

Uitlaatgassen van gemotoriseerd verkeer II*

Medisch-biologische gezichtspunten

Prof. dr. R. L. ZIELHUIS** te Oegstgeest

Lood

Aan benzine wordt in de regel organisch lood toegevoegd in de vorm van tetra-aethyllood (TEL) of tetramethyllood (TML). In Nederland bevat zij meestal 500-600 mg Pb/l (Guicherit 1970, Eilers 1970); totaal is dit voor ons land ca 1500 ton. Volgens Guicherit zou via de uitlaatgassen ongeveer 1000 ton/jaar in onze atmosfeer terecht komen. Dit klopt met zijn mededeling dat ongeveer 3/4 van het toegevoegde lood in fijn verdeelde toestand uitgestoten wordt als deeltjes lood, loodoxyde, loodfosfaat, loodhalogeniden en complexe verbindingen.

Een Amerikaanse auto produceert 5-60 μg Pb/l uitlaatgas bij 25-60 mijl/uur. Dit geschiedt dan in de vorm van deeltjes die een zeer kleine doorsnee hebben, gemiddeld 0,12 - 0,6 μ , derhalve zeer goed respirabel. Het bleek bijv. in een bepaald onderzoek dat de totale Pb-uitworp slechts 1,1 á 1,4 x de respirabele Pb-uitworp bedroeg (Mueller 1970, Habibi 1970). Ook Cholak et al. (1968) vonden bij een drukke autoweg 50% van de deeltjes $<0,3 \mu$, 70% $<1 \mu$, 90% $<5 \mu$; gemiddelde diameter 0,3 μ .

Ault et al. (1970), Gast (1970) en Holtzmann (1970) bespraken een recente methodiek om de weg van het uitlaatgassen afkomstige Pb beter te kunnen vervolgen. Elementair Pb bestaat uit verschillende isotopen. Men onderzocht nu de verhouding $\text{Pb}^{206}/\text{Pb}^{204}$; deze bleek in de buurt van autowegen lager te liggen, overeenkomend met de samenstelling van lood in benzine in onderscheid van bijv. kolen***. Men stelde zelfs voor het Pb opzettelijk te labelen om zodoende beter de weg van op rekening van het verkeer te schrijven lood te kunnen vervolgen.

Vooraf in de VS heeft men veel metingen verricht over de mate van luchtverontreiniging met lood. Een overzicht geven Landau et al. (1969). Het blijkt dan dat het lood in de inademenslucht voor het grootste deel op rekening te brengen is van het verkeer; over een groot aantal plaatsen berekend was 50% van de variaties in luchtconcentratie terug te voeren op verschillen in lokale benzineverkoop; de overige 50% varieerde vnl. met de verkeersintensiteit bij de plaats van sampling. Er is

bovendien in het algemeen een redelijke correlatie tussen gemiddelde CO- en loodconcentratie (jaarlijks CO in ppm/Pb in $\mu\text{g}/\text{m}^3 = 3,3 - 7,5$; gem. 4,94). In de VS vond men in grote steden jaarlijks gemiddelde 24-uursconcentraties van 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cincinnati), 1,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Philadelphia), 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Los Angeles) met spreidingen tot 3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Over kortere tijden gemeten komt men tot aanzienlijk hogere waarden: 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Cincinnati), 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Los Angeles), als gemiddelde over aantal uren per dag. Op drukke dagen vond men op een „freeway” concentraties van 67,5 - 71,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Konobinski 1967). Men mat verder halfuurs-gemiddelden binnen auto's van 5 - 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dus vele malen de gemiddelde 24-uursbuitenluchtconcentratie.

Daines et al. (1970) onderzochten de loodconcentraties in de lucht afhankelijk van verkeersintensiteit en afstand van de snelverkeersweg. Er bestond een duidelijk onderling verband; tussen 3 en 50 m van de weg af was er een 50% daling die bij grotere afstand veel geleidelijker verliep.

In ons land is nog maar weinig onderzoek verricht. Het IG-TNO (1970a en b) bemonsterde in 1968 en in 1969 de buitenlucht op 150 m afstand van de weg Den Haag-Rotterdam onder Delft: 50% van de waarden lagen in 1968 $<0,22 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$, 80% $<1,0 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$, 90% $<1,5 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$; het maximum lag bij 10 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$; in 1969 waren er veel minder dagen dat Pb niet aantoonbaar was; de concentraties in de winter zijn hoger dan in de zomer (metereologische invloed). Bij de grenspost Zevenaar/Beek werden in 1969 in afhankelijkheid van de verkeersintensiteit waarden in de orde van grootte van 5-20 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ gevonden en zelfs maxima van 37,7 en 70,9 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$. In de stad Delft werden door het IG-TNO in najaar 1969 loodconcentraties gevonden variërend van $<0,1 \mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ tot 6,1 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$, afhankelijk van de verkeersintensiteit.

