

P. E. Joosting*

Biologische effecten van luchtverontreiniging bij gebruik van fossiele brandstoffen

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO

's-Gravenhage 18 DEC. 1975

Inleiding

Belangrijke bronnen van verontreiniging zijn stationaire installaties voor de opwekking van energie (elektriciteitscentrales) en woningverwarming, alsmede mobiele krachtbronnen (gemotoriseerd verkeer). Deze drie categorieën gebruiken elk op eigen wijze en in wijd uiteenlopende omvang fossiele brandstoffen (steenkool, olie en aardgas) voor de winning van verschillende soorten effectieve energie: elektriciteit, warmte en beweging. Voorlopig zal de vraag naar de mogelijkheid van aanwending van alternatieve (= nucleaire) brandstof zich in hoofdzaak beperken tot de stationaire bronnen voor de opwekking van elektriciteit, met warmte als eventueel nevenprodukt.

Indien men een vergelijking zou willen maken tussen de effecten of de risico's van aanwending van beide soorten energiegrondstoffen, zou men de beschikking moeten hebben over reële en potentiële expositiekarakteristieken voor beide soorten contaminatie, alsmede adequate kennis en inzicht omtrent dosis-effectrelaties van relevant geachte inwerkingen. Deze laatste zouden dan kwalitatief en kwantitatief met elkaar vergeleken kunnen worden, waarna een schatting mogelijk zou worden van de risico's en de bijdrage daartoe geleverd door de aanwending van elk van beide soorten energiegrondstof.

Onverwachte gebeurtenissen, die her en der hebben plaatsgevonden, hebben laten zien dat voor beide soorten energie enerzijds de techniek en het menselijk handelen bepalend zijn voor effect en risico, en dat anderzijds echter ook factoren een rol spelen die de mens niet zo gemakkelijk beïnvloedt of in de hand houdt. Bij het gebruik van fossiele brandstof is meermalen duidelijk geworden hoe stagnatie van de luchtbeweging in de atmosfeer (temperatuurinversie, windstilte) kan resulteren in een cumulatie van bestanddelen die fataal

Uitgaande van 1. bestanddelen die door het gebruik van fossiele brandstoffen in de lucht kunnen worden gebracht, 2. secundair daaruit gevormde omzettingsproducten en 3. de verdeling in tijd en plaats van op grondniveau bereikbare concentraties (fenomenologie van de verontreiniging), zal voor SO_2 , H_2SO_4 , sulfaten, roet, zwevend stof, CO , NO_x en carcinogenen worden behandeld welke waarnemingen beschikbaar zijn voor het trekken van conclusies omtrent mogelijke dosis-werkingsverbanden.

wordt voor (gevoelige) personen die ze noodzakelijkerwijs inademen, zoals in 1952 in Londen.

Op grond van in de loop der jaren verkregen meetresultaten en ontworpen dispersiemodellen voor gassen en deeltjes in de atmosfeer, is het thans vrij goed mogelijk voorspellingen te doen over te verwachten concentraties op leefniveau indien de productie van verbrandingsgassen kwalitatief en kwantitatief bekend is en men uitgaat van bepaalde weertypen en meteorologische omstandigheden.

In de lokale en landelijke meetnetten wordt overigens slechts een beperkt aantal componenten van de heersende verontreiniging gemeten. Wat gemeten wordt kan niet aan een bepaalde soort of enkelvoudige bron worden toegeschreven en de meetuitkomsten hebben veeleer de betekenis van een indicatieve grootheid. Zo moeten de resultaten van epidemiologisch onderzoek beslist niet geïnterpreteerd worden in de zin van mono-causale inwerkingen, want de verontreiniging is een amalgaam dat in belangrijke mate kan wisselen van samenstelling, naar tijd en plaats.

Dit impliceert een aantal ongewisheden, die onder meer liggen op het gebied van de interpretatie van soms nogal ver uiteenlopende onderzoekresultaten, waardoor de vermeende dosis-effectrelaties voor sommige componenten nog niet die hardheid hebben die men vereist voor het calculeren van risico's en het extrapoleren naar exposities met minimaal of absoluut geen effect.

Bestanddelen en expositiepatroon

Uit stationaire bronnen, met olie of kolen gestookt, komen meestal op vrij grote hoogte verbrandingsgassen vrij die hoofdzakelijk bestaan uit kool-

zuur, waterdamp en zwaveldioxide, waarvan de hoeveelheid afhangt van het zwavelgehalte van de brandstof. Er wordt zo ook zwavelzuur gevormd dat goeddeels als aerosol in de atmosfeer disperseert of sulfaten vormt met andere bestanddelen in de schoorsteengassen of in de atmosfeer, waaronder ammoniak. Bij met kolen gestookte installaties zal vliegast ontstaan die van betekenis is voor de omzetting van SO_2 in H_2SO_4 , waardoor de kans op vrij zwavelzuur in de atmosfeer toeneemt. Bij onvolledige verbranding kunnen roet, koolmonoxide en polynucleaire aromatische koolwaterstoffen worden gevormd, hetgeen bij een goede stooktechniek geheel vermeden wordt. Afhankelijk van de soort kolen kunnen voorts nog arseenverbindingen in de atmosfeer geraken, terwijl bij het gebruik van olie kleine hoeveelheden mangaan of vanadium kunnen vrijkomen, meest in geoxideerde vorm.

Aangezien het Nederlandse aardgas vrij is van primaire verontreiniging, heeft men daarbij niet te maken met uitwerp van bovengenoemde zwavelhoudende componenten. Wel ontstaan daarbij, evenals bij kolen en olie, oxiden van stikstof (NO en NO_2), in de wandeling wel aangeduid met het verzamelbegrip NO_x . De productie daarvan wordt onder meer bepaald door de temperatuur in de vuurhaard. Voor de meest voorkomende componenten, zoals SO_2 , zwevend stof en NO_x geldt dat de op een plek op leefniveau bereikte concentraties in grote trekken beantwoorden aan de karakteristiek van een logaritmisch normale verdeling indien de uitkomsten van monsternemingen over telkens 24 uur of over kortere perioden, verkregen gedurende een lange termijn, zoals een jaar, naar grootte

* Arts in algemene dienst van het Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft.

worden gerangschikt. Dat betekent dat b.v. voor SO_2 de waarden beneden de mediaan niet hoog zijn en een betrekkelijk kleine spreiding vertonen (voornamelijk zomerwaarden), terwijl een gedeelte van de waarden boven de mediaan gekenmerkt wordt door het bereiken van relatief hoge concentraties en een grote spreiding (voor een belangrijk gedeelte winterwaarden). Het merendeel van de hogere concentraties en met name die welke eventueel nog hoger zijn dan in volgens de karakteristiek zou verwachten, moeten worden toegeschreven aan atmosferische omstandigheden die leiden tot cumulatie van verontreiniging. Oftewel een mechanisme, dat de mens niet in de hand heeft, doch soms wel enigermate kan voorspellen. De onder zulke omstandigheden tijdelijk bereikte concentraties worden primair bepaald door de hoeveelheid in de atmosfeer geloosde verontreinigingen (conditio sine qua non).

In grote agglomeraties, met vele en veelsoortige bronnen op verschillende hoogten, worden de gehalten SO_2 en rook (gemeten als 'OECD-standaardrook') merendeels bepaald door seizoen en periodiciteit van (industriële) processen. In zulke gevallen is geometrische spreiding niet groot. De mediane waarde van SO_2 ligt in Nederland in menig geval in de buurt van $60\text{--}100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\sim 0,022\text{--}0,37$ ppm). Piekwaarden liggen als daggemiddelde meestal niet boven de $500\text{--}600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\sim 0,2$ ppm) en komen slechts een enkele keer voor. Incidenteel kunnen wel kortstondige pieken van b.v. 30 of 60 minuten optreden, doch deze komen zelden uit boven $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\sim 0,37$ ppm). De gevonden gehalten aan standaardrook vertonen in grote trekken een parallel met die van SO_2 , doch zijn, in gewichtconcentraties uitgedrukt, in ons land globaal op het niveau van één-vierde van het SO_2 -gehalte.

