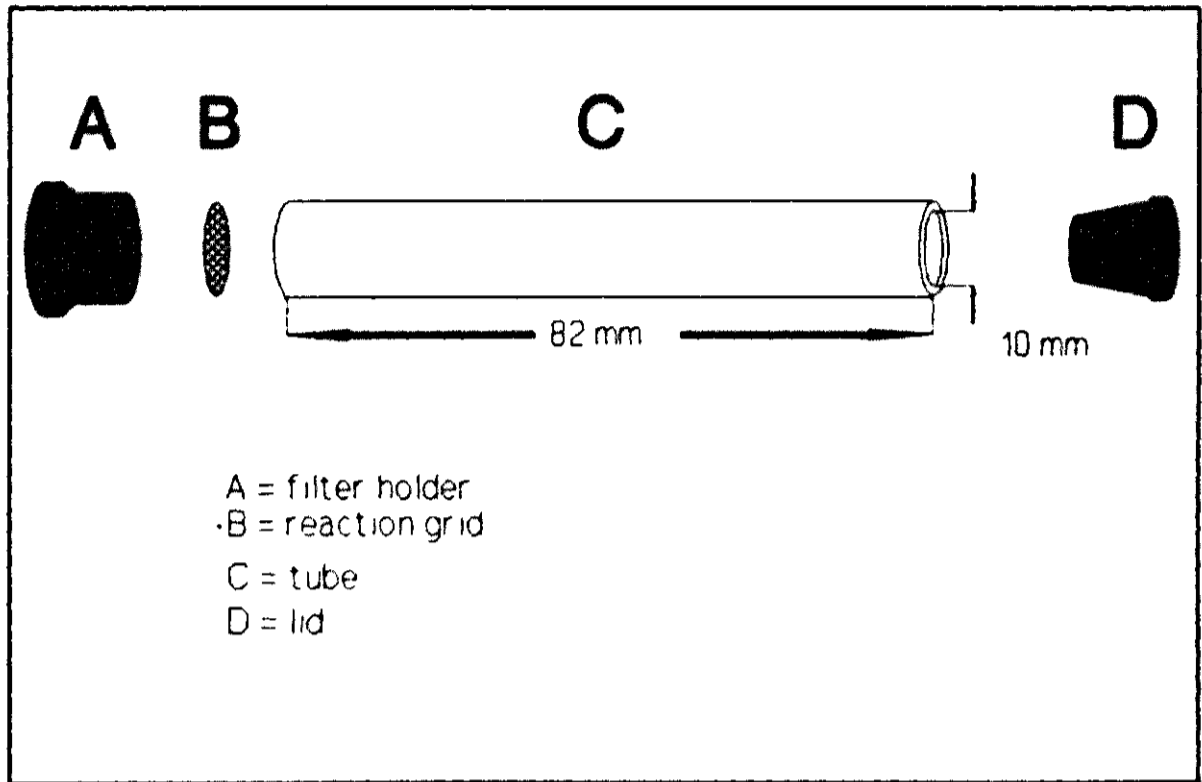


Figuur 12 Voorgenomen emissiebeperkingen van ammoniak en de daaraan verbonden kosten.

dat de agrarische sector, geconfronteerd met de enorme gevolgen van dit beleid op langere termijn, striktere bewijzen vraagt om de noodzaak te demonstreren van maatregelen die potentieel een bepalende invloed op de omvang van de Nederlandse agrarische sector kunnen hebben. Een groot probleem is het vaststellen van de gemiddelde lokale ammoniakconcentratie. Denuders kunnen deze gemiddelde concentraties meten maar tegen aanzienlijke kosten en inspanning. Voor het vaststellen van emissiebeperkende maatregelen en monitoring van de effectiviteit van het beleid (zijn de juiste maatregelen genomen en hebben ze de gewenste effecten) is het van groot belang dat simpele methoden ter beschikking komen om dit type metingen uit te voeren. Naarmate de kosten van maatregelen stijgen, volumebeperkingen dreigen in de agrarische sector en de overschrijdingen van de "kritieke beladingen" minder groot worden, zal verificatie van de gemiddelde ammoniakconcentraties op lokaal niveau een steeds belangrijker rol gaan spelen.

Passieve monsternemers zouden in deze behoefte kunnen voorzien. Een passieve monsternemer bestaat uit een buis waar op de bodem een oppervlak is aangebracht dat ammoniak absorbeert. Bij bekende dimensies van de monsternemer kan uit de gevonden hoeveelheden ammoniak de gemiddelde luchtconcentratie worden afgeleid. Een andere variant van de passieve monsternemer, in de vorm van een badge, is ontwikkeld bij LUW (zie Figuur 13). Hier vormt een membraan met kleine gaatjes de diffusie barrière.