In Rotterdam (Cie-Bodem Water Lucht 1970) stegen in de loop van 1966-1969 de maandmaxima duidelijk: 1966-1967: 0,4-0,5; 1968: 0,5-0,7-1,5; 1969: meestal boven 1,2 met max. 1,98 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$.

Men kan uit het voorgaande concluderen dat bewoners van streken met een behoorlijke verkeersintensiteit over 24 uren blootgesteld kunnen zijn aan gemiddelde concentraties van 1-2 $\mu\text{g Pb}/\text{m}^3$ met soms veel hogere pieken, wat vooral bij beroepschauffeurs, verkeersagenten, autoforenzen tot hogere gemiddelde blootstelling aanleiding kan geven.

Het uitgeworpen lood blijft echter niet in de lucht; het slaat voor een groot deel neer langs de

* Deel I in T. soc. Geneesk. 49 (1971) 585

** Hoogleraar-directeur Coronel Laboratorium voor Arbeidshygiëne, Universiteit van Amsterdam

*** Een complicerende factor is dat de isotopenverhouding sterk afhankelijk is van de geologische tijd m.a.w. van de plaats van winning

weg tot op aanzienlijke afstanden. We komen hier bij het vraagstuk van de verontreiniging van bodem, water, plant en dier. Dit staat de laatste jaren in het centrum van de belangstelling. Het is hier niet de plaats uitgebreid op dit type onderzoek in te gaan. Enkele conclusies uit onderzoeken (bijv. *Schuck en Locke 1970, Dedolph et al. 1970, Ter Haar 1970, Motto et al. 1970*) mogen hier volgen:

— $PbCl_2$ -houdend water wordt zeer snel aan grond geadsorbeerd, zodat uittredend water geen Pb bevat; bodemverontreiniging betekent dus niet zonder meer waterverontreiniging;

— het in eetbare delen aanwezige lood kwam bij tomaat, aardappelen, gerst, wortels, kool, bonen, rogge vooral op rekening van het in de grond aanwezige Pb; dit gold echter niet voor de bladeren die wel verontreinigd werden vanuit de lucht. De Pb-hoeveelheid in en op slablad hing hiermede bijv. wel samen;

— de hoeveelheid Pb in de grond is echter weer mede afhankelijk van de verkeersintensiteit.

Nog veel onderzoek is nodig om kwantitatief vast te kunnen stellen hoe groot de effectieve bijdrage van deze vorm van verontreiniging is voor plantenetend mens en dier.

In ons land luidde *Rameau (1968)* de noodklok. Langs autowegen gemaaid ongewassen gras bevatte 8 tot 20 maal de normale loodgehalten (normaliter 5 mg/kg droge stof); in de middenberm was de factor zelfs 100; ook het loodgehalte van de grond was sterk gestegen (totaal lood normaliter 8-73 mg/kg; uitwisselbaar Pb 0-3 mg/kg); in melkmonsters vond hij 26 en 33 μg Pb/l, in drinkwater op een boerderij 29 μg /l. Volgens deze auteur ging het vooral om oppervlaktecontaminatie. In Zwitserland zou men een significant negatieve correlatie ($r = -0,746$) gevonden hebben tussen loodgehalte en assimilatieactiviteit van dennennaalden. Het IG-TNO (1969) mat bij grenspost Zevenaa Beek in de middenberm 376 mg Pb/kg gras (droog gewicht), naast de weg aflopend van 116 mg Pb/kg tot 9 mg Pb/kg al naar de afstand van de zijberm; de grond van de middenberm bevatte 376 mg/kg, van de zijberm 200 mg/kg.

Uit het voorgaande kan worden geconcludeerd dat het autoverkeer aanleiding geeft tot een verhoogde belasting van inademiningslucht en ook van het voedsel. Wat betekent dit nu voor de gezondheid? Het is dan eerst nodig na te gaan tot welke verhoging van de „body burden” dit alles zal leiden. Dit is onlangs uitgebreid behandeld door *Kehoe (1969), Stopps (1969), Hardy (1969), Goldsmith (1969)* en *Grundy (1969)*.

Uit deze overzichten, waarvan de auteurs zich deels kritisch tegen elkaar opstellen, willen wij de volgende punten aanstippen ten aanzien van de „body burden” aan lood in afhankelijkheid van de uitworp door het verkeer:

— volgens *Kehoe* zou een progressieve toename van Pb-concentratie in bloed (10-40 μg Pb/100 ml) over de laatste decennia niet aangetoond kun-

nen worden; over vroeger tijden bestaat veel onzekerheid; volgens sommigen zouden de Pb-concentraties in botten van oermensen van gelijke orde van grootte zijn als bij de hedendaagse mens;

— het via het verkeer in de buitenlucht gebrachte lood is grotendeels respirabel;

— in experimenten verricht door *Kehoe* bleek dat 25-50% van lood met deeltjesgrootte 0,01-0,2 μ tijdens het experiment niet meer uitgedemd werd; dit is echter nog niet hetzelfde als blijvende retentie in het lichaam;