Bij puntbronnen, zoals grote elektrische centrales of olieaffinaderijen met een hoge centrale schoorsteen voor massale uitwerp, ligt het verspreidingspatroon anders. De bereik-

te grondconcentraties van b.v. SO_2 worden grotendeels bepaald door afstand, windrichting en windkracht, alsmede turbulentie van de atmosfeer. Aangezien met name de windrichting vrijwel nimmer constant is, is de bijdrage die een dergelijke puntbron levert aan de concentraties op grond- of leefniveau per plek gekenmerkt door een verdeling met zeer grote spreiding, nl. geringe waarden in het merendeel der gevallen en naar verhouding zeer veel hogere concentraties wanneer het meetpunt zich juist bevindt op de plaats waar onder de heersende omstandigheden op dat moment het grondmaximum verwacht kan worden. Door emissie op grote hoogte wordt de kans op hoge grondconcentraties verkleind, hoewel afhankelijk van turbulenties in de atmosfeer, in dergelijke gevallen soms toch nog hoge concentraties kunnen worden geregistreerd, zij het dan over slechts zeer korte perioden. Voor de beoordeling van de mogelijke effecten van luchtverontreiniging is het noodzakelijk goed op de hoogte te zijn met het in ruimte en tijd gespreid zijn van afzonderlijke contaminanten, die in een aantal gevallen met standaardmethoden kunnen worden geregistreerd. In de tijden van sterke verontreiniging (men denke aan Engeland 20-30 jaar geleden toen nog massaal gebruik gemaakt werd van kolen met een hoog gehalte zwavel en vluchtige bestanddelen) werd echter nog maar weinig gemeten in de atmosfeer. Nu dat beter gaat en er overal meetnetten in steden of op landelijke schaal zijn verzezen, is in menig opzicht de hoeveelheid verontreiniging met mogelijk ongunstige of fatale gevolgen aanzienlijk gereduceerd. Daar komt nog bij dat men weliswaar over het algemeen redelijk is geïnformeerd over het SO_2 -gehalte van de lucht, doch onvoldoende weet over de aanwezigheid van zwavelzuur en sulfaten. Het vermoeden is nl. gewettigd dat bij gelegenheden, die in het verleden aanleiding of oorzaak zijn geweest van catastrofale gevolgen, hoge SO_2 -concentraties mede hebben geresulteerd in aerosols van H_2SO_4 met

een hoge zuurgraad (gevonden is een pH 4 . . . 2). Tegenwoordig besteedt men in de USA speciaal aandacht aan het meten van zwevend sulfaat. Het routinematig meten van H_2SO_4 -aerosol is inmiddels in een vergevorderd stadium van ontwikkeling.

Voor het meten van de vervuiling van de atmosfeer door roet, rook en andere fijne zwevende deeltjes (b.v. vlieg-as en teerachtige bestanddelen) heeft men tot nu toe methoden gehanteerd die resulteren in een effectieve grootte: reflectometrisch of met behulp van lichttransmissie wordt de zwartheid en dichtheid van het luchtmonster bepaald en weergegeven als b.v. OECD-standaardrook. Omtrent de chemische samenstelling der deeltjes, vorm en deeltjesgrootte bestaat weinig meer inzicht dan dat de gebezigde methoden van monsterneming merendeels 'respirabel' stof aanzuigen, zijnde fracties kleiner dan $5 \mu\text{m}$ diameter. Er zijn uit de buitenlucht praktisch geen gegevens voorhanden waaraan ontleend zou kunnen worden welke eigenschappen van deeltjes belangrijk kunnen zijn of kunnen zijn geweest. Pas in recente jaren is enige verfijning aangebracht.

Voorlopig zal men er niet aan ontkomen meetgegevens inzake SO_2 en standaardrook te beschouwen als indicatoren van verontreiniging veroorzaakt door het gebruik van fossiele brandstof. Misschien zelfs slechte indicatoren wanneer men bedenkt dat er in de afgelopen decennia zeer veel veranderd is in de gebruikte brandstoffen, de verbrandingstechnieken, alsmede de gebezigde meetmethoden voor b.v. SO_2 . Meetuitkomsten van vandaag zijn waarschijnlijk indicatief voor een verontreinigingspakket dat kwalitatief zeer veel verschilt van het amalgaam dat bestaan heeft ten tijde van de grote en kleine calamiteiten welke gepaard zijn gegaan met effecten op de gezondheid. Deze laatste vormen echter nog steeds in belangrijke mate de criteria die ten grondslag liggen aan in recente jaren opgestelde grenswaarden, o.a. omdat die gegevens toch voldoende consistent en betrouwbaar zijn gebleken om een

redelijke verklaring te kunnen geven voor destijds opgetreden effecten en verschillen daarin.

De componenten die uit mobiele bronnen afkomstig zijn (hoofdzakelijk gemotoriseerd verkeer dat benzine gebruikt als brandstof) zijn merendeels van andere soort: praktisch geen zwavelverbindingen, daarentegen vrij veel stikstofoxiden en koolmonoxide (CO), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PNA), aldehyden en olefinen, roet, alsmede loodverbindingen. Doordat het verkeer een specifiek ritmisch gebeuren is en de uitlaatgassen op lage hoogte als het ware lokaal gebonden worden geloosd, is voor deze bestanddelen het verspreidingspatroon geheel anders dan b.v. voor SO₂. De expositie is bij uitstek gebonden aan de gedragingen van het verkeer en aan plaatsen met intensief verkeer, terwijl piekconcentraties niet langer dan enkele uren per dag vóórkomen, maar wel dag-in dag-uit (tenminste de werkdagen) ongeveer gelijk terugkeren. Uiteraard is ook op deze omstandigheden de atmosferische toestand van invloed, met name het eventueel bevorderen van stagnatie met cumulatie als gevolg.

Een steeds belangrijker wordende groep van componenten hangt nauw met de voorgaande samen, doch staat op zichzelf doordat het hierbij gaat om een aantal secundair gevormde stoffen, waarvoor het ontstaansmechanisme min of meer specifiek is. Door de inwerking van uv-licht ontstaan bij gunstige massaconcentraties van NO, NO₂ en koolwaterstoffen via een groot aantal reacties en intermediaire substanties enkele eindprodukten, waarvan de bekendste ozon (O₃) en peroxyacetylnitraat (PAN) zijn. Met name wordt O₃ gebruikt als indicator voor de intensiteit van het proces van vorming van oxiderende luchtverontreiniging. Het is echter niet juist hieraan teveel betekenis te hechten met het oog op het voorspellen van effecten, aangezien de betekenis van intermediaire (in menig opzicht onvoldoende bekende) substanties vermoedelijk veel groter is.

Bij de bestrijding van de oxiderende luchtverontreiniging is het streven (met name in de USA) gericht op het voorkómen van concentraties koolwaterstoffen in de atmosfeer gedurende de vroege ochtenduren (6-9 uur), teneinde te bereiken dat – mede vanwege de daardoor indirect hopelijk ook gunstig beïnvloede produktie van NO_x – de kans op oxiderende luchtverontreiniging in de loop van de dag minimaal wordt. Helaas is dit laatste nog een punt van onzekerheid; ook in Nederland blijkt bij zeer geringe concentraties van NO_x en koolwaterstoffen onder 'gunstige' atmosferische condities het proces in gang gezet te kunnen worden. Het gebruik van fossiele brandstoffen in gemotoriseerd verkeer is de belangrijkste veroorzaker, waaraan door andere bronnen als raffinaderijen (koolwaterstoffenemissie) of grote NO_x-emittenten (salpeterzuurfabricage, centrales) plaatselijk een bijdrage kan worden geleverd.

De expositie aan deze soort omzettingsprodukten van oxiderende aard beperkt zich tot de dagen van de vorming van wat foutievelijk 'smog' wordt genoemd en is beperkt tot een aantal uren gedurende het midden van de dag, mmeest in de zomerperiode wanneer er voldoende zonnestraling is.

Betekenis van enkele afzonderlijke componenten

Zwavedioxide en zwavelzuur

De reukgrens voor SO₂ ligt in de buurt van 1 ppm (~ 3 mg/m³). Een dubbele dosis is onaangenaam prikkelend voor neus en keel. Alleen in Londen in 1952 en een enkele maal in het Ruhrgebied zijn kortstondig dergelijke concentraties bereikt. De industriële TLV (threshold limit value) wordt gelegd bij 5 ppm (~ 13 mg/m³). De in de buitenlucht voorkomende concentraties liggen in het merendeel der gevallen beneden 0,5 mg/m³.

Opname van SO₂ geschiedt via neus en keel, voor 90-99% van de ingeademde hoeveelheid. Verspreiding door het lichaam vindt onmiddellijk

plaats na permeatie van de slijmvliezen en opname in de circulatie, vermoedelijk als sulfiet-ion of mogelijk als S-sulfonaat. Het wordt ook gebonden aan SH-groepen van (co)fermenten voor de overdracht van waterstof-energie, zoals glutathion en katalase. Uitscheiding van SO₂ in gasvorm vindt plaats via longen en ademhaling, terwijl de rest als zwavelmetabolieten het lichaam verlaat in feces en urine.

