

E 206 mag,

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO

's-Gravenhage

21 SEP 1967

Teksten van twee voordrachten, gehouden voor de
Afdeling Gezondheidstechniek van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs
te 's-Gravenhage, 21 april 1967

Te zijner tijd zullen deze worden gepubliceerd in De Ingenieur

TOELAATBAARHEID VAN LUCHTVERONTREINIGINGEN

" Benaderd vanuit meettechnisch standpunt "

Ir. L.J. Brasser

" Benaderd vanuit medisch-hygiënisch standpunt "

P.E. Joosting, arts

Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Schoemakerstraat 97, Delft

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het
Instituut voor Gezondheidstechniek TNO

Toelaatbaarheid van luchtverontreiniging, benaderd
vanuit meettechnisch standpunt

Ir.L.J. Brasser

1. INLEIDING

Bij het opstellen van richtlijnen voor de toelaatbaarheid van bepaalde hoeveelheden luchtverontreinigingen, hebben we in principe te maken met twee grote groepen van overwegingen, en wel:

- a) De wetenschappelijke basisgegevens, bestaande uit meettechnische ervaringen, inlichtingen over de samenhang tussen de concentratie aan een verontreiniging, de expositieduur en het effect, enz.
- b) Beleidsoverwegingen, waarbij de voor- en nadelen van het al dan niet nemen van bepaalde maatregelen, het al dan niet aanvaarden van bepaalde effecten of economische consequenties, enz., worden beschouwd.

De beide voordrachten van hedenmorgen zullen zich op het terrein van de onder a) genoemde onderwerpen bewegen, waarbij in de eerste voordracht de meettechnische aspecten ter sprake zullen komen, terwijl in de tweede voordracht de samenhang tussen de optredende verontreinigingen en de daaruit voortkomende gevolgen, voornamelijk voor de menselijke gezondheid, zal worden belicht.

De onder b) genoemde aspecten dienen elders gezien te worden tegen de achtergrond van de hier op te voeren gegevens. In dit verband wordt hier volstaan met een aanhaling uit een beschouwing in WHO Chronicle, waarin de wetgeving wat betreft de waterverontreiniging wordt bestudeerd, een aanhaling die zonder meer ook toepasbaar is voor luchtverontreiniging:

"Countries with severe laws against pollution have not in fact avoided the occurrence of widespread pollution. One reason for this may be that laws calling for no pollution at all do not present a practical policy and therefore fall into disrepute. In a world becoming rapidly urbanized and industrialized, it is not possible to preserve rivers in their natural condition. The law should aim at controlling pollution" (1)

Het is niet onmogelijk, op grond van beleidsoverwegingen, richtlijnen regionaal op te zetten, daarbij rekening houdend met plaatselijke omstandigheden wat betreft de bestaande toestand en te verwachten maatschappelijke of technische ontwikkelingen.

Daar de inzichten in de materie van richtlijnen voor de beperking van luchtverontreinigingen zich nog steeds snel wijzigen, dient er reeds nu rekening mee te worden gehouden, dat het in de toekomst nodig kan blijken de richtlijnen aan te passen aan nieuwe inzichten en ontwikkelingen. Dit is echter geen reden het onderwerp voorlopig te laten rusten tot er nog meer kennis is vergaard. We hebben nu reeds voldoende inzichten om een waardevolle richtlijn op te stellen, die dan later zonodig kan worden aangepast aan nieuwe inzichten.

2. DE BETEKENIS VAN PIEKWAARDEN EN WAARNEMINGSDUUR BIJ DE BEPALING VAN DE CONCENTRATIE AAN VERONTREINIGINGEN

Hoewel er verscheidene methoden zijn om de mate van luchtverontreiniging uit te drukken (neerslag aan verontreiniging per oppervlakte-eenheid en per tijdseenheid, adsorptiesnelheid aan geprepareerde oppervlakken, concentratie in de lucht) wordt in het volgende steeds uitgegaan van de concentratie van de verontreiniging in de atmosfeer als beschikbaar gegeven. Hoewel de andere wijzen van weergeven van zeer veel belang kunnen zijn voor verkenningsonderzoekingen, vervuilstudies e.d. is de concentratie toch de eenheid die bruikbaar is om aan te geven in welke mate de menselijke gezondheid wordt bedreigd, nl. via de ademhalings-

organen. Ook voor het optreden van schade aan planten is de concentratie aan verontreiniging de meest waardevolle aanduiding. Het gevaar voor grazende dieren wordt vnl. bepaald door in planten opgenomen en op planten neergeslagen verontreiniging die met het voedsel wordt opgenomen. Dit laatste gevaar kan dan ook niet via de volgende beschouwingen worden bestudeerd.

Daar de concentratie van de verontreiniging in de lucht van moment tot moment verandert, is de duur, gedurende welke het monster wordt genomen, van zeer groot belang. Hoe langer de monsterduur, hoe groter de nivellerende werking op de meetuitkomst zal zijn die hierdoor ontstaat. Men verkrijgt dus een beter inzicht in het verloop van de mate aan luchtverontreiniging wanneer tot steeds kortere monsterduur wordt overgegaan. Het heeft geen zin dit proces van monsterduurverkorting steeds verder door te zetten. Enerzijds zal de hoeveelheid beschikbaar cijfermateriaal onhandelbaar worden, anderzijds kan men de aansluiting verliezen bij de beschikbare medische, plantkundige en meteorologische gegevens die voor het beoordelen van de situatie nodig zijn. Het is dus zaak de juiste middenweg te bewandelen.

Gezien de beschikbare ervaring lijken ten behoeve van contrôle op de algemene luchtverontreinigingstoestand momenteel 24-uurs waarnemingen het meest aangewezen. Deze metingen zijn zonnodig aan te vullen met automatische half-uursbepalingen ten behoeve van bijv. een alarmsysteem.

Bij de beoordeling van maximaal gemeten concentraties dient men zich goed rekenschap te geven van de monsterduur waarop deze waarden betrekking hebben. Uitgaande van verschillende aannamen zijn (o.a. door Wippermann [2], [3] en Meade [4] overzichten opgesteld van het verband tussen de te vinden maximale concentraties bij series metingen met verschillende monsterduur.

Dergelijke verhoudingen zijn eveneens afgeleid uit hier te lande (in Den Haag) verrichte meetseries, terwijl Larsen [5] tot gelijksoortige uitkomsten komt in verscheidene Amerikaanse steden.

In tabel 1 zijn zowel de gegevens van Wippermann en Meade als van de Nederlandse waarnemingen vermeld, waarbij de maximale concentratie, die bij een meetduur van drie minuten kan worden gevonden, op 1 gesteld is. Om praktische redenen is voor de Nederlandse meetserie de tweeuurswaarde op 0,55 gesteld (het gemiddelde van de uitkomsten van Wippermann en Meade voor twee-uursbepalingen). In figuur 1a zijn de cijfers grafisch weergegeven.

tabel 1

Monsterduur	Maximale concentratie (verhoudingscijfer)		
	Wippermann	Meade	Nederland
2 minuten	1,12		
3 "	1,00	1,00	
6 "	0,85		
10 "	0,77		0,92
15 "	0,73	0,82	0,85
30 "	0,68		0,78
1 uur	0,63	0,61	0,72
2 "	0,57		0,55
3 "	0,53	0,51	
6 "	0,47		0,41
24 "	0,38	0,36	0,29
4 etmalen	0,33		0,27
oneindig	0,31		

In tabel 2 zijn de uit de publicatie van Larsen overgenomen maximale SO_2 -waarden voor verschillende meetduren gegeven. Door interpolatie (meetduur, logaritmisch, concentratie lineair) zijn de maximale twee-uurswaarden bepaald, en eveneens in de tabel gegeven. Alle SO_2 -concentraties zijn uitgedrukt in ppm ($1 \text{ ppm } \text{SO}_2 = 2700 \mu\text{g } \text{SO}_2/\text{m}^3$).

tabel 2

Plaats	Maximale concentratie bij monsterduur				
	5 min.	1 uur	8 uur	24 uur	2 uur
Chicago	1,62	1,12	1,02	0,79	1,09
Los Angeles	0,51	0,19	0,09	0,07	0,16
New Orleans	0,31	0,10	0,04	0,03	0,08
Philadelphia	1,00	0,84	0,54	0,43	0,74
San Francisco	0,26	0,16	0,10	0,08	0,14
Washington	0,87	0,62	0,32	0,22	0,52

Wanneer we nu weer als bij de Nederlandse gegevens de twee-uurswaarden het verhoudingsgetal 0,55 geven, dan vinden we voor de andere meetduren de volgende verhoudingsgetallen (vergelijkbaar met die in tabel 1):

tabel 3

Monsterduur	Maximale concentratie (verhoudingscijfer)					
	C.	L.A.	N.O.	P.	S.F.	W.
5 minuten	0,82	1,76	2,13	0,74	1,02	0,93
1 uur	0,56	0,65	0,69	0,62	0,63	0,66
8 "	0,51	0,31	0,28	0,40	0,39	0,34
24 "	0,40	0,24	0,21	0,32	0,31	0,23

Door de extra bewerking (de interpolatie van de twee-uurswaarden), zijn deze uitkomsten wat minder nauwkeurig dan de Nederlandse waarden. Dit spreekt het sterkst voor de series met een lage absolute twee-uurswaarde (Los Angeles, New Orleans en San Francisco).

In figuur 1b zijn nogmaals de Nederlandse waarnemingen, nu samen met die uit Chicago, Philadelphia en Washington, in beeld gebracht.

Er bestaat een goede overeenkomst tussen de verschillende gegevens, zoals die in de figuren 1a en 1b zijn gegeven, zeker wanneer men in aanmerking neemt dat Wippermann en Meade beide zijn uitgegaan van een constante productie aan verontreinigingen, hetgeen in de praktijk zelden het geval is.

De niet in de figuren ingevoerde cijfers uit tabel 3 geven (afgezien van de 5-minuten-waarden te Los Angeles en te New Orleans) ook een goede overeenkomst met de andere waarnemingen.

Uit het voorgaande blijkt duidelijk dat, wanneer in een richtlijn concentraties aan verontreiniging worden genoemd, het tevens noodzakelijk is daarbij aan te geven gedurende welke monsterduur deze concentraties worden bepaald. We hebben hier echter bovendien een methode voorliggen om uit piekwaarden van een bepaalde meetduur, al is het schattenderwijze, piekwaarden van een andere meetduur te bepalen!

3. HET WEERGEVEN VAN SERIES MEETUITKOMSTEN

De concentratie van verontreinigende bestanddelen in de lucht is niet constant en vertoont sterke schommelingen in de loop van de tijd. Wanneer men een groot aantal metingen op een bepaalde plaats verricht, zullen daarbij altijd enkele hoge en enkele lage uitkomsten worden verkregen, terwijl het grootste aantal uitkomsten zich groepeert rond een concentratie tussen deze beide uitersten. Daar, behalve een gemiddelde waarde en een piekwaarde, ook de frequentie van optreden van pieken van belang is, is het duidelijk dat een frequentieverdeling van het optreden van de verschillende concentraties dient te worden opgesteld.

Wanneer voldoende waarnemingen (op steeds dezelfde plaats en met steeds dezelfde monsterduur) zijn verricht, blijkt een dergelijke frequentieverdeling in het algemeen een log-normaal verloop te hebben. Schematisch is dit in het blokdiagram van figuur 2 voor een meetserie van 300 waarnemingen voorgesteld. In dit geval is horizontaal een arbitraire concentratieschaal gebruikt, terwijl verticaal het aantal waarnemingen in het betrokken concentratiegebiedje is uitgezet.

Hoewel een figuur van dit type reeds een duidelijker beeld geeft dan een grote verzameling afzonderlijke getallen, is het beeld nog te verduidelijken door de waarden uit te zetten als cumulatieve frequentieverdeling op log-waarschijnlijkheidspapier, hetgeen in figuur 3 is gedaan. Hierbij is de concentratie op een logaritmische schaal verticaal uitgezet en het percentage naar aantal van de waarnemingen dat onder een concentratie valt horizontaal op de waarschijnlijkheidsschaal. Het grootste aantal punten in het middengebied laat zich zeer goed benaderen door een rechte lijn; aan de beide einden is de benadering vaak minder goed.

Er zijn bij een dergelijke rechte lijn in feite twee veranderlijken, nl. de plaats en de helling van de lijn. Ligt de lijn meer naar rechts, dan betekent dit dat er veel lage waarden en weinig hoge waarden zijn gemeten; bij verschuiving naar links komen er meer hoge en minder lage waarden voor. De helling heeft een geheel andere betekenis. Een vlakke lijn betekent dat er weinig extreme waarden zijn gemeten, bij een steile lijn daarentegen veel. Waarnemingspunten in een gebied met vele verspreid liggende bronnen zullen in het algemeen een vlakkere lijn te zien geven dan meetpunten in een gebied met één enkele puntbron, waar dus slechts bij een bepaalde windrichting de verontreiniging terecht zal komen. De jaarlijn wordt ook steiler wanneer de bronnen slechts gedurende een deel van het jaar in bedrijf zijn.

Bij deze wijze van voorstellen zijn in plaats van het anders vaak gebruikelijke gemiddelde over lange termijn (bijv. maandgemiddelde), twee andere begrippen van belang geworden en wel de mediaanwaarde (de concentratie waaronder en dus ook waarboven 50% van de waarnemingen valt) en het percentage onder de grens (dat deel van de waarnemingen dat een lagere waarde heeft dan een gekozen grensconcentratie). Beide grootheden zijn direct uit figuur 3 afleesbaar.

Ter illustratie van het voorgaande zijn in de figuren 4 en 5 de frequentieverdelingen van door het I.G.-TNO op zes karakteristieke meetpunten verzamelde gegevens uitgezet. Het betreft hier jaarseries van 24-uurs SO_2 -bepalingen. De uitkomsten zijn gegeven in microgrammen SO_2 per m^3 lucht.

Over de meetpunten is het volgende op te merken:

- a en b meetpunten in een sterk geïndustrialiseerde en dichtbevolkte streek in de randstad
- c meetpunt in een tuinbouwstreek met verwarmde kassen in de randstad
- d meetpunt in een middelgrote, matig geïndustrialiseerde stad in de randstad
- e en f meetpunten in een middelgrote industriestad in het oosten van het land.