— door *Schroeder en Tipton (1968)* is in een weliswaar beperkt onderzoek gevonden dat bij Amerikanen met toenemende leeftijd (tot 60 jr) de loodconcentratie niet alleen in bot maar ook in bepaalde organen toenam, maar dit laatste was niet het geval buiten de VS: *Kehoe* weigert deze gegevens voorts nog te aanvaarden als bewijs voor toenemende „body burden” aan lood;

— we mogen ons niet laten leiden door gemiddelde waarden van bevolkingsgroepen maar moeten vooral onze aandacht richten op bepaalde subgroepen die vanwege de verkeersintensiteit aan hogere Pb-opname zijn blootgesteld (*Hardy*). *Thomas et al. (1967)* onderzochten het bloedloodgehalte bij personen die dicht bij een snelweg woonden en verder er van af; voor mannen en vrouwen bedroegen de gemiddelde waarden 22,7 en 16,7 tegenover 16,0 en 9,9 μg Pb/100 ml. *Ludwig et al. (1965)* zagen ook wel degelijk verschillen in bloedconcentraties tussen bijv. bewoners van steden en van het platteland, hogere waarden bij mannen dan bij vrouwen, meer bij parkeerwachters en chauffeurs; men vond bijv. opklimmende waarden van gemiddeld 20 μg Pb/100 ml bij bewoners van buitenwijken, 28 μg Pb/100 ml bij pendelaars, 30 μg Pb/100 ml bij bewoners van het centrum, 33 μg Pb/100 ml bij politieagenten. Overigens merkte *Hardy* terecht op dat het niet primair gaat om het loodgehalte in het bloed maar om dat in de organen;

— volgens *Grundy* gaat de International Commission on Radiological Protection uit van 80% resorptie van alimentair lood en 29% resorptie van inhalatoir lood. De toevoer met de huidige voeding is 300-500 μg /dag, dit komt dus neer op resorptie van $0,08 \times 400 = 32 \mu g$ /dag. Indien we het ademminuutvolume voor 24 uur stellen op 20 m³, leidt blootstelling aan gemiddeld 1 μg Pb/m³ tot een resorptie van $0,29 \times 20 \times 1 = 5,8 \mu g$ /dag; voor gemiddeld 2 en 3 μg /m³ wordt dit 11,6 en 17,4 μg /dag. Indien we bovendien de opname via de voeding afhankelijk denken van de milieubelasting en met *Patterson (1965)* hiervoor een factor 20 invoeren, zou in maagdelijke gebieden totaal per dag opgenomen worden (voeding: 20 μg Pb/dag; lucht 0 μg Pb/m³): $0 + 0,08 \times 20 = 1,6 \mu g$ Pb/dag, tegenover in verontreinigd milieu $32 + (5,8 \text{ tot } 17,4) = 37,8 \text{ tot } 49,4 \mu g$ /dag. We moeten overigens wel bedenken dat de verontreiniging van de voeding zeker niet geheel op rekening van het verkeer mag worden geschreven. Men kan als orde van grootte vermoedelijk stellen dat alleen al door het verkeer de

dagelijkse opname gemiddeld 15-30 µg/dag zal kunnen toenemen d.i. 5,5 mg tot 11 mg/jaar, over 50 jaar 250 tot 500 mg; hierbij is dan nog niet rekening gehouden met bepaalde bevolkingsgroepen die door hun werk- of woonpatroon duidelijk hogere loodopname zullen tonen;

— het is algemeen bekend dat lood sterk cumuleert. De reeds geciteerde International Commission on Radiological Protection (Grundy 1969) geeft als biologische halfwaardetijd voor lood op: in lichaam als geheel 1460 dagen, in bot 3650 dagen, in lever 1947 dagen, in nier 531 dagen. Dit wil zeggen dat een zeer groot deel van de genoemde 250-500 mg ook werkelijk in het lichaam achterblijft. Reichel et al. (1970) gingen na of de Pb-concentratie werd beïnvloed door verblijf gedurende 3 uur in de nabijheid van een drukke verkeerskruising; bij 44 verkeersdeelnemers resp. 10 politieagenten steeg het gemiddelde Pb-gehalte in het bloed van 15,1 tot 23,0 µg Pb/100 ml, resp. 12,2 tot 26,2 µg Pb/100 ml. De onderzoekers vinden deze stijging terecht onbegrijpelijk hoog; hiervoor zou minimaal 250 µg Pb/m³ in de inademiingslucht aanwezig moeten zijn. Zij suggereren dat er tevens een mobilisatie van het Pb-depot opgetreden zou zijn. De resultaten van dit onderzoek verdienen zeker eerst nog bevestiging alvorens er bewijskracht aan te verlenen; tevens moet dan ook de lucht zelf worden bemonsterd.