Beide vormen van passieve monsternemers hebben problemen bij langdurige metingen van ammoniak in



Figuur 13 Passieve monsternemers, Palmes-tube boven, Willemsbadge (LUW) onder.

de buitenlucht. Allereerst heeft ammoniak de neiging om op ieder oppervlak neer te slaan, en niet alleen op het oppervlak dat voor de meting wordt gebruikt. Deze wandeffecten kunnen aanleiding zijn voor belangrijke fouten, vooral indien buisvormige passieve samplers worden gebruikt. Daarnaast reageert ammoniak met andere verbindingen in de lucht of kan ook gevormd worden door het uiteenvallen van verbindingen zoals ammoniumchloride en ammoniumnitraat die altijd in de Nederlandse atmosfeer aanwezig zijn. Deze atmosferische reacties, vooral onder invloed van aërosolen die bij de ingang van passieve samplers altijd aanwezig zijn door depositie, kunnen tot aanzienlijke afwijkingen (naar schatting in de orde van 30 tot 100%,) aanleiding geven, vooral wanneer gedurende langere tijd bemonsterd wordt. Een van de eerste onderwerpen die ik hoop te bestuderen binnen de vakgroep Luchtverontreiniging, zijn nieuwe concepten van passieve monsternemers waarbij deze bronnen van fouten niet meer optreden of hun invloed geminimaliseerd worden. Indien we instaat zijn om passieve monsternemers te ontwikkelen die de gemiddelde ammoniak concentratie kunnen bepalen over periodes variërend van weken tot maanden met een onzekerheid in de orde van 10 tot 25%, dan komt een belangrijk hulpmiddel ter beschikking voor onderbouwing en monitoring van het Nederlandse mestbeleid.

- **Ad stelling 3.** De mogelijkheden voor "importeren van kennis" zijn in de Nederlandse situatie op een aantal gebieden heel erg verschillend. In het geval van het oxidantia probleem is import verregaand mogelijk, en wordt ook op grote schaal uitgevoerd. Op andere gebieden is import vrijwel onmogelijk. De

achtergrond is dat Nederland op een aantal gebieden zich in de voorhoede van de ontwikkeling bevindt. Dit wordt zo ook gewenst door de overheid, vaak omdat in dit dicht bewoonde land een aantal problemen vroegtijdig om oplossingen vragen, maar als een land voorop loopt, kan de achterhoede vaak weinig specifieke kennis aanleveren. Deze laatste situatie is van toepassing op het ammoniakprobleem.

- **Ad stelling 4.** Er bestaan tot nu toe nog nauwelijks geschikte meetmethoden en meetstrategieën die in staat zijn om de ammoniakemissies te meten die verbonden zijn aan allerlei agrarische activiteiten. Het is nog niet mogelijk gebleken om de ammoniakemissies van een willekeurig agrarisch bedrijf vast te stellen door metingen. De toetsing van de effectiviteit van maatregelen is natuurlijk problematisch onder deze omstandigheden. Ook dit probleem zal, in een samenwerkingsverband tussen LUW, ECN en DLO, nader onderzocht worden. Metingen van de ammoniakpluim, ontstaan door emissies van ammoniak in agrarische bedrijven, kunnen wellicht hier een oplossing bieden.

Slotwoord

Uit het bovenstaande zal hopelijk duidelijk geworden zijn dat de verdere ontwikkeling van meetmethoden op het gebied van atmosferische chemie een zeer hoge prioriteit verdient en meer ondersteuning zou mogen verwachten dan nu het geval is.

Bij zeer essentiële aspecten van het beleid zal de voortgang afhankelijk zijn van de beschikbaarheid van meetmethoden die in staat zijn om de vereiste kennis aan te kunnen leveren.

Ik hoop dan ook in staat te zijn om in het kader van deze functie bij de LUW een bijdrage tot de oplossing van deze problemen te kunnen leveren.

Ik dank het College van Bestuur van de LUW en in het bijzonder de vakgroep Luchtkwaliteit voor het in mij gestelde vertrouwen. Ik hoop in nauwe samenwerking met iedereen binnen de vakgroep het onderzoek naar meetmethodologie ten behoeve van het onderzoek naar atmosferische chemie verder uit te bouwen. Hetgeen mede gezien het feit dat deze taak in een deeltijd baan wordt uitgevoerd, nog niet eenvoudig zal zijn.

Nauwe samenwerking met andere vakgroepen zoals bijvoorbeeld Meteorologie en Bodemkunde en Geologie, in het kader van het Wageningen Instituut voor Milieu- en Klimaatonderzoek (WIMEK) zal worden nagestreefd. Samenwerkingsverbanden bieden de beste mogelijkheden om tot goede toepassingen van de verkregen kennis op het gebied van meetmethodologie te kunnen komen.

ECN ben ik grote dank verschuldigd, dit instituut draagt de kosten van dit part-time hoogleraarschap. Ik onderschrijf geheel de intentie van het ECN dat een nauw samengaan tussen Universiteiten en GTI's een belangrijke voorwaarde vormt voor het in stand houden van wetenschappelijke en technologische kennis binnen Nederland.

Literatuur

- (1) IPCC (1994). Radiative forcing of climate change, the 1994 report of the Scientific Assessment Working Group of IPCC.
- (2) Langeweg, F., redacteur, (1989). Zorgen voor Morgen, Nationale Milieuverkenning 1985-2010, RIVM rapport.
- (3) Charlson, R., S.E. Schwartz, J.M. Hales, R.D. Cess, J.A. Coackley Jr., J.E. Hansen and D.J. Hofmann. "Climate forcing by anthropogenic aerosols". *Science* 25 (1992), 423.
- (4) Heij, G.J. and T. Schneider, eds (1988). Final Report Second Phase Dutch Priority Programme on Acidification. Report no 200-09.
- (5) Vries, W. de. Soil Response to Acid Deposition at Different Regional Scales. Thesis, Landbouwwuniversiteit te Wageningen.