4. INVLOEDEN OP DE LIGGING VAN DE FREQUENTIELIJN

In het voorgaande hebben we reeds enige factoren gezien die de ligging van de frequentielijn kunnen beïnvloeden zoals de ligging van de bronnen van de verontreiniging ten opzichte van het meetpunt en het al of niet continu in bedrijf zijn van de bron. Het zal duidelijk zijn dat een serie van metingen met korte monsterduur een steilere lijn oplevert dan metingen met een lange monsterduur, waarbij de extreme waarden worden afgevlakt.

Een ander punt is dat, indien een bepaalde frequentieverdeling is gegeven, bij veranderen van de toestand op zodanige wijze dat alle tot dan toe gemeten concentraties met een vaste factor q worden vermenigvuldigd, de frequentielijn in verticale zin zal verschuiven en daarbij evenwijdig aan de oorspronkelijke lijn zal blijven. De verschuiving gaat naar boven bij $q > 1$ en naar beneden bij $q < 1$.

Indien echter de toestand op zodanige wijze verandert dat alle tot dan toe gemeten concentraties met een vaste waarde worden vermeerderd of verminderd, dan zal de lijn door de logaritmische schaal op de verticale as, behalve in niveau, ook in helling veranderen en wel zodanig, dat de lijn vlakker wordt bij verschuiving naar boven en steiler bij verschuiving naar beneden.

In de praktijk ligt de werkelijke toestand tussen deze beide uitersten in. Dit betekent, dat lijnen op hoger niveau in het algemeen vlakker verlopen dan lijnen op laag niveau. Omrekenen van hellingen bij niveau verschuivingen is niet mogelijk, omdat niet te achterhalen is hoe groot de invloed van de beide hierboven genoemde effecten afzonderlijk is geweest.

5. DE OPBOUW VAN EEN RICHTLIJN

In het voorgaande is betrekkelijk uitgebreid ingegaan op de wijze van weergeven van meetuitkomsten, omdat dit voor het voorliggende probleem, het stellen van richtlijnen, van groot belang is. Bij het opstellen van een richtlijn kan nl. aan deze, in de praktijk juist gebleken zaken, niet straffeloos worden voorbijgegaan. Het opstellen van een richtlijn heeft nu eenmaal alleen zin wanneer de praktijksituatie zodanig na het aanbrengen van verbeteringen aan deze richtlijn kan voldoen. Het kiezen van een grensconcentratie zonder meer, zoals dat tot nu toe vrij gebruikelijk was, is zinloos. In het frequentiediagram wordt deze grensconcentratie immers als een horizontale lijn over de volle breedte van het diagram weergegeven. De hellende praktijklijn moet haar wel snijden en zou dus altijd de richtlijn overschrijden.

Verhogen van de grensconcentratie of verlagen van de praktijklijn beperkt wel het aantal overschrijdingen, het voorkomt ze niet. Verhogen van een grensconcentratie om het aantal overschrijdingen te beperken is trouwens onaanvaardbaar.

Het is duidelijk dat er maar één enkele wijze van voorstellen van maximaal aanvaardbare concentraties is, nl. het stellen van de concentratie met een bijbehorend percentage toegestane overschrijdingen. Het risico dat hiermede wordt aanvaard dient men zich bij het nemen van deze (beleids)beslissing bewust te zijn.

Een concentratie met bijbehorende overschrijdingskans is in het frequentiediagram als een punt aan te geven. Wanneer men eenmaal een dergelijk punt heeft gekozen, is men voor de keuze van het volgende punt niet meer geheel vrij. Doordat de hellingen van de frequentielijnen in de praktijk op een bepaald niveau binnen een betrekkelijk beperkte hoek kunnen variëren, is de keuze van een tweede punt buiten deze hoek zinloos.

In figuur 6 is dit aangegeven. Nadat eenmaal punt A is gekozen, dient men punt B te kiezen in de hoek tussen de beide uiterste hellingen α_1 en α_2 , zoals die in de praktijk blijken op te treden. Keuze buiten deze hoek maakt of het punt A, of het punt B overbodig.

Het is mogelijk dat beneden een bepaald niveau, in figuur 6 aangegeven door punt D, de concentratie van geen belang is voor de richtlijn, we kunnen dit door het horizontale lijnstuk CD voorstellen. Ook het overblijvende lijnstuk BC dient een aanvaardbare helling te hebben.

Het is duidelijk dat de ligging van de punten A, B, C en D in verband met praktische ervaringen moet worden gekozen, het kan ook mogelijk zijn te volstaan met de punten A, C en D, mits aan de hier geschetste gedachten-gang wordt voldaan.

Een praktijksituatie voldoet nu aan de richtlijn, wanneer de daar ter plaatse gevonden frequentie-verdeling de gebroken lijn A-D niet snijdt en er in zijn geheel onder ligt.

De richtlijn is hiermede nog niet voltooid. Daar de monsterduur van groot belang is voor de helling van de te vinden frequentielijn, dienen richtlijn en monsterduur op elkaar te zijn ingesteld. Ook de wijze van meten dient te worden vastgelegd, omdat verscheidene bepalingsmethoden door verschil in specificiteit vaak voor dezelfde verontreiniging verschillende uitkomsten opleveren. Ook deze zaken dienen dus bij de richtlijn te worden vermeld.

6. CONTROLE OP DE NALEVING VAN EEN RICHTLIJN

Bij de controle op de naleving van een richtlijn dient men uiteraard uit te gaan van de in de richtlijn omschreven werkwijze en monsterduur.

Het doel van de metingen is het opstellen van een frequentie-verdeling, die met de richtlijn kan worden vergeleken. Het nauwkeurigst wordt de frequentielijn verkregen, door gedurende een vol jaar te meten met een aaneenschakeling van metingen met de in de richtlijn genoemde monsterduur. Dit is uiteraard een kostbare zaak. Het verrichten van steekproeven (elk van de voorgeschreven monsterduur), rekening houdend met het dagelijks, wekelijks en jaarlijks patroon van de luchtverontreiniging, kan bij voldoende steekproefaantal ook een redelijk inzicht geven.

Soms kan met metingen gedurende een periode, waarvan bekend is dat hij altijd hoge concentraties oplevert (de winter bijv.), worden volstaan. Deze beperking dient echter altijd met voorzichtigheid te worden gehanteerd.

7. AANSLUITING VAN DE BEREKENING VAN SCHOORSTEENHOOGTEN AAN EEN RICHTLIJN

Tot nu toe is steeds gesproken over de concentratie aan luchtverontreiniging, zoals die op woon- en leefniveau, dus in de nabijheid van het aardoppervlak optreedt. Het begrip richtlijn, zoals dat hier is gebruikt, is dan ook geheel hierop ingesteld. In de praktijk zal het echter vaak nodig zijn om een schoorsteenhoogte te berekenen, uitgaande van de eis dat de door de schoorsteen ontsnappende verontreiniging, bodemconcentraties veroorzaakt, die de richtlijn niet overschrijden, daarbij rekening houdend met een reeds aanwezige voorbelasting. In feite hebben we hier te maken met drie frequentie-verdelingen, zodat moet gelden:

$$F(\text{schoorsteen}) \leq F(\text{richtlijn}) - F(\text{voorbelasting}).$$

Een berekening op deze basis is nog niet uitgewerkt, daarom wordt altijd volstaan met de toepassing van:

$C_{\text{schoorsteen}} \leq C_{\text{richtlijn}} - C_{\text{voorbelasting}}$, waarin de C's welgekozen concentraties bij een bepaalde weerstoestand voorstellen. Dit onderwerp wordt in de derde voordracht van heden nader bestudeerd.

8. WAARSCHUWINGEN BIJ HOGE CONCENTRATIES AAN LUCHTVERONTREINIGINGEN

We hebben gezien dat bij een richtlijn de keuze van een enkel concentratie-niveau dat we niet aanvaarden, een foutieve benadering van het probleem is. Er dient bij elke concentratie een toegestaan overschrijdingspercentage te worden gekozen.

Het uit laten gaan van waarschuwingen bij hoge concentraties is echter een ander probleem. Hier mogen we wel een niveau kiezen, het overschrijdingspercentage wordt dan vervangen door het aantal malen dat per jaar wordt gewaarschuwd. Het is duidelijk dat een waarschuwing alleen zin heeft als hij snel kan uitgaan. Dit betekent dat de metingen waarop hij wordt gebaseerd, een korte monsterduur moeten hebben, bijv. een half uur. Bij de keuze van het niveau moet uiteraard rekening worden gehouden met het in paragraaf 2 gegeven verband tussen monsterduur en piekwaarden.

Een geheel ander systeem is het doen uitgaan van waarschuwingen op grond van meteorologische verwachtingen. Een dergelijke waarschuwing heeft het karakter van een voorspelling, in afwijking van het eerstgenoemde systeem, waar een overschrijding van een minder gewenst niveau wordt geconstateerd. De waarschuwingssystemen worden in de vierde voordracht van heden nader besproken.

9. SO₂ ALS INDICATOR VAN LUCHTVERONTREINIGING IN HET ALGEMEEN NU EN IN DE TOEKOMST

Afgezien van de in de figuren 4 en 5 gegeven voorbeelden, is tot nu toe steeds gesproken over luchtverontreiniging in het algemeen, de beschouwingen gelden dan ook in feite voor elke verontreiniging.

Daar de meest voorkomende luchtverontreiniging SO₂ is en over deze verontreiniging ook de meeste gegevens bekend zijn, zal de volgende voordracht op deze stof worden toegespitst. Het is nuttig daarbij iets van de bronnen van SO₂ te weten.

Hoewel er verscheidene processen zijn waarbij SO₂ in de buitenlucht wordt gebracht (roesten van ertsen, zwavelzuurfabricage, e.d.) ontstaat de meeste in de buitenlucht komende SO₂ bij het verbranden van fossiele brandstoffen. In ons land betekent dit dat er twee typen bronnen zijn en wel puntbronnen, met veelal hoge schoorstenen (electrische centrales, raffinaderijen, e.d.) en diffuse, laag gelegen bronnen (verwarming van woon- en werkruimten, kassen, e.d.). Naast SO₂ komen bij dezelfde processen ook andere luchtverontreinigingen vrij, zoals roet en koolmonoxyde bij onvolledige verbranding, vliegias bij het stoken van vaste brandstoffen en stikstofoxyden bij hoge vlamtemperaturen. In het algemeen wordt SO₂ beschouwd als indicator voor dit totaal aan verontreinigingen. Dit is bij benadering toelaatbaar.

In deze toestand kunnen door verandering in de stookgewoonten wijzigingen optreden, die bij verandering van de verhouding tussen de geproduceerde hoeveelheden SO₂ en andere verontreinigingen, weerslag kunnen hebben op richtlijnen voor SO₂, voor zover in deze richtlijnen SO₂ wordt gezien als indicator van het zojuist genoemde pakket aan verontreinigingen.

Op vrij beperkte schaal heeft zich enige jaren geleden een dergelijke verschuiving voltrokken door de introductie van oliestook bij de verwarming van woningen. Met de komst van het aardgas zal echter een grotere verschuiving optreden. Het Groningsc aardgas is vrijwel zwavelvrij, roetende verbranding is ook vrijwel uitgesloten, vliegias treedt uiteraard ook niet op en er is geen reden om aan te nemen dat de productie van stikstofoxyden belangrijk zal afwijken van die bij de verbranding van kolen of olie. Het vervangen van vaste of vloeibare brandstof door aardgas zal dus een veel schonere verbranding geven.

Om deze reden wordt aardgas door velen gezien als het einde van luchtverontreiniging door SO_2 . Om de juistheid van deze stelling te controleren gaan wij uit van de dekking van de toekomstige energiebehoefte door de verschillende brandstoffen. Een schatting van deze verdeling is in 1965 voor ons land gemaakt door Prof. Ir. Th. R. Seldenrath (6).

In zijn prognose voor de energie-balans van Nederland naar energiedragers, geeft Prof. Seldenrath de volgende cijfers (in miljoen ton S.K.E.).

tabel 4

Brandstofsoort	1965	1970		1975		1980	
		laag	hoog	laag	hoog	laag	hoog
vast	15,3	15,0	16,0	15,0	16,0	15,0	16,0
aardolie	25,5	24,1	27,1	22,2	26,2	22,7	28,7
aardgas	1,7	6,8	6,8	16,0	16,0	21,0	21,0
uranium		0,1	0,1	1,8	1,8	4,3	4,3
totaal	42,5	46,0	50,0	55,0	60,0	63,0	70,0

Hieruit is te zien dat het verbruik aan vaste brandstoffen en aardolie in feite geen wijziging zal ondergaan, waarbij wordt aangetekend dat het aardolieverbruik door de raffinaderijen niet in de prognose is betrokken. De groei van de energiebehoefte zal voor een klein deel door uranium en voor de rest door aardgas worden opgevangen. Deze conclusie geldt voor ons land als geheel, er kunnen plaatselijk natuurlijk wel verschuivingen optreden. In het algemeen zal voor verwarming nl. meer aardgas worden verbruikt, terwijl de vaste brandstoffen en de aardolie in verhouding meer in grote eenheden (electrische centrales) zullen worden verbrand. Dit betekent dus een verschuiving van de SO_2 -productie van de diffuse laag gelegen bronnen naar de puntbronnen met hoge schoorstenen. De totale productie zal echter ongeveer gelijk blijven. Het is niet onmogelijk dat door deze zelfde verschuiving de in ons land reeds lage roetproductie nog iets verder afneemt.

Gezien de toeneming van de totale energieproductie is het niet onmogelijk dat de ontwikkelde hoeveelheid stikstofoxyden toeneemt, dit staat echter los van de aard van de brandstof.

Samenvattend kan worden opgemerkt dat, gezien de reeds betrekkelijk kleine betekenis van roet, vlieg-as en stikstofoxyden in ons land, de verhouding tussen SO_2 en deze stoffen geen grote verschuivingen zal vertonen als gevolg van de invoering van aardgas als brandstof.

(Het is mogelijk dat andere verschuivingen, zoals door de toeneming van het gemotoriseerde verkeer, wel invloed hebben op bijv. de verhouding SO_2 - NO_2 en SO_2 - CO).