Wat heeft deze extra „body burden” nu te betekenen? Hier lopen de inzichten van Kehoe en Stopps enerzijds, en van Hardy, Goldsmith en Grundy anderzijds uiteen. Het blijkt overduidelijk dat het hier niet alleen gaat om verschil in onderzoeksmethodiek (het al dan niet veel aandacht schenken aan veranderingen in biochemische parameters) maar vooral ook om verschil in keuze bij het afwegen van potentiële veranderingen. Men gaat uiteen bij de vraag wat uit-oogpunt van gezond-zijn van belang moet worden geacht.

De standpunten van Kehoe en Stopps kunnen als volgt worden samengevat:

— hoewel ontegenzeggelijk de mogelijkheid tot loodopname voor de moderne mens groter is dan in vroeger tijden, bestaat er geen enkele indicatie dat dit tot ongewenste effecten bij de mens aanleiding heeft gegeven. Het is niet juist te stellen dat iedere toename van lood in de omgeving op zich zelf gevaarlijk zou zijn: men gaat er ten onrechte van uit dat lood als niet-essentieel element, als gift, als biologisch nutteloze stof reeds dáárom gevaarlijk is hoewel men geen aandacht schenkt aan de kwantitatieve kennis omtrent de relatie dosis-effect. Op dit ogenblik kan het niet aan twijfel onderhevig zijn dat de mate van blootstelling die nodig is om vergiftiging te veroorzaken aanzienlijk groter is dan overeenkomt met de loodbelasting van onze omgeving;

— de verdraagbare biologische loodbelasting heeft als criteria: afwezigheid van 1 significante progressieve cumulatieve, 2 ziekteveroorzakend of conditionerend effect en 3 verstoring van enige essentiële functie. De cumulatie zou afgelezen kunnen

worden uit progressieve stijging van bloedloodgehalte; een essentiële functie betreft een vitaal fysiologisch proces. Kehoe wil een stijging van de δ-aminolaevulinezuuruitscheiding niet zonder meer accepteren als een verstoring van deze dergelijk vitale functie. De moeilijkheid van deze formulering van criteria ligt volgens Kehoe in het feit dat zij negatief is en dat er nog leemten in kennis bestaan t.a.v. potentiële effecten;

— bij blootstelling aan anorganisch lood staat vast dat beneden een bloedloodconcentratie van 80 ± 10 µg Pb/100 ml geen loodvergiftiging dreigt noch bij volwassenen noch bij kinderen. Men kan er van uitgaan, hoewel nog meer onderzoek nodig is, dat bij de huidige blootstelling door de bevolking geen verhoging van δALA- en coproporphyrine-uitscheiding optreedt;

— er is nog nooit geconstateerd dat enige ziekte of verstoring van de gezondheidstoestand is opgetreden tengevolge van de blootstelling aan lood in de algemene omgeving;

— men moet zijn aandacht primair richten op het functioneren van de gehele mens en niet op die van afzonderlijke enzymsystemen;

— via deze redeneringen kan men de door de Am. Industr. Hyg. Ass. (1969) gestelde MIC-waarde voor lood van 10 µg Pb/m³, gemiddeld over 30 dagen, als juist aanvaarden*.

Hardy, Goldsmith en Grundy stelden zich kritisch op tegenover deze opvattingen. Hun opmerkingen kunnen als volgt worden samengevat:

— er is nog onvoldoende experimenteel onderzoek verricht naar potentieel schadelijke effecten bij mensen en dieren die herhaaldelijk aan subtoxische doses zijn blootgesteld. Leemten in kennis zijn bijv.: de betekenis van interindividuele verschillen in resorptie en in response; de invloed van de leeftijd; het bestaan van „inborn errors of metabolism”; de betekenis van intercurrente ziekten;

— men moet niet spreken over „de” loodexpositie van „de” mens vanuit „de” omgeving; men moet echter meer aandacht besteden aan bepaalde groepen met hogere blootstelling dan de gemiddelde bevolking; hetzelfde geldt voor gevoelige groepen;

— het loodgehalte van het bloed is geen goede maat voor de totale in het lichaam opgeslagen hoeveelheid lood; dit blijkt wel uit EDTA-provocatie-tests. Niet het lood in bloed of urine is de uiteindelijke indicator voor de chemische belasting maar het lood aanwezig in de orgaanweefsels (bijv. nier en lever);

— verstoring van de porphyrinestofwisseling blijft nog jaren bestaan bij in de industrie blootgestelde personen nadat ze zijn overgeplaatst naar loodvrij werk. Men moet veel meer aandacht schenken aan de zeer sensitieve indicatoren voor deze verstoring o.a. aan het enzym δ-ALA-dehydratase;

* Terloops zij e op gewezen dat in Rusland 10 µg Pb/m³ als MAC-waarde voor de industriebevolking geldt

— de MIC-waarde moet niet afgestemd zijn op de gemiddelde bevolking maar op gevoelige groepen hieruit;

— *Goldsmith* komt tot een over lange tijd gemiddelde MIC-waarde van $2,0 \mu\text{g Pb/m}^3$, dus 1/5 van de bovengenoemde grenswaarde;

— indien de loodexpositie teruggebracht kan worden moet het ook gebeuren; men verliest tijd als men naar wetenschappelijke argumenten zoekt.