Drempelwaarden voor inwerking van SO₂ via chemoreceptoren in de luchtwegen op centraal en perifeer zenuwstelsel (Pavlov-methode, geconditioneerde en ongeconditioneerde reflexen) liggen in de buurt van 600-1500 µg/m³. Dit zijn vrijwel instantane werkingen en de praktische betekenis ervan is goeddeels onbekend. Experimenteel blootgestelde bronchitici kunnen reageren met toename van ademweerstand na enige tijd te toeven in concentraties SO₂ in de buurt van 3-6 mg/m³. Bij blootstelling op lange duur aan 1 ppm (2,7 mg/m³) zijn bij proefdieren biochemische en histochemische veranderingen gevonden (mucopolysacchariden, RNA-DNA-verhoudingen).

Ingeademd SO₂ kan in de korte tijd van in- en uitademing aan het oppervlak van katalytisch werkende deeltjes instantaan omgezet worden in H₂SO₄ waardoor het SO₂ als S-equivalent aanzienlijk toxischer wordt: etsing en bronchusvernauwing kunnen teweeggebracht worden. De deeltjesgrootte bepaalt dan het depositie-areaal en de respons. Zwavelzuur in een concentratie van 400 µg/m³ geeft onaangename prikkeling van de luchtwegen, 250 µg/m³ kortademigheid van bronchitislijders. Bij gezonden zijn er vermoedelijk geen opmerkelijke symptomen bij kortdurende exposities aan 120 µg/m³. Ondanks de principiële verschillen tussen opname en werkingsmechanisme van SO₂ en H₂SO₄ is er toch in menig opzicht sprake van additie in response en effect indien het organisme gelijktijdig aan beide agentia wordt blootgesteld.

Roet, vliegias en andere deeltjes

Het belangrijkste aspect van deeltjes in de lucht is de (verdeling van de) deeltjesgrootte. Deeltjes die groter zijn dan $10\text{ }\mu\text{m}$, worden voor 80-100% afgevangen in de neus-keelholte, zelfs van de deeltjes tussen 1 en $10\text{ }\mu\text{m}$ komt nog 60% daar terecht. De rest gaat door en deponeert grotendeels in de bronchiaalboom. Depositie in de bronchiaalboom en de longblaasjes is relatief het grootst bij kleine deeltjes, in de orde van $0,1\text{ }\mu\text{m}$ en kleiner. Een sponse kan daar dan ook het grootst zijn, zoals blijkt uit figuur 1.

Roet, dat op zichzelf meestal als onwerkzaam wordt beschouwd, heeft veelal polycyclische aromaten aan zich geadhereerd, waardoor het van belang is voor eventuele cancerogenese. Epidemiologische onderzoeken geven aanwijzingen dat de betekenis van roet in de atmosfeer niet zo groot is als het inhaleren van sigarettenrook met dezelfde soort bestanddelen, nl. 5-20 maal kleiner, afhankelijk van de omstandigheden.

Vliegias bevat allerlei verbindingen waarvan de betekenis niet goed bekend is. Meestal wordt aangenomen dat de directe schadelijkheid niet groot is en de betekenis vooral gericht moet worden in het vermogen O_2 in H_2SO_4 om te zetten en als vehiculum daarvoor te fungeren.

Wat opgevangen wordt als deeltjes uit de atmosfeer is dus een mengstof van goeddeels onbekende en uiteraard steeds wisselende samenstelling. De zwartheid van het stof is wel een maat voor de bijdrage van rook en roet uit verbrandingsinstallaties, tenzij b.v. carbon black fabrieken in de nabijheid zijn gelegen.

Stikstofoxiden

Relevante oxiden van stikstof zijn alleen het monoxide NO en het dioxide NO_2 . De inwerkingen zijn totaal verschillend. Door NO wordt hemoglobine (Hb) gedatureerd tot NOHb en NO-methemoglobine, waardoor de bloedkleurstof onbruikbaar wordt voor zuurstoftransport. Verder worden enzymen er door onwerkzaam gemaakt. Deze effecten

treden echter alleen op bij naar verhouding zeer hoge concentraties van NO en zijn vermoedelijk niet-registreerbaar beneden 10 ppm, hetgeen 100-maal meer is dan men in de buitenlucht kortstondig zo nu en dan meet.

De werkingen van NO_2 zijn diverse, maar komen in belangrijke mate neer op denaturatie van weefsels en celwanden, cel- en orgaanfuncties, evenals enzymsystemen. Als systeemvreemde stof blijkt NO_2 met name uit te werken in de zin van een acceleratie van het verouderingsproces.

Epidemiologische gegevens schieten voorlopig tekort voor de opstelling van dosis-effectrelaties bij geëxposeerde personen. Dierexperimenten geven nogal uiteenlopende resultaten te zien, waardoor effecten en risico's nog niet goed gekwalificeerd of gekwantificeerd kunnen worden. Onzekerheid speelt bij de normstelling dan ook een grote rol. Een voorzichtige schatting doet vermoeden dat de in de buitenlucht gemeten concentraties (in de orde van $50\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 0,025\text{ ppm}$) vermoedelijk op een niveau van één-vijfde ligt van dat waarboven de eerste effecten kunnen gaan optreden in fijna weefselstructuren, met name

van longen en ademhalingswegen.

De betekenis van NO_x is echter ook gelegen in het onmisbare voorloper zijn van oxiderende luchtverontreiniging met onder meer O_3 als produkt. Waarschijnlijk moet een grenswaarde voor NO_2 toch lager dan de voorkomende gehalten gelegd worden om met zekerheid dat proces te doen voorkómen. Omdat dit een hoofdstuk apart vormt, wordt hier niet nader op oxidantia ingegaan.

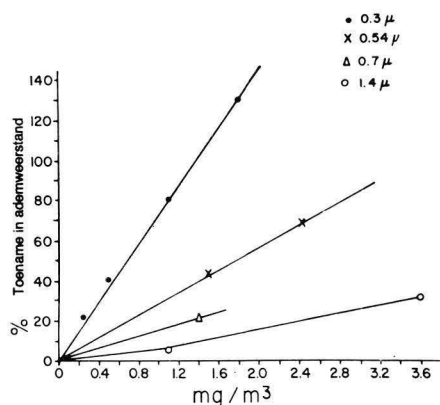
Koolmonoxide

Door de reukloosheid en de grote affiniteit van CO tot het hemoglobine, vertegenwoordigt CO een reëel risico, hoewel het slechts in kleine hoeveelheden uit de schoorsteen van stationaire bronnen komt. De grootste bijdrage wordt geleverd door het verkeer. Verkeersregelaars en taxichauffeurs in grote steden hebben soms dan ook abnormaal hoge gehalten COHb in hun bloed (2-8%), roken buiten beschouwing gelaten.

Waarschijnlijk is CO van grote betekenis voor de functionele toestand van de bloedvaten, ook met betrekking tot de afgifte van zuurstof in de weefsels. Een COHb-gehalte van 5-6% kan reeds ongunstig zijn voor de zuurstofvoorziening van de hartspeer bij mensen met een niet goed functionerende vaatvoorziening van het hart zelf, zoals onder meer lijders van een gepasseerd hartinfarct. De in het verkeer soms bereikte concentraties tijdens de verkeerspieken (15-20 ppm) kunnen echter slechts in een enkel procent COHb resulteren.

Echter kan het gebruik van fossiele brandstof in de vorm van kolen in stationaire bronnen, te weten kachels voor kamerverwarming, wel degelijk een risico inhouden indien de atmosferische condities die leiden tot cumulatieve stagnatie van rookgasen in de schoorsteen bevorderen, waardoor koolmonoxide in de woonruimte komt. Vermoedelijk wordt door dit gebeuren een aantal binnenshuis fataal verloopende gevallen tijdens de mistrampen verklaard, waarop met name gewezen is door Bierste-

Figuur 1. Voorbeeld van de betekenis van de deeltjesgrootte van een zinkammoniumsulfaat aerosol op de ademweerstand van caviae. Bij gelijkblijvende hoeveelheden is de toename in ademweerstand het grootst bij de kleinste deeltjes, waarbij het depositie areaal hoofdzakelijk laag gelegen is en door het naar verhouding veel grotere aantal deeltjes veel meer lokale prikkels kunnen ontstaan.



De epidemiologische benadering

In een vrij groot aantal gevallen is epidemiologisch onderzoek uitgevoerd nadat er een aanleiding toe was (cumulatieperiode), hetgeen meestal een tekort aan gegevens en onvoldoende inzicht in de feitelijke situatie met zich mee heeft gebracht. In menig geval van vermoeden op het bestaan van invloeden van luchtverontreiniging, hetzij momentaan dan wel op lange termijn, is het aantal beschikbare meetgegevens toch te pover (geweest) om duidelijke uitspraken mogelijk te maken. Daar komt bij dat diagnostiek en nomenclatuur niet volledig gestandaardiseerd zijn. Ook weet men bij voorbaat dat de gebezigde gezondheidsparameters in de meeste gevallen niet specifiek zijn en evenzeer een afspiegeling kunnen vormen van andere invloeden zoals klimaat, temperatuurwisseling, infecties, e.d. De dagelijkse gang naar het werk, andere vormen van migratie, evenals exposities tijdens de beroepsuitoefening, maken dat meetgegevens over luchtkwaliteit voor bevolkingsgroepen in hun geheel hoogstens een indicatieve betekenis hebben.