Wel zal er een verschuiving van de SO_2 -bronnen uit de woonwijken naar de industrieterreinen optreden, terwijl tevens de bronnen op grotere hoogte komen te liggen. Door deze veranderingen zal de kwaliteit van de stadslucht in het algemeen verbeteren. Bij een in totaal gelijk blijvende SO_2 -productie is verder werk aan de ontwikkeling van richtlijnen voor de beperking van de SO_2 -concentratie op bodemniveau echter wel noodzakelijk.

TNO

AD

3-5-67

10 LITERATUUR

1. World Health Organization
Techn. Rep. Ser. 1966, 318, 21, aangehaald in
WHO Chronicle, Vol. 21, no. 3, March 1967
2. F. Wippermann
Der Effekt der Meszdauer bei der Ermittlung von Maximal
Konzentrationen eines sich in turbulenter Strömung
ausbreitenden Gases
VDI - Forschungsheft 483, Düsseldorf 1961
3. F. Wippermann
Der Effekt der Meszdauer bei der Ermittlung von Maximal
Konzentrationen eines sich in turbulenter Strömung
ausbreitenden Gases
Int. Journal of Air and Water Pollution, Vol. 4 (1961), no. 1/2
4. P.J. Meade
Persoonlijke mededeling, aangehaald in:
G. Nonhebel
Recommendations on heights for new industrial
chimneys
J. Inst. Fuel 33 (1960), nr. 10
5. R.I. Larsen
Determining source reduction needed to meet air quality standards
Proc. Int. Clean Air Congress, Part 1
London, October 1966
6. Prof. Ir. Th. R. Seldenrath
De energiebalans van Nederland
De Ingenieur, Jaargang 77 (1965), nr. 38, blz. A 567

Toelaatbaarheid van luchtverontreinigingen, benaderd
vanuit hygiënisch standpunt

P.E. Joosting

Zoals de titel van deze voordracht aangeeft, zal het begrip toelaatbaarheid belicht worden vanuit één hoek, nl. van hygiënisch (of medisch) standpunt uit worden benaderd. Deze beperking houdt in dat uiteraard ook andere disciplines zich kunnen bezig houden met het vraagstuk van de eventuele aanvaardbaarheid van onderkende gevolgen van blootstelling aan verontreinigingen van de buitenlucht. Men denke aan de plantenziektenkunde, de diergeneeskunde, de materiaalkunde, de techniek, de meteorologie, e.d. Elk van deze kan, op haar manier en in verschillende mate bijdragen tot:

- a. een inventarisatie van kennis omtrent de schadelijkheid van verontreinigende bestanddelen en bijkomende omstandigheden, kwalitatief en kwantitatief geëvalueerd in de zin van dosis-effect relaties. Deze onderscheiden ernst en omvang van effecten in afhankelijkheid van concentratie van het schadelijke agens en duur van blootstelling
- b. het opstellen van criteria, die binnen het eigen werkterrein op grond van ethische of praktische overwegingen een uitgangspunt vormen voor de formulering van toelaatbaarheden op monodisciplinaire basis.

Het tweede, onder b. genoemde gebied zal het thema van deze beschouwing vormen. De gedachtengang als zodanig wil zich daarbij niet beperken tot één soort verontreiniging. Wel zal die geïllustreerd worden aan de hand van gegevens, die in belangrijke mate betrekking hebben op een veel verbreide verontreiniging, te weten zwavel dioxide.

Terloops moge nog opgemerkt worden dat de uitvaardiging van richtlijnen of normen, die als wettelijke maatregelen gehanteerd kunnen worden, in principe een multidisciplinaire benadering vergt met de onder a. en b. aangeduide gegevenheden als uitgangspunt. Overwegingen met een beleidskarakter spelen dan een rol, zoals de toekenning van prioriteit aan medisch-hygiënische criteria of bv. de economische consequenties van het nemen of achterwege laten van bepaalde maatregelen.

Zowel bij de multi- als bij de monodisciplinaire benadering gaat het om een keuzeprobleem. In de medisch-hygiënische denkwijze komen de volgende drie principiële vragen daarbij aan de orde:

- a. welke inwerking op het menselijk organisme vormt de kwalitatieve grondslag voor aanvaardbaarheid? Een kwalitatief criterium kan bv. zijn sterfte, het voorkomen van bepaalde ziektebeelden, verstoring van physiologische evenwichten
- b. welke graden van effect kunnen worden onderscheiden als kwalitatieve maatstaf voor de sub a. aangeduide soorten van werking? Een kwantitatief criterium wordt bv. gevormd door hevigheid en frequentie van aanvallen van bronchitis, tijd benodigd voor het herstel van functies
- c. in welke mate aanvaardt men het binnen kort tijdsbestek of op langere termijn optreden van de sub b. bedoelde effecten? Een dergelijk tolerantief criterium is bv. het percentage zieke mensen in een populatie dat men wenst te accepteren of onvermijdelijk acht.

Dit laatste criterium van de tolerantie is moeilijk te objectiveren. Het zou beschouwd kunnen worden als een exponent van de maatschappelijke en materiële ontwikkelingstrap van een samenleving, die enerzijds onderhevig is aan biologische wetten zoals die worden weergegeven met de bekende woorden "survival of the fittest", - doch die anderzijds het bestaan van de menselijke minus-variant heeft kunnen aanvaarden als een zo grote vanzelfsprekendheid, dat er sprake lijkt te zijn van een fundamenteel recht van "survival of the unfit-test". De consequenties daarvan zijn groot.

De eerste twee van de zo juist genoemde drie criteria lijken daarentegen concreter. Voor de hygiënist en de gezondheidstechnicus is het echter een teleurstelling te moeten constateren dat in vele gevallen de voor een juiste oordeelsvorming benodigde kennis geheel of gedeeltelijk ontbreekt, ondanks al het experimentele en epidemiologische onderzoek dat verricht wordt. Veelal moet men in de praktijk volstaan de verontreiniging te karakteriseren met behulp van wat men zou kunnen noemen "indicatoren van verontreiniging". Daartoe rekent men in onze omgevingen meestal SO_2 en roet. In Californië zijn het de zg. oxidantia, welke als zodanig gebezigd worden. Incidenteel spelen andere stoffen waarschijnlijk een rol van betekenis, zoals koolmonoxide, koolwaterstoffen, zwavelwaterstof, lood, arseen en oxiden van zware metalen als vanadium, mangaan, beryllium, e.d. Welke bestanddelen er alzo voorkomen en in welke verhoudingen, is bijna met geen mogelijkheid exact vast te stellen.

Het is dus uit armoede aan deze soort mogelijkheden, dat een poging tot evaluatie van gezondheidsgegevens betreffende mensen, die in meer en minder verontreinigde gebieden wonen of die blootgesteld zijn aan wisselingen in graad van verontreiniging, zich voorlopig moet beperken tot de weinige gegevens die voorhanden zijn. Dat zijn over het algemeen dus zwaveldioxide en roet bij de verontreinigingen van het reducerende type.

Dat wil echter nog niet zeggen dat de overeenkomstige gegevens van diverse onderzoeken onderling steeds vergelijkbaar zijn, want de toegepaste bepalingsmethoden en de meetduren kunnen zeer uiteenlopend zijn. Bij deze zou ik als epidemioloog daarom een warm pleidooi willen voeren voor standaardisatie van meetmethoden en unificatie van meetprogramma's. Slechts in die gevallen, waarbij op geheel overeenkomstige wijze dezelfde milieugegevens zijn verzameld, is het enigermate zinvol vergelijkingen te maken tussen de afhankelijke variabelen, - in dit geval gezondheidsgegevens.

De epidemiologen hebben grote behoefte aan een uitbreiding van meetnetten met bestaande meetmethoden, die in de praktijk goed bruikbaar zijn gebleken. Buitendien kunnen uiteraard nieuwe aanvullende methoden worden geïntroduceerd. Het is voor de epidemioloog eigenlijk een onmogelijke arbeid de zo noodzakelijke dosis-effect relaties op te stellen indien van andere zijde geen consequente werkwijze wordt toegepast. Met epidemiologische gegevens is het nl. zo gesteld, dat de ware betekenis ervan dikwijls pas duidelijk wordt op lange termijn. Bv. indien bij consequente toepassing van één of meer methoden het verontreinigingspatroon in de loop der jaren veranderingen ondergaat, kan zulks zich mogelijkwijs laten weerspiegelen in de patronen van jaar op jaar geregistreeerde standaardgegevens inzake de volksgezondheid of andere variabelen. Dit klemmt des te meer indien men zich realiseert dat het hierbij in belangrijke mate gaat om effecten op lange duur, zoals bv. bij

het instand houden van chronische bronchitis of het opwekken van kankerachtige aandoeningen het geval is. In dit opzicht wil de epidemioloog bewust conservatief blijven, zolang als hij meent met een bruikbaar gegeven te doen te hebben, dat hem uiteindelijk in staat stelt prospectief te evalueren opdat er preventief gehandeld zal kunnen worden.

Om eventuele misverstanden te voorkomen zij er met nadruk op gewezen dat de epidemioloog de gezondheidstechnici zeer dankbaar zal zijn indien de thans bestaande meetgegevens kwalitatief en kwantitatief kunnen worden uitgebreid in die zin dat allerlei bestanddelen kunnen worden geregistreerd die enigermate verdacht zijn. Het is zeer waarschijnlijk dat een veelheid van deels nog onbekende factoren leidt tot de geregistreerde effecten. Zo is het inmiddels wel duidelijk geworden dat in vele gevallen de aanwezigheid van roet en andere fijne zwevende substanties, zoals vliegassdeeltjes of oxiden van zware metalen, een beslissende rol kan spelen wat betreft de mate waarin andere verontreinigingen, zoals zwavel dioxide, hun schadelijke inwerking kunnen hebben. Voorbeelden hiervan zijn de adsorptie van SO_2 aan roet en de katalytische omzetting van SO_2 tot SO_3 aan het oppervlak van metaal bevattende deeltjes. Dit kan bij geschikte deeltjesgrootte leiden tot depositie van hoeveelheden zeer geconcentreerd zwavelzuur in de lage luchtwegen. Zeer globaal kan gesteld worden dat wat betreft de schadelijke invloed er een wisselwerking bestaat tussen de hoeveelheid roet en het SO_2 -gehalte in de atmosfeer. Dit wil echter niet meer zijn dan een voorbeeld waaruit blijkt hoe gecompliceerd het een en ander is en hoe groot de noodzaak is meer basis-informatie te verkrijgen.

Weliswaar wordt met behulp van dierproeven veel fundamenteel werk gedaan, doch de uitkomsten daarvan kunnen veelal niet geëxtrapoleerd worden naar de mens. Ook zijn zij menigmaal te zeer afwijkend van (of soms zelfs in tegenspraak met) hetgeen zowel bij epidemiologisch onderzoek als in laboratorium-experimenten met mensen is geconstateerd.

Op dit moment zal de argeloze toehoorder mogelijk aanvechtingen krijgen het luisteren te staken, aangezien dit betoog lijkt te ont-aarden in een uitstalling van bezwaren en onmogelijkheden waarachter een scrupuleuze onderzoeker zich wenst te verbergen om zodoende het antwoord schuldig te kunnen blijven op een moment, dat van hem verwacht wordt dat hij zich zal uitspreken.

Teneinde die indruk weg te nemen wens ik thans een positief standpunt in te nemen ten aanzien van de mogelijkheden de voorhanden zijnde gegevens te evalueren in termen van soort en ernst van effecten enerzijds en duur van inwerking en concentraties van de hoofdbestanddelen van de verontreiniging anderzijds. Aangezien het waarschijnlijk zeer lang zal duren alvorens het mogelijk zal zijn gefundeerde uitspraken te doen ten aanzien van de aanvaardbaarheid van afzonderlijke bestanddelen en allerlei mengsels in de verontreiniging, zou ik U thans willen uitnodigen mij te volgen in een gedachtengang, die U wellicht zult willen aanvaarden als een tentatieve werkwijze, misschien te honoreren als een zg. qualified guess.

Als uitgangspunt van de gedachtengang zou ik U allereerst een aantal meer of minder exacte vaststellingen ter overweging willen aanbieden:

- a. Er zijn gebieden die vrijwel voortdurend meer verontreinigd zijn dan andere. Deze lenen zich tot onderzoek van eventuele effecten tengevolge van blootstelling op lange termijn, bv. door middel van vergelijking van epidemiologische gegevens op jaarbasis.
- b. In diverse gebieden is de verontreiniging onderhevig aan duidelijke dagelijkse schommelingen, het meest dramatisch tot uitdrukking komend tijdens cumulatieperioden bij zg. mistrampen.
- c. Aangezien een belangrijk deel van de verontreiniging veelal afkomstig is van kleine en grote stookinstallaties, kunnen zwaveldioxide en roet - mede door gebrek aan andere relevante gegevens - vooreerst als indicatoren of referentiegrootheden worden aangewend.
- d. Aldus kan de verontreiniging van een belangrijk aantal der tot nu toe onderzochte gebieden worden gekarakteriseerd d.m.v. SO₂ en roet, uitgedrukt in gemiddelde of middelbare dagwaarden per dag, per seizoen of per jaar.
- e. Zeer globaal kan onderscheid gemaakt worden tussen gebieden met relatief hoog, middelmatig en laag roetgehalte in vergelijking met de SO₂ concentraties. Om de gedachte te bepalen bv. in verhoudingen van 1 : 1, van 1 : 1,5 à 1 : 2 en van 1 : 3 à 1 : 4 respectievelijk.
- f. De geregistreeerde effecten kunnen worden onderscheiden in vermeerderd optreden van sterfte, van ziekte of van functiestoornissen. Dit zou men kunnen noemen: het hanteren van een kwalitatief criterium.
- g. De omvang van de geregistreeerde effecten kan aan epidemiologische referentiegegevens getoetst worden, bv. door vergelijking met een ander gebied of met de toestand in voorgaande dagen. Zowel de absolute aantallen als de statistische significantie kunnen aangewend worden als kwantitatieve maatstaf.
- h. Teneinde door de bomen eventueel een bos te zien kunnen de gegevens gerangschikt worden naar duur van inwerking, waarschijnlijk bereikte concentraties en graad van effecten. Een poging kan worden ondernomen te onderscheiden tussen enerzijds concentraties en expositieduren, waarbij klaarblijkelijk wel effecten zijn geregistreeerd, en anderzijds concentraties en expositieduren, waarbij effecten nog niet manifest zijn geworden of die onder de gegeven omstandigheden niet significant zijn gebleken.
- i. Indien voldoende gegevens voorhanden zijn en het gekozen uitgangspunt juist is, maakt een dergelijke semi-quantitatieve benadering het mogelijk een aantal dosis-werkings diagrammen op te stellen, die het grondgegeven kunnen vormen voor het formuleren en preciseren van grenzen van toelaatbaarheid van verontreinigingen die, 't zij in directe zin, 't zij met gebruikmaking van bepaalde correcties, vergelijkbaar.

