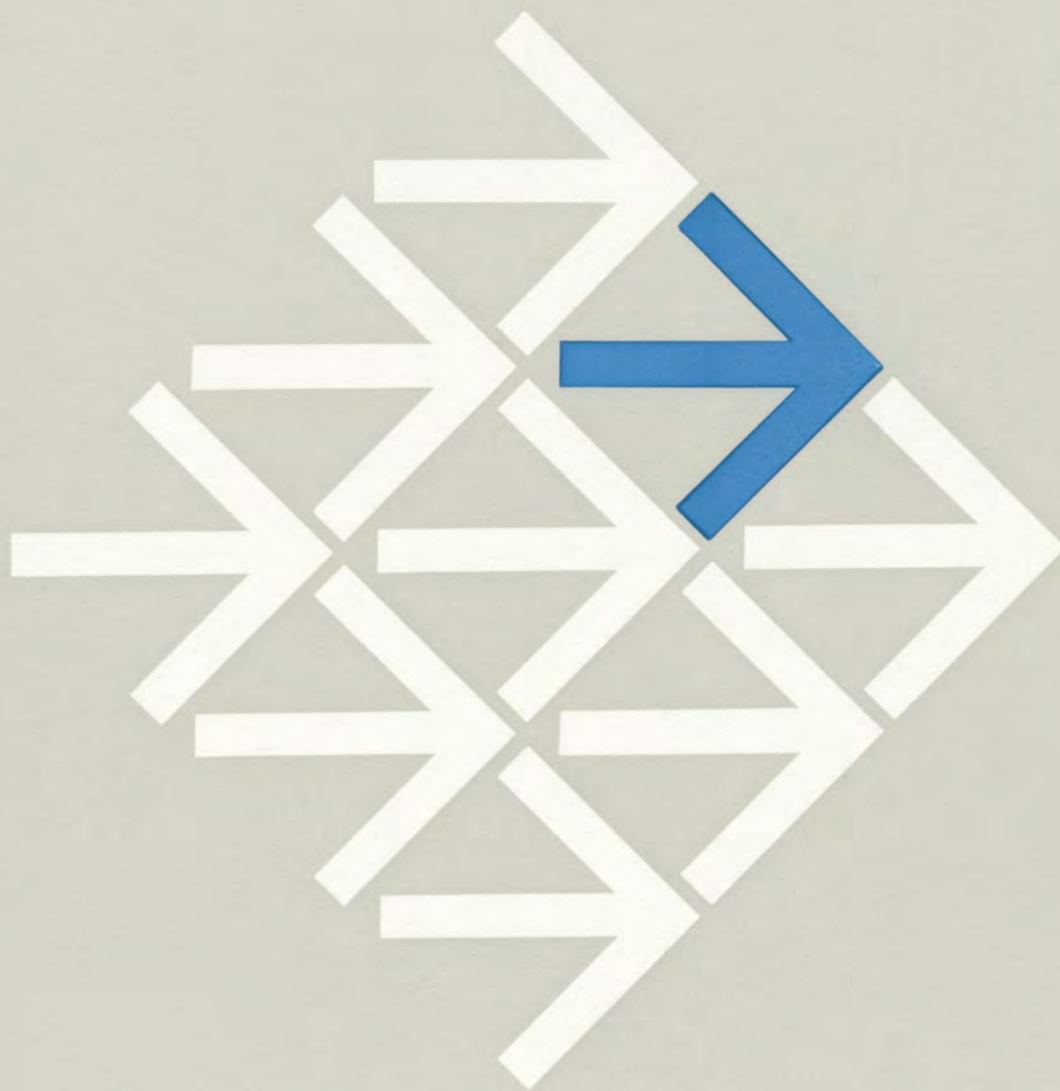


## Mens en Milieu, deel 2 Zorg voor zuivere lucht

door

Stuurgroep en  
Werkgroepen  
voor Milieuzorg  
van het KIVI



De **STICHTING TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK** is op 6 februari 1968 opgericht door het Koninklijk Instituut van Ingenieurs met als doelstelling:

het initiëren, begeleiden en ondersteunen van studies die beogen, vanuit verschillende gebieden van de techniek, bij te dragen tot meer integrale visies op de samenleving van de toekomst; voorlichting te geven of mede te werken bij het geven van voorlichting, in het bijzonder aan de Nederlandse samenleving, over de mogelijke toekomstige ontwikkelingen der techniek met het oogmerk hierdoor bij te dragen tot het op harmonische wijze invoegen van die ontwikkeling in de samenleving. De voorlichting, zowel van de Stichting zelf als van de Stichting in samenwerking met andere organisaties, zal geschieden in algemeen toegankelijke wetenschappelijke publikaties.

Een overzicht van reeds verschenen en van binnenkort uit te geven publikaties is gegeven aan de binnenzijde van het achterblad. De publikaties kunnen rechtstreeks bij de Stichting worden besteld.

De Stichting is gevestigd in het gebouw van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs, Prinsessegracht 23, 's-Gravenhage, tel. 070-646800.



# TOEKOMSTBEELD DER TECHNIEK

---

## Mens en Milieu, deel 2 Zorg voor zuivere lucht; Technische en bestuurlijke mogelijkheden

door  
Stuurgroep en  
Werkgroepen  
voor Milieuzorg  
van het KIVI





## Voorwoord

Deze publikatie is het tweede deel van een serie van drie door de Stichting Toekomstbeeld der Techniek uitgegeven studies over "Mens en Milieu".

Deze serie is het vervolg op Stichtingspublikatie nr. 8, "Mens en Milieu, Prioriteiten en Keuze", die als preadvies diende bij het jaarcongres van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs op 3 juni 1971 (zie hiervoor ook *De Ingenieur* 83, 30, A 489-527). Naar aanleiding van dit jaarcongres werden tien Klvl-werkgroepen opgericht, vaak van zeer verscheiden samenstelling. Over de resultaten van hun werk doet deze serie van drie publikaties verslag.<sup>1)</sup>

De verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke presentatie van het werk ligt bij de stuurgroep Milieuzorg, die het geheel coördineerde. Deze stuurgroep heeft een aantal praktische maatregelen moeten treffen om voor de afzonderlijke werkstukken een eenheid van presentatie te vinden. Zo zorgde hij zelf voor een verbindende of aanvullende tekst, geholpen door een aantal auteurs buiten de stuur- en werkgroepen, die op verzoek een gewenste aanvulling leverden. Waar, ten behoeve van de eenheid, de eindtekst van een werkgroep een wijziging moest ondergaan, is de goedkeuring daartoe aan de betreffende werkgroep bij monde van zijn voorzitter gevraagd. De stuurgroep heeft er overigens naar gestreefd de deelbijdragen zoveel mogelijk intact te laten. Dit betekent dat de opvattingen van de werkgroepen niet door de stuurgroep zijn aangetast, ook in die gevallen waar die opvattingen niet door de stuurgroep worden gedeeld. Bij ieder hoofdstuk en iedere paragraaf die in gezamenlijke arbeid tot stand kwam, is aangegeven wie medewerkte.

De drie delen Mens en Milieu verschillen in opzet, zoals uit de samenvattingen in hoofdstuk 1 van het voor U liggende deel moge blijken.

Het eerste deel: "Beheerste groei" (publikatie 16) kwam tot stand omdat tijdens het Klvl-jaarcongres bleek dat veel leden het zouden waarderen als de ingenieurswereld zich niet zou beperken tot een uitsluitend technische inbreng. In dit eerste deel is daarom getracht een bredere achtergrond te schilderen waartegen de technische aanbevelingen kunnen worden geprojecteerd en afgewogen. Vanzelfsprekend is daarbij niet op volledigheid aangestuurd. Beperkingen waren nodig. Zo spitst de bijdrage zich vooral toe op de Nederlandse situatie en ook wordt soms volstaan met de uitwerking van één voorbeeld, waar een algemene aanpak (nog) niet is te geven.

Het voor U liggende tweede deel: "Zorg voor zuivere lucht; technische en bestuurlijke mogelijkheden" en het derde deel: "Kringlopen van materie; recirculatie, terugwinning en hergebruik" (publikatie nr. 18) bevatten vooral technische, technisch-economische en technisch-organisatorische analyses en aanbevelingen. Bij de keuze van de studieobjecten is uiteraard getracht duplicering van de zeer vele andere studies op milieugebied zoveel mogelijk te vermijden. In eerste instantie zijn daarom die objecten of facetten in studie genomen waarvan tijdens het Klvl-jaarcongres bleek dat voor een doeltreffende aanpak de beschikbare informatie onvoldoende was.

Het Koninklijk Instituut van Ingenieurs en de Stichting Toekomstbeeld der Techniek beschouwen deze presentatie in een wijder kader als een uitnodiging aan de niet-technische disciplines om te zamen bij te dragen aan de totstandkoming van meer integrale modellen die voor een verantwoord beleid op korte en lange termijn onmisbaar zijn. Deze serie van drie delen moet dan ook worden gezien als een eerste aanzet om tot een beleidsmodel te komen.<sup>2)</sup>

Voor het Klvl blijkt met deze reeks van publikaties weer dat het kan rekenen op zijn leden en op daartoe uitgenodigde andere deskundigen als de problemen van onze samenleving een inzet van de ingenieurswereld behoeven.

Velen hebben voor deze studies niet alleen belangeloos hun ervaring, maar niet zelden ook veel van hun vrije tijd beschikbaar gesteld en soms zelfs materiële offers gebracht.

De Stuurgroep Milieuzorg,  
dr. ir. W. J. Beek, voorzitter  
prof. dr. ir. C. Boelhouwer  
ir. E. F. Boon  
ir. T. K. de Haas, secretaris  
ir. H. Peters  
ir. A. C. Sjoerdsma  
ir. J. Smit

<sup>1)</sup> Het resultaat van één werkgroep (ethervervuiling) valt buiten de opzet van deze publikaties. Het is afzonderlijk in *De Ingenieur* gepubliceerd (*De Ingenieur* 85, 10, 189-195).

<sup>2)</sup> Bijv. in samenwerking met de Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.



# Inhoud

<b>Voorwoord</b>	3	VII. Appendix 2. Berekening personenauto-kilometrage . . . . .	48
<b>Inhoud</b>	5	VIII. Literatuur . . . . .	50
<b>Hoofdstuk 1. Inleiding en samenvattingen</b>	7	IX. Samenstelling van de Werkgroep . . . . .	51
door dr. ir. W. J. Beek			
<b>Hoofdstuk 2. Voorbeelden van emissie en emissievermindering in de industrie</b>	15	<b>Hoofdstuk 4. Verspreiding grondemissies in het stedelijk gebied door de Werkgroep Verspreiding Grondemissies</b>	53
door de Werkgroep Industriële Emissie.		I. Inleiding . . . . .	53
I. Industriële emissie van stof . . . . .	15	II. Meetgegevens over stedelijke luchtverontreiniging . . . . .	56
door ir. C. J. Kapteijns.		III. Rekenmodellen . . . . .	64
II. Emissie van gasvormige koolwaterstoffen bij opslag en transporthandelingen . . . . .	16	IV. Conclusies en aanbevelingen . . . . .	66
door ir. C. R. Stillebroer.		V. Literatuur . . . . .	67
III. Ontwerp en bedrijfsvoering voor minimale lekkage . . . . .	18	VI. Samenstelling van de Werkgroep . . . . .	68
door ir. E. F. Boon en ir. J. de Koning.			
IV. Vermindering van de NO <sub>x</sub> -emissies . . . . .	20	<b>Hoofdstuk 5. Voorbeelden van industrieel beleid</b>	69
door ir. A. J. Elshout, ir. P. L. A. Hamm en drs. W. Takens, bewerkt door ir. W. L. Blanken.		I. Luchtverontreiniging door stof, zwaveldioxyde en stikstofoxyden in de westelijke mijnstreek . . . . .	69
V. Literatuur . . . . .	25	door dr. P. G. Meerman.	
VI. Samenstelling van de werkgroep . . . . .	26	II. Emissiecijfers van DSM-bedrijven te Geleen, nu en in de toekomst . . . . .	75
		door ir. R. Koolwijk.	
<b>Hoofdstuk 3. Voorbeelden van emissie en emissievermindering in het verkeer</b>	27	III. Beleid van Hoogovens t.a.v. luchtverontreiniging en lawaai . . . . .	80
door de Werkgroep Wegverkeer (behalve paragraaf V).		door ir. W. Visser.	
I. Emissie veroorzaakt door het wegverkeer	27	IV. Literatuur . . . . .	85
II. Gezondheid, welzijn en grenswaarden . . . . .	32		
door dr. K. Biersteker.		<b>Hoofdstuk 6. Over emissieinventarisatie en beleid</b>	87
III. Lood in benzine . . . . .	34	I. Korte geschiedenis van het Nederlandse emissiebeleid . . . . .	87
door ir. J. K. P. Sloos.		door ir. E. F. Boon en ir. T. K. de Haas.	
IV. Mogelijkheden van schonere automobielmotoren . . . . .	36	II. TÜV-methode voor de industrie . . . . .	88
door prof. ir. J. J. Broeze.		door ir. E. F. Boon.	
V. Luchtverontreiniging op en nabij luchthavens . . . . .	39	III. Inventarisatie van de emissiegegevens voor verkeer en huisbrand (methode TEBODIN) . . . . .	89
bewerkt door prof. dr. ir. C. Boelhauer en ir. T. K. de Haas.		door ir. P. Buis en dr. ir. J. de Graauw.	
VI. Appendix I. Verantwoording van de basisgegevens voor de berekening van emissies door het wegverkeer . . . . .	46	IV. Naar een geïntegreerd milieubeleid . . . . .	93
		door ir. E. F. Boon.	
		V. Literatuur . . . . .	94



# Hoofdstuk 1. Inleiding en samenvattingen

door dr. ir. W. J. Beek

## Mens en Milieu, deel 2, Zorg voor zuivere lucht; technische en bestuurlijke mogelijkheden.

Dit tweede deel van drie over "Mens en Milieu, Prioriteiten en Keuze" geeft het resultaat van de in 1971 bij het KIVI-milieucongres aanbevolen studies over de kwaliteitsverbetering van de lucht.

Deze aanbevelingen betroffen nadere studies over:

- de specifieke emissies, onderverdeeld naar industrietak, vooral over de belangrijke grondemissies (niet-beheerste verliezen) van de belangrijkste vervuulende stoffen (stof, koolwaterstoffen en stikstofoxyden);
- de emissie en de mogelijkheden tot emissievermindering in het verkeer, dat een substantiële bijdrage geeft tot de nationale vuillast in de lucht en dat moeilijk onder controle is te krijgen vanwege het feit dat het vele kleine bronnen betreft;
- de verspreiding van verontreinigingen in de lucht, wederom met de nadruk op de verspreiding van grondemissies in een stad of een bedrijf, met als doel de samenhang tussen emissie en immissie te kunnen kwantificeren;
- de mogelijkheden om via een integrale emissie-inventarisatie te komen tot een effectief emissiebeleid, dat zowel recht doet aan het streven naar openbare controle als aan de dringende noodzaak de specifieke kennis bij de bedrijven te benutten.

Deze vier hoofdthema's vindt de lezer in deze volgorde in de volgende hoofdstukken terug. Het laatste thema, over het beleidsvraagstuk, is in tweeën gesplitst: voorbeelden over het beleid van twee grote industrieën gaan vooraf aan het voorstel van de studiegroep om tot een geïntegreerd beleid te komen, waarin overheden en industrieën samen ten volle hun verantwoordelijkheden kunnen dragen en hun specifieke kennis kunnen inbrengen.

De hoofdconclusies van dit deel zijn tweërlei:

- met betrekkelijk geringe technische ingrepen en met relatief geringe kosten is de vuillast in de lucht aanzienlijk terug te dringen; het is vooral een kwestie van politieke wil en organisatie (wetgeving, "good housekeeping" en inspectie);
- een beleid gericht op het terugdringen van emissies (d.w.z. uitworp aan de bron) is effectiever en efficiënter dan een beleid gericht op het verminderen van immissies (d.w.z. lokale concentraties).

Voordat nu de volgende vijf hoofdstukken ieder voor zich worden samengevat, rest nog één algemene opmerking. De luchtvervuiling is wellicht in haar gevolgen minder belangrijk dan de water- en bodemvervuiling. De keuze van de luchtvervuiling als studieobject is dan ook een weinig opportunistisch: een aantal werkgroepen boden zich juist voor dit thema aan. De stuurgroep zag er een voordeel in eerst eens te ondervinden hoever het KIVI kon komen met ver-

dieping en ordening van de kennis op dit relatief eenvoudige gebied.

In hoofdstuk 2, "Voorbeelden van emissie en emissievermindering in de industrie", worden achtereenvolgens besproken de industriële (grond-)emissie van stof en van gasvormige koolwaterstoffen, de maatregelen nodig in het ontwerp en in de bedrijfsvoering van de installaties om tot minimale lekkage te komen en het terugdringen van de emissie van stikstofoxyden in industriële fornuizen en elektrische centrales. Het bleek niet mogelijk goed gefundeerde verbeteringen voor te stellen in de emissieschattingen zoals die voor de lucht reeds werden gepubliceerd<sup>1)</sup> tijdens het genoemde KIVI-congres van 3 juni 1971.

Voor beleidsoverwegingen is dat ook niet erg urgent, omdat het voor vele beleidsoverwegingen voldoende is een goed inzicht te hebben in de orde van grootte van de bijdragen in de vervuiling, onderverdeeld naar specifieke stof en naar bedrijfstak. Voor regionale saneringsmaatregelen is wellicht een iets grotere nauwkeurigheid nodig. Daarom is het toe te juichen dat de "Urgentienota Milieuhygiëne" van de vorige minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne een minder globale, nationale emissie-inventarisatie aankondigt. Deze studie geeft een aantal methoden voor het vaststellen en registreren van zulk een inventarisatie, die in hoofdstuk 6 staan beschreven en waarop ook bij de samenvatting van dat hoofdstuk wordt ingegaan.

Het gebodene over de mogelijkheden tot emissievermindering in de industrie is dan ook meer van kwalitatieve dan van kwantitatieve inhoud.

Ir. C. J. Kapteyns bespreekt de mogelijkheden tot beperking van het verlies aan vaste stof (granen, ertsen, kolen) bij overslag, transport en opslag. Het huidige verlies voor iedere stap in het hanteren van deze materialen blijkt te liggen in de orde van 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> van de gehanteerde hoeveelheid. Dit kan met zeer eenvoudige middelen zeker worden teruggebracht tot de helft à een kwart van dit bedrag. Vooral het verlies van zwevend stof (deeltjes kleiner dan 10 µm, de boosdoeners) is aldus sterk tegen te gaan. Goede voorschriften voor de constructie van grijpers, transportbanden, trechters enz. en voor het aanbrengen van sproei-installaties zijn daarbij een vereiste (een taak voor een normcommissie van het KIVI?), evenals een goede inspectie op de navolging van die voorschriften.

Ir. C. R. Stillebroer beschrijft het verlies van gasvormige koolwaterstoffen bij opslag (ademverliezen) en bij transport (verdringsverliezen bij het vullen van

<sup>1)</sup> W. J. Beek, Wat is de omvang van de milieuverontreiniging, Publikatie nr. 8, Mens en Milieu, Prioriteiten en Keuze, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage, 1971.



tanks, uitdampingsverliezen van vrije oppervlakken en schoonmaakverliezen). Hij geeft een overzicht van de praktijkregels waarmee deze verliezen zijn te schatten. Ze liggen, indien bij atmosferische druk wordt gewerkt, in de orde van grootte van  $\frac{1}{4}^0/00$  van de bewerkte hoeveelheid per handeling. Een goede constructie van de vaten en ruimten (een optimale verhouding buitenoppervlak tot inhoud, een minimaal vrij vloeistofoppervlak), een warmte-isolatie op mantel en dak (die zichzelf vaak betaalt), het wit schilderen van het buitenoppervlak en een goede bedrijfsvoering (niet te vaak en te lang tijden van leegstand, een goed werkend en goed afgesteld druk- of vacuümventiel) kunnen de verliezen vaak terugbrengen tot ongeveer de helft van die welke men bij het ontbreken van deze maatregelen aantreft.

Verdrijvingsverliezen bij het vullen van tanks en verdampingsverliezen kunnen eerst goed worden voorkomen, indien een dampretoursysteem wordt aangebracht. Deze verliezen zijn het grootst voor kleine eenheden (kleine schepen, spoorwagens, auto's) en wel des te groter — natuurlijk — naarmate de dampdruk van de vloeistof hoger is. Soms zijn partiële oplossingen voorhanden (zoals bijv. de positieve carterafzuiging bij de nieuwe typen auto's). Toch is op dit gebied meer innovatie vereist, zo men deze verliezen van de kleine eenheden ook minstens wil halveren. (Een niet ver van de bodem geplaatst koelement, dat als condensor gaat werken zodra het boven het vloeistofniveau komt is hier wellicht soms een oplossing. WJB).

Schoonmaakverliezen zijn de grootste zorg. Een hoeveelheid schoonmaakwater van de orde van de tankinhoud is nu nodig om olieresten ter grootte van  $1^0/00$  van de tankinhoud te verwijderen. Een goed filter vangt hiervan slechts  $\frac{2}{3}$  deel (dat dan opnieuw kan worden verwerkt). Ook hier ligt nog een alledaags terrein dat om meer technologisch ontwikkelingswerk vraagt.

Samenvattend kan worden gesteld dat het verlies aan vluchtige vloeistoffen bij opslag en transport met betrekkelijk eenvoudige middelen nog aanzienlijk is te beperken. Het geringere verlies betaalt vaak de kosten voor de te nemen maatregelen, zoals de petroleumindustrie reeds over de laatste 40 jaren aantoonde (zie Mens en Milieu, Prioriteiten en Keuze, 3 juni 1971, blz. 22). Goede voorschriften en een adequate inspectie om de gehele industrie tot "the best practicable means" te brengen, zijn wederom vereist. Onderzoek naar het verminderen van verdrijvings- en verdampingsverliezen van kleine eenheden en naar schoonmaakverliezen van grotere eenheden is gewenst.

Ir. E. F. Boon en ir. J. de Koning behandelen de verliezen door flensafdichtingen en door asafdichtingen van afsluiters, pompen en compressoren. De keuze van het pakkingmateriaal voor de flens, de pakkingdruk en de zorgvuldigheid bij de montage (beschadigingen, montagefouten) blijken in belangrijke mate het verlies te bepalen en verklaren de grote verschillen in de verschillende opgaven voor gemeten verliezen. Duitse inspecteurs gebruiken voor hun schattingen een verlies per seconde en per strekkende meter pakkingstrek van  $50 \mu\text{g}$  voor gassen en van  $500 \mu\text{g}$  voor vloeistoffen. Bedrijfsproeven in ons land wijzen uit dat zorgvuldig verricht onderhoudswerk

aan goed gestandaardiseerde flenzen die een hoge pakkingdruk toelaten, deze verliezen bijna met een orde van grootte kan verminderen. Overigens kan een beteugeling van het verlies nog vaak worden gevonden in een vermindering van het aantal flensverbindingen. Ook op dit gebied kan met gecontroleerde voorschriften veel worden bereikt. Dat is ook nodig, want hier ligt een aanzienlijke verliespost, evenals bij de asafdichtingen van afsluiters, pompen en compressoren.

Veel van de nu bekende mogelijkheden om de verliezen bij asdoorvoeringen tegen te gaan zijn nu nog te duur om in het groot ingang te vinden (zoals ondergedompelde pompen, afdichtingen met membranen en balgen enz.). Zouden er echter voorschriften bestaan over de toegestane lektheid (zoals ze bestaan t.a.v. de sterkte-eisen van apparaten), zouden de vergunningen voor bedrijven gebonden zijn aan beproevings-eisen op lektheid vóór het in bedrijf nemen (waarvoor de auteurs meetmethoden geven) en zouden we typekeuringen kennen voor apparaten en hun onderdelen op grond waarvan ze al dan niet op de markt worden toegelaten (zoals nu bijv. is voorzien voor automobielen), dan is het vrijwel zeker dat de technische wereld ook met oplossingen komt. (Zou hier een taak voor het KIVI kunnen liggen? WJB). De oplossingen liggen binnen ons bereik.

Ir. W. J. Blanken, ir. A. J. Elshout, ir. P. L. A. Hamm en drs. W. Takens bespreken de mogelijkheid om de emissie van stikstofoxyden te beteugelen. Niet behandelen zij het verkeer als bron, dat voor ongeveer de helft voor deze emissies verantwoordelijk is (in hoofdstuk 3 wordt het verkeer als emissiebron besproken), wel de industriële verbrandingsprocessen en de fornuizen van elektrische centrales, die ongeveer in gelijke delen voor de rest verantwoordelijk zijn. Ook hier blijkt dat tegen geenszins prohibitieve kosten de processen zo kunnen worden gewijzigd, dat de relatief duurdere nabehandeling van het afgas minder omvangrijk wordt. Een reductie van ca. 1.000 tot ca. 200 ppm  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$ ) in het rookgas, d.w.z. van ca. 15 tot 3 kg per ton olie of gas is reeds nu mogelijk indien de brander- en vuurhaardconstructie en de bedrijfsvoering optimaal worden gekozen. Dit optimum wordt bereikt indien de verbrandingstemperatuur en de verblijftijd van de gassen bij die temperatuur naar boven worden begrensd en een combinatie van luchtvermaat en hoge temperatuur wordt vermeden. Dit wordt bereikt door kleine, gescheiden vlammen met hoge impuls toe te passen, getrapte verbranding in te voeren, een juiste verdeling en plaatsing van het warmtewisselend oppervlak te kiezen en een deel van de rookgassen te laten circuleren. Het optimaliseren van constructie en bedrijfsomstandigheden is vooral mogelijk geworden doordat onlangs een meter voor stikstofoxyden is ontwikkeld (berustend op het chemi-luminescentieprincipe) die het juiste meetbereik en voldoende meetnauwkeurigheid heeft.

Brandstof met een hoog koolstofgehalte en dus met een hoog kooldioxydegehalte in de afgassen levert een relatief hoog percentage stikstofoxyden, vanwege de katalytische invloed hierop van de kooldioxyde. Kolen leveren dus meer van deze verontreiniging dan olie of gas. Daar binnen één generatie olie en gas door kolen zullen worden verdrongen, is een ontwik-



kelingsprogramma om tot beter geconstrueerde verbrandingsinstallaties voor deze brandstof te komen reeds nu op zijn plaats.

Zou men de na-oxydatie van stikstofmonoxyde tot -dioxyde in de installatie willen verminderen, dan bereikt men dit louter psychologische voordeel van vrijwel kleurloos afgas door een compacte bouw en het vermijden van wijde schoorstenen.

De auteurs behandelen ook de verschillende beschikbare processen om stikstofoxyden uit afgassen te verwijderen. Eist men een uitstoot van minder dan 1,5 kg stikstofoxyde per ton olie of gas, dan is ten opzichte van de huidige bedrijfsvoering een reductie met wel 90% nodig. Voor deze reductie komen in aanmerking: absorptie in vloeistoffen, adsorptie aan vaste stoffen en katalytische reductie tot stikstof en water. Het laatste proces lijkt om een aantal redenen, waaronder de economische, vaak de meest aangewezen methode.

In **hoofdstuk 3** worden voorbeelden van **emissie en emissievermindering in het verkeer** gegeven. De problemen samenhangend met het verkeer zijn vele: ruimtegebruik bij beweging en parkeren, onveiligheid, geluidshinder, brandstofverbruik en afvalgassen en slijtage (autowrakken, oude banden, afval-smeerolie). De werkgroep bestudeerde slechts het probleem van de afvalgassen: emissie van koolmonoxyde (CO), koolwaterstoffen ( $C_xH_y$ ) en stikstofoxyden ( $NO_x$ ), de grenswaarden die hieraan worden gesteld, de consequenties van de vermindering van lood in de benzine en de mogelijkheid van schonere motoren.

De samenstelling van de werkgroep was garant voor een integrale aanpak van het veld: vertegenwoordigers van het onderwijs in de verkeer- en vervoer-kunde, van de volksgezondheid en haar inspectie, van een autofabrikant en van een benzinefabrikant. Uitvoerig geeft de werkgroep verantwoording van een rekenmethodiek om tot een emissiekadaster voor het motorverkeer te komen. Ter illustratie voert ze deze berekeningen uit voor geheel Nederland, West-Nederland en Rijnmond. Later, in het zesde hoofdstuk, zal blijken hoe deze methodiek kan worden ingepast in het opzetten van een compleet emissiekadaster.

Bij het opstellen van vuistregels en van de rekenmethode voor de emissie van het wegverkeer ging het niet in de eerste plaats om een zo nauwkeurig mogelijke vaststelling van de hoeveelheden. Belangrijker was het inzicht in de factoren die de emissies beïnvloeden en in de onderlinge verhoudingen tussen de verschillende soorten wegverkeer. Het resultaat kan nationaal als volgt worden samengevat:

*Emissies wegverkeer voor geheel Nederland in 1970 (1.000 ton/jaar)*

	CO	$C_xH_y$	$NO_x$
viertakt benzinemotoren	1078	141	94
tweetakt benzinemotoren	158	105	—
dieselmotoren	22	10	50
	1258	256	144

De totalen komen redelijk overeen met de schattingen die we in juni 1971 publiceerden voor 1970: CO 1800,  $C_xH_y$  460 en  $NO_x$  280, waarbij het voorbehoud van

een onnauwkeurigheidsmarge van een factor 2 werd gemaakt. De nu gepubliceerde cijfers hebben een steviger ondergrond, alhoewel ze sterk gevoelig blijken voor de veronderstellingen die men moet maken, zoals bijv. de onderlinge verhouding tussen diverse rittypen (stadsrit, regiorit en buitenrit).

Ondanks dit voorbehoud, kan het volgende worden gesteld:

- vermindering van de CO-emissie zal in de eerste plaats moeten worden bereikt door verbeteringen aan viertakt motoren;
- bij maatregelen ter vermindering van de koolwaterstofemissie zal de categorie tweetakt motoren (bromfietsen) evenzeer de aandacht moeten hebben als de categorie viertakt motoren (personenauto's);
- bij maatregelen ter vermindering van de emissie van stikstofoxyden zal de categorie dieselmotoren (vrachtverkeer) evenzeer de aandacht moeten krijgen als de categorie viertakt motoren (personenauto's).

Door middel van typekeuringen en het verplicht stellen van een periodieke controle op de juiste afstelling is de emissie ook van de huidige typen personenauto's ongeveer te halveren tot 160 g per liter brandstof voor een stadsrit of 80 g per liter brandstof voor een buitenrit. Door typekeuring zou de bromfiets met viertaktmotor te bevorderen zijn, waarmee de emissie van koolmonoxyde door bromfietsen aanzienlijk kan worden teruggedrongen (nu: 630 g per liter brandstof).

Koolwaterstofemissies vinden plaats door verdamping uit tank, carburator en carter en via de uitlaatgassen. Deze laatste variëren voor personenauto's tussen 20 en 50 g per liter benzine, afhankelijk van het rijpatroon. De verdampingsverliezen uit de tank en de carburator bedragen samen ongeveer 5 g per liter brandstof. De vulverliezen van de tank zijn even groot; hierop werd in hoofdstuk 2 reeds de aandacht gevestigd, hetgeen daar leidde tot een pleidooi voor voorzieningen. Deze zouden van een eenvoudig type moeten zijn, te vergelijken met dat wat in de moderne auto's de carterverliezen vrijwel tot nul terug bracht. Voor de grote post, de verliezen van onverbrande koolwaterstoffen in de uitlaatgassen, zijn de mogelijkheden tot vermindering nog beperkt: na-oxydatie in de uitlaat met behulp van een injectie van warme lucht (in de Verenigde Staten voorzien tegen 1975) en katalytische naverbranding (nog in ontwikkeling). Door middel van na-oxydatie zou de  $C_xH_y$ -emissie van personenauto's te halveren zijn.

De emissie van stikstofoxyden (van dezelfde orde van grootte als die van koolwaterstoffen) door automobielen is terug te dringen volgens de overwegingen die reeds in hoofdstuk 2 werden genoemd. Een juiste afstelling van de zuurstofverhouding in het verbrandingsmengsel halveert de uitworp en constructieve verbeteringen (in de V.S. voorzien in 1976) reduceren het verlies nog eens tot een kwart (nu: 1,2 g per liter brandstof voor een stadsrit en 3,8 g per liter voor een buitenrit).

Ir. J. K. P. Sloos behandelt het lood in de benzine. Het terugbrengen van de hoeveelheid lood in de benzine tot nul vraagt niet alleen aanpassing van de con-



structie van de viertaktmotor, maar verhoogt ook het benzineverbruik (met ongeveer 20%). Uit milieuhygiënisch oogpunt heeft dit geen duidelijke prioriteit boven de terugdringing van de reeds genoemde emissies. De werkgroep beveelt daarom aan dit pas opnieuw te overwegen zodra de overige voorzieningen zijn getroffen. Indien tot katalytische naverbranding van koolwaterstoffen moet worden overgegaan, is het loodvrij maken van de benzine een noodzaak, daar lood de katalysator vergiftigt. De werkgroep wijst voorts nog op de mogelijke schadelijke invloeden van asbestvezels, die vrijkomen door slijtage van de koppelingsplaten en de remvoering, en van benzopyreen. Vooral ten aanzien van het asbest bepleit ze nader onderzoek om tot gefundeerde normen te komen. Er lijken voldoende aanwijzingen te bestaan hier reeds nu beperkende regels te stellen.

Prof. ir. J. J. Broeze verwacht niet dat op afzienbare termijn de viertakt benzinemotor op enige schaal door schonere motoren, zoals de Stirlingmotor (heet gas) of de Rankinemotor (stoom), vervangen kan worden. De eis om een groot bereik aan snelheden te kunnen bestrijken blijft een belemmering.

Van de elektrisch aangedreven auto wordt niet verwacht dat hij de huidige auto op enige schaal kan vervangen.

Prof. dr. ir. C. Boelhouwer en ir. T. K. de Haas bewerkten een rapport van ir. H. A. Meester-Broertjes, die aan de hand van richtlijnen van ir. W. F. P. M. Van de Weijer de emissies van het luchtverkeer op Schiphol bestudeerde (koolmonoxyde, koolwaterstof, stikstofoxyde en roet). Slechts bij stabiele weersituaties kunnen lokaal door dit verkeer de emissies aan koolwaterstoffen en stikstofoxyden tot (volgens in de V.S. gehanteerde normen) ongewenst hoge immisies leiden. De keuze van de te stellen norm is een politieke beslissing en vergt niet alleen kennis over wat met min of meer moeite haalbaar is, maar ook een beoordeling van het met de normstelling te bereiken doel. Er is dan ook geen reden om op grond van deze overwegingen nu reeds restricties in de vliegbewegingen op Schiphol te overwegen. Het wegverkeer rondom de nationale luchthaven kan al tot meer van deze verontreinigingen aanleiding geven. Sanering van het autoverkeer verdient dan ook prioriteit boven dat van het luchtverkeer (t.a.v. de emissiebestrijding).

De auteurs gebruiken voor het berekenen van immisiewaarden uit emissiewaarden (nodig om de immisies met een norm te kunnen vergelijken) een viertal verspreidingsmodellen, die nogal uiteenlopende resultaten geven omdat ze voor verschillende situaties werden opgesteld (weersverschillen, geometrische verschillen), overigens alle op grond van summere gegevens.

Daar normstelling en saneringsmaatregelen wel gebaseerd zullen moeten zijn op enig inzicht in het verband tussen emissie en immissie heeft een andere werkgroep de kennis hierover, vooral t.a.v. de verspreiding van grondemissies in een stedelijk gebied, geanalyseerd.

In hoofdstuk 4, verspreiding grondemissies in een stedelijk gebied, heeft een werkgroep, bestaande uit veertien vertegenwoordigers van verschillende disci-

plines (technologen, meteorologen, milieudeskundigen, milieuhygiënist, inspecteurs van de Volksgezondheid en de Arbeidsinspectie), de bestaande kennis bestudeerd over de verspreiding van verontreinigende gassen in een stad, op korte en lange afstand.

Voor enige steden in ons land en in het buitenland zijn gegevens bekend over de verspreiding van de belangrijkste verontreinigende stoffen. Het blijkt mogelijk met eenvoudige modellen een indruk te krijgen van de bijdrage die verschillende bronnen of groepen van bronnen relatief tot de immissie, gemiddeld over een lange periode, leveren. Saneringsplannen, planologische ingrepen en beoordelingen van nieuwe vestigingen kunnen daarop worden gebaseerd. Voor de beleidsvorming zijn ze voldoende nauwkeurig.

Moelijker is het voorspellen van incidenteel optredende hoge concentraties, zoals die welke wel bij SO<sub>2</sub>-rookverontreiniging worden gevonden. De werkgroep stelt voor tot een bundeling van bestaande activiteiten te komen (als vervolg op de eigen activiteit) om dit probleem sneller en daadkrachtiger tot een oplossing te brengen. Vooral de 2%-overschrijdingskans voor SO<sub>2</sub>-rook (7 dagen per jaar ongeveer) alsook de concentratieverdeling van stikstofoxyden (rekening houdend met het effect van koolwaterstoffen en fotochemische reacties) en de concentratieverdeling van koolmonoxyde vragen de aandacht.

Voor zulke studies zijn meestal veel basisgegevens aanwezig, maar de integratie ontbreekt. Bij de stedelijke en provinciale overheden zijn dikwijls zowel emissie- als immissiecijfers voorhanden, milieuinspecties en G.G.D.'s beschikken over immissiegegevens in relatie tot de door hen gehanteerde normen en over gegevens aangaande klachten en ziektepatronen, terwijl meteorologen en technologen zowel de mechanismen als de beschrijvingswijzen kennen voor de dispersie van componenten in de lucht. Men behoeft in principe slechts vrij ruw (zeg op 50% nauwkeurig) het verband tussen emissie en immissie te kennen om een emissie-controlebeleid te rechtvaardigen, maar de beschrijving moet wel in staat zijn dynamisch te voorspellen hoe bij gelijkblijvende emissies de lokale concentraties veranderen indien de weersomstandigheden zich wijzigen. Voor een beleid om de kans op tijdelijke, lokale overlast terug te dringen, is het onvoldoende indien onze kennis ophoudt bij het huidige niveau (het voorspellen van lokale concentraties, gemiddeld over lange tijd, als resultaat van vele constante bronnen).

Ook indien men de bijdragen tot de lokale vervuiling van het verkeer met zijn piekbelastingen goed wil meenemen in een beleidsmodel (zie hoofdstuk 6), is meer kennis nodig over de verspreiding rond verkeersknooppunten bij wisselende omstandigheden. Slechts dan is in een integrale aanpak van verkeer, huisbrand, industrie en elektriciteitsvoorziening te komen tot een effectieve sanering in die stedelijke gebieden welke daarom vragen. Naast een pleidooi voor prioriteit van onderzoek over de dynamica van de verspreiding op korte en langere afstand, vestigt de werkgroep de aandacht op de soms vrij hoge achtergrondconcentraties in onze grensgebieden, afkomstig van de emissies bij onze naburen. Ook de samenhang hiertussen is nog onvoldoende bekend.

Voorbeelden van industrieel beleid worden in het vijfde hoofdstuk aan de orde gesteld.



De industrie draagt t.a.v. het milieu een verantwoordelijkheid jegens de lokale, de provinciale en de centrale overheden (vastgelegd bijv. in nieuwe milieuwetten, hinderwet, arbeidswetgeving, saneringsbesluiten enz.) en jegens de omwonende bevolking. Op veel plaatsen is de communicatie tussen de industrie en de lokale bevolking de laatste jaren verbeterd (milieukranten, "hearings", "talk-ins" en gesprekken met actiegroepen).

Aan het daadwerkelijk terugdringen van de overlast gebeurt veel (al zullen sommigen het nog niet genoeg vinden). De meeste vervuilingen nemen in absolute bedragen af, per eenheid van produktie nemen ze sterk af. Sommige echt schadelijke lozingen zijn in enige jaren een orde van grootte minder geworden (bijv. van enkele metalen). De verkoop van polychloorbiphenylen (PCB) voor doeleinden waarbij verlies in het milieu van deze zeer toxische stoffen moest worden gevreesd, is vrijwillig door de industrie gestaakt en voor de overige doeleinden is op eigen initiatief een retourstelsel opgezet. De inventarisatie van de lekken is in menige industrie verbeterd met als gevolg betere voorschriften voor bedrijfsvoering, inspectie en controle, onderhoud en schoonmaak. Sommige industrieën vervangen uit eigen beweging apparatuur die niet schoon genoeg werd geacht (bijv. schuifafsluiters door bolafsluiters) en installeerden een centraal afzuigstelsel daar waar lekken (nog) onvermijdelijk zijn of waar regelmatig moet worden schoongemaakt. Eveneens namen industrieën of groepen industrieën initiatief om de gevolgen van hun activiteiten in de omgeving systematisch te vervolgen en waar nodig daarop actie te nemen. Er zijn nog maar weinig fabrieksdirecteuren voor wie de aandacht bij het fabriekshek ophoudt. Niet dat we er al zijn in de oplossing van onze problemen, maar het is onjuist de ogen te sluiten voor de wezenlijke veranderingen die de laatste jaren op gang zijn gebracht. De stuurgroep vroeg twee industrieën, de Staatsmijnen DSM en de Koninklijke Nederlandse Hoogovens en Staalfabrieken, uiteen te zetten welke activiteiten zij ontplooiën om zo milieuvriendelijk mogelijk te produceren.

In een eerste paragraaf behandelt dr. P. G. Meerman hoe DSM op eigen initiatief een lokaal meetnet opzette (voor stof, zwaveldioxyde en stikstofoxyde) en hoe het bedrijf de gegevens daarvan intern en extern gebruikt in de beleidsvoorbereiding.

In een tweede paragraaf behandelt ir. R. Koolwijk hoe de emissiebetegeling bij DSM plaatsvindt van stikstofoxyden, zwaveldioxyde, stof en vllegas en koolwaterstoffen (een toegift in deze paragraaf over de betegeling van de emissies op het oppervlaktewater valt eigenlijk buiten het bestek van dit boekje).

Zij geven aan dat het gehalte aan stikstofoxyden in de afgassen van een oude, onder atmosferische druk werkende salpeterzuurfabriek 4.000 ppm bedraagt (d.i. een stikstofverlies van ca. 3% (mol.) van de gebonden stikstof) en dat dit bij een nieuwe fabriek tot 500 ppm kan dalen. De SO<sub>2</sub>-uitworp van de klassieke zwavelzuurfabriek bedraagt tot 40 kg per ton produkt tegen 2 kg per ton voor de modernere. In de elektriciteitscentrale is door overschakeling op aardgas de emissie van zwaveldioxyde en van vliegias in enkele jaren vrijwel tot nul teruggebracht. De stofemissie is over tien jaren meer dan gehalveerd, eensdeels door het sluiten van de mijnen, anderdeels

door maatregelen bij de toegenomen vaste stof "handling" van kunstmest, melamine e.a. Het verlies aan koolwaterstoffen is ca. 2% (gew.) van de doorzet en dus nog voor verbetering vatbaar; een begin daarmee is gemaakt door een retourstelsel van ontluichtingsleidingen aan te leggen, aangesloten op een centrale gashouder, waardoor vul- en ademverliezen worden voorkomen.

Ir. W. Visser behandelt in de derde paragraaf het milieubeleid bij de Hoogovens. Naast luchtverontreiniging en geluidshinder, die van buiten af de meeste aandacht krijgen, wordt intern ook aandacht geschonken aan de bestrijding van de minder opvallende verontreiniging door afvalwaterlozing en van bodemaantasting.

Hoogovens heeft, zowel vanuit fatsoennormen als vanuit welbegrepen ondernemingsbelang, bij de behandeling van milieuproblemen consequent volledige openheid betracht. Ook reeds lang voordat de overheid over een wettelijk instrumentarium begon te beschikken ten behoeve van preventief en repressief toezicht op industriële milieuverontreinigingen werden (ook kostbare) maatregelen genomen. Aan de samenwerking met de kortgeleden door de provinciale overheid gestichte Werkgroep Milieuhygiëne IJmond ging een veeljarige vorm van technisch vóóroverleg van Hoogovens met de omliggende gemeenten vooraf. In dit vóóroverleg werd het door Hoogovens reeds gevoerde milieubeleid voortgezet en geconcretiseerd.

Er is in deze Werkgroep een saneringsplan voor het Hoogovenscomplex opgesteld dat voldoet aan de huidige inzichten en appreciaties. Enkele punten van dit saneringsplan worden in deze bijdrage nader toegelicht.

In de bestaande systemen van afvangen van zuur-gas (voornamelijk SO<sub>2</sub> en/of HF) en van stofbestrijding bij opslag, transport, de cokesfabrikage, de sintering/pelletisering van ertsdeeltjes, de hoogovens, de staalfabrieken enz., zullen enkele verbeteringen/aanvullingen worden aangebracht. Deze systemen zullen nog meer dan voorheen op hergebruik resp. behandeling vóór lozing worden aangepast.

Hoogovens was behulpzaam met het inrichten van landbouw-proefvelden.

Er is voorts een meetnet voor immissiebewaking in bedrijf gesteld, aangevuld met enige geluidsmeeptunten. Voor diverse problemen is nog researchwerk gaande.

**Hoofdstuk 6. Emissie-inventarisatie en beleid.** Hoe kan nu het voorgaande worden gebruikt bij beleidsoverwegingen.

De hoofdstukken 2 en 3 toonden aan dat men voor de industrie en voor het verkeer kan komen tot streefwaarden per luchtvervuiler (bijv. auto of industrie-groep) en per eenheid (bijv. ton produkt of autokilometer). De streefwaarden zijn gebaseerd op de huidige stand van onze kennis en op de "best practicable means". Het blijkt dat wanneer men met een benadering onder deze invalshoek aan de vervuilers oplegt deze (vaak zeer eenvoudige) maatregelen in te voeren, de vervuiling minstens nog met een factor twee (maar vaak met meer) kan worden teruggedrongen. In hoofdstuk 4 werd aangetoond hoe de over langere tijd gemiddelde immissies, voortkomend uit vele (lage en hoge) bronnen, voldoende nauwkeurig zijn te schatten ten behoeve van de beleidsvoering. Omgekeerd



kan men — terugrekenend van de te stellen normen (die een politieke keus zijn, mede gebaseerd op overwegingen van de volksgezondheid) — bepalen welke grenzen er aan de verschillende emissies zijn te stellen. Dit levert de mogelijkheid per regio nuanceverschillen in de streefwaarden toe te laten. Immers, het zou niet optimaal zijn voor industriegebieden dezelfde eisen te stellen als voor woon- of natuurgebieden.

Hoofdstuk 5 gaf voorbeelden hoe de industrie vaak reeds zelf, gebaseerd op de kennis van de technische mogelijkheden en op het inzicht in de lokale verhouding van emissie en immissie, tot streefwaarden komt. De vraag is nu aan de orde of een beteugelingsplan en de controle daarop meer dan voorheen een gezamenlijke inspanning kan worden van industrie en overheid, recht doende aan beider expertise en verantwoordelijkheid en verschoond blijvende van een langzaam werkende bureaucratistische ballast. In 1971 gingen onze gedachten daarover uit naar een wet tot openbaarmaking van stof- en warmtebalansen (evenals jaarrekeningen) en tot het deponeren hiervan bij de overheid (evenals bij de belastingen). Die aanpak is te globaal, te onnauwkeurig, te administratief en te eenzijdig gericht op de industriële bedrijvigheid alleen. Toch moet uitvoering worden gegeven aan het voorstel van de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne van 4 juli 1972 om tot een "registratie van de emissies van de industrie, het verkeer, de huishoudens en eventuele andere bronnen" te komen. Voor de industrie kan daar een taak liggen bij zijn brancheorganisaties en zijn regionale organisaties.

Ir. E. F. Boon beschrijft in hoofdstuk 6 hoe de organisatievormen in ons land en in het buitenland (bijv. de Duitse Technische Überwachungs Vereine, de TUV's) zijn gegroeid en hoe de nationale situatie is te benutten voor dit nieuwe doel.

Met name blijkt dat we veel van onze naaste oosterburen, waar het emissiekadaster reeds vrijwel tot vervolmaking kwam, kunnen leren. Naar schatting zou een dergelijke opzet voor geheel Nederland vier jaar en f 10 miljoen kosten. Het zou de basis kunnen zijn voor een verantwoorde planologische keuze voor de industrie-, woon- en recreatiegebieden en hun uitbreidingen ten opzichte van natuurgebieden. Deze opzet is ook nodig om tot een verantwoorde derde nota over de ruimtelijke ordening te komen.

De geschatte kosten van f 10 miljoen voor de vaststelling van de emissie moet men in relatie zien tot een immissiemeetnet voor Nederland, dat — voor een voldoende aantal componenten — in de orde van f 100 miljoen zou kosten. De stuurgroep ziet beperkte immissiemeting dan ook slechts als controle op de emissiemeting.

Emissie is gemakkelijker te meten en beter als beleidsinstrument te hanteren. Beleidsvoering op basis van emissiegegevens is snel en goedkoop en behoeft niet onnauwkeuriger te zijn dan beleidsvoering op grond van immissiegegevens. Derhalve is het eerste te verkiezen. Een immissie-meetnet van beperkte opzet kan zinvol zijn vanwege zijn bewakingsfunctie, ten behoeve van regionale normstelling en als controlemogelijkheid daar waar geheel nieuwe prognoses van de immissie op basis van nieuwe emissiegegevens gewenst zijn (bijv. bij nieuwe vestigingen). Het opzetten van een nieuw informatiesysteem ten behoeve van het beleid kost tijd (vier jaren). Ir. P. Buis en dr. ir. J. de Graauw gingen voor de Rijnmond na hoe op basis

van de beschikbare gegevens (bij de verkeerspolitie, de gas- en elektriciteitsbedrijven, de sleepbootdiensten enz.) reeds snel tot een eerste opzet voor een emissiekadaster voor de niet industriële bronnen is te komen. Het blijkt dat de noodzakelijke gegevens reeds vrijwel voldoende voorhanden zijn, zij het gespreid over soms onverwachte plaatsen. Het is dus geenszins onmogelijk om in die gebieden waar de vraag naar beleidsrelevante gegevens groot is, reeds snel tot een eerste opzet van een kadaster te komen, nog voordat een voor ons land aangepast TUV-systeem zal werken.

Wederom blijkt, aan het slot van dit deel, dat veel van wat er moet gebeuren niet zozeer een kwestie is van techniek of van economie, maar meer van politieke wil en organisatie.

Teneinde de samenhang met de overige delen van deze studie goed te benadrukken, is in het navolgende nog een samenvatting van de inhoud daarvan gegeven.

### Mens en Milieu, deel 1, Beheerste Groei.

Het eerste deel van de serie probeert een algemeen overzicht te geven van de problematiek en de mogelijke aanpak daarvan vanuit het gezichtspunt van de beheerste groei.

Er zijn acht ingangen gekozen tot dit onderwerp, n.l. chemisch-fysisch, ecologisch, sociologisch-futurologisch, ethisch, planologisch, demografisch, economisch en organisatorisch-bestuurlijk.

Er worden zes hoofdproblemen van de chemisch-fysische benadering uit gezien, die uitmonden in de volgende aanbevelingen:

- kernsplijting als energiebron dient met voorrang verder te worden ontwikkeld, maar niet zonder daarnaast minstens één andere mogelijkheid voor energievoorziening op grotere schaal tot maatschappelijke volwassenheid te brengen en niet zonder een beteugeling van de stijging in het energieverbruik;
- een naar de wezenlijke behoefte gestuurde (bijv. door een progressieve prijsstelling) en gecontroleerde distributie van energie, water en grond als instrument van overheidsbeleid is nodig;
- naast bestemmingsheffingen op afvalwater om daarmee een geïntegreerde afvalzuiveringsindustrie op te bouwen en verboden van bepaalde lozingen (o.a. sommige metalen), dienen nog andere maatregelen ter beperking van de volumestroom afvalwater te worden genomen;
- er dienen methoden te worden ontwikkeld voor planning per regio en per bedrijfstak in samenwerking met de industrie op basis van kwantitatief inzicht (inclusief databanken).

Ecologisch gezien zijn er vier gebieden van technische activiteit: natuur-, gezondheids-, cultuur- en normale techniek, die ieder een eigen doel nastreven en daarbij tot zowel gewenste als ongewenste neveneffecten aanleiding geven. Door op de ongewenste neveneffecten weer met technische maatregelen te reageren, eindigt men dikwijls met symptoombestrijding. Een meer geïntegreerde aanpak wordt bepleit met technici die begrijpen dat technische maatregelen maar één ingang tot het probleem zijn.



Een vluchtige verkenning van de wereld van morgen eindigt bij vrij veel vragen over de wereld die wij nastreven. Sommige daarvan, voor de komende generaties van belang, zijn reeds met redelijke zekerheid te noemen, zoals: voortgaande urbanisatie en industrialisatie (grote werkverbanden, ook in de tertiaire sector), toenemende vraag naar overheidszorg, toenemende bureaucratie, blijvende inflatiedruk, risico's van opleidingsoverschotten en een nog grotere popularisatie van onze samenleving. Dit geeft aanleiding de stuurmiddelen en de mogelijke gevaren in deze ontwikkeling nader te bezien. Ook de rol van de technologie in die wereld en de mogelijke rol van de industrie worden nader bekeken. De hoofdconclusies zijn:

- de industriële bedrijvigheid zal voor zijn maatschappelijke waarde niet zozeer op zijn individuele produkten moeten worden getoetst, maar meer op de mate waarin ze een sector van onze samenleving daadwerkelijk ondersteunt;
- een beter evenwicht tussen basisindustrie en verwerkende industrie dient te worden nagestreefd;
- ieder streven naar rendementsverbeteringen van onze processen ten aanzien van energie-, water-, grond- en hulpstoffenverbruik dient te worden bevorderd;
- de industrie dient zelf initiatieven te nemen om haar sociale rol te verbeteren (op gebieden als planning, sociale contracten, inbreng eigen expertise tot algemeen nut, voorlichting, reclame en onderwijs).

Bij het beschouwen van de ethische aspecten van beheerste groei dient niet te worden gezocht naar overleven als norm, maar naar normen voor het overleven. Als basis voor ons handelen kan een ecologische imperatief worden gezien, waaraan onze verantwoordelijkheid jegens de verre naaste (ontwikkelingslanden en komende generaties) kan worden ontleend. Deze ecologische imperatief leidt ook tot een rechtvaardiger verdeling en een versterking van onze democratie. Gelijkheid niet als uniformiteit, maar met ruimte om verschil in aanleg te cultiveren, doch wel gelijkheid als minimum garantie voor een ieder om aan cultuur toe te komen.

De planologische ontwikkeling toont aan dat als de trend zo voortgaat als nu, dit zal leiden tot onmogelijkheden en dus tot problemen. Het planologische gebruik van onze totale ruimte is aan een herwaardering toe. Onze huidige bevolking stelt eisen aan de totaal beschikbare ruimte waaraan nu reeds niet meer in alle opzichten is te voldoen. Een herwaardering van de vier genoemde categorieën van bodemgebruik is noodzakelijk.

In de gevolgderegenerering schuilen diverse onbewezen aannamen. De beschouwing beoogt echter slechts om met globale berekeningen aan te tonen dat zelfs zonder bevolkingstoename reeds ernstige herbezinning op onze planologie nodig is. Het lijkt niet waarschijnlijk dat de gewenste nadere studie tot een meer geruststellende conclusie zou komen. Dit wordt nog ernstiger indien men analyseert wat de ruimteclaims, met name voor het wonen, aan saneringsmaatregelen vergen. Grote stedelijke gebieden met hun wegen dienen herbouwd te worden; wat voorsprong leek, wordt snel achterstand. Eén van de externe sociale kosten van alle bouwnijverheid is de onvermijdelijke

afbraak na gebruik. Onze en de komende generaties zullen een enorme prijs moeten betalen voor het feit dat deze externe kosten nooit zijn verrekend. Wellicht zullen we dat voor toekomstige bouwactiviteit wel moeten doen, indien we met de reeds te hoge planologische bevolkingsdruk in ons land willen leven.

De bevolking blijft voorlopig groeien. Als we de huidige, gunstige tendens vasthouden, tot ongeveer 17 miljoen. Stabilisatie tot dit aantal door het jaarlijkse geboortenaantal constant te houden, zal, gezien de huidige leeftijdsopbouw van onze samenleving, nog niet eens vanzelfsprekend gebeuren, maar veel waakzaamheid en begeleiding vereisen. Aangetoond wordt hoe in dit opzicht de komende dertien jaren van essentiële betekenis zullen worden voor de demografische ontwikkeling in ons land.

Een bewuste bevolkingspolitiek is geboden, die streeft naar het sociaal doen aanvaardden van het gemiddelde kindertal dat behoort bij het gekozen stabilisatiepunt, en die een ruim arsenaal van mogelijkheden biedt om het verschil tussen het wenselijke en het werkelijk gerealiseerde kindertal tot nul te reduceren. Verder dient ons migratiebeleid te worden omgebogen, opdat het niet langer leidt tot een positief vestigingsoverschot.

De reeds eerder genoemde criteria: voortbestaan van de volgende generaties en een optimale individuele keuzevrijheid, leidden tot een bestudering van de gevolgen wanneer de vijf doelstellingen van de nationale economische politiek (volledige werkgelegenheid, prijsstabiliteit, evenwichtige betalingsbalans, rechtvaardige inkomensverdeling en evenwichtige groei) worden uitgebreid met instandhouding en bescherming van het milieu en met een beheerste exploitatie van de grondstoffenvoorraden. De groei en dus het onderzoek en het investeringsbeleid zullen meer moeten worden gericht op gebruikmaking van de "flow" (kringloop-economie) i.p.v. van de "stock". Verder zullen de externe sociale kosten zoveel mogelijk in de prijs van goederen en diensten moeten worden doorberekend, opdat een marktmechanisme blijve werken. Een directe toewijzing door de overheid van goederen en diensten zou tot een minimum moeten worden beperkt.

Een volledige kringloop-economie zou in twee fasen kunnen worden uitgevoerd. In de eerste fase zullen met behulp van integrale marktprijzen vervuiling, congestie en ook grondstoffen (water)- en energieverbruik worden afgeremd en zullen technische remedies worden ontwikkeld. In de tweede fase kunnen de meest vervuilende industrieën die elders wel verantwoord kunnen produceren, ons land verlaten, terwijl bij ons de dienstensector (die overigens op zich lang niet altijd minder milieubelastend is) een nog grotere economische betekenis zal krijgen. Het eenzijdige gebruik van het argument dat een initiatief tot goed milieubeleid kan leiden tot concurrentienadeel, wordt kortzichtig bevonden; de keerzijde van datzelfde argument is dat we een groeiende achterstand weer in een voorsprong kunnen omzetten.

De doorberekening van de externe sociale factoren kan worden bereikt door retributies, bestemmings- en niet bestemmingsheffingen, subsidies en belastingfaciliteiten. Aanbevolen wordt dat de individuele brancheorganisaties zelf voorstellen uitwerken hoe met deze middelen op hun terrein de zesde, nieuwe doel-



stelling van de economische politiek is te verwezenlijken. Naast maatregelen als verboden, rantsoenering, opvoeding en voorlichting is dit de meest vrije, meest efficiënte en meest zekere weg.

De overheden hebben zich nog niet ingericht om een complexe industriële maatschappij te kunnen leiden. Niet alleen dat het soms aan voldoende kwantitatieve bestuurs technieken en aan het daarvoor gekwalificeerde vakmanschap ontbreekt, ook voor de organisatievormen zou men nieuwe wegen moeten ontwikkelen. Zonder twijfel behoort een geïntegreerd waterbeheer tot de eerste prioriteiten in ons land. Daarom werd bestudeerd wat een integraal beleid, organisatorisch-bestuurlijk, voor het waterbeheer zou betekenen. De bundeling van deelbelangen als afvalwaterzuivering, drinkwatervoorziening, industriewatervoorziening, land- en tuinbouw, recreatie, scheepvaart, visserij en waterregulering vraagt een model waarin de gevolgen van een beleidsmaatregel kunnen worden getoetst. Om beleidscentralisatie en beheersdecentralisatie te kunnen bereiken wordt de instelling van een Planbureau Waterbeheer bepleit. Omdat door de snel evoluerende bestuursstructuren (o.a. portefeuillevordering, gewestvorming e.d.) ook een nu voorgestelde concrete organisatievorm voor het waterbeheer spoedig achterhaald zou zijn, is een aantal principes en voorwaarden opgesteld waaraan elke organisatiestructuur voor het waterbeheer zal moeten voldoen. Aansluitend aan desbetreffende passages in andere hoofdstukken wordt tenslotte een aanzet gegeven tot het ontwikkelen van enkele bestuursinstrumenten voor het waterbeheer. Momenteel is er het plan van de Ministerraad om te komen tot een Milieuraad, aan wie de voorbereiding tot een integrale planning voor het milieubeleid is op te dragen. Dat is in de bestaande structuur een zware taak. Wellicht ware het beter volgens de grote lijnen die hier zijn gegeven, eerst te komen tot een raad of commissie die deze taak alleen voor het waterbeheer krijgt toegewezen. Daar ligt voor Nederland de eerste prioriteit. Zodra er op dit gebied vorderingen zijn, zou de taak (en samenstelling) van zulk een raad kunnen worden uitgebreid.

### Mens en Milieu, deel 3, Kringlopen van Materie

Het derde deel van de serie "Mens en Milieu" is gewijd aan een aantal meer specifieke onderwerpen, waarbij de mogelijkheden van recirculatie, terugwinning en hergebruik van materialen en grondstoffen centraal staan. Deze onderwerpen betreffen:

— de vaste afvalstoffen en de mogelijkheden tot re-

generatie van waardevolle bestanddelen hierin: metalen, glas, papier, compost enz.;

- de verwerking van *autowrakken* tot schroot;
- het probleem van de oude *autobanden* waarvoor op korte termijn verbranding onder beheer de enige reële oplossing lijkt, al worden enkele alternatieve mogelijkheden genoemd die gericht zijn op de bereiding van bruikbare grondstoffen;
- de verontreiniging van het oppervlaktewater door de *veehouderij*, als gevolg van de gelukkig alleen plaatselijk optredende grote mestoverschotten; landelijk gezien is er echter geen sprake van een overschot aan organische mest; een oplossing is dus in principe mogelijk door volledige recirculatie, mits een doelmatige distributie kan worden gerealiseerd; economisch is dit niet steeds aantrekkelijk; alternatieve methoden voor de verwerking van de mestoverschotten, bijv. door biologische afbraak of door verbranding, zijn echter nog niet voldoende onderzocht;
- de toepassing van *proces- en koelwater* in de industrie; een balans van de waterverbruiken en een prognose voor de toekomstige ontwikkeling hiervan worden gegeven; van koelwater en afvalwater worden de diverse mogelijkheden van serieschakeling en recirculatie behandeld, en het principe van een integrale waterhuishouding besproken.

Al vertonen de hierboven genoemde onderwerpen weinig samenhang en hebben zij betrekking op zeer verschillende situaties, toch blijken er bij alle verschillen in problematiek duidelijke overeenkomsten wat betreft een aantal conclusies en aanbevelingen, zowel ten aanzien van mogelijke technische voorzieningen als van bestuurlijke en organisatorische aspecten.

Dit geldt o.m. voor het vraagstuk van transport en distributie, dat vaak doorslaggevend is bij recirculatie en hergebruik van materialen, en voor dat van de financiering van de kosten van afvalverwerking. In verschillende gevallen blijken er voor de oplossing van de problemen diverse alternatieven mogelijk te zijn die geen van alle economisch aantrekkelijk zijn, maar anderzijds toch ook weer niet zodanige financiële consequenties met zich brengen dat een meer gedetailleerde vergelijkende studie niet alleszins gerechtvaardigd is; deze moet niet alleen een zo kwantitatief mogelijke optimalisering ten doel hebben, maar vooral ook leiden tot de bevordering van een zo rechtvaardig mogelijke verdeling van lasten en verantwoordelijkheden over alle betrokkenen.