Omdat er geen bepaald symptomencomplex bestaat dat pathognomonisch genoemd kan worden voor de invloed van het boven aangeduide amalgaam van verontreinigingen, kunnen in de praktijk slechts gezondheidsparameters worden gehanteerd, zoals sterfte- en ziektecijfers, antwoorden verkregen in gerichte enquêtes, resultaten van bepaalde functie-onderzoeken, alsmede eventueel de z.g. biological sampling. Voor deze soort onderzoeken kan meestal maar weinig geput worden uit bestaande bronnen.

Een ander probleem is het bestaan van interacties tussen graad van luchtverontreiniging en sociale, culturele, economische en ethnische factoren.

Het beste doet men te kiezen voor methoden die de dynamiek van vermeende effecten bestuderen en wel in hun beloop en afhankelijkheid van de variaties in de gemeten verontreinigingsgrootheden. In het algemeen

echter zijn de onderzochte gezondheidsparameters aan vrij grote fluctuaties onderhevig. De ruis is zo groot dat het gevaar bestaat van vals-positieve en ook vals-negatieve conclusies. Transversale doorsneden in de zin van zwart-wit vergelijkingen schieten op overeenkomstige wijze tekort, tenzij de tegenstellingen uitzonderlijk groot zijn, zoals in het verleden wel het geval is geweest. Dergelijke onderzoeken komen bijna altijd ook neer op het vergelijken van stad met platteland. Urbanisatie omvat echter veel meer dan een toename in het SO_2 -gehalte!

Waarschijnlijk is een van de factoren, die het meeste interfereert met de invloed van luchtverontreinigingen (of mogelijk zelfs wel predisponeert tot de ongunstige uitwerking daarvan), de individuele gewoonte van het inhalerenderwijs roken van sigaretten. Alleen in prospectief onderzoek is het goed mogelijk de momentane rookgewoonte vast te leggen en te onderzoeken. Het zal blijken dat die van enorm grote invloed is op het gezondheidspatroon en de invloed van de gangbare verontreiniging met SO_2 , rook, e.d. verre overtreft.

In de USA heeft men in de afgelopen jaren een aantal studies verricht in het kader van het z.g. CHESSE programma (Community Health Environmental Surveillance System). Ook deze recente studies, gericht op de mogelijke betekenis van betrekkelijk lage concentraties SO_2 en zwevende deeltjes, worden echter gekenmerkt door een grote mate van onvolledigheid van meetgegevens en een vrij grote hoeveelheid moeilijk verifieerbare veronderstellingen. Uit een paar van die studies zou zijn gebleken dat met name aan de in de lucht zwevende sulfaatdeeltjes een betekenis moet worden toegekend. Om dat te bevestigen zal nog wel een vrij groot aantal epidemiologische studies, zich uitstrekkende over lange termijn, verricht moeten worden.

Ondanks de in de afgelopen 25 jaren gedane onderzoeken, waarbij met name de epidemiologische methodiek grote ontwikkelingen doormaakte,

vormt de beschikbare informatie over de betekenis van alom aanwezige indicatoren als SO_2 , rook en NO_x voor de gezondheid nog geen sluitend geheel dat samengevat kan worden in dosis-effectrelaties met trendlijnen en spreidingen rond eventuele regressielijnen, waaruit op min of meer mathematische of op zijn minst rationeel reproduceerbare wijze 'no-effect levels' of 'no adverse effect levels' afgeleid kunnen worden. De inmiddels ook in Nederland voor SO_2 , H_2SO_4 , standaardrook en CO voorgestelde grenswaarden zijn echter wel degelijk gebaseerd op een zo goed mogelijk onderscheiden en tentatief afbakenen van grenzen waarbeneden geen effecten van betekenis waarschijnlijk zijn.

Fatale gebeurtenissen

Cumulatieperioden van enkele dagen tot ongeveer een week hebben in het verleden vooral in Engeland geleid tot z.g. 'smog' disasters (smog = smoke + fog), waarbij ernstige vervuiling en mist samen optraden als gevolg van een atmosferische temperatuurinversie. In één of twee dagen steeg de concentratie van SO_2 en roet tot het viervoudige of meer, met als bijna onmiddellijk gevolg een navenant stijging in sterfte- en ziektecijfers onder ouderen en gepredisponeerden. Dat waren b.v. mensen met chronische bronchitis, longemfyseem, gestoorde hartwerking of circulatie e.d., en bijna steeds op gevorderde leeftijd.

In tabel I is een aantal ruwe gegevens betreffende zulke perioden gerangschikt naar afnemend effect. Die van 1952 is de geruchtmakende ramp geweest die in Engeland de stoot heeft gegeven tot de Clean Air Act, waardoor mettertijd Londen een schone stad is geworden en calamiteiten van gelijke omvang zich niet meer hebben voorgedaan. Dit wordt duidelijk gedemonstreerd door vergelijking met de episode van 1962 toen het rookgehalte van de atmosfeer drastisch was verlaagd geworden en bij slechts kleine verschillen in het SO_2 -gehalte het aantal slachtoffers (uitgedrukt als

TABEL I
Overzicht van een aantal katastrofale cumulatieperioden in Groot-Londen*

	dec. 1952	jan. 1956	dec. 1962	dec. 1957	dec. 1956	jan. 1955	jan. 1959
duur van de cumulatieperiode in dagen	5	5	5	5	10	11	5
aantal dagen met zeer hoge concentraties	2	2	1	1	5	3 × 1	1
voorgaand SO ₂ -niveau (µg/m ³)	500	300	400	300	300	300	300
SO ₂ -maximum (µg/m ³)	4000	1500	3300	1600	1100	1200	800
SO ₂ -gradiënt (µg/m ³ d)	1200	500	1000	325	400	450	250
voorgaand rookniveau (µg/m ³)	400	500	200	400	400	500	400
rook maximum (µg/m ³)	4000	3250	2000	2300	1200	1750	1200
rook gradiënt (µg/m ³ d)	1200	1300	600	500	400	600	400
oversterfte in aantallen	3900	1000	850	800	400	240	400
aantal dagen met oversterfte	18	10	13	10	6	6	6
verwachte dagsterfte	300	330	310	300	270	320	325
gemiddelde oversterfte tijdens oversterfte periode in procenten van verwachte dagsterfte	170	130	120	125	125	112	110

* *Brasser, Joosting en Van Zuilen (1967)*

oversterfte) tot bijna één-vijfde van dat van 1952 was gereduceerd. Dit is mogelijk geflatteerd door de inmiddels ook aanzienlijk verbeterde zorg voor personen met luchtwegaandoeningen (b.v. bestrijding van infectieuze aspecten met behulp van antibiotica). Echter, indien deze veronderstelling juist is, nl. dat met behulp van goede medische zorg en geperfectioneerde therapie de ongunstige inwerking van een milieufactor als luchtverontreiniging als het ware gebufterd kan worden en daardoor gecamoufleerd, wettigt dit enige achterdocht ten aanzien van de absoluteheid van het afwezig zijn van inwerkingen die uit het oogpunt van gezondheid ongewenst zijn, indien geen ongunstige waarnemingen meer worden gedaan. (Een slaapmiddel is geen essentiële bestrijding van nachtelijke lawaaihinder, evenmin als antibiotica kunnen voorkómen dat zure aerosols en stikstofoxiden de slijmvliezen van luchtwegen en longen aantasten, waardoor mogelijk bacteriële processen bevorderd worden). Voorzichtige

heid bij interpretaties als deze blijft geboden.

De gegevens van tabel I laten enige interactie zien tussen SO₂ en rook. In 1959 was er reeds een significante oversterfte van 200 personen of te wel 60% van een normale dagsterfte in Groot Londen, toen in twee dagen tijd het gehalte SO₂ van 200 µg/m³ steeg tot 800 µg/m³ en het rookgehalte opliep van 400 tot 1200 µg/m³. Met name dit laatste is zeer hoog en wordt tegenwoordig niet meer geregistreerd. Er bestaat een communis opinio dat de betekenis van rook en zwevende stof in de lucht groot is en bij de bestrijding daaraan prioriteit gegeven dient te worden wanneer de rookconcentraties groter zijn dan 20-25% van de SO₂-gehalten in µg/m³ of de mediaan van de rookgehalten niet duidelijk onder de 100 µg/m³ zou liggen. In cumulatieperioden kunnen nl. enkele dagen durende piekwaarden optreden die reiken tot b.v. het tienvoudige van de mediaanwaarde van een jaar. Zo zal de oversterfte in Londen in 1959 al zijn gaan optreden

in de buurt van de 700 µg/m³ voor SO₂ en/of rook.