Met behulp van een aantal afbeeldingen zal nu gepoogd worden de zojuist ontwikkelde gedachtengang te illustreren.

Figuur 7 laat zien op welke wijze een schatting gemaakt kan worden van de gevolgen van blootstelling aan een enkele dagen durende cumulatieperiode in Londen. Daarbij wordt uitgegaan van de gedachte dat de gevolgen direct zijn, oftewel zich beperken tot een groep candidaten, die men in dit geval kan beschouwen als te behoren tot het arsenaal van personen wier levenseinde betrekkelijk nabij is of wier gezondheidstoestand hoogstwaarschijnlijk matig tot zeer slecht is. Na

enige tijd herneemt het sterftepatroon weer zijn normale beloop. De op die manier zich in het oppervlak van de boven de trendlijn ontstane top manifesterende oversterfte kan gerelateerd worden tot de te verwachten dagsterfte in de onderhavige periode. Indien, rekening houdende met de standaarddeviatie, de eerste dag met oversterfte een overschot geeft van q_1 en dit verschijnsel zich over k dagen uitstrekt, en de te verwachten dagsterfte in die periode kan worden weergegeven door p_1 t/m p_k , kan de oversterfte, uitgedrukt in aantal malen te verwachten sterfte, worden voorgesteld door

$$O = \Sigma q : \frac{\Sigma p}{k} = k \times \frac{\Sigma q}{\Sigma p}$$

Voor het gegeven voorbeeld wordt dat:

$$O = 15 \times \frac{392}{2055} = 2,9$$

Indien men er rekening mede houdt dat de oversterfte vrijwel geheel gerecruteerd wordt uit de leeftijden boven de 65 jaar en de normale sterfte in Londen voor ongeveer 0,7 deel voor rekening van deze categorie komt, zou de netto oversterfte in dit geval benaderd kunnen worden door een correctie in te voeren van $10/7$, hetgeen resulteert in 4,1 à 4,2 dagsterften voor de categorie ≥ 65 jaar.

Op deze wijze geformuleerd bedroeg de oversterfte in december 1952 ongeveer 19 dagsterften (hetgeen overeenkomt met 6 à 7% van de totale jaarsterfte) en in december 1962 ongeveer 4 dagsterften. In januari 1959 zal dat minder dan of hoogstens 1 dagsterfte voor de in aanmerking komende categorie hebben betekent.

In figuur 8 zijn de bewerkte uitkomsten van een aantal epidemiologische onderzoeken gerangschikt naar soort en omvang van effect. Tevens is aangegeven hoe de verhouding van SO_2 en roet bij benadering was ten tijde van het onderzoek. De gegevens hebben betrekking op cumulatieperioden van korte duur en op vergelijking van verschillende gebieden over lange termijn.

Het valt op hoe excessieve oversterfte optreedt bij langer durende cumulatieperioden en relatief hoge concentraties. Men bedenke daarbij dat hoge concentraties een grotere kans hebben op te treden tijdens 2 - 5 dagen durende cumulaties dan binnen het bestek van één dag. Deze laatste kortdurende cumulaties komen echter veel vaker voor. Zo is het in Londen vrij goed mogelijk gebleken minimum concentraties aan te geven waarboven significante correlaties optreden met sterfte en ziekte. Deze liggen bij ongeveer 400 à 500 $\mu g SO_2/m^3$, bij een hoog roetgehalte.

Voorts kan het vermoeden worden uitgesproken dat er een onderling verband bestaat tussen de diverse grootheden, zoals vergelijking van de symbolen bij resp. 1 en 2 dagen suggereert. Bij overeenkomstige omvang van effecten liggen de tekens voor matig of gering roetgehalte hoger dan die met een hoog roetgehalte.

Op deze plaats wordt thans afgezien van een verdere analyse van deze resultaten. Wel zij erop geattendeerd dat op Nederland betrekking hebbende gegevens van de cumulatieperioden in januari - februari 1959 en december 1962 in de grafiek zijn opgenomen.

Het aantal gegevens in de rechterkolom van figuur 2 is maar klein, doch het vertoont eveneens in zekere mate een hiërarchie, te weten een grotere ernst en omvang van effecten bij absoluut en relatief hogere SO_2 - en roetgehalten en een mindere ernst en omvang van effecten bij lagere SO_2 - en roetgehalten.

Uit de beschouwing van Ir. L. J. Brasser zal het duidelijk geworden zijn hoe in het algemeen de verdeling van de verontreiniging over het tijdsbestek van een jaar gekarakteriseerd kan worden door log-normaliteit en vastgelegd kan worden met twee percentielwaarden, bv. de mediaan en het 0,3-procent punt, dat de hoogste 1 maal in een jaar voorkomende dagwaarde representeert.

Aan de epidemioloog kan nu de vraag gesteld worden of het hem mogelijk is op vergelijkbare wijze de toelaatbaarheid van luchtverontreiniging te formuleren in concentraties en daarbij behorende frequenties, die hij op grond van diverse criteria aanvaardbaar zou achten. Indien het hem niet mogelijk zou zijn het begrip aanvaardbaarheid in een dergelijke positieve zin te formuleren, zou hij voor eerst misschien kunnen volstaan met het formuleren van concentraties en expositieduren die hij beslist onaanvaardbaar vindt.

Het is aantrekkelijk de gegevens van figuur 8 voor dit doel op een wat andere wijze te rangschikken op grond van de volgende overwegingen:

- Concentraties die ten grondslag liggen aan effecten op lange termijn, kunnen benaderenderwijs worden weergegeven door uit te gaan van het bestaan van een frequentieverdeling, die o.m. gekarakteriseerd kan worden door de mediaanwaarde.
- Van kortdurende, één of slechts enkele malen per jaar optredende cumulaties kan de tijdsduur in dagen, betrokken op de duur van een jaar, worden weergegeven in een percentage. Dit geldt ook voor regelmatig terugkerende cumulaties van korte duur, bv. 1 dag, hetgeen overeenkomt met 0,3%.
- Indien als schaal voor de procentuele verdeling van de tijd de waarschijnlijkheidsschaal wordt gekozen zoals die door Ir. L. J. Brasser is gehanteerd, ontstaat een wat ongewoon dosis-effect diagram, dat op een bepaalde manier vergelijkbaar is geworden met de cumulatieve frequentieverdeling van meetuitkomsten.
- Deze vergelijkbaarheid is niet volkomen, aangezien de voorhanden zijnde gegevens slechts op twee verschillende manieren een plaatsbepaling in een dergelijk diagram toestaan: met name bij de mediaan op basis van de cumulatieve verdeling; in het gebied van percentages met geringe overschrijdingskans (0,3% - 2%) betreft de voorstellingswijze echter effecten van enkelvoudige, niet frequente exposities.

Figuur 9 geeft het resultaat weer van de transformatie van figuur 8, overeenkomstig de gedachte aansluiting te zoeken bij de cumulatieve frequentieverdeling van meetuitkomsten. Teneinde door de bomen enig bos te zien kan een poging worden ondernomen nog iets verder te gaan en een eventueel kwalitatief en kwantitatief verband tussen de verschillende punten van het diagram d.m.v. lijnen uit te beelden. Op dit moment gaat in de ontwikkeling van de gedachtengang echter een nieuw element een rol spelen, dat vooruitloopt op de formulering van de toelaatbaarheid in engere zin. Het gaat hierbij om de praemisse, dat hetgeen uiteindelijk als niet aanvaardbaar zal worden gesteld, in de praktijk zo goed als mogelijk vermeden dient te worden, oftewel liefst niet moet voorkomen. Aangezien in eerste benadering de hygiënist zoekt naar ongewenste effecten, hoeft hij zich niet bezig te houden met de vraag hoe vaak ongewenste effecten in de loop van een jaar mogen optreden, indien het indiscutabele zaken betreft als vermeerdering van ziekten en sterfte. Op deze plaats wordt dus voorbijgegaan aan een pragmatische denkwijze die eventuele effecten economisch evalueert en op een weegschaal legt. (In dat geval kan het bv. goedkoper zijn een aantal mensen vervroegd te

laten overlijden - vooral indien dit gepensioneerden zonder levensverzekering zijn - dan levens te sparen d.m.v. kostbare investeringen ter bestrijding van de verontreiniging....}

Stelt men zich daarentegen met weinig tolerantie op een meer dogmatisch standpunt en kiest men sterfte, ziekte en functiestoornissen van de ademhaling als kwalitatieve criteria, waarbij een kwantitatieve vermeerdering eigenlijk niet éénmaal per jaar zou moeten worden toegestaan, dan wordt de één of een paar dagen durende cumulatie in de hoedanigheid van een éénmaal per jaar zich voordoende minimale overschrijdingskans tot een liminaal begrip, dat thans het fundamentele uitgangspunt gaat vormen.

Op grond van dit tolerantie-criterium en de volgende overwegingen zijn de punten van figuur 9 met elkaar in verband gebracht op een wijze als is voorgesteld in figuur 10. Er is daarbij een poging gedaan aard en omvang van effecten te wegen ten opzichte van elkaar, hetgeen eigenlijk inhoudt de stilzwijgende introductie van een tolerantief criterium. Het resultaat is dan ook min of meer gestileerd en onderscheidt zonder benoeming enkele graden van effect. Het beloop der lijnen is echter niet zo onwaarschijnlijk indien men bedenkt dat in vele gevallen wat betreft de effecten het product van concentratie maal tijd niet constant is en de grensconcentratie relatief toeneemt bij korter durende expositie.

Deze figuur staat toe zich een indruk te vormen van de mate waarin effecten kunnen gaan toenemen naarmate de cumulatieve frequentieverdelingen van meetresultaten hoger komen te liggen. Men dient zich daarbij te realiseren dat de positie van deze lijnen van gelijkwaardige effecten in het onderhavige geval voor een belangrijk deel mede bepaald is door de aanwezigheid van niet te veronachtzamen hoeveelheden roet. De lijnen geven geen grenzen aan, doch markeren omstandigheden die zich bij benadering gelijkkelijk van andere onderscheiden. Zo geeft de gevoeligheidsdrempel aan waar het gebied zich bevindt waar ouden van dagen, bronchitici of eventuele andere gevoelige personen reageren met functiestoornissen of verslechtering van het welbevinden. Waar aan de benedenzijde de grens ligt tussen geen effect en een dubieus of ongunstig effect, is niet duidelijk. Door een stippellijn is de bovengrens gemarkeerd van het gebied waarvan verondersteld wordt dat de daarbinnen mogelijke concentraties en tijdsduren niet een effect hebben, dat thans door de hygiënist van betekenis wordt geacht.

Indien men uitgaande van gegevens zoals deze gestileerd zijn samengevat in figuur 10, wil komen tot de opstelling van grenswaarden, welke dan omschreven kunnen worden als combinaties van 24-uurs concentraties en het bij elk daarvan behorend frequentiepercentage, moet met twee overwegingen nog rekening worden gehouden.

Zoals reeds enkele malen is genoemd, spelen bijkomende factoren, zoals roet, zuren, zouten en mogelijk ook koolmonoxide, een rol van betekenis. Dat wil zeggen dat, in een omgeving met relatief weinig roet of als zodanig actieve bestanddelen, de betekenis van SO_2 als indicator verandert. De lijnen van figuur 10 komen dan nl. hoger te liggen. De mate waarin dit het geval is kan afgeschat worden aan de plaats die bv. ingenomen wordt door de Nederlandse gegevens. Deze laten zich wat betreft een merkbaar vermeerdering van sterfte bij cumulaties van korte duur rangschikken langs de lijn van "eerste graad effect". De geregistreerde zeer markante vermeerdering van ziekte-verzuimen valt op de lijn van "tweede graad effect" in de andere omgevingen.

Een andere overweging, van meer principiële aard, heeft betrekking op de betekenis van het begrip statistische significantie. Veelal wordt

de vijf procent overschrijdingskans gehanteerd. Men dient echter te bedenken dat bepaalde werkingen gaande zijn en de bedoelde effecten reeds teweeg gebracht worden bij concentraties die lager liggen dan degene waarbij het effect op statistisch significante wijze, dus in voldoende grote omvang, zich manifesteert. Wil men een statistisch significant effect vermijden, zo zal men de toelaatbare concentratie duidelijk lager moeten kiezen dan de grens waarbij het effect overtuigend is gebleken. Men zou dit het introduceren van een soort veiligheidsfactor kunnen noemen. Voorlopig zijn hiervoor niet voldoende exacte gegevens voorhanden en moet volstaan worden met het maken van een schatting.

Indien men voor de formulering van grenswaarden een keuze doet wat betreft toelaatbare grensconcentraties en overschrijdingspercentages, zou men kunnen volstaan met een gebogen lijn zoals in figuur 4 is getekend. Het is echter praktisch de ligging ervan globaal te fixeren met behulp van enkele criteria, waarmee de karakteristiek van de kromme goeddeels is vastgelegd.