Een recent gepubliceerd onderzoek van *Tansey* en *Roth* (1970) naar het loodgehalte in de organen van stadsduiven uit Philadelphia en van duiven van het platteland verschaft belangrijke steun aan de opvattingen van *Hardy* en *Goldsmith*. Zowel in de botten als in de organen (lever en nier) hadden de stadsduiven aanzienlijk hogere loodgehaltes terwijl de concentratie in het bloed niet hoger was dan bij de plattelandsduiven. De auteurs meenden aanwijzingen er voor te hebben dat het verschil vooral zou berusten op ongelijksoortige respiratoire opname. Hun argumentatie in dit opzicht is zeker niet sluitend maar eens te meer vonden zij een aanwijzing dat het bloedloodgehalte geen goede afspiegeling gaf van de „body burden” en van de gehalten in organen.

De twee opvattingen hechten kennelijk verschillende waarde aan de soort van de te onderzoeken effecten en de te onderzoeken groepen. De weg gaat duidelijk uiteen bij het maken van de verschillende keuzes die ten grondslag liggen aan aanvaardbare grenswaarden (*Zielhuis* 1969).

Enkele jaren geleden stelde *De Bruin* (1968) reeds op grond van dierexperimenteel onderzoek en observaties bij in het beroep nauwelijks blootgestelde personen dat de kans groot is dat de onder de normale bevolking gevonden enzymactiviteit van δ -ALA-dehydratase in de erythrocyten al afhankelijk is van de als normaal beschouwde „range” van bloedloodconcentraties. Dit is nu recent door *Hernberg* en *Nikkanen* (1970) bevestigd. Onder 26 bewoners van Helsinki met een bloedloodgehalte van $5-15 \mu\text{g Pb/100 ml}$ (1×33) vonden zij significant negatieve correlatie met de activiteit van genoemd enzym ($r = -0,83$). Dit wil zeggen dat de „normale” loodopname reeds interfereert met de porphyrinestofwisseling.

Een ten aanzien van potentiële effecten ook voor de mens wellicht relevant dierexperiment werd verricht door *Bingham* (1969): ratten inhaleerden 3-12 maanden Pb_2O_3 in concentraties van 0,1 (controle), 10 en $150 \mu\text{g Pb/m}^3$; bij inhalatie van $10 \mu\text{g Pb/m}^3$ ontstond na 3-4 dagen (bij $150 \mu\text{g/m}^3$ binnen 24 uur) een daling van het aantal alveolaire macrophagen; herstel trad snel op bij 3 maand-proeven; wellicht langzamer bij blootstelling gedurende 12 maanden, waarbij vermoedelijk tevens de leeftijd een rol ging spelen. Men kan - althans hypothetisch - stellen dat inhalatie van $10 \mu\text{g Pb/m}^3$ de zelfverdediging van het organisme tegen microben zou kunnen verstoren.

In het voorgaande is echter reeds gesteld dat het hier zeker niet alleen gaat om blootstelling direct

via het verkeer. Indien we nu als wenselijk stellen dat elke systeemvreemde chemische belasting van het biologisch functioneren ongewenst is, wordt wel duidelijk dat niet alleen het van het verkeer afkomstige lood zo ver mogelijk moet worden terug gedrongen maar ook dat wat via de voeding opgenomen wordt. In dit verband is het dan ook verrassend te moeten vaststellen dat de „acceptable daily intake” via de voeding van bijv. DDT en dieldrin volgens zeer veel strengere criteria wordt vastgesteld dan die van het klassieke lood. Er blijkt in geen enkel opzicht sprake van een logisch uniforme benadering van de aanvaardbare chemische belasting van onze biologische systemen. Het is dan ook niet juist een aanvaardbare MIC-waarde te suggereren voor respiratoire opname, daarbij zich baserend op een orale opname, die niet in samenhang en volgens dezelfde criteria op haar aanvaardbaarheid is getoetst.

Tenslotte is er nog een ander probleem. Zeer recent vroeg *Schuilings* (1970) aandacht voor de fysisch-chemische halfwaardetijd van lood, op wereldschaal beschouwd. De gemiddelde verblijftijd van Pb-atomen in de oceaan is te stellen op 400 jaar; ook bij niet stijgende wereldproductie van lood zal de huidige Pb-concentratie op den duur asymptotisch stijgen tot 30 x de waarde nu. Ook dit is niet alleen een probleem geschapen door het verkeer; de wereldproductie van lood is nu 3 miljoen ton/jaar en slechts 10-20% er van gaat in de antiklopmiddelen. Volgens *Junge* (1969) is het loodgehalte in sneeuw van 800 voor Christus tot 1950 geleidelijk gestegen maar daarna trad er een abrupte toename op. Het is duidelijk dat wat we nú doen, eeuwen lang een effect zal uitoefenen op de concentratie in de oceanen waarin nu reeds 40 miljoen ton lood is opgelost, met wellicht gevolgen voor het biologisch leven. Uit oogpunt van milieuverontreiniging door het verkeer moet de zeer lange fysisch-chemische halfwaardetijd, die overigens zoals beschreven haar correlaat vindt in de lange biologische halfwaardetijd, ons tot uiterste voorzichtigheid manen.