In Nederland is door Biersteker (1966) de cumulatieperiode van 1962 onderzocht en de mogelijke invloed daarvan op de bevolking van Rotterdam en enkele andere gebieden. Bij die gelegenheid (begin december) liepen gedurende drie dagen de SO₂-concentraties op van 200 à 300 µg/m³ naar respectievelijk 600-1200-600 µg/m³, terwijl de 'rook'-gehalten stegen van 100 à 200 µg/m³ naar respectievelijk 450-500-450 µg/m³. Voor Nederlandse omstandigheden waren deze waarden betrekkelijk hoog, doch oversterfte kon niet aanmerkelijk worden gemaakt. Wel was het ziekteverzuim kort na de mistperiode duidelijk toegenomen. Ook de aanvragen voor ziekenhuisopname wegens hart- en luchtwegaandoeningen vertoonden een stijging.

Op grond van deze en dergelijke waarnemingen kan worden aangenomen dat in de buurt van 500 µg/m³ voor SO₂ en rond 500 µg/m³ voor standaardrook de vage grens ligt waarboven bij een expositie van één of enkele dagen een kans op oversterfte onder gevoelige personen zich kan manifesteren, met name wanneer de gradiënt van de toename steil is en beide bestanddelen (denk: indicatoren) dat niveau bereiken. De bescheiden omvang van deze soort gegevens laat echter niet toe te veronderstellen welke combinaties van SO₂ en standaardrook tot equivalente effecten kunnen leiden.

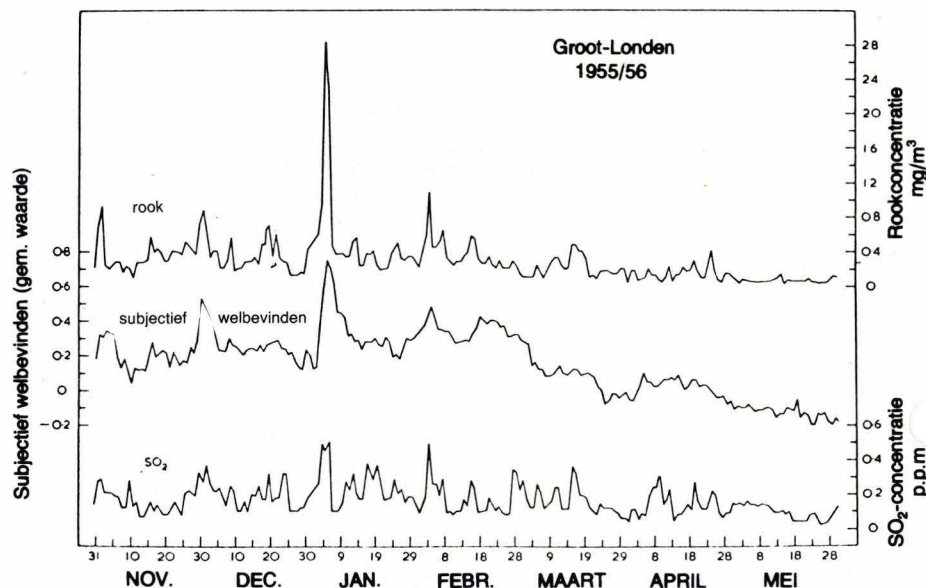
Respons op middelmatige oscillaties van de verontreiniging

Analyse van associaties tussen dagelijkse schommelingen in het SO₂- en rookpatroon en de dagelijkse sterfte voor alle doodsoorzaken, hart-vaatziekten en bronchitis apart, heeft aangetoond dat met name in de jaren toen er in Engeland nog veel verontreiniging bestond, relatief kleine fluctuaties in graad van verontreiniging hun afspiegeling kunnen geven in het sterfjepatroon, juist ook op de dag

volgend op een exacerbatie tot een niveau van ongeveer 700-750 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor zowel SO_2 als rook (Lawther 1963). In de toenmalige onderzoeken werden echter alleen gegevens gebruikt van dagen in de winterperiode waarbij de concentraties van SO_2 boven 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en van rook boven 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ lagen. De fluctuaties vonden plaats op een reeds hoog niveau en de mogelijkheid van effecten van schommelingen met geringere waarden als uitgangsniveau wordt er niet door uitgesloten. In principe zijn de bij deze soort onderzoeken gevonden grenzen voor het ontstaan van statistisch significante effecten in overeenstemming met de ervaringen tijdens de z.g. mistrampen in Londen. De conclusie is gewettigd dat rook of wat genoemd wordt 'black suspended matter' van de twee componenten de grootste rol heeft gespeeld.

Ook in de USA hebben zich cumulatieveperioden voorgedaan, echter met minder spectaculaire gevolgen als in Engeland. Een enkele maal (1953, 1966) was de toestand vergelijkbaar met die in Londen, nl. doordat in New York de SO_2 -gehalten stegen tot 2500 of 1200-1500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en oversterfte kon worden geregistreerd. Analyse van de dagelijkse sterfte in de jaren 1960-1964 bracht echter ook daar een duidelijk verband aan het licht met de fluctuaties van de SO_2 -concentratie, indien waarden beneden 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ werden vergeleken met dagen boven 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Hoewel rook en roet in New York anders zijn bepaald dan in Engeland (of in Nederland) en de uitkomsten daardoor niet direct vergelijkbaar zijn, mag wel verondersteld worden dat de gehalten in New York in die jaren lager waren dan in Engeland of Londen. Het is dan ook interessant dat Glasser en Greenburg (1971) konden vaststellen dat voor New York de associaties van het sterfjepatroon met SO_2 -fluctuaties veel uitgesprokener waren dan met de rookfactor. Dit is mogelijk weer een aanwijzing voor de interactie tussen de beide indicatoren SO_2 en rook.

Klassieke vermaardheid heeft verworven het jarenlang door Lawther



Figuur 2. Samenhang tussen pieken in de verontreiniging (met name hoge rookconcentraties) en het subjectieve welbevinden van lijdende aan chronische bronchitis te Londen in vroegere jaren. (Lawther, e.a., 1970).

c.s. uitgevoerde onderzoek naar het dagelijkse welbevinden van lijdende aan chronische bronchitis in Londen. De patiënten hadden dagboekjes en legden daarin met behulp van een relatieve of absolute maatstaf een subjectieve beoordeling van hun eigen gezondheidstoestand van dag-tot-dag vast, waardoor een patroon van waarden werd verkregen dat met de fluctuaties in de verontreinigingsparameters SO_2 en standaardrook vergeleken kon worden. Een belangrijke bevinding daarbij was, hetgeen ook al uit andere onderzoeken was gebleken, dat het zicht, de mistigheid of anderszins zichtbare graad van (mogelijke) vervuiling, geen wezenlijk bepalende factor bleek te zijn.

Voorts was de periode, waarin de associaties aantoonbaar waren, beperkt tot de winterperiode. Zodra het maart was geworden en het voorjaar zijn intrede begon te doen, bleek de gezondheidstoestand van de bronchitislijders dermate te verbeteren, dat pieken in april van de grootte-orde van bijvoorbeeld januari (meest verontreinigde maand door maximale

huisbrand) geen effect meer sorteerden in die groep van toch bij uitstek gevoelige personen. Omstreeks november wordt dan het fenomeen weer waarneembaar, zoals blijkt uit figuur 2. Echter, wat in de jaren vijftig overduidelijk aantoonbaar was, begon in de jaren zestig te verdwijnen. Aanvankelijk nam het aantal klachten en de ernst ervan duidelijk gescandeerd toe en af met fluctuaties, waarbij het SO_2 -gehalte een enkele dag opliep van 250 naar 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, evenals het roet. In het SO_2 -gehalte is door het toegenomen oliegebruik in Londen niet zoveel veranderd (in 1959 gemiddeld 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in 1965 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in de winter), het rookgehalte daarentegen is drastisch verminderd (vergelijkbare cijfers resp. 420 en een stuk beneden 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Lawther e.a. (1970) konden dan ook voor de recentere jaren niet meer zichtbaar maken hoe het welbevinden van de bronchitici op en neer ging met de toen aanwezige concentraties (figuur 3). Statistisch bestonden de associaties in 1967-1968 nog wel en uit dien hoofde is het dus belangrijk te memo-

renen dat dit het geval was bij een SO_2 -wintergemiddelde van $262 (\pm 100) \mu\text{g}/\text{m}^3$ en een standaardrook winterwaarde van $68 (\pm 48) \mu\text{g}/\text{m}^3$. De gemeten zwavelzuurgehalten (alleen sedert de laatste 10 jaren voor een enkele plaats in Londen beschikbaar) lagen in die tijd bij $6,3 (\pm 4,3) \mu\text{g}/\text{m}^3$ en bleken in recente jaren weinig te variëren, ondanks de doorzettende daling van standaardrook.

