

# Meten van blootstelling aan dieseluitlaatgassen

J.G.M. van Rooij<sup>1</sup>

## Samenvatting

Dieselemisies kunnen leiden tot acute en chronische gezondheidseffecten, waaronder kanker. De belangstelling voor beheersingsstrategieën is sterk toegenomen. Tot nu toe is echter weinig aandacht besteed aan de ontwikkeling van valide meetmethoden. Gezien het grote aantal stoffen, gas- en deeltjesvormig, waaruit dieselemisie bestaat, verdient het aanbeveling de meetstrategie te baseren op het gebruik van een markerstof. Overwegingen voor de selectie van een geschikte markerstof worden toegelicht. Geadviseerd wordt bij bron- en procesgeoriënteerde metingen een combinatie van metingen van  $\text{NO}_2$  en koolstof in de werklek-atmosfeer als maat van respectievelijk de gasvormige en deeltjesgebonden fractie. Bij blootstellingsmetingen van werknemers wordt aanbevolen  $\text{NO}_2$  in de werklek-atmosfeer te kiezen als maat voor de gasvormige fractie en 1-hydroxypyreen in de urine als maat voor PAK die aan deeltjes gebonden zijn. Als illustratie worden twee praktijkvoorbeelden gegeven.

## Inleiding

Door de aangescherpte arbo-wetgeving ten aanzien van kankerverwekkende stoffen en de grote belangstelling voor risico-evaluatie staan in Nederland dieseluitlaatgassen volop in de aandacht. Niet alleen arbo-deskundigen, ook werknemers raken steeds meer bewust van de risico's ervan.

Uit beoordelingen van gezaghebbende organisaties zoals International Agency for Research on Cancer (IARC) en het Amerikaanse National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) blijkt dat blootstelling aan dieseluitlaatgassen kan leiden tot ernstige gezondheidsschade zoals kanker. Daarnaast kunnen dieseluitlaatgassen leiden tot irritatie van ogen en luchtwegen en klachten als hoofdpijn, vermoeidheid en duizeligheid.

Gezien de aard en ernst van de mogelijke gezondheidseffecten is er veel behoefte aan metingen op de werkplek om de mate van blootstelling aan dieseluitlaatgassen vast te stellen. Dit is echter geen eenvoudige zaak omdat in het verleden weinig aandacht is besteed aan de ontwikkeling van valide meetmethoden. Overheidsrichtlijnen zijn er niet.

Een snelle screening van de literatuur laat zien dat er een heel scala aan parameters wordt toegepast voor de beoordeling van dieselblootstelling. In de lucht stof (inhaleerbaar, respirabel, elementair koolstof),  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ , formaldehyde, toluen, xyleen, PAKs en mutageniteit van stof. In bloed wordt onder andere carboxyhemoglobine gemeten, en SCE's in lymfocyten; in urine 1-hydroxypy-

## Summary

Containment of Diesel-emissions is considered to be increasingly important, because of acute and chronic health effects (cancer). However, valid methods for measurement are lacking yet. Due to the amount of components, gaseous and in the form of solid particles, a tracer has to be used. Criteria for its choice are mentioned. It is recommended to use  $\text{NO}_2$  and carbon-particles as tracers in source and proces-orientated measurements. Surveillance of workers' exposure is well performed using  $\text{NO}_2$  in the atmosphere and 1-hydroxypyrene in the urine as tracer for gaseous and solid fractions of the emission, respectively. Two practical examples are given.

*Trefwoorden: dieselemisie, meetstrategie, gezondheidseffecten,  $\text{NO}_2$ , koolstof, 1-hydroxypyreen*

reen, thioethers, RNase-activiteit en mutageniteit. Onderzoekers van de Vakgroep Toxicologie aan de KU te Nijmegen hebben recent 1-nitropyreen voorgesteld als marker voor dieseluitlaatgassen in de werklek-atmosfeer. Dit artikel geeft een overzicht van de meest geschikte componenten en meetmethoden. Tevens bevat het een paar concrete voorbeelden.

## Overwegingen bij de keuze van een geschikte markerstof

Bij de verbranding van diesel komt een complex mengsel van vluchtige als deeltjesvormige componenten. In de bijlage staat een overzicht van de belangrijkste componenten in dieselemisies. Door de complexe samenstelling van dieseluitlaatgassen moet bij metingen worden volstaan met een markerstof. Bij de keuze van een geschikte markerstof hebben de volgende overwegingen een rol gespeeld.