# Hoofdstuk 2. Voorbeelden van emissievermindering in de industrie

door Werkgroep Industriële Emissies

## I. Industriële emissie van stof

door ir. C. J. Kapteyns

### Inleiding

Industriële grondemissies van stof vinden vooral plaats bij de opslag, de overslag en het transport van een aantal bulkgoederen, waarvan granen, ertsen en kolen wel de belangrijkste zijn. In deze bijdrage wordt getracht voor ertsen en kolen een kwantificering van deze emissie te geven. Daarnaast wordt een aantal maatregelen opgesomd die òf reeds in de praktijk worden toegepast, dan wel in de toekomst zullen worden toegepast om de emissies van stof tot een laag niveau te beperken.

### Kwantificering

Door de uitgebreidheid van de hier ter sprake komende bronnen is het niet mogelijk de emissies direct door metingen te bepalen. Men moet genoegen nemen met immissiemetingen dicht bij de bron en met schattingen op grond van visuele waarnemingen. Het is duidelijk, dat de kwantificering van de emissies op deze basis een moeilijke zaak is. Toch wordt in de praktijk vrij algemeen gerekend met een stofemissie van 0,5-1,5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> van de "productie". Daarbij kan dan de emissie tijdens de opslag ruwweg gelijk gesteld worden aan de emissie tijdens overslag en transport. Bij stof wordt onderscheid gemaakt tussen grof stof (>10 µm) en zwevend stof (<10 µm) wegens de verschillende verspreidingskarakteristieken en de verschillende effecten in het milieu. Er zijn meetmethoden beschikbaar om van beide categorieën afzonderlijk de concentratie in de lucht te bepalen. Het is echter niet mogelijk op grond van aldus verkregen resultaten uitspraken te doen over de hoogte van de emissies van de afzonderlijke categorieën.

### Maatregelen

#### *Bij de overslag*

Wanneer met hijskranen wordt overgeslagen, zijn de volgende maatregelen mogelijk:

- grijpers gebruiken die goed afsluiten, zodat uit de gesloten grijper geen stof wordt gemorst;
- grijpers op een zo gering mogelijke hoogte openen; eventueel een vergrendeling aanbrengen die te vroeg openen onmogelijk maakt;
- de trechters waarin wordt gelost, voorzien van verhoogde wanden, van afzuiging en ontstopping of van een sproeiinstallatie (afhankelijk van de omstandigheden).

Wanneer de overslag plaats vindt met transportbanden zijn de mogelijkheden:

- de banden van windschotten voorzien of geheel omkassen;
- de overstort- en afstortpunten voorzien van afzuiging en ontstopping of van sproeiinstallaties; de afgezogen lucht of het gebruikte sproeiwater kunnen van stof worden ontdaan.

#### *Bij het transport naar en vanaf de opslag*

- op de transportbandsystemen kunnen de bovengenoemde voorzieningen worden aangebracht;
- op de ophoop- en afgraafmachines kunnen sproeiinstallaties worden aangebracht.

#### *Bij de opslag*

De bestrijding van verstuiving op opslagen levert nog wel de grootste problemen op. De volgende maatregelen worden met meer of minder succes genomen.

- Aanbrengen van sproeiinstallaties.  
Een moeilijkheid hierbij is vaak de beperkte plaatsingsmogelijkheid in verband met de nodige bewegingsvrijheid van de ophoop- en afgraafmachines zoals bulldozers, motorschoppen, wielgravers e.d.
- Aanbrengen van een beschermende laag op de opgeslagen goederen. Een aantal stoffen is hiervoor beschikbaar (bitumen, polymeren zoals vinylacetaat) die, mits op de juiste wijze aangebracht, gedurende lange tijd een goede bescherming tegen verstuiving geven. Deze maatregel is echter alleen zinvol bij opslagen die lange tijd onaangeroerd blijven en niet bij mobiele hopen.
- Afdekken van de opslagen.  
Door de hoge kosten wordt deze methode in de praktijk alleen toegepast bij stoffen die niet nat mogen worden.
- Aanbrengen van windschermen of beplanting rond de opslag. Dit kan nuttig zijn bij kleine opslagen. Bij grote opslagen kan de invloed van de wind niet voldoende worden geëlimineerd.

### Beoordeling van de maatregelen

Afzuiging en ontstopping bij overstort- en afstortpunten kunnen de stofemissie ter plaatse met 50-80% doen dalen.

Omkasting van transportbanden geeft vrijwel volledige bescherming tegen verstuiving.

Door het aanbrengen van sproeiinstallaties bij stortpunten kan de stofemissie aldaar met 50-80% worden verlaagd. Bij opslagen ligt het wat moeilijker door de plaatsingsproblemen en de nadelige invloed van de wind op de verspreiding van het water.

In het algemeen is voor een snelle en goede bevochtiging de toevoeging van een oppervlakte-actieve stof aan het water vereist.

Beschermende lagen kunnen, evenals afdekking, de



stofemissie tot nul reduceren. Wanneer goede voorzorgen worden genomen, kunnen lagen worden aangebracht die lange tijd intact blijven. Weer en wind hebben daarop dan ook weinig invloed.

## II. Emissies van gasvormige koolwaterstoffen bij opslag en transport-handelingen

door ir. C. R. Stillebroer

### Soorten van verliezen

De volgende emissietypen worden besproken:

- verdrijvingsverliezen;
- ademverliezen;
- schoonmaakverliezen;
- uitdampverliezen.

Het American Petroleum Institute heeft hiervoor een serie voorschriften uitgegeven [1-13].

### Verdrijvingsverliezen

Deze vinden plaats bij het verpompen van vloeibare koolwaterstoffen naar ladingtanks van schepen, spoorwagens en vrachtauto's, zomede naar opslagtanks met een vast dak, waarin slechts een geringe overdruk ( $2.000 \text{ N/m}^2 = 200 \text{ mm waterdruk}$ ) toelaatbaar is. Ook het pompen van ballastwater in ladingtanks van schepen geeft een verdrijvingsverlies.

De volumestroom van koolwaterstofgassen en lucht of inert gas is bij benadering gelijk aan de volumestroom van de verpompte vloeistof. Indien de damp verzadigd is, is de volumetrische samenstelling gegeven door de verhouding van de actuele dampspanning tot de (atmosferische) dampdruk in de beschouwde ruimte.

Is de dampspanning van een koolwaterstofverbinding bijv.  $0,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , dan is 20% (vol.) aan koolwaterstofgas in de damp aanwezig. Vaak is de damp niet in verzadigde toestand; dan moet alsnog met de verzadigingsgraad worden vermenigvuldigd, d.w.z. met het quotiënt van de aanwezige koolwaterstoffen en de in verzadigde toestand maximaal aanwezige koolwaterstoffen in hetzelfde volume.

### Ademverliezen

Deze emissies vinden plaats bij atmosferische opslag-tanks en vervoermiddelen als gevolg van volumeveranderingen van de dampkamer en door verdamping van vloeistof ten gevolge van:

- warmteoverdracht door convectie (invloed van temperatuur en windsnelheid en van verschillen tussen dag en nacht);
- warmteoverdracht door straling (zoningstraling tot  $1 \text{ kW/m}^2$  loodrecht op de stralingsrichting; 's nachts uitstraling).

### Schoonmaakverliezen

Opslagtanks en vervoermiddelen worden bij schoonmaken eerst geheel ontgast en vervolgens schoongespoeld om aanroeringen aan bodem en wand (roest, zand/klei, olieresten) en plassen op de bodem weg te spoelen.

### Uitdampverliezen

Deze vinden voornamelijk plaats bij contactoppervlakken van vloeibare koolwaterstoffen en (open) lucht, zoals bij olie/waterafscheiders, riolen en goten.

**Verliezen bij grote schepen** (supertanker, very large crude carrier = VLCC)

### Lossen

Bij het uitpompen van de lading treedt lucht toe in het schip; er is dus geen verdrijvingsverlies van koolwaterstoffen.

### Ballasten

Bij het toevoeren van ballastwater naar de ladingtanks wordt 10 à 15% van de scheepsinhoud gevuld, waarbij een verdrijvingsverlies optreedt. Niet meege-rekend behoeft het toevoeren van ballastwater (= havenwater) naar speciale watertanks.

Voorbeeld: bij het ontladen van 1.000.000 ton van een bepaalde ruwe olie, waarvan de soortelijke massa  $850 \text{ kg/m}^3$  en de verzadigde dampspanning bij heersende temperatuur  $0,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  bedraagt, wordt ballastwater in 12,5% van de ladingruimte toegevoerd. Het verdrijvingsverlies zou bij 100% verzadigingsgraad liggen op

$$\frac{1.000.000}{0,85} \times 0,125 \times 0,2 = 30.000 \text{ m}^3 \text{ koolwaterstofgas.}$$

Stel dat de verzadigingsgraad in dit geval 20% is, dan is bij aanname van een gemiddelde dichtheid van de ontijkende koolwaterstoffen van  $2,5 \text{ kg/m}^3$  de emissie:

$$0,2 \times 30.000 \times 2,5 \text{ kg} = 15 \text{ ton per 1.000.000 ton aan-gevoerde ruwe olie.}$$

### Beladen

Het verdrijvingsverlies is hier voor een ruwe olie met een soortelijke massa van  $850 \text{ kg/m}^3$  en een verza-digde dampspanning bij heersende temperatuur van  $0,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$  bij 40% verzadigingsgraad:

$$\frac{1.000.000}{0,85} \times 0,2 \times 0,4 \times 2,5 \text{ kg} = 230 \text{ ton per 1.000.000}$$

ton.

Opmerking 1: De verzadigingsgraad is bij het toevoeren van ballastwater relatief laag, daar kort te voren lucht in de ruimte is toegevoerd (tijdens het ontladen). Bij het beladen met olie treedt vrij snel enige verdamping op bij het grensvlak olie/lucht; dit geeft een relatief hogere verzadigingsgraad.

Opmerking 2: De verdrijvingsverliezen zijn niet constant met de tijd. De ladingtanks van een VLCC zijn van een orde van grootte van 30 à 40.000  $\text{m}^3$  per stuk. Bij het toevoeren van vloeistof zal de emissie per volume-eenheid in het algemeen toenemen naar mate het vloeistofniveau hoger is.

### Varen

Ademverliezen treden bij het varen met een geheel gevuld schip in geringe mate op. Bij een leeg schip zullen deze verliezen aanmerkelijk groter zijn; hierdoor kan het gevaar ontstaan dat het dampmengsel



in het explosieve gebied komt (hoe groter het schip, des te lager zal de koolwaterstofconcentratie zijn). Deze ademverliezen zullen overigens nauwelijks op land waarneembaar zijn; op grond hiervan vindt geen nadere bespreking plaats.

### Opslagtanks (voor nagenoeg atmosferische druk)

#### Tanks met drijvende daken

Het verdrijvingsverlies is verwaarloosbaar, daar het dak steeds ter hoogte van het stijgende vloeistofniveau blijft drijven. De emissies worden voornamelijk gevormd door een uitdampingsverlies bij bevochtiging van de binnenwand en wel van het deel dat boven het drijvende dak uitsteekt.

De totale jaarlijkse emissie wordt meestal berekend volgens [6] en wel als volgt:

$$L_y = K_t \cdot D^{1,5} \left\{ \frac{P}{14,7-P} \right\}^{0,7} \cdot V_w^{0,7} \cdot k_s \cdot k_c \cdot k_p$$

wanneer  $D \leq 150$  ft; bij grotere diameter wordt

$$D^{1,5} \rightarrow 150^{1,5} \times \frac{D}{150}$$

Hierin zijn:

$L_y$  = volumetrisch vloeistofverlies in "barrels" per jaar (1 barrel = 0,159 m<sup>3</sup>);

$K_t$  = constante voor type dek (voor dubbel dek  $K_t = 0,045$ );

$D$  = diameter van de tank in "feet" (1 foot = 0,305 m);

$P$  = verzadigde, actuele dampspanning (psia), afgeleid van de RVP (Reid vapor pressure) bij 100° F (3 psia = 0,2 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>);

$V_w$  = gemiddelde (jaarlijkse) windsnelheid (miles/hour) (1 zeemijl = 1853 m);

$k_s$  = constante voor de afdichting (Nederlandse typen:  $k_s = 1$ );

$k_c$  = constante voor de vloeistof (1 voor benzine; 0,75 voor ruwe olie);

$k_p$  = verffactor (1 voor lichtgrijs en aluminium; 0,9 voor wit).

Voor opslagtanks van 120.000 m<sup>3</sup>, met ruwe olie met een dampspanning van 0,2 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>, opgesteld aan de kust (windsnelheid gemiddeld 5,4 m/s), volgt hieruit een totale jaarlijkse emissie van 180 ton koolwaterstoffen per 1.000.000 ton opgeslagen ruwe olie, indien de tanks aluminiumkleurig zijn geveerd. Voor de ontvijkende koolwaterstoffen is hierbij een dichtheid van 550 kg/m<sup>3</sup> in de vloeistoffase aangenomen.

Opmerkingen:

- voor geheel wit geveerde tanks is de jaarlijkse emissie 10% lager;
- bij windstil weer is de actuele emissie vrijwel nihil;
- drijvende daken zijn in het algemeen gewenst voor tanks groter dan 15.000 m<sup>3</sup>, indien deze dienen voor opslag van vloeibare koolwaterstoffen waarvan de verzadigde dampspanning groter is dan ca. 1.000 N/m<sup>2</sup> absoluut (0,01 ata of 7,6 mm kwikdruk).

#### Tanks met vaste daken

Tijdens het vullen vindt een verdrijvingsverlies plaats zodra het veiligheidsdrukventiel opent (vaak bij 200 mm waterdruk, doch dikwijls wordt een extra flens

of een mangat opengesteld). De berekening van de emissie is daarom nagenoeg gelijk aan die bij het beladen van schepen. De verzadigingsgraad ligt echter hier in de regel hoger. Voor de berekening van de jaarlijkse emissie wordt vaak de "turnover" factor gebruikt, d.w.z. het quotiënt van het per jaar toegevoerde vloeistofvolume en het volume van de tank. Meestal zijn de ademverliezen echter belangrijker. Voor de berekening van deze beide emissies wordt vaak gebruik gemaakt van API-bulletin 2518 [7]. Een algemeen emissiecijfer is niet te geven, daar de "turnover" factor en andere factoren een grote rol spelen, zoals:

- actuele dampspanning van de vloeistof;
- het verschil in dag- en nachttemperatuur;
- kleur buitenmantel en dak; de ademverliezen zijn het geringst bij geheel wit geveerde tanks; voor geheel aluminium geveerde tanks zijn de verliezen 30 à 40% hoger, voor grijs zelfs 35 à 50%;
- verhouding dampvolume tot totaal volume: een geheel gevulde tank geeft de minste ademverliezen, een bijna lege tank de grootste;
- verhouding buitenoppervlak tot inhoud;
- afstelling druk/vacuümventiel.

De verdrijvingsverliezen kunnen vrijwel niet worden voorkomen, tenzij men een damp-retoursysteem naar de verwerkingsinstallatie of het schip kan aanbren-gen.

De ademverliezen kunnen worden beperkt door:

- een goed werkend drukventiel, dat eerst opent bij 200 mm waterdruk voor tanks boven 4.000 m<sup>3</sup> en bij 400 mm voor tanks kleiner dan 4.000 m<sup>3</sup> (mits de tank daarop gebouwd is);
- aanbren-gen van een isolatie op mantel en dak, zoals 40 mm glaswol of 50 mm polyurethaan-schuim met aluminium beplating;
- indien dit niet wordt toegepast, kan tenminste wit worden geschilderd (dak en mantel).

Opmerking:

De ademverliezen zijn waarschijnlijk maximaal bij windstil en wolkeloos weer (maximale zoninstraling tot 1 kW/m<sup>2</sup>; ook de nachtelijke uitstraling is dan maximaal).

### Beladingen van kleine tankers, lichters, auto's en spoorwagens

API-bulletin 2514 [3] geeft voor verdampingsverliezen op basis van 25% gemiddelde verzadigingsgraad bij tankauto's en spoorwagens aan, uitgedrukt in vol. % van de vloeistoflading: 0,017 x TVP, waarin TVP = true vapor pressure in psia.

Voor (kleine) schepen (800-15.000 m<sup>3</sup>) kan men de verladingsverliezen volgens API 2514 stellen op 0,008 x TVP.

De factoren 0,017 en 0,008 zijn de gemiddelden uit series waarnemingen.

Voorbeelden van beladingsemissies (waarbij is aangenomen dat vol.% = gew.%):

TVP psia	kleine schepen ton/1.000.000 ton	auto's/spoorwagens ton/1.000.000 ton
6	480	1.020
4	320	680
1	80	170



De beladingsemissies zijn discontinu en met de volgende vuistregel te berekenen:

tankers	10.000 m <sup>3</sup> , beladingstijd 10 uren (1.000 m <sup>3</sup> /h)
lichters	1.000 m <sup>3</sup> , beladingstijd 4 uren (250 m <sup>3</sup> /h)
spoorwagens	25 m <sup>3</sup> , beladingstijd 20 minuten (75 m <sup>3</sup> /h)
tankauto's	15 m <sup>3</sup> , beladingstijd 12 minuten (75 m <sup>3</sup> /h)

### Schoonmaak- en uitdampverliezen

Deze emissies zijn bijzonder afhankelijk van de situatie. Allereerst vindt afhankelijk van de lokale (veiligheids)voorschriften meestal geen ontgassing plaats: de aanwezige damp wordt uitgedreven door lucht, bijv. door opening van ventilatieluiken of flenzen. Het schoonmaken van de binnenzijde wordt meestal gedaan met (warm) water in een gerichte straal. Bij tankers en opslagtanks voor ruwe olie is de te verwijderen "sludge" meestal een mengsel van roest, zand/klei en olieresten; een goed gemiddelde van het totaal aan resten is wellicht 0,25 vol.% van de totale inhoud, waarvan ca. 30% olieresten.

De hoeveelheid schoonmaakwater ligt in de orde van grootte van de tankinhoud; het water loopt via een olie/waterafscheider naar openbaar water met een oliegehalte van ca. 30 ppm (afhankelijk van de werkingsgraad van het toegepaste type afscheider). De afgescheiden olie (z.g. "slobs") wordt weer gebruikt in het verwerkingsproces of als stookolie.

## III. Ontwerp en bedrijfsvoering voor minimale lekkage

door ir. E. F. Boon en ir. J. de Koning

### Uitdampingsverliezen

Van de emissie van koolwaterstoffen aan een olie/wateroppervlak in lucht is in de literatuur niet veel concreets te vinden. Om de emissies te beperken, kan men wel stellen dat het gewenst is dit contactoppervlak zo klein mogelijk te maken.

Enkele typen olie-waterafscidders, zoals de "corrugated plate interceptor" en de "parallel plate interceptor" zijn in dit opzicht veel gunstiger dan de standaard API olie/waterafscheider [24].

Afdekking met (polyurethaan-) matrassen kan vaak verbetering geven. Opgemerkt dient te worden, dat bij verschillende olie/waterafscidders, open riolen en open goten de kans op stankoverlast groot is. Het verdient aanbeveling het onderzoek op dit gebied nog aan te vullen (TNO en Technische Hogescholen).

### Flensafdichtingen

De lekkage van flenzen loopt zeer sterk uiteen, daar zij afhankelijk is van:

- de stof in de leiding;
- de druk en de temperatuur;
- constante of variabele druk en temperatuur;
- de pakking;
- de pakkingdruk.

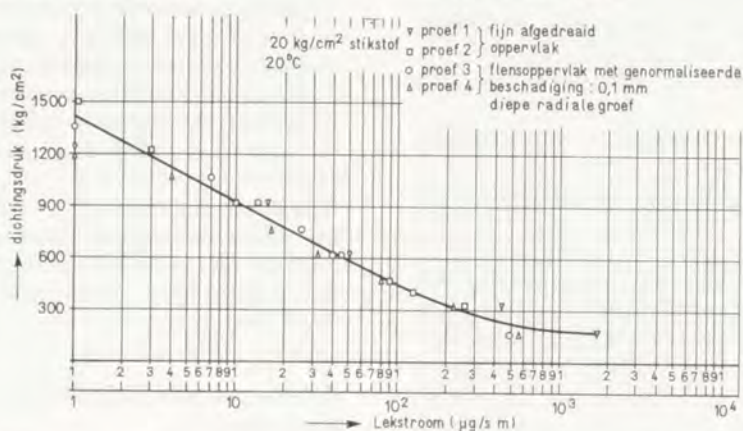


Fig. 1. Lekkage van een asbestrubber flenspakking, 120 mm buiten- en 100 mm binnendiameter, 2,5 mm dik.

De afname van de lekkage bij hogere pakkingdruk blijkt uit figuur 1 (ontleend aan [25]).

De grafiek laat zien hoe bij 20° C en 20 kg/cm<sup>2</sup> stikstofdruk bij een asbestrubber pakking van 2,5 mm dikte de lekkage afneemt van 1.000 tot 1 µg/s per meter flensomtrek bij een toename van de pakkingdruk van 200 tot 1.400 kg/cm<sup>2</sup>.

Bovengenoemde publikatie geeft ook lekkages voor andere typen flenspakking; alle geven een afname van de lekkage bij hogere pakkingdruk en bij hogere temperatuur (pakking vloeit beter). Een 20 kg/cm<sup>2</sup> ethaansysteem met een totale lengte van de flensomtrekken van 100 m zou volgens deze grafiek bij 600 kg/cm<sup>2</sup> pakkingdruk 50 µg/s per meter flensomtrek lekken, derhalve per jaar 50 x 100 x 30 x 10<sup>6</sup> =

150 x 10<sup>9</sup> µg/j (150 kg/j). Hierbij is aangenomen dat de grafiek voor stikstof ook voor ethaan kan worden gebruikt.

De TÜV-Keulen<sup>1)</sup> heeft bij zijn schattingen 50 µg/s per meter flensomtrek gebruikt voor gas en 500 µg/s per meter flensomtrek voor vloeistof, misschien geldig voor DIN-flenzen. Vele Nederlandse petroleum- en petrochemische bedrijven gebruiken flenzen naar Amerikaanse standaard, ASA-flenzen, die een hogere pakkingdruk en derhalve een lagere lekkage mogelijk maken. Bovendien hebben sommige stoffen de eigenschap de pakking te doen zwellen of de lekkagekanalen af te dichten. Juiste keuze van flens en pakking en zorgvuldige montage kunnen derhalve de lekkage van flenspakking tot zeer lage bedragen reduceren. Bedrijfsproeven bij Shell Pernis gaven inder-

<sup>1)</sup> Technischer Überwachungs Verein.



daad aanzienlijk lagere lekkages dan door TÜV-Keulen aangenomen.

Flenzen dient men zoveel mogelijk te vermijden en uitsluitend toe te laten waar zorgvuldige demontage of afklinken van apparaten het toepassen van een flens nodig maakt. Blijkt een flens te lekken, dan blijkt vaak de oorzaak te zijn: beschadiging van flensoppervlak of pakking, verkeerde keuze flens of pakking, montagefout zoals scheve stand van flenzen ten opzichte van elkaar (flenzen moeten zonder boutkracht in lijn en evenwijdig liggen).

In het algemeen: **zorgvuldig monteren voorkomt lekkage.**

#### **Asafdichtingen van afsluiters, pompen en compressoren**

Voor asafdichtingen geldt hetzelfde als voor flensafdichtingen. De meeste lekkage is te wijten aan onjuiste keuze van de afdichting of onjuiste, onzorgvuldige montage.

Afdoende is uiteraard het vermijden van de asafdichting bij roterende pompen en compressoren door de aandrijvende motor binnen het druksysteem van het procesmedium aan te brengen (ingeblikte pompen, "canned pumps"). Pompen voor centrale verwarming en compressoren voor koelkasten draaien in het procesmedium, dus in water, resp. freon.

Voor chemische fabrieken en petroleumraffinaderijen vindt dit systeem wegens hoge fabrikage- en ontwikkelingskosten slechts langzaam ingang.

Afsluiters en compressoren, beide met heen- en weergaande elementen, kunnen met balgen of membranen worden afgedicht. Ook deze oplossing vindt slechts langzaam ingang wegens hoge fabrikage- en ontwikkelingskosten.

Tot nu toe legt de procesindustrie zich hoofdzakelijk toe op het zorgvuldig kiezen en bewaken van afdichtingen en moet daarbij op onderstaande principes letten.

De maximaal toegestane lekkage moet worden voorgeschreven bij aankoop van apparatuur en moet worden gecontroleerd bij afname en in bedrijf. Fabrikanten en verkopers van afdichtingen moeten zich inrichten voor het demonstreren van de goede werking. Monteurs en inspecteurs moeten worden opgeleid in de keuze en behandeling van afdichtingen.

Afdichting van een roterende as is gemakkelijker dan van een heen en weergaande as. Immers bij een roterende as is constructief het handhaven van een minimale lekkagespleet van bijv. 1  $\mu\text{m}$  gemakkelijker dan bij een heen- en weergaande as. Meer en meer vinden sleepringafdichtingen ("mechanical seals") ingang waarbij deze minimale lekkagespleet haalbaar is. Afdichting bij hoge en wisselende temperatuur is moeilijker dan bij normale en constante temperatuur. Deze moeilijke omstandigheden dienen in het ontwerp stadium te worden onderkend en vermeden. De afdichting kan bijv. naar een koude of gekoelde plaats worden verlegd.

Afdichting van bewegende delen geeft uiteraard tevens smeringsproblemen. Heeft de afdichtende stof geen smerende eigenschappen, dan dient een smeermiddel te worden geïnjecteerd tussen de afdichtende vlakken. Veel lekkage wordt veroorzaakt door onvol-

doende toezicht op deze smering of door het ontbreken van de mogelijkheid daartoe.

#### **Lekkagemetingen aan flenzen en afsluiterspindels in de Shell Raffinaderij te Pernis**

##### *Flenzen*

De lek wordt opgevangen in een afgesloten ruimte. Hiertoe wordt de flenspleet omwikkeld met 2 lagen vet "densiband groen", waardoor een meetnippel is gestoken. De lekkanalen langs bouten en moeren worden afgedicht door de boutmoerkoppen af te sluiten met plastic doppen. Deze doppen zijn aan de rand ingesmeerd met een sterk klevend sluitvet, waardoor zowel lekdichtheid als hechting geen verdere voorzieningen verlangen.

De meting zelf wordt uitgevoerd met een gekalibreerd glazen buisje (1 cm<sup>3</sup>), waarin een zeepbel wordt toegelaten. Na aansluiting op de meetnippel wordt het zeepvliesje door de pakkinglek uitgedreven. De tijd benodigd voor het afleggen van een bepaalde afstand wordt met een stopwatch opgenomen. De meetnauwkeurigheid is afhankelijk van de dichtheid van de afsluitcapsule om de flenspleet. Bij het geringste lek in de capsule treedt geen beweging op van het zeepvliesje.

Een vacuümtest op de capsule levert de volgende problemen op:

- de pakkinglek verstoort het vacuüm;
- na een vacuümtest is een urenlang herstel nodig van het leevenwicht voordat weer kan worden gemeten met de zeepvliesmeter;
- een iets te groot vacuüm ondermijnt zwakke plaatsen in de capsule.

Om de — essentiële — dichtheidsgarantie voor de capsuleringsmethode te controleren, werden "pipe dummies" gecapsuleerd en daarop werden de vacuümtests uitgevoerd. Hierbij werd in en om de flenspakking onder gelijk vacuüm gewerkt. Gebleken is dat de dichtheidsgarantie van de afsluitcapsule, mits de capsule op zorgvuldige wijze is aangebracht, voldoende is. De reproduceerbaarheid van de meetresultaten in de proefopstelling met geflensde "pipe dummies" is 100%. In het veld blijkt dat wisselende factoren in en om de leiding de exacte reproduceerbaarheid beïnvloeden. Wel zijn de meetresultaten binnen bepaalde grenzen reproduceerbaar.

##### *Afsluiterspindels*

Het afsluiten van een opvangruimte rond een lekke spindel is niet haalbaar gebleken. Daarom is een benaderingsmethode ontwikkeld.

De lekspleet rond een spindel wordt afgesloten met een schuimmiddel. In het schuim ontwikkelt zich bij lekkage een bellenpatroon, dat in correlatie staat tot de hoeveelheid. Op een leksimulator zijn bij gemeten lekhoeveelheden foto's gemaakt van de bijbehorende bellenpatronen. Door ter plaatse deze referentiefoto's te vergelijken met het gevonden bellenpatroon, kan de lekhoeveelheid worden geschat. Onderzoek heeft aangetoond dat het bellenpatroon gelijk is voor propan, butaan, lucht, stikstof, zuurstof en koolzuur, ongeacht de voordruk. Zwaveldioxyde belet belvorming. Andere gassen werden nog niet onderzocht.



Voor een orde van groottebepaling is deze benaderingsmethode voldoende binnen een gebied van 3-60 liter/uur. De reproduceerbaarheid van het meetresultaat is goed.

Beide door Pernis ontwikkelde methoden zijn echter gevoelig voor storm en regen.

#### Voorschriften voor minimale lekkage

De voorschriften voor procesinstallaties, bijv. voor stoomketels en drukvaten, zijn vooral ontstaan doordat breuk of explosie van een apparaat persoonlijk letsel toebrengt aan het personeel van de fabriek of de omwonenden. Stoomketelexplosies waren in de vorige eeuw de drijfveer voor het tot stand komen van de Stoomwet, Stoombesluiten en het toezicht op het stoomwezen. Lekkage van stoom werd niet gezien als een ernstig gevaar.

Anders is thans de situatie in de petroleum- en de chemische industrie, waar lekkage van brandbare, giftige of stinkende stoffen gevaar of hinder veroorzaakt. Daarom zal het nodig zijn naast voorschriften voor de sterkte van apparaten, ook voorschriften voor de *lektheid* op te stellen. Het is merkwaardig dat hieraan zo weinig aandacht is besteed. Alleen installaties, waarbij lekkage de werking sterk benadeelt (hoog vacuüminstallaties) of groot gevaar veroorzaakt (atoominstallaties), hebben voorschriften voor dichtheid.

Het ligt voor de hand bij de aankoop van apparatuur, zeker van afdichtingen, dichtheidseisen te stellen en bij afname de dichtheid (maximaal toegestane lekkage) te beproeven. Verder zou de overheid bij de vergunningen voor een bedrijf dichtheidseisen kunnen stellen.

Aanbevolen wordt, evenals bij automobielen, over te gaan tot invoering van *typekeuring* van apparaten en onderdelen, o.m. pakkingen en afsluiters.

De bedrijfsvoering stelt als belangrijkste eis het *zorgvuldig werken* ("good housekeeping"). Inspecteurs voor bedrijf en onderhoud dienen regelmatig de dichtheid te controleren. Onvermijdelijke lekkages moeten worden afgezogen. Reeds lang heeft iedere meelfabriek een afzuigstelsel; bij enkele fabrieken in de Rijnmond zuigt men de lekkage van pakkingbussen af, evenals de lekkage bij reparaties en monsternamen. Deze eenvoudige maatregel (een centraal afzuigstelsel) is nauwelijks kostbaar en neemt de stank door grondlekkage geheel weg. Afhankelijk van de situatie wordt het afgezogen materiaal in het stelsel teruggebracht of verbrand.

De toenemende zorg voor het milieu zal derhalve moeten leiden tot voorschriften van de overheid omtrent maximaal toelaatbare lekkage. Maar in de eerste plaats dienen de opdrachtgevers en de opdrachtnemers (ontwerpbureaus) zich hierover te beraden, wellicht het beste in een commissie van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs.

## IV. Vermindering van de NO<sub>x</sub>-emissies

door ir. A. J. Elshout, ir. P. L. A. Hamm en drs. W. Takens, bewerkt door ir. W. L. Blanken.

Uit gegevens van 1968 uit de Verenigde Staten en Nederland blijkt dat globaal de volgende indeling kan worden gemaakt naar het aandeel van diverse categorieën NO<sub>x</sub>-emittenten in de totale uitstoot van stikstofoxyden.

Verkeer	45%
Industriële verbrandingsprocessen	31%
Elektrische centrales	23%
Kunstmestindustrie	1%

Voor alle genoemde categorieën geldt dat de NO<sub>x</sub>-uitstoot principieel op twee manieren kan worden verminderd, n.l.

- wijziging van het NO<sub>x</sub>-vormend proces;
- behandeling van het NO<sub>x</sub>-bevattende afgas.

#### Wijziging van het proces

Bij deze methode dient men te bedenken dat bestrijding van NO<sub>x</sub>, dat ontstaat bij verbrandingsprocessen, in vele gevallen een nieuw probleem creëert, n.l. een verhoogde uitworp van onverbrande koolwaterstoffen en koolmonoxyden. Naverbranding zal nodig worden. Bij wijziging van het proces valt aan de volgende mogelijkheden te denken:

- verbetering van conventionele verbrandingsmotoren (dit punt is voor auto's en vliegtuigen nader behandeld in hoofdstuk 4);
- verbetering van conventionele fornuizen; te denken valt bijv. aan recirculatie van afgassen;
- overgaan op andere brandstoffen;
- overgaan op andere chemische processen.

#### Industriële fornuizen

Uit studies van met gas gestookte fornuizen [26] zijn diverse factoren naar voren gekomen die invloed hebben op de vorming van stikstofoxyden bij de verbranding. Gebleken is dat de verbrandingstemperatuur en de verblijftijd van de rookgassen in een zone van hoge temperatuur de grootste invloed hebben. Onder de omstandigheden waarbij gestookt wordt, wordt het evenwicht van de reactie van stikstof met zuurstof tot stikstofmonoxyde (NO) bij lange na niet bereikt, doordat de verblijftijd van de gassen in de vlam te kort is. Slechts 10 tot 15% van de theoretisch mogelijke hoeveelheid NO wordt gevormd. De volgende factoren spelen daarbij een rol.

**Stoichiometrisch stoken** (d.w.z. het gasmengsel zodanig samenstellen dat de verbrandingslucht juist genoeg zuurstof bevat voor een volledige verbranding van de brandstof) veroorzaakt geen NO, omdat de reactie van zuurstof met koolwaterstoffen veel sneller verloopt dan die met stikstof. Met de luchtvermaat stijgt de NO-vorming zeer snel naar een maximum, dat wordt bereikt als de evenwichtsconcentratie aan zuurstof in het restgas ca. 1% bedraagt. Bij grotere luchthoeveelheden neemt de NO-vorming af.

De **temperatuur in de vuurhaard** (de verbrandingskern) speelt bij lage luchtvermaat een zeer grote rol (hogere temperaturen veroorzaken de vorming van veel NO), die sterk afneemt naarmate de hoeveelheid verbrandingslucht toeneemt en praktisch verdwijnt wanneer de evenwichtsconcentratie aan zuurstof 4% is geworden.



Ook de **vlamtemperatuur** (de temperatuur in het deel van de verbrandingszone dat boven de verbrandingskern ligt; deze temperatuur wordt uit doelmatigheids-overwegingen meestal op 1.500 à 1.600° C afgesteld) heeft een dergelijk effect op de vorming van stikstofoxyden.

Samenhangend met dit temperatuureffect zijn verder de volgende variabelen van belang voor de nitruzen-emissie.

In de eerste plaats bepaalt de **branderconstructie** de temperatuur van het primaire verbrandingsgas. Verder blijkt dat NO-vorming wordt teruggedrongen naarmate de menging van de verbrandingsgassen met koudere gassen sneller verloopt. De koelende werking van stralingsbranders (waarin een mengsel van gas en een luchtvermaat door poreus keramisch materiaal stroomt en aan de oppervlakte daarvan verbrandt) leidt tot een verminderde vorming van stikstofoxyde als gevolg van de lage temperatuur van het primaire verbrandingsgas. Wel moet rekening worden gehouden met een mogelijk katalytisch effect van het keramische oppervlak op de NO-vorming.

**Voorverwarming van de verbrandingslucht** leidt tot hogere vlamtemperaturen en is dus ongunstig.

Het **gebruik van zuurstof** in plaats van lucht verhoogt zowel de zuurstofconcentratie als de vlamtemperatuur en geeft aanleiding tot hoge NO-concentraties, ontstaande uit de reactie van de in de brandstof aanwezige stikstof met de zuurstof.

De **uitstraling van warmte** door de vlammen kan worden bevorderd door deze niet te dicht bij elkaar te plaatsen. De daaruit voortvloeiende lagere vlamtemperatuur zal leiden tot een verminderde NO-vorming.

Verlaging van de vlamtemperatuur wordt ook bereikt bij **getrapte verbranding**. In de eerste fase wordt een ondermaat lucht toegevoegd; de temperatuur kan daardoor laag blijven. Een deel van de door het gas in deze eerste fase opgenomen warmte kan worden uitgestraald voordat de naverbrander wordt bereikt, waardoor in deze tweede verbrandingsfase met een overmaat secundaire lucht de temperatuur eveneens betrekkelijk laag kan worden gehouden.

De **aard van de brandstof** beïnvloedt de vlamtemperatuur en het CO<sub>2</sub>-gehalte in de verbrandingsgassen. Bij gebruik van brandstof met een hoog koolstofgehalte (dus een hoog CO<sub>2</sub>-gehalte van de rookgassen) treedt een versterkte NO-vorming op, omdat CO<sub>2</sub> een homogeen katalytisch effect heeft. In het algemeen levert het gebruik van kolen meer NO op dan het gebruik van olie of gas.

#### Mogelijke maatregelen

Uit deze invloeden op de NO-generatie volgen de onderstaande aanbevelingen voor gastecnici om zo te komen tot een zo gunstig mogelijk verbrandingsproces.

1. Het gebruik van kleine gescheiden vlammen met een grote impuls vermindert de vlambelasting en dus de tijdsduur gedurende welke de verbran-

dingsprodukten op een hoge temperatuur blijven. Menging met koudere gassen verloopt hierbij snel, wanneer er althans voor wordt gezorgd dat de verbrandingsprodukten van twee aparte vlammen niet te dicht achter de vlam met elkaar kunnen mengen.

2. De combinatie van overmaat lucht en hoge temperatuur dient te worden vermeden. Toepassing van proportioneel regelende branders, stralingsbranders of een grote overmaat lucht (meer dan 25%) veroorzaakt een daling van de vlamtemperatuur; door een optimale homogene vermenging van de brandstof met lucht (te bereiken door een zo hoog mogelijke gasdruk vlak voor de gasuitstroomopeningen) wordt het nadeel van de overmaat lucht vermeden.

3. De na-oxydatie van NO tot NO<sub>2</sub> kan worden verminderd door een compacte bouw van de verbrandingsinstallatie (korte verblijftijd van het gasmengsel), het vermijden van lange, wijde schoorstenen en een snelle verspreiding van de afvalgassen in de atmosfeer.

#### Verder onderzoek

De KEMA en de Gasunie zijn bezig met een inventarisatie van de stikstofoxyden-uitstoot door de grote stookinstallaties van de productie-eenheden bij de Nederlandse elektriciteitsproducenten (zie figuren 2 en 3).

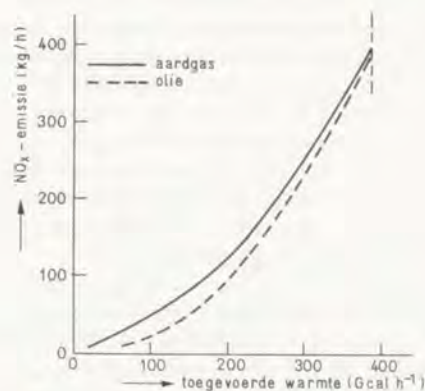


Fig. 2. De emissie van stikstofoxyden bij een eenheid van 180 MW als functie van de aan de ketel toegevoerde warmte.

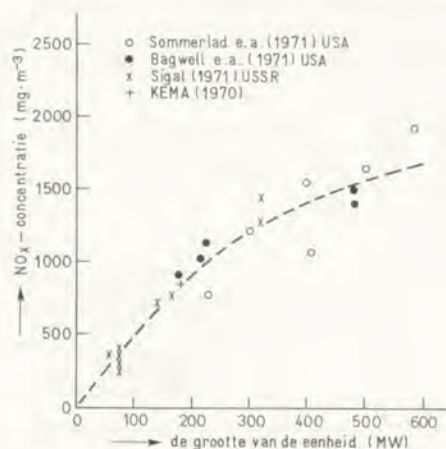


Fig. 3. De concentratie van stikstofoxyden in de rookgassen van met aardgas gestookte ketels met horizontale branderopstelling bij maximale belasting.



Uit figuur 2 blijkt dat de  $\text{NO}_x$ -emissie van een bepaalde stookinstallatie toeneemt met stijgende belasting. Figuur 3 toont het effect van de capaciteit van gasgestookte elektrische centrales op de  $\text{NO}_x$ -vorming. De  $\text{NO}_x$ -emissiewaarde waartoe de kromme asymptotisch nadert, wordt bepaald door de vlamtemperatuur en de verblijftijd van gasen in de reactiezone.

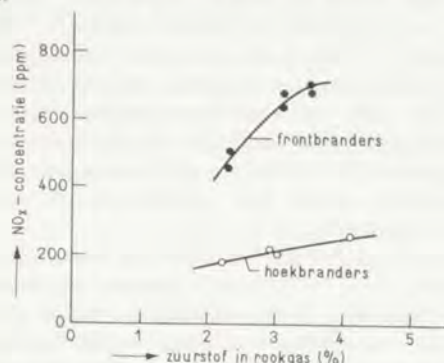


Fig. 4. De concentratie van stikstofoxyden in een frontaal en in een tangentieel gestookte ketel als functie van het zuurstofpercentage in het rookgas.

Figuur 4 illustreert één van de mogelijkheden die er op constructief gebied bestaan waarbij tevens de luchtdosering kan variëren. De branderopstelling heeft een zeer duidelijk effect op de emissie van stikstofoxyden; hoekbranders zorgen voor lagere piektemperaturen en een regelmatigere temperatuurverdeling. In onderzoek zijn de effecten van diverse andere variabelen als overmaat lucht, belasting en recirculatie van rookgasen bij bestaande vuurhaarden.

Uitgaande van de veronderstelling dat het stoken met geringe overmaat lucht voor de moderne eenheden een steeds normaler verschijnsel wordt, zal een verdere verlaging van de  $\text{NO}_x$ -emissie moeten worden gezocht in een verlaging van de maximumtemperatuur van de vlam. De methoden waarmee dit kan worden bewerkstelligd, bestaan bijv. uit:

— Het aanbrengen van een voldoende groot warmtewisselend oppervlak in de verbrandingsruimte. In de praktijk zal dit niet op onbeperkte schaal kunnen worden toegepast en wel om economische redenen.

— Tweetrapsverbranding (getrapt stoken); hierbij is een reductie in  $\text{NO}$ -vorming mogelijk van bijna 80% t.o.v. conventioneel stoken (zie figuur 5).

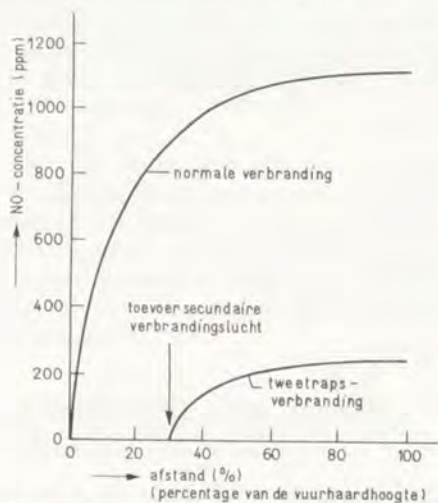


Fig. 5. De vorming van stikstofmonoxyde in een vuurhaard bij normale verbranding en bij tweetrapsverbranding.

Men dient te bedenken dat de ondermaat zuurstof in de eerste trap een vertraging van de verbranding en daardoor een grotere vlamlengte zal veroorzaken, die de tijdsduur gedurende welke de verbrandingsgasen op een hoge temperatuur zullen worden gehouden, verlengt. Verder is de procesvoering tamelijk gecompliceerd, waardoor een volledige verbranding niet in alle gevallen kan worden gegarandeerd.

— Niet-stoichiometrisch stoken; sommige branders van de oven verstoken een brandstofrijk mengsel, andere een brandstofarm.

De totale brandstof-luchtverhouding heeft een normale waarde (stoichiometrisch, of lucht in geringe overmaat). De  $\text{NO}$ -vorming kan met 40% of meer worden verminderd (zie figuur 6).

Evenals bij getrapt stoken zal ook hier niet steeds volledige verbranding plaatsvinden.

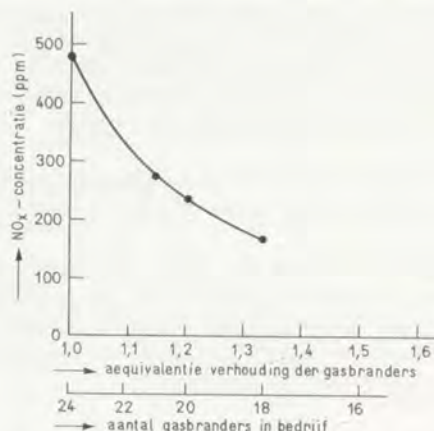


Fig. 6. De verlaging van de concentratie aan stikstofoxyden bij een 220 MW-eenheid door niet-stoichiometrische verbranding.

Bij de in figuur 6 grafisch weergegeven experimenten met niet-stoichiometrisch stoken, waarbij sommige branders van de installatie met een brandstofrijk, andere met een brandstofarm mengsel werden gestookt, werd in beide categorieën branders een verlaging van de adiabatische vlamtemperatuur teweeggebracht ten opzichte van die in stoichiometrisch gestookte branders. Bovendien is bij de brandstofrijke branders sprake van een vermindering van de voor reactie beschikbare zuurstof.

In een serie proefnemingen werd het merendeel van de branders van de installatie brandstofrijk gestookt, terwijl bij de overige de brandstoftoevoer werd afgesloten. In figuur 6 is dit aangegeven met het begrip equivalentieverhouding van gasbranders, d.i. de verhouding tussen het totaal aantal branders van de installatie en het aantal branders dat daarvan in bedrijf is. De luchttoevoer bleef bij alle branders ongewijzigd, evenals de totale stoichiometrie. Vervolgens werd bij deze constante luchttoevoer de brandstoftoevoer aan een aantal branders verhoogd en die aan de overige evenveel verlaagd (c.q. afgesloten). Bij deze laatste methode, die eenzelfde  $\text{NO}_x$ -reductie opleverde als de eerder genoemde, is het voordeel dat een volledige verbranding kan worden bereikt door een betere menging van de gasen in de vuurhaard.

— Recirculatie van een deel (10-30%) van de koude rookgasen. De vuurhaardtemperatuur en het voor de



verbranding bestemde zuurstofgehalte dalen hierdoor. Een gevolg is dat de NO<sub>x</sub>-concentratie omlaag gaat.

— Injectie van water in de vuurhaard levert een temperatuurverlaging op. Het thermische rendement van de installatie daalt echter en de injectiekosten zijn hoog.

Proefnemingen met getrapt stoken zijn in ons land reeds gestart; het onderzoek richt zich zowel op het effect daarvan op de NO<sub>x</sub>-emissie als op de hierbij toe te passen meest bedrijfszekere stookmethoden. De door elektriciteitsproduktiebedrijven in verband met de bedrijfszekerheid aan de vuurhaard te stellen eisen zijn onder meer:

- vlamstabiliteit over het gehele normale belastingsgebied, met optimale regelmogelijkheden;
- de mogelijkheid de gebruikelijke beveiligingsapparatuur te kunnen toepassen zonder daarmee de veiligheid of het rendement van de stookinstallatie geweld aan te doen;
- het achterwege blijven van naverbranding in de oververhitters.

### Kostenprognoses

De prognoses die gemaakt worden om na te gaan wat de vermindering van de emissie van stikstofoxyden zal gaan kosten, moeten rekening houden met investeringen en bedrijfskosten.

In tabel 1 zijn de relatieve waarden van de (extra-) investeringen  $\Delta i$ , de extra bedrijfskosten  $\Delta e$  en de verhoging van de kostprijs van de geproduceerde stoom  $\Delta k$  vermeld. De laagste waarden van de delta's krijgen wij bij uitsluitend gasstoken, aangezien de bestrijding van de NO-vorming hierbij het eenvoudigst en de techniek voldoende bekend is. Bij oliestoken liggen de kosten hoger, in de orde van 1 à 2 x die bij gasstoken.

Voor kolen bevindt de vermindering van de NO<sub>x</sub>-emissie zich nog in de experimentele fase. Duidelijk

is dat de kosten nog hoger zullen zijn dan bij de andere brandstoffen.

In de Verenigde Staten zal ook nog in 1980 een aanzienlijk deel van de ketels in elektrische centrales met kolen worden gestookt, waarmee kan worden verklaard dat de extra kosten van NO<sub>x</sub>-vermindering aldaar een factor 5 hoger worden geschat [27] dan voor de in tabel 1 vermelde Nederlandse centrales. Voor ketels van centrales die tussen 1975 en 1980 gereed komen, kan — in de Nederlandse situatie — met een extra investering van ca. 1% de NO<sub>x</sub>-emissie tijdens gasstoken beneden 400 ppm worden gebracht. Een prognose van de kosten van verdere verlaging tot bijv. 100 ppm kan langs verschillende wegen worden gemaakt.

- Als eerste alternatief veronderstellen we dat verlagen van de warmtebelasting van de vuurhaard de enige maatregel is die voor deze verlaging beschikbaar is. De bouwkosten lopen hierbij volgens lijn 1 in figuur 7. Deze exponentiële stijging van de bouwkosten lijkt prohibitief. De bedrijfskosten stijgen nauwelijks. De raming van de kostprijs van de geproduceerde stoom is weergegeven in figuur 8, alternatief 1.

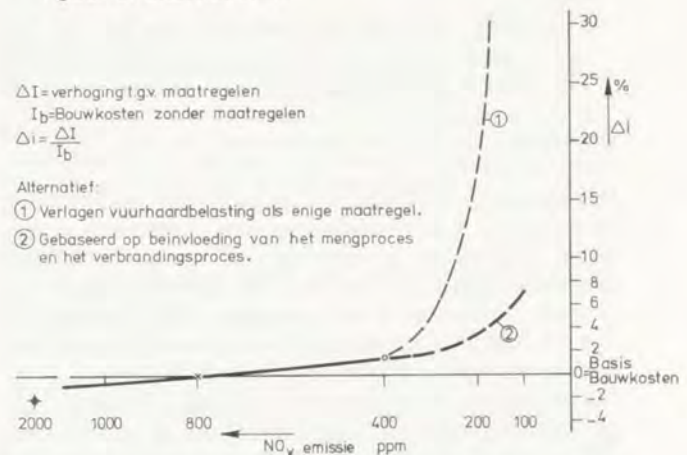


Fig. 7. Verhoging van de bouwkosten van de ketelinstallatie  $\Delta I$  tegen NO<sub>x</sub>-emissie bij gasstoken.

Tabel 1. Verwachte kostenverhoudingen van diverse ketels voor elektrische centrales in Nederland (laatste kolom: V.S.).

Installatie Generatorvermogen Brandstof	A 320 MWe gas	B 565 MWe gas	C 600 MWe gas/olie	Verwachting voor de V.S. in 1980. Installaties van 300 tot 1000 MWe. Veel kolen, ook olie en gas.
	%	%	%	%
Investeringen I				
$\frac{I \text{ door extra maatregelen}}{I \text{ in basisketelinstallatie}} = \frac{\Delta I}{I_b} = \Delta i$	1,1	0,9	1,5	5
Bedrijfskosten E				
$\frac{E \text{ t.g.v. maatregelen}}{E \text{ normaal bedrijf (basis)}} = \frac{\Delta E}{E_b} = \Delta e$	0,2	0,2	0,4	1,4
$\Delta E$ wordt veroorzaakt door	kleine stijging	schoorsteenverliezen	en mede door krachtverbruik recirculatieventilator	
Kostprijs van de stoom K				
$\frac{K \text{-verhoging t.g.v. maatregelen}}{K \text{-basis}} = \frac{\Delta K}{K_b} = \Delta k$	0,4	0,35	0,65	2,2
De 'verdere' maatregelen die toegepast worden, zijn:	Tweetrapsverbranding (door tweetraps luchttoevoer)	rookgascirculatie (inblazen in verbrandingslucht en/of verlagen branderzone belasting).		



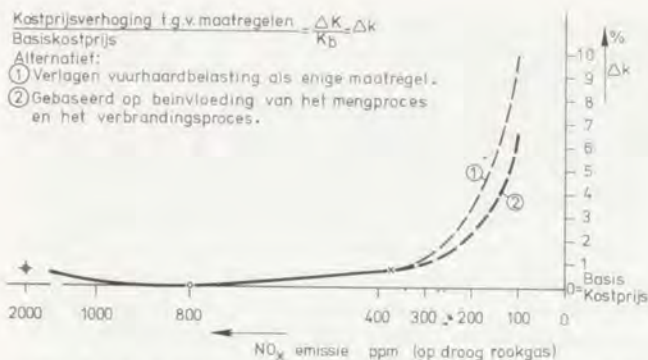


Fig. 8. Verhoging van de kostprijs van stoom  $\Delta k$  tegen  $NO_x$ -emissie bij gasstoken.

— Als tweede alternatief veronderstellen we dat verlaging van de  $NO_x$ -vorming beneden 400 ppm zal worden bereikt door een voortgezette ontwikkeling in het beïnvloeden van het mengproces en het verbrandingsproces. De totale kosten voor deze emissievermindering zijn nu opgebouwd uit ontwikkeling, investering en bedrijfskosten. Het geraamde verloop van de kostprijs van de geproduceerde stoom is weergegeven in figuur 8, alternatief 2.

Verlaging van de  $NO_x$ -emissie van 400 tot 100 ppm geeft op deze wijze een verhoging van de kostprijs met ruim 6%.

### Conclusie

Het ziet er in dit stadium van onderzoek naar uit dat bij bepaalde typen ketels door een veranderde stookwijze, waarbij de investering met hoogstens enkele procenten stijgt, de uitstoot van stikstofoxyden kan worden gereduceerd tot ongeveer 200 ppm zonder dat de bedrijfseigenschappen van de stookinstallatie nadelig worden beïnvloed.

Publikatie van de volledige resultaten van de bovengenoemde onderzoeken kan op korte termijn worden verwacht. Verdere studie is noodzakelijk om vast te stellen wat de  $NO_x$ -emissie is bij een aangepaste grote stookinstallatie onder normaal bedrijf; aan de hand daarvan kunnen emissienormen voor dergelijke installaties worden vastgelegd.

Fabrikanten van ketels en van branders kunnen veel aan deze studies bijdragen. Daarnaast mag niet onvermeld blijven het door het Instituut voor Vlaamend onderzoek te IJmuiden gestarte onderzoek naar de vorming van stikstofoxyden bij watergekoelde vuurhaarden, in een later stadium eventueel in samenwerking met Gasunie en KEMA.

De analysemethodiek lijkt met het tot stand komen van een  $NO_x$ -meter die werkt volgens het chemiluminescentieprincipe zover ontwikkeld te zijn (meetbereik 0-3.000 ppm, nauwkeurigheid 3%), dat betrouwbare gegevens kunnen worden verkregen over de condities waaronder  $NO_x$ -vorming plaatsvindt in watergekoelde vuurhaarden; hieruit kunnen conclusies worden getrokken ten aanzien van de noodzakelijke verbeteringen in brander- en vuurhaardconstructie.

### Behandeling van afgassen ter vermindering van het $NO_x$ -gehalte

Vermindering van het  $NO_x$ -gehalte van afgassen kan o.a. op de volgende wijzen plaatsvinden.

- *Absorptie in vloeistoffen.* Voorbeelden van absorptievloeistoffen zijn water, ammoniakwater, hypochlorietoplossing, chloordioxyde, natronloog [28], soda en ammonium- of ijzersulfaatoplossing.
- *Adsorptie aan vaste stoffen* zoals actieve kool, silicagel [29] of de veelbelovende moleculaire zeven (Union Carbide proces)<sup>1)</sup>. Voor het regenereren van de gebruikte ad- of absorbentia moeten milieuvriendelijke methoden worden ontwikkeld.
- *Katalytische reductie* [30] tot stikstof en water (eventueel ook kooldioxyde). Het reductiemiddel kan zijn aardgas, waterstof of ammoniak, zo nodig in combinatie met koolmonoxyde.

De keuze van de methode hangt af van de toegestane emissie (die zelf enigszins afhankelijk kan zijn van de ter plaatse reeds optredende  $NO_x$ -concentratie), de kosten, alsmede de aard van de emissiebron.

Het door sommigen gesuggereerde maximale  $NO_x$ -niveau van 0,1 ppm [31] impliceert dat in veel steden de industriële emissie met 90% moet worden gereduceerd. Voor dat doel lijkt momenteel de katalytische reductie de meest aangewezen methode.

### Katalytische reductie

Deze methode [32] wordt in het nu volgende in het kort beschreven.

$NO$ -houdende afgassen worden met waterstof en koolwaterstoffen gemengd en het gasmengsel wordt onder druk bij ca. 800° C geleid over een Pt en/of Pd katalysator (op  $Al_2O_3$  of roestvrij staal als dragermateriaal) die in de vorm van pillen, honingraat of metaalspons kan worden geleverd.

In eerste instantie vindt reductie van  $NO_2$  tot  $NO$  plaats. Wanneer deze zuurstof volledig is verwijderd, kan het  $NO$  worden gereduceerd tot  $N_2$ .

In de achter de katalysatorbedden geschakelde warmtewisselaar vindt een temperatuurdaling van het behandelde gas plaats tot 350-400° C; hiermee kan een expansieturbine worden gevoed die ruwweg de helft levert van de voor compressie van de afvalgassen nodige energie.

Bij de reductie van  $NO_2$  tot  $NO$  moet bij de start worden gewaakt tegen een te hoog gehalte aan zuurstof en waterdamp afkomstig van de startbrander, aangezien de activiteit van de katalysator dan afneemt. Wordt de startbrander met  $CO$  gestookt, dan heeft men hiervan echter geen last meer.

De omzetting van  $NO$  tot  $N_2$  wordt door waterdamp niet gestoord, omdat deze reactie zich onder sterker reducerende omstandigheden afspeelt, waarbij de katalysator veel minder gevoelig is voor waterdamp.

De praktische uitvoering is afhankelijk van de eisen die aan het gezuiverde afgas worden gesteld. Wenst men om psychologische redenen dat de afgasrookpluim kleurloos is, dan behoeft met de reductie niet

<sup>1)</sup> Silicagel en vooral moleculaire zeven adsorberen water veel gretiger dan stikstofoxyden. De selectieve verwijdering van nitreuzen is daarom nogal gevoelig. Gezien de relatief hoge prijs van moleculaire zeven en de vereiste, relatief hoge, regeneratietemperatuur is het aan te bevelen om met een accurate kostenevaluatie na te gaan of dit proces inderdaad voor behandeling van rookgassen het meest aangewezen proces zal zijn.



verder te worden gegaan dan tot een volledige NO<sub>2</sub>-verwijdering en een behoorlijke NO-verwijdering. Op deze manier kan op efficiënte en goed regelbare wijze energie worden gewonnen uit het gebruikte reductiegas. Wordt daarentegen een zo laag mogelijke NO-emissie geëist, dan is efficiënte energiewinning weliswaar mogelijk, maar de regelbaarheid van de reductie is gering.

Immers, in dit geval dient de zuurstof volledig uit het gezuiverde gas verwijderd te zijn, zodat de uittretemperatuur niet meer kan worden ingesteld met de in overmaat aanwezige hoeveelheid reducerend gas.

## V. Literatuur

### Bij paragraaf II

- [1] API-bulletin 2512: Tentative methods of measuring evaporation loss from petroleum tanks and transportation equipment (1957).
- [2] API-bulletin 2513: Evaporation loss in the petroleum industry - causes and control (1959).
- [3] API-bulletin 2514: Evaporation loss from tank cars, tank trucks, and marine vessels.
- [4] API-bulletin 2515: Use of plastic foam to reduce evaporation loss (1961).
- [5] API-bulletin 2516: Evaporation loss from low-pressure tanks (1962).
- [6] API-bulletin 2517: Evaporation loss from floating-roof tanks (1962).
- [7] API-bulletin 2518: Evaporation loss from fixed-roof tanks (1962).
- [8] API-bulletin 2519: Use of internal floating cover for fixed-roof tanks to reduce evaporation loss (1962).
- [9] API-bulletin 2520: Use of variable-vapor-space system to reduce evaporation loss (1964).
- [10] API-bulletin 2521: Use of pressure-vacuum vent valves for atmospheric pressure tanks to reduce evaporation loss (1966).
- [11] API-bulletin 2522: Comparative methods for evaluating conservation mechanisms for evaporation loss (1967).
- [12] API-bulletin 2523: Petrochemical evaporation loss from storage tanks (1969).
- [13] API RP2000 Second edition (1965): Guide for venting atmospheric and low-pressure storage tanks.

Overige bij deze paragraaf passende literatuur:

- [14] C. Braak, Het klimaat van Nederland (KNMI No. 102, mededelingen en verhandelingen 46), pag. 30/35: gemiddelde windsnelheden.

- [15] Trade names, uitgave National Fire Protection Ass. te Boston U.S.A. (handels- en fabrieksnamen van oliesoorten).

- [16] D. Monsma, Het treffen van veiligheidsmaatregelen ter voorkoming van branden en explosies aan boord van tankers en schepen, ingericht voor het vervoer van chemicaliën, tijdens het schoonmaken en repareren in de haven, Schip en Werf no. 5, 5 maart 1971, pag. 96/100.

- [17] R. Schwanecke, Verdampfungsverluste aus Flüssigkeitstanks. Wasser, Luft und Betrieb **15** (1971), Nr. 17, pag. 254/258.

- [18] Petroleum refinery engineering, Table 8-2: Approximate effect of vapour pressure on evaporation losses. (1958) Mc Graw Hill.

- [19] R. Schwanecke, Luftreinhalung bei diskontinuierlich arbeitende Chemieanlagen, Wasser, Luft und Betrieb **16** (1972), Nr. 7 pag. 205/207.

- [20] Reine Luft für Morgen. Utopie oder Wirklichkeit? (1972), Uitgave Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen.

- [21] Umweltschutz, Band 2 Erhebung und katastermäßige Dokumentation der Emissionen luftfremder Stoffe aus Industriebetrieben. Verlag TÜV, Rheinland GmbH (1972 in druk genomen).

- [22] Control of atmospheric emissions from petroleum storage tanks. Informative report nr. 2. TI-3 Petroleum committee, Air Pollution Control Association, Journal of the Air Pollution Association, 1971, Volume 21.

- [23] Jaarverslagen Commissie Bodem, Water en Lucht te Rotterdam. Uitgave Gemeentelijke Geneeskundige- en Gezondheidsdienst, Baan 170, Rotterdam, tel. 13.50.00, toestel 225.

### Bij paragraaf III

- [24] J. Morrison, Tilted-plate separators for refinery waste water, Oil and Gas J., **68** (1970), nr. 50, 86-88.

- [25] E. F. Boon und H. H. Lok, Eine Flanschoberfläche mit Radialrillen, die für eine praxisnahe und reproduzierbare Dichtheitsprüfung geeignet ist. Dritte Internationale Dichtungstagung, Dresden, 8-10 November 1967.

### Bij paragraaf IV

- [26] W. Takens, Voorkoming van luchtverontreiniging, Gas 1972, nr. 3, blz. 1.

- [27] OECD Rapport, PAC 70.7.

- [28] Demus, Chem. Technik **8**, 285 (1952).

- [29] S. N. Gans, Angew. Chemie **31**, 360 (1958).

- [30] Belg. octrooi 553 186, 1956 op naam van Du Pont de Nemours; Chemical Processing, London 5/9 1959; W. Fletcher, Br. Chem. Eng. **5**, 789 (1960); Nachrichten der Chem. Technik **9**, 362 (1961); DAS 1181183, 1964; Chem. Eng. **6**, 611 (1959).

- [31] R. I. Larsen, Journal Air Pollution Control Association **17**, 823 (1967).

- [32] H. C. Andersen, Ind. Eng. Chem. **53**, 199-209 (1961).



## VI. Samenstelling van de Werkgroep

De Werkgroep Industriële Emissies werd gevormd door combinatie van de volgende werkgroepen.

### Werkgroep Kwantificering grondemissies

NAAM	ADRES
Prof. ir. E. J. de Jong (voorzitter)	Technische Hogeschool Delft
Ir. A. A. Damsteeg	International Laboratories N.V.
Ir. C. J. Kapteijns	Kon. Ned. Hoogovens en Staalfabrieken
Ir. P. H. Meijer	Instituut voor Gezondheidstechniek TNO
Ir. C. R. Stillebroer	Bouw- en Woningtoezicht Gemeente Rotterdam
Ir. J. de Koning	Shell Nederland Chemie
Ir. H. Wassink	Konam N.V.
C. G. Booij, Ing.	AKZO
Ir. H. Hondius	Ned. Gasunie N.V.