Dit betekent dat ondanks alle verbeteringen er tegen het eind van de jaren stig nog steeds geen toestand was bereikt waarvan gezegd kon worden dat er geen invloed meer op de gezondheid bestond. Met andere woorden, de gehalten zouden nog verder omlaag moeten en/of de fluctuaties moesten nog meer beperkt worden. Dat kan alleen door een vermindering van uitworp over de gehele linie, want de onderzoeken van Lawther c.s. hebben nog niet kunnen duidelijk maken waar voor bronchitici de grens ligt (zowel voor niveau in absolute zin als voor gradiënt in relatieve zin) waar beneden deze belangrijke en grote groep personen niet meer beïnvloed wordt in zijn welbevinden dat in deze een strikt medisch karakter draagt. De onderzoekers zelf menen dat ook

exposities van slechts een beperkt aantal uren aan SO_2 -gehalten in de orde van bijvoorbeeld $700 \mu\text{g}/\text{m}^3$, reeds een ongunstige respons bij bronchitici kunnen oproepen.

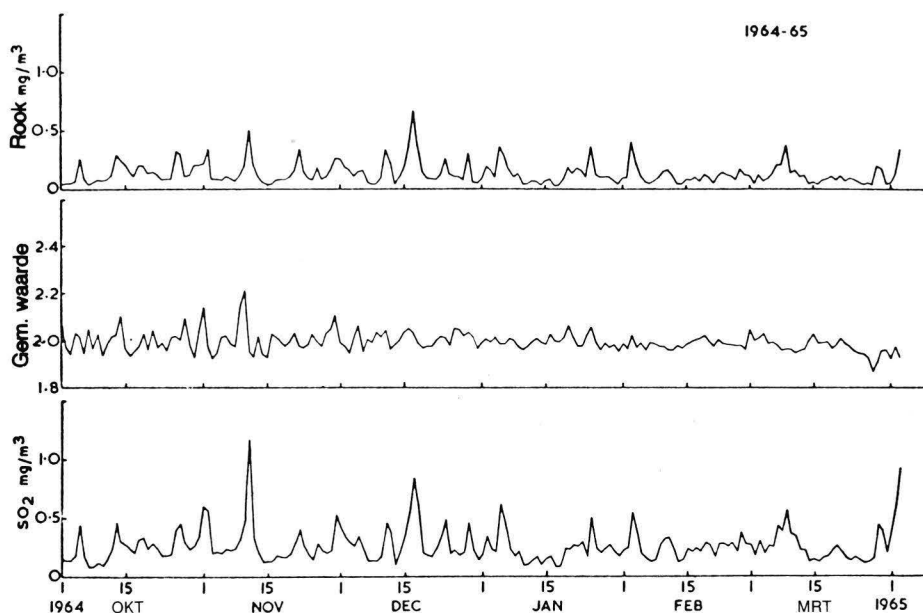
Een opmerking van algemene strekking moge in dit verband hier worden gemaakt. Statistische significantie in onderzoeken als de bovenaangehaalde, treedt onder meer op bij kritische aantallen en getalverhoudingen. Dynamisch gezien in het licht van een werking die aanvankelijk slechts door een gevoelige enkeling wordt geregistreerd en die zich vervolgens bij steeds meer personen manifesteert wanneer de intensiteit toeneemt (dosis-responsrelatie), zegt die statistische significantie niets anders dan dat het aantal personen met een respons aanzienlijk meer dan nul bedraagt. Het agens of de milieufactor is reeds (veel) eerder dan het te bereiken significantieniveau begonnen zijn invloed uit te oefenen. Adequate dosis-responsrelaties ontbreken om van de niveaus en aantallen, waarbij de respons of het effect significant is, te extrapoleren naar een expositie waarbij waarschijnlijk een eerste fenomeen zich juist wel of juist niet manifesteert. Er is ook te weinig

bekend over trendlijnen en spreidingen daaromheen in dosis-effectdiagrammen om goede gissingen van dien aard te maken.

Daarom is het zo belangwekkend wat Lawther e.a. (1974) hebben gepubliceerd over gedurende vijf jaren gedane dagelijkse waarnemingen aan de individuele leden van het team onderzoekers wanneer zij zich lopende door de Londense atmosfeer naar en van hun werk begaven (1960-1965). Drie van de vier proefpersonen vertoonden systematische vermindering van hun ademcapaciteit (forced expiratory volume-FEV – en maximum midexpiratory flow – MMF) bij toenemende expositie, met name met de logaritme van het gehalte standaardrook. Bij de gevoeligste persoon nam bij elke verdubbeling van het rookgehalte de MMF met ongeveer $0,25 \text{ l/sec}$ oftewel met 5% af. Dit was zelfs al merkbaar bij een vergelijking van 25 met $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook de twee andere reagerende proefpersonen vertoonden dan reeds een duidelijke vermindering (3-5%) van deze dynamische ademhalingsgrootte die iets zegt over de ademweerstand. Voor SO_2 waren de resultaten iets minder uitgesproken. De meest gevoelige persoon liet reeds verschillen zien tussen globaal 50 en $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de anderen eerst boven $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Een andere parameter, de peak expiratory flow (PEF), werd eveneens beïnvloed, doch in geringere mate.

Deze bevindingen laten zien dat niveaus van standaardrook boven $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en SO_2 boven $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Londen hun inwerking kunnen hebben op een gedeelte van de bevolking en het functioneren van hun ademhaling. Men realiseert zich echter wel dat deze functieveranderingen klein zijn vergeleken met wat optreedt tijdens verkoudheid, griep, bronchitis, e.d. Het zal in dit verband leerzaam zijn te ervaren wat onderzoeken van de CARA-Werkgroep van TNO (dr. R. van der Lende) in Vlaarding en zullen opleveren, waar in een onderzoek naar chronische specifiek respiratoire aandoeningen (CARA) een werkwijze vergelijkbaar met die van

figuur 3. Beloop van het subjectieve welbevinden van lijders aan chronische bronchitis in Londen na drastische daling van de rookgehalten in de atmosfeer. (Lawther e.a., 1970).



Lawther c.s. (dagboekjes) wordt ge-
bezigd. Daar wordt echter nog niet
dagelijks longfunctie bepaald.

Vergelijking tussen meer en minder verontreinigde gebieden

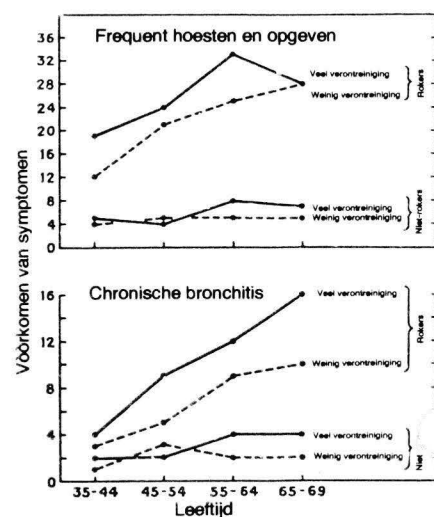
Het ligt voor de hand de vraag te
stellen wat de betekenis is van langdu-
rig blootgesteld zijn aan SO_2 , rook-
deeltjes en eventuele andere produk-
ten als vliegias, H_2SO_4 en sulfaten. Bij
de soort onderzoeken waarbij de
onmiddellijke invloed van fluctuaties
en piekwaarden wordt nagegaan,
moet men meestal volstaan met re-
trospectief onderzoek van (toevallig)
aanwezige gegevens die niet voor dat
doel werden vastgelegd. Of men moet
maar afwachten of het verontreini-
gingsbeeld zich wel leent tot de be-
doelde vraagstelling.

Anders ligt het bij de vergelijking van
meer en minder verontreinigde gebie-
den en onderzoek van de mogelijke
betekenis van dergelijke verschillen
voor de gezondheid op lange termijn.
De vergelijking kan door een juiste
keuze (op grond van bestaande meet-
gegevens) min of meer getrapt wor-
den uitgevoerd. Men kan dat doen in
de vorm van transversale doorsne-
den, die neerkomen op de registratie
van fenomenen in een populatie op
een zeker moment of in een bepaald
tijdsbestek. De kans op storende in-
termitterende gebeurtenissen blijft
dan echter bestaan.