De volgende criteria komen daarvoor in aanmerking:

- a. effect van een middelbare concentratie over langere perioden
- b. effect van een continue concentratie over enkele, tot maximaal 7, dagen
- c. effect van één 24-uurs concentratie
- d. effect van een 2-uurs concentratie
- e. effect van een zeer kort durende concentratie (enkele minuten)

Hierbij kan worden opgemerkt dat de sub b. genoemde concentratie rekening wil houden met de mogelijkheid van cumulaties over een beperkt aantal dagen, die meestal maar eens per jaar of minder vaak optreden in onze gebieden. De sub d. en e. genoemde criteria, waarbij het gaat om de wenselijkheid van het voorkomen van vermijdbare hinder, zullen hun betekenis niet onttrekken aan effecten die de basis vormen voor een dosis effect diagram als figuur 10 wil zijn. (Terloops zij vermeld dat een 2-uurs concentratie voor de schade aan planten wel degelijk van betekenis is.)

Indien 24-uurs waarnemingen de basis vormen voor de metingen en men toch criteria voor kortdurende blootstellingen wil hanteren, moet men rekening houden met de vuistregels zoals die reeds door Ir. L. J. Brasser zijn aangegeven voor de schatting van het verband tussen maxima bij verschillende duren van monstername.

Indien thans een voldoende hoeveelheid basisgegevens is uitgestald op een wijze die het mogelijk maakt de in de praktijk gevonden relaties tussen concentraties, expositieduren en effecten in een vorm te gieten die goed aangepast is aan de realiteit, of zo men wil, de phaenomenologie van de luchtverontreiniging zoals die door Ir. L. J. Brasser is beschreven, zou ik U willen uitnodigen een keuze te doen uit de geboden mogelijkheden. Het kiezen van grenswaarden behorende bij frequentiepercentages van 50 en 0,3 is van essentieel belang. Extra zekerheid wordt verkregen door de toevoeging van een 2-procent punt. Rekening houdende met de zo juist genoemde overwegingen inzake roetgehalte en statistische significantie zou men dan voor een met Nederland vergelijkbare situatie kunnen komen tot grenswaarden, die door een lijn

verbonden kunnen worden in een frequentiediagram, zoals gedaan is in figuur 11. De gebroken lijn kan links van het 50-procent punt horizontaal worden voortgezet en kan bij het 0,3-procent punt verticaal gaan verlopen. Hiermede worden in het diagram twee gebieden gemarkeerd. Het linker bovengedeelte vertegenwoordigt de ongewenste, het rechter ondergedeelte de toelaatbare concentraties en frequentiepercentages.

Tekent men een dergelijke verbindingslijn van grenswaarden in een diagram met frequentieverdelingen van meetuitkomsten, dan wordt duidelijk in welke mate de situatie in de praktijk aan de gestelde eisen blijkt te voldoen. Overeenkomstig geven het punt waarop en de hoek waarmee de frequentielijn de richtlijn snijdt, een indruk van de risico's die de bevolking in het betreffende gebied loopt.

Tot nu toe is er in deze beschouwing alleen rekening gehouden met drie gezondheidsparameters, te weten sterftegegevens, ziektecijfers en het optreden van functiestoornissen van de ademhaling. Met opzet heb ik mij hiertoe beperkt, omdat ten eerste deze gegevens vrij goed verkrijgbaar zijn en bij herhaling gebezigd zijn om de invloed van milieufactoren te onderzoeken. Ten tweede bestaat er weinig verdeeldheid van mening omtrent de wenselijkheid het optreden van deze effecten zoveel mogelijk te bestrijden en te voorkomen.

Een dergelijke communis opinio bestaat er op het ogenblik nog geenszins ten aanzien van effecten, die weliswaar zeer veelvuldig bij een expositie aan lage concentraties kunnen worden geregistreerd, doch waarvan de praktische betekenis nog niet geheel duidelijk is. Ik doel hier op de in de Sovjet-Unie gestandaardiseerde methoden voor de vaststelling van toelaatbaarheidsgrenzen, waarbij o.m. een van de fundamentele hygiënische criteria wordt gevormd door de al dan niet optredende beïnvloeding van hogere functies van het centraal zenuwstelsel. De juistheid der bevindingen behoeft daarbij niet a priori in twijfel te worden getrokken. Het gaat om de ongewisheid die bestaat omtrent de betekenis van deze signaleringen voor de volksgezondheid in het algemeen. Concreter gezegd: Leidt een continu of periodiek optredende verandering van associatieve functies in de hersenschors tot wat in de wandeling verstaan wordt onder ziekte of tot vermindering van arbeidsprestaties of tot andere ongewenstheden? Indien hieromtrent meer zekerheid ontstaan zal zijn, die mogelijk ook elders zal leiden tot de aanvaarding van een physiologische maatstaf als hygiënisch criterium, zal dat waarschijnlijk tot gevolg hebben: de formulering van stringenter richtlijnen dan waarmee U zojuist geconfronteerd bent geworden. Dat wil zeggen dat de grensconcentraties aanzienlijk lager gekozen zullen worden. In principe verandert er echter weinig: ook in dat geval zullen de criteria en de te formuleren richtlijn rekening moeten houden met de phaenomenologie van de luchtverontreiniging, oftewel de frequentieverdeling van reële exposities.

Op dit moment zou ik het tot nu toe besprokene willen samenvatten als: een poging om, met de phaenomenologie van de luchtverontreiniging als uitgangspunt en aan de hand van een tentatieve evaluatie van thans bekende invloeden in dosis-effect relaties voor twee hoofdbestanddelen, te komen tot de afbakening van toelaatbaarheden vanuit medisch-hygiënisch standpunt. Het feit dat er enerzijds hierbij zoveel nadruk is gelegd op het methodische van de formulering van richtlijnen, doch anderzijds voorlopig nog niet zoveel stelligheid aan den dag gelegd wordt wat betreft de vaststelling van feitelijke grenswaarden, is uitnodigend om tenslotte nog even stil te staan bij de resultaten van gelijksoortige overdenkingen in andere landen.

In de eerste plaats moet dan geconstateerd worden dat deze denkwijze zeker nog niet algemeen verbreid is. Integendeel, de laatste tijd pas begint deze ingang te vinden. Strikt genomen wordt een gelijke gedachtengang alleen toegepast in de staten New York en Colorado in de U.S.A., alsmede in Oost-Duitsland en Zweden. In deze vier gebieden is de toelaatbaarheid geformuleerd in termen van toegestane overschrijdingspercentages voor 24-uurs gemiddelden per jaar (of andere lange periode), waarbij die dan enkelvoudig of samengesteld kunnen zijn. In deze landen geldt de richtlijn of norm voor SO_2 als zodanig, niet voor SO_2 als indicator. In het ontwerp voor een zweedse richtlijn wordt nadrukkelijk vermeld, dat de aangegeven grenswaarden voor SO_2 zijn gecalculeerd op basis van epidemiologische bevindingen, voornamelijk in Engeland, waarbij voorts het feit in acht is genomen dat de verhouding tussen SO_2 en roet in dat land over het algemeen gunstiger ligt dan in Engeland het geval is. De gedachte aan SO_2 als indicator is daar dus nog niet geheel los gelaten.

Figuur 12 laat zien hoe de richtlijnen en normen van de genoemde landen zich elk met behulp van scharnierpunten in het frequentie-diagram laten weergeven. In principe zouden daar wel bezwaren tegenin gebracht kunnen worden, gezien het betoog van heden. Indien men echter bedenkt dat de cumulatieve frequentieverdelingen in de praktijk vaak een helling vertonen die niet zoveel afwijkt van de helling in het bovenste gedeelte van de met de letters N gekarakteriseerde gebroken lijn - welke dezelfde is als die uit de vorige figuur - , is dat niet zo bezwaarlijk.

Er kan nog gewezen worden op de getrapte normen van New York en Oost-Duitsland, alwaar onderscheid gemaakt wordt tussen recreatie-, woon- en industriegebieden. Dit zijn dus duidelijke voorbeelden van een multidisciplinaire benadering met een genuanceerd resultaat als variabel compromis tussen de diverse criteria en desiderata.

Van andere landen laat alleen de norm van de Sovjet-Unie zich enigermate inpassen in het diagram, hoewel het overschrijdingspercentage van 5% aldaar betrokken is op een periode van telkens 20 dagen. De norm van West-Duitsland is eigenlijk geheel onvergelijkbaar, aangezien deze gebaseerd is op een overschrijdingspercentage binnen tijdvakken van 2 uren. (Tracht men die te herleiden tot realistische verhoudingen met 24-uurs concentraties als eenheid, dan ontstaat een beeld dat niet veel afwijkend is van de norm voor industriegebieden van Oost-Duitsland en de ontwerp-richtlijn van Zweden.)

Hiermede ben ik aan het einde gekomen van een aantal gedachten omtrent de formulering van toelaatbaarheidsgrenzen voor luchtverontreiniging, gezien vanuit medisch-hygiënisch standpunt. Zoals enkele malen ter sprake is gekomen, gaat het bij de vaststelling van toelaatbaarheden om een multidisciplinair keuzeprobleem. Werkers op het terrein van de milieuhygiëne en de gezondheidstechniek kunnen aan de oplossing daarvan een elementaire bijdrage leveren. Indien wij er gezamenlijk in slagen de juiste keuzen te doen, zal daarmee gebouwd zijn aan het fundament van een toekomst, waarin het goed en gezond leven is voor onze eigen kinderen en kindskinderen.

L i t e r a t u u r:

- AMDUR, M.O. Report on tentative ambient air standards for sulfur dioxide and sulfuric acid
Ann. Occup. Hyg. 3 (1961), no 2, p. 71
- BIERSTEKER, K. e.a. De luchtverontreinigingspiek van 5 ~~december~~ 1962 en zijn effect op de
volksgezondheid in Rotterdam en omliggende gemeenten.
Tijdschr. Soc. Geneesk. 42 (1964) p. 939
- BIERSTEKER, K. e.a. Het vaststellen van maximaal aanvaardbare concentraties verontreiniging
in de buitenlucht
Tijdschr. Soc. Geneesk. 43 (1965), p. 526
- BIERSTEKER, K. Verontreinigde lucht
Proefschrift, Amsterdam 1966
- BRASSER, L.J. e.a. Luchtverontreiniging en gezondheid te Geleen.
Rapport 31, Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft, 1964
- FRIBERG, L. e.a. Scientific basis for some medical air quality guides
J.A.P.C.A. 15 (1965), no 11, p. 531
- JOOSTING, P.E. Danger thresholds
Dutch national report on item 4,
European Conference on air Pollution, Strasbourg 1964
(paper CPA/RN/4/PB/202)
- JOOSTING, P.E. e.a. Luchtverontreiniging - toelaatbaarheidsaspecten
Water, Bodem, Lucht 55 (1965), no 3, p. 76
- JOOSTING P.E. Toelaatbaarheids aspecten van luchtverontreiniging uit
medisch-hygiënisch oogpunt
MACHEVO-congres, Utrecht 1965
- RIAZANOV, V.A. Limits of allowable concentrations of sulfur dioxide in the
atmosphere of populated areas
Lim. Allow. Conc. Atm. Poll.,
Book 1 (1952), p. 22
Washington 1959-21173
- RIAZANOV, V.A. Hygienisch zulässige Grenzkonzentrationen für Luftverunreinigungen
Angewandte Meteorologie 4 (1963), nr 8-10, p. 250
- RIAZANOV, V.A. Limits of allowable concentrations of atmospheric pollutants
USSR Lit. Air Poll. Rel. Occup. Dis.,
Volume 9 (1964) p. 221
Washington TT 1964-11574
- RIHM, A. New York State's Classifications - Ambient Air Quality Objectives
System
J.A.P.C.A. 15 (1965), no 11, p. 519
- STERN, A.C. Summary of existing air pollution standards
J.A.P.C.A. 14 (1964), p. 5
- STERN, A.C. Air pollution and its abatement in the United States.
De Ingenieur 77 (1965), nr 29, p. 683 en nr 31, p. 697

ZIMMER, C.E. e.a.

Calculating air quality and its control
J.A.P.C.A. 15 (1965), p. 565

California standards for ambient air quality and motor vehicle exhaust
Technical Report
State Dept. of Public Health,
Berkeley, Cal. (1960, 1961, 1962)

Maximale Immissions-Konzentrationen: Schwefeldioxyd
VDI Richtlinien no 2108
Düsseldorf 1961

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
Bundesministerium für Gesundheitswesen,
B.R.D., 1964