### Werkgroep Emissiecijfers

Ir. E. F. Boon (voorzitter)	Centrale Organisatie TNO
Ir. W. L. Blanken	Hoechst N.V.
Ir. J. P. C. van Blaricum	Inspectie der Mijnen
Ir. A. J. Elshout	KEMA N.V.
Ir. T. K. de Haas	Stichting Toekomstbeeld der Techniek
Ir. P. L. A. Hamm	Kon. Nederlandse Papierfabriek
Ir. F. H. van Heel	Raadgevend-ingenieur
Ir. H. Hondius	Ned. Gasunie N.V.
Prof. dr. E. C. Kooyman	
Dr. D. J. Kroon	Natuurkundig Lab. N.V. Philips
Ir. Y. A. Kuipers	
Dr. P. G. Meerman	D.S.M.
Dr. H. Nieboer	Centraal Laboratorium TNO
Ir. P. A. R. Post van der Burg	Openbaar Lichaam Rijnmond
Ir. D. Stigter	N.V. Electriciteits-maatschappij IJsselcentrale
Drs. W. Takens	VEG-Gasinstituut
Drs. P. Winkel	Studie- en Informatiecentrum TNO voor het Onderzoek ten dienste van het Milieubeheer
	Technische Hogeschool Eindhoven
Ir. H. Zeedijk	Stork Ketel- en Apparatenbouw
Ir. P. J. Heddema	



# Hoofdstuk 3. Voorbeelden van emissie en emissievermindering in het verkeer

door de Werkgroep Wegverkeer<sup>1)</sup>

## I. Emissies veroorzaakt door het wegverkeer

### Inleiding

De huidige maatschappij is niet denkbaar zonder wegverkeer. Onze wijze van leven en werken vraagt veelvuldige en snelle verplaatsingen voor velerlei doeleinden. De automobiel heeft deze mogelijk gemaakt.

Meer en meer dringt het besef door dat het wegverkeer een zo grote aanslag op het milieu met zich mee brengt, dat de nadelen de voordelen dreigen te gaan overtreffen.

Deze aanslag op het milieu manifesteert zich als volgt:

- het *beslag op de ruimte* door de voor het verkeer noodzakelijke wegen en parkeerruimte;
- de *verkeersonveiligheid*, af te meten aan het jaarlijks aantal verkeersslachtoffers (circa 3.200 doden en 70.000 gewonden);
- de *geluidshinder*, die een niet te onderschatten belasting van de mens betekent;
- de *milieuverontreiniging*, waartoe zowel de directe verontreiniging door de uitlaatgassen als de indirecte verontreiniging door het produceren van auto's en brandstoffen moeten worden gerekend;
- de *afvalstoffen* afkomstig van het wegverkeer, waarvan de autowrakken het meest in het oog lopen, maar waarbij bijv. ook het probleem van gebruikte smeerolie en banden aparte vermelding verdient.

Bezinning op de nadelige effecten met het doel om tot vermindering en beheersing ervan te komen is allerwege aan de orde.

<sup>1)</sup> De samenstelling van deze Werkgroep is gegeven in paragraaf IX. Paragraaf V van dit hoofdstuk viel buiten het bestek van deze Werkgroep.

Tabel 1. Inwonerverdeling in Nederland.

	Nederland		West-Nederland <sup>1)</sup>		Rijnmondgebied <sup>2)</sup>	
	Inwoners (x 10 <sup>3</sup> )	Oppervlakte (in km <sup>2</sup> )	Inwoners (in 10 <sup>3</sup> )	Oppervlakte (in km <sup>2</sup> )	Inwoners (x 10 <sup>3</sup> )	Oppervlakte (in km <sup>2</sup> )
Agglomeraties	5.200	3.535	3.510	1.600	900	256
Middelgrote steden	2.300	2.715	780	535	84	27
Plattelandsgemeenten	5.500	30.375	1.210	2.665	122	321
Totaal	13.000	36.625	5.500	4.800	1.106	604
Niet gemeentelijk ingedeeld		4.220				
Totaal		40.845				

<sup>1)</sup> West Nederland omvat de provincies:

Noord-Holland met uitzondering van het gebied ten noorden van Alkmaar en Purmerend;  
Zuid-Holland met uitzondering van Goeree Overflakkee en het gebied ten oosten van Dordrecht;  
Utrecht met uitzondering van het gebied ten zuidoosten van de gemeenten Zeist en Amersfoort.

<sup>2)</sup> Rijnmond omvat de agglomeratie Rotterdam, de middelgrote stad Delft en de gemeenten in het Westland en Oostvoorne-Putten.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de volgende onderwerpen:

*Emissies veroorzaakt door het wegverkeer.* Toegelicht wordt welke methode is gevolgd bij het bepalen van de emissies veroorzaakt door het wegverkeer.

*Gezondheid, welzijn en grenswaarden.* De schadelijke componenten in uitlaatgassen worden vanuit medisch standpunt besproken.

*Lood in benzine.* Hier wordt apart stilgestaan bij de technische en economische consequenties van de vermindering van het loodgehalte in de benzine.

*Mogelijkheden van schonere motoren.* De perspectieven van een alternatieve motorconstructie worden besproken als oplossing van het luchtverontreinigingsprobleem in de verre toekomst.

Het rapport behandelt dus alleen de milieuverontreiniging door uitlaatgassen. Zaken als ruimtebeslag, verkeersonveiligheid en geluidshinder zijn niet aan de orde gekomen. Ook wordt niet stilgestaan bij het energie- en grondstoffen (olie en staal) verslindende karakter van het wegverkeer.

De werkgroep hoopt niettemin dat het aangedragen materiaal op het gebied van emissieberekeningen meer inzicht geeft in het aandeel in de luchtverontreiniging van de diverse verkeerscategorieën. De methodiek is ook bruikbaar voor berekening van de emissies in komende jaren met schonere motoren en groeiend wagenpark.

Tevens kan zij dienen ter bepaling van emissies in deelgebieden van niet te geringe omvang om in een regio de luchtverontreiniging van het wegverkeer te vergelijken met die van industrie en huisbrand.

### Emissies afkomstig van het wegverkeer

In tabel 1 wordt ter algemene informatie de inwoner-



verdeling over Nederland en over twee regio's gegeven.

Om welke componenten gaat het?

De belangrijkste luchtvervuilende componenten afkomstig van het wegverkeer zijn in volgorde van tonnage, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, NO<sub>x</sub>, vaste deeltjes zoals roet en loodverbindingen, SO<sub>2</sub> en de meer complexe organische verbindingen zoals aldehyden, ketonen en polycyclische koolwaterstoffen.

In dit verband blijft CO<sub>2</sub> buiten beschouwing, aangezien dit in geen enkel opzicht specifiek is voor het wegverkeer en reeds een natuurlijke component is van zuivere lucht.

Kort samengevat volgt hier een overzicht van de vorming van deze componenten:

**Koolmonoxyde.** Bij onvolledige verbranding van de brandstof vormt zich koolmonoxyde. Bij stationair draaien van de motor zijn de percentages in de uitlaatgassen het hoogst, gemiddeld ca. 6%, maar bij niet goed afgestelde motoren zelfs oplopend tot boven 10%.

Bij een goed afgestelde en optimaal belaste motor zal het CO-percentage teruglopen tot beneden 1,5%.

**Koolwaterstoffen.** Naast CO zullen ook niet- of gedeeltelijk omgezette koolwaterstoffen in de uitlaatgassen voorkomen. Tevens vinden verliezen plaats van koolwaterstoffen door verdamping van benzine uit tank en carburator. De verliezen via het carter-systeem kunnen worden verwaarloosd, aangezien tegenwoordig vrijwel het gehele wagenpark is uitgerust met een circulatiesysteem voor carterdampen. Het hoogst zijn de koolwaterstofconcentraties in uitlaatgas bij het remmen op de motor.

Koolwaterstofemissie via uitlaatgassen varieert van minder dan 20 gram/liter tot meer dan 50 gram/liter gebruikte benzine, afhankelijk van het rijpatroon (zie tabel 2).

Tabel 2. Emissies van diverse verkeerscategorieën uitgedrukt in gram/liter brandstofverbruik.

	4-takt benzinemotoren			2-takt benzinemotoren	dieselmotoren
	stadsrit	regiorit	buitenrit		
CO	330	300	170	630	22
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>1)</sup>	41	59	17	420	9
NO <sub>x</sub>	12	32	38	p.m.	45

<sup>1)</sup> De C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissiewaarden zijn gebaseerd op met "non-dispersive infrared" (NDIR) verkregen gegevens, vermenigvuldigd met een factor 1,8. (Zie paragraaf VI, appendix 1, voor nadere toelichting.)

Een koolwaterstofemissie van 50 gram/liter komt overeen met 6% verlies van de gebruikte brandstof. Reeds genoemd zijn de verdampingsverliezen uit tank en carburator, die samen 0,5% verlies aan brandstof uitmaken. Minder vaak wordt stilgestaan bij het feit dat ook de verdampingsverliezen die optreden bij het vullen van de benzinetank ca. 0,5% bedragen, zeker wanneer daarbij de min of meer gebruikelijke morsingen plaats vinden.

**Stikstofoxyden.** De NO<sub>x</sub>-emissies zijn, uitgedrukt in gram/liter brandstof, van dezelfde orde van grootte

als de C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie. Onder rijomstandigheden waar bij de CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissies relatief hoog zijn, is de NO<sub>x</sub>-emissie relatief laag en vice versa (zie figuren 1 en 2 en [1]).

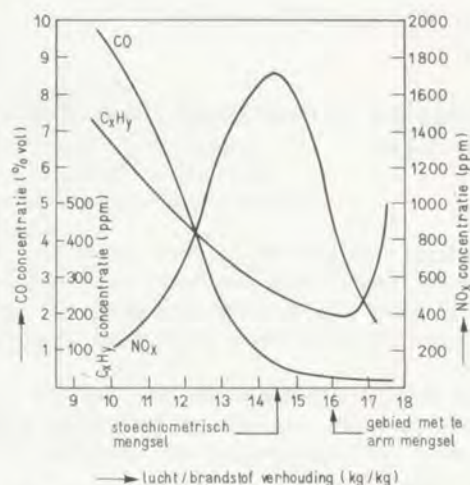


Fig. 1. De invloed van de lucht : brandstofverhouding op de emissie van koolwaterstoffen, koolmonoxyde en stikstofoxyden (1.300 cm<sup>3</sup>, 3.000 tpm, op kruissnelheid).

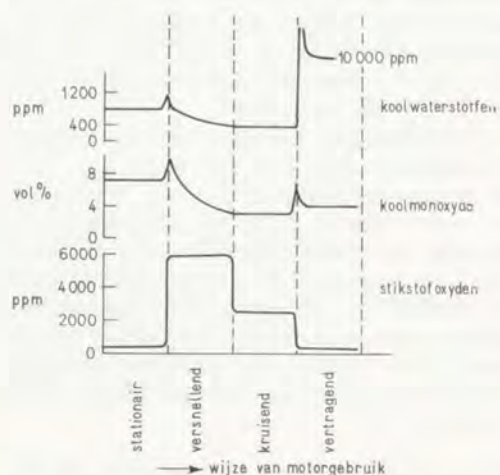


Fig. 2. De motorbelasting is van invloed op de samenstelling van de uitlaatgassen.

**SO<sub>x</sub> en roet.** SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>- en roetemissie worden vooral veroorzaakt door het vrachtverkeer, dat als brandstof gebruik maakt van zwavelhoudende dieselolie. Uitgaande van een gemiddeld zwavelgehalte van 0,5 gew.% in 1970 kan de hoeveelheid SO<sub>2</sub> gemakkelijk worden bepaald aan de hand van het totale dieselolieverbruik, dat in 1970 1,1 x 10<sup>9</sup> liter bedroeg. SO<sub>3</sub>-vorming is meestal gering, in de orde van enkele procenten van de SO<sub>2</sub>-vorming. De hoeveelheid roetemissie wordt voornamelijk bepaald door de juiste afstelling en de staat van onderhoud van de motor. Wanneer de onderhoudsvorschriften van de fabrikant worden opgevolgd, kan deze laatste vorm van emissie vrijwel geheel worden voorkomen.

**Lood.** Lood wordt aan de benzine toegevoegd in de vorm van de vluchtige verbindingen tetraethyllood (T.E.L.) of tetramethyllood (T.M.L.). Op het onderwerp lood in benzine wordt later ingegaan.

**Diversen.** Partieel geoxydeerde koolwaterstoffen, zoals bijv. aldehyde en verbindingen als benzopyreen



worden vaak apart genoemd in verband met hun specifieke eigenschappen.

### Stads-, regio- en buitenrit

Bij het bepalen van de totale hoeveelheden CO<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies is allereerst de bijdrage van auto's met viertakt motoren vastgesteld. Aangezien de emissie voor de diverse componenten sterk afhankelijk is van het rijpatroon, is voor deze categorie van motoren onderscheid gemaakt tussen de volgende drie ritsoorten.

#### Stadsrit (rittype I)

Deze ritsoort kenmerkt zich door lage snelheden (gemiddeld 19 km/uur, max. 50 km/uur), relatief hoog brandstofverbruik (8 km/liter benzine voor de 1.000 kg gewichtsklasse) en een vaak niet optimale belasting van de motor. Gedacht is hierbij aan het verkeer in het centrum van de bebouwde kom.

#### Regiorit (rittype II)

In vergelijking met de stadsrit liggen de snelheden hoger (gemiddeld 36 km/uur, max. 80 km/uur) en het benzineverbruik lager (10 km/liter voor de 1.000 kg gewichtsklasse). Deze ritsoort komt voor in gebieden rond steden en gemeenten (intergemeentelijk verkeer binnen de grote stedelijke agglomeraties en ringwegen om de grotere gemeenten) en omvat tevens het streekverkeer buiten de bebouwde kom (op tertiaire en verharde niet-plan wegen).

#### Buitenrit (rittype III)

Deze ritsoort vindt plaats over vierbaanswegen en hoofdwegen waar een rustige rijstijl kan worden aangehouden. Topsnelheden van 120 km/uur en gemiddelde snelheden van 80 km/uur zijn verondersteld.

### Basis-emissiewaarden voor het wegverkeer

#### Europese (ECE) en US testcyclusgegevens voor viertakt benzinemotoren

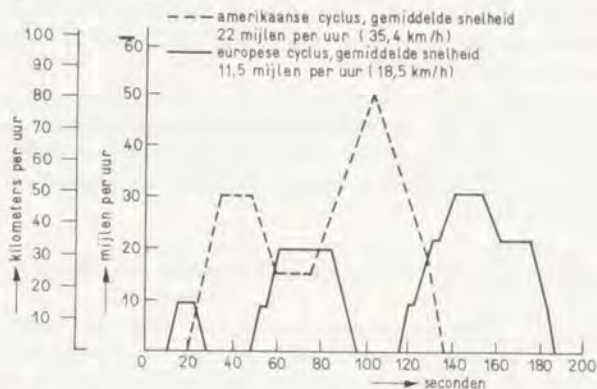
Voor het vaststellen van normen op het gebied van emissies zijn testprocedures vastgesteld die de prentie hebben bepaalde verkeerssituaties zo goed mogelijk te simuleren (zie figuur 3).

Als uitgangspunt voor de emissieberekening is aangenomen dat de stadsrit het meest wordt benaderd door de Europese testcyclus en de regiorit door de U.S. (California)-testcyclus, terwijl voor de buitenrit schattingen zijn gemaakt op basis van motorbelasting en brandstof/lucht verhouding (zie paragraaf VI, Appendix 1).

#### Overige verkeerscategorieën

Naast de verkeerscategorie viertakt benzinemotoren, die hoofdzakelijk het personenwagenpark omvat, zijn er nog de categorieën dieselmotoren voor vrachtverkeer en bussen, tweetakt benzinemotoren hoofdzakelijk voor bromfietsen en LPG-motoren voor speciaal vervoer.

Fig. 3. Uitlaatgas testcycli.



Testcyclus		ECE	US (Cal.)
equivalente rij-afstand	km	1,013	1,355
tijd	s	195	137
gemiddelde snelheid	km/h	18,7	35,6
max. snelheid	km/h	50	80,5
stationair draaien tijdens de cyclus	%	30,8	14,6
Complete test			
aantal cycli		4	7
equivalente rij-afstand	km	4,052	9,486
tijd	min.	13,00	15,98
Monstername		ballon	continue analyse
Berekeningen concentratie		gemeten	uit grafieken afgelezen
volume		per ballon (volume per complete test)	berekend volgens voorschrift
koolwaterstoffen		als hexaan (NDIR)	1,8 x hexaan (NDIR)

De laatste categorie is, gezien de geringe bijdrage tot de emissie, verwaarloosd. Voor de diverse categorieën zijn de volgende brandstofverbruikcijfers in het jaar 1970 aangehouden:

viertakt benzinemotoren	3,8 x 10 <sup>9</sup> liter,
dieselmotoren	1,1 x 10 <sup>9</sup> liter,
tweetakt benzinemotoren	0,25 x 10 <sup>9</sup> liter.

Voor het diesel- en bromfietsverkeer is geen onderscheid gemaakt in verschillende rittypen wat de emissiegetallen betreft (zie tabel 2). Voor de hoeveelheid brandstofverbruik per categorie is echter ook voor diesel- en bromfietsverkeer de onderverdeling naar rittype voor viertakt motoren gevolgd. Op deze wijze is in rekening gebracht dat de intensiteit van het dieselverkeer relatief minder is in stads- en regioverkeer dan in het verkeer op de buitenwegen, terwijl bromfietsverkeer uitsluitend plaats vindt parallel met stads- en regioverkeer van personenauto's.

### Kilometrageverdeling voor verschillende rittypen

#### Kilometrage op basis van inwonertal

Volgens schattingen van het CBS zijn er in het jaar 1970 door 2,4 x 10<sup>6</sup> personenauto's circa 35 x 10<sup>9</sup> km afgelegd. Dit komt neer op gemiddeld 15.000 km per auto.

Uitgaande van 13 x 10<sup>6</sup> inwoners kan worden berekend dat de door personenauto's in 1970 afgelegde kilometrage 7,4 km per inwoner per dag is geweest.



De ingevoerde eenheid km/inwoner per dag opent de mogelijkheid om kilometrageschattingen te doen voor deelgebieden van ons land op basis van het inwonertal.

Aangezien de verkeersintensiteit in stedelijke agglomeraties groter is dan in plattelandsgemeenten, is een onderverdeling gemaakt voor inwoners in agglomeraties, middelgrote steden en overige gemeenten in Nederland.

#### Kilometrage binnen en buiten de bebouwde kom

Volgens CBS gegevens kunnen de door personenauto's afgelegde kilometers worden onderverdeeld in 45% binnen de bebouwde kom en 55% buiten de bebouwde kom.

Zoals toegelicht in paragraaf VII, Appendix 2, is de volgende schatting gemaakt voor het kilometrage van personenauto's:

Binnen de bebouwde kom	
in agglomeraties	4 km/inw. dagelijks
in middelgrote steden	3 km/inw. dagelijks
in resterende gemeenten	2,8 km/inw. dagelijks
Buiten de bebouwde kom	4 km/inw. dagelijks

Tabel 3. Kilometrageverdeling in 1970.

		Binnen de bebouwde kom		Buiten de bebouwde kom		Totaal
		rittype I	rittype II	rittype II	rittype III	
Nederland (in 10 <sup>9</sup> km/jaar)	agglomeraties	5,66	1,88			
	middelgrote steden	2,53	—			
	platteland	5,77	—			
	subtotaal	13,96	1,88	5,65	13,20	34,69
West-Nederland (in 10 <sup>9</sup> km/jaar)	agglomeraties	3,82	1,27			
	middelgrote steden	0,86	—			
	platteland	1,27	—			
	subtotaal	5,95	1,27	2,39	5,58	15,19
Rijnmond (in 10 <sup>6</sup> km/jaar)	agglomeraties	979	326			
	middelgrote steden	92	—			
	platteland	128	—			
	subtotaal	1,199	326	474 <sup>1)</sup>	618 <sup>1)</sup>	2.943

<sup>1)</sup> Ontleend aan tabel 4.

Tabel 4. Schatting van het kilometrage buiten de bebouwde kom binnen het Rijnmondgebied (in 10<sup>6</sup> km/jaar).

	Rittype II				Rittype III			
	Westland	Oostvoorne	totaal binnen Rijnmond	totaal buiten Rijnmond	totaal gerelateerd aan inwonertal	binnen Rijnmond	buiten Rijnmond	totaal gerelateerd aan inwonertal
Rotterdam (aggl.) (900.000 inw.)	98	98	196	196	392	456	457	913
Delft (84.000 inw.)	18	—	18	19	37	42	43	85
Westland (84.000 inw.)	122	—	122	—	122	—	—	—
Oostvoorne (38.000 inw.)	—	55	55	—	55	—	—	—
Den Haag (592.000 inw.)	83	—	83	177	260	120	480	600
Totaal	321	153	474	392	866	618	980	1598

**Toelichting:** Aan de hand van gegevens over de verkeersintensiteit op de hoofdwegen binnen het Rijnmondgebied is het volgende aangenomen:

<sup>1)</sup> 50% van het buiten-de-bebouwde-kom kilometrage gerelateerd aan het inwonertal van Rotterdam en Delft ligt binnen het Rijnmondgebied: volgens rittype II in de gebieden Westland en Oostvoorne. Volgens rittype III op de wegen Rotterdam-Delft en Rotterdam-Vlaardingen;

<sup>2)</sup> 33% van het buiten-de-bebouwde-kom kilometrage volgens rittype II gerelateerd aan het inwonertal van Den Haag ligt binnen het Rijnmondgebied (Westland);

<sup>3)</sup> 20% van het buiten-de-bebouwde-kom kilometrage volgens rittype III gerelateerd aan het inwonertal van Den Haag ligt binnen het Rijnmondgebied (snelweg Delft-Rotterdam).

#### Onderverdeling naar rittypen

Rittype I zal alleen voorkomen binnen de bebouwde kom en rittype III alleen buiten de bebouwde kom op primaire en secundaire wegen. Rittype II zal zowel voorkomen op de tertiaire en verharde niet-planwegen buiten de bebouwde kom als op de hoofdwegen binnen de bebouwde kom van agglomeraties voorzover die bestemd zijn voor doorgaand verkeer.

Op grond van bovenstaande overwegingen is de volgende zeer globale indeling aangehouden voor kilometrage-onderverdeling naar rittypen:

Binnen de bebouwde kom	
agglomeraties	75% rittype I 25% rittype II
rest	100% rittype I
Buiten de bebouwde kom	30% rittype II 70% rittype III

Voor elk willekeurig gebied valt nu — met behulp van het inwonertal — een tabel op te stellen waarin het in dat gebied afgelegde kilometrage wordt toebedeeld aan een bepaald rittype (zie tabellen 3 en 4 en paragraaf VII, Appendix 2).



## Landelijke en regionale emissiecijfers

### Brandstofverbruik

De volgens de testcyclus gemeten emissies zijn gerelateerd aan een bepaald benzineverbruik per kilometer, zodat kilometrages zijn om te rekenen in brandstofverbruikcijfers voor verschillende rittypen. Het totale landelijke dieselolieverbruik is in de verhouding 20-30-50% over de rittypen I, II en III verdeeld, omdat de intensiteit van het dieselverkeer binnen de bebouwde kom relatief lager is dan buiten de bebouwde kom. Voor het bromfietsverkeer geldt juist het tegenovergestelde. Daarom is het benzineverbruik van tweetakt motoren verhoudingsgewijs verdeeld over de rittypen I en II.

Een overzicht van het brandstofverbruik voor de verschillende verkeerscategorieën is gegeven in tabel 5.

Tabel 5. Brandstofverbruik in 1970 (in 10<sup>6</sup> liter/jaar).

		rit- type I	rit- type II	rit- type III	totaal
Nederland	benzine viertakt motoren	1.800	800	1.200	3.800
	benzine tweetakt motoren	170	80	—	250
	dieselmotoren	220	330	550	1.100
West-Nederland	benzine viertakt motoren	763	373	517	1.650
	benzine tweetakt motoren	72	37	—	109
	dieselmotoren	93	154	237	484
Rijnmond	benzine viertakt motoren	154	82	57	293
	benzine tweetakt motoren	15	8	—	23
	dieselmotoren	19	34	26	79

### Emissies

Combinatie van de gegevens van de tabellen 2 en 5 resulteert in de volgende emissies in 10<sup>3</sup> ton/jaar:

	Nederland			West-Nederland			Rijnmond			totaal
	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>x</sub>	
Benzine (viertakt)	1.078	141	94	452	62	41	85	12,1	6,6	
Benzine (tweetakt)	158	105	—	68	46	—	14	9,7	—	
Diesel	22	10	50	10	4	22	2	0,7	3,6	
Totaal	1.258	256	144	530	112	63	101	22,5	10,2	

In de tabellen 6, 7 en 8 zijn deze cijfers nog naar rittypen ingedeeld. Het cijfermateriaal voor deze tabellen is o.a. verkregen door bewerking uit de gegevens van tabel 9, die op zijn beurt is samengesteld uit de berekeningen en overwegingen die in paragraaf VI, Appendix 1, zijn samengebracht.

Tabel 6. De CO-emissie door het wegverkeer in 1970 (in 10<sup>3</sup> ton/jaar).

		rit- type I	rit- type II	rit- type III	totaal
Nederland	benzine viertakt motoren	594	240	204	1.078
	benzine tweetakt motoren	107	51	—	158
	dieselmotoren	4	7	11	22
					1.258
West-Nederland	benzine viertakt motoren	252	112	88	452
	benzine tweetakt motoren	45	23	—	68
	dieselmotoren	2	3	5	10
					530
Rijnmond	benzine viertakt motoren	51	24	10	85
	benzine tweetakt motoren	9,5	5,0	—	14,5
	dieselmotoren	0,4	0,7	0,6	1,7
					101

Tabel 7. De koolwaterstofemissie door het wegverkeer in 1970 (in 10<sup>3</sup> ton/jaar).

		rit- type I	rit- type II	rit- type III	totaal
Nederland	benzine viertakt motoren	74	47	20	141
	benzine tweetakt motoren	71	34	—	105
	dieselmotoren	2	3	5	10
					256
West-Nederland	benzine viertakt motoren	31	22	9	62
	benzine tweetakt motoren	30	16	—	46
	dieselmotoren	1	1	2	4
					112
Rijnmond	benzine viertakt motoren	6,3	4,8	1,0	12,1
	benzine tweetakt motoren	6,3	3,4	2,1	9,7
	dieselmotoren	0,2	0,3	0,2	0,7
					22,5

Tabel 8. De stikstofoxyden-emissie door het wegverkeer in 1970 (in 10<sup>3</sup> ton/jaar).

		rit- type I	rit- type II	rit- type III	totaal
Nederland	benzine viertakt motoren	22	26	46	94
	benzine tweetakt motoren	—	—	—	p.m.
	dieselmotoren	10	15	25	50
					144
West-Nederland	benzine viertakt motoren	9	12	20	41
	benzine tweetakt motoren	—	—	—	p.m.
	dieselmotoren	4	7	11	22
					63
Rijnmond	benzine viertakt motoren	1,8	2,6	2,2	6,6
	benzine tweetakt motoren	—	—	—	p.m.
	dieselmotoren	0,9	1,5	1,2	3,6
					10,2



**Tabel 9.** Overzicht van de basisgegevens voor de bepaling van de emissiehoeveelheden geproduceerd door wagens met viertakt benzinemotoren.

rittype	I. stadsrit	II. regio-rit	III. buitenrit
benaderd door	Europese test cyclus	Californië test cyclus	—
V maximum	50 km/h	80,6 km/h	120 km/uur
V gemiddeld	19 km/h	35,6 km/h	80 km/h
gemiddeld uitlaatgasvolume (droog) tijdens de rit	1,0 m <sup>3</sup> /km	0,8 m <sup>3</sup> /km	0,75 m <sup>3</sup> /km
CO-emissie	42 g/km (3,4% CO)	30 g/km (3,1% CO)	16 g/km (1,7 CO)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> -emissie voertuig	2,7 g/km (700 ppm)	3,0 g/km (1100 ppm)	0,9 g/km (300 ppm)
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> -verdampingsverliezen	0,4 g/km	0,6 g/km	—
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> -emissie totaal	3,1 g/km	3,6 g/km	0,9 g/km
NO <sub>x</sub> -emissie	1,5 g/km (700 ppm)	3,3 g/km (2000 ppm)	3,5 g/km (2300 ppm)
CO-emissie	330 g/l.	300 g/l.	170 g/l.
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> -emissie	24 g/l.	35 g/l.	10 g/l.
NO <sub>x</sub> -emissie	12 g/l.	32 g/l.	38 g/l.
gemiddeld brandstofverbruik tijdens de rit	7,8 km/l.	9,8 km/l.	10,8 km/l.
kilometrage voor wagens in deze categorie in 1970	14,0 x 10 <sup>9</sup> km	7,5 x 10 <sup>9</sup> km	13,2 x 10 <sup>9</sup> km
berekend benzineverbruik 1970	1,79 x 10 <sup>9</sup> l.	0,77 x 10 <sup>9</sup> l.	1,22 x 10 <sup>9</sup> l.
totaal berekend benzineverbruik 1970	3,78 x 10 <sup>9</sup> l.		
werkelijk benzineverbruik 1970 (volgens tabel 5)	3,8 x 10 <sup>9</sup> l.		

## II. Gezondheid, welzijn en grenswaarden

door dr. K. Biersteker

### Inleiding

De numerieke relaties welke bestaan tussen gezondheid, welzijn en wegverkeer zijn niet in een eenvoudige formule te vatten. In 1895 werden in de V.S. de eerste gewonden bij een botsing van motorvoertuigen geteld. Momenteel is in alle Westerse landen het gemotoriseerde verkeer een der belangrijkste oorzaken van dodelijk of zwaar lichamelijk letsel tot gevolg hebbende ongevallen. Niettemin draagt de bevolking deze risico's opgewekter dan vele andere milieugevaren. Blijkbaar voorziet het gemotoriseerde verkeer in een zo grote behoefte aan intermenselijke communicatie en verkenning van de omgeving dat er een grote tolerantie is ten aanzien van deze schaduwzijden. Het laatste geldt minder voor het verkeerslawaaï, dat een knellend probleem is geworden in onze steden. Omdat er goede documentatie bestaat over verkeersongevallen en de Nederlandse Stichting Geluidshinder in 1972 een congres hield over verkeerslawaaï [2], wordt niet verder op deze nadelen voor gezondheid en welzijn ingegaan. De aandacht kan daardoor geheel worden gericht op de uitlaatgassen van het verkeer.

### Algemene begrippen

De uitlaatgassen van benzinemotoren en in mindere mate van dieselmotoren zijn zeer giftig voor de mens door het relatief hoge gehalte aan koolmonoxyde [3]. In gesloten garages zijn zodoende nogal eens dodelijke ongelukken opgetreden met draaiende motoren. In autowerkplaatsen dient men eigenlijk steeds bijzondere voorzieningen te treffen voor de afvoer der uitlaatgassen.

De vraag of de uitlaatgassen van het verkeer schadelijk zijn voor de gezondheid moet daarom alleen reeds vanwege het koolmonoxyde in principe met ja

worden beantwoord. Al dient hier direct aan te worden toegevoegd dat de buitenlucht vrijwel altijd voor een zeer snelle verdunning van de uitlaatgassen zorgt. Koolmonoxydevergiftigingen in de gewone betekenis van het woord worden daardoor op straat niet waargenomen. Wel zijn er verschillende andere risico's waarmee dient te worden gerekend [4].

De belangrijkste componenten van uitlaatgassen die een nadeel hebben voor de volksgezondheid zijn: koolmonoxyde, stikstofoxyden, koolwaterstoffen, loodverbindingen, 3,4 benzopyreen en andere polycyclische koolwaterstoffen (apart genoemd wegens hun specifieke eigenschappen).

Hiernaast moeten volledigheidshalve nog worden genoemd de prikkelende aldehyden en het acroleïne, die verantwoordelijk zijn voor de prikkeling van ogen, neus en keel bij oponthoud in een verkeersfile. En het asbest (dat overigens niet in de uitlaatgassen vrijkomt), omdat gebleken is dat inhalatie van asbestvezels door rokers het risico om longkanker te krijgen in zeer sterke mate vergroot.

### Koolmonoxyde

Van koolmonoxyde kan echte koolmonoxydevergiftiging worden verwacht als het carboxyhemoglobinegehalte (COHb) in het bloed boven de 10% stijgt. Bij een fors roker bestaat gemiddeld reeds 5% COHb [5]. Bij een niet-roker bestaat door endogene produktie van CO minder dan 1% COHb. De te verwachten concentraties COHb hangen af van het gehalte CO in de buitenlucht, de duur van de blootstelling en de mate van lichamelijke inspanning. Omdat de gemiddelde blootstelling in drukke steden voor de voetgangers niet meer dan 30 ppm gedurende enkele uren bedraagt, worden doorgaans geen hoge COHb concentraties bereikt (deze kunnen worden geschat met de formule COHb (in %) = C (in ppm CO) x 0,16) [6].

Dat er niettemin risico's aan CO verbonden zijn, komt omdat in motorvoertuigen concentraties kunnen voorkomen die wel hoger zijn. Dit is een gevolg van bijv. kleine lekkages uit het uitlaatsysteem. Ook in



tunnels kan bij stagnatie van het verkeer gemakkelijk een gevaarlijke concentratie van CO optreden. De grenswaarde van 10% COHb ligt voor CO voor een 1-urige blootstelling op deze basis bij ongeveer 80 ppm. Aangenomen wordt dat dan de betrokkenen niet lijdende zijn aan ernstige hart- of longgebreken. Bij dierproeven is gebleken dat geringere COHb-gehalten al leiden tot prestatiedaling, bijv. bij zwempoeven [7]. Bij de mens heeft men nagegaan of de waakzaamheid, het kleurenonderscheidingsvermogen en het geluidenonderscheidingsvermogen lijden onder geringe CO-belastingen. Hoewel niet alle proefuitkomsten overeenstemmen, is er voldoende aanwijzing dat de resultaten bij ongeveer 5% COHb ongunstig worden beïnvloed [8]. De grenswaarde voor een langdurige blootstelling aan CO ligt op deze basis bij ongeveer 40 ppm. Aangenomen wordt dat ook nu de betrokkenen niet lijdende zijn aan ernstige hart- of longgebreken.

Verder is het op epidemiologische gronden waarschijnlijk geworden dat nog lagere concentraties misschien al een risicoverhoging meebrengen voor hartinfarctpatiënten. In Los Angeles is namelijk geconstateerd dat de prognose van deze patiënten in ziekenhuizen negatief correleert met het CO-gehalte van de dag van opname [9]. Hoewel de verklaring van deze correlatie enigszins speculatief blijft, zijn er los van dit onderzoek experimenteel aanwijzingen gevonden voor een zeer kwetsbare positie van de zuurstofvoorziening van de hartspier bij blootstelling aan CO [10]. Omdat deze correlaties al optraden bij gemiddelde CO-gehalten van de buitenlucht van ongeveer 10 ppm, is een nog lagere grenswaarde bij blootstelling voor langere duur aan te bevelen. De belangen van minder valide subgroepen uit de bevolking maken dit wenselijk.

#### Stikstofoxyden en koolwaterstoffen

De concentraties van stikstofoxyden en koolwaterstoffen zijn op zichzelf tot nu toe niet verdacht van schadelijke gevolgen. In de studie der effecten van uitlaatgassen is het accent geheel gevallen op de fotochemische smog, die kan ontstaan als uitlaatgassen van het verkeer boven een gebied blijven hangen tijdens windstil en zonnig weer. Ook in Nederland is de laatste jaren zowel bij Utrecht als bij de grote steden Amsterdam en Rotterdam vorming van ozon (één der aan smogvorming deelnemende componenten) op deze basis waargenomen. In de literatuur spreekt men wel van secundaire verontreinigingen. Naast zuiver ozon, worden allerlei peroxyden (soms oxydantia genoemd) van gedeeltelijk afgebroken koolwaterstoffen aangetroffen. Sommige dezer verbindingen, o.a. peroxyacetylnitrat en het peroxybenzoylnitrat (PAN en PBN) zijn biologisch zeer actief. Het effect van deze secundaire verontreinigingen op de gezondheid manifesteert zich op verschillende wijzen. Een vrij groot percentage van de bevolking (ongeveer 25%) heeft in Californië klachten over tranende ogen als het gehalte der oxydantia in de lucht boven de 0,1 ppm stijgt. De specifieke verwekker van deze oogprikkeling is tot nu toe niet ontdekt, doch schuilt vermoedelijk in een der kort bestaande tussenproducten van in afbraak verkerende koolwaterstoffen.

In Los Angeles is verder gebleken dat op smogdagen de prestaties tijdens veldlopen achterblijven in vergelijking met gewone dagen [11]. Dit verschijnsel doet aan het diermodel denken, want ozon geeft verminderde loopradprestaties bij proefdieren [12]. Of het bij de veldlopers om ozon of andere verontreinigingen gaat, is niet na te gaan. Wel is gebleken dat het geen CO-effect is. De ongunstige beïnvloeding der sportprestaties begon zich bij 0,2 ppm totaal aan oxydantia al te manifesteren.

Tenslotte is uit Los Angeles bekend dat de cardio-respiratoire patiënten, met name astmatici, een hekel hebben aan smog. Hoewel er weinig goede studies zijn verricht, wordt in medische kringen algemeen aangenomen dat de conditie van deze patiënten slechter wordt op smogdagen. De ziekenhuisopnamen voor luchtwegaandoeningen correleren ook positief met het gehalte aan oxydantia in de lucht [13]. Een grenswaarde is voor deze kwetsbare groepen van de bevolking moeilijk aan te geven, temeer omdat het onmogelijk is om aan te geven welke smogingrediënten de luchtweg het sterkst prikkelen. Naast deze ernstige medische nadelen van smog, lijdt ook het welzijn van de samenleving in een gebied waar smog voorkomt. Dit is een gevolg van de wazigheid van de atmosfeer die in zo'n gebied begint op te treden tijdens fraai, zonnig weer. Ook de waarneming door de neus dat er iets mis is met de kwaliteit van de buitenlucht door chemische oorzaken (het chloorachtige luchtje dat geroken wordt, vooral bij het verlaten van gebouwen) leidt tot een gevoel van onbehagen. Het publiek reageert zeer scherp op deze verandering in de kwaliteit van de buitenlucht die als onnatuurlijk en potentieel zeer gevaarlijk wordt ervaren.

#### Lood

De loodverbindingen die in de luchtwegen doordringen en via de longen worden opgenomen in het organisme, moeten oplosbaar en zeer fijn verdeeld zijn. Een vrij groot deel van de loodverbindingen die met de uitlaatgassen in de lucht komen, voldoet, naar het schijnt, aan deze voorwaarden. In elk geval is gebleken dat verkeersagenten en parkeerterreinvachters in de Verenigde Staten gemiddeld hogere bloedloodconcentraties hebben dan niet aan het verkeer blootgestelde personen [14].

De strijd in de medische literatuur over loodgevaar is de afgelopen jaren te wijten geweest aan verschil van opvattingen over wat medisch toelaatbaar en wat medisch wenselijk is. De oude stellingname was dat 80  $\mu\text{g}$  Pb/100 ml bloed de gevarengrens voor loodvergiftiging was. Deze waarde wordt nergens ter wereld bereikt door verblijf op straat met druk verkeer, tenzij men aarde langs de straat zou opvegen en opeten (een niet ondenkbaar gevaar bij kleine kinderen).

Het optreden van loodvergiftigingsverschijnselen blijkt een pas betrekkelijk laat gesignaleerd verschijnsel te zijn [15]. De subklinische effecten worden al veel eerder duidelijk: reeds vanaf 5 à 10  $\mu\text{g}$  Pb/100 ml bloed is er een daling van het enzym S-aminolaevulinezuur dehydratase (ALAD) in rode bloedlichaampjes, vanaf 30 à 40  $\mu\text{g}$  Pb/100 ml bloed een stijging van ALA in de urine [16]. Men stelt momenteel deze laatste waarde als maximaal toelaat-



baar voor kinderen en zwangeren. Het is niet goed duidelijk welke mate van luchtverontreiniging hiermede overeenstemt, daar het loodgehalte in bloed berust op de totale loodopname (voedsel, water en lucht), waarbij met name kleine kinderen extra lood toegediend kunnen krijgen via o.a. opeten van stof en bijten op hout dat met loodhoudende verf is beschilderd. Terugdringen van het Pb-gehalte van de benzine (en dus in de biosfeer) valt enerzijds op grond van het voorafgaande te verdedigen, anderzijds vooral ook omdat Pb in uitlaatgassen de katalytische naverbranding van de uitlaatgassen sterk verstoort (zie hiervoor overigens paragraaf III).

### 3,4 Benzopyreen

De laatste jaren wordt de bijdrage van de polycyclische koolwaterstoffen uit de buitenlucht aan het risico om longkanker te krijgen steeds lager geschat. In Nederland is in ieder geval door de daling van het gebruik van vaste brandstoffen bij de huisverwarming een zeer sterke daling van het gehalte 3,4 benzopyreen in de buitenlucht geconstateerd. De bijdrage van het verkeer is altijd ondergeschikt geweest, zoals bleek uit de zeer lage concentraties die in de zomermaanden bestonden. Niettemin hebben we hier te maken met een groep carcinogene (kankerverwekkende) verbindingen die zo goed mogelijk uit het milieu dienen te worden gehouden. Dit klemt te meer omdat CO de afbraak van deze verbindingen in de lever bij dierproeven blijkt te remmen [17].

### Asbestvezels

Asbest komt, voor zover bekend uit voorlopige onderzoeken, in stadsluchtmonsters haast zonder uitzondering voor en is o.a. afkomstig van koppellingsplaten en remvoeringen van motorvoertuigen. Het kwantificeren van deze belasting is zeer moeilijk. Ook de relatieve risico's der verschillende typen vezels is nog onvoldoende duidelijk.

Omdat het verkeer een deelbijdrage levert aan dit probleem van ongekwantificeerde afmetingen, is nadere bestudering van dit vraagstuk gewenst. Hoewel asbest vooral in verband is gebracht met mesotheliomen, een betrekkelijk zeldzaam soort gezwellen, is er numeriek wel meer betekenis te hechten aan het longkankerrisico-vergroterend effect van asbestvezelinhalatie [18]. Het risico longkanker te krijgen is bij zware rokers die tegelijk blootgesteld waren aan asbest onvoorstelbaar hoog gebleken [19]. Omdat de stedelijke bevolking in vrijwel alle landen een hoger longkankerrisico lijkt te lopen dan de plattelandsbevolking, is de mogelijkheid dat asbest hierbij een rol speelt niet gemakkelijk uit te sluiten.

## III. Lood in benzine

door ir. J. K. P. Sloos

### Inleiding

In verband met de wens de automotor een groter specifiek vermogen en een geringer brandstofverbruik te geven, heeft men steeds getracht de compressie-

verhouding op te voeren. (Zie ook paragraaf IV door Broeze). Er treden dan echter verschijnselen op van onbeheerste verbranding, aangeduid met termen als "knock", "detoneren", "kloppen", "pingelen". Het optreden van pingelen bij lage snelheden behoeft niet onmiddellijk desastreuze gevolgen te hebben. Bij hogere snelheden kan dit verschijnsel ("high speed knock"), dat door de inzittenden niet zo gemakkelijk wordt gehoord en onderkend, echter binnen zeer korte tijd fataal zijn voor de motor. Men heeft daarom naarstig gezocht naar toevoegingen aan de benzine die deze onbeheerste verbranding konden voorkomen. Het bleek dat in de praktijk slechts bepaalde loodverbindingen dit verschijnsel in voldoende mate konden tegengaan.

Sedert ruim 45 jaar wordt daarom lood aan de benzine toegevoegd in de vorm van tetraethyllood (TEL) en sinds een tiental jaren ook in de vorm van tetramethyllood (TML). Beide stoffen zijn uiterst giftig, maar er behoeft slechts een geringe hoeveelheid van deze loodverbindingen (tot 0,7 g lood per liter benzine) te worden toegevoegd.

De klopvastheid van een benzine wordt aangeduid met het octaangetal. Dat is een vergelijkingsmaat die wordt vastgesteld in de CFR-ASTM<sup>1)</sup> "knock test", uitgevoerd bij een laag toerental (600 tpm) in een speciale proefmotor. Hoe groter de klopvastheid, des te groter is het octaangetal en omgekeerd. Er bestaat echter geen absolute correlatie onder alle omstandigheden; zo blijkt dat een loodvrije benzine, wil die bij hoge snelheid klopvast zijn, een hoger octaangetal moet hebben dan een loodhoudende benzine.

Benzine is een mengsel van koolwaterstoffen dat, als gevolg van de chemische samenstelling van die koolwaterstoffen en hun onderlinge verhouding, verschillende eigenschappen kan bezitten. Dit mengsel wordt op produktietechnische en commerciële gronden zo optimaal mogelijk samengesteld en wel zó, dat de juiste eigenschappen voor het verbrandingsproces worden verkregen. Door de steeds hogere compressieverhoudingen werden aan de eigenschappen van de benzine steeds hogere eisen gesteld en men is er steeds in geslaagd, mede dank zij de toevoeging van TEL en/of TML, benzines te vervaardigen die zonder nadelige gevolgen voor de motor konden worden toegepast. De chemische samenstelling van de in moderne benzines voorkomende koolwaterstoffen verschilt dan ook wezenlijk van de benzines van enige tientallen jaren geleden en van de natuurlijke benzinefractie uit een beschikbare ruwe olie.

### Loodemissies

Ongeveer 25% van het lood dat aan de benzine wordt toegevoegd, blijft in de motor achter door afzetting van loodverbindingen in de kop van de verbrandingsruimte, op bougie-elektroden, uitlaatkleppen, klepzittingen en -stelen, in het uitlaatsysteem en in de motorolie.

Ongeveer 75% verlaat derhalve de motor. Voor Nederland komt dat neer op ca. 2.000 ton lood in allerlei loodverbindingen per jaar.

Het lood dat met de verbrandingsgassen de motor

<sup>1)</sup> CFR-ASTM, de proef wordt uitgevoerd volgens de voorschriften van de American Society for Testing and Materials in een motor gebouwd volgens de plannen van het Cooperative Fuel Research Committee.



verlaat, is chemisch van een geheel andere samenstelling dan waarin het aan de benzine wordt toegevoegd. De uitworp vindt plaats in de vorm van lood-oxyden, -sulfaat, -chloride en -bromide en complexe loodammoniak-chloorverbindingen. De acute giftigheid van de oorspronkelijke loodverbindingen (TEL en TML) is daardoor in dit verband van ondergeschikte betekenis.

Daar lood en zijn verbindingen zwaar zijn, zal het grootste deel van de loodemissies in de directe omgeving van de uitlaat neerslaan en slechts deeltjes met een diameter van 1  $\mu\text{m}$  of minder zullen enige tijd in de atmosfeer blijven zweven. Deze deeltjes kunnen door mens en dier worden ingeademd en slaan in hoofdzaak neer binnen een afstand van ca. 50 m van de weg. Duidelijke loodsporen zijn nog tot zelfs 100 m van de weg aantoonbaar.

Schade voor de gezondheid van mens en dier via verontreinigd bermgas is niet te verwachten, omdat bermgras (wegens de hoge kosten van het hooien ervan) niet of nauwelijks door vee wordt gegeten. Het loodgehalte in consumptiemelk is niet door auto-loodemissies verhoogd. Het ontbreken van positieve aanwijzingen omtrent enige ziekelijke afwijking bij mens, dier en plant als gevolg van automobiel-loodemissies leidt er toe dat deze emissies voorlopig als niet-dreigend worden gezien [20, 21].

Indien men er echter van uit gaat dat alles wat in de atmosfeer wordt uitgestoten in hoeveelheden die duidelijk uitgaan boven de normaal aanwezige hoeveelheden bijdraagt tot de verontreiniging van de atmosfeer, dan is het, naar het inzicht van de werkgroep, geboden hiertegen maatregelen te nemen.

#### *Vermindering van het loodgehalte van benzines*

De hierboven aangegeven stelling betreffende het terugdringen van verontreiniging heeft enkele regeringen er reeds toe gebracht de hoeveelheid lood in benzine drastisch te laten beperken en nog strengere maatstaven in het vooruitzicht te stellen.

Het gedeeltelijk of geheel weglaten van lood uit de benzine heeft, naast goede gevolgen, ook enkele zeer nadelige bijverschijnselen. Deze zullen in het navolgende in beschouwing worden genomen. We beperken ons hier tot de technische en economische aspecten.

#### *Voordelen van loodvrije benzine*

Door gebruik van loodvrije benzine zal de loodaanslag in de verbrandingsruimte, op de bougie-elektroden en elders in de motor worden voorkomen. Hierdoor wordt de levensduur van de bougies en van de motorolie gunstig beïnvloed. De "dopes" die wel worden toegevoegd om de nadelige gevolgen van loodafzetting in de motor tegen te gaan, behoeven niet meer te worden toegepast.

De in de Verenigde Staten geëiste vèrgaande reductie van de CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies maakt het monteren van katalytische naverbrandingsreactoren absoluut noodzakelijk en zoals het er thans naar uitziet, zal hiervoor de verwijdering van lood uit de benzine nodig zijn.

#### *Nadelen van loodvrije benzine*

Lood heeft smerende eigenschappen. Verdwijning van

de bovengenoemde loodaanslag heeft daarom ook een onaangename zijde, die zich in het bijzonder laat gevoelen bij het inslaan van de uitlaatkleppen op hun zittingen, waardoor deze laatste ernstig kunnen worden beschadigd. Hoe lager het loodgehalte van de benzine, des te sterker treedt dit verschijnsel op. Slechts door belangrijke metallurgische veranderingen van het klep- en klepzittingmateriaal zou beschadiging kunnen worden voorkomen.<sup>1)</sup> Vooralsnog is echter als gevolg van een aanmerkelijke vermindering van het loodgehalte van de benzine een nieuwe en kostbare onderhoudswerkzaamheid te verwachten. Dit gaat dus lijnrecht in tegen de heersende trend, waarbij juist alles wordt gedaan om de noodzaak van onderhoud aan automobielen te verminderen.

Waar de toevoeging van lood aan de benzine bijdroeg tot het verkrijgen van een grotere klopvastheid, zal vermindering van het loodgehalte een verlaging van het octaangetal van de benzine als gevolg hebben. Daardoor zullen de compressieverhoudingen van de motoren, die moeizaam en met reden gedurende de laatste decennia waren opgevoerd, moeten worden verlaagd. Bij de grote, in Amerikaanse automobielen ingebouwde motoren zal dit nog niet eens een belangrijk nadeel zijn, doch bij de kleine, zuinige Europese motoren met hun hoge specifieke vermogens spreekt dit des te meer.

Afgezien van de gevolgen van de vermindering van de compressieverhouding, zal de verlaging van het octaangetal nog gepaard gaan met een daling van het rendement en van het maximum vermogen van de motor en dus met een verhoging van het brandstofverbruik. Het hierdoor veroorzaakte hogere benzineverbruik zal 10% of meer kunnen bedragen. Ter verkrijging van de daardoor nodige extra benzine zal dus ook meer ruwe aardolie in de raffinaderijen moeten worden verwerkt.

De verlaging van het loodgehalte zal het effect van die koolwaterstoffen die het laagste octaangetal bezitten, sterker accentueren. Die koolwaterstoffen vormen nl. het deel van de benzine met de geringste klopvastheid. Bij gebruik van slechts één carburateur (zoals meestal het geval is) heeft het gedeelte met laag octaangetal voorkeur voor bepaalde cilindres, waarin dan pingelen of zelfs "high speed knock" kan optreden.<sup>2)</sup>

De tweede genoemde reden om lood uit de benzine te verwijderen is de mogelijkheid om de emissie van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en NO<sub>x</sub> door katalytische verbranding van de uitlaatgassen te verminderen. Over deze wijze van emissievermindering kan het volgende worden opgemerkt.

In de eerste plaats zijn verminderingen van 80% of

<sup>1)</sup> Noot van de eindredacteur. In belangrijke mate schijnt dit euvel thans te kunnen worden ondervangen door een hardingsbehandeling van de klepzetels bij hun fabricage, à raison van ca. \$ 15.— per Amerikaanse motor. A. C. Sjoerdsma.

<sup>2)</sup> Noot van de eindredacteur. De ontwikkeling van een nog betere katalysatorstructuur, t.b.v. de katalytische reformering, samen met geavanceerde isomerisatie van de genoemde koolwaterstoffen met laag octaangetal, biedt nog enkele interessante mogelijkheden. Het is daarom niet uitgesloten dat later (bijv. tegen 1980) benzines kunnen worden vervaardigd met een voor de huidige motorconstructies voldoende hoog octaangetal, zonder dat daar lood aan behoeft te worden toegevoegd. A. C. Sjoerdsma.



meer van de CO, en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissies en van 50% van de NO<sub>x</sub>-emissie reeds te verwezenlijken met betrekkelijk eenvoudige wijzigingen aan de motor. Door deze relatief weinig ingrijpende veranderingen, zoals uitlaatgascirculatie en wijzigingen in het inlaatsysteem en de ontsteking, is het niet nodig het lood uit de benzine te verwijderen. De kosten voor de automobilist zouden hierdoor slechts in geringe mate worden verhoogd.

In de tweede plaats dient te worden opgemerkt dat de katalytische reactoren zich nog in het stadium van de ontwikkeling bevinden en technisch, noch economisch reeds vervolmaakt zijn. Deze reactoren zullen sterk kostenverhogend werken. Momenteel schat men in Amerika de meerkosten tijdens de levensduur van een auto op:

- een ca. 20% hoger benzineverbruik f 1.200,—;
- kosten voor de reactor incl. installatiekosten f 1.400,—;
- extra onderhoudskosten f 400,—;

in totaal dus ca. f 3.000,—, waarvan ongeveer de helft op de aanschaffingsprijs drukt. Natuurlijk gelden deze bedragen voor het Amerikaanse wagenpark en niet voor het Nederlandse, maar men krijgt toch wel een indruk van de orde van grootte van de kosten voor de automobilist indien de stringente Amerikaanse eisen hier te lande zouden gaan gelden.

In de derde plaats zal het inbouwen van een reactor moeilijk zijn bij handhaving van de onder de motorkap van Europese auto's geringe beschikbare ruimte.

Tenslotte is het nog de vraag of, bij massaal gebruik van katalytische reactoren, de wereldvoorraad aan katalytisch materiaal toereikend en beschikbaar is. Platina is één van de voor dit doel geschiktste katalysatoren.

#### *De kosten van loodvrije benzine*

Bij beschouwing van de vraag welke kosten de vermindering en de weglating van lood in de benzine met zich mee zal brengen, dient in aanmerking te worden genomen dat voor de vervanging van een gelode benzine van bijv. 93 octaan een 98 octaan loodvrije benzine nodig is.

Een vermindering van het loodgehalte tot 0,4 g/liter benzine doet — bij handhaving van de huidige octaangetallen van 99 voor super- en van 92 voor normale benzine — een prijsverhoging met 0,3 cent/l benzine verwachten. Een vermindering tot 0,15 g/l zou — rekening houdende met de kapitaalsinvesteringen en de verhoogde produktiekosten — de benzine ca. 1 cent/l af raffinaderij duurder doen zijn.

Deze meerkosten voor de benzine zullen op zich wellicht geen overweldigende indruk maken. Zij worden echter voor een belangrijk deel veroorzaakt door nieuwe investeringen die in de miljarden lopen. De door Bonner & Moore Ass., (februari 1972), geschatte kosten voor West-Europa van \$ 350 miljoen zijn waarschijnlijk aan de lage kant, daar een Franse studie voor Frankrijk alleen al een investering te zien geeft van \$ 1 miljard. Meer recent nog heeft de Stichting Concawe hierover gepubliceerd [22]. De grote vraag is waar al dit kapitaal vandaan moet komen.

#### **Conclusie**

Samenvattend kunnen we stellen:

1. Drastische vermindering van de schadelijke emissies van automobielen is vereist.

2. Een aanzienlijke verlaging van de emissies van CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en NO<sub>x</sub> is reeds met betrekkelijk eenvoudige wijzigingen aan de motor te verwezenlijken.

3. Toepassing van katalytische reactoren vereist het algeheel weglaten van lood in de benzine.

4. Daardoor zal echter het benzineverbruik toenemen met ca. 20%.

5. Bij een geschat verbruik van 6,3 miljoen m<sup>3</sup> benzine in 1976 worden de kosten voor de nationale economie als volgt geschat:

— bij vermindering tot 0,4 g lood/l benzine ca. f 19 miljoen per jaar;

— bij vermindering tot 0,15 g lood/l benzine ca. f 63 miljoen per jaar;

— bij geheel weglaten van lood in de benzine ca. f 250 miljoen per jaar, nog afgezien van de kosten verbonden aan het gebruik van reactoren.

Technisch gezien is een vermindering van het loodgehalte tot een zekere minimale waarde in de gebruikelijke motortypen nog mogelijk.

6. De bestaande motoren vereisen een gelode benzine. Het geheel weglaten van lood in de benzine vergt op technische gronden een nieuwe generatie motoren. Hiermee zal, samen met de ontwikkeling der daarvoor geschikte benzines, naar schatting 10 tot 15 jaar zijn gemoed.

## **IV. Mogelijkheden van schonere automobielmotoren**

door prof. ir. J. J. Broeze

### **Voordelen van de verbrandingsmotor boven andere**

Motoren kunnen worden ingedeeld naar verbrandingsmotoren (zoals klassieke benzinemotor, gasturbine, wankelmotor) en motoren berustend op andersoortige energie-omzettingen (bijv. chemische omzetting in een accu). Voor automobielgebruik is laatstgenoemde soort in beginsel aanzienlijk minder geschikt. Het is denkbaar dat er op beperkte schaal een ontwikkeling van bijv. elektrische automobielen tot stand komt voor gebruik in die stadskernen waar de last van uitlaatgassen het meest acuut wordt gevoeld, maar een vervanging van de verbrandingsmotor op enige schaal is niet waarschijnlijk. Niet alleen wordt die behoefte in Nederlandse steden nog lang niet gevoeld, maar bovendien zouden er nog zeer grote technische, economische en organisatorische problemen voor moeten worden opgelost. Het is overigens zinvol er op te wijzen dat een andere ontwikkeling van toepassing van elektrische energie wel mogelijkheden voor automobiel gebruik kan bieden, nl. die waarbij men de door kernreactoren centraal opgewekte elektriciteit gebruikt voor de synthese van brandstoffen voor verbrandingsmotoren met een hoge zuurstofbehoefte bij hun verbranding, zoals propaan of butaan. Dat dit wél mogelijkheden biedt, volgt uit de belangrijkste principiële eigenschap van een verbrandingsmotor, nl. dat de energietoevoer rechtstreeks wordt ontleend aan de potentiële bindingsergie van de zuurstof in de omgevingslucht. Omdat een voertuig met een verbrandingsmotor alleen maar de brandstof behoeft mee te voeren (die dus **niet** de energiedrager is), is



de verbrandingsmotor wel bij uitstek geschikt voor vrij bewegende, liefst zo licht mogelijke, voertuigen als de auto en het vliegtuig. Bij geen ander type motor zijn de problemen van energievoorziening met adequate regelbaarheid, bewegingsvrijheid en snelheid van bijvulling van brandstof op een zo eenvoudige en elegante wijze opgelost als bij de verbrandingsmotor.

Het zou dan ook een enorme teleurstelling zijn wanneer een publiek, dat langzamerhand de gehele Westerse wereld omvat, zich deze verworvenheid zou moeten ontzeggen. Het is niet eenvoudig te peilen hoe men hierop zou reageren.

### Bestrijding van ongewenste uitlaatgassen

Onze eerste zorg is dan ook de zo vertrouwde en beproefde motoren een minimum aan schadelijke of onaangename uitlaatgasbestanddelen te laten produceren, al zijn we daarmee nog niet uitgepraat. Het aantal mogelijkheden is uitermate beperkt, en wel in hoofdzaak tot varianten van de benzinemotor, die zich door zijn bovengenoemde specifieke eigenschap heeft ontwikkeld tot het zo compacte en lichte machientje dat wij tegenwoordig kennen en dat door niets wordt geëvenaard.

De mogelijkheden beperken zich voornamelijk tot verfijning in de brandstofdosering en katalytische naverbranding.

#### Brandstofdosering

Verfijningen van de brandstofdosering dienen vooral te zijn gericht op de mogelijkheid om onder alle (snel wisselende) omstandigheden de gewichtsverhouding tussen brandstof en lucht binnen zeer nauwe grenzen te houden. Vooral ook let men er op dat die verhouding voor alle cilindervolumes gelijk is. Vroeger nam men het daar niet zo nauw mee, maar dat kon ongestraft geschieden omdat de motor met een overrijk mengsel bijna even goede resultaten bereikt als wanneer de brandstof:luchtverhouding correct is. Er konden zelfs enige secundaire voordelen uit volgen. Wie keek destijds naar koolmonoxyde-emissie? Men moest de motor niet in de garage laten draaien!

De gehele ontwikkeling van de benzinemotor is gekenmerkt geweest door het zoeken van een optimale compressieverhouding. Hoe hoger deze is, des te hoger is het beschikbare specifieke vermogen en des te lager het brandstofverbruik. Bij deze ontwikkeling moesten niet alleen alle onderdelen geleidelijk aan beter bestand worden gemaakt tegen hogere mechanische belasting, maar ook de benzine moest worden aangepast. De klopvastheid werd vergroot door verhoging van het octaangetal (zie voorgaande paragraaf), hetgeen op de meest economische wijze werd bereikt door combinatie van selectief bereide speciale koolwaterstoffen met een geringe toevoeging van een loodhoudende organische verbinding.

Nu de motorconstructeur gedwongen is meer aandacht te schenken aan de kwaliteit van de uitlaatgassen, zijn zijn problemen complexer geworden. Zouden alleen koolmonoxyde (CO) en onverbrande koolwaterstoffen ( $C_xH_y$ ) als ongewenste bestanddelen der uitlaatgassen moeten worden bestreden, dan zou dit voor het grootste deel kunnen worden bereikt door de tot precisie gebrachte dosering van de

brandstof. Helaas wordt langs deze weg de productie van de eveneens ongewenste stikstofoxiden ( $NO_x$ ) gestimuleerd.  $NO_x$  speelt, samen met onverbrande  $C_xH_y$ , een rol bij "smog"-vorming. De onverbrande koolwaterstoffen zijn echter nog steeds in de lucht aanwezig, niet alleen door de nog zeer vele niet-precisie motoren, maar ook door de verdampingsverliezen uit brandstoftanks, o.m. tijdens het tanken. De verwijdering van  $NO_x$  uit de uitlaatgassen is, al wordt er vlijtig aan gewerkt, nog geen opgeloste zaak.

#### Katalytische naverbranding

Gelijktijdig met de verfijning van de brandstofdosering is men, uitgaande van CO en  $C_xH_y$  in de uitlaatgassen, de methode van katalytische naverbranding gaan onderzoeken. Aangezien de daarbij toegepaste katalysatoren vrij snel worden vergiftigd door het lood in de benzine, moet bij deze methode de benzine loodvrij worden gemaakt. Dit heeft weer tot gevolg dat de benzine essentieel duurder van samenstelling moet worden om dezelfde eigenschappen als voorheen te behouden, resp. dat de compressieverhouding moet worden verlaagd. Dit laatste geeft een verminderde prestatie en een verhoging van het benzineverbruik. Bovendien blijkt de gunstige werking verloren te gaan die het bij de verbranding vrijkomende loodoxyde heeft op bepaalde motoronderdelen (een feit niet onbekend uit de historie der tandwiel-smering!), zodat hier weer nieuwe problemen ontstaan.

### Overige inwendige verbrandingsmotoren

#### Wankelmotor

Merkwaardigerwijs kan men een weg uit deze moeilijkheden zien in de ontwikkeling van een motor waarin dezelfde intermitterende werking van de klassieke benzinemotor langs een geheel andere mechanische weg wordt bereikt, nl. de wankel(benzine)-motor, waarin een continu rondwentelende rotor de functie van de klassieke zuigers overneemt om ruimtes beurteilings te vergroten en te verkleinen. Aldus speelt zich ook daar de cyclus af van aanzuigen, comprimeren, verbranden en expanderen, en uitstoten der gasen.