### Aard van gezondheidseffecten

Blootstelling aan dieseluitlaatgassen kan leiden tot zowel acute als chronische gezondheidseffecten. De belangrijkste acute effecten zijn irritatie van de ogen en luchtwegen, toename van het carboxyhemoglobine (COHb) in bloed en specifieke symptomen zoals hoofdpijn, vermoeidheid, duizeligheid en misselijkheid. Deze effecten worden vooral door de vluchtige componenten veroorzaakt. Verdachte componenten zijn stikstofdioxide, zwaveldioxide en aldehydes. Inhalatie van koolmonoxide leidt tot een toename van carboxyhemoglobine in het bloed.

Uit epidemiologisch onderzoek blijkt dat de incidentie van longkanker bij werknemers die beroepsmatig worden blootgesteld is verhoogd. Over een verhoogd risico op

1. IndusTox Consult, Toernooiveld 100, Postbus 31070, 6503 CB Nijmegen, tel: 024-3528842, fax: 024-3540090.

**Tabel 1. Overzicht van markers voor dieseluitletgas-  
sen op basis van ratio 'emissie:MAC'**

markerstof	ratio 'emissie:MAC'
Gasvormige fractie:	
1. NO <sub>2</sub>	5000
2. CO	200
3. formaldehyde	130
Deeltjes (gebonden) fractie:	
1. stof - totaal koolstof in respirabele fractie	1800 <sup>a</sup>
2. stof - respirabele fractie	150
3. benzo(a)pyreen (PAK)	2,5 <sup>b</sup>
4. 1-nitropyreen (nitro-PAK)	<5 <sup>b</sup>

a. berekend met in Duitsland gehanteerde TRK-waarde voor diesel emissies.

b. schatting uitgaande van de Duitse TRK-waarde voor benzo(a)pyreen.

blaaskanker als gevolg van dieselblootstelling bestaat onduidelijkheid.

Deze chronische effecten worden waarschijnlijk veroorzaakt door aan deeltjes gebonden verbindingen zoals polycyclische aromatische waterstoffen (PAK), methyl-PAK en nitro-PAK. Het is niet uitgesloten dat de deeltjes zelf mede oorzaak zijn van de effecten. In proefdierstudies is met voldoende zekerheid vastgesteld dat blootstelling aan een aantal van deze verbindingen leidt tot de vorming van tumoren. Gezien de verschillen in aard en de ernst van gezondheidseffecten wordt bij de keuze van een geschikte markerstof voor dieseluitletgas een onderscheid gemaakt tussen de gasvormige en deeltjesvormige componenten.

### Normen

Nederland heeft geen normen voor dieseluitletgas. Duitsland hanteert een TRK-waarde voor dieselemisies gebaseerd op totaal koolstof in respirabel stof. Zweden heeft voor uitlaatgas een norm opgesteld die gebaseerd is op een twee-tal gasvormige componenten: CO en NO<sub>2</sub>. De Swedish National Board of Occupational Health (1991) adviseert voor deze twee stoffen speciale grenswaarden bij de beoordeling van uitlaatgas: CO 20 ppm en NO<sub>2</sub> 1 ppm (in plaats van respectievelijk 35 en 2 ppm). Hiermee wordt beoogd te corrigeren voor de toxische effecten van andere componenten in uitlaatgas waaronder kanker-  
verwekkende stoffen. De Swedish National Board stelt dat voor dieseluitletgas vooral de NO<sub>2</sub> norm het eerst zal worden overschreden; voor andere uitlaatgas is dat de CO norm.

### Kans op normoverschrijding

Van de chemische componenten in dieseluitletgas die worden geassocieerd met nadelige gezondheidseffecten is een schatting gemaakt van de kans op normoverschrijding.

Als grove maat voor de kans op normoverschrijding is uitgegaan van de ratio 'emissie:MAC'. De emissiegegevens, uitgedrukt in mg/km, zijn geschat op basis van meetresultaten van een viertal studies waarbij dieselveertuigen op een rollerbank zijn getest (zie bijlage 1).

In tabel 1 staan voor zowel de gasvormige als deeltjesgebonden fractie de markerstoffen met de hoogste ratio's. Omdat er voor 1-nitropyreen geen grenswaarde beschikbaar is, is bij de schatting van de ratio 'emissie:MAC' uitgegaan van de grenswaarde voor benzo(a)pyreen zoals die in Duitsland wordt gehanteerd (TRK-waarde). Voor 1-nitropyreen blijkt de ratio <5 te zijn en biedt in dat opzicht dus weinig voordelen ten opzichte van benzo(a)pyreen.