VERBAND TUSSEN OPTREDENDE MAXIMALE CONCENTRATIES BIJ REEKSEN
VAN WAARNEMINGEN MET VERSCHILLENDE MONSTERDUUR

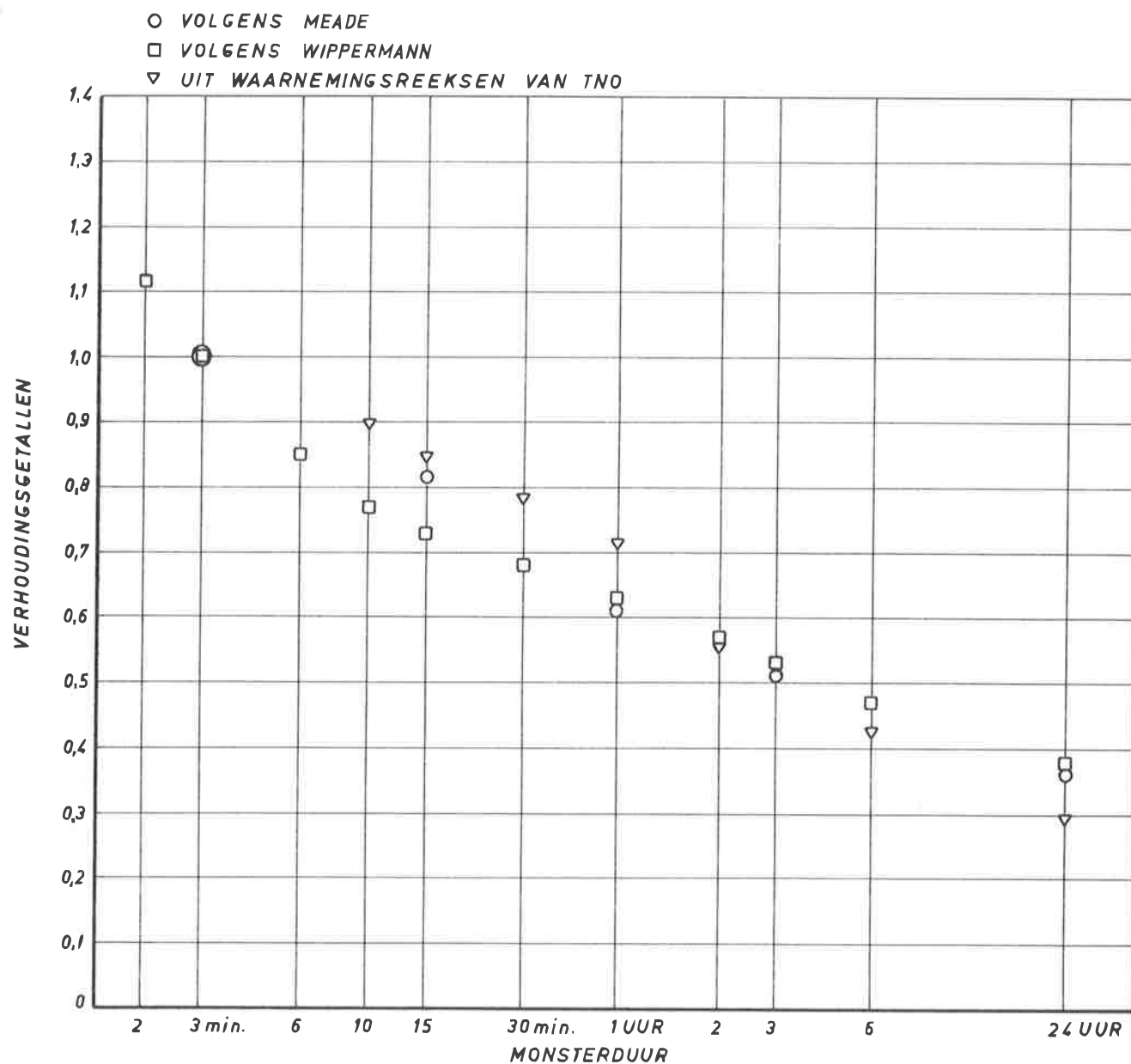


FIG. 1a

VERBAND TUSSEN OPTREDENDE MAXIMALE CONCENTRATIES BIJ REEKSEN
VAN WAARNEMINGEN MET VERSCHILLENDE MONSTERDUUR

- CHICAGO
- PHILADELPHIA
- △ WASHINGTON
- ▽ DEN HAAG

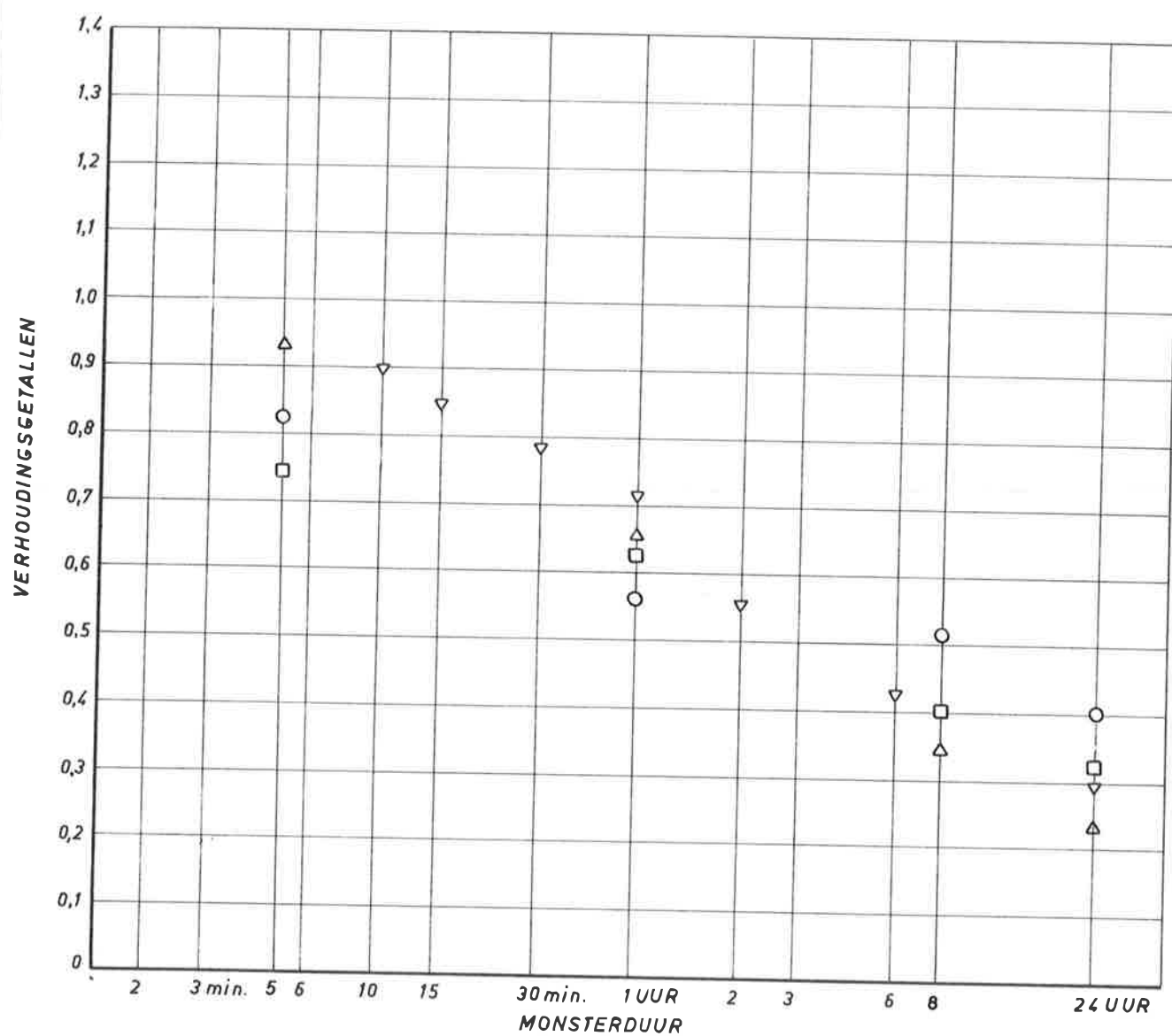
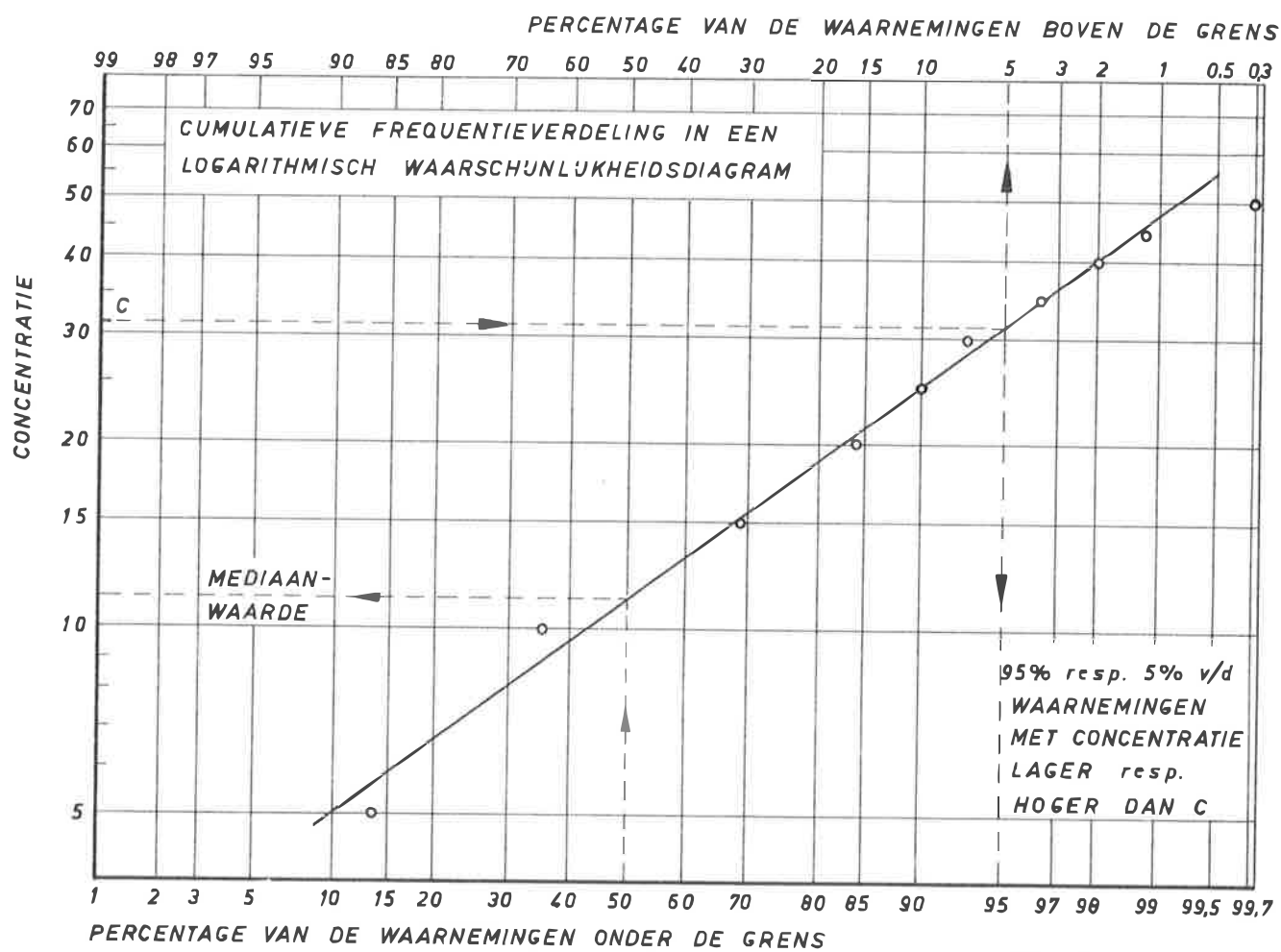
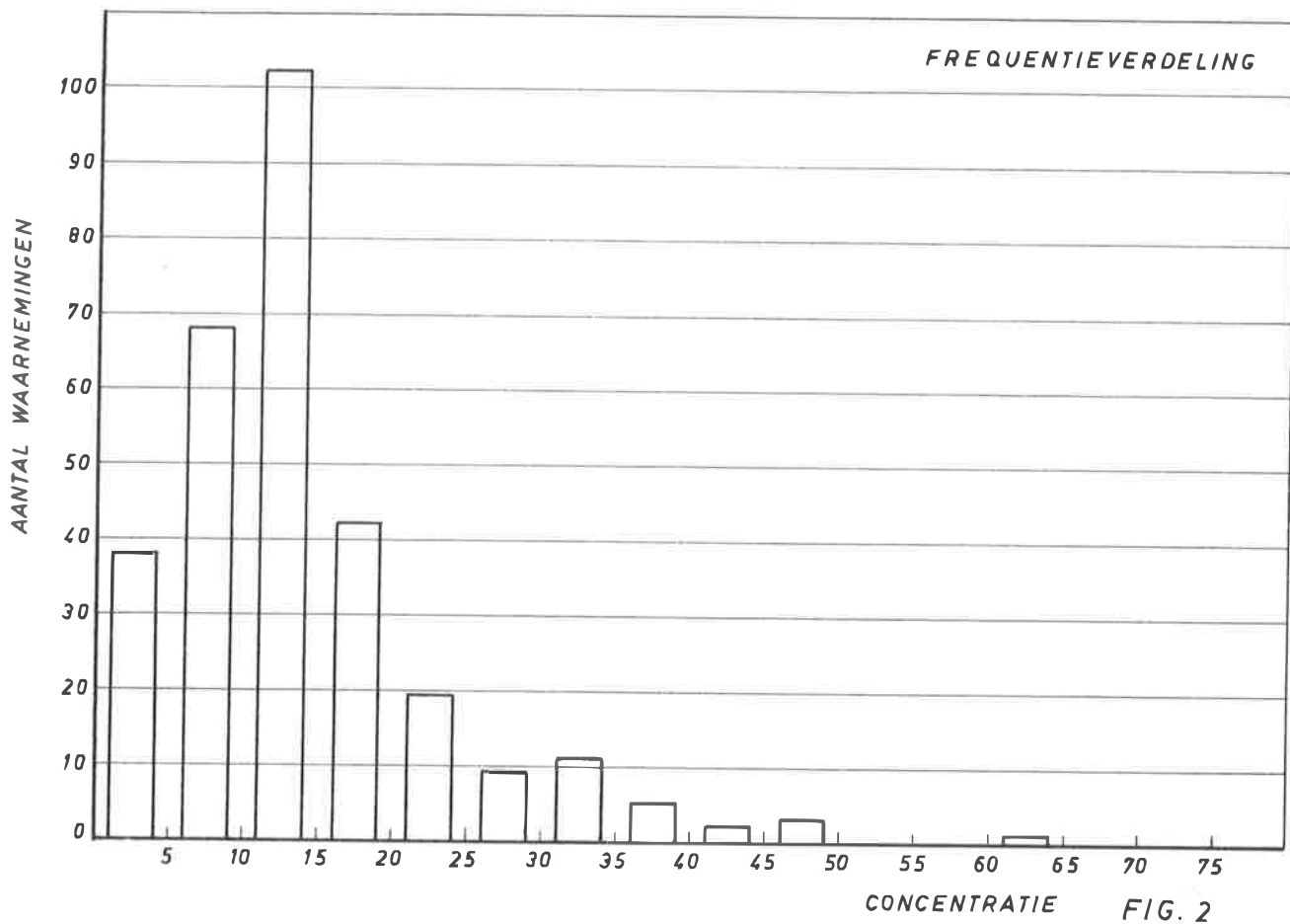