Hoewel het op het eerste gezicht niet zo duidelijk is wat de oorzaken zijn, lijkt het gedrag van de wankelmotor in enige opzichten gunstiger: hij behoeft geen loodverbindingen en produceert minder  $NO_x$ . De ongunstiger uitkomsten ten aanzien van CO en  $C_xH_y$  die men aan deze motor toeschrijft, zouden daarom kunnen worden geëlimineerd met behulp van een naverbrander.

Dit laatste geldt ongetwijfeld wanneer men zich de — zeer compacte — wankelmotor voorstelt als plaatsvervanger van de grote Amerikaanse achtcylinders, met wie hij qua trillings- en geluidsarme loop kan wedijveren. Het is overigens nog een open vraag of dit ook zo maar opgaat in de veel kleinere motorcompartimenten die de Europese autofabrikanten beschikbaar maken voor hun 1 à 2 liter, viercylinders motoren. Misschien ligt hierin een gedeeltelijke verklaring waarom de belangstelling voor de wankelmotor in de Verenigde Staten momenteel sterker is dan in Europa.



## Dieselmotor

Van de overige motoren met inwendige verbranding verdient de dieselmotor de eerste belangstelling omdat hij voornamelijk in het beroepsvervoer wordt toegepast, waarbij belangrijk meer draaiuren per jaar worden gemaakt dan in het particulier vervoer. Aangezien de personenauto in vrijwel alle landen fiscaal zwaar wordt belast, onder meer via accijns op de benzine, wordt het bij intensief gebruik voordelig om gebruik te maken van een fiscaal minder zwaar belaste brandstof. De betrouwbare, zeer zuinige, maar dure en zware dieselmotor biedt hier uitkomst.

De dieselmotor maakt op zichzelf een verbetering in de uitlaatgassituatie mogelijk. Zijn CO-emissie is verwaarloosbaar laag vergeleken bij die van de benzine-motor. Uit commerciële overwegingen wordt dieselbrandstof voor het wegverkeer reeds lang in ontzwaarde kwaliteit geleverd, zodat nauwelijks of geen SO<sub>2</sub> wordt geëmitteerd. Onverbrande of gedeeltelijk onverbrande koolwaterstoffen (waaronder roet) kunnen op een zeer laag niveau worden gehouden wanneer men zich daar moeite voor geeft. Dit slaat zowel op de constructeur die het verbrandingsproces ontwerpt, als op de eigenaar die de verantwoordelijkheid heeft om door goed onderhoud te zorgen dat het verbrandingsproces niet uit de hand loopt.

Eenvoudige (ook opzettelijke) mechanische ontregelingen, slijtage e.d. maken van de potentieel schone uitlaat van vele dieselmotoren een aanfluiting. Hier blijft met name in Nederland de overheid als controleinstantie zeer in gebreke, ten detrimente van de reputatie van een motortype dat nog belangrijker bijdragen dan heden ten dage aan een draaglijk schone atmosfeer zou kunnen leveren.

Intussen blijft het een feit dat voor de normaal gebruikte personenauto de dieselmotor noch qua prijs, noch qua prestaties aantrekkelijk is.

## Gasturbine

Dit laatste geldt ook voor de gasturbine. Deze is in de eerste jaren na zijn spectaculaire succes als vliegtuigmotor van verschillende zijden gepropageerd als automobielmotor. Ten aanzien van deze functie schieten echter diverse eigenschappen, maar vooral de regelbaarheid, zodanig te kort dat er vooralsnog geen uitzicht op toepassing bestaat. De enige uitzondering lijkt de zeer zwaar belaste vrachtwagen, die nog gebrek heeft aan voldoende vermogen. Wellicht zou daar echter een wankel-dieselmotor eerder een doorbraak kunnen forceren. Naar verluidt, werkt Rolls Royce hieraan. Voor wat betreft de uitlaatgassen kan van de gasturbine vooral een NO<sub>x</sub>-emissie worden verwacht, zonder dat hierover momenteel kwantitatief wat kan worden gezegd. Andere emissies, met name koolwaterstoffen (roet), zijn echter evenals bij de dieselmotor te verwachten bij ontregeling. Dit geldt ook voor de volgende categorie: machines met uitwendige verbranding.

## Motoren met uitwendige verbranding

Deze categorie van werktuigen, of liever installaties, die evenals de motoren met inwendige verbranding langs thermische weg mechanische arbeid vrijmaken door middel van verbranding, onderscheiden zich

doordat niet de verbrandingsgassen zelf de arbeid verrichten. Zij dienen hier slechts tot verhitting van een geschikt medium dat in een gesloten kringloop circuleert. Na de verhitting wordt aan dat medium arbeid onttrokken en dan wordt het door afkoeling weer in zijn begintoestand gebracht.

De grootste handicap van de installatie met uitwendige verbranding is dat alle warmte die voor de volbrenging van het arbeidsproces nodig is, door een of andere wand moet worden overgebracht op het inwendige proces. Bovendien wordt een niet onbelangrijk deel van de warmte — meer dan de helft — door de andere wand weer naar buiten afgevoerd. Niet alleen worden deze installaties essentieel kostbaar, maar ook worden door de onvermijdelijke warmteoplossingen in deze wanden regelproblemen geschapen die de installatie gecompliceerd maken.

## Stoominstallatie

De voornaamste dezer installaties is de stoominstallatie, die het bekendst is door zijn toepassing op reuzeschaal in elektriciteitscentrales.

Bij de oorsprong van het automobilisme had de stoommachine, door grotere bekendheid met het principe, nog een gelijke kans als de benzine-motor, maar de grotere essentiële eenvoud van deze laatste gaf snel de doorslag.

Niettegenstaande de continue verbranding die voor een stoominstallatie nodig is, en die wel voordelen biedt (in principe ook ten aanzien van de samenstelling van het uitlaatgas, zelfs vergeleken bij de gasturbine), heeft tot nu toe het principe, door gewicht en gecompliceerdheid, geen ingang gevonden voor automobielgebruik. Een stoomauto is er dan ook niet, al beschikt men over alle benodigde technologie en zelfs al heeft men enkele geavanceerde prototypes in onderzoek.

## Stirlingmotor

In ons land heeft de taai volgehouden poging van Philips om een heetgasmotor te creëren herhaalde malen aandacht getrokken. Deze motor is een specimen uit de categorie van motoren met uitwendige verbranding waarbij niet van het water/stoom systeem, maar van een gas onder druk (bij voorkeur waterstof) gebruik wordt gemaakt.

Deze machine, genoemd naar zijn 19e eeuwse uitvinder, is niet lang geleden in een autobus gemonteerd. Men moet helaas zeggen dat, welke technische virtuositeit ook in deze ontwikkeling is ingebracht, de levenskansen voor automobielgebruik op grote schaal gering zijn. Hoge kosten, ongunstige verhouding tussen vermogen en gewicht, alsmede de aanzienlijke gecompliceerdheid lijken de concurrentiepositie van de stirlingmotor als automobielmotor, zelfs voor grotere eenheden als autobussen en vrachtwagens, niet sterk te maken.

## Conclusie

In een beschouwing als deze kan men nooit het onwaarschijnlijke, laat staan het onbekende in aanmerking nemen. Jaren geleden werd de elektronica tot geheel nieuwe ontwikkeling gebracht door de uitvinding van de transistor, maar we moeten niet vergeten



dat deze mogelijkheid wetenschappelijk reeds langer vaststond.

In tegenstelling daarmee is er in de automobieltechniek momenteel geen glimpje van wetenschappelijk inzicht te ontdekken waaruit een revolutionaire ontwikkeling zou kunnen groeien. Het meest waarschijnlijk is derhalve dat we het nog vele jaren zullen moeten doen met de klassieke oplossingen, tot het uiterste verfijnd, om de principiële emissies tot een te aanvaarden minimum te beperken. Dit zal in eerste lijn, bij de productie, meer gaan kosten, maar vooral ook bij het onderhoud tijdens de — langere? — levensduur. Bovendien zal het toezicht van overheidswege moeten worden verscherpt.

Uiteindelijk zullen andere methoden van vervoer moeten worden overwogen, maar dan op andere gronden dan luchtvervuiling alleen.

## V. Luchtverontreiniging op en nabij luchthavens

bewerkt door prof. dr. ir. C. Boelhouwer en ir. T. K. de Haas.

Deze paragraaf is ontleend aan bijdragen op dit gebied door ir. H. A. Meester-Broertjes en ir. W. F. P. M. Van de Weijer, gepubliceerd resp. in het Polytechnisch Tijdschrift afd. Procestechiek van 11 en 25 oktober 1972 en in het rapport WO-192 van de Afdeling Wetenschappelijk Onderzoek van het Directoraat Materieel Luchtmacht. Beide studies werden met toestemming van beide auteurs bewerkt door de stuurgroep Milieuzorg en aangepast aan nieuwere gegevens en inzichten [23, 24].

### Emissies als gevolg van het vliegverkeer op en rondom Schiphol

Het modern luchtverkeer wordt vrijwel beheerst door de straalturbinemotoren, die in enkele jaren de zuigermotoren en schroefturbinemotoren vrijwel geheel hebben verdrongen. Dit blijkt uit de figuren 4 en 5.

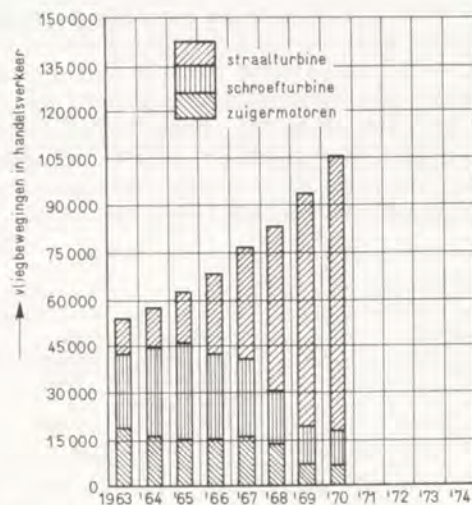


Fig. 4. Aantal vliegbewegingen (handelsverkeer) op Schiphol in de jaren 1963-1970 verdeeld naar het vliegtuigtype.

die betrekking hebben op de vliegbewegingen<sup>1)</sup> van de luchthaven Schiphol.

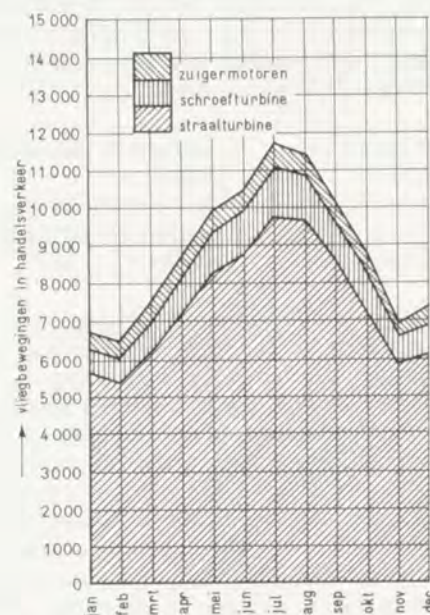


Fig. 5. Aantal vliegbewegingen (handelsverkeer) op Schiphol in 1970 verdeeld naar het vliegtuigtype.

Tabel 10 vermeldt de verdeling van de in 1970 hierbij betrokken vliegtuigen naar type en motoren, waaruit het aantal motorbewegingen<sup>1)</sup> voor de verschillende motortypen is afgeleid, daarbij aannemende dat ook bij stationair draaien en bij taxiën alle motoren werkelijk meedoen (tabel 11).

Tabel 10. Overzicht van vliegbewegingen op de luchthaven Schiphol in 1970.

Vliegtuigtypen	Aantal vlieg-bewegingen	Motortype	Aantal motoren per toestel
<b>Commercieel verkeer</b>			
<i>Straalturbinevliegtuigen</i>			
DC-9	ca.40.000	JT 8 D	2
Caravelle	ca.10.000	JT 8 D of RR Even	2
DC-8	ca.17.000	JT 3 D of JT 4 A	4
Boeing 747	ca.11.000	JT 9 D	4
Overige	ca.10.000	—	—
<i>Schroefturbinevliegtuigen</i>			
Zuigermotortoestellen	ca. 6.000	—	—
<b>Niet-commercieel verkeer</b>			
Vluchten naar andere luchthavens	ca.10.000	—	—
Terreinvluchten	2x ca.20.000	—	—

Tabel 11. Overzicht van motorbewegingen op de luchthaven Schiphol 1970.

Motortype	Aantal motorbewegingen
Straalturbinemotor	232.000 + 2 × 25.000 = 282.000
Schroefturbinemotor	20.000
Zuigermotor	12.000 + 2 × 25.000 = 62.000

<sup>1)</sup> Onder een vliegbeweging op een vliegveld verstaat men een vlucht, waarvan start of landing op dat vliegveld plaatsvinden; het aantal motorbewegingen is het produkt van het aantal vliegbewegingen en het aantal motoren dat bij elke vliegbeweging is betrokken.



Voor het berekenen van de totale emissie als gevolg van het vliegverkeer op en rondom een dergelijke luchthaven moet men voor elk der betrokken motortypen beschikken over een betrouwbare analyse van de emissiecijfers, gespecificeerd naar de verschillende fasen van de vliegbeweging:

stationair draaien	vliegen op kruishoogte
taxiën	dalen
starten	aanvliegen voor de landing
klimmen	landen en uitlopen
vliegen op kruishoogte	taxiën

Het is bekend dat de samenstelling van de uitlaatgassen van zuigermotoren sterk verschilt van die van turbinemotoren (zie tabel 12). Als gevolg van de vollediger verbranding is de hoeveelheid luchtverontreiniging per gewichtseenheid van de gebruikte brandstof veroorzaakt door turbinemotoren zeer veel kleiner. De cijfers in tabel 12 zijn overigens gemiddelden; er bestaan aanzienlijke verschillen tussen de diverse typen straalmotoren onderling en tussen diverse typen zuigermotoren onderling, terwijl de emissies elk op zich afhankelijk zijn van de fase der vliegbeweging.

**Tabel 12.** Emissies van vliegtuigen met zuigermotoren en met straalmotoren in vergelijking met de emissies van auto's (gemiddelde waarden volgens Van de Weijer [23]).

Emissies (g/kg brandstof)	Koolmonoxyde	Stikstofoxyden	Koolwaterstoffen	Zwavel-dioxyde
Auto	200	20	40	1
Vliegtuig met zuigermotor	100	50	15	1
Vliegtuig met straalmotor	1	3	5	1

**Tabel 13.** Emissieconcentraties in de uitlaatgassen van straalvliegtuigen met verschillende typen straalmotoren, geïnterpreteerd uit literatuurgegevens.

Verontreinigende stof	Emissieconcentraties	
	stationaire fase	startfase
koolmonoxyde	ca. 400 ppm vol/vol <sup>1)</sup>	5-40 ppm vol/vol
stikstofoxyden	5-20 ppm = 7-28 mg/m <sup>3</sup> (als NO)	50-100 ppm = 70-140 mg/m <sup>3</sup>
koolwaterstoffen	150-1.000 ppm = 450-3.000 mg/m <sup>3</sup> (als hexaan)	1-5 ppm = 3-15 mg/m <sup>3</sup>
aldehyden	10-20 ppm	0-2 ppm
vaste deeltjes, roet	4 mg/m <sup>3</sup>	40 mg/m <sup>3</sup>
zwavel-dioxyde	4-5 ppm	8-12 ppm

<sup>1)</sup> Bij "off-design"-condities is wel tot 1.800 ppm CO gevonden, maar zo'n hoge waarde zal in de normale gang van zaken niet optreden.

**Tabel 14.** Emissies en emissieconcentraties van schroefturbine- en zuigermotoren [31].

motortype en onderdeel vluchtbeweging	lucht/brandstof-verhouding	emissies (kg per 1.000 kg brandstof)					emissieconcentraties					
		CO	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (als CH <sub>4</sub> )	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	vaste stof (als C)	SO <sub>2</sub>	CO ppm	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (als CH <sub>4</sub> ) ppm	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> ) ppm	vaste stof (als C) mg/m <sup>3</sup>	SO <sub>2</sub> ppm	
schroefturbine-motor	stationair draaien, taxiën	106	24,8	8,1	3,7	0,6	1,0	240	130	24	5,7	4,5
	start	57	2,3	3,2	3,1	0,8	1,0	40	100	36	14	8,5
zuigermotor	stationair draaien, taxiën	10	800	110	2	2	0,2	80.000	20.000	12,5	200	9
	start	9,5	1.250	190	0	2	0,2	125.000	36.000	0	200	9

Meer gedetailleerde gegevens betreffende de emissie van een aantal voor de mens schadelijke of hinderlijke verbindingen in de verschillende fasen van het vliegverkeer zijn te vinden voor verschillende typen straalmotoren in [25-30]; voor verschillende typen schroefturbine- en zuigermotoren zijn gegevens opgenomen in [31].

Een overzicht van deze emissiegegevens is vermeld in de tabellen 13 en 14.

*Koolmonoxyde* ontstaat door onvolledige verbranding en komt bovendien in de uitlaatgassen voor door het bestaan van chemische evenwichten. De hoogste concentraties komen in de uitlaatgassen voor tijdens stationair draaien van de motor. Hierbij speelt de relatief lage temperatuur in de verbrandingskamers ook een rol. Daar het brandstofgebruik dan relatief gering is, zal de totale hoeveelheid geëmitteerde CO per tijdseenheid nog niet te groot zijn.

De vorming van *stikstofoxyden* wordt veelal bevorderd door hoge temperaturen in de verbrandingskamer; een relatief geringe temperatuurverlaging kan de hoeveelheid NO<sub>x</sub> reeds aanzienlijk doen dalen. De NO<sub>x</sub>-productie blijft uiteraard voornamelijk beperkt tot de startfase.

Het gehalte aan nog niet verbrande, maar eventueel wel reeds gekraakte *koolwaterstoffen* is in de uitlaatgassen van gasturbines veel lager dan in die van zuigermotoren. De grootste emissies van C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> komen — evenals bij CO — bij de lage toerentallen voor. Men meet meestal het totale gehalte aan koolwaterstoffen en drukt dat dan uit in bijv. methaan-equivalenten.

*Aldehyden* ontstaan bij onvolledige oxydatie van koolwaterstoffen. Over de aldehyde-emissie van vliegtuigmotoren zijn slechts weinig gegevens bekend; zij vormt slechts een klein deel van de totale emissie. Bij de vorming van fotochemische smog spelen deze verbindingen echter een belangrijke rol.

*Roet* kan vooral bij startende straalvliegtuigen hoofdbestanddeel van de emissie zijn. De voor een groot aantal mensen zichtbare rookpluim heeft een sterk psychologisch effect, al is de mate van zichtbaarheid geen exacte maat voor de hoeveelheid verontreinigende stof. Roet manifesteert zich als een aerosol met deeltjes ter grootte van 0,01-0,1 μm; de op zichzelf niet giftige koolstofdeeltjes kunnen toch een schadelijke inwerking op ons lichaam uitoefenen (voornamelijk door penetratie in onze ademhalingsorganen, bij grote concentraties en bij langjarige blootstelling).



Ook kunnen de vaste deeltjes stoffen als  $\text{SO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  adsorberen, waaruit zwavelzuur in plaatselijk relatief hoge concentraties kan worden gevormd, waarna roet dus (indirect) schadelijk gaat werken. De laatste jaren wordt veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van motoren, die vrijwel geen rook ontwikkelen [32]. Figuur 6 toont duidelijk de grote invloed van de verbeteringen aan de verbrandingskamer van enkele typen motoren; overigens hebben deze verbeteringen vrijwel geen invloed op de grootte der niet-zichtbare emissies der betrokken motoren.

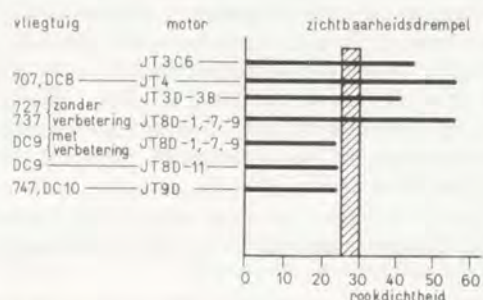


Fig. 6. Rookemissies door vliegtuigmotoren (Pratt and Whitney).

Zwaveldioxyde wordt te samen met iets  $\text{SO}_3$  gevormd door verbranding van de zwavelverbindingen in de brandstof. De  $\text{SO}_2$ -concentratie in de uitlaatgassen blijkt vrijwel recht evenredig te zijn met het zwavelgehalte van de brandstof. Een specificatie voor straalmotorenbrandstof (type JP4 kerosine) geeft aan dat het S-gehalte niet hoger mag zijn dan 0,4 gew.%. In vliegtuigbenzine is het S-gehalte gewoonlijk aanzienlijk lager.

Voor de berekening van de totale luchtverontreiniging als gevolg van het luchtverkeer op en rondom Schiphol moet de tijdsduur van de verschillende fasen der vliegbewegingen bekend zijn, alsmede het luchtdebiet. Voor straalmotoren vermeldt Van de Weijer [23] de gegevens van de General Electric straalmotor J-79-11A, die als redelijke gemiddelden ook kunnen gelden voor de straalmotoren der burgerluchtvaart (zie tabel 15). Met behulp van tabel 10 en de in tabel 13 vermelde concentraties is dan de productie per straalmotor te berekenen (zie tabel 16).

Tabel 17. De totale productie van luchtverontreinigende stoffen door het luchtverkeer op of rondom Schiphol in tonnen in 1970. Toegevoegd zijn nog min of meer vergelijkbare waarden voor Los Angeles (LAX) 1970 en New York 1967.

Verontreiniging	productie door straalmotoren		productie door schroefturbine en zuigermotoren		totaal Schiphol gemiddeld en afgerond	totaal LAX [33]	totaal New York [34]
	stationair draaien	start	stationair draaien	start			
CO	ca. 1.360	3,4-27	392	158	1.925	10.890	2.653
$\text{NO}_x$ als $\text{NO}_2$	30-118	67-127	4	0,6	165	1.110	1.510
$\text{CH}_i$ als $\text{CH}_4$	300-2000	0,3-2	62	25	1.225	10.685	2.614
aldehyde als $\text{CH}_2\text{O}$	39-77	tot 1,7	?	?	60		239
roet, vaste deeltjes	12	22-25	1,1	0,2	35	2.220	832
$\text{SO}_2$	34	12-19	1,9	0,2	50	540	—
<b>totaal</b>					<b>3.460</b>	<b>25.445</b>	<b>7.848</b>
extra door niet-vliegtuig-motor operaties op en bij het vliegveld					?	18.935	?

Voor New York 1967 zijn de cijfers voor de 3 luchthavens Kennedy, La Guardia en Newark tezamen opgegeven. Voor Los Angeles zijn de cijfers relatief hoog omdat — gezien de ligging — alles wat beneden een hoogte van 3.500 voet (ruim 1 km) met de motoren gebeurt, is meegerekend.

Tabel 15. Brandstof- en luchtverbruik van de General Electric straalmotor J-79-11A (gegevens ontleend aan Van de Weijer [23]).

Onderdeel van de vliegbeweging	Toerental rpm	Brandstofverbruik kg/s	Luchtverbruik kg/s	$\text{m}^3/\text{s}$
Stationair draaien	4.990	0,161	20 <sup>1)</sup>	17
Startfase	7.450	3,8	73-77	66-72

<sup>1)</sup> Dus een enorme luchtvermaat op de stoichiometrisch nodige hoeveelheid.

Tabel 16. Gemiddelde productie van luchtverontreinigende stoffen per straalmotor in g/s.

Verontreinigende stof	Bij stationair draaien	In de startfase
CO	ca. 8	0,4-3
$\text{NO}_x$ (als $\text{NO}_2$ )	0,18-0,7	8-15
$\text{C}_x\text{H}_y$ (als $\text{CH}_4$ ) <sup>1)</sup>	1,8-12	0,04-0,24
aldehyde (als $\text{CH}_2\text{O}$ ) <sup>1)</sup>	0,2-0,5	0-0,2
roet (C)	0,07	2,6-2,9
$\text{SO}_2$	0,2	1,4-2,3

<sup>1)</sup> De omrekening van de koolwaterstoffenconcentratie naar productie wordt bemoeilijkt omdat de samenstelling der koolwaterstoffengroep niet nauwkeurig bekend is. Bij de omrekening dient derhalve een gemiddeld moleculair gewicht te worden aangenomen. Deze keuze is dan vrij arbitrair, hoewel de lagere koolwaterstoffen (in hoofdzaak methaan) de overhand zullen hebben. Zo is ook formaldehyde een arbitraire keuze.

Uitgaande van een gemiddelde tijdsduur bij aankomst en bij vertrek van de stationaire fase (en taxiën) van 10 minuten en van de startfase van 30 seconden, zijn nu de totale door het straalverkeer op de luchthaven Schiphol in het jaar 1970 geëmitteerde luchtverontreinigingen benaderd (zie tabel 17). De uitloophase bij de landing duurt weliswaar korter dan 30 seconden, maar is in deze berekening eenvoudigheidshalve ook op 30 seconden gesteld.

Voor schroefturbine- en zuigermotoren leiden de gegevens van tabel 14 bij aanname van eenzelfde tijdsduur van stationaire fase (10 minuten) en startfase (30 seconden) direct tot een analoge benadering. Een samenvatting van deze berekeningen vermeldt tabel 17.



Het is interessant het berekende totaal te vergelijken met de totale nationale emissie. Beek [35] schat deze voor 1970 op  $4,5 \times 10^6$  ton. Het vliegverkeer rondom Schiphol droeg hieraan in 1970 dus niet meer bij dan slechts 0,1%.

### Immissieberekeningen

De omrekening van berekende en gemeten bronconcentraties en geëmitteerde hoeveelheden naar de grondconcentraties benedenwinds van een luchthaven is een ingewikkeld probleem. Het aantal meteorologische parameters dat invloed heeft op de concentratie aan de grond is zeer groot; daarbij komt dat de productie van luchtverontreinigende stoffen op een vliegveld geen continu proces is, maar zich voltrekt tijdens een aantal kleine perioden in de loop van elk etmaal. Bovendien is het aantal emissiebronnen variabel en niet aan een bepaalde plaats gebonden.

Voor de **atmosferische turbulentie** speelt een belangrijke rol; deze is sterk afhankelijk van de verticale temperatuurgradiënt in de atmosfeer, de windsnelheid, de toestand van het aardoppervlak (bebouwing), enz. Daarnaast zijn de turbulentie, ontstaan door de vliegbeweging zelf, en de windrichting van invloed.

Een cumulatie van verontreinigingen nabij het aardoppervlak treedt vooral op als in de onderste lagen der atmosfeer een z.g. **inversietoestand** voorkomt, waarbij de temperatuur niet met de hoogte afneemt. Een dergelijke toestand kenmerkt zich door een grote stabiliteit, waardoor uitwisseling van de lucht in de inversielaag met die erboven niet kan plaatsvinden. Verticale luchtbewegingen beneden de inversielaag en erboven kunnen wel plaatsvinden. Omdat het merendeel der emissies plaatsvindt op geringe hoogte (tot 300-400 m) zijn inversielagen op geringe hoogte in dit opzicht van groot belang.

Ondanks de hierboven opgesomde bezwaren om de gewenste immissiegegevens te verkrijgen door berekening uit emissiegegevens plus meteorologische gegevens, is zulks toch te verkiezen boven de opzet van een relatief kostbaar compleet immissiemeetsysteem. Ter controle op de berekende gegevens is het echter wel nodig om enkele immissiemetingen te verkrijgen. Enkele modellen voor immissieberekeningen, die een bepaalde situatie als uitgangspunt nemen, zullen nu worden besproken.

### MAC- en MIC-waarde

Berekent men met behulp van één of meer der in de desbetreffende literatuur voorgestelde methoden op grond van de bronconcentraties en de emissiecijfers de hoogste concentraties op een afstand van bijv. 1 km benedenwinds van de luchthaven, dan blijkt dat voor geen der genoemde componenten de concentratie groter kan worden dan de in het bedrijfsleven algemeen toegestane MAC-waarde (**maximum allowable concentration** of **maximaal aanvaardbare concentratie**), zoals deze nagestreefd wordt bij een verblijf van 8 uur in een met de desbetreffende hinderlijke of toxische stof verontreinigde werkruimte. Bij stabiele weersituaties kunnen echter in de atmosfeer —

met name voor koolwaterstoffen en stikstofoxyden — wel MIC-waarden (**maximum immission concentration** of **maximaal aanvaardbare immissie concentratie**) worden overschreden.

De MIC-waarde voor een zekere verontreiniging in de atmosfeer is die concentratie, die naar de best bekende ervaringen gedurende de erbij opgegeven tijdsduur aan mens, plant, dier of materiaal nog geen schade berokkent. In verschillende landen worden verschillende MIC-waarden gehanteerd omdat de diverse autoriteiten ongelijk oordelen over wat nog net niet en wat reeds wel schadelijk is. Omdat in ons land hierover nog geen beslissing is gevallen, worden in dit artikel in hoofdzaak gehanteerd de MIC-waarden (voor de mens) voorgesteld t.b.v. de V.S. en aldaar in 1975 te bereiken [36]. De MIC-waarden (1975) voor alle leven en materialen zijn nog weer stringenter dan de nu opgegeven waarden voor de mens. Zie tabel 18.

Tabel 18. Overzicht van MIC- en MAC-waarden (grotendeels op Amerikaanse normen gebaseerd).

Verontreinigende stof	MIC-waarden (soms nog met de aanvulling "niet meer dan 1x per jaar te overschrijden")			MAC-waarden, max. 8 uur in werkruimte	
	ppm	mg/m <sup>3</sup>	gedurende max. tijd	ppm	mg/m <sup>3</sup>
koolmonoxyde	9	10	8 uur	50	55
	35	40	1 uur		
stikstofoxyden	0,05	0,10	jaargemid-5 (NO <sub>2</sub> ) delde <sup>1)</sup>	25 (NO)	3-25
koolwaterstoffen	0,24	0,16	3 uur, als CH <sub>4</sub> 's morgens	20-140	15-100
aldehyden <sup>2)</sup>	0,2	—	—	5 (als CH <sub>2</sub> O)	—
vaste deeltjes, roet	—	0,075	jaar- mediaan 24 uur	—	3,5
	—	0,260	—	—	—
zwaveldioxyde	0,03	0,08	jaargemid- delde	5	5-50
	0,14	0,365	24 uur	—	—

<sup>1)</sup> Overwogen wordt deze tijd tot max. 24 uur te verlagen.

<sup>2)</sup> Opgegeven in [37], tweede publikatie.

Op te merken valt nog dat als de MIC-waarde voor max. 24 uur tijdsduur 1 bedraagt men bij benadering kan zeggen dat de 8 uur-waarde ca. 2 en de 1 uur-waarde ca. 3 zal bedragen.

### Immissiemodel bij grote atmosferische stabiliteit

Hierbij wordt uitgegaan van een stabiele en windstille meteorologische situatie met een inversielaag van nabij het aardoppervlak tot ca. 100 m hoogte. Er wordt aangenomen dat de geproduceerde verontreinigingen zich min of meer homogeen zullen verdelen als gevolg van de door de vliegtuigen veroorzaakte turbulentie, maar dat ze niet uitstijgen boven de inversielaag.

De ophoping wordt geacht plaats te vinden boven en in de nabijheid van de startbaan in een ruimte van ca.  $12 \times 10^7$  m<sup>3</sup> (4.000 m lang x 300 m breed x 100 m hoog).

Tijdens de start worden vooral stikstofoxyden en roet geëmitteerd in hoeveelheden van resp. 8-15 g/s en



2,6-2,9 g/s per straalmotor (zie tabel 16). Stelt men de startduur op 30 s, dan worden per motor dus max. 450 g NO<sub>x</sub> en 87 g roet geproduceerd, hetgeen in bovengenoemde ruimte neerkomt op een concentratie van 3,75 µg/m<sup>3</sup> en 0,7 µg/m<sup>3</sup>. Gelet op de MIC-waarden van NO<sub>x</sub> en van roet (resp. 100 µg/m<sup>3</sup> en 75 of 260 µg/m<sup>3</sup>) en uitgaande van toestellen met gemiddeld drie motoren, betekent dit dat de MIC-waarde van NO<sub>x</sub> bereikt wordt door ca. 10 startende toestellen en die van roet pas door nog veel meer startende toestellen. Op Schiphol vonden in december 1970 per dag gemiddeld 200 vliegbewegingen plaats; een stabiele weerssituatie die langere tijd duurt (zoals in de winter het geval kan zijn) kan dus inderdaad tot overschrijding van de MIC-waarden voor NO<sub>x</sub> en roet aanleiding geven, vooral tijdens de spitsuren. In de zomer is weliswaar het aantal vliegbewegingen groter (juli 1970: 350), maar doen stabiele weerssituaties zich zelden gedurende langere tijd dan enkele uren voor. (Zie frequentietabellen voor Nederlandse weerstations over atmosferische stabiliteit door het KNMI te De Bilt, 1972).

**Tijdens het stationair draaien** worden vooral koolmonoxyde en koolwaterstoffen geproduceerd. Men kan gemakkelijk berekenen dat de MIC-waarde voor CO (10 mg/m<sup>3</sup>), pas wordt bereikt wanneer meer dan 80 driemotorige toestellen elk 10 minuten gelijktijdig stationair draaien; voor koolwaterstoffen (max. waarde) wordt de MIC-waarde van 160 µg/m<sup>3</sup> echter reeds bereikt door stationair draaien van 1 motor gedurende een half uur.

#### Model van Heywood voor de start

Heywood c.s. [38] bestudeerde de verspreiding van deeltjes in de uitlaatpluim van straalmotoren door vermenging met de omgevingslucht in een stationaire, niet turbulente atmosfeer.

Hij berekende dat de straal van de uitlaatpluim snel toeneemt tot ongeveer 30 meter na 30 s en daarna met lagere snelheid tot ongeveer 300 meter na 10 minuten. Stellen we de straal van de pluim nabij het vliegtuig op 3 meter, dan is de doorsnee na 10 minuten dus 10<sup>4</sup> x zo groot (de complicatie van weerkaatsing tegen de grond is verwaarloosd) en zal de concentratie aan luchtverontreinigingen in de pluim 10<sup>-4</sup> C<sub>0</sub> bedragen (aannemende dat de breedte van de pluim daarna constant is) (zie ook figuur 7). C<sub>0</sub> is de concentratie in de pluim van een motor vlak achter het toestel, als de straal van de pluim 3 m bedraagt.

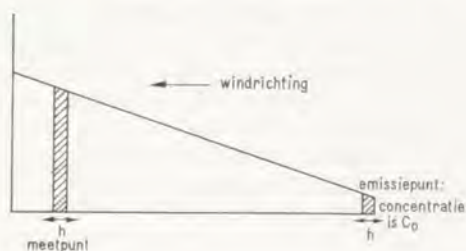


Fig. 7. Schematische weergave van de uitlaatpluim van een vliegtuigmotor (volgens Heywood).

Als de pluim met de wind mee beweegt (zonder dat deze beweging de afmetingen van de pluim verder beïnvloedt), zal de pluim bij een windsnelheid van

1 m/s na 10 minuten 600 meter van het beginpunt van de startbaan (het emissiepunt) verwijderd zijn; bij een windsnelheid van 2 m/s is dit 1.200 meter. Op deze afstanden zal de concentratie van de emissies van een driemotorig vliegtuig dan op de grond  $3 \times 10^{-4} C_0$  bedragen. Deze waarde wordt echter niet continu bereikt omdat het productieproces discontinu is (zie figuur 8); de tijdsduur tussen de concentratiepieken wordt bepaald door de frequentie waarmee de vliegtuigen opstijgen.

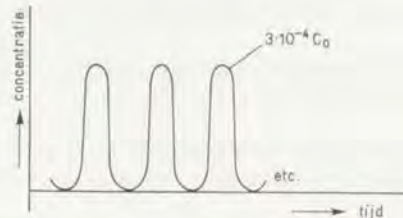


Fig. 8. Het proces van de productie van verontreinigingen (volgens Heywood).

Daar de waarden van  $3 \times 10^{-4} C_0$  bij roet een factor 10 à 20, bij NO<sub>x</sub> een factor 1 à 3, bij aldehyden en CO een factor ca. 300 kleiner zijn dan de opgegeven desbetreffende MIC-waarden (dit volgt uit de gegevens van tabel 18), kan worden geconcludeerd dat de concentraties benedenwinds van een vliegveld in een atmosfeer waarin geen accumulatie optreedt, op afstanden afhankelijk van de windsnelheid, deze MIC-waarden niet zullen overschrijden. Alleen wanneer enkele toestellen vlak na elkaar starten, kan de NO<sub>x</sub>-concentratie de MIC-waarde benaderen.

Als de afstand tussen de kop van de baan en de begrenzing van het luchthaventerrein ongeveer 1.200 m bedraagt en de gemiddelde baanlengte 3 km is (waardoor de emissiebron gemiddeld op 1.500 m vanaf de kop van de baan ligt), zal de homogenisering van de concentratie over de pluim tot de eindwaarde van  $3 \times 10^{-4} C_0$  bij een windsnelheid van meer dan 4 m/s echter pas buiten het terrein van de luchthaven bereikt zijn.

#### Model van Fay

Fay [39] volgt een geheel andere benadering van de dispersieproblematiek (zie figuur 9).

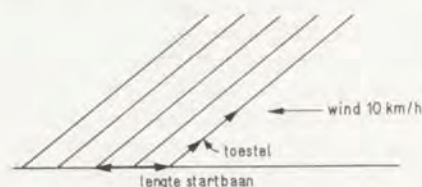


Fig. 9. Emissiestrepen boven een vliegveld als gevolg van opstijgende vliegtuigen (volgens Fay).

Hij gaat er van uit dat ieder vliegtuig dat vanaf een bepaalde startbaan opstijgt, na de start een "streep" uitlaatgassen achterlaat vlak boven de grond en hoger in de lucht. Daar de vliegtuigen tegen de wind in opstijgen, zal de wind deze uitlaatgassen achterwaarts verplaatsen. Stel dat elke 6 minuten een vliegtuig opstijgt en dat er een wind staat van 10 km/uur (ca. 3 m/s), dan is de pluim in het interval tussen twee starts 1 km verder gedreven. Na een half uur hangen



er volgens deze benadering 5 schuine emissiestrepen in de lucht, na een uur 10, enz. Voor landingen kan een uniforme benadering worden gemaakt; figuur 10 geeft de situatie weer na een groot aantal starts en landingen.

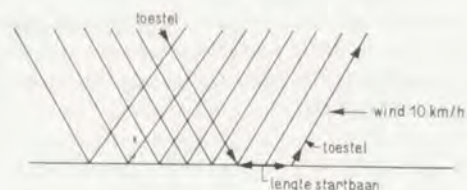


Fig. 10. Emissiestrepen boven een vliegveld na een aantal starts en landingen (volgens Fay).

Voor de **gemiddelde concentratie** over een jaar van een luchtverontreinigende component ontwikkelde Fay de formule

$$C = \frac{mf}{vw}$$

waarin  $C$  = gemiddelde concentratie ( $\text{g}/\text{m}^3$ );  
 $f$  = frequentie = aantal starts of landingen per jaar;  
 $m$  = grammen geëmitteerde stof per meter lengte-eenheid en per vliegbeweging;  
 $v$  = windsnelheid ( $\text{m}/\text{h}$ );  
 $w$  = horizontale mengfactor (met dimensie  $\text{m}$ ), bepaald door de hoek tussen windrichting en startrichting enerzijds en de horizontale menging ten gevolge van de atmosferische turbulentie anderzijds<sup>1)</sup>.

Voor de situatie op Schiphol vindt men met behulp van deze formule voor  $\text{NO}_x$  een waarde  $C = 1,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (hierbij is uitgegaan van waarden van  $m = 10,7 \text{ g}/\text{m}$  en per start/landing,  $f = 50.000/\text{jaar}$ ,  $v = 16.000 \text{ m}/\text{h}$  en  $w = 2.000 \text{ m}$ ).

Volgens Fay hebben ook sterkere turbulenties in de atmosfeer slechts weinig invloed op de verontreinigingskegel; de concentraties zijn op 300 m hoogte vrijwel even groot als op 10 m. Er vindt alleen verplaatsing plaats van verontreinigde lucht, echter nauwelijks vermenging met schone lucht. Ook op een afstand van 30-60 km is volgens Fay de gemiddelde concentratie van luchtverontreinigende stoffen in de smalle strook van stijgen en dalen nog vrij groot; zij zou voor zeer grote luchthavens zoals Kennedy Airport (New York), met  $10^6$  vliegbewegingen per jaar en meer, overeenkomen met de waarden in stedelijke agglomeraties. Een toename van de horizontale menging zou de situatie slechts langzaam doen verbeteren.

Op Schiphol zou de MIC-waarde voor  $\text{NO}_x$  volgens de benaderingsmethode van Fay onder ongunstige omstandigheden worden bereikt wanneer de emissies nagenoeg onverdund in de richting van de startbaan blijven hangen, de windsnelheden klein zijn, de uitworp nagenoeg onverdund aan de grond komt en na

<sup>1)</sup> Volgens Fay wordt deze factor door de horizontale turbulentie groter naarmate de afstand tot de luchthaven toeneemt; deze toename bedraagt echter niet meer dan een factor 2.

ca. 60 vliegbewegingen tijdens piekuren. Ook voor andere componenten kan men berekenen dat MIC-waarden (afhankelijk van welke normwaarde is gekozen) zouden kunnen worden overschreden. De berekeningen van Fay zijn echter gebaseerd op zeer grote aantallen vliegbewegingen; in de Nederlandse situatie is er alleen daarom reeds minder vaak sprake van een cumulatie van vliegbewegingen. De conclusies van Fay met betrekking tot de luchthaven van New York zullen voor Schiphol alleen gelden op topdagen bij een zeer zwakke turbulentie in horizontale richting en geringe windsnelheid, (zie frequentietabellen KNMI, De Bilt, 1972).

### Punt- en lijnbronnen

De benadering met modellenberekening voor punt- en lijnbronnen in een bewegende atmosfeer is gebaseerd op de diffusiemodellen die werden ontwikkeld voor de spreiding van industriële verontreinigingen. Een vervuilingbron wordt als een puntbron beschouwd als alle dimensies klein zijn in vergelijking met de afstand tussen bron en ontvanger; bij een **lijnbron** geldt dit niet voor één van de dimensies.

De concentratieverdeling rondom **puntbronnen** wordt gekarakteriseerd door een algemene diffusievergelijking, waarbij van een Gauss-verdeling wordt uitgegaan [40].

$$X = \frac{Q}{\pi T_y T_z u} \exp. \left[ -\frac{y^2}{2T_y^2} - \frac{h_e^2}{2T_z^2} \right]$$

waarin  $X$  = concentratie;  
 $Q$  = geëmitteerde hoeveelheid luchtverontreinigende stoffen per puntbron en per tijdseenheid;  
 $u$  = windsnelheid;  
 $T_y$  en  $T_z$  = de horizontale en verticale standaarddeviaties voor de Gauss-verdeling der diffusie; de grootte hangt af van de meerdere of mindere stabiliteit van de atmosfeer en van de afstand in de  $x$ -richting;  
 $y$  = horizontale afstand tot het midden van de pluim (loodrecht op de windrichting);  
 $h_e$  = hoogte der emissiebron boven de grond.

Vele auteurs hebben gepoogd verfijningen, resp. vereenvoudigingen in deze algemene vergelijking aan te brengen ter aanpassing aan het door hen bestudeerde probleem. O.a. Pasquill [45], Bosanquet [41], Sutton [42], Cramer [43], Wipperman en Klug [44] kunnen in dit verband worden genoemd. (De vergelijkingen in hoofdstuk 4 van deze publikatie stoelen evenzeer op deze basisvergelijking).

De benadering van de diffusie voor **lijnbronnen** gaat uit van een overeenkomstige gedachtegang; de formule is echter gecompliceerder. Van de Weijer [23] heeft, uitgaande van TNO-berekeningen, volgens deze modellen bij verschillende stabiliteitscondities van de atmosfeer de hoogst voorkomende grondconcentra-



Tabel 19. a, b en c.

a. Hoogste voorkomende grondconcentraties in mg/m<sup>3</sup> op 1 km afstand van één als continue puntbron voorgestelde straalmotor tijdens de stationaire fase.

meteorologische situatie	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (als CH <sub>4</sub> )	aldehyde (als CH <sub>2</sub> O)	roet	SO <sub>2</sub>
zeer stabiel	13	0,4	4	0,4	—	—
stabiel	—	0,1	0,9	0,1	—	—
neutraal	—	—	0,3	—	—	—
instabiel	—	—	—	—	—	—

b. Hoogste voorkomende grondconcentraties in mg/m<sup>3</sup> op 1 km afstand van één als lijnbron voorgestelde straalmotor tijdens de startfase.

meteorologische situatie	CO	NO <sub>x</sub> (als NO <sub>2</sub> )	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> (als CH <sub>4</sub> )	aldehyde (als CH <sub>2</sub> O)	roet	SO <sub>2</sub>
zeer stabiel	24	120	2	2	22	17
stabiel	9	48	—	—	9	7
neutraal	4	19	—	—	4	3
instabiel	2	9	—	—	2	1
zeer instabiel	—	2	—	—	—	0,5

c. USA-1975 MIC-waarden in mg/m<sup>3</sup> (in [23] is een iets andere MIC-waarde tabel gebruikt).

MIC-waarden	10 (8 uur) 40 (1 uur)	0,1 (24 uur?)	0,16 (3 uur)	0,2 (geen 1975 norm)	0,26 (24 uur)	0,365 (24 uur)
-------------	--------------------------	---------------	--------------	-------------------------	---------------	----------------

ties van een aantal luchtverontreinigende stoffen berekend, waarbij de straalmotor gedurende de stationaire fase als puntbron en gedurende de startfase als lijnbron is beschouwd. De resultaten van deze berekeningen, waarbij werd uitgegaan van de hoogste in tabel 16 voor een straalmotor vermelde emissiewaarden, zijn vermeld in tabel 19. Omdat de studie van Van de Weijer in hoofdzaak betrekking had op de luchtverontreiniging veroorzaakt door de (eenmotorige) Starfighters, is de berekening uitgevoerd met één motor als bron.

De berekeningen hebben zich beperkt tot die situaties waarin de aangenomen MIC-waarden duidelijk werden overschreden. In de praktijk van de civiele luchthavens heeft men meest met meermotorige toestellen te maken.

Wat betreft het **stationair draaien**, blijkt uit tabel 19 dat bij neutrale weersomstandigheden op een afstand van 1 km van de motor alleen de concentratie van de koolwaterstoffen de MIC-waarde overtreft. Bij stabiel weer geldt dit ook voor CO, NO<sub>x</sub> en aldehyde. Wanneer de berekeningen zouden worden uitgevoerd voor een luchthaven met een groter aantal stationair draaiende motoren, mag men verwachten dat, zeker bij stabiel weer, op een afstand van 1 km een aantal MIC-waarden worden overschreden. Wel moet men hierbij de geringe afstand tot de bron (1 km) beschouwen, alsmede het feit, dat de berekening geldt voor de als maximaal gestelde produkties. De werkelijkheid zal daardoor voor de omliggende gebieden gunstiger kunnen zijn, terwijl bovendien bij stabiele meteorologische omstandigheden (slecht zicht, laaghangende wolken) het aantal vliegbewegingen beperkt zal kunnen zijn. Wat betreft de **startfase**, wanneer we deze stellen op 30 s, zullen CO, koolwaterstoffen en aldehyde volgens de gegevens van tabel 19 bij neutrale en instabiele weersituaties stellig geen problemen vormen, daar de korte emissieperiode wordt gevolgd door een redelijk lange tijd waarin geen emis-

sies plaatsvinden. Alleen bij stabiele weersituaties, wanneer er geen turbulentie is, kunnen hogere concentraties voorkomen. Voor roet en SO<sub>2</sub> geldt deze redenering ook, zij het, dat bij deze stoffen de MIC-waarden sneller worden overschreden. De stikstofoxyden vormen volgens de in tabel 19 vermelde gegevens het grootste probleem, omdat de MIC-waarde op 1 km afstand bij alle meteorologische situaties ruimschoots wordt overschreden.

### Conclusies

1. Ten opzichte van de som van emissies in de Nederlandse atmosfeer dicht bij de grond is de bijdrage door het vliegverkeer zeer gering (orde 0,1%).
2. De verschillende immissiemodellen die werden besproken, benaderen de problematiek vanuit verschillende gezichtspunten. Het "overall"-resultaat van de immissie-berekeningen is dan ook niet eenduidig. Wel geven de uitkomsten aan dat de concentraties aan verontreinigende stoffen ten gevolge van het vliegverkeer voor de omwonenden van een luchthaven vermoedelijk te laag zijn om schade voor de gezondheid op te leveren. De berekende hoogste voorkomende grondconcentraties op 1 km vanaf de bron blijken immers lager te liggen dan de opgegeven MAC-waarden. Metingen ter plaatse zouden uitsluitel in deze kunnen geven en voorts een aanduiding kunnen verschaffen welk rekenmodel zich het beste laat aansluiten bij de plaatselijke omstandigheden.
3. Bij gebruik van de opgegeven MIC-waarden — het is overigens een grote vraag of het noodzakelijk is om deze toe te passen — blijkt dat de kans erg groot is dat de MIC-waarde van sommige der genoemde schadelijke stoffen op 1 km benedenwinds van de verontreinigende bronnen bij ongunstige weersomstandigheden wordt overschreden. Metingen op London Airport in 1970 wijzen echter in een



- richting dat de in deze studie gehanteerde benaderingswijze erg voorzichtig is [46]. Milieuproblemen kan men in eerste instantie echter beter te voorzichtig aanpakken. Gezien de noodzakelijke beperkingen van de onderhavige studie is het niet vast te stellen hoeveel malen per jaar en dan voor hoeveel tijd een dergelijke overschrijding zal plaatsvinden en wat de werkelijke situatie is voor de omwonenden op verschillende afstanden tot de luchthaven. Deze situatie zal per luchthaven voor elke woonwijk apart moeten worden bekeken.
4. Hoewel het op dit moment niet noodzakelijk lijkt om de zeer ingrijpende aanbeveling te doen om bij bepaalde weersomstandigheden de grondoperaties en het aantal starts voor een luchthaven te beperken, verdient het toch aanbeveling om metingen te verrichten op en in de nabijheid van onze nationale luchthaven. Deze metingen zouden moeten plaatsvinden bij verschillende meteorologische omstandigheden op verschillende afstanden tot de startbanen en op verschillende tijdstippen.

## VI. Appendix 1. Verantwoording van de basisgegevens voor de berekening van de landelijke CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> en NO<sub>x</sub> emissie door het wegverkeer.

### Inleiding

De emissiegegevens zijn gesplitst in gemiddelde waarden voor drie categorieën:

- personenwagens, bestelwagens en personenbussen uitgerust met *viertakt benzinemotoren*;
- personen- en vrachtwagens uitgerust met *dieselmotoren*;
- bromfietsen uitgerust met *tweetaktmotoren*.

### I. Emissiegegevens bij diverse rittypen van wagens uitgerust met viertakt benzinemotoren

Uitgegaan wordt van emissiegegevens van voertuigen welke niet behoeven te voldoen aan de eisen ten aanzien van de uitlaatgasemissie volgens EEG-reglement 70/220/EEG [47], hetgeen representatief is voor het Nederlandse wagenpark vóór 1 januari 1972.

#### I.1. Rittype I, stadsrit binnen de bebouwde kom

Dit rittype zal in grote trekken overeenkomen met de Europese cyclus zoals vastgesteld in het bovengenoemde EEG-reglement:

$v_{max.} = 50$  km/uur  
 $v_{gem.} = 19$  km/uur  
 afgelegde afstand per test 4,052 km.

De emissiegegevens zijn ontleend aan publikaties van Haynes en Southall [48].

#### Gemiddeld uitlaatgasvolume

Als gemiddeld wagen gewicht komt het voertuig met een testgewicht van 2500 lbs naar voren. Het rijklare gewicht:  $2500 \times 0,4536 = 120$  kg = 1010 kg.

Uitgaande van de CBS-gegevens over de procentuele verdeling van het Nederlandse wagenpark in diverse gewichtsklassen en de gegevens over het uitlaatgasvolume per gewichtsklasse, is een berekening gemaakt van het gemiddelde geproduceerde uitlaatgasvolume per Europese test (4,052 km), dat vrijwel overeenkomt met de door Haynes en Southall vermelde  $V_{ii} = 4050$  l/test =  $1,0$  m<sup>3</sup>/km.

#### CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie

Gemiddelde geproduceerde CO-emissie vanuit koude start: CO = 172 g/test = 42 g/km (mol.concentratie: 3,4% CO).

Idem voor de C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie: C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> = 11,0 g/test = 2,7 g/km (concentratie: 700 ppm).

Opmerking: De C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie is gemeten als hexaan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>), de berekeningen zijn hierop gebaseerd.

Bij een concentratie van 3,4% CO geldt volgens Haynes en Southall een specifieke CO-emissie van: 44 g CO/100 g brandstof.

172

Tijdens een rit van 4,052 km wordt dus  $\frac{172}{44} \times 100 =$

390 g benzine verbruikt, met een gemiddeld soortelijk gewicht van 0,75. Gemiddeld benzineverbruik: 0,75

$\frac{390}{1000} \times 4,052 = 7,8$  km/l.

390

#### NO<sub>x</sub>-emissie, opgegeven als NO<sub>2</sub>

De emissiegegevens zijn gebaseerd op metingen van TNO en UTAC. Uit de ontvangen TNO-gegevens blijkt een gemiddelde concentratie van 600 ppm NO en 100 ppm NO<sub>2</sub>. Uitgaande van  $V_{ii} = 4050$  l/test en de NO omgerekend tot NO<sub>2</sub>, komt de berekening neer op 6,0 g NO<sub>2</sub>/test = 1,5 g NO<sub>2</sub>/km. Gemeten bij UTAC: 3 à 12 g NO<sub>2</sub>/test van 4,052 km.

#### I.2. Rittype II, regio-rit binnen en buiten de bebouwde kom

Dit rittype komt overeen met de California 7-mode cycle [49]:

$v_{max.} = 80,6$  km/uur

$v_{gem.} = 35,6$  km/uur.

Het geproduceerde uitlaatgasvolume kan volgens Federal Register Vol. 33 worden berekend met de formule:

$V_{ii} = -6,00 + 2,49 \cdot 10^{-2} W - 1,81 \cdot 10^{-6} W^2$  cub.ft/mile waarbij  $W = 2500$  lbs testgewicht.

$V_{ii} = 45$  cub.ft/mile = 795 l/km ~ 0,8 m<sup>3</sup>/km.

#### CO- en C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie

Metingen aan 50 voertuigen door Haynes en Southall hebben de volgende verhouding gegeven voor de concentraties:

$CO_{Eur.} = 1,10 CO_{Cal.}$  (Eur. = gemeten emissie volgens Europese testmethode)

$CH_{Cal.} = 1,50 CH_{Eur.}$  (Cal. = gemeten volgens Californische testmethode)



$$CO_{conc. Cal.} = \frac{3,4}{1,1} = 3,1\%$$

$$CH_{conc. Cal.} = 1,5 \times 700 = 1050 \text{ ppm} \sim 1100 \text{ ppm.}$$

Uitgaande van de voorgeschreven rekenmethode [49] volgt:

$$CO_{mass.} = \frac{CO_{conc.}}{100} \times V_u \times \text{density}_{CO} =$$

$$\frac{3,1}{100} \times 45 \times 32,97 = 46 \text{ g/mile} = 29 \text{ g CO/km} \sim 30 \text{ g CO/km.}$$

$$CH_{mass.} = CH_{conc.} \cdot 10^{-6} \times 1,8 \times 6 \times V_u \times \text{density}_{CH} = 1050 \cdot 10^{-6} \times 1,8 \times 6 \times 45 \times 16,33 = 8,3 \text{ g/mile} = 5,2 \text{ g/km.}$$

De CH-concentratie wordt gemeten met een NDIR meetapparatuur gevoelig voor  $C_6H_{14}$ . Correlatiegegevens tussen NDIR en FID instrumenten hebben volgens bovenstaande formule een verhouding aangetoond van:

$$CH_{FID} = 1,8 \times CH \text{ (als } C_6H_{14}\text{).}$$

Voor correcte vergelijking met de  $C_xH_y$ -emissie bij I.1. geeft dit dus een CH-emissie bij I.2. van

$$CH = \frac{5,2}{1,8} = 2,9 \text{ g/km} \sim 3,0 \text{ g CH/km.}$$

Opmerking: het is realistisch ter bepaling van de totale  $C_xH_y$ -emissie de berekende CH-emissie (gemeten als  $C_6H_{14}$ ) aan het eind weer te vermenigvuldigen met een factor 1,8.

#### *NO<sub>x</sub>-emissie*

In diverse Amerikaanse publikaties [50] wordt een gemiddelde NO<sub>x</sub>-emissie (als NO<sub>2</sub>) opgegeven van 5,3 g/mile = 3,3 g/km.

Teruggerekend op basis van  $V_u = 0,8 \text{ m}^3/\text{km}$  en s.g. = 2,05 kg/m<sup>3</sup> geeft dit: NO<sub>x conc.</sub> = 2.000 ppm.

#### *Brandstofverbruik*

Gebaseerd op de gegevens onder I.1. en de aanname dat de mengselsterkte onder gegeven omstandigheden vergelijkbaar is, zal het brandstofverbruik

$$\frac{1,0}{0,8} \times 7,8 = 9,75 \text{ km/l} \sim 9,8 \text{ km/l bedragen.}$$

### **I.3. Rittype III, buitenrit, buiten de bebouwde kom**

Aangenomen wordt voor dit rittype

$$v_{max.} = 120 \text{ km/uur}$$

$$v_{gem.} = 80 \text{ km/uur.}$$

Over de emissie bij dergelijke ritten zijn weinig gegevens bekend. Toch kan uit een aantal overwegingen en gegevens de emissie redelijk worden geschat.

#### *CO-emissie*

De motor draait hierbij in het hoge snelheidsgebied (af en toe vollast) waarbij de CO-concentratie ge-

middeld laag zal zijn tussen 1,5 en 2,0%. CO<sub>gem.</sub> = 1,7%.

#### *C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>-emissie*

De koolwaterstofemissie zal, gezien het gering aantal deceleraties (afremmen op de motor), hoofdzakelijk worden bepaald door de CH-emissie tijdens de belaste toestand. Deze is gering:  $C_xH_y \sim 200 \text{ ppm}$ . Teneinde de invloed van toevallige deceleraties tijdens de rit in rekening te brengen, wordt bovengenoemde emissie met 50% verhoogd.  $C_xH_y \sim 300 \text{ ppm}$ .

#### *NO<sub>x</sub>-emissie*

De NO<sub>x</sub>-concentratie zal, gezien de hoge belasting en geringere mengselsterkte, hoger liggen vergeleken met die vermeld onder I.2. NO<sub>x</sub> ~ 2.300 ppm.

#### *Uitlaatgasvolume en brandstofverbruik*

Een proportionele vergelijking met de gegevens onder I.1. en I.2. gaat hier niet op en wel om de volgende redenen:

- gelijkmatiger belasting van de motor,
- gunstiger lucht:brandstofverhouding bij hogere deelbelasting.

De brandstofverbruiken bij diverse wagentypen in de 2500 lbs testgewichtsklasse liggen gemiddeld op 10,8 km/liter.

Het aangenomen uitlaatgasvolume  $V_u \sim 0,75 \text{ m}^3/\text{km}$ . Hiermee kunnen de volgende emissiewaarden worden berekend:

$$CO = 0,75 \times 1,25 \cdot 10^3 \times 1,7 \cdot 10^{-2} = 15,9 \text{ g/km} \sim 16 \text{ g/km}$$

$$C_xH_y = 0,75 \times 3,844 \cdot 10^3 \times 300 \cdot 10^{-6} = 0,865 \text{ g/km} \sim 0,9 \text{ g/km}$$

$$NO_x = 0,75 \times 2,05 \cdot 10^3 \times 2300 \cdot 10^{-6} = 3,54 \text{ g/km} \sim 3,5 \text{ g/km}$$

### **I.4. Verdampingsverliezen koolwaterstoffen**

De verdampingsverliezen bij rittype I worden op grond van Amerikaanse gegevens geschat op 0,4 g/km en voor rittype II zal 0,6 g/km een reële waarde zijn. Bij deze bepaling is rekening gehouden met klimatologische verschillen tussen Nederland en de Verenigde Staten.

Voor de buitenrit III zal het verdampingsverlies minimaal zijn.

Opmerking: Niet opgenomen in deze beschouwingen zijn de verliezen ten gevolge van het verplaatsen van benzinedamp bij het tanken en de verliezen door morsen bij het vullen.

### **I.5. Carterdampverliezen**

Nihil voor alle rittypen, daar het 1970 wagenpark vrijwel voor 100% is uitgerust met een recirculatiesysteem voor carterdampen.

### **I.6. Correctie voor slecht onderhoud**

De gegevens van Haynes en Southall zijn gebaseerd op metingen aan 105 wagens, getest in de conditie waarin zij ontvangen waren. Daarna zijn via een aantal "warme" tests de diverse invloeden van onderhoud op de wagens nagegaan met de volgende resultaten:

Stationair CO	reductie	29% na onderhoud
CO per test	"	20% "
Stationair $C_xH_y$	"	40% "
$C_xH_y$ per test	"	10% "



Een correctie voor slecht onderhoud heeft bij bovenstaande gegevens niet in rekening te worden gebracht.

Slecht onderhoud zal weinig of geen effect hebben op de  $\text{NO}_x$ -emissie.

## II. Emissie van voertuigen uitgerust met dieselmotoren

Ter beschikking staan specifieke emissiewaarden uitgedrukt in g/epk.h gemeten volgens de:

13-mode California cycle op de proefstand, 21-mode Federal USA cycle op de proefstand [49].

Geschat wordt dat in Nederland 90% van de dieselmotoren van het direct ingespoten type zijn en 10% is uitgerust met een voorkamerverbrandingssysteem. Er is vooral ten aanzien van de  $\text{NO}_x$ -emissie een verschil tussen direct ingespoten- en voorkamer motoren. De gegevens welke ter beschikking staan, hebben betrekking op direct ingespoten motortypen. Gelet echter op het geschatte geringe aandeel van voorkamerdieselmotoren wordt alleen gewerkt met de gegevens van direct ingespoten motoren:

$$\text{C}_x\text{H}_y = 2,0 \text{ g/epk.h}$$

$$\text{CO} = 5,0 \text{ g/epk.h}$$

$$\text{NO}_x = 10 \text{ g/epk.h}$$

Als functie van de motorbelasting (gemiddelde effectieve druk  $p_e$  in  $\text{kg/cm}^2$ ) zullen de  $\text{CO}$ -,  $\text{C}_x\text{H}_y$ - en  $\text{NO}_x$ -emissies in g/epk.h een verloop vertonen als in figuur 11.

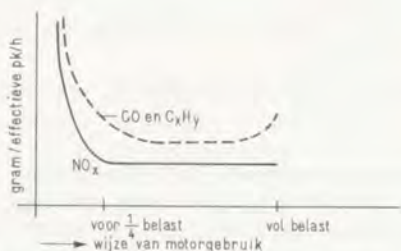


Fig. 11. Specifieke emissiecurven bij deellast van een direct ingespoten dieselmotor.

De emissiecurven vertonen grote gelijkheid met die voor het specifieke brandstofverbruik in g/epk.h (zie figuur 12).

Vergelijking van het specifieke brandstofverbruik en de specifieke  $\text{NO}_x$ -emissie is gerechtvaardigd vanaf  $1/4$  belasting. Door toenemende  $\text{C}_x\text{H}_y$ -emissie bij lagere belasting (grotere luchtvermaat) zal het verloop van de  $\text{C}_x\text{H}_y$ -emissie beneden  $1/2$  belasting gaan afwijken van het verloop van de  $\text{NO}_x$ -emissie.

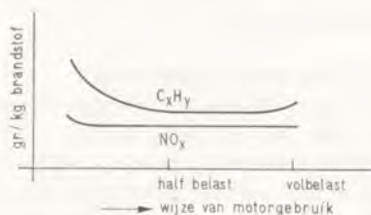


Fig. 12. Emissie per kg brandstof bij deellast.