Betere mogelijkheden biedt een longi-
tudinaal onderzoek, doch dat vergt
veel inspanning en tijd. De uitkom-
sten van deze laatste soort zijn echter
wel zo relevant. Hiertoe kan bijvoor-
beeld een Engelse studie gerekend
worden die een groot aantal op het-
zelfde tijdstip (eerste week van maart
1946) in Engeland geboren personen
vervolgt om na te gaan wat de mogelij-
ke betekenis van opgroeien in een
zeer verontreinigd gebied is en of de
mistramp van 1952 een nawijsbare
invloed heeft gehad op de toen zesja-
rige kinderen. Dat de toenmalige zeer
grote verschillen van betekenis zijn
geweest bleek uit een vermeerderd
voorkomen van luchtweginfecties in
meer verontreinigde gebieden (Dou-

glas en Waller, 1966). De roetgehalten
waren met name zeer hoog. Door de
onderzoekers nog niet gepubliceerde
uitkomsten wijzen er echter op dat de
gevonden verschillen bij het opgroeien
en volwassen worden zijn ver-
vaagd en met name overschaduwd
zijn geworden door de gevolgen van
verschillen in rookgewoonten van de
onderzochten in de laatste tien jaren.
Onderzoek dat op min of meer verge-
lijkbare wijze in Sheffield is gestart
bij kinderen vanaf de leeftijd dat zij
op de lagere school kwamen (Lunn et
al. 1967, 1970) heeft op soortgelijke
wijze laten zien dat chronische aan-
doeningen van bovenste en lagere
luchtwegen geassocieerd waren met
de graad van SO_2 - en rookvervuiling.
Ook daar bleek het verband allengs
minder goed aantoonbaar te worden
toen in Sheffield met name het rook-
gehalte van de atmosfeer drastisch
was verminderd als gevolg van de
Clean Air Act. Met dit zelfde fenomeen
hebben Douglas en Waller uiter-
aard ook te maken gehad. Op grond
hiervan zou men kunnen vermoeden
dat met de gebezigde technieken (tra-
ditioneel medisch onderzoek van de
kinderen inclusief longfunctiebepa-
ling en ondervraging van de ouders,
alsmede ondervraging van de kinde-
ren als zij volwassen zijn geworden)
de huidige niveaus van verontreini-
ging geen invloed meer hebben of een
invloed die zich niet onderscheidt van
de ruis die de gezondheidsparameters
nu eenmaal vertonen. Ook hier dus
opnieuw de vraag hoe ver men omlaag
moet om zeker te zijn van een no-ef-
fect level, dus nog geheel afgezien
van de inbouw van veiligheidsmarges
of -factoren.

Dat met name roken behalve andere
factoren als sociaal-economische, be-
volkingsdichtheid en behuizing een
zeer grote rol speelt als concurrent
van componenten van luchtverontrei-
ning, is overduidelijk gebleken, on-
der meer in de onderzoeken van
Holland en medewerkers en van Lam-
bert en Reid (1970) die een enquête
hebben verricht onder duizenden le-
den van de Britse bevolking, gericht
op het verband roken, luchtverontrei-



Figuur 4. Het voorkomen van symptomen (fre-
quent hoesten en opgeven) en chronische bron-
chitis onder bijna 10.000 personen van de Britse
bevolking, gerangschikt volgens leeftijd, rookge-
woonte en graad van luchtverontreiniging.
(Lambert en Reid, 1970).

niging en bronchitis. Zij toonden aan
hoe de invloed van luchtverontreini-
ging bij niet-rokers slechts een kwart
is van de invloed van roken, en de
verhouding tussen het effect van
meer of minder verontreiniging bij
rokers zowel als niet-rokers proporti-
oneel ongeveer gelijk is. Wel ziet men
de invloed van luchtverontreiniging
duidelijker gemanifesteerd bij jong
rokers dan bij jonge niet-rokers. Dez
laatste tonen het onderscheid eerst op
een leeftijd rond 50 jaar (figuur 4). Zo
bezien zou men met enige voorzich-
tigheid kunnen postuleren dat het
inhaleren van sigarettenrook een sy-
nergistisch of zelfs predisponerend
effect heeft voor het ontstaan van
chronische bronchitis, voortdurend
hoesten en opgeven van sputum.

Ook in dit onderzoek echter bleek het
nog niet mogelijk aan te geven waar
de benedengrens ligt voor het ver-
dwijnen van de verschillen in effect.
De exposities waren helaas niet ver-
der gedifferentieerd beneden 100
 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, zowel voor rook als SO_2 .
Relateert men de prevalentiepercen-
tages echter aan de verontreinigings-
categorieën, dan blijkt het discrimine-
rend vermogen van een verschil van
bijvoorbeeld 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ rook, globaal
twee maal zo groot als van SO_2 , met

name in de categorieën rond 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dat betekent dat de no-effect level voor rook in ieder geval in de buurt van 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (als mediaan) of daar beneden zal liggen, terwijl voor SO_2 die grens in ieder geval ook beneden 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zal liggen. Hierbij dient bedacht te worden dat deze cijfers betrekking hebben op (indicatoren voor) de samenstelling van de lucht in Engeland in het jaar 1965. Gelijke indicatorwaarden garanderen nog geen gelijke samenstelling van de lucht nu en hier.

Recente onderzoeken in de USA, uitgevoerd in het kader van CHES (community health environmental surveillance system), hebben eveneens resultaten opgeleverd die in dezelfde richting wijzen, nl. dat het voorkomen van luchtwegaandoeningen en bronchiale symptomen gecorreleerd is met expositie aan SO_2 en zwevende deeltjes (dat is meer dan standaardrook) in middelbare concentraties beneden de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor een globale vergelijking mag men 100 μg voor een totaal van zwevende deeltjes, rook en roet inclusief, stellen op 50 μg standaardrook.

Conclusie

Of het voorgaande zal zijn gebleken of niet, dat veel omtrent de precieze betekenis van de indicatoren van luchtverontreiniging ten gevolge van het gebruik van fossiele brandstoffen onvoldoende bekend is om goed gekwalificeerde en gekwantificeerde dosis-effectrelaties op te stellen en daaruit op 'harde' wijze te concluderen ten aanzien van trends, regressies en spreidingen daaromheen, eventuele onzekerheidsmarges e.d. Toch is er voldoende materiaal voorhanden om te zeggen dat zowel met SO_2 als standaardrook parameters zijn gegeven die zulk een nauwe betrekking hebben tot de geregistreerde gezondheidsaspecten, dat een beleid, dat gericht is op minimalisering van middelbare en vooral ook incidenteel bereikte piekconcentraties daarvan in de lucht, direct of indirect zal resulteren in een verkleining van risico's voor de geëxponeerde populatie.

Omdat de werkingen waar het om gaat zich, afgezien van de gevoeligheid van individuen, in principe laten rangschikken binnen een farmacodynamische gedachtengang, waarvoor onder meer geldt een redelijke consistentie en binnen betrekkelijk nauwe grenzen reproduceerbare relatie tussen dosis en effect, is het tot nu toe geen gewoonte geweest grote veiligheidsmarges of -factoren in acht te nemen bij het opstellen van richtlijnen (aan de hand van toch zo goed mogelijk gewogen gegevens of gepostuleerde no-effect levels). Een onzekerheidsfactor twee, weinig uitgesproken gehanteerd, blijkt in de geëigende denk- en werkwijzen dan al groot.

Dit hangt onder meer samen met het feit dat de in menig geval met grote inspanning laag gehouden concentraties op leefniveau juist in de buurt van of beneden de no-effect levels zijn komen te liggen en een verdere reductie onvoorstelbare offers zou verlangen, die economisch niet realiseerbaar lijken. Een veiligheidsfactor in de orde van bijvoorbeeld 10 is niet groot, maar heeft wel geweldige budgettaire consequenties.

Misschien wordt deze 'marginale' denkwijze ingegeven doordat de werkingen en effecten van SO_2 e.d. minder affectief beladen zijn en niet geapprecieerd worden als een fundamentele aantasting van de integriteit van het organisme. Het lichaam wordt klaarblijkelijk in staat geacht veel te kunnen bufferen en een hoeveelheid niet relevante 'informatie' of ballast in de vorm van SO_2 , rook, CO, e.a. onmerkbaar te kunnen verstouwen. Dat zo iets niet ongestraft behoeft te verlopen is gebleken uit de acceleratie van het verouderingsproces van proefdieren en de blijvende denaturatie van weefsels na expositie aan NO_2 . Ook mag de betekenis van cancerogenen (PNA, arseen, e.d.) niet zo maar uit het oog worden verloren, al wordt die overschaduw door roken.