FIG. 1b



CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELINGEN
VAN 24-UURSWAARDEN GEDURENDE EEN JAAR



FIG. 4

VOORBEELDEN VAN MEETSERIES

CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELINGEN

VAN 24-UURSWAARDEN GEDURENDE EEN JAAR

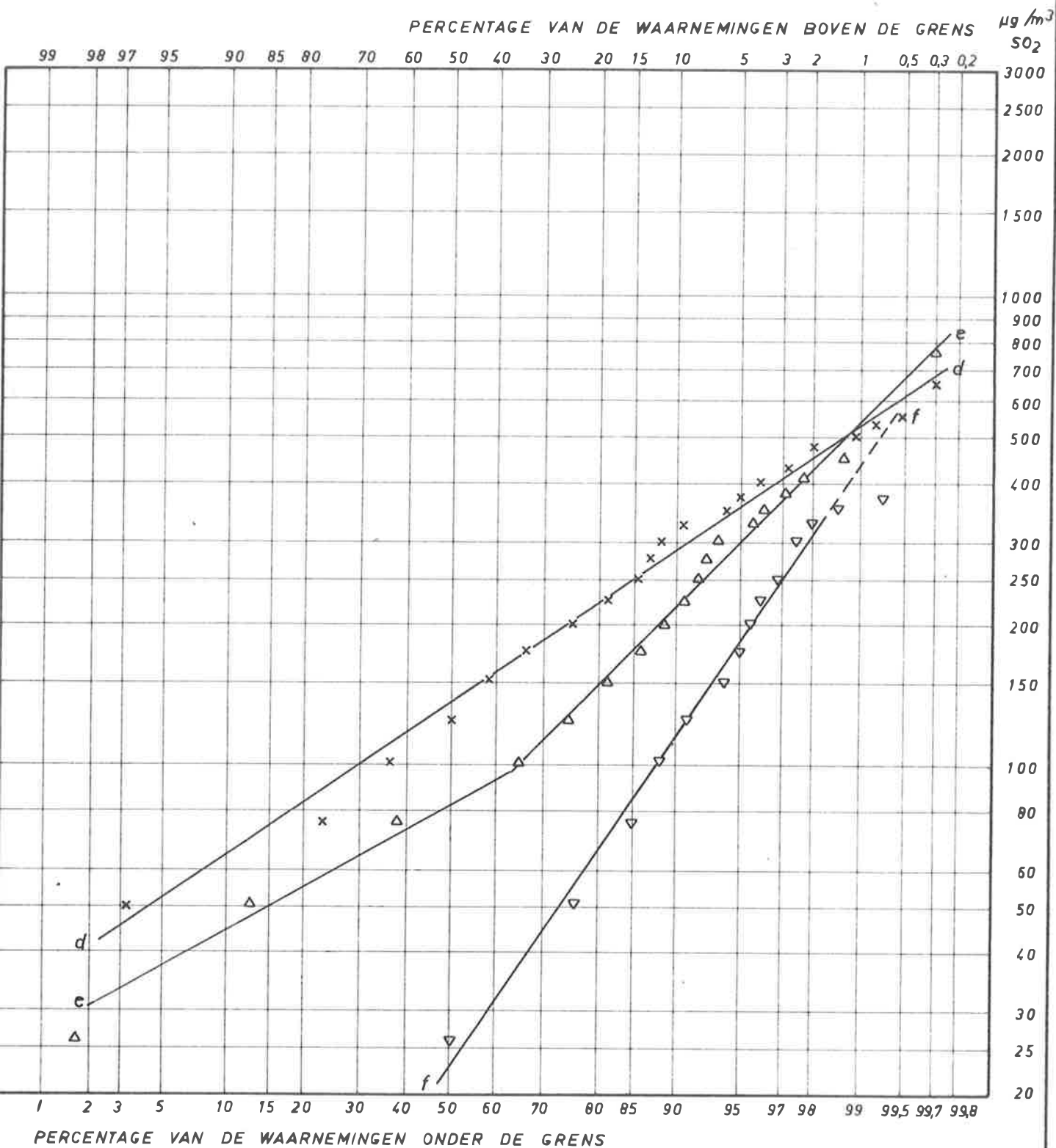


FIG. 5

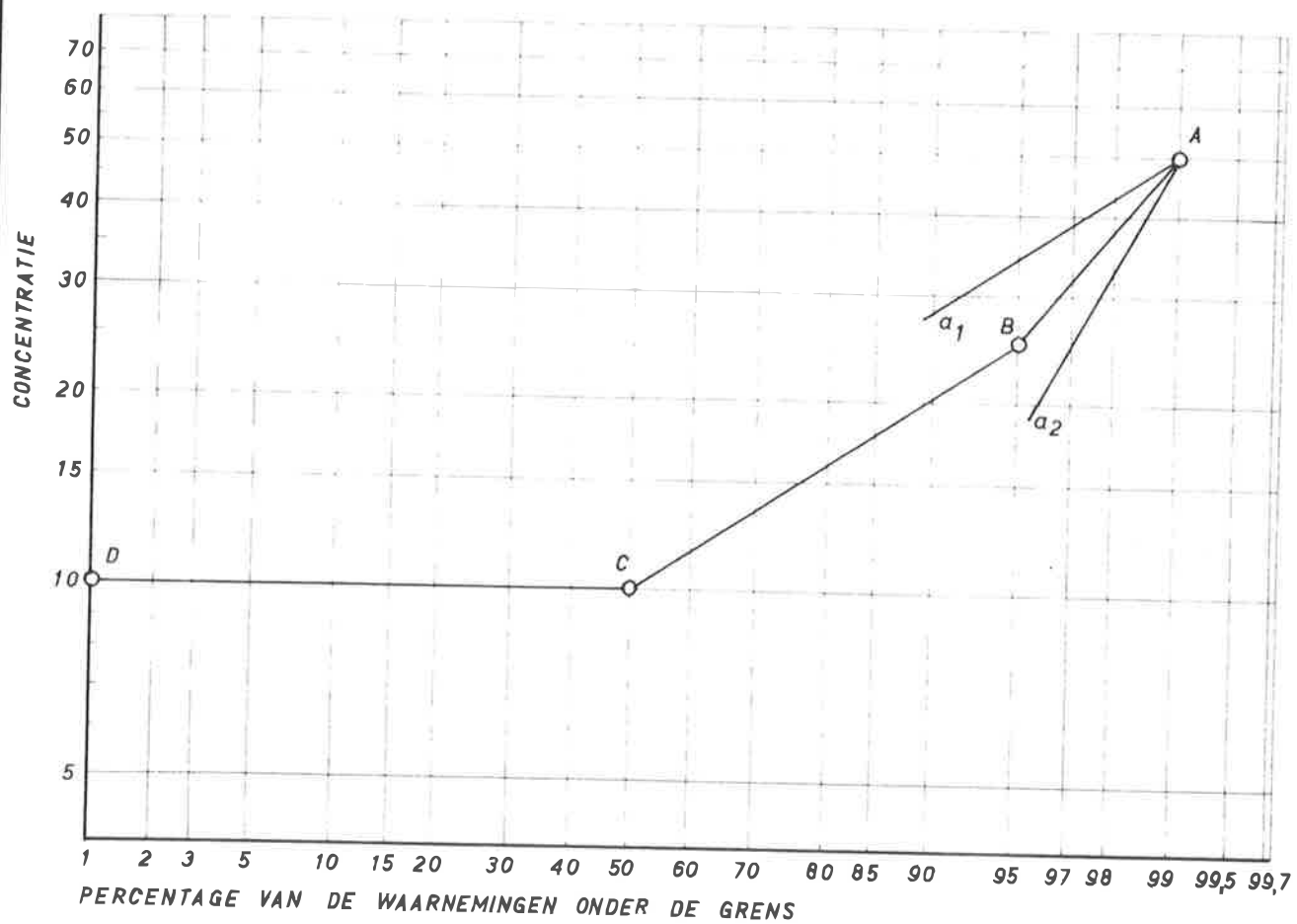


FIG. 6

VOORBEELD VAN BEREKENING VAN OVERSTERFTE
 TOTALE STERFTE IN LONDEN (ADMINISTRATIVE COUNTY)
 24 DEC.1955 - 26 FEBR.1956; 7 DAAGS LOPEND GEMIDDELDE