Men kan het dan ook zeker niet eens zijn met de stelling van de benzineproducerende industrie dat de enige noodzaak om het loodgehalte in de benzine te beperken, gelegen is in het feit dat het hierdoor pas mogelijk wordt de uitworp van andere verontreinigers te verminderen (o.a. *Hoog* 1970).

De „ethylfluid” bevat naast TEL en TML ook ethyleenbromide en -chloride; in de uitlaat komen loodhalogeniden vrij; 95% van Br-productie in de VS zou in de „ethylfluid” gaan d.w.z. bijv. $12,5 \times 10^7$ kg Br in 1967. Men kan de belasting van de atmosfeer schatten op $2,5 - 9 \times 10^7$ kg broom/jr en op $2 - 8 \times 10^7$ kg chloor/jr (*Loucks* en *Winchester* 1969).

Andere metalen

Het verkeer blijkt ook mede verantwoordelijk voor verontreiniging van het milieu met andere metalen. *Lagerwerff* en *Specht* (1970) onderzochten

de grond en vegetatie naast een verkeersweg op Pb, Cd, Ni en Zn. Sommige benzines bevatten Ni en bovendien kan het door afschuren van nikkel autodelen in de atmosfeer komen; Zn en Cd komen voor in smeeroliën en in autobanden en verder in gegalvaniseerd zinken onderdelen. In grond en vegetatie bleek de concentratie van deze metalen af te nemen met de afstand van de verkeersweg; er was behalve voor Pb geen goede correlatie tussen de concentratie in de grond en in het gewas. Men constateerde tevens een dalende concentratie van N, P en halogenen als functie van de afstand tot de verkeersweg. Het Cd - dat hoe langer hoe meer op de voorgrond treedt als potentieel mede verantwoordelijk voor bijv. hart-vaataandoeningen - cumuleerde sterker in de planten dan het Pb, vooral in de zure grond.

Carcinogenen, mutagenen, teratogenen

Aan de uitworp van carcinogenen schonk *Eilers* (1965) niet lang geleden uitgebreid aandacht. Wij zullen er daarom kort over zijn.

Zeer waarschijnlijk zijn de in de buitenlucht aange troffen carcinogene gecondenseerde cyclische koolwaterstoffen maar voor een klein deel afkomstig van het verkeer; de hoofdschuldige ligt in het gebruik van vaste brandstoffen. Dieselauto's produceren veel meer benzpyreen dan benzineauto's; in een bepaald onderzoek bedroeg het verschil een factor 4. Vermoedelijk is voor de vorming van benz(a)pyreen het acetyleen een belangrijke bouwsteen; het polynucleaire product zou dan ontstaan doordat eerst de benzine wordt gekraakt tot laagmoleculaire radicalen van waaruit, indien niet genoeg zuurstof aanwezig is, polycyclische gecondenseerde verbindingen ontstaan. *McKee* (1970) wees er op dat meer polynucleaire aromaten ontstaan vanuit aromaatrijke benzine; indien men nu een hoog octaangetal wil waarborgen bij loodvrije benzine kan men dit bereiken door aromaten toe te voegen. Men gaat dan echter de ene „hazard” vervangen door een andere.

Oudere auto's verbruiken meer olie en stoten daardoor meer benz(a)pyreen uit (*Hangebroek* et al. 1966); deze auteurs vonden in het algemeen een relatie tussen CO- en benz(a)pyreenemissie; voor de onderzochte auto's was dit bij 45 g CO/mijl 11 µg benz(a)pyreen/mijl; voor trucks waren de getallen respectievelijk 84 g/mijl en >40 µg/mijl.

Het IG-TNO (1969) bepaalde in de buitenlucht in Delft en bij de grenspost Zevenaar/Beek polycyclische koolwaterstoffen die vermoedelijk voor een aanzienlijk deel afkomstig waren van het verkeer. In oktober werden in een straat in Delft overdag aanzienlijk hogere concentraties gevonden dan 's nachts bijv. per 1000 m³ 10-20 µg benzpyreen (1-2, 3-4) en benzperyleen, terwijl deze 's nachts niet aantoonbaar waren. De relatieve concentraties van de verschillende polynucleaire koolwaterstoffen lagen in Zevenaar anders dan bij een wintermeting in de stad gedurende een periode van zware mist. De waarnemingen van *Sawicki* et al. (1962) dat ho-

ge percentages coroneen en benzperyleen een index zijn voor de afkomst van het verkeer werden bevestigd.