**Tabel 2. Overzicht van meetmethoden voor werkplekatmosfeermetingen en biologische metingen voor markerstoffen in dieseluitletgas**

markerstof	werkplekatmosfeer meetmethode <sup>a</sup>	biologische parameter <sup>b</sup> + meetmethode <sup>c</sup>
<i>Gasvormige fractie:</i>		
1. NO <sub>2</sub>	NIOSH 6014 (1994) - 15/240 min NIOSH 6700 (1984) - diffusief; 480 min OSHA ID-182 (1991) - 15/240 min NVN 2950 (1990) - indicator buis; 480 min <sup>d</sup>	
2. CO	NIOSH S340 (1990) - gasmonsterzak; 15/400 min NVN 2950 (1990) - indicator buis; 480 min <sup>e</sup>	CO-Hb in bloed DFG (1983)
3. formaldehyde	NIOSH 2541 (1989) - 15/480 min MDHS 78 (1994) - diffusief; 15/480 min BIA 7520 (1995) - 15/120 min	mierezuur in urine Lauwerys (1993)
<i>Deeltjes (gebonden) fractie:</i>		
1. stof: totaal koolstof in respirabele fractie	TRGS 900 (1995)	
2. stof: respirabele fractie	MDHS 14 (1993)	
3. PAK - 16 EPA PAH	NIOSH 5506 (1985) OSHA 58 (1986)	1-hydroxypyreen in urine DFG (1990)
4. nitro-PAK: 1-nitropyreen	meetmethode beschreven <sup>f</sup> echter nog niet geëvalueerd	

a. bron: Dohsbases 3.0 (1995); tenzij anders aangegeven betreft het actieve persoonsgebonden monsternamen gedurende 480 min

b. bron: Lauwerys and Hoet (1993)

c. bron: Angerer and Schaller (1985-1993)

d. meetbereik bij meetduur van 8 uur: 1,3 - 25 ppm. N.b.: Zweedse norm: 1 ppm (8-uurs tgg.)

e. meetbereik bij meetduur van 8 uur: 6 - 75 ppm. N.b.: Zweedse norm: 20 ppm (8-uurs tgg.)

f. bron: Scheepers (1994)

**Bijlage 1. Deselemissies: componenten, emissies, MAC-waarden en emissie:MAC-ratio**

componenten	emissie HDV (LDV) (mg/km) <sup>a</sup>	MAC-waarde (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>b</sup>	ratio emissie:MAC <sup>c</sup>
<i>Gasvormige componenten</i>			
oxiden:			
koolmonoxide	1500-6000	29	200
kooldioxide	1,0-1,5 × 10 <sup>6</sup>	9000	150
stikstofdioxide	10000-20000	4	5000
zwaveldioxide	150-300	5	60
alkanen:			
methaan	1-25	(>1000)	<0,025
ethaan	0,1-1		
butaan	1-4		
n-decanen	1-15		
alcoholen:			
methanol	1-2	260	0,01
ethanol	0,5-25	1900	0,01
alkylenen:			
ethyleen	15-100	(>1000)	<0,1
propyleen	1-10		
aldehydes:			
formaldehyde	100-200	1,5	130
acetaldehyde	25-100	180	0,6
acrolein	0,1-5	0,25	4
propionaldehyde	5-100		
hexaanaldehyde	0,1-2		
benzaldehyde	5-30		
tolualdehyde	1-20		
alkylnitriet:			
methyl-nitriet	0,1-0,5	(>10)	<0,5
ethyl-nitriet	0,05-0,1		
aromatisch koolwaterstoffen			
benzeen	1-25	3,25	8
tolueen	0,1-4	150	0,03
PAK			
naftaleen	1-10	50	0,2
anthraceen	0,0001-0,005		
phenantreen	0,0005-0,050		
<i>Deeltjesgebonden componenten</i>			
fluorantheen	0,001-0,050		
pyreen	0,002-0,150		
chryseen	0,001-0,050		
benzo(a)anthraceen	0,0001-0,010		
benzo(b,k)fluorantheen	0,001-0,010		
benzo(ghi)fluorantheen	0,001-0,015		
benzo(a)pyreen	0,0001-0,005	0,002 <sup>d</sup>	2,5
benzo(e)pyreen	0,0001-0,010		
indeno (1,2,3-cd)pyreen	0,0001-0,005		
benzo(ghi)peryleen	0,0001-0,005		
coroneen	0,0001-0,025		
Nitro-PAK:			
2-nitrofluoreen	0,0001-0,002		
2,7-dinitrofluoreen	0,0001-0,0005		
9-nitroanthraceen	0,0001-0,002		
3-nitrofluorantheen	0,0000-0,0002		
1-nitropyreen	0,0001-0,010		5 <sup>e</sup>
dinitropyreen	0,0001-0,0005		
6-nitrobeno(a)pyreen	0,0001-0,0005		
Deeltjes (totaal stof)	100-1000	10 (inhaleerbaar) 5 (respirabel) 0.2 (koolstof) <sup>d</sup>	100 150 <sup>f</sup> 1800 <sup>g</sup>