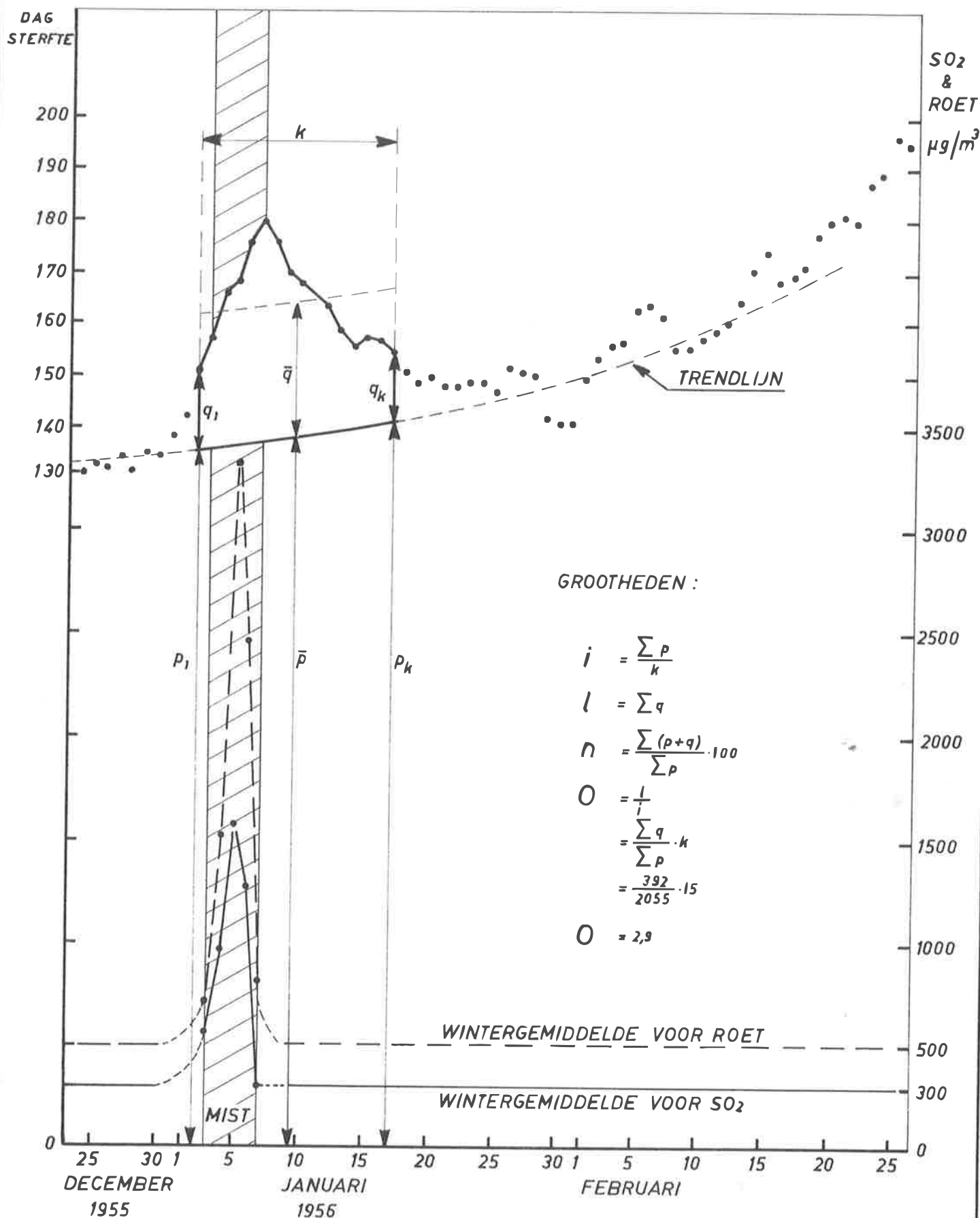


FIG. 7

INVLOED OP MENSEN

EFFECT IN RELATIE MET EXPOSITIEDUUR EN GEMIDDELTE CONCENTRATIE TJUDENS DE EXPOSITIE

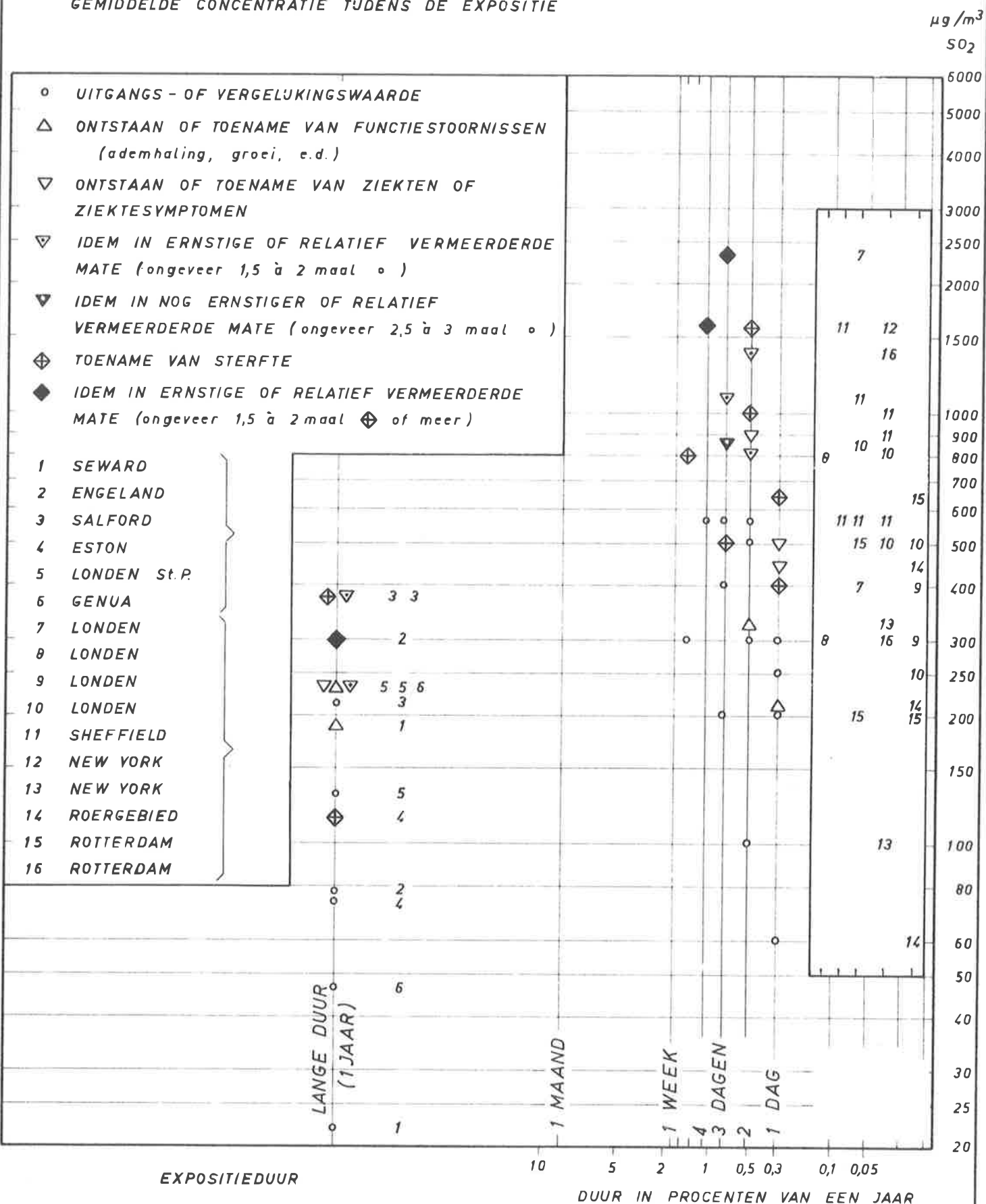
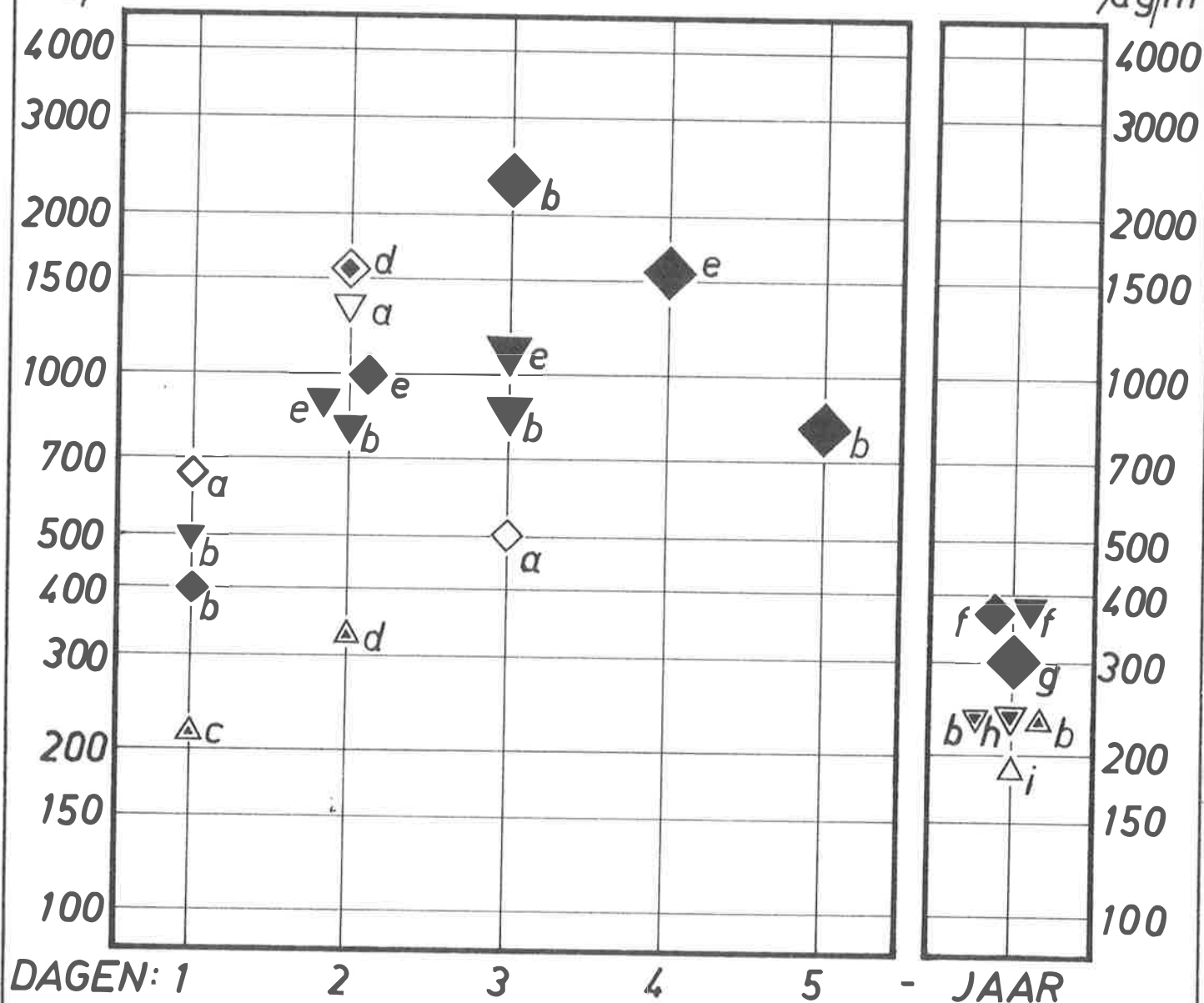


FIG. 8

RELATIE TUSSEN CONCENTRATIE, EXPOSITIE-TIJD EN EFFECT

SO_2
 $\mu g/m^3$

SO_2
 $\mu g/m^3$



△ △ △ - functiestoornissen

▽ ▽ ▽ - ziekten

◇ ◇ ◇ - sterfte

◆ roet $\approx SO_2$ gehalte

◈ " < " "

◊ " << " "

→ toenemende omvang

a - ROTTERDAM

d - NEW YORK

g - ENGELAND

b - LONDEN

e - SHEFFIELD

h - GENUA

c - ROERGEBIED

f - SALFORD

i - SEWARD

FIG. 9

INVLOED OP MENSEN
DOSIS-EFFECT RELATIES

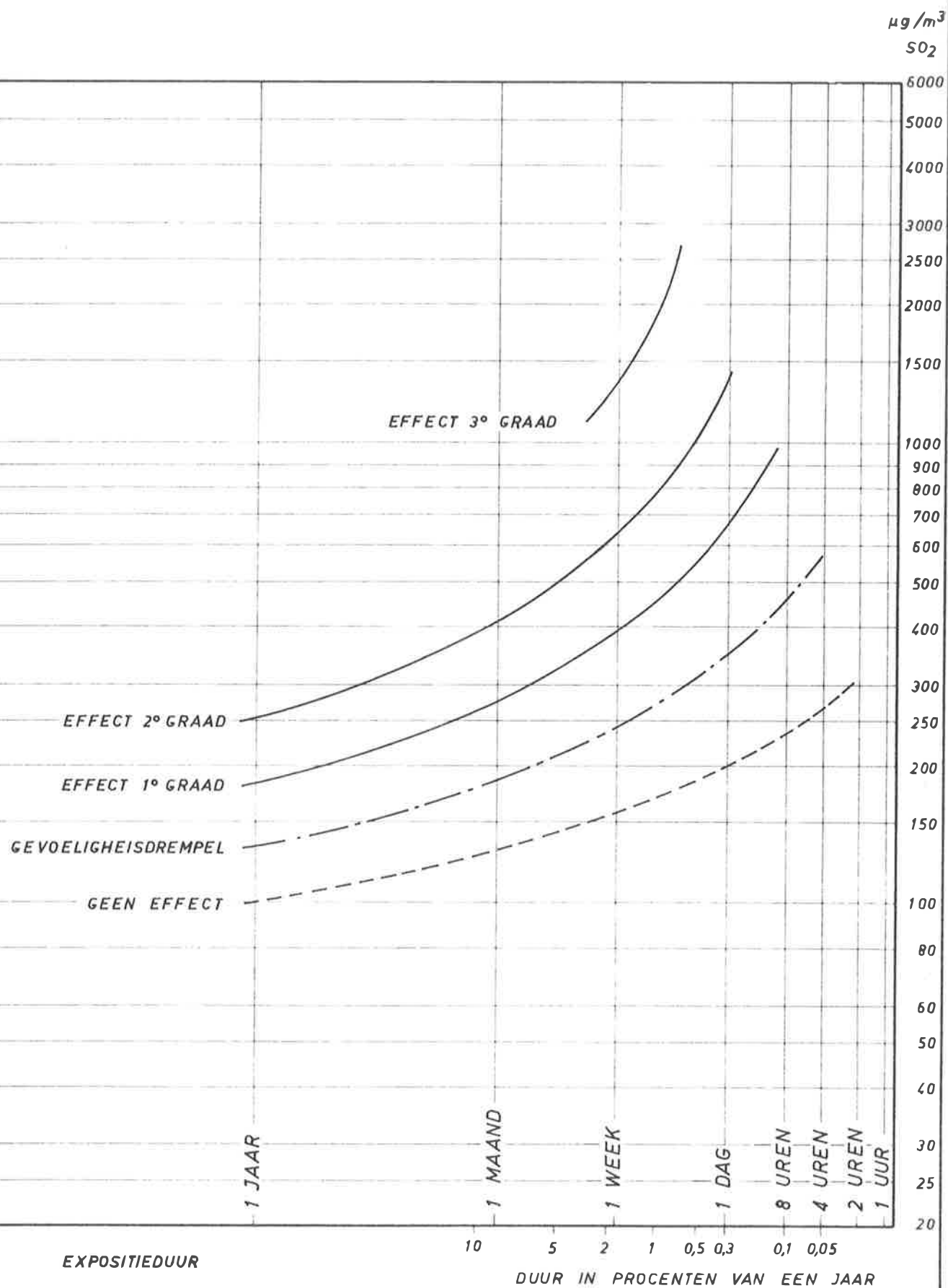


FIG. 10

VOORBEELD VAN EEN RICHTLIJN DIE AANSLUIT BIJ CUMULATIEVE
FREQUENTIEVERDELINGEN VAN 24-UURS WAARDEN OVER EEN JAAR

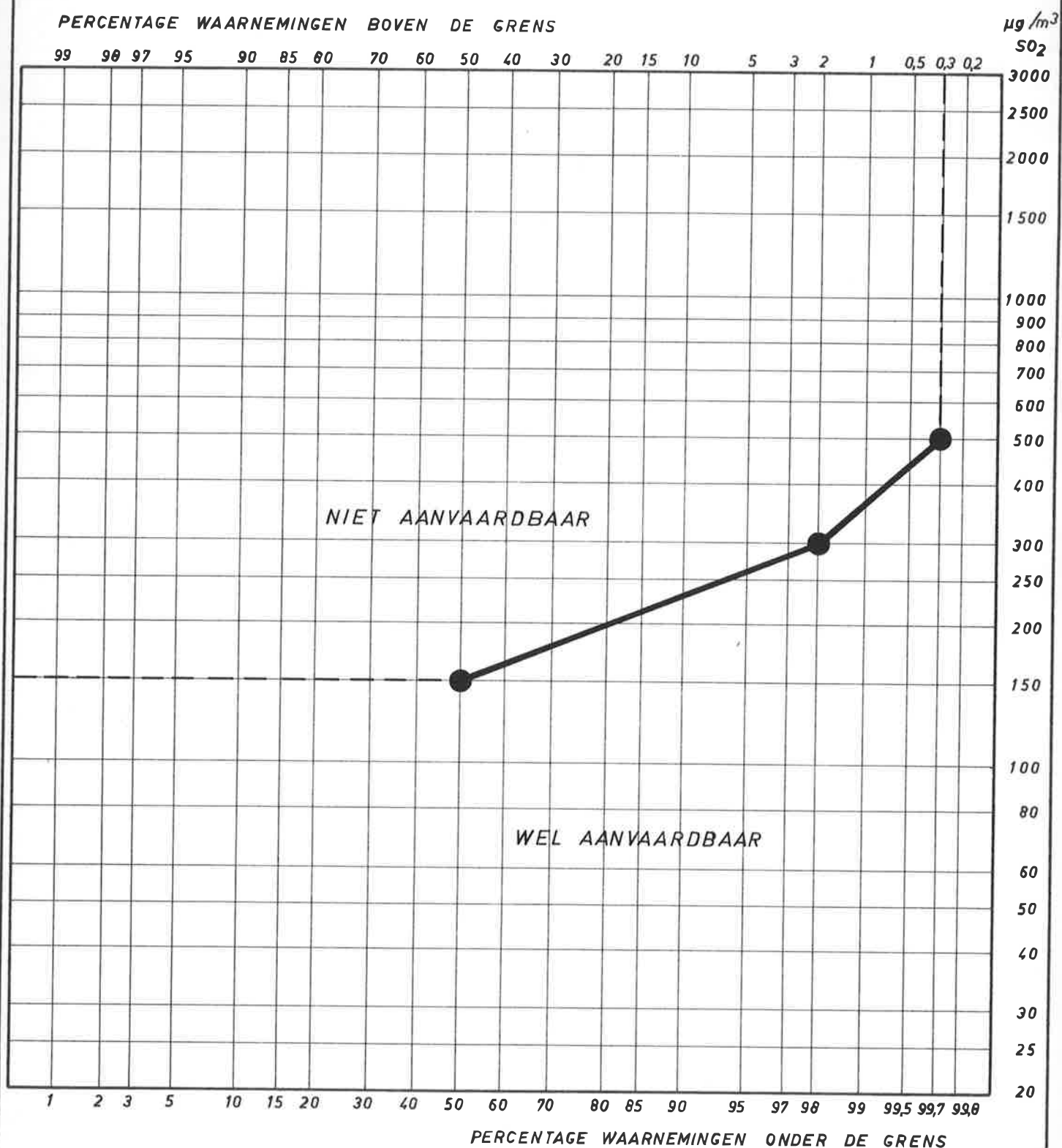


FIG. 11

OVERZICHT VAN BUITENLANDSE NORMEN VOOR SO_2 EN VAN DE GRENSWAARDEN
ZOALS WEERGEGEVEN IN FIG. 11

A. WEERGAVE IN EEN DIAGRAM VOOR DE CUMULATIEVE FREQUENTIEVERDELING
VAN 24-UURSWAARDEN GEDURENDE EEN JAAR

B. PIEKCONCENTRATIES