Zolang er geen denk- en werkwijze is ontwikkeld die een enkelvoudige of samengestelde grootte of eenheid van werking kent en die hanteert bij

de evaluering van relevante dosis-effectrelaties in termen van expositie en gekwalificeerd en gekwantificeerd risico (nog afgezien van een standaardisatie of unificatie op het gebied van in acht te nemen veiligheidsmarges of -factoren), blijft waakzaamheid geboden. Het zou bijvoorbeeld nuttig zijn de Nederlandse grenswaarde voor SO_2 en standaardrook nog eens te toetsen aan recente uitkomsten van onderzoek in de USA en met name de besproken resultaten van de groep onderzoekers onder leiding van Lawther, omdat de ruim vijf jaar geleden geëigende doch niet goed geproportioneerde 'veiligheidsfactor' (zie bladzijde 12 van Advies inzake Grenswaarden SO_2) thans iets minder realistisch en reëel zou kunnen blijken.

Deze zaken hebben inmiddels de nodige aandacht verkregen in werkgroepen van de Gezondheidsraad en de Raad inzake de Luchtverontreiniging.

Literatuur

- Amdur, Mary O. (1974)
The long road from Donora (1974 Cummings Memorial Lecture)
Amer. Industr. Hyg. Assoc. J. **35**, 589-597.
- Brasser, J. L., Joosting, P. E., Van Zuilen, D.
Sulphur Dioxide - to what level is it acceptable?
Report G 300, Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft, 1967.
- Biersteker, K. (1973)
Biologische aspecten van de conventionele luchtverontreiniging.
T. Soc. Geneesk. **51**, 126-134.
- Douglas, J. W. B., Waller, R. E. (1966)
Air pollution and respiratory infection in children.
Brit. J. Prev. Soc. Med., **20**, 1-8.
- Glasser, M., Greenburg, L. (1971)
Air pollution, mortality and weather.
Arch. Environ. Health, **22**, 334-343.
- Lambert, P. M., Reid, D. D. (1970)
Smoking, air pollution, and bronchitis in Britain.
Lancet (25 April), 853-857.
- Lawther, P. J. (1963)
Compliance with the Clean Air Act: Medical Aspects.
J. Inst. Fuel, **36**, 341-344.
- Lawther, P. J., Brooks, A. G. F., Lord, P. W., Waller, R. E. (1974)

Day-to-day changes in ventilatory function in relation to the environment, Part I, II, III. Environmental Research 7, 27-40 (part I), idem 7, 41-53 (part II), idem 8, 119-130 (part III).

Lawther, P. J., Waller, R. E., Henderson, M. (1970)
Air Pollution and exacerbations of bronchitis. Thorax 25, 525-539.

Lunn, J. E., Knowelden, J., Handyside, A. J. (1967)
Patterns of respiratory illness in Sheffield infant school children.
Brit. J. Prev. Soc. Med., 21, 7-16.

Lunn, J. E., Knowelden, J., Roe, J. W. (1970)
Patterns of respiratory illness in Sheffield junior school children — a follow up study.
Brit. J. Prev. Soc. Med., 24, 223-228.

Advies inzake Grenswaarden SO_2 (Rapport van de Gezondheidsraad).
Verslagen en Mededelingen Volksgezondheid, jaargang 1971, nr 22, Ministerie Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

Advies inzake de vaststelling van grenswaarden roet, zwevend stof en zwavelzuur. (Rapport van de Gezondheidsraad).
Verslagen, Adviezen, Rapporten van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, nr 17, 1975.

Eerste interimrapport Grenswaarden Luchtverontreiniging;
Deel A: Algemene beschouwing;
Deel B: Vaststelling grenswaarden voor koolmonoxide.
(Rapport van de Gezondheidsraad).
Verslagen, Adviezen, Rapporten van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, nr 18, 1975.

Air Pollution — Air Quality Criteria for sulphur oxides, CCMS-NATO Expert Panel on Air Quality Criteria, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., 1971.
Idem, — Air Quality Criteria for Particulate Matter,
Idem, ibidem, 1971.
Idem, — Air Quality Criteria for Carbon Monoxide,
Idem, ibidem, 1972.
Idem, — Air Quality Criteria for Nitrogen Oxides,
Idem, ibidem, 1973.
Idem, — Air Quality Criteria for Photo-chemical Oxidants and Related Hydrocarbons.
Idem, ibidem, 1974.

Air Quality Criteria and Guides for Urban Pollutants.
Report of a WHO Expert Committee, Techn. Rep. Series nr 506, World Health Organization, Geneva, 1972.

Proceedings of the Conference on Health Effects of Air Pollutants, NAS-NRC Assembly of Life Sciences, Oct. 3-5, 1973. Committee on Public Works, US Senate, Washington, 1973.

Toxicology of Atmospheric Sulphur Dioxide Decay Products.
Lewis, T. R., Amdur, M. O., Fritzhand, M. D., Campbell, K. J.
Publication nr AP 111, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., 1972.

Effecten van het gebruik van fossiele brandstoffen op de vegetatie

Effecten op planten kunnen worden veroorzaakt door primaire en secundaire luchtverontreinigingen. Wat de eerste betreft zijn vooral SO_2 en etheen van belang, maar ook NO_2 kan van invloed zijn. Secundaire luchtverontreinigingen die invloed op planten uitoefenen zijn de fotochemische reactieprodukten ozon en peroxyacetylnitraat (PAN). Al deze stoffen kunnen beschadigingssymptomen of groeiverminderingen bij planten teweegbrengen. Onder bepaalde omstandigheden geven zij bij gewassen aanleiding tot (economische) schade. Ook de bosbouw en wilde flora kunnen nadelige gevolgen ondervinden.

Inleiding

Bij de beschouwing van de verbrandingsprodukten van fossiele brandstoffen moeten we onderscheid maken tussen verontreinigingen, die direct bij het verbrandingsproces ontstaan en verontreinigingen, die fotochemisch uit verbrandingsprodukten in de atmosfeer worden gevormd. In het eerste geval spreken we van primaire, in het tweede geval van secundaire luchtverontreinigingscomponenten. Voor de effecten op planten zijn vooral de gasvormige verontreinigingen van beide categorieën van belang.

Van de primaire verontreinigingen is SO_2 van ouds bekend als schadelijk agens voor planten. Dat was vooral in de eerste helft van deze eeuw het geval, toen men nog geen of weinig maatregelen nam om de vorming respectievelijk uitwerp van SO_2 bij verbranding van steenkool en minerale olie tegen te gaan. Bij verbranding van steenkool ontstaat ook veel vlieg-as, die onder bepaalde omstandigheden blad- of vruchtbeschadiging teweeg kan brengen.

De laatste tijd let men ook op stikstofdioxide, welk gas in veel mindere mate dan SO_2 beschadigingen bij planten kan veroorzaken; de buitenluchtconcentraties van dit gas zijn in ons land bovendien nog zo laag, dat hier geen gevallen van NO_2 -plantebeschadiging bekend zijn, met uitzondering van één speciaal geval toen door een fabrieksstoring een NO_2 -wolk ontsnapte.

Door het sterk toegenomen gebruik van het praktisch zwavelvrije Nederlandse aardgas is het SO_2 -gehalte bij

ons overal verminderd. De olieraffinaderijen produceren nog tamelijk veel SO_2 , maar dat gas wordt via ze hoge schoorstenen geloosd, waardoor bij ons op leefniveau geen schadelijke effecten voorkomen. De Nederlandse aardgasvoorraad is evenwel zo beperkt, dat grootverbruikers als elektriciteitscentrales in de naaste toekomst weer op steenkool over zullen moeten schakelen, wat dus een reële kans op een stijging van SO_2 -concentratie inhoudt.

De tot nu toe besproken verontreinigingen waren afkomstig van de verbranding van fossiele brandstoffen voor verwarming en opwekking van elektrische energie. Daarnaast brengt het gemotoriseerde verkeer met zijn uitlaatgassen luchtverontreinigingen in de atmosfeer, die voor een deel in schadelijke secundaire componenten worden omgezet. Directe effecten op planten kunnen ontstaan door de inwerking van zeer lage concentraties van etheen, dat in de uitlaatgassen voorkomt.

De belangrijkste secundaire componenten die plantebeschadiging kunnen veroorzaken zijn de fotochemische reactieprodukten ozon en peroxyacetylnitraat (PAN), beide vooral gevormd uit componenten van auto-uitlaatgassen. We kennen die effecten vooral uit de Verenigde Staten, maar beschadigingen door beide gasen zijn sinds medio zestig ook in Nederland en andere Europese landen gevonden.

Kunstmatige begassing

Teneinde het effect van bepaalde luchtverontreinigingen op planten te leren kennen, kan men gebruik maken van kunstmatige begassing onder

* Landbouwhogeschool Wageningen.