Hoffmann et al. (1965) onderzochten de carcinogeniteit van polynucleairen uit de uitlaat van een benzinemotor; dit gebeurde in een huidtest bij muizen over 18 maanden. De cancerogene activiteit van de uitlaat kwam vooral op rekening van de polynucleaire aromatische koolwaterstoffen met 4, 5 en 6 ringen. Hiermede zijn wel de potentiële kankerverwekkende eigenschappen voor de mens aangetoond maar epidemiologisch onderzoek heeft tot nu toe dit verband niet kunnen bevestigen. Dit is overigens zeer wel begrijpelijk daar het sigarettroken hier als sterk versturende factor door heen speelt en bovendien de polynucleairen in de inademiingslucht voor het grootste gedeelte een andere bron hebben.

Indien men echter uitgaat van de door velen aanvaarde hypothese, dat carcinogene stoffen (en hetzelfde zou gelden voor mutagenen) geen drempelwaarde kennen, moet men principieel er op staan dat de aanwezigheid in de buitenlucht tot het uiterste minimum wordt teruggedrongen. Het is per definitie onmogelijk hier te komen tot een aanvaardbare immissiewaarde; deze moet liggen beneden de grens van analytische aantoonbaarheid.

Over mutagene of teratogene effecten van door het verkeer veroorzaakte verontreinigingen is niets bekend.

Stikstofoxyden

Als volgende belangrijke verontreiniger moet worden genoemd de familie der stikstofoxyden waarvan vooral het stikstofmonoxyde (NO) en het stikstofdioxyde (NO₂) voor het onderhavige onderwerp van belang zijn. Tijdens de relatief hoge verbrandingstemperatuur in de motor verbindt zich het uit lucht afkomstige N met O₂ waarbij NO ontstaat. Deze NO-productie is maximaal bij een lucht-benzineverhouding van ongeveer 15,3, dus met iets overmaat lucht, en neemt snel af tot zeer laag bij verhoudingen van 10 resp. 20 (*Hurn* 1969). Opvoeren van deze verhouding teneinde de CO- en KW-emissie te beperken, leidt steeds tot een hogere emissie van N-oxyden. Ook hogere compressieverhouding bevordert de NO-vorming. Deze NO wordt nu snel omgezet in NO₂, afhankelijk van concentratie en temperatuur. Bij 0,1 ppm NO is de halfwaardetijd 1000 uur (*Hine* 1969).

Larsen (*Hine* 1969) berekende dat in de VS totaal 8 miljoen ton N-oxyden zou worden geproduceerd waarvan 39% afkomstig zou zijn van het verkeer maar voor Los Angeles wordt een veel hoger percentage aangenomen (66%). Volgens *Commo-ner* (1969) is in de VS de productie van N-oxyden door het verkeer meer dan 1/3 van de N aanwezig in kunstmest. Men zie ook in het voorgaande reeds gegeven totalen waarbij de productie in ons land voor rekening van het verkeer werd geschat op 16.000 - 50.000 ton N-oxyden per jaar. De N-oxydeproductie is ten opzichte van de kruissnelheid re-

latief laag tijdens stationair draaien en tijdens vertraging, maar hoog tijdens de versnelling (Luther 1961, zie Tabel 1*).

De emissie van N-oxyden geeft aanleiding tot bepaalde concentratie in de buitenlucht in afhankelijkheid van de verkeersintensiteit. In het algemeen zijn deze nog vrij laag. Uitgedrukt als NO₂ vindt men meestal concentraties lager dan 0,1 ppm, behalve bij intensief verkeer waar 1 ppm is aangetoond. In Los Angeles echter zijn piekwaarden waargenomen tot 2,29 ppm, zelfs eenmaal bijna 4 ppm (WGO 1969). Als 8-uursgemiddelde komt men in Californië tot 0,1 à 0,2 ppm, in andere Amerikaanse steden is deze veel lager (Hine 1969).

Het IG-TNO (1969) verrichtte enkele metingen in Nederland. In grof oriënterende metingen kwam men bij de grenspost Zevenaar/Beek tot 0,2 à 0,5 ppm. In Delft varieerde het NO₂-gehalte in afhankelijkheid van de verkeersintensiteit van 20 µg/m³ (0,01 ppm) tot 80 à 100 µg/m³ (0,05 ppm) met enkele pieken tot 150 à 170 µg/m³ (0,1 ppm). In Rotterdam (Cie-Bodem Water Lucht 1970) blijkt juist op meetpunten met verkeersopstoppingen de maximale immissieconcentratie aan NO₂ in de loop van 1966-1969 te stijgen (factor 10).