Daar dieselmotoren, zeker die welke in vrachtwagens worden gebruikt, voor het grootste deel van de tijd zwaarder dan half worden belast, mag met redelijke

nauwkeurigheid een lineair verband worden aangenomen tussen de specifieke emissie en het brandstofverbruik bij hogere belastingen.

Uitgaande van een specifiek brandstofverbruik van 190 g/epk.h wordt de emissie per liter brandstof:

$$\text{CO} = \frac{1.000}{190} \times 5 = 26,3 \text{ g/kg} = 22 \text{ g/l.}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y = 10,5 \text{ g/kg} = 9 \text{ g/l.}$$

$$\text{NO}_x = 52,5 \text{ g/kg} = 45 \text{ g/l.}$$

Opmerking: De  $\text{C}_x\text{H}_y$ -emissie is gemeten met een FID-meetapparatuur en behoeft niet met een factor 1,8 te worden gecorrigeerd.

## III. Emissie van bromfietsen met tweetakmotoren

Volgens metingen van ANWB-TNO [51] werden de volgende gemiddelde emissies en brandstofverbruik gemeten:

$$\text{CO} = 14 \text{ g/km}$$

$$\text{C}_x\text{H}_y = 5,2 \text{ g/km}$$

benzineverbruik 45 km/l. Dit geeft:

$$\text{CO} = 630 \text{ g/l brandstof}$$

$$\text{CH} = 235 \text{ g/l „}$$

$$\text{NO}_x: \text{ nihil}$$

## VII. Appendix 2. Berekening personenauto-kilometrage

### Inleiding

De berekening van de personenauto-kilometrage is uitgevoerd met behulp van de gegevens van het onderzoek (1966) van de Commissie Openbaar Vervoer Westen des Lands (COWL), de Maandstatistiek CBS Verkeer en Vervoer, september 1971 en CBS Maandschrift, augustus 1969.

De berekening is globaal.

Ter verificatie van de globale uitkomsten is een aantal controleberekeningen uitgevoerd waarmee de resultaten van de ene bron worden vergeleken met die van de andere.

Onder personenauto-kilometrage wordt verstaan het aantal afgelegde kilometers per eenheid van bevolking en van tijd. Er is onderscheid gemaakt tussen kilometrage binnen de bebouwde kom en daar buiten. Als eenheid van bevolking is aangehouden: de inwoner.

Als eenheid van tijd: een gemiddelde dag zonder aanduiding van werkdag, zaterdag of zondag.

Als peiljaar: 1970.

Als resultaat wordt verkregen het aantal afgelegde kilometers per jaar.

Ten behoeve van de emissiecijfers is hierbij een verdere verdeling gemaakt naar verschillende rittypen: type I, type II en type III. Voor een verdere definitie: zie paragraaf VI, Appendix 1.

De kilometrage binnen de bebouwde kom is afzonderlijk berekend voor agglomeraties (A), middelgrote steden (MGS) en de rest. Hierbij is gebruik gemaakt van de indeling volgens de COWL.



## I. Kilometrage per inwoner

### I.1. Binnen bebouwde kom (1966)

gemiddeld:	(A)	(MGS)
aantal verplaatsingen per huishouden	7,62	9,15
aantal inwoners per huishouden	3,05	3,43
aantal verplaatsingen per inwoner	2,50	2,67
voertuigkeuze: auto intern verkeer	23%	17%
extern relatieverkeer	52%	49%
gemiddelde autobezetting:	1,4	1,4
gemiddelde ritlengte:		
intern verkeer hemelsbreed	3,3 km	1,8 km
via de weg = $\frac{1}{2}$ x hemelsbreed	4,65 km	2,4 km
extern verkeer: stel straal A	7,5 km	
stel straal MGS		4,0 km
ritlengte via de weg	10,6 km	5,7 km
verhouding intern verkeer: extern relatieverkeer		
intern verkeer	87%	78%
extern relatieverkeer	13%	22%

### auto-kilometrage per inwoner per dag in 1966

agglomeraties:	intern verkeer:	
	$\frac{2,50 \times 0,23 \times 4,65 \times 0,87}{1,4} = 1,72$ km	
	extern relatieverkeer:	
	$\frac{2,50 \times 0,52 \times 10,6 \times 0,13}{1,4} = 1,28$ km	
	totaal	3,0 km

### middelgrote steden:

intern verkeer:	
$\frac{2,67 \times 0,17 \times 2,55 \times 0,78}{1,4} = 0,64$ km	
extern relatieverkeer:	
$\frac{2,67 \times 0,49 \times 5,7 \times 0,22}{1,4} = 1,16$ km	
totaal	1,80 km

rest binnen bebouwde kom gesteld op: 1,7 km

### groefactor 1966—1970

intensiteit personenautoverkeer op rijkswegen (1963 = 100):  
 1966: 187  
 1970: 263

$$\text{groefactor rijkswegen} = \frac{263}{187} = 1,4$$

stel groefactor in agglomeraties (riksweegen) = 1,4  
 in middelgrote steden en rest = 1,6

### kilometrage binnen bebouwde kom 1970:

agglomeraties:  $1,4 \times 3,0 =$  globaal 4,0  
 middelgrote steden:  $1,6 \times 1,8 =$  globaal 3,0  
 rest:  $1,6 \times 1,7 =$  globaal 2,8  
 km/inwoner dag.

### I.2. Buiten bebouwde kom

Gebruik wegennet naar personenautokilometers (1966):

buiten bebouwde kom:  $14,5 \times 10^9$  km  
 binnen bebouwde kom:  $12,0 \times 10^9$  km  
 $\frac{\text{buiten bebouwde kom}}{\text{binnen bebouwde kom}} = \frac{14,5}{12,0} = 1,2$

Stel: verhouding 1970  $\hat{=}$  1966

kilometrage buiten bebouwde kom 1970:

$$1,2 \times \frac{4,0 + 3,0 + 2,8}{3} = 4,0 \text{ km/inwoner dag.}$$

### I.3. Kilometrage per inwoner

per dag	A	MGS	Rest
binnen bebouwde kom	4,0	3,0	2,8
buiten bebouwde kom	4,0	4,0	4,0
totaal per dag	8,0	7,0	6,8 km
per jaar			
binnen bebouwde kom	1450	1100	1050
buiten bebouwde kom	1450	1450	1450
totaal per jaar	2900	2550	2500 km

### I.4. Kilometrage Nederland per jaar (1970)

aantal inwoners Nederland (zie tabel 1)  
 in stedelijke agglomeraties  $5,2 \times 10^6$   
 in middelgrote steden  $2,3 \times 10^6$   
 in plattelandsgemeenten  $5,5 \times 10^6$   
 13,0 x 10<sup>6</sup>

Kilometrage per jaar:	A	MGS	Rest	Totaal
(in 10 <sup>9</sup> km/jaar)				
binnen bebouwde kom	7,5	2,5	5,8	15,8
buiten bebouwde kom	7,5	3,4	8,0	18,9
totaal	15,0	5,9	13,8	34,7

### I.5. Kilometrage West-Nederland per jaar (1970)

aantal inwoners West-Nederland (zie tabel 1)  
 $5,5 \times 10^6$   
 in stedelijke agglomeraties  $3,5 \times 10^6$   
 in middelgrote steden  $0,78 \times 10^6$   
 in plattelandsgemeenten  $1,21 \times 10^6$

Kilometrage per jaar:	A	MGS	Rest	Totaal
(in 10 <sup>9</sup> km/jaar)				
binnen bebouwde kom	5,1	0,9	1,3	7,3
buiten bebouwde kom	5,1	1,1	1,7	7,9
totaal	10,2	2,0	3,0	15,2

### I.6. Kilometrage Rijnmond per jaar (1970)

aantal inwoners Rijnmond (zie tabel 1)  $1,10 \times 10^6$   
 in stedelijke agglomeraties  $900 \times 10^3$   
 in middelgrote steden  $84 \times 10^3$   
 in plattelandsgemeenten  $122 \times 10^3$

Kilometrage per jaar:	A	MGS	Rest	Totaal
(in 10 <sup>9</sup> km/jaar)				
binnen bebouwde kom	1,30	0,09	0,12	1,51
buiten bebouwde kom	1,30	0,11	0,17	1,58
totaal	2,60	0,20	0,29	3,09



Voor een gebied als Rijnmond is echter het landelijk gemiddelde voor het verkeer buiten de bebouwde kom van 4 km/inwoner dag te hoog. Verder zal rittypen III alleen voorkomen op de wegen Rotterdam - Delft en Rotterdam - Vlaardingen, waarvan verkeerstellingen bekend zijn. In tabel 4 is een schatting gemaakt van dat gedeelte van de kilometrage buiten de bebouwde kom dat binnen het Rijnmondgebied ligt.

## II. Controle

Volgens schattingen op grond van CBS-gegevens zijn er in het jaar 1970 door  $2,4 \times 10^6$  personenauto's ca.  $35 \times 10^9$  km afgelegd. Uitgaande van  $13 \times 10^6$  inwoners komt dit neer op een landelijke gemiddelde kilometrage van 7,4 per inwoner per dag.

Het gebruik van het Nederlandse wegennet door personenauto's was in 1966  $26,6 \times 10^9$  km.

De groeifactor voor 1970 is 1,4 t.o.v. 1966.

Derhalve is de totale kilometrage voor Nederland in 1970:

$$1,4 \times 26,6 \times 10^9 = 37,0 \times 10^9 \text{ km.}$$

De berekende totaal kilometrage is  $34,7 \times 10^9$  per jaar.

## III. Verdeling naar rittypen

Rittypen I (stadsritten)

Rittypen II (regioritten)

Rittypen III (snelle ritten)

### Verdeling autoritten CBS 1966

Binnen bebouwde kom:  $14,71 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  45%

Buiten bebouwde kom:  $17,96 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  55%

Deze laatste categorie is verder onderverdeeld naar:

verharde niet-planwegen:  $2,51 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  14%

tertiaire wegen:  $2,42 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  13%

primaire wegen:  $9,26 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  52%

secundaire wegen:  $3,77 \times 10^9$  km  $\hat{=}$  21%

De ritten op de primaire en secundaire wegen kunnen worden gerekend tot rittypen III, de ritten op de tertiaire wegen en de verharde niet-planwegen tot rittypen II. De ritten binnen de bebouwde kom kunnen voor wat betreft de middelgrote steden en de rest gerekend worden tot rittypen I, doch voor wat betreft de agglomeraties kan een vierde deel gerekend worden tot rittypen II.

Op grond hiervan is tabel 20 samengesteld:

Tabel 20. Verdeling van de autokilometrage naar rittypen.

	rittypen		
	I	II	III
<i>binnen bebouwde kom:</i>			
agglomeraties	75%	25%	—
middelgrote steden	100%	—	—
rest	100%	—	—
<i>buiten bebouwde kom</i>			
	—	30%	70%

## VIII. Literatuurlijst

Bij paragraaf I

[1] D. L. Fussell, Atmospheric pollution from petrol and diesel engined vehicles. *Petroleum Review*, July, 1970, 197.

Bij paragraaf II

[2] Geluidhinder in het wegverkeer. Nederlandse Stichting Geluidhinder, 1972.

[3] H. W. Schlipkötter, Die Belastung des Menschen durch Luftverunreinigungen von Kraftfahrzeugen. *Städtehygiene* 22 (1972) 227.

[4] J. R. Goldsmith en S. A. Laudan, Carbon monoxide and human health. *Science* 162 (1968) 1352.

[5] P. J. Lawther en B. T. Commins, Cigarettesmoking and exposure to carbon monoxide. *Annals New York Academy of Sciences* 174 (1970) 135.

[6] J. R. Goldsmith, Contribution of motorvehicle exhaust, industry and cigarettesmoking to community carbon monoxide exposures. *Ibid.*, p. 122.

[7] G. Malorney, Allgemeiner Überblick über die Wirkung von Kohlenmonoxid auf den Menschen. *Staub* 32 (1972) 131.

[8] S. M. Horvath et al., Carbon monoxide and human vigilance. *Arch. Environ Health* 23 (1971) 343.

[9] S. I. Cohen et al., Carbon monoxide and survival from myocardial infarction. *Arch. Environ Health* 19 (1969) 510.

[10] S. M. Ayres et al., Myocardial and systematic responses to carboxyhemoglobin. *Annals New York Academy of Sciences* 174 (1970) 268.

[11] W. S. Wayne et al., Oxidant air pollution and athletic performance. *JAMA* 199 (1967) 901.

[12] L. Otis Enich et al., Biological effects of urban air pollutants. *Arch. Environ Health* 23 (1971) 335.

[13] J. D. Sterling et al., Urban morbidity and air pollution. *Arch. Environ Health* 13 (1966) 158.

[14] R. L. Zielhuis, Uitlaatgassen van gemotoriseerd verkeer II. *T. Soc. Geneesk.* 49 (1971) 629.

[15] L. J. Goldwater, An assessment of the scientific justification for establishing  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  as the maximum safe level for airborne lead. *Industrial Med.* 41 (1972) 7-13.

[16] J. R. Goldsmith en A. C. Hexter, Respiratory exposure to lead. *Science* 158 (1967) 132.

[17] D. Rondia, Toxicité des gaz d'échappement de moteurs. Centre Belge d'Etude et de Documentation des Eaux, jan. 1972.

[18] J. Stumphius, Asbest in een bedrijfsbevolking. Proefschrift 1969.

[19] I. J. Selikoff et al., Asbestos exposure, smoking and neoplasms. *JAMA* 204 (1968) 106.

Bij paragraaf III

[20] P. C. Blokker, Literature survey on the health aspects of lead emissions from gasoline engines. Stichting CONCAWE, 's-Gravenhage, december, 1970.

[21] D. Högger, Die hygienische Bedeutung der Benzolverbleibung. *Int. Symp. Envir. Health Aspects of Lead*, C.C.E.-US/EPA, oktober, 1972, Amsterdam.

[22] Problem of gasoline engine exhaust control. Stichting CONCAWE, 's-Gravenhage, rapport 12-72 met supplement van maart 1973.

Bij paragraaf V

[23] W. F. P. M. Van de Weijer, Luchtverontreiniging door straalmotoren, rapport WO-192, Directoraat Materieel Luchtmacht, afd. Wetenschappelijk Onderzoek, 1971.

[24] H. A. Meester-Broertjes, Luchtverontreiniging door luchthavens, P.T. 27 (21), 683 en (22), 724, (1972).

[25] J. Odgers, Air Pollution by gasturbines — is control possible. *Can. Aeron. Space J.* (10), 339, (1970).

[26] C. W. Bristol, Gasturbine engine emissions — characteristics and future outlook, SAE-paper 710319 (1971).

[27] D. S. Smith, R. F. Sawyer en E. S. Starkman, Oxides of nitrogen from gasturbines, J.A.P.C.A. 18 (1), 30, (1968).

[28] E. R. Lozano, W. W. Melvis en S. Hochheiser, Air pollution emissions from jet engines, 60th Ann. Meeting A.P.C.A. Cleveland, June 1967.

[29a] R. F. Sawyer en E. S. Starkman, Gasturbine exhaust emissions, SAE-paper 680462, Meeting 20-24 May, 1968.

[29b] R. F. Sawyer, Reducing Jet Pollution before it becomes serious. *Astron. Aeron.*, 4, april, 1970.

[30] A. C. Stern (Ed.) "Air Pollution" III, p. 90, Academic Press, New York, 1968.

[31] Northern Res. and Eng. Corp.: Nature and control of aircraft engine exhaust emissions, Cambridge (Mass.), 1968.

[32] J. J. Faitani, Smoke reduction in jet engines through burner design, *Esso Air World* 21, 2 (1968) — SAE paper 680348.

[33] R. E. George, J. S. Nevitt en J. A. Verssen, Jet Aircraft operations: impact on the air environment, J.A.P.C.A., 22 (7), 507, (1972).

[34] S. Hochheiser en E. R. Lozano, Air Pollution Emissions



from Jet Aircraft Operating in New York Metropolitan Area. Air Transport Meeting, New York, April 29-May 2, 1968, Soc. of Automotive Eng.

[35] W. J. Beek, Wat is de omvang van milieuverontreiniging? Mens en Milieu, prioriteiten en keuze, publikatie 8, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, Den Haag (1971).

[36] Environmental Protection Agency Sets, J.A.P.C.A., 20 (6) 352, 1971, Amerikaanse wetsvoorstellen — National air quality standards.

[37] K. Biersteker, Community air quality guides, verslag in Ts. Soc. Geneeskunde 47, p. 66, 1969 en 48, p. 470, 1970.

[38] J. B. Heywood, J. A. Fay en L. H. Linden, Jet aircraft air pollutant production and dispersion, A.I.A.A.J. 9 (5), 841, (1971).

[39] J. A. Fay, Air pollution from future giant jet ports, (M.I.T. 70, May 1970).

[40] A. C. Stern (Ed.), Air Pollution I, 2nd Ed., p. 255, Academic Press, New York, 1968.

[41] C. H. Bosanquet en J. L. Pearson, The spread of smoke and gases from chimneys. Trans. Farad. Soc. 32, 1249, 1936.

[42] O. G. Sutton, The theoretical distribution of airborne pollution from factory chimneys. Quart. J. Roy. Met. Soc. 73, 426 (see also 257), 1947.

[43] H. E. Cramer, Engineering estimates of atmospheric dispersal capacity, Am. Ind. Hyg. Ass. J. 20, 183, 1959.

[44] F. Wipperman en W. Klug, Ein Verfahren zur Bestimmung von Schornsteinmindesthöhen. Int. J. Air/Wat. Poll. 6, 27, 1962.

[45] F. Pasquill, Atmospheric diffusion. v. Nostrand Co. Ltd., London, 1962.

[46] J. Parker, Air Pollution at Heathrow Airport London, SAE report P73 (710324, 1971).

Bij paragraaf VI

[47] Journal officiel des Communautés Européennes, nr. L 76, 6 avril 1970, 1-22.

[48] C. D. Haynes and M. Southall, Exhaust emissions of vehicles tested to the draft European procedure. Inst. of Mech. Eng., London, febr. 1968.

[49] Standards for Exhaust Emissions, applicable to 1970 and later vehicles. Federal Register, Volume 33, number 108, 4 juni 1968.

[50] Control Techniques for Carbon monoxide and Hydrocarbon Emissions from mobile sources, march 1970. U.S. Dept. of Health Education and Welfare.

[51] Consumenten Gids, december 1972, 475.

## IX. Samenstelling van de Werkgroep Wegverkeer

Ir. J. C. Astro	Bedrijfsleider Industrial Chemicals, Unilever-Emery N.V.
Dr. K. Biersteker	Hoofd van de Afdeling Wetenschappelijk Onderzoek van de G.G. en G.D., Rotterdam
Prof. dr. ir. C. Boelhouwer	Lid van de Stuurgroep Milieuzorg KIVI
Prof. ir. J. J. Broeze	Emeritus Hoogleraar TH Delft
Ir. P. Hakkesteeft	Lector Verkeerskunde TH Delft
Prof. ir. H. Pouderooyen	Hoogleraar Verbrandingsmotoren Koninklijke Militaire Academie
Ir. J. K. P. Sloos	Coördinator Sales Engineering and Product Quality, Esso Nederland B.V.
Ir. C. J. Veenemans	Hoofd Ontwikkeling Motoren, Personenwagen Divisie van Van Doorne's Automobiel-fabriek
Ir. J. J. Verhoog, Voorzitter	Hoofd Laboratorium van de Esso raffinaderij, Rotterdam
Dr. R. Vos	Inspecteur Volksgezondheid voor Ambulancevervoer, Verkeersongevallen en Revalidatie



# Hoofdstuk 4. Verspreiding grondemissies in het stedelijk gebied

door de Werkgroep Verspreiding Grondemissies<sup>1)</sup>

## I. Inleiding

### Achtergrond van de studie

De Werkgroep Verspreiding Grondemissies bestudeerde het probleem van het op basis van emissiecijfers voorspellen van immissie (grondconcentratie)-cijfers voor luchtverontreiniging in stedelijke gebieden in Nederland.

Het is moeilijk en slechts gedeeltelijk mogelijk gebleken om, niet professioneel werkend, aan de opdracht in zijn algemene vorm geheel te voldoen. Op basis van gegevens waarover de groep door de inbreng van leden kon beschikken en samen met aanwezige deskundigheid over verspreidingsmodellen, is het toch gelukt een rapport op te stellen. De groep is er zich van bewust dat door de hier genoemde factoren de keuze van de beschouwde steden en de besproken modellen wat willekeurig zal aandoen en dat de lezer door hem verwachte zaken zal missen. Door de gestelde termijn van een jaar was echter niet anders mogelijk.

Een probleem waar de groep dikwijls op is gestoten, is dat het vaak niet goed mogelijk blijkt te zijn in een beknopt verband verantwoorde uitspraken te doen. Het is daarom belangrijk hier erop te wijzen dat men er in de werkgroep niet algemeen van overtuigd is dat de huidige kennis van het verspreidingsprobleem in een stad voldoende is om dwingende voorschriften op de hierna te bespreken modellen te baseren. De gebruiker van de door de groep aangegeven voorspellingsmethoden wordt er daarom op gewezen dat de berekeningen slechts eerste schattingen geven. Indien er op deze wijze indicaties van ongewenste immissiecijfers optreden, is het zoeken van gekwalificeerd advies bij deskundigen op zijn plaats.

Anderzijds meende de groep dat het onjuist zou zijn de ingenieur die in zijn praktijk met deze problemen te maken heeft en de overheidspersonen die het beleid dienen te bepalen of moeten uitvoeren, op dit punt geheel met lege handen, dus zonder advies over de te kiezen methoden, te laten staan.

### Emissie en criteria voor de kwaliteit van de lucht

De kwaliteit van de lucht in het stedelijk leefmilieu wordt sterk bepaald door de concentratie van verontreinigende gassen op grondniveau. Deze verontreinigingen kunnen van verschillende aard en herkomst zijn, bijvoorbeeld zwaveldioxyde ( $\text{SO}_2$ ) afkomstig van stookinstallaties voor verwarmings- en industriële doeleinden, stikstofoxyden ( $\text{NO}_x$ ) en koolmonoxyde (CO) afkomstig van stookinstallaties en het verkeer. De aard van de bronnen en hun aantal kunnen zeer specifiek over een stad verdeeld zijn. De emissies

kunnen bij de grond of door (meestal lage) schoorstenen plaatsvinden. Afhankelijk van de meteorologische omstandigheden zullen deze verontreinigingen zich in de atmosfeer verspreiden en verdund worden. Uiteindelijk kan door de inwoners de concentratie van verontreinigingen (de immissie) in de hen omgevende lucht als hinderlijk, eventueel schadelijk worden ondervonden.

Voor het beoordelen van luchtverontreiniging kent men drie typen criteria, die elkaar min of meer aanvullen en samenhangen met emissie en met concentraties aan de grond. In sommige gevallen gaat men ervan uit dat voor bepaalde goed gedefinieerde bestanddelen wordt vastgesteld welke concentraties gedurende ten hoogste een bepaald percentage van de tijd (bijv. voor daggemiddelden 7 dagen per jaar) mogen worden overschreden; deze combinatie van concentraties en tijden wordt als "ambient air quality standards" of kwaliteitsnormen voor lucht aangeduid. Daarnaast worden, o.a. in Engeland, ook wel de "best practicable means", de meest doeltreffende technische middelen voorgeschreven. Tussen deze twee in kent men ook emissienormen, die hetzij een begrenzing van de uitworp van een bepaalde stof in kg/uur, dan wel een begrenzing in kg per ton produkt of in mg per  $\text{m}^3$  uitgeblazen lucht eisen. Deze normen hangen ten nauwste samen met de technische mogelijkheden enerzijds en met de ontstane concentraties in het leefmilieu anderzijds. In veel gevallen is het wenselijk zowel kwaliteits- als emissienormen te gebruiken; aan beide moet worden voldaan. Het is zeer gewenst dat er een goed verband bekend is tussen de concentraties aan de grond, die de hinder bepalen, en de emissies die deze concentraties veroorzaken. Indien dit verband aanwezig is, bijvoorbeeld als model, kan men selectief juist die emissies aanpakken, waarvan vermindering het meeste effect geeft. Men kan prioriteit geven aan de bestrijding van de hinderlijkste soorten bronnen. Een voordeel van deze methode is verder dat het de verwekker van de emissie beter duidelijk kan worden gemaakt wat het effect van zijn bron is.

Dit heeft ertoe geleid dat op velerlei plaatsen in de Verenigde Staten, Europa en Japan veel werk wordt gedaan om te komen tot zulke modellen voor stedelijke gebieden. Aangezien de verspreiding tot stand komt door luchtstromingen en menging in de atmosfeer, moeten dergelijke modellen aërodynamisch-meteorologisch van aard zijn. Dit leidt tot vrij specialistische berekeningen, waarin meteorologische gegevens een belangrijke rol spelen.

Deze modellen kunnen al naar hun aard verschillende doeleinden dienen. Allereerst kan men op een schaal van grootstedelijke afmetingen trachten te komen tot een goede stadsplanning. Bevolkings- en bebouwendichtheden, verkeersdichtheid en industriële vestigingen kunnen hierbij betrokken worden. Daarnaast kan

<sup>1)</sup> De samenstelling van deze werkgroep is gegeven in paragraaf VI.



zulk een model dienen tot de reeds genoemde selectieve aanpak van emissies. Tenslotte is wel geopperd dat in de toekomst op basis van een dergelijk model van te voren maatregelen te treffen zouden zijn indien ongunstige meteorologische condities worden verwacht. Bovendien is het denkbaar dat een betrouwbaar model voor Nederlandse steden kan leiden tot een beperking van het aantal stedelijke meetpunten. Een situering van de punten in een meetnet kan op grond van zo'n model gebeuren. Een zeer groot aantal meetpunten in alle steden lijkt dan niet meer nodig. Een aantal meetpunten zal echter altijd wel nodig blijven; het is immers niet goed voorstelbaar dat het model zo goed zou zijn en dat de emissiegegevens zo precies zouden zijn dat aanpassing met een beperkt aantal meetpunten voor een bepaalde stad niet nodig zou zijn.

Indien men denkt aan sanering van de emissies in een bepaald gebied, is het zinvol om dit te bestuderen door middel van koppeling van een emissie-inventarisatie met een verspreidingsmodel.

Een dergelijk verspreidingsmodel is dan ook voor Nederlandse situaties evenzeer nodig als een goede emissie-inventarisatie. Er is bijvoorbeeld het gevaar dat men bij een emissie-inventarisatie van vele distributieve bronnen een onjuiste middeling over plaats en tijd zou gebruiken, namelijk één die niet relevant is voor de emissiecijfers. Men kan zich voorstellen dat dit tot een nieuw type emissienorm kan leiden, namelijk één die een grens legt aan het aantal kg van zekere verontreinigingen dat per eenheid van oppervlakte en per tijdseenheid in het stedelijk gebied mag worden geëmitteerd. Dit in plaats van de huidige emissienormen, die grenzen aan de uitworp per individuele bron voorschrijven.

#### Verspreidingsmechanisme en modellen

De verspreiding van emissies in de atmosfeer wordt bepaald door windsnelheid, turbulentie en stabiliteit. Voor warme rookgassen komt daar de stijghoogte voor de gassen bij. Een probleem is dat de meteorologische gegevens voor een stedelijk gebied niet goed bekend en sterk plaats-afhankelijk zijn, hetgeen precieze voorspellingen moeilijk maakt.

In hun meest algemene vorm worden verspreidingsmodellen zeer complex, waardoor ze alleen met behulp van computers bewerkt kunnen worden. Er is een duidelijke ontwikkeling aan de gang naar steeds ingewikkelder modellen, die meer gedetailleerd de meteorologische condities en de emissies als functie van de tijd in aanmerking nemen. Ze vergen daarom uitgebreide computerfaciliteiten en veel rekentijd. Nog afgezien van de kosten die dit met zich meebrengt, is het de vraag of een grote gedetailleerdheid zinvol is in het licht van de onnauwkeurige kennis omtrent de gegevens van emissies en meteorologische condities. Men ziet daarom dat men daarnaast dan ook steeds streeft naar het toepassen van eenvoudige modellen, ook wel gebruikersmodellen genoemd [1]. Zoals het woord reeds aangeeft, denkt men hier aan modellen die voor beleidsdoeleinden op gemeentelijk of provinciaal niveau kunnen worden gebruikt. De met deze modellen verkregen schattingen van de verontreinigingen zullen bruikbaar zijn, indien over een langere periode (seizoen of maand) gemiddeld wordt. Een

grote nauwkeurigheid is er niet van te verwachten. Wel kan de instantie die ze hanteert, er een eerste schatting van de situatie mee maken.

Bij alle modellen dient onderscheid te worden gemaakt tussen enkele grote bronnen en vele kleine bronnen. Voor de enkele grote lokale bron (meestal industrieschoorsteen) zijn bruikbare rekenmodellen bekend [2, 3].

In het stedelijke gebied heeft men meestal te maken met vele kleine bronnen over een oppervlakte verdeeld (ruimteverwarming) of over lijnen verdeeld (verkeer, straten), de zogenaamde distributieve bronnen. Daarnaast dient onderscheid te worden gemaakt tussen korte- en midden-afstandsberekeningen.

Bij korte afstand kan men denken aan een laag ketelhuis, gebouwd dichtbij (ca. 10-50 m) een flatgebouw, of aan een situatie op een verkeersknooppunt. In het algemeen met afstanden kleiner dan 100 m. Dan speelt de lokale situatie en de aerodynamica (bijv. de wind om een gebouw) een overheersende rol.

Bij midden-afstandsproblemen denke men aan situaties waar de immissie niet meer aan één enkele bron of aan lokale condities is toe te schrijven, maar aan effecten van het gehele stedelijke gebied. Afstanden zijn dan tussen 0,5 en 50 km. Uiteraard zullen bij het eerste probleem de immissiecijfers sterk plaats-afhankelijk zijn, terwijl ze in het tweede geval over roostervlakken van bijv. 1.000 x 1.000 m kunnen worden gemiddeld.

Voor veel grote steden zal de nabijheid van een groot industriegebied ook een belangrijke bijdrage aan de luchtverontreiniging geven. Dit moet en kan ook in dergelijke modellen worden opgenomen. Men kan in Nederland aan Rijnmond en Rotterdam denken. Daarnaast heeft men, bijv. in het oosten des lands, nog rekening te houden met een voorbelasting aan verontreiniging afkomstig van een veraf gelegen gebied (het Roergebied).

Over het algemeen zal men de concentratie over een bepaalde tijdsduur meten, zo worden bijv. 1-, 6- of 24-uurs gemiddelde waarden gemeten. Deze kan men weer verzamelen als maand-, seizoen- of jaargemiddelden.

De voorspelling van een model zijn in het algemeen beter naarmate over een langere tijd gemiddeld is. Voor een schatting van de relatieve ernst van de verontreiniging en van trends naar de toekomst zijn seizoen- en jaargemiddelden goed bruikbaar. Daarnaast geven frequentieverdelingen een indruk van de pieken in de verontreiniging. Deze zijn echter nog moeilijk door modellen te voorspellen. Zij komen voor bij bijzondere meteorologische condities (windstilte), waarvoor het verspreidingsmechanisme slecht bekend is. Bovendien gaan door de dan optredende lange verblijfsduur van de verontreiniging in de atmosfeer chemische reacties in de luchtlage een belangrijke rol spelen. Dit kan dan tot een "smog"-situatie leiden, die met de hier te bespreken modellen helaas niet te voorspellen is.

#### Voornaamste literatuurstudies

De eerste studie van een stedelijk gebied met veel bronnen is in 1956 in Los Angeles gemaakt door Frenkiel [4]. Lucas [5] gaf een eerste mathematisch model in 1958. Dit werd snel gevolgd door werk van



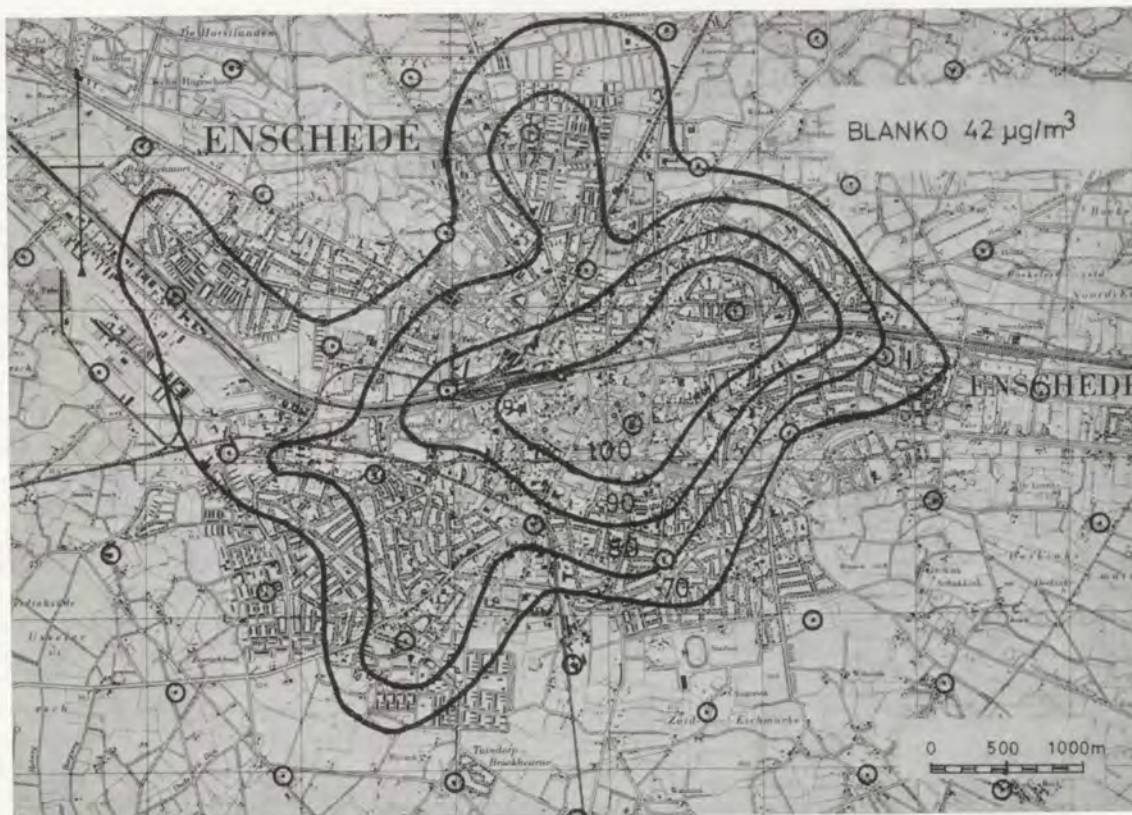


Fig. 1. Enschede, iso-concentratielijnen voor 50%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  SO<sub>2</sub>, winter 1968-69.



Fig. 2. Enschede, iso-concentratielijnen voor 2%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  SO<sub>2</sub>, winter 1968-69.



anderen: Leavitt [6], Pooler [7], Clarke [8], Miller en Holzworth [9], Turner [10] en Martin [11]. Deze modellen hebben nagenoeg alle gemeen dat de oppervlaktebronnen worden vervangen door een aantal puntbronnen op een bepaalde hoogte, dat daarna de concentratieverdeling over de stad t.g.v. iedere puntbron wordt uitgerekend en dat tenslotte de verschillende concentraties voor de diverse locaties worden opgeteld.

Gedurende de laatste jaren zijn in de literatuur modellen gepubliceerd die steeds gecompliceerder worden. Zie bijvoorbeeld de publikaties van Roberts [12], Fortak [13] en Lamb [14]. In 1970 werd in de Verenigde Staten een uitvoerig symposium [15] gewijd aan modellen voor stedelijke luchtverontreiniging.

We zullen hieronder uitsluitend een berekeningsprocedure bespreken die heel eenvoudig en eventueel zonder computer is toe te passen en waarmee toch reeds een redelijke schatting van de mate van luchtverontreiniging als gevolg van gassen uit oppervlaktebronnen te maken is. Verder zij voor de meer gedetailleerde modellen verwezen naar de literatuur.

Naast de hier genoemde modellen zijn er in de literatuur ook regressievergelijkingen voor bepaalde steden bekend. Deze zijn o.a. ontwikkeld voor Reading [16], Karlsruhe [17], Stockholm [18] en Rouaan [19]. Hierbij wordt de emissieverdeling niet bekend verondersteld. Men correleert voor een bepaalde stad concentraties met condities zoals windsnelheid, temperatuur en menhoogte. In Amsterdam werkt men aan een dergelijke vergelijking. Aangezien deze vergelijkingen alleen bruikbaar zijn voor de stad waar ze voor gemaakt zijn, zijn ze hier verder niet in beschouwing genomen.

## II. Meetgegevens over stedelijke luchtverontreiniging

### Iso-lijnen en frequentieverdelingen voor SO<sub>2</sub> en rook

Voor Nederlandse steden zijn vooral over SO<sub>2</sub>-verontreiniging veel gegevens beschikbaar, Enkele daar-

van worden hierbij gegeven. Niet omdat SO<sub>2</sub> in het bijzonder de belangrijkste verontreiniger zou zijn, maar omdat alleen daarvoor systematische en vergelijkbare gegevens over langere termijn beschikbaar zijn. Indien luchtverontreinigingsmodellen vergeleken worden met immissiecijfers, dan gebeurt dit ook meestal voor SO<sub>2</sub>-waarnemingen. Voor de verspreiding van rookgassen is dit SO<sub>2</sub> wel een karakteristieke grootheid. Vermoedelijk zijn deze modellen dan ook wel bruikbaar voor de stikstofoxyden uit deze gassen; echter voor de verspreiding van uitlaatgassen van voertuigen in het verkeer kunnen verschillen optreden.

In Nederland zijn voor de stad Enschede zeer uitgebreide gegevens beschikbaar. Hier is door het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid (RIV) in een uitgebreid meetnet over een aantal jaren de luchtverontreiniging door SO<sub>2</sub> en rook gemeten [20]. Deze gegevens en analoge voor Hengelo en Utrecht (waar op minder uitgebreide schaal gemeten is) zijn bij het RIV door Elskamp bewerkt en ter beschikking gesteld voor het werkgroeprapport. De gegevens worden in dit hoofdstuk gepresenteerd in de vorm van kaarten van de stad met ingetekende isoconcentratielijnen, gebaseerd op de daggemiddelde SO<sub>2</sub>-concentraties die in de winterperiode (1 oktober tot 1 april) in de diverse punten gemeten zijn. Het is natuurlijk altijd mogelijk dat een meetpunt een hoge concentratie kan aangeven indien een sterke bron dichtbij is. Ook is het mogelijk dat een dergelijke lokaal hoge concentratie juist niet wordt gemist. Men moet de getrokken lijnen daarom steeds als globaal zien. De resultaten voor Enschede zijn in kaart gebracht in de figuren 1 en 2. Hierin zijn de isoconcentratielijnen getrokken die gebaseerd zijn op de daggemiddelde SO<sub>2</sub>-concentraties die in 50%, resp. 2% van het aantal dagen zijn overschreden. Duidelijk is het typisch stedelijke patroon te zien: een hoge concentratie in het centrum en een naar buiten afvallende concentratie. Dat dit afvallen naar buiten niet nog sterker gaat dan aangegeven, hangt samen met het feit dat er een voorbelasting is. De verontreiniging wordt hier namelijk mede bepaald door aanvoer van verontreiniging van

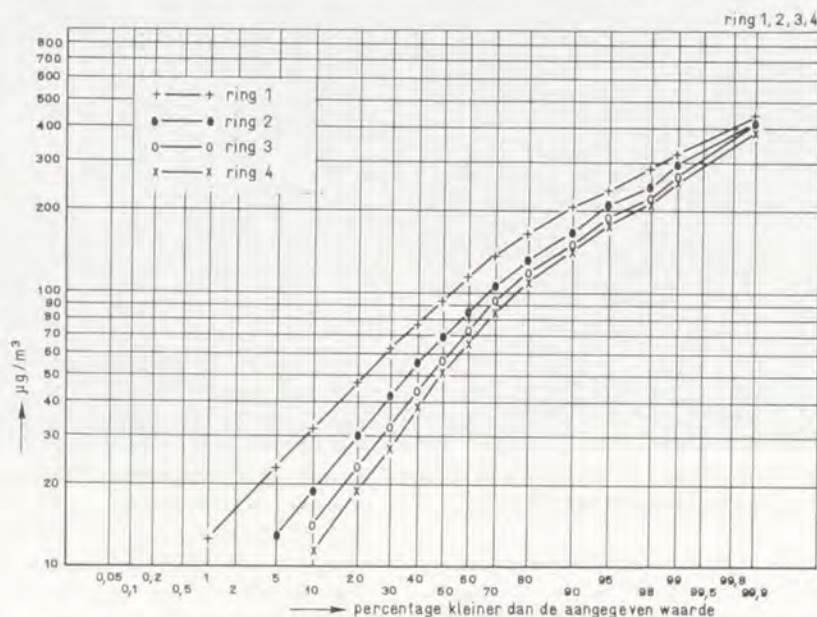


Fig. 3. Enschede, cumulatieve frequentieverdeling voor de SO<sub>2</sub>-dagwaarden in verschillende ringen, winter 1968-69.



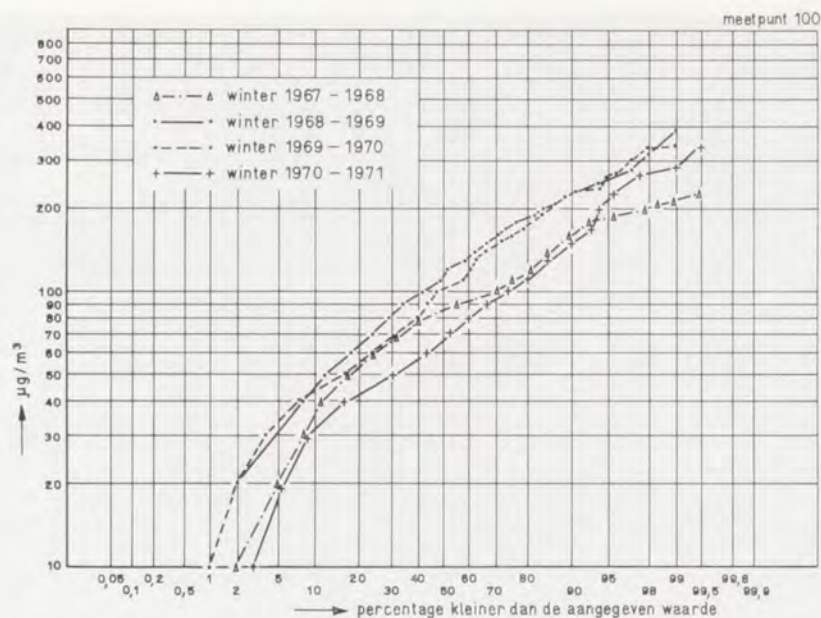


Fig. 4. Enschede, cumulatieve frequentieverdeling voor  $\text{SO}_2$ -dagwaarden in het centrum van de stad voor verschillende winterhalfjaren.

elders, vermoedelijk voornamelijk van het Roergebied. Meetpunten buiten de stad op 8 km van het centrum geven concentraties die voor een deel als voorbelasting aan te merken zijn en in de figuren als "blanco" zijn vermeld. Dit vermoedelijke effect van het Roergebied in het oosten van het land is reeds eerder geconstateerd door Elshout en van Duuren [21] en door Zeedijk [22].

Naast de isoconcentratielijnen geven ook de cumulatieve frequentieverdelingen een inzicht in de lokale verontreiniging. Deze gegevens zijn te vinden in de figuren 3 en 4. Hierbij zijn de  $\text{SO}_2$ -concentraties gemiddeld over ringen om het stadscentrum, met ring 4 als buitenste ring. Ook hier zal de achtergrond een belangrijke rol spelen. Aangezien deze achtergrond sterk afhankelijk is van de windrichting en bij bepaalde richtingen eigenlijk nauwelijks aanwezig is, zal deze

vooral voor de frequentieverdeling in de buitenste ring een relatief grote invloed hebben.

Voor het centrum zien we in figuur 4 dat de curven voor de diverse jaren ongeveer dezelfde helling hebben (het 98%-punt, d.i. het punt van de 2% overschrijdingswaarde, is ongeveer 3 à 4 maal het 50%-punt). Tussen de winters '67-'68 en '70-'71 is geen significant verschil. Toch is juist in deze periode het aantal aardgas aansluitingen voor huisverwarming aanzienlijk toegenomen. Dit lijkt het idee te rechtvaardigen dat het vooral de stookinstallaties van grote gebouwen, zoals kantoren, warenhuizen, bedrijven, scholen en ziekenhuizen in het stadscentrum zijn, die aansprakelijk zijn voor de  $\text{SO}_2$ -verontreiniging in Enschede. Juist deze zullen gewoonlijk met zwavelhoudende stookolie worden gestookt. Een en ander is ook te concluderen uit de rookmetingen (figuur 5)

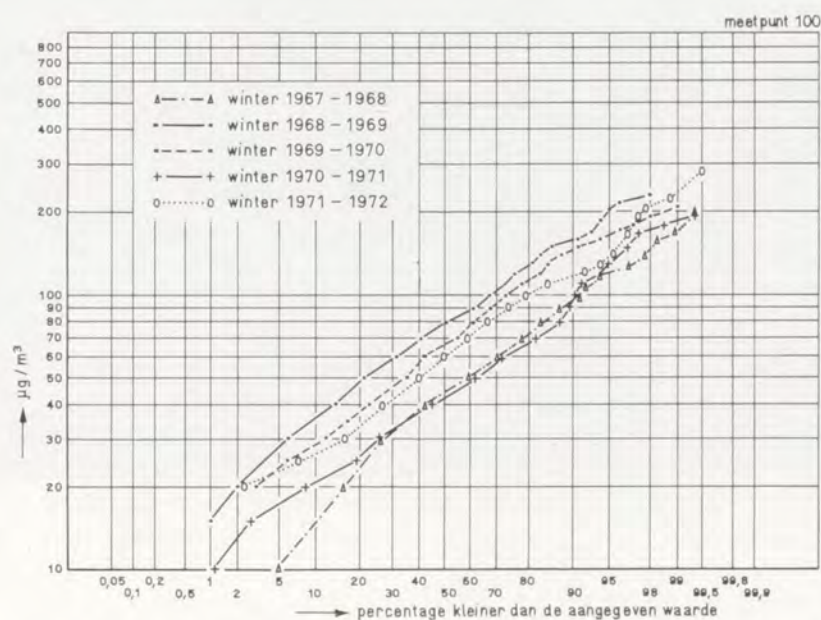


Fig. 5. Enschede, cumulatieve frequentieverdeling voor dagwaarden van de rookconcentratie in het centrum van de stad voor verschillende winters.





Fig. 6. Hengelo, iso-concentratielijnen voor 50%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1968-69.

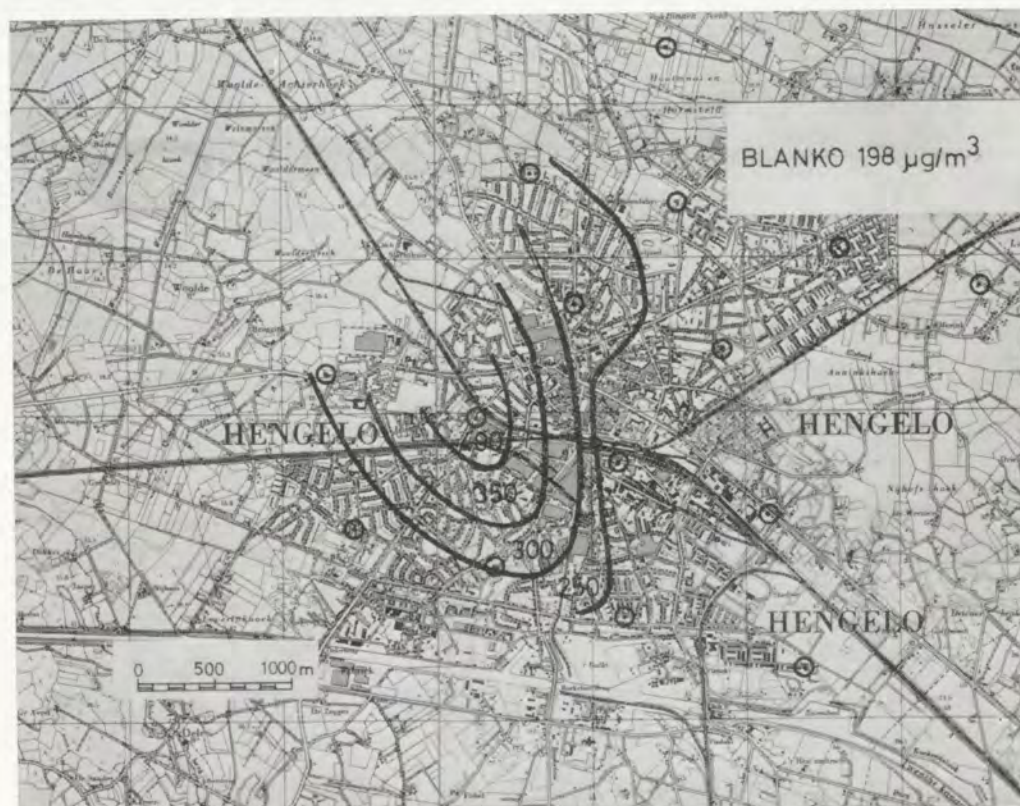


Fig. 7. Hengelo, iso-concentratielijnen voor 2%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1968-69.



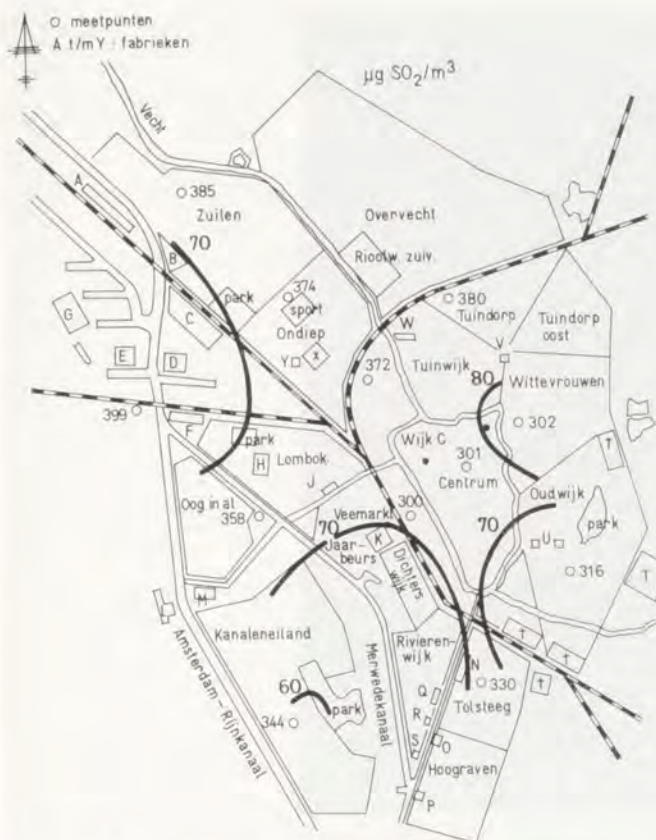


Fig. 8. Utrecht, iso-concentratielijnen voor 50%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1969-70.

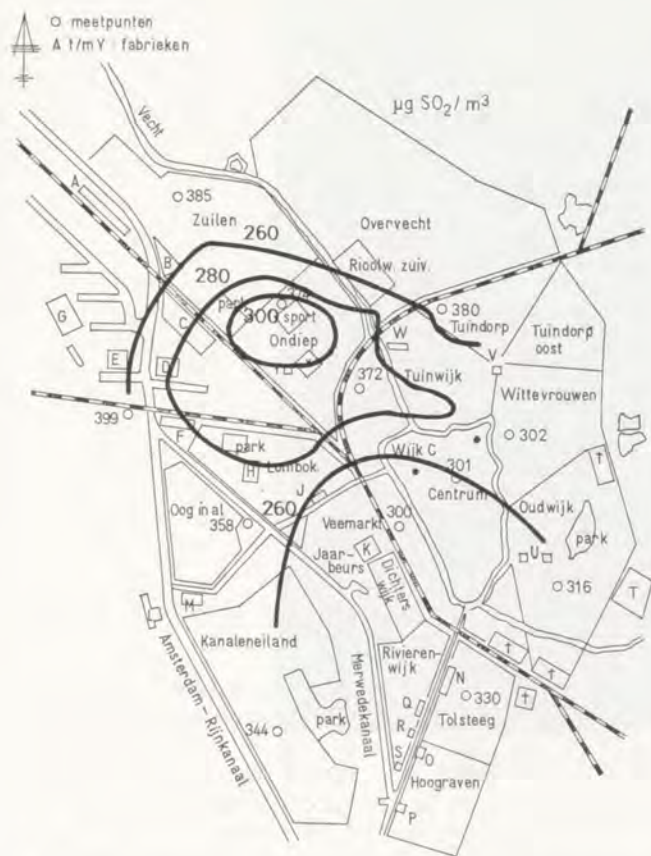


Fig. 9. Utrecht, iso-concentratielijnen voor 2%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1969-70.

voor de diverse jaren. Hier kan niet over een achtergrond van het Roergebied worden gesproken.

Voor Hengelo en Utrecht wordt in de figuren met de isoconcentratielijnen (figuren 6, 7, 8 en 9) veel minder het typische stadspatroon teruggevonden. Lokale industriegebieden en wijze van bebouwing spelen hier vermoedelijk een belangrijke rol. Overigens blijkt het niveau van de wintergemiddelden van de verontreiniging in de drie steden ongeveer het zelfde te zijn: voor de 50%-waarde ongeveer  $90\text{-}100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$  in de binnenstad. Ook voor de rook is dit het geval: een 50%-waarde van maximaal  $60\text{-}80\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  rook wordt in alle drie steden gevonden. In alle gevallen springt de winter '68-'69 als het meest ongunstig naar voren. Voor Hengelo en Utrecht geldt voor het stadscentrum dat de 98%-waarde voor  $\text{SO}_2$  tussen 2,5 en 3,5 maal de 50%-waarde ligt voor het winterseizoen.

Het verschil tussen winter en zomer is te illustreren met de  $\text{SO}_2$ -cijfers in de zomer. Deze hebben in het stadscentrum van Enschede een 50%-waarde van  $20\text{-}30\ \mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , voor Hengelo is dit ongeveer  $20\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  en voor Utrecht  $20\text{-}25\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Deze concentraties zijn voornamelijk toe te schrijven aan het brandstofverbruik van industrie voor de niet-verwarmingsdoeleinden. Deze bijdrage is ongeveer  $\frac{1}{3}$  van de  $\text{SO}_2$ -verontreiniging in de winter. Voor de rookconcentraties blijkt de verhoudingsfactor tussen zomer en winter ongeveer  $\frac{1}{2}$  te zijn voor deze drie steden.

Onlangs zijn door de Gezondheidsraad normen aan de minister voorgesteld (Kamerstuk 1971, nr. 11332-nr. 2) voor de maximale toelaatbare  $\text{SO}_2$ -verontreiniging in stedelijke en geïndustrialiseerde gebieden. Als overgangsgrenswaarden in gebieden met veel rook (50%-waarde  $>40\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  of 98%-waarde  $>120\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) gelden voor  $\text{SO}_2$  als norm een 98%-waarde  $<275\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  en een 50%-waarde  $<90\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  (norm B) of  $<125\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  (norm C). Bij overschrijding van de C-norm kan men spreken van een situatie waarbij sanering wenselijk lijkt. Het gaat bij de grenswaarden om waarden over een heel jaar en niet over de hier besproken winter-(halfjaar-) waarden. De 98%-waarde over een jaar is echter direct gelijk aan de 96%-waarde in de winter.

Vergelijking met de steden Enschede, Hengelo en Utrecht laat zien dat er sprake is van een situatie van veel rook (de  $120\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  rook als 96%-waarde voor de winter wordt steeds overschreden). De 50%-jaarwaarde voor  $\text{SO}_2$  ligt in deze steden zelfs beneden die voor klasse B. We zien echter dat het moeilijker ligt met de 98%-waarde voor  $\text{SO}_2$  over een jaar. In Enschede en Utrecht wordt de norm niet overschreden, echter in Hengelo wordt deze 98%-norm in de jaren '68-'69 en '69-'70 in het lokale industriegebied wel overschreden. In het algemeen kan men zeggen dat, omdat daar in het stedelijk gebied de verhouding van de daggemiddelde 98%-waarden en 50%-waarden voor  $\text{SO}_2$  (over een jaar gerekend) zich ongeveer als 4 à 5 : 1 blijken te verhouden, de 98%-grens meestal de kritieke is.

Uiteraard is de situatie in het oosten van het land door de veronderstelde invloed van het Roergebied moeilijk, daar ook voor de 98%-grens reeds een duidelijke voorbelasting aanwezig is die een belangrijk deel van de toegelaten grenswaarde uitmaakt.

Ook voor Amsterdam kon de werkgroep beschikken over uitvoerige gegevens voor  $\text{SO}_2$ , zoals deze door



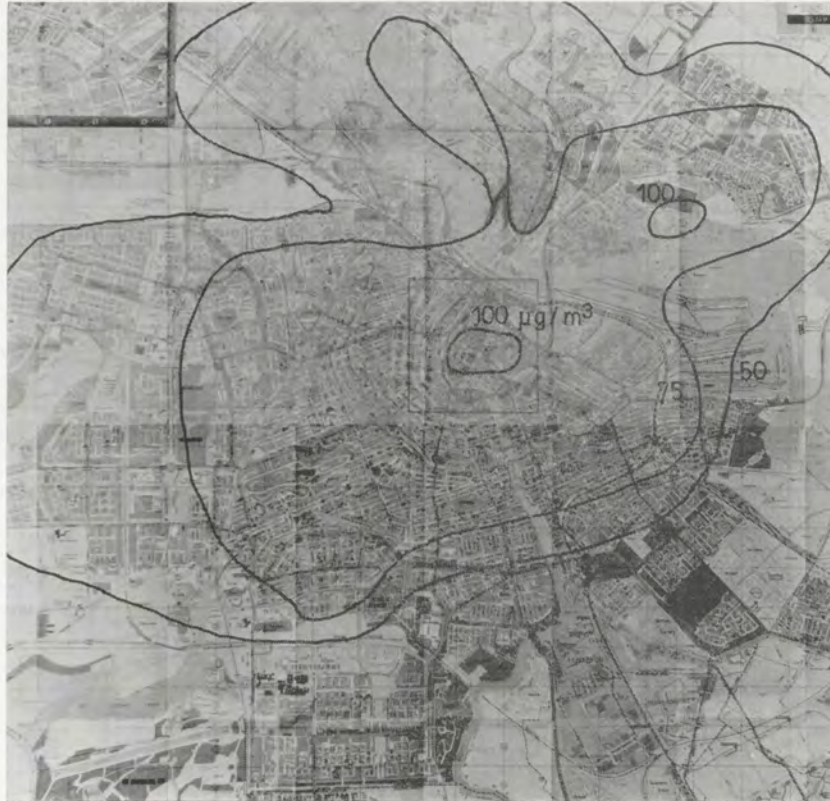


Fig. 10. Amsterdam, iso-concentratielijnen voor 50%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1970-71.



Fig. 11. Amsterdam, iso-concentratielijnen voor 2%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , winter 1971-72.





Fig. 12. Amsterdam, iso-concentratielijnen voor 2%-overschrijdingswaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $\text{SO}_2$ , zomer 1970.

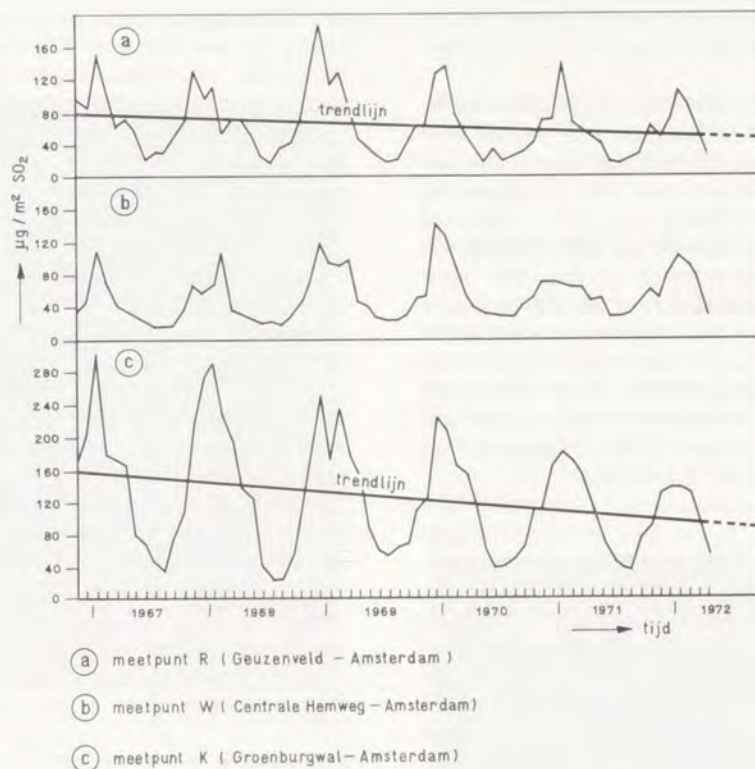


Fig. 13. Amsterdam, verloopdiagram van de maandgemiddelde  $\text{SO}_2$ -concentraties op drie meetpunten.

de GGD aldaar in de laatste jaren systematisch zijn gemeten. Heida bewerkte deze gegevens op dezelfde wijze als die voor Enschede, Utrecht en Hengelo. Isoconcentratielijnen en een frequentieverdeling over één jaar zijn gegeven in de figuren 10-14. Uit het verloop van de isoconcentratielijnen blijkt duidelijk een stedelijk patroon, d.w.z. de isoconcentratielijnen volgen de begrenzing van de woonbebouwing, waarbij de hoogste concentraties optreden in het stadscentrum.

Een duidelijke uitzondering op dit algemene beeld vormt echter Amsterdam-Noord-Oost, waar door de invloed van industriële emissies een van het centrummaximum gescheiden tweede gebied ligt waar als mediaan dezelfde  $\text{SO}_2$ -concentraties optreden als in het stadscentrum en voor de 98%-overschrijdingsgrens, zowel voor de winter- als voor de zomerperiode, zelfs aanzienlijk hogere (zie de figuren 10, 11 en 12). Figuur 13 geeft voorts het verloop van het  $\text{SO}_2$ -



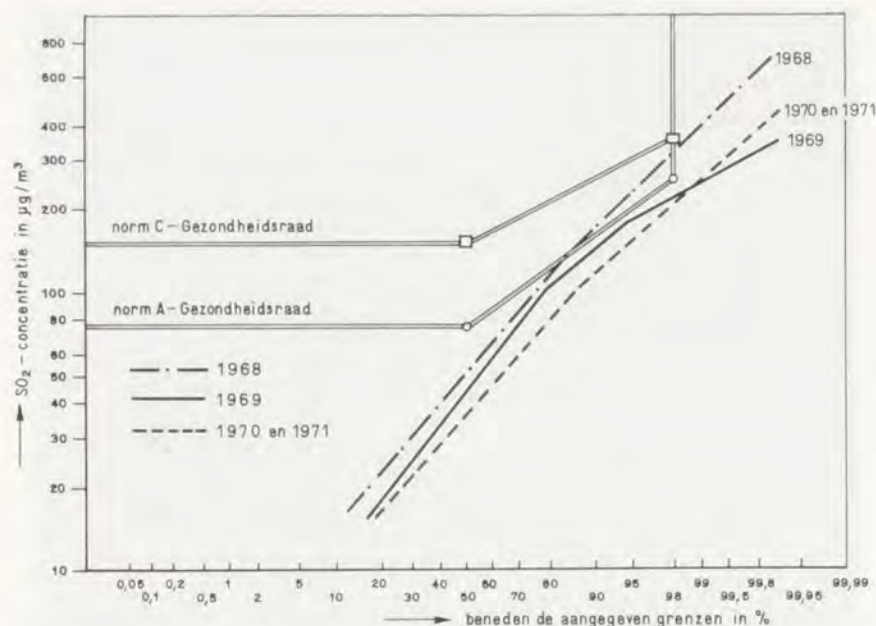


Fig. 14. Amsterdam, cumulatieve frequentieverdeling voor de  $\text{SO}_2$ -dagwaarden op meetpunt R (Geuzenveld) voor de jaren 1968, '69, '70 en '71.

maandgemiddelde van november 1966 tot en met april 1972 op drie verschillende meetpunten. Voor het in het stadscentrum gelegen meetpunt (K) geldt dat er sedert 1967 een opvallende daling van de trendlijn valt waar te nemen.

Een dalende trend treedt eveneens op in het westelijke stadsdeel, meetpunt R, Geuzenveld, hoewel minder uitgesproken dan in het stadscentrum. Op het meetpunt W, gelegen aan de rand van het westelijk havengebied (Centrale Hemweg), is géén dalende of stijgende trend gebleken. Gezien de sedert 1968 begonnen omvangrijke overschakeling van olie naar aardgas door de grootverbruikers in het stadscentrum ligt het voor de hand dat het zogenaamde aardgas-effect verantwoordelijk is voor de aldaar opgetreden daling van het  $\text{SO}_2$ -niveau. Deze daling komt niet alleen tot uiting in het gemiddelde niveau, doch ook in de  $\text{SO}_2$ -piekwaarden. Sedert 1967 zijn deze in het stadscentrum met een factor 2 gedaald.

De daling van het totale niveau komt bijvoorbeeld ook nog tot uiting in de cumulatieve frequentieverdelingen van de jaren 1968, 1969, 1970 en 1971 voor het meetpunt Amsterdam-West-Geuzenveld (R) (zie figuur 14). Het blijkt dat op dit meetpunt de norm-aanbeveling A van de Gezondheidsraad in 1971 niet werd overschreden, ofschoon dit in 1968 nog wel het geval was. In Amsterdam wordt alleen in het lokale industriegebied (ten noorden van het afgesloten IJ) de norm B voor de 98%-jaarwaarde overschreden. In de overige punten is hier beneden gebleven, terwijl de 50%-waarde in alle meetpunten gunstig ligt.

Voor Zuid-Holland en de steden Den Haag, Rotterdam en Delft zijn veel  $\text{SO}_2$ -gegevens bekend, die in verslagen van de Coördinatie-commissie meting luchtverontreiniging in Zuid-Holland zijn gerapporteerd. Zoals uit het 4e verslag van deze commissie voor de periode 1970-'71 blijkt, worden de  $\text{SO}_2$ -concentraties in deze steden sterk beïnvloed door de emissies in het Westland en in het Rijnmondgebied. Dit betekent dat daar veel minder van een typisch stedelijk pa-

troon sprake is dan in de eerder besproken steden. Vooral Den Haag vertoont een zeer vlak patroon voor de  $\text{SO}_2$ -dagwaarden. In het winterhalfjaar '70-'71 wordt de waarde van  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in ongeveer 4 tot 4,5% van het aantal dagen overschreden. Dit betekent een 98%-waarde over één jaar van boven de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ook in Delft worden dergelijke hoge waarden gemeten. Dit wordt in sterke mate veroorzaakt door de stookinstallaties van het kassengebied in het Westland.

De stad Rotterdam geeft een gunstiger beeld: in het winterhalfjaar '70-'71 wordt een concentratie van  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  slechts in 1,0% tot 1,6% van de tijd overschreden, hetgeen vergelijkbaar is met Hengelo en Amsterdam. Voor Schiedam, Vlaardingen, Hoogvliet en Pernis wordt de concentratie van  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  over het winterhalfjaar overschreden in 1,5 tot 2,7% van het aantal dagen.

De ombouw naar aardgas van de stookinstallaties van het Westlandse kassengebied, die in de toekomst zal worden gerealiseerd, zal tot de wenselijke sanering van de situatie in vooral Den Haag en Delft kunnen leiden, terwijl ook Vlaardingen en Schiedam er gunstiger door zullen worden.

#### Verontreiniging door andere componenten

Uitgebreide en systematische gegevens, zoals voor  $\text{SO}_2$  en rook, zijn voor andere stoffen voor het gehele stedelijke gebied niet beschikbaar. Wel worden metingen nu voorbereid en uitgevoerd voor  $\text{NO}_x$ , CO en oxydantia. In Rotterdam, Den Haag, Amsterdam, de Zaanstreek en Twente worden nu systematisch  $\text{NO}_x$ -metingen uitgevoerd. Men mag verwachten dat over ongeveer één jaar hiermee een goed beeld van deze verontreiniging in het stedelijk gebied kan worden verkregen. De indruk is dat het patroon over een stad veel vlakker is dan het  $\text{SO}_2$ -patroon, vermoedelijk door een meer uniforme distributie van de bronnen (verkeer en verwarming). Voor CO veroorzaakt door





Fig. 15. Luik, iso-concentratielijnen voor gemiddelde  $\text{SO}_2$ -dagwaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor winter 1968-69.

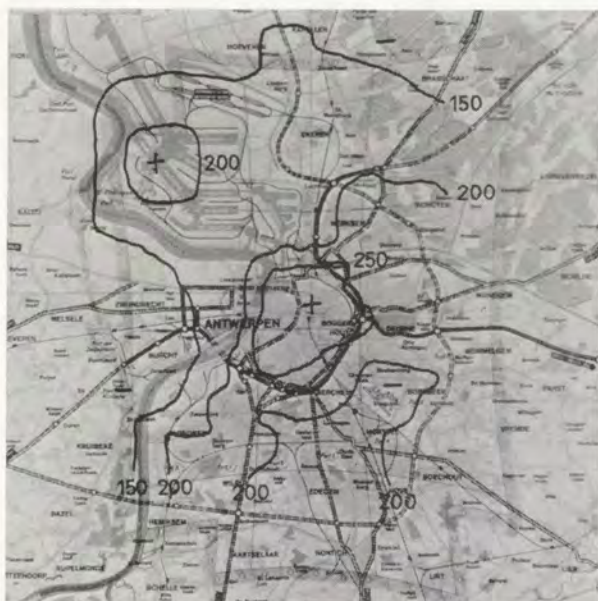


Fig. 16. Antwerpen, iso-concentratielijnen voor gemiddelde  $\text{SO}_2$ -dagwaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor winter 1963-69.

het verkeer, zijn door de GGD-Amsterdam metingen gedaan op drukke verkeerspunten op 34 meetplaatsen in de stad. Dit werd steekproefgewijs gedaan. Uit de resultaten [23] over de periode september 1969 tot en met augustus 1971 blijkt dat 5-minutenwaarden, gemiddeld over een heel jaar en gemeten tijdens druk verkeer, liggen tussen 5 en 20 ppm. In het algemeen worden hogere waarden gevonden indien de beschikbare oppervlakte tussen de bebouwing beperkt is en de gebouwen hoog opgaand zijn. Maximale momentane 5-minutenwaarden in Amsterdam zijn ongeveer

35-40 ppm. Deze waarden werden in minder dan 1% van het aantal gevallen gemeten. In grote Amerikaanse steden worden maximale waarden van 40-50 ppm gevonden.

#### Vergelijking met Belgische steden en met Parijs

Het is interessant de  $\text{SO}_2$ -cijfers voor de Nederlandse steden te vergelijken met enkele buitenlandse gegevens. In meteorologische condities zullen de Belgische steden het dichtstbij komen. Gegevens over Brussel, Luik en Antwerpen voor  $\text{SO}_2$  en rook werden onlangs in Het Ingenieursblad gepubliceerd door Verduyn [24]. Hiervan zijn overgenomen de gegevens

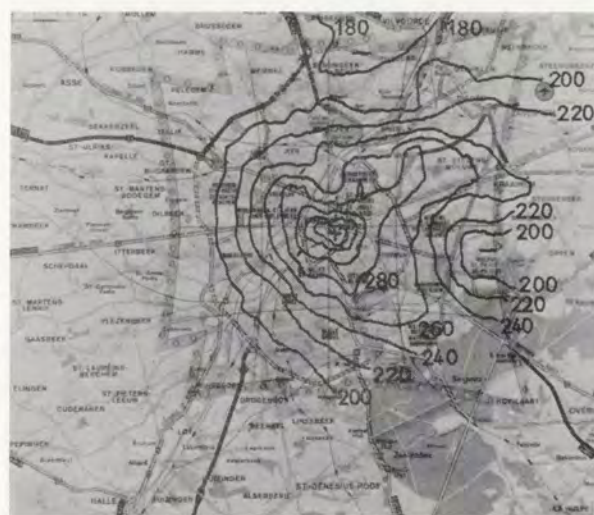


Fig. 17. Brussel, iso-concentratielijnen voor gemiddelde  $\text{SO}_2$ -dagwaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor winter 1968-69.



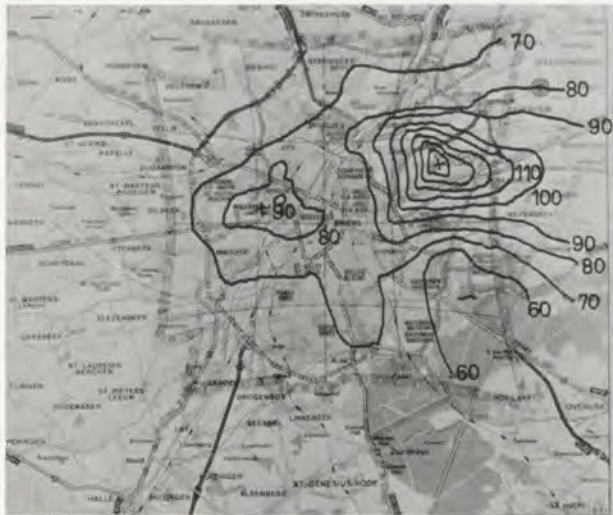


Fig. 18. Brussel, iso-concentratielijnen voor gemiddelde rook-dagwaarden in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voor winter 1968-69.

voor de 24-uurs  $\text{SO}_2$ -waarden gemiddeld over de winter (1/9-31/3) van het jaar 1968/69 voor Luik (figuur 15), Antwerpen (figuur 16) en Brussel (figuur 17). Een 50%-waarde, zoals voor de Nederlandse steden gegeven en een gemiddelde waarde zijn niet geheel gelijk; de laatste is voor de stedelijke gebieden ongeveer 1,2-1,35 maal de eerstgenoemde.

Voor Brussel vertoont het typisch stedelijke patroon; een hoog concentratieniveau ( $369 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) in het stadsmidden met grote bebouwingsdichtheid en een afvallen met ongeveer een factor 2 naar buiten toe. Brussel heeft aanzienlijk hogere  $\text{SO}_2$ -concentraties dan de Nederlandse steden; Luik en Antwerpen tonen  $\text{SO}_2$ -concentraties die boven die van Amsterdam, Utrecht, Hengelo en Enschede uitkomen en vergelijkbaar zijn met die van Den Haag. Deze laatste twee Belgische steden vertonen het stedelijke patroon met een lokaal industriegebied daarop gesuperponeerd. Dit komt ook in de jaarcijfers naar voren. Voor Brussel zijn ook de rookcijfers overgenomen (figuur 18); ze vertonen een vergelijkbaar patroon met de  $\text{SO}_2$ -cijfers, zij het met een in plaats iets verschoven maximum.

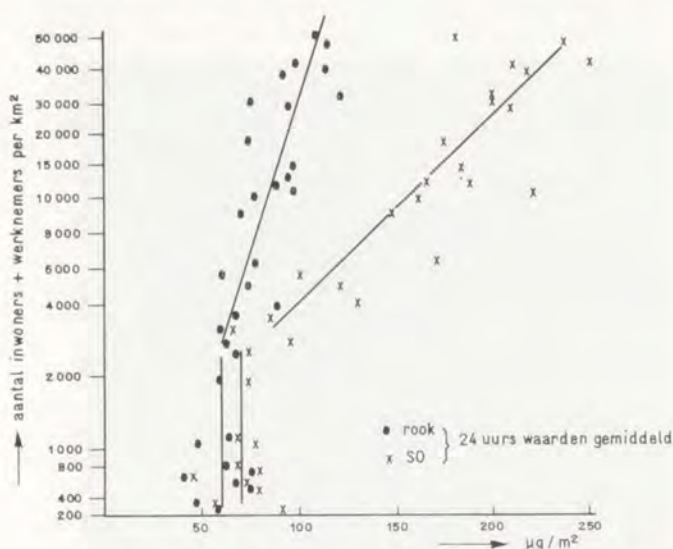


Fig. 19. Parijs, gemiddelde  $\text{SO}_2$ - en rook-dagwaarden voor winter 1965-66 voor diverse districten van Parijs. Correlatie met dichtheid van inwoners en werknemers samen.

Ook van Parijs zijn uitvoerige  $\text{SO}_2$ -cijfers bekend. In een publikatie [25] over de jaren 1965-1968 wordt voor de winter over de hele stad gemiddeld een waarde van ongeveer  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gegeven. Hier vindt men ook een duidelijke invloed van grote gebouwen als kantoren, scholen, ziekenhuizen, warenhuizen en kleine industrie in de vorm van een correlatie tussen lokale gemiddelde  $\text{SO}_2$ -waarden voor de winter 1965-1966 en het lokale aantal inwoners plus werknemers per  $\text{km}^2$  (figuur 19). In het dicht bebouwde centrum worden hoge waarden tot  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  gevonden; naar buiten dalen deze tot  $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ook voor rook wordt een dergelijke correlatie gevonden.

### III. Rekenmodellen

#### Gebruikersmodellen voor stedelijke luchtverontreiniging

Een heel eenvoudige relatie die een verband tussen de concentratie van een verontreinigend gas in een stad enerzijds en de emissiedichtheid van dat gas, de windsnelheid en de grootte van de stad anderzijds geeft, is in 1971 door het Federal Register [26] in de Verenigde Staten voorgesteld. Deze relatie is weergegeven in figuur 20 en wordt voor grote steden d.m.v. de volgende vergelijking beschreven:

$$\bar{C} = \frac{6,2 R^{0,35} \bar{Q}}{\bar{U}} \quad (1)$$

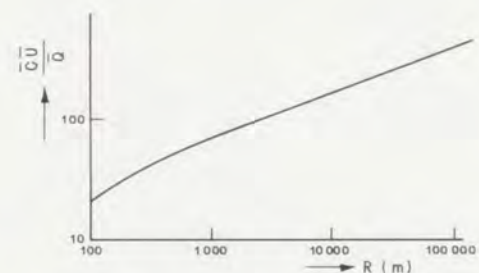


Fig. 20. Relatie tussen  $\frac{\bar{C}}{\bar{U}}$  en  $R$  volgens Federal Register.

waarin:

- $\bar{C}$  = de over de stad en over een jaar gemiddelde concentratie ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- $\bar{Q}$  = de over de stad en over een jaar gemiddelde emissiedichtheid ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ );
- $R$  = de lineaire afmeting van de stad (=  $1/2 \sqrt{\text{oppervlakte van de stad}}$ ) (m);
- $\bar{U}$  = de over een jaar gemiddelde windsnelheid (m/s).

De constante met waarde 6,2 in vergelijking (1) heeft een dimensie van ( $\text{m}^{-0,35}$ ); vergelijking (1) is daarom alleen geldig bij gebruik van bovenstaande dimensies voor de variabelen.

De relatie is opgesteld uitgaande van berekeningen gemaakt met behulp van het model van Holzworth [27] onder gebruikmaking van de gemiddelde meteorologische condities voor grote Amerikaanse steden. Toegepast op een stad met een  $R = 3.000$  m, voorspelt de relatie bij een gemiddelde windsnelheid van  $4 \text{ m/s}$  een gemiddelde concentratie van  $\bar{C} \sim 25 \bar{Q}$  (2).



En minder eenvoudig model, waarbij men niet over de gehele stad middelt, maar de stad in een aantal gelijke vierkante segmenten (zie figuur 21) verdeelt, is gegeven door Gifford en Hanna [28, 29]. Met dit model kan de over een segment en over een lange tijd gemiddelde concentratie worden berekend, indien de emissiedichtheid minder dan een factor tien over een afstand van een paar duizend meter varieert.

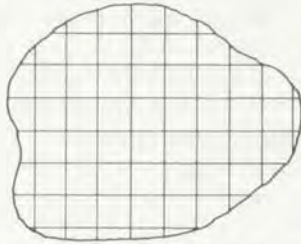


Fig. 21. Segmentverdeling over een stad.

Deze laatste beperking is van belang, omdat alleen onder die omstandigheden de horizontale dispersie mag worden verwaarloosd. Bij de keuze van de lengte van de segmentzijden wordt rekening gehouden met de grootte van de stad en emissiedichtheidsverdeling; voor Nederlandse steden komt een lengte van 1.000 m in aanmerking. De concentratie in een bepaald segment wordt bepaald door de bijdrage van de emissie uit het betreffende segment zelf en van de bijdragen van de bovenwindse segmenten. Deze laatste bijdragen worden echter snel kleiner naarmate de segmenten verder weg liggen. Voor een bepaalde windrichting kan de concentratie in een bepaald segment met behulp van de volgende relatie worden uitgerekend:

$$\bar{C} = \frac{17,9(\Delta x)^{0,25}}{\bar{U}} \left[ \bar{Q}_0 + \sum_{i=1}^N \bar{Q}_i \left\{ (2i+1)^{0,25} - (2i-1)^{0,25} \right\} \right] \quad (3)$$

waarin:

- $\bar{C}$  = de voor een bepaalde windrichting over een lange tijd gemiddelde concentratie in het betreffende segment ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ );
- $\bar{U}$  = de over een lange tijd gemiddelde windsnelheid uit een bepaalde windrichting (m/s);
- $\Delta x$  = segmentlengte (de grootte hiervan wordt verderop besproken) (m);
- $\bar{Q}_0$  = de voor een bepaalde windrichting over een lange tijd gemiddelde emissiedichtheid uit het betreffende segment ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ );
- $\bar{Q}_i$  = de voor een bepaalde windrichting over een lange tijd gemiddelde emissiedichtheid uit het segment dat zich  $i$  segmenten windopwaarts van het betreffende segment bevindt ( $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{s}$ );
- $N$  = het totaal aantal segmenten dat zich windopwaarts van het betreffende segment bevindt.

De constante met waarde 17,9 en de exponent 0,25 in vergelijking (3) zijn verkregen door voor de stabiliteitsparameters gemiddelde waarden te kiezen die representatief zijn voor de atmosferische condities in Amerikaanse steden. De constante met waarde 17,9 heeft de dimensie ( $\text{m}^{-0,25}$ ); vergelijking (3) is daarom alleen geldig bij gebruik van de bovenvermelde dimensie van de variabelen.

Om de over alle windrichtingen gemiddelde concen-

tratie te berekenen, moeten de bijdragen uit de verschillende windrichtingen worden gesommeerd met behulp van een frequentieverdeling voor windsnelheid en windrichting (windroos). Hierbij verdeelt men de richting meestal over acht of zestien intervallen. Voor planningsdoeleinden kunnen hiervoor de klimatologische waarden worden gebruikt. De keuze van de bovenwindse segmentlengte hangt daarbij af van de windrichting en wordt gedaan zoals weergegeven in figuur 22. Dus ook de waarde die voor  $\Delta x$  in vergelijking (3) moet worden ingevuld, is afhankelijk van de windrichtingssector.

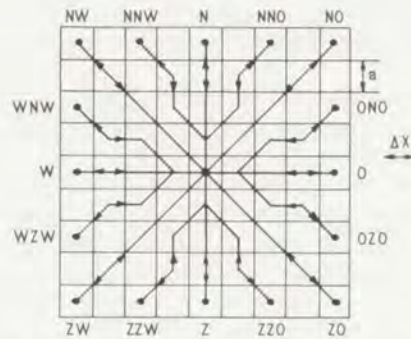


Fig. 22. Segmentlengte van zestien verschillende windrichtingintervallen.

Voor het geval dat de richtingen van de segmentzijden gekozen worden in de richtingen N-Z en O-W, zijn de segmentlengten als volgt: in de richtingen N, O, Z en W is de segmentlengte  $\Delta x = a$ ; in de richtingen NNO, ONO, OZO, ZZO, ZZW, WZW, WNW, NNW is de segmentlengte  $\Delta x = 1,20a$  en in de richtingen NO, ZO, ZW en NW is de segmentlengte  $\Delta x = 1,41a$ . Hierin is de  $a$  de afmeting van een segmentzijde, die dan niet verward moet worden met de segmentlengte  $\Delta x$ .

Alhoewel de gehele berekeningsprocedure volgens Gifford en Hanna gecompliceerder is dan de berekening met behulp van vergelijking (1), kan men toch nog redelijk snel en met de hand de gemiddelde concentratieverdeling over een stad uitrekenen. Het is wel interessant om het resultaat van vergelijking (3) te vergelijken met dat van vergelijking (1) en (2). Indien we daartoe weer een stad met een straal van 3.000 m nemen en nu met een denkbeeldige constante emissiedichtheid over de stad  $\bar{Q}$  en een gemiddelde windsnelheid van 4 m/s voor alle windrichtingen rekenen, dan wordt in het stadscentrum gevonden:

$$\bar{C} \sim 37 \bar{Q} \quad (4)$$

Indien alle windrichtingen even frequent voorkomen, zal de gemiddelde concentratie van het centrum naar buiten toe afvallen en krijgt men de typische klokcurve. Dit laatste is nog sterker het geval als de emissie in het centrum van de stad hoger is door een grotere bebouwingsdichtheid. Vergelijkingen (1) en (3) blijken te voorspellen dat bij gelijkblijvende emissiedichtheidsverdeling de mate van stedelijke luchtverontreiniging met de lineaire afmeting van de stad tot de macht  $1/4$  en  $1/3$  toeneemt. Deze modellen zijn geschikt voor niet te grote bronnen die door lage schoorstenen emitteren. Bovendien mag de emissiedichtheid niet meer dan een factor 10 over een afstand van een paar kilometer variëren. Voor hoge schoorstenen en



zeer sterke, lage bronnen dienen met behulp van bestaande modellen uit de literatuur [2, 3] de immissies te worden geschat en bij het uit de vergelijkingen (1) of (3) verkregen patroon te worden opgeteld.

Gesteld moet worden dat met dergelijke sterk vereenvoudigde modellen geen grote nauwkeurigheid kan worden bereikt. De rechtvaardiging van het gebruik van het model volgens vergelijking (3) ligt echter in het feit dat ook met de zeer gecompliceerde modellen geen veel grotere nauwkeurigheid mogelijk is, vooral als er in de emissiegegevens veel onzekerheden zijn.

Afwijkingen van een factor 2 of meer in beide richtingen ten opzichte van de over een segment en over een lange tijd gemiddelde gemeten concentratie zijn mogelijk.

De concentraties die op een bepaald punt van een segment worden gemeten, kunnen eventueel door lokale grote bronnen sterk afwijken.

Indien naast de immissiegegevens van Nederlandse steden ook de emissies beschikbaar komen, is een verifiëring van dit model goed uit te voeren. Men kan daarbij onderzoeken in hoeverre aanpassing van de constante en de exponent in vergelijking (3) nodig zou zijn. Dit zal binnenkort mogelijk zijn. Uitgaande van hetzelfde basismodel van Hanna, maar dan voor Nederlandse condities, wordt door het Openbaar Lichaam Rijnmond met een dergelijk eenvoudig model gerekend aan de verontreiniging door  $SO_2$ .

#### Korte afstand berekeningen

Hierbij kunnen we twee situaties onderscheiden en wel:

1. Een enkele, relatief grote bron op geringe hoogte. Gedacht kan worden aan schoorstenen van stookinstallaties voor grote gebouwen.
2. Vele kleine bronnen op grondniveau. Gedacht wordt aan een verkeersknooppunt tijdens het spitsuur.

Voor het tweede geval zijn de werkgroep geen methoden bekend voor het berekenen van de concentratie op korte afstand. Hierop wordt bij de aanbevelingen teruggekomen. Ook voor het eerste geval zijn exacte berekeningen niet mogelijk, hoewel hierover wel richtlijnen en benaderende berekeningen te geven zijn.

Plaatselijke aerodynamische omstandigheden bepalen de weg die een pluim in een stadsgebied aflegt. Modelproeven in wind- of watertunnels kunnen hierover informatie geven. Een moeilijkheid daarbij is dat het niet mogelijk is de wervelingen in de luchtstromingen boven de stad volledig in een tunnel te simuleren. Bovendien zijn de proeven te kostbaar en te tijdrovend om ze voor alle gevallen uit te voeren. De ideale oplossing zou zijn alle schoorstenen zo hoog te bouwen dat ze boven alle lokale wervelingen uitsteken. Dit betekent als richtlijn een hoogte van ongeveer 2,5 x de gebouwhoogte in de omgeving van de schoorsteen. Hieraan is dikwijls moeilijk te voldoen. Bovendien ziet men vaak dat de hogere gebouwen gebouwd worden bij reeds bestaande lagere schoorstenen. Verder zal het duidelijk zijn dat voor schoorstenen met kleinere emissies minder strenge eisen nodig zijn dan voor schoorstenen met grote emissie. Daarom zijn benaderende berekeningen die de uitworp mede in aanmerking nemen wel nodig.

Het is niet mogelijk een formule te geven waarmee voor alle mogelijke omstandigheden de concentraties rond gebouwen kunnen worden berekend. We volstaan hier met een vuistregel, die een bovengrens geeft aan de piekconcentraties die we kunnen verwachten wanneer een rookpluim, als gevolg van wervelingen rond een gebouw, het gebouw zelf bereikt of de grond op korte afstand van het gebouw.

Scorer en Barrett [30] geven hiervoor:

$$C = \frac{2Q}{L^2} \quad (5),$$

waarin:

C = piekconcentratie in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;

Q = uitworp in  $\mu\text{g}/\text{s}$ ;

L = lengte van de weg die de pluim aflegt.

De gemiddelde concentraties die rond gebouwen voor kunnen komen, hangen sterk af van de specifieke vorm van de gebouwen, omdat deze bepaalt hoe lang en hoe vaak de pluim op een bepaalde plaats terecht komt. Hiervoor zijn geen algemene regels te geven. Recent is door Blokker [31] een literatuuroverzicht gegeven; zie verder ook Halitsky [32], Meroney [33], Munn [34] Scorer [35] en Palsma & Takens [36].

Zeer hoge concentraties kunnen optreden wanneer een hoog gebouw naast een lage schoorsteen staat. In stabiele situaties met weinig wind blijven wervelingen vrijwel achterwege en kan een nauwelijks verdunde pluim de ramen en andere ventilatie-openingen van het hoge gebouw bereiken.

Ook voor dit geval kan een vuistregel worden gegeven die een bovengrens geeft voor de piekwaarden die onder de meest ongunstige omstandigheden te verwachten zijn, nl.:

$$C = 40 \frac{Q}{L^2} \quad (6),$$

waarin C, Q en L dezelfde betekenis hebben als in formule (5). Bij formule (5) is er van uitgegaan dat de ongunstigste situatie voor het neerslaan van kleine schoorsteenpluimen een windsnelheid van 5 m/s is in een neutrale atmosfeer. De pluim kan dan worden benaderd door een conus met een halve tophoek  $\theta$ , met  $\text{tg } \theta \sim 0,2$ .

Bij formule (6) is er van uitgegaan dat de ongunstigste situatie wordt gegeven door een windsnelheid van 1 m/s en een halve tophoek  $\theta$  waarvan  $\text{tg } \theta \sim 0,1$ .

In beide gevallen moet de baan van de pluim nog worden bepaald. Alleen voor plaatsen die door de as van de pluim in de twee geschetste karakteristieke situaties kunnen worden bereikt, kunnen de formules (5), resp. (6) worden gebruikt.

Met nadruk moet worden gesteld dat (5) en (6) vuistregels zijn.

## IV. Conclusies en aanbevelingen

### Conclusies

De situatie in de hier beschouwde Nederlandse steden is wat betreft de  $SO_2$ -rooknormen niet erg ongunstig. Dit is zeker mede te danken aan het op-



treden van het z.g. aardgaseffect. In de toekomst dient echter nauwlettend de verontreiniging door  $\text{NO}_x$ , CO en oxydantia te worden gevolgd.

Voor de  $\text{SO}_2$ -rookverontreiniging blijkt de situatie in de steden het moeilijkst door het incidenteel optreden van hoge concentraties. Vooral zal men aandacht moeten geven aan het beperken van de 2%-overschrijdingswaarde (d.w.z. voor ongeveer 7 dagen per jaar). Hoe hiervoor het best kan worden gesaneerd, kan nog niet worden bepaald met een verspreidingsmodel voor de stad zoals hier besproken. Men kan overwegen de emissies in bepaalde stadswijken selectief te verminderen. Ook is het denkbaar de  $\text{SO}_2$ -emissies tijdens ongunstige meteorologische condities door tijdelijke maatregelen (overzetten op zwavelarme olie) te drukken.

Men kan verder nagaan in hoeverre verandering van schoorstenen in een lokaal industriegebied de situatie in ongunstige stadsdelen kan verbeteren.

Met de eenvoudige modellen zoals in paragraaf III besproken, is het mogelijk een indruk te krijgen van de bijdrage die verschillende bronnen of groepen van bronnen relatief tot de emissie, gemiddeld over een lange periode, leveren. Deze indruk kan van nut zijn bij saneringsplannen en voor de planologie van het stedelijk gebied.

Indien voor stikstofoxyden een goed model kan worden opgesteld waarbij tevens het effect van koolwaterstoffen en fotochemische reacties in aanmerking wordt genomen, kan ook de verontreiniging door het verkeer worden beschreven.

Het zal dan mogelijk zijn kwantitatief na te gaan welke emissienormen voor uitlaatgassen van auto's bij gegeven verkeersdichtheden te stellen zijn. Bovendien valt de verontreiniging door verkeer en door stookinstallaties tegen elkaar af te wegen.

#### Aanbevelingen

1. Het verder ontwikkelen van modellen voor Nederlandse steden is gewenst. Men dient daarbij aandacht te geven aan:
  - Het verkrijgen van goede emissiegegevens, vooral ten aanzien van de variabiliteit in de tijd en de lokale verdeling per oppervlakteenheid. Men denke hierbij aan blokken met een lengteafmeting van 500 tot 2.000 m.
  - Testen van verschillende modellen door, bij bekende emissies en meteorologische omstandigheden, berekende en gemeten immissies te vergelijken. Een nauwkeurige bepaling van de turbulente verspreidingsparameters in steden lijkt hiervoor niet zinvol.
  - Aandacht richten op modelwerk voor stikstofoxyden en koolmonoxydeverspreiding.
  - Goede bundeling (coördinatie) van het reeds nu in Nederland aan de gang zijnde modelwerk. Te noemen zij het werk van KNMI, TNO, RIV, Rijnmond, Provincie Zuid-Holland en Amsterdam.
  - Het aandacht geven aan mogelijke te stellen emissienormen per  $\text{m}^2$  stadsgebied.
2. Voor het oosten des lands dient de verontreiniging die vermoedelijk uit het Roergebied overwaait nader kwantitatief te worden vastgesteld.
3. Modelwerk, gesteund door metingen, dient ook voor korte-afstandsverontreiniging te worden aan-

gepakt. Hierbij denke men bij het verkeer vooral aan verkeersknooppunten en spitsuren.

4. De lagere overheidsorganen dienen over hanteerbare en eenduidige rekenmethoden te beschikken om eerste schattingen voor luchtverontreinigingsproblemen te kunnen maken. Hun deskundigheid hierbij dient te worden bevorderd.

#### V. Literatuuropgave

- [1] A. C. Stern en D. B. Turner, Proceedings Symposium Multiple Source Models (zie [15]) — Utilization of air pollution models, 13-1 en General discussion 14-24.
- [2] The calculation of atmospheric dispersion from a stack, Concawe publication, The Hague, 1966.
- [3] G. Briggs, US Atomic Energy Commission, Plume Rise, DTIE (TID-25075), 1969.
- [4] F. N. Frenkiel, Atmospheric pollution and zoning in an urban area. Scientific Monthly, 1956, (82), 194.
- [5] D. H. Lucas, The atmospheric pollution of cities. Int. J. Air Poll., 1958, (1), 71.
- [6] J. M. Leavitt, Meteorological consideration in air quality planning. J. Air Poll. Contr. Ass., 1960, (10), 246.
- [7] F. Pooler, A prediction model of mean urban pollution for use with standard wind roses. Int. J. of Air and Water Poll., 4, (1961), 199.
- [8] J. F. Clarke, A simple model for calculating concentrations from multiple sources. J. Air Poll. Contr. Ass., 1964, (14), 347.
- [9] M. E. Miller en G. C. Holzworth, An atmospheric diffusion model for metropolitan areas. J. Air Poll. Contr. Ass., 1967, (17), 46.
- [10] D. B. Turner, A diffusion model for an urban area. J. of Appl. Meteor., 1964, (3), 83.
- [11] D. O. Martin, An urban diffusion model for estimating long term average values of air quality. J. Air Poll. Contr. Ass., 1971, (21), 16.
- [12] J. J. Roberts et al., An urban atmospheric dispersion model, Proc. Symp. Mult. Source Models 1969 (zie [15]).
- [13] H. G. Fortak, Numerical simulation of temporal and spatial distribution of urban air pollution concentrations. Proc. Symp. Mult. Source Models 1969 (zie [15]).
- [14] R. G. Lamb en M. Neiburger, An interim version of a generalized urban air pollution model. Atmos. Env., 1971, (5), 239.
- [15] Proceedings Symposium on Multiple Source Urban Diffusion Models, 1969. Publ. AP-86, 1970, US. Env. Prot. Agency, Res. Triangle Park, N. Carolina, 27709.
- [16] K. J. Marsh en Foster, An experimental study of the dispersion of the emissions from chimneys in Reading. Atmos. Env., 1967, (1), 527.
- [17] K. Höschele, Ergebnisse von Messungen des  $\text{SO}_2$ -Gehalts der Luft in Karlsruhe und ihre statistische Bearbeitung. Staub, 1965, (25), 102.
- [18] B. Bringfelt, Important factors for the sulphurdioxide concentration in central Stockholm. Atmos. Env., 1971, (5), 949.
- [19] M. Benarie et al., Inst. Nat. de Res. Chimique Appliquée, 91 Vert-le-Petit, France, 1971.
- [20] Y. Buurma, Het proefmeetnet voor luchtverontreiniging in Twente. Versl. en Med. Volksgezondheid, 1969, no. 20, 239.
- [21] H. van Duuren en A. J. Elshout, Enkele aspecten van de atmosferische verontreiniging door  $\text{SO}_2$  in Nederland. De Ingenieur, 1971, (83), 617.
- [22] H. Zeedijk, De luchtverontreiniging in Eindhoven tijdens de passage van een warmtefront op 19 en 20-2-1969. Chem. Weekblad, 1969, (65), nr. 18, 18.
- [23] H. Heida en C. A. Bank, Over het CO-gehalte van de buitenlucht op een aantal drukke verkeerspunten in Amsterdam. Rapport GGD Amsterdam, 1971.
- [24] G. Verduyn, Luchtverontreiniging in België, Principes en meetmethoden. Het Ingenieursblad, 1971, (40), 355.
- [25] Comité d'action technique contre la pollution atmosphérique, 1965/68.
- [26] Federal Register (USA), 36, (1971), 6686.
- [27] G. C. Holzworth, Meteorological potential for urban pollution in the contiguous USA. Proc. 2nd Int. Clean Air Congr., Wash., 1970, ME-206.
- [28] F. A. Gifford en S. R. Hanna, Urban air pollution modelling. Proc. 2nd Int. Clean Air Congr., 1970, ME-32D.
- [29] S. R. Hanna, A simple method of calculating dispersion



- from urban area sources. *J. Air Poll. Contr. Ass.*, 1971, (21), 774.
- [30] R. S. Scorer en C. F. Barrett, Gaseous pollution from chimneys. *Int. J. Air Water Poll.*, 6, (1962), 49.
- [31] P. C. Blokker, Invloed van gebouwen op luchtverontreiniging. *De Ingenieur*, 82, (1970), B 122.
- [32] J. Halitsky, Gas diffusion near buildings. *Meteorology and Atomic Energy* 1968, Slade (ed.), USAEC, TID 24190.
- [33] Meroney and Yang, Gaseous plume diffusion about isolated structures of simple geometry. *Proc. 2nd Int. Air Poll. Conf.*, IUAPPA, Wash., 1970.
- [34] R. E. Munn en A. F. W. Cole, Some strong wind downwash diffusion measurements at Douglas point. *Atmos. Env.*, 1, (1967), 602.
- [35] R. S. Scorer, Dilution near buildings. *Air Pollution*, (boek) (1972), p. 51.
- [36] A. Palsma en W. Takens, *Gas* (1971), nr. 3, 102.

## VI. Samenstelling van de Werkgroep

De Werkgroep Verspreiding Grondemissies was als volgt samengesteld:

- |  |  |
|--|--|
| prof. ir. C. J. Hoogendoorn<br>(voorzitter), | Technische Hogeschool<br>Delft                       |
| dr. P. C. Blokker,                           | Concawe, Den Haag                                    |
| ir. Y. Buurma,                               | Rijksinstituut voor de<br>Volksgezondheid, Bilthoven |
| drs. F. Hartogensis,                         | Inspectie van de Volksgezondheid, belast met         |

het toezicht op de hygiëne van het milieu,  
Leidschendam  
Gem. Geneeskundige  
Dienst, Amsterdam  
Kon./Shell Laboratorium,  
Amsterdam  
Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut,  
De Bilt

drs. H. Heida

dr. ir. G. Ooms (secretaris),

drs. A. P. van Ulden,

Als corresponderende leden werkten mee:

ir. A. M. W. Balemans,

dr. L. A. Clarenburg,

drs. J. Gorter,

ir. M. Joosten,

ir. Y. A. Kuipers,

dr. ir. G. R. Smit,

dr. ir. J. Stuurman,

Arbeidsinspectie,  
Utrecht  
Openbaar Lichaam  
Rijnmond, Schiedam  
Ned. Gasunie,  
Groningen  
Philips' Gloeilampenfabrieken,  
Eindhoven  
Adviserend Ingenieur,  
Amersfoort  
Philips' Gloeilampenfabrieken,  
Eindhoven  
Dienst Milieu Hygiëne  
van de Zaanstreek,  
Zaandam



# Hoofdstuk 5. Voorbeelden van industrieel beleid

## I. Luchtverontreiniging door stof, zwaveldioxyde en stikstofoxyden in de westelijke mijnstreek

door dr. P. G. Meerman

De metingen waarover dit rapport handelt, werden door DSM op eigen initiatief en voor eigen gebruik verricht.

Nadien heeft de grote belangstelling voor milieuhygiënische vraagstukken buiten de onderneming geleid tot vragen in de Tweede Kamer der Staten Generaal aan de Minister van Economische Zaken en de Staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid, waarbij verzocht werd te bevorderen dat de meetgegevens zouden worden gepubliceerd.

Aan de wens tot openbaarmaking wordt met dit rapport voldaan. Op verzoek van bovengenoemde excellenties werd de definitieve tekst samengesteld in overleg met het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, de Hoofdinspectie voor de Hygiëne van het Milieu en het Staatstoezicht op de Mijnen.

Er zij op gewezen, dat het meetonderzoek zich weliswaar heeft uitgestrekt tot drie belangrijke vormen van luchtverontreiniging, te weten stof, zwaveldioxyde en stikstofoxyde, doch dat uit de resultaten geen conclusies kunnen worden getrokken ten aanzien van de totale luchtverontreiniging. Hierin spelen bijvoorbeeld ook de diverse stankstoffen een grote rol; deze zijn buiten het onderzoek gebleven.

### Inleiding

Sedert 1920 is in het voordien landelijke gebied ten westen van Geleen een industrieel complex ontstaan, met als eerste kern de Staatsmijn Maurits. Op basis van de vetkolen, die deze mijn opleverde, werd op een aangrenzend terrein cokes geproduceerd en sedert 1930 werd een deel van het gas dat bij de cokesbereiding ontstond, als grondstof gebruikt voor een stikstofbindingsbedrijf, dat op ca. 1½ km ten noordwesten van de moederbedrijven kwam te liggen.

Na 1945 is de produktie van het chemische bedrijf sterk opgevoerd, en in 1954 is bovendien in het gebied ten zuidwesten van Geleen een tweede cokesfabriek in bedrijf gesteld. Een belangrijk facet van de verdere ontwikkeling werd de uitbreiding van het assortiment van stoffen.

Naast de 'kunstmestsector' ontstonden er fabrieken voor monomeren, grondstoffen voor de kunstvezelindustrie en voor polymeren: plásticos, rubbers. Schaalvergroting leidde hier tot de noodzaak, ook andere uitgangsstoffen dan cokesovengas aan te trekken, nl. nafta, tussenprodukt van de olieraffinage en in een later stadium aardgas uit Groningen. Thans zijn laatstgenoemde grondstoffen de enige, want inmiddels zijn de mijn Maurits en de beide cokesfabrieken gesloten.

De geschetste bedrijvigheid heeft er toe geleid dat de bevolkingsdichtheid in het gebied belangrijk is gestegen. Om de bevolking te huisvesten zijn de bestaande woonkernen sterk uitgebreid en zijn nieuwe aangelegd. Een blik op de kaart maakt het duidelijk, dat hierbij indertijd in belangrijk mindere mate dan men thans wenselijk acht een ruimtelijke scheiding tussen woongebied en industrie is bewerkstelligd. Evenals in andere industriegebieden heeft dit tot klachten over hinder, in het bijzonder door verontreiniging van de lucht, geleid. De genoemde klachten hebben in 1959 aanleiding gegeven tot een door het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO uitgevoerd onderzoek, zich uitstrekkende over de periode van 1 oktober 1959 tot 13 maart 1961 [1]. Onder het hoofd 'Algemene indruk' vermeldt het rapport daarover "Uit de metingen blijkt, dat we in Geleen en naaste omgeving te maken hebben met matige luchtverontreiniging. Als voornaamste verontreiniging treden stof, nitreuze gassen, stank en SO<sub>2</sub> op.

Hoewel geen ernstige toestand bestaat, is verbetering aan te bevelen. Het verder toenemen van de verontreiniging moet worden voorkomen".

Sinds het TNO-onderzoek hebben zich belangrijke wijzigingen voltrokken. Gelijk reeds vermeld, zijn mijn en cokesfabrieken gesloten; daarentegen is de produktie van de chemische bedrijven sterk opgevoerd. Verwacht mag worden, dat dit de situatie met betrekking tot de luchtverontreiniging heeft gewijzigd. Des te meer mag men dit verwachten op grond van het feit, dat van de zijde van het bedrijf een aantal maatregelen zijn genomen, die ten doel hadden de verontreiniging van de buitenlucht te beperken. Deze bestonden ten dele uit het uit bedrijf nemen van oude, relatief sterk de atmosfeer verontreinigende, produktie-eenheden voor zwavel- en salpeterzuur, ten dele ook uit het bouwen van hoge schoorstenen van resp. 175, 160 en 125 meter en het in bedrijf stellen van een spuigaswassing achter de grote contactzwavelzuurfabriek. Door laatstgenoemde wasinstallatie worden de anders nog gespuide resthoeveelheden aan SO<sub>2</sub> voor 95% opgevangen. Tenslotte moet nog worden vermeld, dat de relatief veel hinder veroorzakende uitworp van zwaveldioxyde door de stooktoestellen van de bevolking zeer belangrijk gedaald is als gevolg van een vergevorderde overschakeling op aardgas, mede dank zij een daartoe gunstige regeling voor de werknemers van DSM.

De genoemde wijzigingen in de situatie, de aangekondigde verder uitbouw van de chemische industrie van DSM in de streek en de plannen voor de bouw van een olieraffinaderij door Shell en DSM op ca. 4 km afstand van het zwaartepunt van eerstgenoemde industrie, deden bij DSM de wens ontstaan een hernieuwd overzicht te hebben met betrekking tot de belangrijkste stoffen, die hier tot verontreiniging van de buitenlucht aanleiding geven.



Het meten van luchtverontreiniging is sedert 1958 bij DSM een van de taken geweest van een studiegroep, die oorspronkelijk onder de Veiligheidsdienst ressorteerde en die thans als Afdeling Water- en Luchtverontreinigings- en Explosieonderzoek in de organisatie van het Centraal Laboratorium van de onderneming is opgenomen. De metingen hebben zich voornamelijk geconcentreerd op de beide gasen die ook in het onderzoek van TNO zijn genoemd, namelijk zwaveldioxyde en stikstofoxyden. Voorts is door de afdeling overgenomen een onderzoek van de neerslag van onoplosbaar stof, waarmee reeds in 1952 een begin was gemaakt in het kader van het voormalige Centraal Proefstation, een op de mijnbouw gericht researchinstituut.

Voor de twee gasen zijn continu werkende meters opgesteld op een plaats, gelegen in de onmiddellijke nabijheid van het Stikstofbindingsbedrijf. Zij dienen voor alarmering bij ernstige hinder en voor het verkrijgen van een statistisch inzicht in het niveau van de concentraties. Een verwerking van de verkregen gegevens met een computer is opgezet. Het ligt in de bedoeling de resultaten van deze verwerking, zodra zij gereed is, te publiceren.

Stof wordt over veertiendaagse perioden gemeten met Luikse bollen en wel op acht plaatsen in de hier niet verder in de beschouwing betrokken oostelijke mijnstreek en op twaalf plaatsen in het thans ter sprake zijnde gebied. Hiernaast beschikt de Afdeling over een meetauto, uitgerust met apparatuur voor de continue bepaling van zwaveldioxyde en stikstofoxyden, alsmede, naar behoefte, voor incidentele bepaling van andere stoffen, die door de bedrijven bij uitzondering, dan wel continu in de lucht worden gebracht, zoals koolwaterstoffen en ammoniak. Binnen het bedrijf worden voorts door de bedrijfslaboratoria controlemetingen uitgevoerd.

### Metingen

Toen in de loop van 1968 de in het voorafgaande genoemde wens naar voren kwam, een overzicht op te stellen van de verontreinigingstoestand met betrekking tot de voornaamste componenten in de streek, kon in feite alleen met het stofonderzoek min of meer aan deze wens worden tegemoetgekomen. Er werd namelijk gevraagd naar de situatie in een gebied, dat tenminste de terreinen van alle chemische bedrijven plus het toekomstige terrein van de raffinaderij ruim omsloot, in feite dus een groter gebied dan dat wat door TNO beschouwd was en dat zich tot Geleen en naaste omgeving beperkte. Teneinde ook voor zwaveldioxyde en stikstofoxyden een redelijk beeld van de toestand te krijgen, moest een meetnet over het gebied worden opgezet. Op korte termijn kon dit met de beschikbare apparatuur en mankracht gerealiseerd worden op de wijze waarop zulks in het land Nordrhein-Westfalen is geschied. Aldaar wordt, verspreid over een oppervlak van 5026 km<sup>2</sup>, op 5280 punten die 1 km uit elkaar liggen, steekproefsgewijze 26 maal per jaar de zwaveldioxydeconcentratie bij korte meetduur (30 minuten) bepaald.

Met ons meetnet is een gebied van 65 km<sup>2</sup>, gelegen tussen Buchten en Geverik, bestreken. De meetpunten, 41 in aantal, lagen 1½ km uit elkaar. Gedu-

rende een jaar, van februari 1969 tot en met januari 1970, zijn per meetpunt 26 waarnemingen verricht, elk gedurende 30 minuten voor zwaveldioxyde en 20 minuten voor stikstofoxyden. De waarnemingsmomenten werden voor elk punt verspreid over de dagen van de werkweek en de uren van de werkdag. In tegenstelling tot wat in Nordrhein-Westfalen toegelaten is, namelijk het buiten beschouwing laten van waarnemingen die tijdens langdurende ongunstige weersomstandigheden (inversietoestanden) zijn verricht, hebben wij, naar onze mening eerlijkheidshalve, alle waarnemingsresultaten in de verwerking betrokken. Slechts één uitzondering is hierop gemaakt, namelijk voor één waarneming van stikstofoxyden die verricht werd toen de concentratie kennelijk belangrijk verhoogd was door een in de onmiddellijke omgeving van het meetpunt werkende explosiemotor van een bulldozer. In totaal zijn 1059 waarnemingen van de concentratie aan zwaveldioxyde en 1058 van die aan stikstofoxyden verricht.

Men moet zich realiseren, dat dit steekproefsgewijze uitgevoerde onderzoek slechts een oriënterend karakter heeft, dat op continue metingen met moderne apparatuur vooruitloopt. Het werd verricht door de heren J. W. Kelleter, J. M. Leistra en H. W. Mommers.

### Uitkomsten van de stofmetingen

In de beschouwde streek worden doorlopend bepalingen van onoplosbaar stof met behulp van Luikse bollen op 12 punten uitgevoerd sedert 1954. De Luikse bollen zijn met vaseline ingesmeerde aluminiumbollen met een diameter van 12 cm, die op ca. 2 m hoogte vrijstaand zijn opgesteld. Tweemaal per maand worden de bollen weggenomen en worden nieuwe geplaatst: het opgevangen stof wordt nu afgespoeld met verwarmde benzine en na filtreren en drogen gewogen. Bepaald wordt hieruit de stofhoeveelheid, per dag op de bol neergeslagen. Teneinde een indruk te krijgen van de vergroting van de stofhinder door stedelijke omgeving en industrie wordt voorts de stofhoeveelheid vergeleken met die, welke opgevangen wordt op een in landelijke omgeving geplaatste bol, in ons geval te Aalbeek, op 6½ km zuidelijk van het gebied van Geleen en op 8 km westelijk van dat van Heerlen. De meetpunten in de gebieden Geleen, Beek-Elsloo en Stein zijn vermeld in figuur 1; jaarcijfers voor deze gebieden in figuur 2. Het wegvallen van mijn en cokesfabrieken blijkt hier duidelijk uit: de cijfers voor Geleen liggen in het laatste jaar nog maar weinig boven die van het agrarische punt Aalbeek. In de omgeving van de haven te Stein is de stofhinder het grootst. Ofschoon ook aldaar in de laatste jaren een daling is opgetreden, moet de situatie er nog allerminst bevredigend worden geacht.

Het noordelijk stuk van het door ons beschouwde gebied is niet in de doorlopende meetreeks betrokken: in verband met de vestiging van de automobiefabriek van DAF heeft hier wel een onderzoek van kortere duur plaats gehad, en wel tussen oktober 1965 en december 1966. De gemiddelde uitkomst was 1,4 mg per dag per bol, gelijk aan 0,8 maal de waarde, verkregen op het punt 'Aalbeek'. Gesteld kan dus worden, dat dit gebied, gelijk verwacht, voor wat betreft stofhinder als buiten de industriële sfeer vallend kan worden beschouwd.

mg/d per bol (gemiddeld)

195





Fig. 1. Plaatsing Luikse bollen:

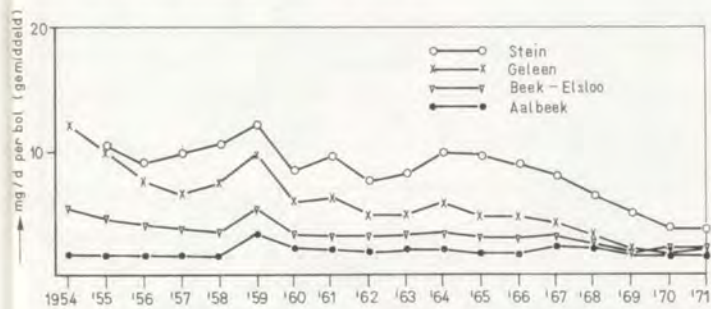


Fig. 2. Stofmetingen. Jaargemiddelden voor de gebieden Geleen, Beek-Elsloo en Stein. (Ter vergelijking: Nieuwe Waterweg Noord 4,6 mg/d per bol; Nieuwe Waterweg Zuid 6,3 mg/d per bol).

Uitworp van in water oplosbare stoffen (zouten) wordt bij regen van de Luikse bollen afgespoeld. Deze uitworp van elektrolyten is in de naaste omgeving van het Stikstofbindingsbedrijf, in de wijk Lindenheuvel, incidenteel een bron van hinder geweest, die bij de metingen met deze bollen niet tot uiting kwam. Meting met neerslagmeters, waarbij over deze uitworp wel enige indicatie wordt verkregen, heeft thans op een viertal punten plaats.



Fig. 3. Meetpunten voor zwaveldioxyde en stikstofoxyden.

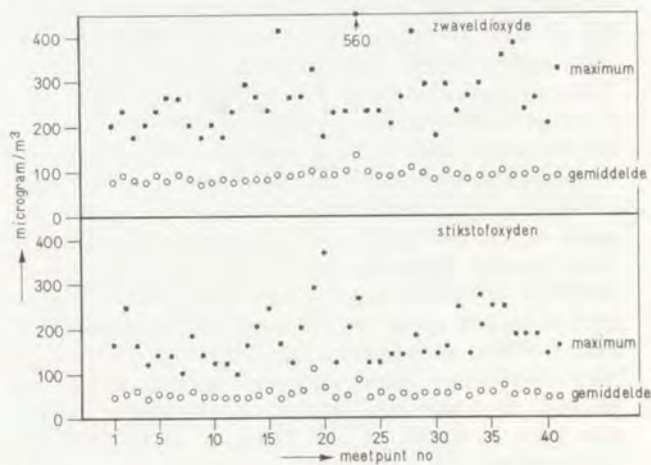


Fig. 4. Gemiddelde en maximale concentraties aan zwaveldioxyde en stikstofoxyden op de 41 meetpunten.

#### Uitkomsten van de metingen met betrekking tot zwaveldioxyde en stikstofdioxyden

Zwaveldioxyde en stikstofoxyde werden beide fotometrisch met continue registratie bepaald, respectievelijk jodometrisch en volgens Griess-Ilosvay. Stikstofmonoxyde werd voor de bepaling van de stikstofoxyden met chroomtrioxyde-zwavelzuur geoxydeerd. De geografische positie van onze 41 meetpunten toont figuur 3.

a. Gemiddelden en piekwaarden per meetpunt  
In figuur 4 zijn de gemiddelde concentraties en de



hoogste waarnemingen per meetpunt vermeld. Laatstgenoemde gegevens zijn vergeleken met de Russische streefwaarden voor piekconcentraties. Dit zijn gemiddelde concentraties over een meetduur van 20 minuten, die als maximaal aanvaardbaar mogen worden beschouwd. Voor zwaveldioxyde is bij onze metingen éénmaal deze streefwaarde ( $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) overschreden. Het desbetreffende punt ligt op het bedrijf van DSM en behoort dus feitelijk niet aan de buitenluchtwaarde, maar aan die voor bedrijfsruimten te worden getoetst. Deze is in Rusland gesteld op  $12.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , een groot veelvoud dus van onze topwaarneming van  $560 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Voor stikstofoxyden is eveneens éénmaal een overschrijding van de Russische streefwaarde voor de buitenlucht ( $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) geconstateerd: deze betreft punt 20, juist ten noorden van de wijk Lindenheuvel, waar op het moment van meting de pluim van de grote schoorsteen van het Stikstofbindingsbedrijf neersloeg.

*b. Verwerking op de in de 'Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft' voorgeschreven wijze*

Het onder 'Metingen' genoemde meetnet voor Noordrhein-Westfalen is gebaseerd op de voorschriften van de 'Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft', kortweg T. A. Luft genoemd, beschreven in het 'Gemeinsames Ministerialblatt' van de Duitse Bondsrepubliek, uitgegeven op 14 september 1964. Het feit, dat de opzet van onze metingen verregaand hiermee overeenkomt, geeft zin aan een verwerking en een toetsing conform hetzelfde voorschrift. Bij deze verwerking, die op zwaveldioxyde is toegespitst, wordt op statistische basis een berekening gemaakt van die waarde van de gemiddelde concentratie, waarvan verwacht wordt dat zij slechts in  $2\frac{1}{2}\%$  van de gevallen bij gelijksoortige metingen zal worden overschreden ( $I_1$ ) en van de maximumconcentratie, waarvan eveneens slechts  $2\frac{1}{2}\%$  overschrijding wordt verwacht ( $I_2$ ). Toetsing heeft dan plaats aan limietwaarden, die thans in West Duitsland zijn gesteld op  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor  $I_1$  en  $750 \mu\text{g}/\text{m}^3$  voor  $I_2$ . Deze getallen vindt men ook als 'Immissionsgrenzwerte' vermeld. De waarnemingen, gedaan op de verschillende meetpunten, worden volgens dit voorschrift, ter verkrijging van een voldoende groot aantal voor de statistische verwerking, voor 'blokken' omsloten door 4 van deze punten samengegeld. In ons geval zijn 25 blokken beschouwd van  $2,25 \text{ km}^2$  elk, aangegeven met A t/m Y in figuur 5. De gegevens voor  $I_1$  moeten getoetst worden aan het getal 400: zij liggen ten hoogste op een derde hiervan. Die voor  $I_2$  liggen op ten hoogste de helft van de grenswaarde 750, (figuur 6).

Gaan wij voor stikstofoxyden op dezelfde wijze te werk, dan constateren wij, dat onze cijfers voor  $I_1$  minder dan een tiende zijn van de 'Immissionsgrenzwert', die  $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bedraagt en dat wij voor  $I_2$  een factor 8 onder de maximum getolereerde waarde van  $2000 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liggen. Toch mag in het gebied van Geleen nog zeker van een relatief niet onbelangrijke concentratie aan stikstofoxyden worden gesproken: naar tegenwoordige opvattingen moeten de Duitse limieten op dit punt wel als te tolerant worden beschouwd.

*c. Evaluatie van zwaveldioxyde volgens IG-TNO*

In rapport G 300 van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO [2] geven L. J. Brassier, P. E. Joosting



Fig. 5. Indeling in blokken van  $2,25 \text{ km}^2$  elk.

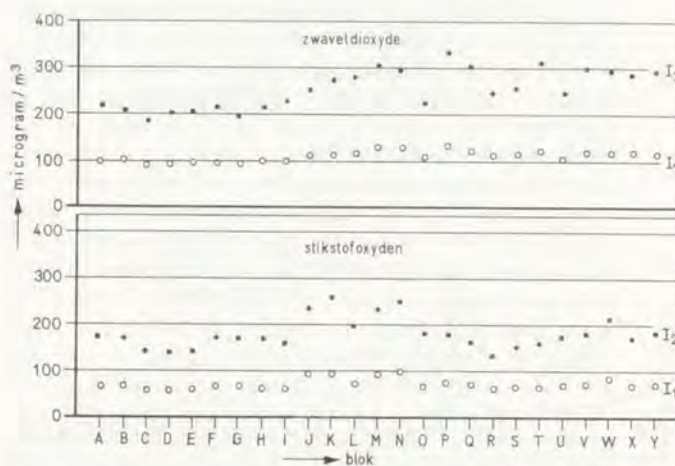


Fig. 6. De waarden  $I_1$  en  $I_2$ , berekend volgens de 'Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft', voor de 25 blokken.

en D. Zuijlen criteria aan voor de beoordeling van de luchtverontreiniging door zwaveldioxyde. Deze beoordeling stoelt op de frequentieverdeling van de daggemiddelden van de concentratie op vaste meetpunten. De genoemde frequentieverdeling wordt weergegeven in een zogenaamd log-waarschijnlijkheidsdiagram: bij benadering blijkt zij in zo'n diagram een rechte lijn op te leveren. In het diagram is ook een grenslijn getekend. Snijdt de frequentielijn van de metingen de grenslijn, dan moet volgens de genoemde auteurs de situatie ter plaatse onaanvaardbaar worden



geacht. De belangrijkste punten van de grenslijn zijn: 50% van alle daggemiddelden onder 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 98% onder 300 en 99,7% onder 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

De Staatssecretaris van Sociale Zaken en Volksgezondheid heeft medegedeeld, dat deze TNO-criteria voorlopig als richtlijn voor toelaatbare concentraties kunnen worden gehanteerd. Nu is ons meetstelsel niet op deze wijze van evaluatie gericht geweest. In de eerste plaats hebben wij waarnemingen, verricht bij een meetduur van een half uur tot onze beschikking, in plaats van daggemiddelden. Hoge cijfers komen bij dagwaarden veel minder voor dan bij halfuurwaarden, daar een hoge concentratie meestal van korte duur is en afgewisseld wordt door een periode, waarin de concentratie weer gezakt is. Volgens de medewerkers van TNO zou de verhouding tussen de maximum halfuurwaarde en de maximum dagwaarde in de buurt van 2,25 liggen. Wij hebben echter gemeend deze correctie, die maakt dat de maximumcijfers tot 45% van de gemeten waarden zouden mogen worden verlaagd, achterwege te moeten laten. Het weglaten betekent evenwel ontegenzeggelijk, dat wij ons verzwaarde maatstaven opleggen.

De aantallen waarnemingen per meetpunt zijn voorts te klein om met voldoende betrouwbaarheid frequentielijnen op te stellen: mede gezien de kleine verschillen tussen in elkaars buurt gelegen meetpunten, achten wij het verstandig ze in groepen bijeen te voegen en zo aanvaardbare aantallen metingen aan de frequentietoets te onderwerpen. Een punt van discussie kan zijn, hoe de samenvoeging tot stand te brengen.

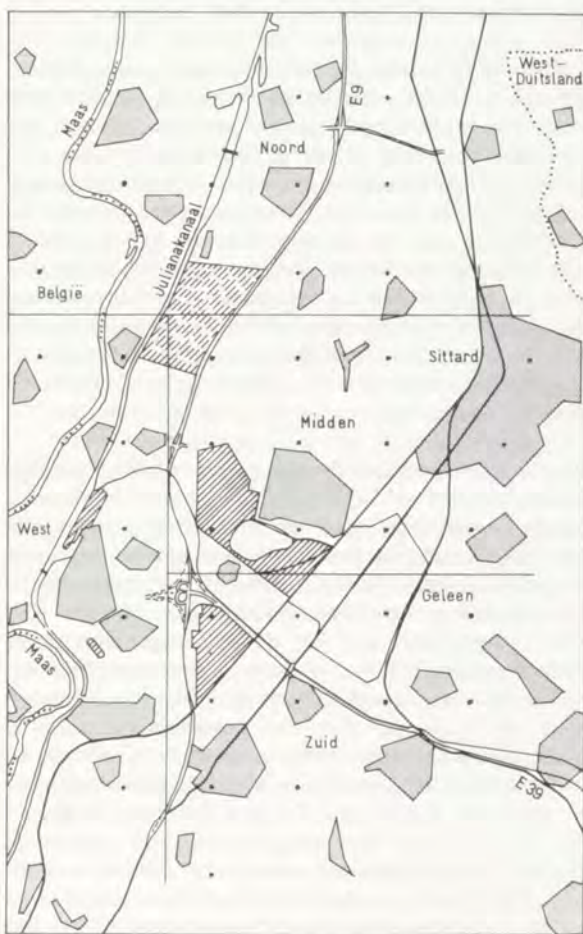


Fig. 7. Geografische indeling in vier groepen.

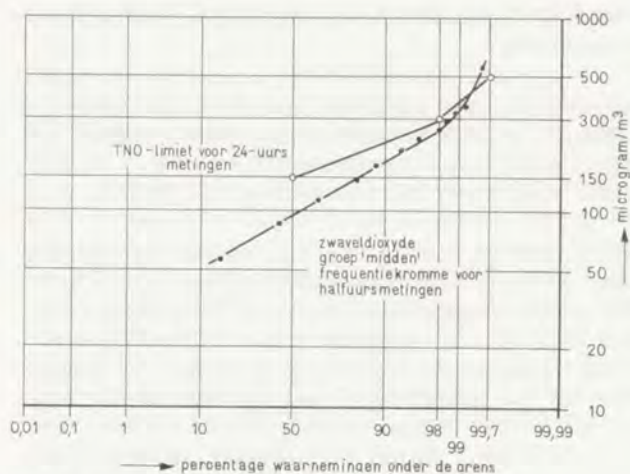


Fig. 8. Toetsing aan de TNO-norm.

Drie keuzen zijn gemaakt:

Ten eerste is de streek door het trekken van rechte lijnen in gebieden 'noord', 'west', 'midden', en 'zuid' verdeeld. Zie figuur 7. Daar het afbeelden van alle frequentielijnen zeer veel ruimte in beslag zou nemen, wordt volstaan met het weergeven van één ervan, diegene waarin de reeds bij de toetsing aan de Russische streefwaarde genoemde enige waarneming boven 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voorkomt (figuur 8). In tabel 1 zijn de concentraties, waaronder 50, 98, en 99% van de waarnemingen vallen, vermeld. Afgezien is van het vermelden van een 99,7% waarde, daar wij deze als gevolg van het beperkte aantal waarnemingen in vele gevallen door extrapolatie zouden hebben moeten bepalen.