Wat is nu het effect op de mens? De betekenis van N-monooxyde als zodanig is nog onzeker; de betekenis ligt vooral in het fungeren als bron voor N-dioxyde. Mueller en Hitchcock (1969), Cooper en Tabershaw (1966) gaven overzichten van de dosiswerkingsrelaties voor NO₂. Deze kunnen als volgt worden samengevat:

- in dierproeven werkt NO₂ - betrekkelijk weinig oplosbaar in water - op de perifere luchtwegen: ontsteking met desquamatie van alveolair epitheel, perivasculaire infiltratie, dilatatie van capillairen;

- in dierproeven is gevonden dat blootstelling aan concentraties zoals die soms in de buitenlucht voorkomen pathologische veranderingen kan teweegbrengen die ten grondslag zouden kunnen liggen aan ziekteprocessen. Zo kan langdurige blootstelling leiden tot emfyseemachtige beelden; er waren zelfs al indicaties hiervoor bij blootstelling aan 0,8 ppm gedurende het gehele leven (ratten); idem bij 0,5 ppm 6 tot 24 uur per dag gedurende 3 weken (muizen). Er bleek een verhoogde gevoeligheid voor bacteriële pneumonie bij 0,5 ppm gedurende 3 maanden (muizen). Blootstelling van konijnen aan 0,25 ppm 4 uur/dag gedurende 6 dagen had een denaturerend effect op collageen en elastine in de longen tengevolge. Ook werden aanwijzingen gevonden voor peroxydatie van longlipiden bij ratten na blootstelling aan 1 ppm 4 uur, vermoedelijk cumulatief bij herhaalde expositie;

- over effecten bij de mens bij zulke lage concentraties is eigenlijk niets bekend. Men kan epidemiologisch zeker niet volstaan met de gebruikelijke metingen van bijv. éénsecondewaarde, daar deze vooral de functie van de grotere luchtwegen evalueert en niet de voor NO₂ en andere diepe irritantia relevante perifere laesies (Wands 1969);

* T. soc. Geneesk. 49 (1971) 586

— de reukdrempel ligt bij 1 à 3 ppm maar volgens Henschler et al. (1960) ruiken gevoelige personen reeds 0,1 ppm.

Zeer terecht wijst Wands (1969) er op dat men zich er niet toe moet laten verleiden zonder meer uit te gaan van de gemiddelde effecten in dierproeven. Wij hebben tot taak ook de gevoelige personen te beschermen. Dit maant tot extra voorzichtigheid bij het afleiden van „standards”. Hine (1969) geeft het volgende overzicht van enkele MIC-waarden:

	ppm	duur
West-Duitsland	1,0	3 x 24 uur
idem	0,5	
Californië	0,25	1 uur
Rusland	0,18	1 uur
idem	0,06	24 uur
Tsjechoslowakije	0,15	1 uur
idem	0,05	24 uur

Men zal vooral aan moeten sturen op zo laag mogelijke concentratieniveaus omdat - zoals later nog zal worden beschreven - de N-oxyden in de regel niet alleen als perifere longirritantia voorkomen maar juist in combinatie met andere stoffen met gelijksoortige werking. Duidelijk geeft Hine (1969) er van blijk dat de in Californië voorgestelde normen tevens rekening houden met de economische mogelijkheden; volgens deze auteur zou overigens een norm van 0,5 ppm als 1-uursgemiddelde uit oogpunt van volksgezondheid voldoende zijn. Hij hecht vermoedelijk te weinig waarde aan de vermelde dierproeven en schenkt te weinig aandacht aan protectie van gevoelige individuen.

De N-oxyden hebben waarschijnlijk een vrij korte fysisch-chemische halfwaardetijd; ze verdwijnen uit de atmosfeer als nitraten. Volgens Robinson en Robbins (1970) bestaat er weinig risico dat de urbane N-oxydeuitworp zal leiden tot een geleidelijke stijging van de algemene concentraties in de atmosfeer omdat de halfwaardetijd kort is en bovendien - op wereldschaal bezien - de natuurlijke processen in de N-cyclus een groot overwicht hebben over de lokale toevoeging door luchtverontreiniging. Commoner (1969) wijst hier echter op een ander gevaar. In dicht bevolkte streken van de VS blijkt de nitraathoeveelheid in de regenval evenredig te lopen met het lokale benzineverbruik. De uitlaatgassen verzwaren op deze wijze de belasting van het oppervlaktewater en dragen bij aan de eutrofiëring, een nieuw argument derhalve om de N-oxydeuitworp zoveel mogelijk te beperken. Helaas werkt de technologische ontwikkeling hiertegen in: sterkere motoren met hogere compressieverhoudingen en verbrandingstemperaturen doen de N-oxydeuitworp juist toenemen. Het door Chevron aan benzine toegevoegde F-310 (hydrocarbylamine) blijkt wel een reductie aan CO en koolwaterstoffen op te leveren maar vergroot de N-oxydeuitworp (Chem. Wkblid 1970). Bij de ontwikkeling van nieuwe motoren en benzine dient men hiermede terdege rekening te houden.

Wordt vervolgd