Ten tweede is een verdeling gemaakt in punten, die respectievelijk 0-2 km, 2-4 km, 4-6 km, en meer dan 6 km van het centrum van de bedrijfsactiviteit, waar-

Tabel 1. Frequentieverdelingen voor zwaveldioxyde

Indeling	Gebied	Aantal meetpunten	Concentratie (halfuurgemiddelde) microgram/m <sup>3</sup>		
			50% (mediaan)	98%	99%
vier geografische gebieden	noord	12	89	240	270
	west	8	92	290	340
	midden	10	96	270	340
	zuid	11	90	300	360
concentrische gebieden rondom punt 23	0-2 km	5	100	300	<b>410</b>
	2-4 km	14	90	290	<b>430</b>
	4-6 km	16	87	260	300
	meer dan 6 km	6	88	240	280
	typen gebieden	industrieel binnen	4	96	<b>360</b>
Geleen binnen		3	92	280	320
dorpen		7	87	300	<b>430</b>
agrarisch n.		6	84	230	250
agrarisch o.		5	93	260	320
agrarisch z.		4	92	290	340
agrarisch w.		5	88	260	300
Limieten van IG-TNO (daggemiddelde)		—	—	150	300



voor punt 23 gekozen is, zijn verwijderd. Tabel 1 toont de gegevens.

Ten derde is een verdeling gemaakt in 'industriële', 'Geleën', 'binnen dorpen' en 'agrarisch', waarbij de laatste groep nog onderverdeeld is in sectoren 'noord', 'oost', 'zuid' en 'west'. Zie ook hiervoor tabel 1.

Geconcludeerd kan worden dat, ook al brengen wij geen correctie voor de korte meetduur aan, vrijwel alle waarnemingsreeksen binnen de TNO-criteria vallen. Behalve die, welke te maken hebben met het reeds vermelde waarnemingspunt binnen het bedrijf ('0-2 km' en 'industriële'), waarvoor dus feitelijk nog ruimere criteria mogen gelden, zijn er slechts twee overschrijdingen van het 99%-dagwaardecriterium van TNO.

*d. Verdeling van de meetuitkomsten over de tijd en de windrichtingen*

De gemiddelden per maand laten globaal de bekende hogere winter- en lagere zomerwaarden zien (tabel 2).

**Tabel 2.** Maandgemiddelden (alle meetpunten,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

jaar	maand	zwaveldioxyde	stikstofoxyden
1969	februari	181	84
	maart	114	68
	april	78	44
	mei	121	39
	juni	77	38
	juli	77	42
	augustus	49	33
	september	51	44
	oktober	67	63
	november	65	37
	december	113	69
	1970	januari	79
<b>totaal</b>	<b>gemiddeld</b>	<b>89</b>	<b>53</b>

Gezien de relatief belangrijke en weinig schommelen-de industriële uitworp van stikstofoxyden is het in overeenstemming met de verwachting, dat de spreiding voor deze gassen kleiner is dan voor zwaveldioxyde, waarvan de uitworp relatief sterker van het huishoudelijk stoken afhankelijk is. Hiernaast heeft zich het feit voorgedaan, dat er op 14 en 24 februari en op 17 december 1969 ongunstige weersomstandigheden optraden, gekenmerkt door een relatief hoog oplopen van beide gassoorten. In deze tijd werden ook door anderen verhoogde concentraties voor zwaveldioxyde geconstateerd. Zo rapporteert Zeedijk [3] over hoge concentraties in Eindhoven op 19 en 20 februari. Misschien is deze correlatie evenwel toevallig. Minder toevallig lijkt de constatering van verhoudingsgewijze veel zwaveldioxyde in Buggenum op 17 december.

Uit verschillende meetreeksen in den lande leidt men af, dat er een niet onbelangrijke grensoverschrijdende luchtverontreiniging is, in het bijzonder in de oostelijke provincies merkbaar. Interessant is daarom een verdeling van de verontreiniging over de vier windrichtingen. Ook in onze waarnemingen blijkt nu een zeer duidelijke asymmetrie te schuilen. Zo is voor alle meetpunten het gemiddelde van de waarnemingen voor zwaveldioxyde bij wind tussen nw en no 97,

tussen no en zo 103, tussen zo en zw 73, en tussen zw en nw  $82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Eveneens blijkt dit uit een sterker geselecteerde groep waarnemingen: voor een elftal punten noordelijk van de geïndustrialiseerde streek en bij windsterkten boven 3 m/s zijn de getallen in dezelfde volgorde van windrichting 84, 113, 66 en 73 voor zwaveldioxyde en 50, 62, 47 en 27 voor stikstofoxyden.

Ook onze cijfers kunnen dus in de richting van een transport van verontreiniging vanuit noordelijke en oostelijke richtingen wijzen. Dicht langs de Limburgse oostgrens liggen de sterk geïndustrialiseerde gebieden van Mönchengladbach en Aken. Het kleine aantal waarnemingen maant echter ook hier tot voorzichtigheid bij het trekken van gedetailleerde conclusies.

### Slotbeschouwing

Met betrekking tot de hinder door onoplosbaar stof kan gesteld worden dat zij zeer belangrijk is verminderd, in het bijzonder als gevolg van het sluiten van de mijn Maurits en de beide cokesfabrieken. Zij vormt thans alleen in het gebied van Stein nog een serieus probleem. Met betrekking tot zwaveldioxyde én stikstofoxyden kan globaal gesteld worden, dat het in dit verslag beschreven onderzoek lagere cijfers te zien heeft gegeven dan het TNO-onderzoek van 1959-1961. Een kwantitatieve vergelijking blijft hier echter achterwege: er zijn verschillen in meetmethodiek en meettijd, en mede met het oog op het medische doel is in het TNO-onderzoek dikwijls bewust onder de pluim van de schoorstenen gemeten, terwijl wij met het oog op statistische verwerking een zo groot mogelijke plaats aan het toeval hebben gegeven.

Zwaveldioxyde vormt op dit moment geen ernstig plaatselijk probleem in het beschouwde gebied. Het feit, dat ook bij ons onderzoek weer aanwijzingen zijn gevonden voor een relatief niet onbelangrijke bijdrage vanuit verafgelegen bronnen, maakt het evenwel duidelijk dat hier een thans nog min of meer latent probleem ligt, dat op den duur om een oplossing vraagt in een groter kader. Hoewel zij in het algemeen binnen de perken van de tegenwoordige normstelling in de verschillende landen valt, is er thans nog een niet te verwaarlozen bijdrage van stikstofoxyden van industriële herkomst aan de luchtverontreiniging in de betrokken streek.

Tenslotte moet nog een technische opmerking worden gemaakt: het feit dat er dagen zijn, waarop beide gasvormige verontreinigingen op alle of nagenoeg alle meetpunten belangrijk groter zijn dan op voorafgaande of volgende dagen, geeft een relatief scherpe indicatie voor ongunstige weersomstandigheden. Immers: het is zeer onwaarschijnlijk, dat de uitworpen van beide componenten tegelijk zo scherp discontinu veranderen, nog veel onwaarschijnlijker dan dit voor één component het geval zal zijn. De oorsprong van beide gassen houdt namelijk geen verband met elkaar, zij zijn — althans grotendeels — afkomstig van gescheiden industriële processen. Dit leidt tot de gevolgtrekking, dat nu voor het constateren van ongunstige weersomstandigheden met een veel kleiner aantal meetstations kan worden volstaan dan wanneer er maar één component ter beschikking staat. Gelijk bekend mag worden verondersteld, is dit constateren één



van de doeleinden van een meetnet zoals dat thans in Rijnmond geïnstalleerd is. De hierboven vermelde overweging is misschien nuttig bij de bestudering van de dichtheid van het komende landelijke meetnet; ook in andere facetten met betrekking tot de toekomstige opzet van het in de beschouwde streek te installeren deel van het net moge dit rapport bruikbare informatie opleveren. Een technische verantwoording met details van de meetmethoden en met de individuele waarnemingsresultaten wordt gaarne aan belangstellenden ter beschikking gesteld via het Centraal Laboratorium van DSM, Postbus 18, Geleen.

## II. Emissiecijfers van DSM-bedrijven te Geleen, nu en in de toekomst

door ir. R. Koolwijk

### Inleiding

Het doel van deze bijdrage is tweërlei, nl:

- een inventarisatie te geven van de belangrijkste emissiebronnen binnen DSM;
- een prognose te geven omtrent de ontwikkeling van de emissiecijfers in de komende jaren.

De milieusituatie in de omgeving van Geleen is en wordt voornamelijk bepaald door de bedrijven van de Staatsmijnen DSM; in het verleden door de mijnindustrie en de cokesfabrieken, na 1960 in toenemende mate door de chemische bedrijven.

De sanering van milieuverontreinigende emissies begint, hoewel ook in het verleden aandacht aan dit probleem werd geschonken, na ca. 1960 duidelijk gestalte te krijgen, met als eerste resultaten de bouw van hoge schoorstenen en de aanleg van een Pasveersloot. Nadien wordt doorlopend getracht, via het bepalen van prioriteiten, de voorzieningen en de eisen op elkaar af te stemmen.

De belangrijkste emissies van de DSM-bedrijven kunnen als volgt worden ingedeeld:

- emissies die luchtverontreinigend werken zoals: nitreuzen, SO<sub>2</sub>, koolwaterstoffen en stankverwekkende stoffen, stof;
- emissies die waterverontreinigend kunnen werken zoals: stoffen met CZV (= chemisch zuurstofverbruik), NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, ureum, SO<sub>4</sub>, gips, zware metalen;
- geluid.

Opgemerkt dient te worden dat een niet onbelangrijk deel van de emissies nauw samenhangt met de werkwijzen bij de bestaande proces-uitvoeringsvormen. Een duidelijke vermindering in uitworp is dan ook pas te verwachten indien:

- het bestaande proces wordt vervangen door een ander, modern proces waarbij de oude fabriek wordt gesloten;
- rigoureuze ingrepen worden gedaan in het bestaande proces, wat echter in het algemeen economisch niet aantrekkelijk is.

In de volgorde zoals hierboven aangegeven, zal in het kort op de diverse emissies worden ingegaan en zal worden getracht een visie op bepaalde trends te geven voor de komende jaren.

### Emissies die luchtverontreinigend werken

#### Nitreuzenuitworp bij salpeterzuurfabrieken

De salpeterzuurfabrikage is een goed voorbeeld van de invloed van het procesontwerp op de milieubelasting.

Een bij atmosferische druk werkende fabriek heeft een uitworp van nitreuzen van 3000-4000 ppm in het afgas (rendement ca. 97%); een moderne fabriek werkt bij 5 atm, de uitworp is 1000-1500 ppm (rendement ca. 99%); een geavanceerde fabriek werkt bij 9 atm en de uitworp aan nitreuzen is hier 500-1000 ppm maximaal (rendement ca. 99,5%).

Toch is de kunstmest-stikstofindustrie qua omvang van de totale nitreuzen-uitstoot maar een kleine vervuiler, zoals blijkt uit de volgende getallen, geldig voor de V.S. in 1968:

industriële verbrandingsprocessen	31%
elektrische centrales	23%
verkeer	45%
kunstmestindustrie	1%
	100%

Helaas is de kleinste vervuiler wel het best waarneembaar, een uitspraak die ook op DSM van toepassing is. Overigens is berekend dat de totale uitworp van de DSM-bedrijven gelijk is aan de natuurlijke nitreuzenproductie binnen een straal van 100 km rond het bedrijf.

De strengste eisen op het gebied van nitreuzenuitworp treft men aan in Amerika, waarbij voor nieuwe salpeterzuurfabrieken de eis op < 200 ppm ligt en voor oudere fabrieken op < 500 ppm. Het is te verwachten dat in Europa op den duur eveneens deze eisen zullen gaan gelden. Dit betekent dat een nabehandeling van de afgasstromen noodzakelijk wordt. Hiertoe staan als methodiek ter beschikking:

- katalytische reductie;
- absorptie in water;
- absorptie in basische oplosmiddelen;
- absorptie in zuur milieu;
- reductie met ammoniak;
- adsorptie aan moleculair zeven.

Deze methoden zullen achtereenvolgens worden behandeld.

**Katalytische reductie** van nitreuzen berust op de volgende deelstappen:

- reductie van NO<sub>2</sub> tot NO;
- kwantitatieve verwijdering van zuurstof;
- reductie van NO tot stikstof.

Als reductiemiddelen kunnen aardgas en waterstof worden genoemd.

Uit recente informatie is gebleken dat er nu een katalysator op de markt is verschenen die in staat is het NO<sub>x</sub>-gehalte in het afgas terug te brengen tot gemiddeld 100 ppm. Opgemerkt moet echter worden dat het hier ervaringen met een zg. hogedrukproces (8,5-9 atm.) betreft. De katalysator is op dit moment ca. een jaar industrieel getest. Een en ander betekent toch wel een doorbraak op dit gebied, aangezien alle tot nu toe toegepaste katalysatoren eigenlijk niet aan de verwachtingen voldeden. Ook DSM heeft dit tot haar schade ondervonden.



**Absorptie in water** is goed bruikbaar bij het hogedruk HNO<sub>3</sub>-proces en geeft een verlaging van de uitworp tot 100-300 ppm; de reiniging van het waswater vindt elders in het bedrijf plaats.

De vermindering kan worden bewerkstelligd door vergroting van het absorptievolume.

Het benodigde absorptievolume is groter naarmate het NO<sub>2</sub>-gehalte lager is.

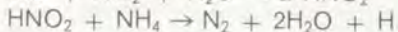
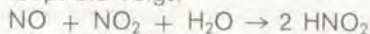
Bij lagedrukfabrieken (<7-8 atm) wordt deze methode erg duur vanwege het feit dat zeer grote kolomvolumes vereist zijn.

Bij **absorptie in basische oplosmiddelen** wordt de nitreuzen bevattende gasstroom geleid in een basisch oplosmiddel, waarbij in het algemeen nitrieten worden gevormd die door pyrolyse kunnen worden omgezet in o.a. N<sub>2</sub>. Voordeel van deze methode is dat de absorptie snel gaat, waardoor bij atmosferische omstandigheden kan worden gewerkt, en dat de beladen oplossing elders in het bedrijf kan worden gebruikt. Reductie in het nitreuzengehalte is in het algemeen tot < 200 ppm.

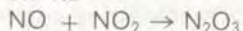
**Absorptie in zuur milieu** kan plaatsvinden in bijv. een (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-oplossing. Hierbij wordt dan NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub> gevormd, dat weer kan worden ontleed in N<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Nadeel van deze methode is dat, gezien de weerstand tegen absorptie in zuur milieu, gewerkt moet worden bij hogere drukken.

De resultaten zijn bovendien slechter dan bij absorptie in basisch milieu.

**Reductie m.b.v. reactie met ammoniak** kan zowel in de vloeistoffase als in de gasfase plaatsvinden en verloopt als volgt:



en via



Technische uitvoeringsvormen zijn echter nog nergens beschreven.

**Moleculaire zeven** kunnen, zolang de te behandelen gassen geen waterdamp meer bevatten, een veelbelovende ontwikkeling opleveren ter verwijdering van nitreuzen [4]. Opgemerkt moet worden dat moleculaire zeven veel sterker water dan nitreuzen absorberen, dat de desorptie (regeneratie) van de zeven gewoonlijk opwarming tot een relatief hoge temperatuur vereist en dat de prijs van de inventaris aan zeven meestal nogal pittig is in verhouding tot de levensduur.

#### *Nitreuzen-uitworp bij caprolactamprocessen*

Zoals bekend, wordt cyclohexanonoxime op grote schaal gebruikt als grondstof voor de nylon 6 ( $\epsilon$ -caprolactam) bereiding. Door DSM is recent een nieuw proces ontwikkeld, het zg. hydroxylamine-fosfaat-oxime proces. Het HPO-proces is ontwikkeld om de bezwaren te ondervangen die aan het nog veelal (ook bij DSM) toegepaste sulfaatproces zijn verbonden en kan als schoolvoorbeeld dienen van een nieuw en economisch verantwoord proces, waarbij de uitworp aan verontreinigingen tot een geaccepteerd niveau zijn teruggebracht. De belangrijkste bezwaren tegen het oude proces zijn:

a. De relatief hoge uitworp aan stikstofoxyden:

— Eerst bij de NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>-bereiding. Deze bereiding

vindt al bij lage temperatuur plaats, maar dit geeft slechts een geringe verbetering van het absorptierendement. De hoge uitworp van NO<sub>x</sub> is een principieel bezwaar, omdat absorptie (i.v.m. de concurrerende NO<sub>3</sub>-vorming) bij atmosferische omstandigheden moet plaatsvinden. De uitworp is hierdoor vergelijkbaar met die van een atmosferische salpeterzuurfabriek. Verlaging van de hoge uitworp cijfers is slechts mogelijk door een economisch niet aantrekkelijke nawassing, die bovendien nog steeds geen aanvaardbare emissiecijfers oplevert. Bovendien is de compressie van de afgassen niet mogelijk door de aanwezige nitriet-niveaus.

— Vervolgens ook bij de hydroxylaminebereiding. Bovendien vindt hier nog een geringe SO<sub>2</sub>-uitworp plaats van ca. 400 ppm (ref. zwavelzuurfabriek zonder en met nawassing resp. 1.600 en 80 ppm).

b. Als nevenproduct wordt 2,6 ton (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> per ton cyclohexanonoxime gewonnen.

DSM is medio 1963 gestart met het uitwerken van ideeën voor de nieuwe bereidingswijze van cyclohexanonoxime waaraan genoemde bezwaren niet kleefden. Bij het nieuwe proces is door een combinatie van eisen ernaar gestreefd de bezwaren van het sulfaatproces te ondervangen:

— de nieuwe hydroxylamine-synthese moest zonder definitieve bijproductvorming zijn (geen vorming van zwavelzure ammoniak);

— er mocht geen neutralisatie van het bij de cyclohexanonoximebereiding vrijgekomen zuur noodzakelijk zijn.

Dit heeft geleid tot een uitvoering waarbij het cyclohexanonoxime in een gebufferd milieu (met H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> als base) wordt bereid. Bij de hydroxylaminebereiding wordt vervolgens het H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> weer teruggevoerd. Als protondonor doet H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dienst. Bij de hydroxylaminebereiding wordt een HNO<sub>3</sub>-reductie toegepast. Het verbruikte HNO<sub>3</sub> wordt aan de anorganische oplossing (afkomstig van de oximebereiding) gesuppleerd. Op deze wijze is in beginsel een bijproductvrij proces mogelijk met als enige overlast de nitreuzenuitworp bij de HNO<sub>3</sub>-bereiding [5]. Een drietal fabrieken op basis van dit nieuwe procédé wordt in 1973 in bedrijf gesteld.

Een modificatie waar nog aan wordt gewerkt, is een proces waarbij het bij de omlegging benodigde oleum wordt geneutraliseerd tot bisulfaat en het lactam geëxtraheerd, waarna het bisulfaat door verbranding wordt omgezet in SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O. Het SO<sub>2</sub> wordt omgezet in oleum, waardoor het hele proces vrij van bijproduct is geworden. Milieutechnisch betekent dit dat geen afvalteer meer hoeft te worden verwijderd en dat de NH<sub>4</sub>-houdende afvalstroom wordt verminderd.

#### *Nitreuzenuitworp bij elektriciteitscentrales*

Industriële verbrandingsprocessen zijn, zoals reeds werd opgemerkt, belangrijke bronnen van NO<sub>x</sub>-emissies. Verderop zal nader worden ingegaan op de emissie van de DSM-centrales.

#### *Zwaveldioxyde-emissies*

De SO<sub>2</sub>-situatie binnen DSM is door het sluiten van de mijnen en de cokesfabrieken aanzienlijk verbeterd. De huidige situatie is dan ook als gunstig te kwalifi-



ceren (zie paragraaf I van dit hoofdstuk). Er blijven echter nog altijd diverse processen over, die, zij het in geringe mate, SO<sub>2</sub> emitteren. Genoemd kunnen worden:

**De zwavelzuurfabrikage.** De uitworp van de klassieke zwavelzuurfabriek bedraagt ca. 1.600 ppm. Bij DSM is de zwavelzuurfabriek voorzien van een alkalische nawassing (nevenprodukt (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), waardoor de uitworp is teruggebracht op 80 ppm.

**Het caprolactamproces.** Zoals reeds eerder vermeld, bedraagt de uitworp aan SO<sub>2</sub> bij de hydroxylaminebereiding ca. 400 ppm. Bij het nieuwe HPO-proces is deze uitworp echter verdwenen.

**Emissies veroorzaakt door elektriciteitscentrales**  
Elektriciteitscentrales zijn, afhankelijk van de gebruikte brandstof, belangrijke producenten van NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> en stof. Bij de DSM-centrales is de SO<sub>2</sub>-uitworp door de omschakeling van kolen op aardgas en afvalkraakfracties drastisch verminderd, zoals aangegeven in figuur 9.

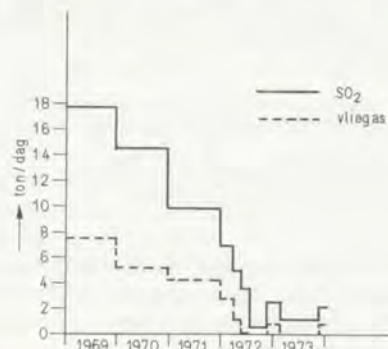


Fig. 9. Overzicht vlieggas- en SO<sub>2</sub>-emissie door de centrales van DSM in het Geleen-complex.

Alleen in de wintermaanden bij vriezende weer (wanneer volgens contract van aardgas op stookolie moet worden overgeschakeld, kan tijdelijk een toename in de emissiecijfers optreden. De normen worden echter ook dan niet overschreden. Een prognose van de verdere ontwikkelingen is weergegeven in tabel 3.

Tabel 3. Raming van de emissies uit de ketelhuis-schoorstenen van de ATV (Algemene Technische Voorzieningen), in de Geleen-sector voor de periode 1973 t/m 1977.

Jaar	1973	1974	1975	1976	1977
Vlieggas totaal centrales (ton/dag)	7,2	7,2	—	—	—
SO <sub>2</sub> totaal centrales (ton/dag)	13,0	14,0	7,0	7,0	7,0
NO <sub>2</sub> (uit aardgas) Verbruik aardgas (jaargem.) m <sup>3</sup> /h	63.300	54.500	52.500	59.600	70.700
NO <sub>2</sub> -emissie (continu) ton/dag	5,3	4,5	4,4	5,0	5,9
NO <sub>2</sub> -emissie (tijdens afgeschakeld aardgas, 21 dagen per jaar) ton/dag	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8

Opgemerkt dient nog te worden dat, vanwege het niet doorgaan van het raffinaderijproject, in de SO<sub>2</sub>-situatie geen ingrijpende veranderingen zijn te verwachten. Bij doorgang van dit project had de situatie echter weer zorgelijk kunnen worden, aangezien een deel

van de centrales dan weer had moeten omschakelen naar zware residu-oliën uit de raffinaderij, die in het algemeen vrij zwavelrijk zijn.

Voorts blijkt uit metingen dat een niet onbelangrijke bijdrage in de SO<sub>2</sub>-spiegel uit veraf gelegen bronnen komt. Hier ligt een latent probleem, dat vraagt om een oplossing in een groter kader!

Tenslotte dient te worden gewezen op de relatief hoge NO<sub>x</sub>-productie bij het stoken met aardgas (zie de laatste twee regels van tabel 3).

#### Koolwaterstoffen, stankverwekkende stoffen

De emissie van koolwaterstoffen is vrij aanzienlijk en vindt voornamelijk plaats als gevolg van ademverliezen uit opslagtanks, lekke afsluiters, slechte pakkingen bij flensafdichtingen en andere mankementen bij appendages. Exacte cijfers zijn vrij moeilijk te geven. Volgens schattingen is het deficit op de koolwaterstofbalans van het polychemiebedrijf (met relatief veel vluchtige fracties) bij DSM ca. 2%.

Een vervelende bijkomstigheid van sommige koolwaterstofverliezen is dat ze hinderlijk zijn door hun reuk. Zo is bijv. in de rubberfabriek achteraf een apart afzuigstelsel aangelegd, toen bleek dat een in zeer geringe mate toegepaste component toch een dusdanige stank opleverde dat maatregelen noodzakelijk waren.

De afgezogen gassen worden via een "veilig" systeem met verbrandingslucht toegevoerd aan een centrale. Aan het probleem van de lekverliezen door appendages e.d. wordt voortdurend gewerkt door een aparte instantie 'de appendage adviesgroep', die op de hoogte dient te blijven van de nieuwste ontwikkelingen op dit gebied.

Adem- en vulverliezen worden zoveel mogelijk bestreden door een net van ontluuchtingsleidingen, dat aangesloten is op een centrale gashouder. Het verzamelde gas wordt benut als stookgas, onder een "veilige" werkwijze.

#### Stofemissies

Stofmetingen rond de bedrijven van DSM zijn sedert 1954 systematisch uitgevoerd. De meting wordt verricht met zg. Luikse bollen. Een overzicht van deze metingen is gegeven in figuur 2. Als referentiepunt is aangehouden een meting in de landelijke omgeving. In ons geval te Aalbeek. Duidelijk blijkt ook uit deze metingen de invloed van de mijnsluitingen. In de omgeving van de chemische bedrijven is het stofniveau praktisch gelijk geworden aan dat van een landelijke omgeving. Alleen de situatie in de buurt van de haven van Stein baart nog enige zorg.

Ondanks de als vrij goed te kwalificeren toestand, wordt voortdurend aandacht geschonken aan het probleem van de stofuitworp. Met name bij het opvoeren van produkties van fabrieken waar nogal wat vaste stof wordt getransporteerd (o.a. kunstmest, melamine enz.) en bij het fakkelen bij storingen (roet) kan incidenteel hinder optreden. Deze onderwerpen zijn dan ook voortdurend in studie.

#### Emissies die waterverontreinigend werken

##### Emissies van CZV, NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub>

Van de afvalwateremissies op dit moment zijn binnen DSM harde cijfers aanwezig. Een overzicht waarin de bijdrage voor zuivering naar de diverse sectoren is gespecificeerd, wordt gegeven in tabel 4.



Tabel 4. Huidige lozingen van de diverse sectoren.

Sector	Debiet		CZV		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -stikstof		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -stikstof		Schoon afvalwater m <sup>3</sup> /h
	m <sup>3</sup> /h	% van het totaal	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%	
stikstofverwerkende bedrijven	1618,2	55,5	22,4	1,0	613,0 <sup>1)</sup>	63,9	244,9	61,1	0
polymeer- en vezelgrondstof-bedrijven	988,5	33,8	2217,1	98,7	346,7 <sup>2)</sup>	36,1	73,5	18,3	205,5
algemene voorzieningen, centrales, waterfabrieken en stoomhuishouding	310,0	10,6	5,6	0,3	0	0	82,1	20,5	0
totaal DSM voor zuivering	2916,7	100	2245	100	959,7	100	400,5	100	205,5
na zuivering	2916,7		±980		959,7		400,5		205,5

<sup>1)</sup> inclusief ureumstikstof, exclusief melaminestikstof.

<sup>2)</sup> Kjeldahl-stikstof.

De huidige zuiveringsinstallatie (Pasveersloot) brengt het CZV-gehalte terug tot 980 kg/h, de NH<sub>4</sub>-stikstof en NO<sub>3</sub>-stikstof wordt tot nu toe zonder meer geloosd.

Aangezien deze situatie niet meer aanvaardbaar wordt geacht, is er een aantal maatregelen gepland die de wateremissie drastisch moeten beperken. Deze maatregelen zijn te verdelen in twee groepen.

**Een aanpak binnen de sector zelf.** Een goed voorbeeld hiervan is de sanering van de acrylonitril-sector, waardoor de CZV-emissie van ca. 10 g CZV/l [6] zal worden teruggebracht met ca. 70%. Een ander voorbeeld is de aanpak in de ureumfabrieken, waar via thermische of biologische hydrolyse de ureumafvalstroom behandeld gaat worden; daarbij wordt ureum omgezet in NH<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>O en het ammoniak wordt gecirculeerd.

**De verbetering van de integrale eindzuivering.** Het is de bedoeling dat medio 1976 een nieuwe installatie in bedrijf komt, die naast CZV ook NH<sub>4</sub> en NO<sub>3</sub> uit het afvalwater verwijdert. Het principe van deze nieuwe zuiveringsinstallatie is weergegeven in figuur 10 en berust op een voor-denitrificatie, met daarna een nitrificatie van NH<sub>4</sub>, gevolgd door een denitrificatie van NO<sub>3</sub> en een CZV-verwijdering via biologische oxydatie. Het CZV zal naar verwachting voor ca. 80% worden verwijderd, de NH<sub>4</sub>-stikstof en NO<sub>3</sub>-stikstof voor meer dan 90%.

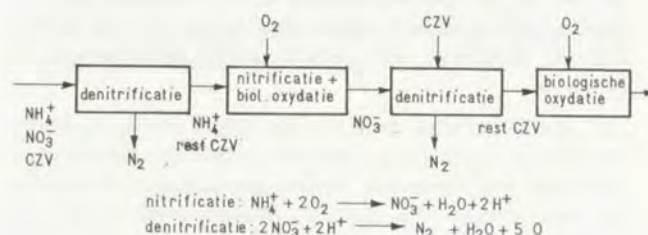


Fig. 10. Schema biologische zuivering van afvalwater met verwijdering van ammonium en nitraat.

Rekening houdend met productie-uitbreidingen, saneringsmaatregelen en de nieuwe zuiveringsinstallaties, zijn de ramingen voor de afstromen in 1977 weergegeven in tabel 5.

Bij deze tabel wordt verder verwezen naar een overzichtsartikel van sanerings- en zuiveringsmaatregelen bij de chemische bedrijven van DSM door dr. ir. F. Dijkstra [7] en naar een meer technisch artikel over de vermindering van de nitreuzenuitwerp [8].

*Emissies van ureum.*

Aangezien DSM-UKF (Unie van Kunstmest Fabrieken) een grote producent is van ureum, is een niet onbelangrijk deel van de NH<sub>3</sub>-stikstoflozingen afkomstig van de ureumproductie. De verliezen worden bij een productie van 1.000 ton ureum per dag geraamd op 3,8 ton per dag.

Teneinde de nieuw te ontwerpen nitrificatie- en denitrificatie-installaties zoveel mogelijk te ontlasten, wordt

Tabel 5. Geraamde lozingen van de diverse sectoren in 1977.

Sector	Debiet		CZV		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -stikstof		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -stikstof		Schoon afvalwater m <sup>3</sup> /h
	m <sup>3</sup> /h	%	kg/h	%	kg/h	%	kg/h	%	
stikstofverwerkende bedrijven	1423,2	52,5	18,4	1,2	195,9 <sup>1)</sup>	67,9	124,7	62,5	0
polymeer- en vezelgrondstof-bedrijven	883,5	32,4	1470,2	98,3	92,7 <sup>2)</sup>	32,2	66,5	33,3	378,5
algemene voorzieningen, centrales, waterfabrieken en stoomhuishouding	410,0	15,1	5,6	0,4	0	0	8,4	4,3	0
totaal DSM voor zuivering	2716,7	100	1494,2	100	288,6	100	199,7	100	378,5
na zuivering	2716,7		±300		±14		±10		378,5

<sup>1)</sup> Inclusief ureumstikstof, exclusief melaminestikstof.

<sup>2)</sup> Kjeldahl-stikstof.



er over gedacht de ureumafvalstroom apart aan te pakken. Hiertoe worden op dit moment twee mogelijkheden overwogen:

a. Hydrolyse van ureum onder verhoogde temperatuur en druk, waarbij ureum voor ca. 98% wordt omgezet in  $\text{NH}_3$  en  $\text{CO}_2$ . De vrijkomende  $\text{NH}_3$  wordt gecirculeerd.

b. Behandeling van het ureumhoudende afvalwater met het enzym urease, vervolgens verwijdering van het ontstane  $\text{NH}_3$  en  $\text{CO}_2$  in een tweede stap bijv. via het doorleiden van lucht, en de verdere verwerking. Het rendement van deze methode bedraagt eveneens ca. 98%.

Welke methode ook wordt gekozen, in de toekomst zal de directe uitworp aan ureum kunnen worden teruggebracht tot ca. 0,076 ton per 1.000 ton geproduceerde ureum per dag.

#### Emissies van $\text{SO}_4$ en gips

Zoals reeds eerder in dit rapport vermeld, is DSM een grote producent van  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Het komt als nevenproduct o.a. vrij bij de bereiding van caprolactam en acrylonitril. De afvalstromen van de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -fabrieken zijn voor ca. 39% verantwoordelijk voor de lozing van sulfaat.

Een andere sulfaatlozing (18%) komt op naam van de proceswaterbereidingsfabrieken, waarbij de ionenwisselaars o.a. geregenereerd worden met  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

De belangrijkste spui van sulfaat (43%) vindt plaats via de gipslozing. Gips komt in grote hoeveelheden vrij bij de kunstmestfabrikage en wordt grotendeels afgevoerd naar een gipsstort; een zeer gering gedeelte komt mogelijk terecht in het afvalwater. Opgemerkt dient echter te worden dat de hoeveelheid calcium die bij de inname van proceswater het bedrijf binnenkomt, nagenoeg gelijk is aan het calciumgehalte in de spui. Een raming omtrent de hoeveelheid sulfaat die van de gipsfabrikage afkomstig is, is daarom moeilijk te maken.

#### Emissies van zware metalen

De spui van zware metalen bij DSM is gering. De belangrijkste componenten zijn weergegeven in onderstaand overzicht.

component	hoeveelheid kg/h	afkomstig van
koper	0,23	Synthesegasfabriek
arseen	0,38	Synthesegasfabriek
chromium	0,22	Ammoniakfabriek 2
zink	0,23	Ammoniakfabriek 2
vanadium	0,23	Ammoniakfabriek 2

De uitworp van arseen en koper is de laatste jaren duidelijk afgenomen door het vervangen van oude  $\text{NH}_3$ -fabrieken door een nieuwe produktie-eenheid (AFA-2), waarbij door toepassing van moderne technieken de uitworp aan As en Cu drastisch is beperkt. Door de grotere effectiviteit van de nieuwe methodieken zijn, ondanks een veel grotere  $\text{NH}_3$ -produktie de verliezen aanzienlijk kleiner dan bij de oude produktie-eenheden. Zo zou nu de uitworp aan arseen het ca. 30-voudige bedragen van de vanadiumuitworp, bij toepassing van een arseenoplossing als  $\text{CO}_2$ -wassing.

De uitworp van zink en chromium wordt veroorzaakt

door toevoeging van zinkaten en chromaten aan het koelwater als corrosie-inhibitors. Verdere uitworp van zware metalen is zo gering dat die te verwaarlozen is.

#### Geluidsemissies

Hoewel het zeer moeilijk is een kwantitatief beeld over geluidsemissies te geven zal, aangezien geluidsoverlast één van de grote klachtenbronnen is, toch een korte beschouwing aan dit onderwerp worden gewijd.

In de laatste 10 jaar is er een sterke geluidsinflatie opgetreden, enerzijds door de snelle uitbouw van de fabrieken, anderzijds door het uitbreiden van gemeenten met woningen in de richting van fabrieken. Het uitblijven van bestemmingsplannen van de centrale overheid werkt deze gang van zaken nog verder in de hand. Door het bedrijf zelf worden bufferzones in stand gehouden of aangelegd met boomaanplant of stille, schone industrie.

Gestart is met een geluidsinventarisatie van het totale DSM-complex. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in:

*Incidentele geluidsbronnen.* Voor deze bronnen is een waarderingssysteem ontworpen om tot een selectieve aanpak te komen. Vele van deze bronnen zijn in het afgelopen jaar gedempt. Omdat juist deze geluidsbronnen aanleiding tot klachten geven, heeft dit een gunstige invloed op het klachtenpatroon gehad.

*Continue geluidsemissie.* Het onderzoek geschiedt op analoge wijze. Uitgegaan wordt echter van metingen op korte afstand van elke bron. Hieruit worden voor het totale complex samengestelde spectra op grotere afstand berekend. Deze berekende spectra worden vergeleken met metingen die steeds weer op vaste punten rond de bedrijven worden uitgevoerd.

De overeenkomst blijkt verrassend goed te zijn, zodat nu via de berekening de kritieke punten kunnen worden opgespoord. Voor eventueel te nemen maatregelen kan van te voren het effect tegen de kosten worden afgewogen. Hierdoor wordt de geluidsproblematiek inzichtelijk en kwantitatief grijpbaar.

*Geluidbelasting personeel.* Dit punt is nog in een beginstadium. Bij DSM wordt nog geen systematisch audiometrisch onderzoek van personeel uitgevoerd. Een ander belangrijk aspect van geluidsemissies betreft de geluidsprognostiek bij nieuwbouw en uitbreidingen. Zoveel mogelijk wordt in het ontwerp stadium een geluidsprognose gemaakt. Uit gegevens van fabrikanten, eigen ervaring en aanvullende metingen worden, rekening houdend met demping over afstand in de verschillende frequentiegebieden, de immissiespectra bij de woonkernen berekend. Kritieke punten worden in de berekening zichtbaar en kunnen tijdig worden aangepast door zwaardere eisen aan de fabrikanten te stellen of door het nemen van maatregelen of het houden van ruimte hiervoor in het ontwerp. De bouwplaats wordt zo gunstig mogelijk gekozen. Als het project in bedrijf komt, worden de punten die aan de prognose zijn ontsnapt alsnog gecorrigeerd.

Voor de toekomst wordt, teneinde hinder voor de omwonenden tot een minimum te beperken en gehoorbeschadiging bij personeel te voorkomen, in principe naar de ISO-aanbevelingen<sup>1)</sup> gestreefd.

<sup>1)</sup> ISO = International Organization for Standardization.



### III. Beleid van Hoogovens t.a.v. luchtverontreiniging en lawaai

door Ir. W. Visser

#### Inleiding

Sprekend over milieuhygiëne in relatie tot Hoogovens, is het de luchtverontreiniging die vrijwel steeds de meeste aandacht krijgt. In de laatste jaren voegen zich hier sommige fabrieksgeluiden bij, die in de omgeving van het bedrijf geleidelijk meer hinder blijken te veroorzaken. De verontreiniging van het water en de bodem die door het bedrijvencomplex wordt veroorzaakt, trekt nauwelijks publieke aandacht, evenmin als het hiermee ten nauwste samenhangende vraagstuk van de afvoer en verwerking van de zeer grote hoeveelheden afvalstoffen die niet in de lucht, het water of de bodem terecht komen.

De reden voor deze overwegende aandacht voor luchtverontreiniging en geluid is gemakkelijk te verklaren uit de onmiddellijke waarneembaarheid van bepaalde vormen ervan. Deze krijgt nog extra nadruk door de omvang van het complex, door de hoogte van vele fabrieksgebouwen en -schoorstenen en door de stoomwolken, die bij koeling van gassen, water en vaste stoffen (vooral bij kooksblussing) vrijkomen.

Het negatieve imago dat van dit alles het gevolg is, bepaalt echter niet alléén het milieuhygiënische beleid van Hoogovens. Het is zelfs zo, dat vanaf het begin van de vijftiger jaren tot het midden der zestiger jaren de problematiek in sterkere mate werd bepaald door niet waarneembare vormen van luchtverontreiniging dan door waarneembare. Dit hing — en hangt nog — samen met de onmiddellijke nabijheid van een voor fluoriden en zwaveloxyden zeer gevoelig bloembollencultuurgebied (Beverwijk-Heemskerk) waar reeds schade kan worden veroorzaakt door concentraties die niet alleen ver beneden elke waarneembaarheidsgrens liggen, maar ook ver beneden het peil waarop de gezondheid van mensen, dieren en de meeste niet-bloembolgewassen kan worden beïnvloed.

Hoogovens is niet teruggeschrokken voor de reeks ingrijpende maatregelen die nodig bleek om de schadeverschijnselen tot een voor de kwekers aanvaardbaar minimum te beperken [9], zelfs voordat met zekerheid het verband met door het bedrijf veroorzaakte luchtverontreiniging kon worden aangetoond. Van dezelfde houding getuigde de vele maanden uitgestelde inbedrijfstelling van de Oxystaalafabriek in 1958 wegens het nog niet bedrijfszeker gereed zijn van de bijbehorende gasreinigingsinstallatie. De instelling van een milieuafdeling in de Laboratoriumorganisatie was een uitvloeisel van hetzelfde beleid.

Bij de behandeling van deze problemen is door Hoogovens consequent volledige openheid betoond. Alle relevante gegevens stonden onmiddellijk ter beschikking van alle betrokken partijen; de nodige medewerking werd aan externe deskundigen zonder voorbehoud verleend. Toen dan ook in het midden der zestiger jaren de overheid de beschikking begon te krijgen over het wettelijke instrumentarium dat vereist was om een behoorlijk preventief en repressief toezicht op milieuverontreiniging te kunnen uitoefenen, vond zij in Hoogovens een wederpartij tegenover zich met een coöperatieve instelling en met deskundigheid op het gebied van de luchtverontreinigingsproblematiek. Ten

aanzien van mogelijke problemen op het stuk van water- en bodemverontreiniging was er nog nauwelijks deskundigheid; de lawaaibestrijding had zich in de arbeidshygiënische sfeer reeds tot een "vak" ontwikkeld. Aanvankelijk waren het vooral de besturen van de omliggende gemeenten — Velsen, Beverwijk en Heemskerk — die, gesteund door een aanpassing van de hinderwet, meer preventieve invloed wensten uit te oefenen op de milieuhygiënische aspecten van de hinderwetvergunningen. Er werd tot dat doel een vorm van technisch vooroverleg gevonden, waarin, voordat door Hoogovens de aanvraag tot vergunning werd ingediend, in principe overeenstemming werd bereikt aangaande de milieuhygiënische eisen waaraan de te bouwen installaties moesten voldoen. Bij dit vooroverleg waren de gemeenten vertegenwoordigd door de directeuren van openbare werken, terwijl de Arbeidsinspectie en de Inspectie voor de Hygiëne van het Milieu van het Staatstoezicht op de Volksgezondheid de hun toevallende adviserende en toezichhoudende taken vervulden.

Het reeds voordien door Hoogovens gevoerde beleid werd in dit vooroverleg voortgezet en verder geconcretiseerd. Alle vereiste constructie- en meetgegevens, ook indien deze nog niet met zekerheid vaststonden, werden in dit overleg ingebracht, teneinde de vergunningverlenende instanties bij te staan in het zo goed mogelijk vervullen van hun taak.

Na de inwerkingtreding van de Wet inzake de Luchtverontreiniging kreeg het Provinciaal Bestuur de taak toegewezen zorg te dragen voor de verlening van de in het kader van deze wet vereiste vergunningen. De geluidsproblematiek valt nog onder de Hinderwet, doch de uitvoering van deze wet is voor inrichtingen die onder de Wet inzake de Luchtverontreiniging vallen, eveneens aan het Provinciaal Bestuur opgedragen.

Het Provinciaal Bestuur van Noord-Holland heeft, ter uitvoering van deze taken, ambtelijke werkgroepen — tot dusverre twee in getal — ingesteld. Eén ervan is de W.M.IJ., de Werkgroep Milieuhygiëne IJmond, waarin onder voorzitterschap van de Hoofdingenieur-Directeur van Provinciale Waterstaat zowel de eerdergenoemde rijksinspecties als de directeuren en ambtenaren van Openbare Werken van de drie IJmondgemeenten zitting hebben.

In het kader van deze in 1972 ingestelde W.M.IJ. is nu het vorengenoemde technische vooroverleg voortgezet, waarbij als gevolg van het feit dat het gehele bedrijvencomplex van Hoogovens voor de wet als één inrichting geldt, uitsluitend aanvragen tot uitbreiding aan de orde kunnen komen. Dit principiële zeer belangrijke gegeven houdt in, dat bij een vergunningsaanvraag ook nadere voorwaarden aan de bestaande inrichting kunnen worden gesteld.

Dit heeft geresulteerd in het opstellen van een zg. saneringsplan, dat de inperking beoogt van alle bronnen van luchtverontreiniging en lawaai die niet meer voldoen aan de huidige inzichten en appreciaties. Aangezien er in ons land nog geen normen bestaan waaraan deze appreciaties kunnen worden getoetst, hanteert de overheid het beginsel dat de "best practicable means" dienen te worden toegepast. Wil dit beleid tot praktische resultaten voeren, dan is ook hier een coöperatieve instelling van Hoogovens een voorwaarde voor het totstandkomen en uitvoeren van dit plan.

Dit wordt wel treffend geïllustreerd door het feit dat het eisen inhoudt waaraan op dit moment technisch



nog niet voldaan kan worden — die dus verder gaan dan de "best practicable means" van nu —, waardoor onderzoek en ontwikkelingswerk op vrij grote schaal nodig zal zijn. Teneinde de hinderlijke geluidsbronnen effectief te kunnen bestrijden en te kunnen nagaan wat het effect van nieuwe of gewijzigde installaties zal zijn, ligt het in het voornemen een geluidkaart van het bedrijvencomplex te maken — een activiteit die veel tijd en kostbare apparatuur, waaronder een geluidmeetwagen, zal vergen.

### Maatregelen

Enkele punten van dit saneringsplan, geplaatst in het kader van een aantal reeds aanwezige reinigingsinstallaties, mogen een indruk geven van de omvang van de milieuhygiënische maatregelen en problemen bij Hoogovens.

#### *Stofbestrijding bij opslagen*

Het stuiven van grote erts- en kolenvelden bij droog weer en harde wind geeft, behalve op het terrein zelf, veel overlast voor de direct omwonenden. Vooral in de badplaats Wijk aan Zee geeft dit aanleiding tot klachten indien de wind zich in de daarvoor kritieke sector bevindt. Het is niet eenvoudig hiertegen afdoende maatregelen te treffen. De tientallen hectaren grote opslagen waarop onder meer enorme wielgravers opereren, kunnen praktisch niet onder dak worden gebracht. Technisch reeds rijzen er enorme problemen doordat de nodige ondersteuningspunten alleen op zeer grote onderlinge afstanden kunnen worden geplaatst. De kosten zouden echter prohibitief zijn, tenzij alle staalbedrijven in de wereld hiertoe zouden moeten overgaan. Onder andere met behulp van het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium zijn studies verricht om op eenvoudiger wijze de ergste windaanval te keren. Het blijkt dat dit alleen effect kan sorteren op die plaatsen waar het materiaal wordt verplaatst met transportbanden. Geleidelijk worden dan ook alle banden afgeschermd; hooggelegen banden worden zelfs geheel omkast, evenals alle overstortpunten.

Om nu het verwaaien van de erts- en kolenhopen toch te kunnen bestrijden, wordt een besproeiingsprogramma ontwikkeld, dat berust op het zo effectief mogelijk benutten van besproeiingswater door:

- alleen de buitenkant van het materiaal vochtig te houden;
- zoveel mogelijk te besproeien, daar waar het materiaal wordt afgegraven, gestort en getransporteerd;
- de additionele integrale besproeiing van de opslagen die bij droog weer en harde wind desondanks nodig zal blijven, te optimaliseren door juiste keuze van het aantal, de hoogte en de werkdruk van de sproeiers, van de druppelgrootte, enz.

Het ziet er niet naar uit, dat toevoeging van bevochtigmiddelen nodig zal zijn. Wel blijkt bij die hopen die langer blijven liggen — ze vormen overigens maar een gering percentage van het totale oppervlak —, toevoeging van fixeermiddelen, die een klevend laagje achterlaten, succes te hebben.

Een interessant aspect van dit programma is dat bij enkele zg. mengbedden, die worden opgebouwd en afgegraven met het doel een goede homogenisering van erts en kolen te bereiken, bevochtiging met afgewerkte olie-emulsies wordt toegepast; hierdoor wor-

den deze verdunde afval-emulsies op milieuhygiënisch verantwoorde wijze verwerkt.

Ervaring hiermee is tot dusverre alleen opgedaan bij de ertsmengvelden die als voorbereiding voor het sinterproces dienen.

#### *Vermindering van rook- en stofverspreiding bij de kookovens*

De vulopeningen van de verkookingskamers vormen van oudsher een bron van ernstige luchtverontreiniging, doordat de kamers van een kookbatterij in hete toestand met fijn gemalen vette kolen worden gevuld. Zonder tegenmaatregelen is het onvermijdelijk dat hierdoor aanzienlijke hoeveelheden zwarte, stinkende kolenwalm in de atmosfeer terecht komen. Kleinere, maar zeker niet verwaarloosbare hoeveelheden van dezelfde walm kunnen ontsnappen uit niet goed afdichtende ovendeuren. Bij het drukken van de verkookste kolen uit de oven is het om dezelfde reden belangrijk dat er geen onvoldoend verkookste gedeelten in de kookskoek voorkomen; ook dan echter treedt kookstofontwikkeling op bij het vallen van de kooks in de bluswagen. Bij het blussen van de kooks breken door de plotselinge afkoeling kleine deeltjes van de kooks af die met de bekende waterdampwolken in de atmosfeer terecht komen, zodat ook de blustorens een bron van (overigens grof) stof vormen. Tenslotte komt het bij oudere batterijen voor dat er scheuren in de kamermuren ontstaan waardoor kolenwalm in de verbrandingsruimten kan lekken. Dit heeft tot gevolg dat er uit de schoorstenen zwarte rook ontwijkt in plaats van de kleurloze verbrandingsproducten van het gas waarmee de kookbatterijen worden gestookt.

In het licht van al deze milieuhygiënische bezwaren zou het wenselijk zijn over te gaan op een milieuhygiënisch beter beheersbaar continu-verkookingsproces. Er bestaan inderdaad een aantal "vormkooks"-processen die op dit punt een aanmerkelijke verbetering zouden betekenen. Zij blijken echter alle nog zoveel technische en/of economische bezwaren te hebben, dat ze tot dusverre niet verder dan het halftechnische stadium zijn gekomen. Het streven naar vermindering van luchtverontreiniging is dan ook nog praktisch geheel gericht op het klassieke verkookingsprocédé in kookovenbatterijen.

Op dit punt nu, bestaan er tegen alle gesignaleerde euvelen een reeks bestrijdingsmogelijkheden die, vrij primitief begonnen, thans een verbluffend technisch raffinement hebben bereikt.

Hoogovens maakt hiervan ten volle gebruik en verricht ook zelf ontwikkelingswerk, met name ter vermindering van de emissies bij het vullen van de ovens. In dit opzicht is het met de overheid afgesproken saneringsplan dan ook niet meer dan de formalisering van een programma dat reeds jaren geleden gestart is. Het bestek van dit hoofdstuk laat helaas geen beschrijving toe van de veelheid van technische alternatieven. Reeds thans echter kan het klassieke verkookingsproces uit een oogpunt van luchtverontreiniging, mits niet al te dicht bij woongebieden opgesteld, aan eisen die door overheid en publiek als redelijk worden beschouwd, voldoen. Daarvoor is een extra investering van 10 à 15% vereist.

#### *Bestrijding van luchtverontreiniging bij het voorbereiden van erts voor gebruik in de hoogovens*

De hoogovens vragen om een vulling die uit grof ma-



teriaal bestaat, omdat in een hoogoven zeer grote hoeveelheden voorgewarmde lucht moeten worden ingeblazen teneinde de benodigde temperatuur in de oven te bereiken.

Het erts komt voor het overgrote deel in fijnkorrelige vorm ter beschikking; het wordt daarom óf gesinterd — het beste te vergelijken met een bakproces, dat in dit geval met behulp van een bewegend rooster wél continu plaatsvindt — óf gepelletiseerd, d.i. tot ertsknikkers gerold, die daarna, eveneens continu, worden "gebakken".

Aangezien alle ertsen, ook de zeer hoogwaardige, sporen zwavel bevatten en een groot aantal ook sporen fluor, tekent zich een driedig probleem af: stof, zwaveldioxyde en fluoriden dienen uit de rookgassen te worden verwijderd. Stof bovendien op andere plaatsen in deze processen.

De situatie bij Hoogovens is nu zo, dat het sinterproces zeer basisch bedreven kan worden, d.w.z. dat er aan het ertsmengsel veel kalk wordt toegevoegd. Daardoor blijkt het fluor praktisch geheel in de sinter te worden gebonden; helaas is dit niet het geval met het zwaveldioxyde, dat bij het sinteren blijft ontwijken.

Het pelletiseren moet voorlopig nog zuur, dus met weinig of geen kalktoevoeging plaatsvinden, hetgeen een geringe fluoremissie tot gevolg heeft. Uit volksgezondheidsoogpunt is deze van geen betekenis; door de eerder beschreven ligging van Hoogovens naast een voor fluoriden uiterst gevoelig bloembollencultuurgebied blijken maatregelen echter toch geboden.

De in 1958 gebouwde Sinterfabriek was reeds direct uitgerust met een voor die tijd zeer hoge schoorsteen; later kwam er, met de uitbreidingen, nog een tweede bij.

Deze hoge schoorstenen maken maatregelen tegen de relatief geringe zwaveldioxyde-emissie niet nodig, zodat bij het sinterproces alleen de duidelijk zichtbare stofpluim nog een probleem vormt. Deze stofpluim bestaat uit het allerfijnste deel van het bij het sinteren vrijkomende stof, omdat het grovere deel door cyclonenbatterijen wordt verwijderd. In het kader van het saneringsprogramma is nu besloten het zeer fijne stof dat nog uit de beide hoge schoorstenen ontwijkt (90% kleiner dan 1  $\mu$ m) eveneens te gaan opvangen.

De zich hierbij voordoende moeilijkheden zijn:

- een nat wassysteem koelt de rookgassen af, waardoor ze corrosief worden en zich minder goed verspreiden;
- een elektrostatisch filter geeft onbevredigende resultaten bij het kalkhoudende stof;
- alle vormen van doekfilters geven min of meer ernstige verstoppingsverschijnselen.

Er wordt dan ook, samen met grote ingenieursbureaus, studie en ontwikkeling verricht teneinde tot een aanvaardbare oplossing te komen. Vast staat, dat hiermede tientallen miljoenen guldens gemoeid zullen zijn. Het in 1970 in bedrijf genomen pelletiseerproces levert veel minder fijn stof, omdat de hete stoffhoudende gassen die bij het branden van de pellets ontwijken, door het bed van nog vochtige ("groene") pellets kunnen worden geleid. Daardoor moest bij dit proces hoofdzakelijk aandacht aan de eerdergenoemde fluoriden-emissie worden besteed.

Hierin kan alleen door een wassing worden voorzien, zodat de nadelen ervan moeten worden aanvaard. Een voordeel is echter dat, zij het met een zeer matig ren-

dement, ook fijn stof en zwaveldioxyde uit de rookgassen worden verwijderd.

*Stofbestrijding bij de hoogovens en de staalfabrieken*  
Bij Hoogovens wordt achter deze installaties gebruik gemaakt van Pease-Anthony venturi "scrubbers" die, in verband met de enorme hoeveelheden te ontstoffen gas, in imposante installaties zijn opgenomen. Ook hier zijn weer investeringen van tientallen miljoenen nodig.

Bij de hoogovens gaat het om een koolmonoxydehoudend gas met geringe calorische waarde, dat in het eigen bedrijf en in de nabijgelegen elektriciteitscentrale van het P.E.N. nog als brandstof kan worden gebruikt. Bij de staalfabrieken heeft het ontstofte rookgas geen waarde en wordt direct in de atmosfeer geleid. Doordat bij het staalbereidingsproces vloeispaat ( $\text{CaF}_2$ ) wordt gebruikt (dat gedeeltelijk ontleedt), dient hier de stofwassing tevens als fluorwassing. De reinigingsgraad voor stof als voor fluoriden, is bij deze "scrubbers" zeer hoog, doch dit gaat ten koste van een eveneens zeer hoog energieverbruik. Bij de hoogovens die onder een zekere overdruk worden bedreven, krijgt men een deel van deze energie gratis, omdat het gas in de wassers kan ontspannen.

In beide gevallen is het nodig het waswater te recirculeren en te ontdoen van het stof. Bij de hoogovens is dit eerst recent als eis geformuleerd omdat er bij de beherende overheid voorlopig nog op theoretische gronden berustende, ecologische bezwaren zijn gerezen wegens het gehalte aan zink van dit stof. Een diepgaand onderzoek naar de mogelijkheden om het afgescheiden slib van zink te ontdoen, zodat het weer in het proces kan worden teruggevoerd, blijkt nodig.

Bij de staalfabrieken is de beladingsgraad van het ontstoffingswater met stof — voornamelijk zeer fijn ijzeroxyde — zo hoog, dat recirculeren zonder meer geboden is. Het afgescheiden slib wordt na filtratie gemengd met kalk en wordt via het sinterproces in de kringloop teruggevoerd.

Tot juist begrip diene dat al deze installaties reeds aanwezig waren; slechts het project: "recirculatie ontstoffingswater hoogovens" behoort tot het saneringsplan. Eveneens is in het saneringsplan opgenomen een studie over het bestrijden van de zwavelwaterstofachtige geur die tijdens het granuleren van hoogovenslak ontstaat. Dit granuleren is nodig om de slak in een geschikte vorm voor de cementfabrikage te brengen.

Tenslotte is erin opgenomen het in gang zijnde ontwikkelingswerk voor het opvangen van het stof dat tijdens het vullen van de staalovens ("converters") ontwijkt. Dit vraagstuk is technisch niet eenvoudig oplosbaar, omdat de "converters" tijdens het vullen onder de afzuigkap moeten worden weggedraaid.

## Metingen

Hoewel de vergunningverlenende overheid streeft naar continue automatische meting der emissies, zal het nog vele jaren duren voordat de meettechniek zich zover heeft ontwikkeld dat dit betrouwbaar mogelijk is. De te overwinnen technische moeilijkheden zijn zeer groot, vooral qua bemonstering, maar eveneens, met name waar het stofvormige emissies betreft, qua analyse. Het vaststellen van de emissies geschiedt daarom praktisch zonder uitzondering nog rekenenderwijs, met als invoergegevens bekende procesvariabelen en



steekproefsgewijze concentratiemetingen. Hoewel verre van ideaal, kan hiermee toch een redelijke beheerzorg en controle van de reinigingsprocessen worden bereikt, althans voor zover de emissies door schoorstenen plaatsvinden.

Emissies die door verwaaien ontstaan of bij de bron niet te vangen zijn en door daken ontsnappen, zullen ook in de toekomst niet meetbaar zijn.

Immissiebewaking is daarom voor emittenten die in het luchtverontreinigingspatroon voldoende onderscheidbaar zijn een uiterst waardevol middel om er het effect van de inspanningen ter voorkoming en bestrijding van luchtverontreiniging mee te kunnen bepalen.

Om deze reden exploiteert Hoogovens dan ook een tamelijk uitgebreid net van vaste meetpunten, waarop één of meer van de volgende componenten worden gemeten:

- grof stof (neervallend);
- fijn stof (zwevend);
- zwaveloxyden;
- stikstofoxyden;
- fluoriden;
- koolmonoxyde;
- zwavelwaterstof.

Daarnaast zijn er nog geluidmeetpunten op vier relevante punten nabij de terreingrens, waarvan de gegevens via een centrale computer worden gecorrigeerd met windgegevens en verwerkt tot gemiddelden. Tevens wordt er bij overschrijding van bepaalde waarden gealarmeerd, zodat de bron onmiddellijk kan worden opgespoord.

Er wordt nu naar gestreefd zoveel mogelijk luchtverontreinigingsmetingen te automatiseren, zodat ze hun

signalen eveneens aan de computer kunnen doorgeven. Voor zwaveldioxyde wordt dit systeem reeds in het Rijnmondmeetnet en het nationale meetnet toegepast. Jaarlijks verschijnt er een rapport over de resultaten van de immissiemetingen van Hoogovens, dat met name bestemd is voor de eigen beleidsvoering doch dat daarnaast wordt toegezonden aan de rijks-, provinciale en gemeentelijke overheden, zowel bestuurlijk als ambtelijk. Ook voor andere belangstellenden is het beschikbaar. Per kwartaal worden bovendien de meetuitkomsten in tabelvorm zonder toelichtingen en conclusies verzameld en verwerkt.

Een enkel markant gegeven moge dienen ter illustratie van de immissiemetingen.

Figuur 11 geeft op twee meetpunten (Beverwijk 1 is in 1972 verplaatst naar het nabij in het verlengde liggende Heemskerk 21) het verloop van de  $SO_2$ -concentratie aan. Behalve de dalende tendens, ondanks de sinds 1970 met ca. 30% gestegen staalproductie, blijkt hieruit dat de waarden niet boven het landelijk gemiddelde uitkomen, met uitzondering van de aan de huisbrand toe te schrijven winterpieken. Dit laatste is bijzonder interessant omdat de hoeveelheid  $SO_2$  die door Hoogovens in 1972 werd geëmitteerd ca. 11.000 ton bedroeg (de P.E.N.-Centrale vermoedelijk nog iets meer), ter-

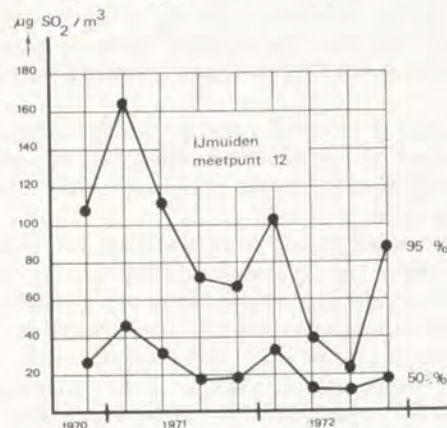
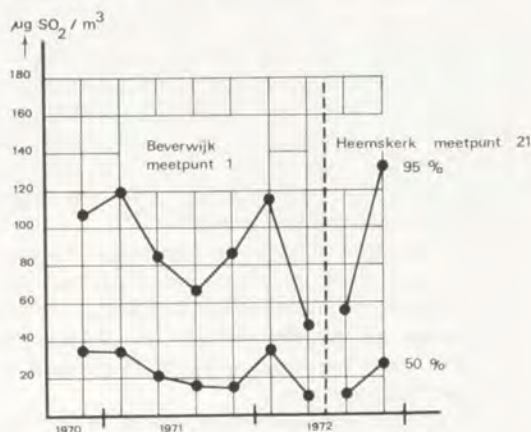


Fig. 11. Resultaten zwaveldioxyde-metingen (uurgemiddelden) 95%- en 50%-(mediaan-)waarden per kwartaal, bepaald met Philips-monitor.

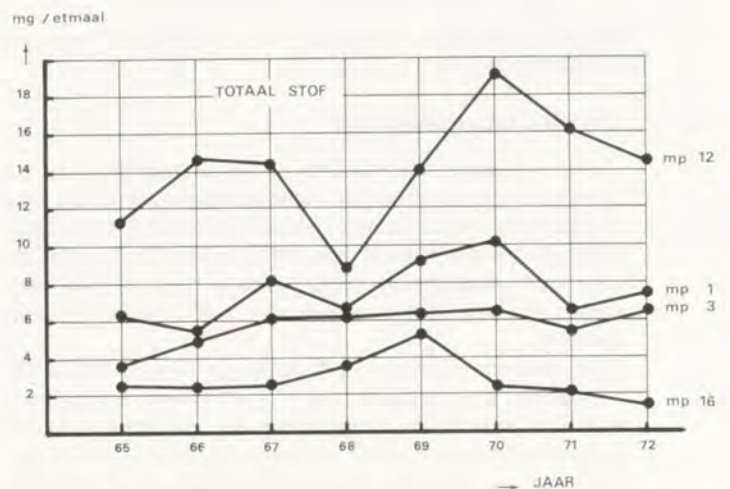
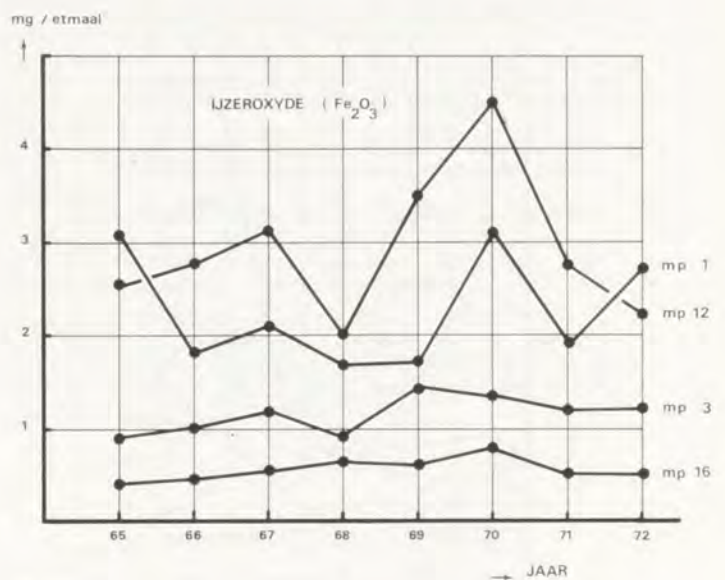


Fig. 12. Verloop van stof- en ijzeroxydeneerslag bepaald met Luikse bol (standtijd 2 weken); jaargemiddelden vanaf 1965.



wijl de geschatte huisbrandemissie zeker niet meer dan 500 ton is. De enorme invloed van de hoogte waarop de emissie vrijkomt, blijkt hieruit wel zeer duidelijk.

Figuur 12 geeft over een langere tijdopname de stoffen ijzeroxydeneerslag weer. Bij een verdubbeling van de staalproductie is deze, afgezien van een piek in 1970, vrijwel constant gebleven tengevolge van een reeks maatregelen, waaronder in het bijzonder de sluiting van de Siemens-Martin Staalafabriek (die niet van een ontstoffingsinstallatie was voorzien) moet worden genoemd.

Gestreefd wordt, zoals uit het in het voorgaande omschreven programma moge blijken, naar een absolute verlaging bij verdere uitbreidingen.

Figuur 13 tenslotte toont het effect van de inbedrijfstelling van de Pelletfabriek in 1970. Na het installeren van de fluorwasinstallatie in 1973 is een aanzienlijke daling te verwachten. Overigens gaf de stijging vanaf 1970 nog geen aanleiding tot bijzonder ernstige schade aan voor fluoriden gevoelige gewassen; wel viel een duidelijke toename van de schade te constateren.

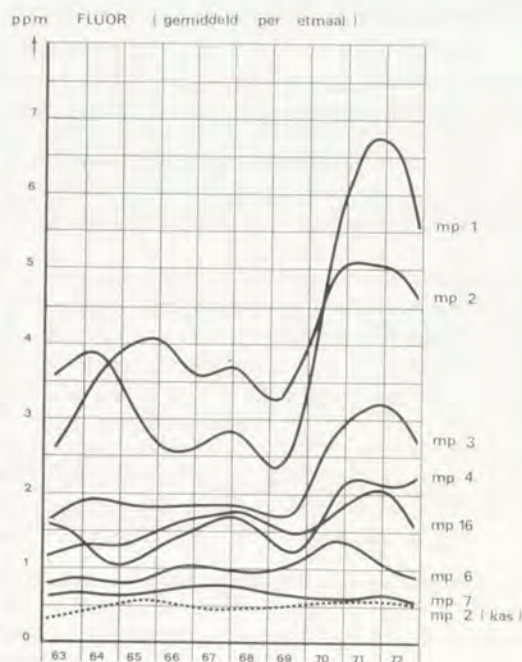


Fig. 13. Resultaten fluormeting m.b.v. kalkpapier; berekend trendmatig verloop.

#### Relaties tot omwonenden

Zoals reeds uit de inleiding is op te maken, was de eerste relatie terzake van luchtverontreiniging die met de bloembollenkwekers in het cultuurgebied Beverwijk-Heemskerk die dateert van 1953. Reeds jarenlang deden zich verdorringsverschijnselen voor van de bladeren van veel bolgewassen die in dit gebied werden geteeld.

Toen eenmaal kwam vast te staan dat niet in de eerste plaats de wateronttrekking in het nabije duingebied, maar vooral de verontreiniging van de atmosfeer de schade veroorzaakte en dat spoedig daarna bleek dat fluoriden — met name waterstoffluoride — en mogelijk ook zwaveloxyden de actieve componenten waren, heeft Hoogovens in het verband van een commissie

ad hoc voor de rookschade rond Beverwijk onder voorzitterschap van dr. J. G. ten Houten, directeur van het Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek te Wageningen (het I.P.O.) volledig meegewerkt.

In deze commissie waren vertegenwoordigd:

- de industrie in het betrokken gebied, waarvoor Hoogovens optrad;
- de Koninklijke Algemene Vereniging voor Bloembollencultuur (KAVB);
- de Rijkstuinbouwconsulenten uit de omgeving;
- het I.P.O.;
- het Laboratorium voor Bloembollenonderzoek te Lisse;
- het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO (I.G.-TNO), dat in 1951 de eerste schreden zette op het pad van onderzoek over luchtverontreiniging (voornamelijk metingen);
- het K.N.M.I.

De reeds in de inleiding genoemde publikaties in "De Ingenieur" [9] geven een volledig verslag van de werkzaamheden van deze commissie, die in 1959 weer officieel werd ontbonden omdat de gestelde doelen volledig waren bereikt.

Dit was enerzijds te danken aan een serie maatregelen van Hoogovens:

- Vervanging van vloeispaat door bauxiet in de Siemens-Martinovens, waardoor de fluoremissie van het bedrijf drastisch verminderde. Metallurgisch en bedrijfstechnologisch was dit een verstrekkende maatregel, die dan ook aanvankelijk veel weerstand bij de staalmakers ontmoette.
- Omschakeling van het hele bedrijf op slechts beperkt verkrijgbare en dure zwavelarme stookolie, zodra de wind over het Hoogovencomplex in de richting van het cultuurgebied ging waaien. Hiervoor werd een groot aantal tanks en leidingen verdubbeld. In het waarschuwingssysteem was ook de P.E.N.-Centrale betrokken, waar dan eveneens maatregelen ter vermindering van de zwaveldioxyde-emissie werden getroffen.
- Modelstudies met behulp van een maquette van het bedrijf in een windtunnel van het (toen nog zo geheten) Nationaal Luchtvaartlaboratorium, teneinde de minimaal nodige hoogte van die schoorstenen te bepalen waar vermindering van de emissie voorlopig niet haalbaar bleek.
- Oprichting van een weermast, onder meer om de invloed van de verticale circulatie in de atmosfeer te kunnen bepalen. De studies hierover werden uiteraard door het K.N.M.I. (prof. Berlage) verricht.

Voorts zorgde het IG-TNO voor de nodige immissiemetingen en het IPO voor de inrichting van een groot aantal proefveldjes. Bij beide activiteiten was Hoogovens behulpzaam.

Toen in 1956 het effect van deze maatregelen — naar later bleek vooral van de vermindering van de fluoridenemissie — op haast dramatische wijze merkbaar begon te worden en bovendien nog een effectieve "tegenmoetkomingsregeling voor vermoedelijk door fabrieksgassen veroorzaakte schade" door Hoogovens was ingevoerd, veranderde de stemming onder de kwekers volledig ten gunste van Hoogovens. Sinds 1959 konden dan ook de nog nodige activiteiten geheel door Hoogovens worden overgenomen, waarbij slechts



het IPO en de rijkstuinbouwconsulent assistentie bleven verlenen. Het immissiemeetnet en een nog steeds in bedrijf zijnde proeftuin, waar thans ook de invloed van luchtverontreiniging op kasgewassen kan worden bestudeerd, stammen uit die tijd.

Dit alles kon echter slechts op deze wijze verlopen omdat de wederpartij van de vervuilende industrie goed gedisciplineerd optrad — er waren bijvoorbeeld geen kwekers die individueel een rechtsgeding gingen aanspannen — en omdat ter andere zijde één onderneming bereid was de verantwoordelijkheid voor de veroorzaakte schade — zij het soms pre judice — op zich te nemen.

In de relatie met degenen die sinds het midden van de zestiger jaren over stof en stank en sinds kort ook over lawaai klagen, is wel aan laatstgenoemde, doch niet aan eerstgenoemde voorwaarde voldaan, hoewel naast individuele klagers enkele actiegroepen zich, zonder veel levensvatbaarheid te manifesteren, tot Hoogovens hebben gewend.

Teneinde in deze toch zo goed mogelijk te kunnen functioneren, is door Hoogovens een klachtentelefoon en een klachtenregister — milieuregistratie genaamd — ingesteld. Alle klachten die binnenkomen, worden onmiddellijk onderzocht, ook 's nachts, en alle klagers ontvangen bericht.

Het is echter niet mogelijk gebleken hier hetzelfde succes te boeken als in de relatie tot de bollenkwekers. Enerzijds komt dit doordat het verlenen van schadevergoeding slechts zelden mogelijk blijkt — het gaat vrijwel steeds om hinder. Anderzijds is het treffen van maatregelen om de klachten te doen verminderen of beëindigen meestal veel moeilijker. Desondanks zijn, voorlopig vooral op het gebied van lawaai bestrijding, enkele fraaie successen behaald.

De meeste bekendheid heeft wel gekregen de studie naar het veranderen van de geluidssignalen van de tientallen diesellocomotieven die dag en nacht het railtransport verzorgen. De zeer luid klinkende hoorns veroorzaakten vooral 's nachts aan de omwonenden veel overlast. Ze zijn nu alle vervangen door hoogtonige kleine sirenes in viervoud, die dichtbij minstens

evengoed hoorbaar zijn, maar waarvan het geluid veel minder ver draagt.

In het algemeen gesproken ontwikkelt de situatie rond Hoogovens zich echter zo, dat de overheid thans doende is in een hoog tempo haar taak ter bescherming van de burgers ook op het terrein van de inperking van luchtverontreiniging en lawaai overlast waar te maken.

Dat ook de overheid in Hoogovens een coöperatieve partner vindt — zowel vanuit fatsoensnormen als vanuit een welbegrepen ondernemersbelang — moge uit de beschrijvingen van de getroffen maatregelen en het aanvullende saneringsplan zijn gebleken.

#### IV. Literatuur

Bij paragraaf I:

- [1] L. J. Brasser, P. E. Joosting, Luchtverontreiniging en gezondheid in Geleen, G.O.-TNO, Rapport 31, april 1964.
- [2] L. J. Brasser, P. E. Joosting, D. van Zullen, Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Rapport G. 300.
- [3] H. Zeedijk, De luchtverontreiniging in Eindhoven tijdens de passage van een warmtefront op 19 en 20 februari 1969, Chemisch Weekblad, 2 mei 1969.

Bij paragraaf II:

- [4] Scott Lynn, Removal and recovery of  $\text{NO}_x$  from nitric acid plant tail gas by adsorption on molecular sieves, Voorbericht 23 mei 1973, K.I.v.I., 's-Gravenhage.
- [5] J. Damme, J. T. van Goolen, A. H. de Rooy, Cyclohexanone Oxime made without byproduct  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , Chem. Eng. July 10, 1972, 54-55. Zie ook Chemisch Weekblad, 1 september 1972, 7-9.
- [6] L. J. Revallier, Mens en Milieu, Prioriteiten en Keuze, Publikatie nr. 8, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage, 1971.
- [7] F. Dijkstra, Industriel afvalwater: sanering bij de chemische bedrijven van DSM,  $\text{H}_2\text{O}$ , nr. 15, 22 juli 1971.
- [8] F. J. G. Kwanten, Reiniging van industriële gassen, Polyt. Tijdschr., 28 (1973), nrs. 4 en 5, 105 en 143.

Bij paragraaf III:

- [9] D. van Zullen, F. Spierings, L. J. Brasser, F. H. Schmidt, W. Visser, Luchtverontreiniging in de omgeving van de IJmond, De Ingenieur, 71, nr. 48, 27 november 1959, en De Ingenieur, 71, nr. 50, 11 december 1959.



# Hoofdstuk 6. Over emissie-inventarisatie en beleid

## I. Korte geschiedenis van het Nederlandse emissiebeleid

door ir. E. F. Boon en ir. T. K. de Haas

Sinds vele jaren is reeds aandacht, een toenemende aandacht, besteed aan oorzaken en vermindering c.q. verhindering van luchtverontreiniging door industrieën. In het navolgende worden nu enkele gegevens hieromtrent opgesomd, waarbij volstaan is met een (uiteraard zeer onvolledige) keuze uit activiteiten in de twintigste eeuw. Dat reeds veel eerder ernstige luchtverontreiniging werd veroorzaakt, blijkt wel uit de plaat tegenover de titelpagina van Mens en Milieu, prioriteiten en keuze; Publikatie nr. 8, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 1971.

De Vereniging tegen Bodem-, Water- en Luchtverontreiniging werd in 1909 opgericht en is nog steeds zeer actief o.a. met de uitgave van het blad Natuur en Landschap, in samenwerking met de Contactcommissie voor Natuur- en Landschapsbescherming.

In de twintiger jaren begonnen de rayonindustrie en de olieindustrie met nieuwe of veranderde werkzaamheden last te veroorzaken door de daarbij vrijkomende zwavelwaterstof ( $H_2S$ ), onder atmosferische omstandigheden een zeer verraderlijk gas. De noodzaak van een efficiënte bestrijding van de  $H_2S$ -emissie werd meteen onderkend en diverse verwijderingsprocessen werden uitgewerkt. Enkele daarvan worden nog steeds toegepast. De kosten van het verwijderingsproces worden meestal doorberekend in het gereinigde produkt.  $H_2S$  verwijderen is op zichzelf niet genoeg, omdat het verzamelde  $H_2S$  ook nog onschadelijk moet worden weggevoerd. In vele gevallen is het mogelijk gebleken het overgrote deel van de  $H_2S$  te verkopen via omzetting in elementaire zwavel (Claus proces) of in sterk zwavelzuur (contactproces). Het omzettingsproces kan gewoonlijk (ruim) betaald worden uit de verkoop van het produkt. Het resterende deel van de  $H_2S$  kan slechts via de vorming van  $SO_2$  worden afgevoerd. Eerst onlangs, dus pas na een halve eeuw industriële  $H_2S$ -verwerking, is er een hanteerbare aanvulling/verfijning toegevoegd aan de vele voorgestelde mogelijkheden om de afgassen te ontzwellen [1]. Door deze toevoeging aan het systeem van  $H_2S$ -verwerking kan de emissie van zwavelverbindingen behoorlijk worden gereduceerd, doch de extra kosten worden maar zeer ten dele gedekt uit de verkoop van het extra verkregen produkt.

Sinds in 1921 tetraethyllood ter verbetering van de klopvastheid van motorbenzine werd ingevoerd, zijn loodverbindingen een milieuverontreinigend bestanddeel van de uitlaatgassen van benzinemotoren geworden (zie ook hoofdstuk 3, II en III van deze publikatie). Andere bronnen van milieuvervuilend lood zijn niet of nauwelijks aan te wijzen. Bij verdere toename van de loodemissie in ons land dreigt lood een ernstig pro-

bleem te worden, reden waarom de Nederlandse overheid beperkende maatregelen voor de naaste toekomst in overweging heeft genomen. De meeste literatuur over dit onderwerp is in de laatste tien jaren verschenen [2].

Een derde voorbeeld wordt in de vijftiger jaren gevonden, toen de bloembollencultuur in de buurt van Beverwijk matige tot ernstige schade door luchtverontreiniging ondervond; onder meer in de gladioluscultuur. Nadere studie bracht aan het licht dat voornamelijk de fluorwaterstofemissie van de Hoogovens de schade veroorzaakte. Deze bleek hoofdzakelijk afkomstig van het bij het Martinstaalproces toegepaste vloeispaat (calciumfluoride  $CaF_2$ ), dat voor een klein deel ontleedde onder vorming van fluorwaterstof (HF) en siliciumfluoride ( $SiF_4$ ).

Daarnaast bevatten sommige ijzerertsfluorverbindingen tot in de orde van enkele honderdsten van procenten. Hoogovens heeft op grond daarvan nog in diezelfde jaren zeer ingrijpende maatregelen getroffen (zie daartoe hoofdstuk 5, III). In de tweede helft van 1973 worden in het verlengde hiervan bij de onlangs in bedrijf gestelde ertspelletiseerfabriek een aantal torens met zeewater ( $pH$  ruim 7) als wasmiddel in gebruik genomen teneinde de fluoridenemissie op het voor de zo gevoelige bloembollencultuur toelaatbare zeer lage niveau te houden.

Verder noemen wij de oprichting in 1950 van het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, dat vanaf het begin grote aandacht aan luchtverontreiniging en remedies daartegen besteedde, meetinstrumenten ontwikkelde, emissie- en immissiemetingen verrichtte.

In 1952 werd de commissie bodem, water, lucht van de gemeente Rotterdam geïnstalleerd, daarna volgde de oprichting van het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid te Bilthoven.

In 1959 begon de DSM (Staatsmijnen) met stofonderzoek (zie hoofdstuk 5, I).

In 1962 begon de KEMA (Keuring van Elektrotechnische Materialen, Arnhem) met immissie- en emissiemetingen van zwaveldioxyde ( $SO_2$ ). In de laatste jaren heeft deze instelling belangrijk onderzoek verricht aan emissie van stikstofoxyden van elektrische centrales en methodes ter vermindering hiervan bestudeerd. Daarnaast werden emissies gemeten o.m. in Twente en Amsterdam.

In 1973 is er een Overheidsvoorschrift van kracht geworden voor het maximum zwavelgehalte van huisbrand- en stookoliën, ter beteugeling van de  $SO_2$ -uitwerp via de schoorsteen. Dank zij het sinds enkele jaren op ruime schaal ingevoerde proces van katalytisch hydreren van koolwaterstof-destillaatfracties kan de olie-industrie aan deze zwavelis voldoen, onafhankelijk van de kwaliteit van de ter beschikking staande ruwe olie.



Spectaculair is zeker het operationeel worden, omtrent 1970, van het immissiemetnet van het Openbaar Lichaam Rijnmond, met een meld- en regelkamer waar de meetresultaten worden geregistreerd. Het reeds genoemde Rijksinstituut voor de Volksgezondheid te Bilthoven werd in 1971 aangewezen als verzamelpunt voor de Nederlandse immissiemetingen. Immissiemetingen hebben nog niet geleid tot een goed begrip van de oorzaken van de hinder door vuile lucht, zeker niet tot een goede verklaring van de "smog" vorming in het Rijnmondgebied. Uitbreiding van de immissiemetingen en speciale proefnemingen zijn o.a. daarom nodig. Hiertoe wordt nauw samengewerkt tussen de Keuringsdienst van Waren, Rotterdam; het Instituut voor Gezondheidstechniek TNO, Delft; het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut, De Bilt en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid, Bilthoven, in een onderzoek van de luchtverontreiniging in de provincie Zuid-Holland.

De gemeten immissie wordt echter veroorzaakt door bronnen (emissie) van luchtverontreiniging. Het onderzoek naar deze bronnen kwam pas relatief laat op gang, maar is door vele schrijvers en sprekers als noodzakelijk uitgangspunt voor een milieubeleid gepropageerd. Als eerste rapport noemen wij John E. Yocom e.a., Aspecten van milieuverontreiniging van de Maasvlakte [3]. Voorts noemen wij W. J. Beek, "Wat is de omvang van de milieuverontreiniging?" [4], en E. F. Boon, "Industry's responsibility towards pollution" [5]. Laatstgenoemde schrijver had reeds in september 1971 aan de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne een aantal gedachten voorgelegd over het snel verzamelen van emissiegegevens van en bij de leden van het VNO (Verbond van Nederlandse Ondernemingen) en het NCW (Nederlands Christelijk Werkgeversverbond), waarmede de VNCI (Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie) toen reeds deed was. Voorts werd een vijf- en een tienjarenplan bepleit ter terugdringing van hinderlijke emissies per regio. Voor Rijnmond is inmiddels zo'n plan opgesteld.

Op 4 juli 1972 richtte de Minister van Volksgezondheid en Milieuhygiëne zich tot de voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal met zijn "Urgentienota milieuhygiëne". Hierin wordt onder urgentie vermeld:

#### 5. Registratie van emissies

— Een systeem voor het verzamelen en vastleggen van gegevens over de emissies, zowel door de industrie als door het verkeer en andere bronnen, zal worden opgezet.

Bij deze registratie zal zoveel mogelijk van de medewerking van alle betrokkenen gebruik worden gemaakt. Met deze registratie zal in Zuid-Holland worden begonnen".

Verder wordt in de nota ook veel aandacht besteed aan de meting van immissies.

In de regeringsverklaring van mei 1973 werd verklaard dat het inventariseren van de uitworp (emissie) in 1973 zou beginnen. Verwacht mag worden dat door het invoeren van deze maatregelen een goed overzicht kan worden verkregen van de emissie-situatie in Nederland. Op basis van deze gegevens kan het verdere saneringsprogramma worden opgesteld voor de regio's met de grootste luchtvervuiling. Op welke wijze en naar welke normen dit zal geschieden is nog een punt van discussie. De Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland

spreken in hun nota voor de vergadering van maart 1973 over een beheersplan voor de zogenaamde hinderruimte, de maximaal aanvaardbare emissiedichtheid (hoeveelheid uitgeworpen stof per tijdseenheid en oppervlakte-eenheid). Deze grootheid is wetenschappelijk niet vast te stellen en moet op politieke gronden worden bepaald, aldus de nota.

Anderen schrijven (gelukkig) wel over wetenschappelijk vast te stellen grenswaarden voor de chemische verontreiniging van water en lucht [6]. Zo is met het vaststellen van de emissie (uitworp) in de lucht een begin gemaakt. Hoe men beleidsconclusies uit deze vaststelling moet trekken en welke, is een onderwerp van regionale (Rijnmond, regio Keulen), provinciale (Zuid-Holland), nationale en internationale (OESO) discussie.

## II. TÜV-methode voor de industrie

door ir. E. F. Boon

De deelstaat Nordrhein-Westfalen heeft in een recent programma aangekondigd zes gebieden in het Roergebied en langs de Rijn aan te wijzen als saneringsgebieden. Op basis van een emissie-inventarisatie, uit te voeren door de Technische Überwachungs Vereine (TÜV), zullen hier bepaalde maatregelen worden genomen.

De Technische Überwachungs Vereine zijn in de tweede helft van de 19e eeuw ontstaan op initiatief van ingenieurs en fabrikanten met het doel catastrofale gevolgen van de technische ontwikkeling te voorkomen, vooral die ten gevolge van stoomketelexplosies. Ook nu nog zijn het verenigingen waarvan de leden praktisch uitsluitend uit mensen uit industriekringen bestaan. De doelstelling is in de loop der tijden uitgebreid tot controle van ketels, vaten, leidingen en elektrische installaties, onderzoek van constructiematerialen, metingen aan energieleverende apparatuur, waaronder kernreactoren, controle van auto's en vele andere technische werkzaamheden.

Het nut van deze instellingen wordt algemeen ingezien. De weerstand die nu en dan wordt opgeroepen tegen de uitvoering van bepaalde controlewerkzaamheden spruit meestal voort uit persoonlijke overwegingen: het gevoel speelbal te zijn van bureaucratische handelingen, dan wel de angst dat confidentiële bedrijfsgegevens in handen komen van concurrenten.

Sinds 1969 is de TÜV-Rheinland in opdracht van de overheid bezig met het door meting, berekening en schatting inventariseren van emissies van industrie, verkeer en huisbrand in de lucht rondom Keulen over een gebied van ca. 500 km<sup>2</sup>. De resultaten kunnen medio 1973 worden verwacht. In 1973 start een emissie-inventarisatie in een tweede saneringsgebied (Duisburg-Oberhausen-Mülheim).

TÜV-Rheinland en TÜV-Pfalz stellen bovendien in de omgeving van Ludwigshafen een emissie-inventarisatie samen op basis van door de industrieën opgegeven emissiecijfers. Voordelen van dit laatste zijn lagere kosten (de industriële metingen zouden goedkoper zijn dan die van TÜV) en beveiliging van industriële know-how.

Voor de industrie werden de volgende systemen [7] ontworpen, waarvan de gegevens die bestemd zijn voor de betrokken industrie en officiële milieu-instanties in een data-bank worden opgeslagen:



- a. een **adressenbestand**; hierin zijn opgenomen de personen of instanties die juridisch verantwoordelijk zijn voor bepaalde emissies in het beschouwde gebied; tevens wordt hierbij aangegeven tot welke branche de onderneming behoort;
- b. een lijst van in lucht aangetoonde **geëmitteerde stoffen** met vermelding van hun eventuele hinderlijke en/of gevaarlijke eigenschappen;
- c. **systeembeschrijvende informatie**; deze valt uiteen in de omschrijvingen van **emissiebronnen**, van **installaties** en van **emissies**. Via cijfersleutels zijn de in deze overzichten opgenomen gegevens gekoppeld aan die onder a. en b.

De lijst van bronnen omvat onder meer de plaats, de vorm en de aard van de bron, alsmede het al of niet aanwezig zijn van een gaswasinstallatie.

Tot de gegevens die met betrekking tot de installaties worden geregistreerd, behoren een omschrijving van het type toestel (verbrandingsmotor, chemische reactor e.d.), de nominale capaciteit daarvan, de in het apparaat verwerkte stoffen en de frequentie waarmee deze verwerking plaats vindt. Het emissie-overzicht tenslotte bevat kwalitatieve en kwantitatieve gegevens over de door een bepaalde installatie geëmitteerde stoffen, de frequentie waarmee deze emissies (ook die bij onderhoud, transport, opslag en storingsen) plaats vinden en de capaciteit waarop de installatie onder normale omstandigheden draait.

De TÜV-deskundigen meten, resp. berekenen of schatten alle aantoonbare emissies, d.w.z. emissies groter dan 1 mg/s. Gecodeerde opslag van de verzamelde gegevens en geheimhoudingsplicht van de TÜV garanderen een vertrouwelijke behandeling. Bij verwerking van de gegevens kunnen geen conclusies worden getrokken omtrent de uitwerp van individuele bedrijven, net zo min als bij de productiecijfers die het CBS in Nederland publiceert.

De voordelen van deze inventarisatiemethode zijn:

- de verschillende emissies worden door dezelfde instantie gemeten en zijn dus onderling vergelijkbaar;
- emissiereducties zijn mogelijk zonder dat de immissiegrenswaarden behoeven te worden gehanteerd; omdat uit de meetresultaten blijkt wie de grote emittenten zijn, kunnen gemakkelijk prioriteiten worden gesteld;
- de inventarisatiegegevens maken het mogelijk voor grotere gebieden planologische adviezen te geven over uitbreidingsmogelijkheden, terwijl de overheid in de gelegenheid wordt gesteld ten opzichte van de bestaande industrie zinnige beslissingen te nemen, alsmede programma's op te stellen voor verbeteringsmaatregelen, onderzoek en ontwikkeling;
- de codering maakt het mogelijk uit de (confidentiële) emissiegegevens een immissieschatting te maken door die gegevens met behulp van een computer in verspreidingsmodellen te verwerken.

De Keulse industrie staat positief tegenover de benaderingswijze van de TÜV, niet alleen omdat de TÜV-deskundigen over een grote kennis van zaken omtrent industriële processen blijken te beschikken, maar ook omdat de industrie op deze wijze in het bezit kan komen van objectieve emissiegegevens. Wel ziet het bedrijfsleven het als een bezwaar dat voor de TÜV-employees geen concurrentiebeding geldt. Kennis over een bepaald bedrijf zou daarom zonder veel moeite in handen van de concurrentie kunnen geraken.

Men hoopt aan de hand van de zo verkregen meetresultaten later in staat te zijn meer gedetailleerde berekeningen uit te voeren, zoals die met betrekking tot flenslekkages. De ervaring die tijdens deze inventarisatieprocedure werd opgedaan, leert dat er per hectare industrieel bebouwd bedrijfsterrein 6 mandagen nodig zijn. Ook kan men het voor een inventarisatie nodige aantal manuren schatten per 1000 werknemers van het bedrijf: chemische industrie 440, petrochemische industrie 2000, metaalindustrie 70, andere industrieën 410; met een gewogen gemiddelde voor alle Nederlandse industrieën van 400. Een dergelijk eerste onderzoek zou voor Nederland een bedrag in de orde van grootte van f 10 miljoen gaan kosten.

Als vervolg op de hierboven geschetste emissie-inventarisatie dient een regelmatige controle te worden uitgevoerd. De TÜV-Rheinland heeft ook hiervoor van de deelstaatregering de opdracht gekregen. Onder meer zullen stoomketelinstallaties elke paar jaar op hun emissies worden onderzocht. Bovendien zal van bedrijven in bepaalde belaste gebieden jaarlijks een opgave van de emissies worden verlangd.

Zo ontstaat langzamerhand naast een financiële controle (geld-accountant) een stofcontrole (stoffen-accountant). Het resultaat van de financiële controle wordt jaarlijks gepubliceerd. Zou dit ook voor de stofcontrole gaan gebeuren?

### III. Inventarisatie van emissiegegevens voor verkeer en huisbrand (methode TEBODIN)

door ir. P. Buis en dr. ir. J. de Graauw

#### Inleiding

Luchtverontreiniging in een bepaald gebied kan in het algemeen worden veroorzaakt door drie soorten emissiebronnen:

- industrie,
- verkeer,
- huisbrand.

Kenmerkend voor de emissies door verkeer en huisbrand zijn:

- het grote aantal kleine emissiebronnen;
- het variëren van de emissies met de tijd, waarbij zowel variaties per uur als per seizoen optreden.

Een extra complicatie vormt het feit dat emissies van het verkeer worden veroorzaakt door bewegende bronnen. Gezien het doel van het onderzoek is het echter niet nodig ieder voertuig, vaartuig of gebouw als afzonderlijke emissiebron te beschouwen. Volstaan kan worden met de emissies van alle deelgebieden van de te onderzoeken regio vast te stellen als functie van de tijd.

Naarmate zich in een gebied minder mogelijke emissiebronnen bevinden, kan de totale emissie van dat gebied in absolute waarde ook minder fluctueren. Op grond hiervan is het vanzelfsprekend, dat bij het indelen in deelgebieden en dus bij het vaststellen van de grootte van een bepaald deelgebied rekening moet worden gehouden met de concentratie van emissiebronnen.

Voor bevolkingscentra is het misschien nodig het gebied in te delen in vakken van ca. 1 km<sup>2</sup>, terwijl voor



het platteland wellicht met deelgebieden van 100 km<sup>2</sup> kan worden volstaan.

Evenzo hoeft de te hanteren tijdschaal niet voor alle deelgebieden dezelfde te zijn. Voor bevolkingscentra kunnen gemiddelde emissies per uur nodig zijn, terwijl voor gebieden met een kleinere concentratie van emissiebronnen daggemiddelden voldoende kunnen zijn.

Met het oog op het bovenstaande is het derhalve een gelukkige omstandigheid te noemen dat van bevolkingscentra in het algemeen meer en gedetailleerdere gegevens bekend zijn dan van dunner bevolkte gebieden.

#### Emissies door verkeer en scheepvaart

Voor het bepalen van het totale emissiepatroon van een gebied moet de emissie door wegverkeer of scheepvaart over een bepaalde tijd voor elk deelgebied worden vastgesteld.

Onder wegvoertuigen worden verstaan personenauto's, bedrijfsauto's (autobussen, bestelwagens, vrachtwagens), motorrijwielen, scooters en bromfietsen.

De motorrijwielen en scooters kunnen vanwege hun geringe aantal buiten beschouwing worden gelaten.

Bij de scheepvaart zal onderscheid moeten worden gemaakt tussen zeeschepen en binnenschepen, omdat de grootte en vaarroutes sterk verschillen. (Bij binnenschepen zullen plezierboten in het algemeen in de beschouwing verwaarloosd kunnen worden).

#### Emissies

Onder emissie wordt verstaan de uitworp van de volgende stoffen:

- koolmonoxyde,
- stikstofoxyde,
- roet,
- zwaveldioxyde,
- aldehyden,
- organische zuren,
- loodverbindingen,
- koolwaterstoffen,
- ammoniak,
- benzopyreen.

#### Bepaling van de emissie in een deelgebied

Het totaalbeeld voor een deelgebied ziet er uit als in figuur 1.

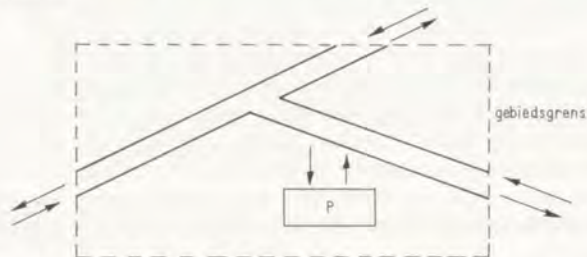


Fig. 1. Deelgebied ten behoeve van verkeerstellingen.

De totale emissie per verkeerscategorie van dit gebied kan worden berekend door vermenigvuldiging van het aantal aan het verkeer deelnemende objecten met de gemiddelde emissie per tijdseenheid, of door vermenigvuldiging van het totale aantal per tijdseenheid afgelegde voertuigkilometers met de gemiddelde emissie per voertuigkilometer.

Bij de eerstgenoemde methode kan het aantal aan het

verkeer deelnemende objecten worden bepaald door het tellen vanaf luchtfoto's.

De emissie per verkeerscategorie bedraagt  $E = ne'$ , waarin:

$E$  = totale emissie per verkeerscategorie (kg/h);

$n$  = aantal aan het verkeer deelnemende objecten;

$e'$  = gemiddelde emissie per object (kg/h).

Nadelen van de luchtfotomethode zijn:

- in steden onnauwkeurig door schaduwproblemen;
- luchtfoto's zijn duur.

Bij de tweede hierboven genoemde methode moet het aantal afgelegde kilometers per verkeerscategorie worden bepaald uit verkeerstellingen.

De Verkeersdienst van de gemeente Rotterdam hanteert hierbij de volgende methode. Voor een bepaald gebied worden gedurende een bepaalde tijd alle voertuigen die het gebied in en uit rijden per categorie geteld. Verondersteld wordt nu, dat elk inkomend voertuig naar het centrum van het gebied gaat, terwijl elk uitgaand voertuig uit het centrum komt. De afstand van het centrum tot de gebiedsgrens wordt bepaald door de straal te berekenen van een cirkel met eenzelfde oppervlak als het betrokken gebied.

De emissie per verkeerscategorie bedraagt  $E = B e''r$ , waarin:

$B$  = het aantal voertuigen dat in een zekere tijdsperiode het gebied binnenkomt of verlaat;

$r$  = gemiddelde afstand tot centrum;

$e''$  = gemiddelde emissie per voertuigkilometer.

Voor een weg kan bovenstaande vergelijking worden herleid tot:

$$E = \frac{Bs}{2} \quad e'' = \frac{Bs e'}{2 v}$$

waarin  $s$  de weglengte ( $= 2r$ ) en  $v$  de snelheid is.

In het geval er op een verkeersader regelmatig filevorming optreedt, moet het aantal voertuigkilometers voor deze verkeersader afzonderlijk worden bepaald, daar de emissie per voertuigkilometer voor fileverkeer sterk afwijkt van die onder normale omstandigheden. De aangewezen methode voor dit geval is de deelgebieden zodanig te kiezen dat deze verkeersaders de grenzen zijn van deze gebieden.

Door middel van proefritten kan de emissie per voertuigkilometer worden bepaald (zie later). De emissie van de verkeersader kan nu afzonderlijk worden berekend en aan de aan de verkeersader grenzende gebieden worden toebedeeld.

#### Voorbeeld van verkeerstellingen

In augustus 1970 is de Verkeersdienst van de gemeente Rotterdam begonnen met de zogenaamde cordontellingen [8]. Hiertoe is de stad verdeeld in 34 gebieden (zie figuur 2). De gebiedsgrenzen zijn zoveel mogelijk gelegd op natuurlijke grenzen als water, spoorwegen, verkeersaders.

Van elke weg die een gebiedsgrens passeert, wordt 1 à 2 maal per jaar het verkeer geteld van 07.00-19.00 uur. Het verkeer via de vier oeververbindingen wordt gedurende 24 uur geteld.

Bij de tellingen wordt onderscheid gemaakt in personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's en autobussen.

Een verkorte tellijst is weergegeven in tabel 1.

Alle voertuigen kunnen nu worden ingedeeld in voertuigen met benzine- en met dieselmotoren. Daartoe wordt aangenomen dat alle personenauto's en micro-



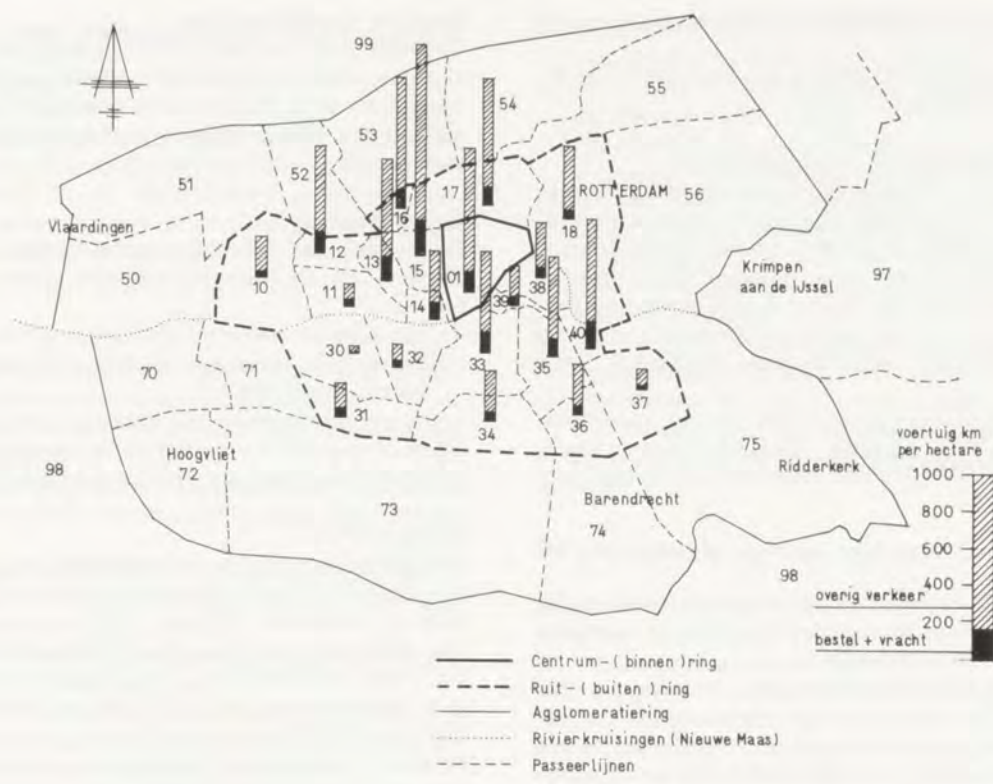


Fig. 2. Overzicht telgebieden Verkeersdienst Rotterdam, met cordontellingen en voertuigkilometers per hectare.

Tabel 1. Aantal gepasseerde voertuigen in telgebied 12.

Periode	Personen- auto's	Micro- busjes	Bestel- wagens	Vracht- auto's	Auto- bussen
01.00-08.00	4.350	350	490	785	12
08.00-09.00	3.500	175	510	721	15
.....					
18.00-19.00	2.315	35	110	175	4
Totaal	35.715	1.785	5.630	8.120	85

busjes en 50% van de bestelauto's benzinemotoren hebben.

De straal van het telgebied genoemd in tabel 1, is 0,5 km. Voor de twee categorieën volgen dan uit tabel 1 de in tabel 2 aangegeven voertuigkilometers.

Tabel 2. Aantal voertuigen en voertuigkilometers per motor-type (telgebied 12).

Periode	Voertuigen met benzinemotor		Voertuigen met dieselmotor	
	Aantal voertuigen	Voertuig- km's	Aantal voertuigen	Voertuig- km's
07.00-08.00	4.945	2.473	1.042	521
08.00-09.00	3.930	1.965	991	496
.....				
18.00-19.00	2.405	1.203	234	117
Totaal	40.315	20.158	12.020	6.010

Uit de tellingen is bekend, dat de verkeersintensiteit over 24 uur ongeveer 1,3 maal de verkeersintensiteit van 07.00-19.00 uur is.

Het aantal benzinevoertuigkilometers in de periode

19.00-07.00 uur is in ons voorbeeld dus  $0,3 \times 20.158$  en het aantal dieselvoertuigkilometers  $0,3 \times 6.010$ .

#### Voorbeeld scheepvaarttellingen

Als voorbeeld is hier gekozen de binnenscheepvaart in het Rotterdamse havengebied. Tellingen van de binnenscheepvaart worden op verschillende aanvaarroutes verricht door het Centraal Bureau voor de Statistiek [9] en door Rijkswaterstaat bij de Van Brienenoordbrug.

Uit deze tellingen blijkt dat de meeste binnenschepen binnenkomen via de Van Brienenoordbrug.

Het aantal schepen dat jaarlijks de Van Brienenoordbrug passeert in beide richtingen bedraagt 260.000.

In de nabijheid van deze brug geldt dus voor de emissie over een kort traject:

$$E = \frac{As}{v} e' = \frac{As}{v} Ne''',$$

waarin:

E = emissie per jaar,

A = aantal schepen dat jaarlijks de telplaats passeert,

s = rivierlengte in het meetgebied,

v = gemiddelde scheepssnelheid,

e' = gemiddelde emissie per schip,

N = gemiddeld vermogen per schip,

e''' = gemiddelde emissie per pk.

Aangezien er geen seizoenschommelingen zijn en bekend is dat er 's zaterdags minder en 's zondags vrijwel geen binnenscheepvaart is, kan uit de emissie per jaar de emissie per etmaal geschat worden.

Hoe de intensiteit van het binnenscheepvaartverkeer



stroomafwaarts (in westelijke richting) afneemt, is niet bekend.

Door het nemen van luchtfoto's zou hier een beter inzicht in kunnen worden verkregen.

#### *Emissie per voertuig- of vaartuigkilometer*

Gegevens over de emissie van benzinemotoren en dieselmotoren van voertuigen zijn voorhanden in de literatuur [10-14]. Deze gegevens gelden evenwel voor het autopark van enkele jaren geleden. Door de economische commissie van de E.E.G. zijn sindsdien toelatingseisen voor nieuwe auto's vastgesteld waarbij de emissiegrenzen voor koolmonoxyde aanzienlijk lager zijn.

De emissie moet worden gemeten op een rollentestbank volgens de Europese standaard testmethode, waarbij in 4 gelijke cycli het volgende snelheidstraject wordt doorlopen:

0 - 15 - 0 - 32 - 0 - 50 - 35 - 0 km/h.

De testrit komt overeen met een stadsrit van 4 km. Bij de testrit mag voor auto's tot 750 kg de CO-emissie niet meer dan 100 g bedragen.

De emissie van benzinevoertuigen kan daarom het beste worden bepaald door een aantal auto's dat representatief mag worden geacht voor het Nederlandse autopark te testen op een rollentestbank. Deze proeven kunnen worden uitgevoerd door het Instituut voor Wegtransportmiddelen IW-TNO te Delft.

Het is raadzaam bij deze proeven onderscheid te maken tussen normaal stadsverkeer en fileverkeer. Voor beide kan door het maken van proefritten een standaardmethode worden vastgesteld.

Emissies door dieselmotoren zouden kunnen worden bepaald op motorproefstanden. IW-TNO heeft vier motorproefstanden beschikbaar.

Emissies van bromfietsen kunnen op dezelfde wijze worden bepaald als die van auto's.

Voor scheepvaartmotoren zal de emissie per pk uit literatuuronderzoek of door metingen moeten worden vastgesteld. Aangenomen mag worden dat alle schepen dieselmotoren hebben.

#### **Emissie door huisbrand**

Bij het vaststellen van de emissie door huisbrand in alle deelgebieden over een bepaalde tijd, moeten zowel de gemiddelde emissies over een grotere periode als de piekemissies worden bepaald.

Onder huisbrand wordt verstaan het toepassen van gas, kolen en olie voor ruimteverwarming in huizen.

Omdat het gas dat wordt gebruikt voor koken en warmwatervoorziening ook bijdraagt tot de luchtverontreiniging en bovendien in de verbruikscijfers moeilijk te onderscheiden is van het gasverbruik voor ruimteverwarming, zal met het totale gasverbruik worden gerekend.

#### *Emissie*

Onder emissie wordt verstaan de uitworp van de volgende stoffen:

- koolmonoxyde;
- stikstofdioxyde;
- stof en roet;
- zwaveldioxyde;
- aldehyden;
- koolwaterstoffen.

#### *Bepaling van de emissie*

Getracht moet worden in elk deelgebied het gebruik aan gas, kolen en olie vast te stellen en de emissie te berekenen door de verbruikte hoeveelheden te vermenigvuldigen met de emissie per m<sup>3</sup> of per ton brandstof.

#### *Gasverbruik*

Gegevens over het gasverbruik kunnen worden verkregen van de energiebedrijven. Deze beschikken over:

- het verbruik per woning of gebouw per jaar;
  - de verdelingscurve over het jaar voor het totale verzorgingsgebied;
  - de uurverbruikerscurve voor het verzorgingsgebied.
- Uit deze gegevens kan voor ieder deelgebied het gasverbruik voor ieder uur van het jaar worden berekend.

#### *Kolenverbruik*

Het gebruik van kolen als huisbrand neemt in betekenis snel af. Volgens een opgave van het Rotterdamse GEB gebruikte in 1971 ca. 70% van de verbruikers gas, 22% kolen en 8% olie. In 1975 zal het kolenverbruik zijn gedaald tot ca. 10%. Kolenhandelaren geven hun jaaromzet op aan het Centraal Bureau voor de Statistiek. Wordt nu aangenomen dat de handelaren de kolen voornamelijk verkopen in de directe omgeving van hun vestigingsplaats, dan is het verbruik als functie van de plaats bekend.

Aangezien de verdelingscurven voor het kolenverbruik nauwelijks zullen afwijken van die voor het gas, kan vervolgens het verbruik als functie van de tijd worden berekend. Hierbij wordt dan verwaarloosd dat kolen minder dan gas voor kook- en heetwaterdoeleinden worden benut.

#### *Olieverbruik*

Ook het gebruik van olie voor verwarmingsdoeleinden is afnemend. Olie wordt voornamelijk toegepast voor verwarming van kantoren en flats en voor blokverwarming van huizen. In verband hiermee zijn de woningbouwverenigingen de aangewezen informatiebron.

#### *Emissie per m<sup>3</sup> gas*

Volgens opgave van het GEB te Rotterdam wordt per m<sup>3</sup> gas 10 m<sup>3</sup> lucht verbruikt.

De maximum CO-concentratie in de verbrandingsgasen is 0,01%, zodat per m<sup>3</sup> gas 1 liter koolmonoxyde ontstaat. De concentratie aan stikstofoxyden in de verbrandingsgasen bedraagt 40 à 50 ppm.

Aldehyden ontstaan alleen bij een foutieve instelling van de verbruikersapparatuur; de hoeveelheden zijn verwaarloosbaar klein.

#### *Emissie per kg kolen*

De emissie door het stoken van kolen zal door literatuuronderzoek moeten worden vastgesteld.

#### *Emissie per kg olie*

Volgens een opgave van het GEB te Rotterdam bevinden zich in de rookgasen:

- koolmonoxyden 8 à 10 l per kg olie,
- zwaveldioxyde 30 à 40 g per kg olie (dus tot ca. 2% S in de olie).



## IV. Naar een geïntegreerd milieubeleid

door ir. E. F. Boon

Deze publikatie behandelt enige aspecten van de zorg voor zuivere lucht, dus slechts een deelprobleem van het milieubeleid. Er zijn vele andere deelproblemen, zoals zuiver water, zuivere bodem, weinig lawaai, gezond voedsel, veilig verkeer, gezonde informatie.

### Enige wetten

De deelproblemen zijn wettelijk geregeld (zie onderstaand overzicht ontleend aan [15]).

**Hinderwet;** voorkomen van gevaar, schade of hinder door inrichtingen.

**Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren;** tegengaan en voorkomen van verontreiniging van oppervlaktewateren.

**Waterleidingwet;** toezicht op waterleidingbedrijven en organisatie van de openbare drinkwatervoorziening in het belang van de volksgezondheid.

**Wet inzake de Luchtverontreiniging;** voorkomen of beperken van luchtverontreiniging.

**Destructiewet;** voorkoming van gevaar, schade of hinder voor de openbare gezondheid door onschadelijkmaking van materiaal van dierlijke herkomst.

**Kernenergiewet;** bescherming tegen gevaren van vrijmaking van kernenergie en aanwending van radioactieve stoffen en tegen de gevaren van ioniserende stralen uitzendende toestellen.

**Bestrijdingsmiddelenwet;** deugdelijkheid van bestrijdingsmiddelen en veiligheid en gezondheid van de mens en van de dieren, welke instandhouding gewenst is; toevoegsel voorstel 1971: in het bijzonder teneinde bij te dragen tot een betere bewaking van het leefmilieu van mens, dier en plant tegen ongunstige invloeden.

**Wet Gevaarlijke Stoffen;** regeling over gevaarlijke stoffen in het belang van de openbare veiligheid en de volksgezondheid en ter bescherming van personen, werkzaam in ondernemingen.

**Wet Hygiëne en Veiligheid Zweminrichtingen;** hygiëne en veiligheid van zweminrichtingen.

**Wet Hygiëne Kampeerplaatsen;** hygiëne op en in kampeerplaatsen.

Toch ligt de samenhang der milieuvraagstukken zo voor de hand, dat gezocht is naar een geïntegreerde benadering. Is dit mogelijk? Naar onze mening maar zeer ten dele. De ministeriële verantwoordelijkheid voor de milieuvraagstukken is verdeeld over vele ministeries. Globaal komt het hier op neer dat de verantwoordelijkheid berust voor:

- het milieu in relatie tot de gezondheid van de mens bij het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- de natuur bij het Ministerie van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk Werk;
- het afvalwater bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
- het drinkwater bij het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- het verkeer bij het Ministerie van Verkeer en Waterstaat;
- het wetenschappelijk onderzoek bij het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen;

- de ruimtelijke ordening bij het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening;
  - de woning bij het Ministerie van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening;
  - het voedsel bij de Ministeries van Landbouw en Visserij en van Volksgezondheid en Milieuhygiëne.
- De wetten hebben voorzieningen voor advisering en inspraak bij de uitvoering, onder meer:
- Destructiewet van 1957: de Deconstructieraad;
  - Waterleidingwet van 1957: de Raad voor de Drinkwatervoorziening;
  - Bestrijdingsmiddelenwet van 1962: de Bestrijdingsmiddelencommissie;
  - Wet inzake de Luchtverontreiniging van 1970: de Raad inzake de Luchtverontreiniging;
  - Natuurbeschermingswet: de Natuurbeschermingsraad.

### De voorgestelde centrale raad voor de milieuhygiëne

Deze sectoriële inspraak dient te worden overkoepeld en/of vervangen door een gecoördineerde inspraak en advisering, waarvoor zowel in de "Urgentienota Milieuhygiëne" van juli 1972 als in de regeringsverklaring van 1973 een centrale raad voor de milieuhygiëne wordt voorgesteld. Het is nl. gebleken dat ook de minister belast met het beleid voor de milieuhygiëne behoefte gevoelt aan een representatieve en breed georiënteerde raad die hem ten aanzien van dit beleid gevraagd en ongevraagd kan voorzien van adviezen waarin zowel de stem van de maatschappij als die van de wetenschap doorklinkt en waarin ook de inbreng van de niet-Rijksoverheden verzekerd is. Dit is temeer van belang omdat de kaderwetten ten aanzien van het milieu nader gestalte krijgen door middel van uitvoeringsbesluiten waarin het parlement als zodanig niet meer wordt gekend. Het zal de overzichtelijkheid en de samenhang in de beleidsadviesering ten goede komen wanneer er sprake is van één overlegraad voor het gebied van de milieuhygiëne. Zou men dergelijke raden per sector instellen, dus op het gebied van afval, geluid en bodem een raad als die inzake de Luchtverontreiniging, dan is het gevaar niet denkbeeldig dat daardoor de eenheid en de samenhang in de beleidsadviesering ten aanzien van de milieuhygiëne eerder verzwakt dan versterkt worden. Daarom zal er een structuur moeten worden gevonden waarbij aan het gevaar van versnippering het hoofd wordt geboden en de onderlinge samenhang zo goed mogelijk tot haar recht komt.

#### Taken van een Centrale Raad

Enkele taken van een centrale raad voor de Milieuhygiëne kunnen als volgt worden samengevat:

- De zorg voor het milieu is uitgegroeid tot een maatschappelijk probleem van de eerste orde: daarom is er een toenemende behoefte aan een gebundelde inspraak van maatschappelijke geledingen, van vertegenwoordigers uit wetenschappelijke kringen en van vertegenwoordigers van niet-Rijksoverheden.
- Het terrein van de milieuhygiëne is complex en vergt daarom dat de samenhang van het beleids-terrein goed in acht worden genomen. Voor wat de advisering betreft, is het gewenst dat de werkwijze en de taakopvatting ten aanzien van de verschillende onderdelen van het beleid zoveel mogelijk op



elkaar zijn afgestemd. Bovendien dient deze advisering tegen dezelfde beleidsachtergrond (beleids-"filosofie" en doelstellingen) plaats te vinden en dient de samenhang tussen de beleidssectoren te worden betracht.

- De raad kan bovendien adviserend optreden ten aanzien van diverse, zowel algemene als specifieke, voor het milieubeleid belangrijke aspecten en vraagstukken die niet als zodanig binnen één specifieke milieusector liggen.
- De raad kan een coördinerende taak vervullen bij de verstrekking van informatie aan de vele bestuurlijke en maatschappelijke groeperingen, maar ook aan de individuele burgers.

#### *Werkterrein van een Centrale Raad*

Globaal gesproken kan de in de Urgentienota Milieuhygiëne behandelde beleidsproblematiek een goed uitgangspunt bieden voor de aanduiding van het terrein van een Centrale Raad voor de Milieuhygiëne.

Uitgaande van het in de Urgentienota gestelde, heeft het milieuhygiënisch beleid in ruime zin betrekking op de zorg voor de fysische, chemische en biologische toestand van water, bodem, lucht en organismen en op het tegengaan of beperken van hinder, o.a. van geluid en straling, zulks ten behoeve van een evenwichtige ecologische relatie van mens en natuur en het terugdringen van schade aan gezondheid (somatisch en psychisch), landschap en materiële objecten.

Uit bovenstaande omschrijving blijkt een zekere heterogeniteit van aspecten. Een sectorsgewijze opdeling van beleidsterreinen voor water, bodem, lucht, straling, geluid enz. behoeft een zekere aanvulling door een benadering vanuit dwarsverbindingen.

#### **De huidige integratie van het milieubeleid**

De eenheid van het beleid wordt bevorderd

- in de Ministerraad door de onderraad voor ruimtelijk beheer (ruimtelijke ordening en milieubeheer);
- tussen de ministeries door de interdepartementale coördinatiecommissie voor milieuhygiëne (ICMH) en de interdepartementale coördinatiecommissie voor internationale milieuvraagstukken (CIM);
- in de Tweede Kamer der Staten-Generaal door de Vaste Commissie Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- in het wetenschappelijk onderzoek door de Commissie TNO voor het onderzoek ten dienste van het Milieubeheer (COM).

Maar de grondslag van ieder beleid is: goede gegevens, zoals bijv. over de emissie (uitworp) van stoffen in het milieu.

Eind augustus 1972 werd TNO door de directeur-generaal voor de Milieuhygiëne van het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne verzocht een voorstel te doen op welke wijze het beste de emissiegegevens kunnen worden verzameld en vastgelegd, zodanig dat:

- de methode van verzamelen en vastleggen van deze gegevens landelijk is zonder plaatsverschillen die interpretatieconflicten kunnen uitlokken;
- de industrie zoveel mogelijk medewerkt;
- alle bronnen worden onderzocht, dus ook bijv. verkeer en huisbrand;
- begonnen kan worden met een globale inventarisatie;

— de inventarisatie wordt begeleid door de hoofdinspecteur van de volksgezondheid belast met het toezicht op de hygiëne van het milieu en zijn regionale inspecteurs;

— geheimhouding wordt gewaarborgd.

TNO zal in zijn voorstel gebruik maken van het door de Technischer Überwachungs-Verein Rheinland e.V. ontwikkelde systeem voor het bepalen van de emissie in de lucht (zie ook [7]). Tevens zal worden bekeken hoe in een volgende fase water- en grondverontreinigingen op verwante wijze kunnen worden beschreven met dezelfde vastlegging van de geografische ligging van de bronnen.

In december 1972 brachten Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland een beleidsnota uit en een draaiboek, waarin maatregelen staan die de Commissaris der Koningin en de milieudiensten in Zuid-Holland kunnen nemen om de luchtverontreiniging te beperken. Dit document vermeldt dat in vergunningen zoveel mogelijk een voorschrift zal worden opgenomen dat het bedrijf verplicht zelf een emissiebalans of -register bij te houden.

Zo komt het vaststellen van de **emissie** van luchtverontreinigende stoffen meer en meer op de voorgrond. De kosten voor de eerste vaststelling voor geheel Nederland zijn geschat op ca. f 10 miljoen, aanzienlijk goedkoper dan een vergelijkbare **immissie** vaststelling met een meetnet voor een groot aantal componenten voor geheel Nederland, waarvoor men eerder aan ca. f 100 miljoen moet denken.

Met bovengenoemde besluiten en plannen is een begin gemaakt met een geïntegreerd beleid, dat men zich als volgt kan denken:

- vaststelling van de emissies van alle bronnen;
- studie van het verspreidingsmechanisme van geëmitteerde stoffen, hieruit volgt de immissie (= de concentratie in de lucht);
- studie van het (nadelig) effect van geëmitteerde stoffen op mens, dier en plant en anorganische wereld;
- het voorstellen van normen, gebaseerd op deze studies en afgestemd op industriegebied, woongebied en natuurgebied;
- harmoniseren van normen met buurlanden;
- studie van planologische gevolgen;
- voorstellen tot reductie van de emissie, het eerst en het meest voor giftige, schadelijke en hinderlijke stoffen;
- voorstellen voor een onderzoekprogramma aangepast aan bovenstaande doelstellingen.

Het zal veel onderzoek en studie vereisen om een geïntegreerd beleid te kunnen formuleren. Deze zeer ruwe, korte schets van een geïntegreerd beleid wordt alleen gegeven om de mogelijkheden te verduidelijken.

## **V. Literaturopgave**

Bij paragraaf I:

[1] F. M. Dautzenberg, J. E. Naber, A. J. J. van Ginneken, The Shell Flue Gas Desulphurization Process, *De Ingenieur*, 1972, nr. 43, M 9.

[2] Zie bijv. R. L. Zielhuis, Uitlaatgassen van gemotoriseerd verkeer, *De Ingenieur*, 1971, nr. 1, G 1.

[3] J. E. Yocom e.a., Samenvattend rapport aan de gemeentelijke geneeskundige en gezondheidsdienst van Rotterdam inzake een studie betreffende aspecten van milieuverontreiniging van de Maasvlakte, Rotterdam, oktober 1969.



- [4] W. J. Beek, Wat is de omvang van de milieuverontreiniging, Mens en Milieu; Prioriteiten en Keuze, Publikatie 8, Stichting Toekomstbeeld der Techniek, 's-Gravenhage, 1971.
- [5] E. F. Boon, Industry's responsibility towards pollution, De Ingenieur, 1972, nr. 5, A 93.
- [6] H. van Genderen, Grenswaarde voor de chemische verontreiniging van water, lucht en voedingsmiddelen. Een milieutoxicologische beschouwing, Project 1 (1973), nr. 2, 66.

Bij paragraaf II:

- [7] K. H. Lindackers e.a. Erhebung und katastermässige Dokumentation der Emissionen luftfremder Stoffe in die Atmosphäre, TÜV-Rheinland, Band 2, 1971.

Bij paragraaf III:

- [8] Verkeerstellingen oeververbindingen, Verkeersdienst Rotterdam.

- [9] Statistiek van de scheepvaartbeweging, C.B.S., 1970.

[10] E. Stresemann, Die medizinisch-biologische Bedeutung von Kraftfahrzeug-Abgase, Staub, **29** (1969).

[11] Atmospheric pollution from petrol engines, Report 1968/5, Motor Industry Research Ass.

[12] M. Estermann, Der Einfluss von Fahrweise und Motorgröße auf die Abgasmenge der Personenwagen im Stadtverkehr, ATZ, **70** (1968), 5.

[13] E. Mühlberg, Abgasrückführung bei Verbrennungskraftmaschinen, insbesondere bei Dieselmotoren, MTZ, **32** (1971), 5.

[14] W. F. Marshall, R. W. Hurn, Factors influencing Diesel emissions, SAE Transactions 77/111, 1968.

Bij paragraaf IV:

- [15] H. J. J. Leenen, Inleiding tot het milieuhygiënerecht.



Overzicht van reeds verschenen en binnenkort uit te geven Stichtingspublicaties.

- |  |  |  |
|--|--|--|
| 1. Toekomstbeeld der Techniek,<br>ir. J. Smit, 1968  | uitverkocht  |  |
| 2. Techniek en Toekomstbeeld,<br>Telecommunicatie in telescopisch beeld,<br>prof. dr. ir. R. M. M. Oberman, 1968   | uitverkocht  |  |
| 3. Verkeersmiddelen,<br>prof. ir. J. L. A. Cuperus en anderen, 1968  | f 10,—   |  |
| 4. Hoe komt een beleidsvisie tot stand?<br>ir. P. H. Bosboom, 1969   | 4,—  |  |
| 5. De overgangprocedure in het verkeer,<br>diverse auteurs, 1969   | 12,—   |  |
| 6. De invloed van goedkope elektrische<br>energie op de technische ontwikkeling in<br>Nederland,<br>dr. P. J. van Duin, 1971   | 5,—  |  |
| 7. Electrical energy needs and environmental<br>problems, now and in the future,<br>diverse auteurs, 1971  | 12,—   |  |
| 8. Mens en milieu: prioriteiten en keuze,<br>diverse auteurs, 1971   | 17,—   |  |
| 9. Het voeden van Nederland,<br>diverse auteurs, 1971  | 12,—   |  |
| 10. Barge Carriers: some technical, economic<br>and legal aspects;<br>drs. W. Cordia, mr. G. J. W. de Vries en<br>ir. N. Wijnolst, 1972  | 20,—   |  |
| 11. Transmissiesystemen voor elektrische<br>energie in Nederland;<br>prof. dr. J. J. Went, ir. A. Govers,<br>drs. M. C. Lelie en prof. ir. H. Wiggerts,<br>1972  | 12,—   |  |
| 12. Elektriciteit in onze toekomstige energie-<br>voorziening: mogelijkheden en<br>consequenties;<br>dr. ir. H. Hoog, ir. P. J. Wemelsfelder,<br>prof. ir. D. G. H. Latzko, dr. D. J. Kroon en<br>prof. ir. J. J. Broeze, 1972   | 15,—   |  |
| 13. Communicatiestad 1985: elektronische<br>communicatie met huis en bedrijf;<br>prof. dr. ir. J. L. Bordewijk e.a.,<br>ir. D. van den Berg, dr. W. Horn, 1973   | 16,—   |  |
| 14. Techniek en preventief gezondheidsonderzoek;<br>dr. M. J. Hartgerink, dr. H. H. W. Hogerzeil<br>prof. dr. ir. P. Eykhoff, prof. dr. J. C. M.<br>Hattinga Verschure, prof. dr. H. J. J. Leenen,<br>dr. P. Gootjes, prof. dr. A. H. Wiebenga,<br>ir. D. H. Bekkering, 1973 | f 18,—   |  |
| 16. Mens en milieu: beheerste groei;<br>diverse auteurs, 1973  | 20,—   |  |
| 17. Mens en milieu: zorg voor zuivere lucht;<br>diverse auteurs, 1973  | 20,—   |  |
| 18. Mens en milieu: Kringloop van materie;<br>diverse auteurs, 1973  | 20,—   |  |
|  | Binnenkort zal verschijnen:  |  |
|  | 15. Technologisch verkennen: doelstellingen<br>en methoden;<br>drs. Th. M. A. Bemelmans, ir. A. van der<br>Lee, dr. ir. W. J. Beek, 1973 |  |

De publicaties kunnen worden besteld door overmaking van het aangegeven bedrag op postgiro-nummer 1609900 van de Stichting te 's-Gravenhage, onder vermelding van het nummer van de gewenste publicatie.

Publicaties kunnen ook tegen contante betaling worden afgehaald van het kantoor van de Stichting, Prinsessegracht 23, 's-Gravenhage. In dat geval wordt een korting van f 2,— per publicatie verleend.



T  
T