a. Schatting gebaseerd op gemiddelde meetresultaten van vier experimenten met Heavy Duty Vehicles (HDV) op rollerbank. Voor componenten waarvan geen gegevens beschikbaar zijn van HDVs zijn de gegevens van Light Duty Vehicles in de tabel opgenomen (cursief). De spreiding in de emissiegegevens is het gevolg van type dieselbrandstof, staat van onderhoud van de motor, test omstandigheden, meetmethode, en analytische spreiding (bron: Scheepers, 1994)

b. (...) = geschatte waarde

c. bij de berekening van de ratio 'emissie:MAC' is de hoogste emissie waarde gehanteerd

d. TRK-waarde (Duitsland)

e. schatting uitgaande van TRK-waarde voor benzo(a)pyreen: 0,002 mg/m<sup>3</sup>

f. uitgaande van 60% respirabel stof

g. onder aanname dat 60% van de respirabele fractie bestaat uit totaal koolstof (Lehmann et al, 1992)

1-Nitropyreen is in de tabel opgenomen vanwege het feit dat nitro-PAK zeer specifiek zijn voor dieseluitlaatgassen.

#### *Beschikbaarheid meetmethoden*

Een eveneens belangrijke overweging bij de keuze van een markerstof is uiteraard de beschikbaarheid van een in de praktijk haalbare meetmethode. Tabel 2 geeft voor de voorgeselecteerde potentiële markers een overzicht van de genormaliseerde meetmethoden. Dit is zowel gedaan voor meetmethoden in de werkplekatmosfeer als voor biologische metingen.

#### **Meetadvies**

Belangrijk bij de uiteindelijke keuze van de meetmethode is natuurlijk het doel van de metingen. Is het doel het vaststellen of bewaken van de uitstoot van een bron of een productieproces, of is het doel juist het beoordelen van de blootstelling van de werknemer.

#### *Bron- en proces georiënteerde metingen*

Voor bron- en proces georiënteerde metingen kan worden volstaan met stationaire luchtmetingen. De uiteindelijke keuze van een geschikte markerstof voor dit soort metingen hangt af van de werkplekcondities. In een stoffige werkomgeving is het meten van respirabel stof als maat voor dieseluitlaatgassen over het algemeen weinig zinvol. Evenals bijvoorbeeld het meten van koolstof als maat voor dieselemisatie in een steenkoolmijn. In een dergelijke situatie is 1-nitropyreen een mogelijk alternatief omdat nitro-PAK zeer specifiek zijn voor dieseluitlaatgassen. Biologische monitoringmethoden worden afgeraden omdat de resultaten daarvan te sterk worden beïnvloed door persoonsgebonden factoren zoals werkhygiëne, werkprocedures en gebruik van persoonlijke beschermingsmiddelen.

Voor bron- en proces georiënteerde metingen adviseren wij een combinatiemeting van NO<sub>2</sub> en koolstof in de werkplekatmosfeer als maat van respectievelijk de gasvormige en deeltjesgebonden fractie.

#### *Metingen gericht op de blootstelling van de werknemer*

Voor metingen gericht op de blootstelling van de werknemer heeft men de keuze uit personal air sampling of biologische monitoring. In het geval van blootstellingsmetingen hebben biologische metingen over het algemeen de voorkeur boven luchtmetingen. Niet alleen omdat ze aanzienlijke goedkoper zijn, maar ook omdat metingen in urine of bloed inzicht geven in de daadwerkelijk opgenomen hoeveelheid chemische stof in het lichaam. Een nadeel van biologische monitoring is dat toetsing aan de MAC-waarde niet mogelijk is.

Een biologische monitoringmethode voor het meten van de blootstelling aan de gasvormige fractie wordt afgeraden. Het carboxyhemoglobine gehalte (CO-Hb) in bloed is minder geschikt omdat roken een zeer sterk effect heeft op het CO-Hb-gehalte. Bovendien speelt huidopname geen rol van betekenis en maakt de noodzaak voor bloedafname de methode minder aantrekkelijk. Mierenzuur valt af door de sterke onverkleerde variatie in urineconcentraties bij niet beroepsmatig blootgestelden. Als maat voor de gasvormige fractie van dieseluitlaatgas wordt een persoonsgebonden luchtmeting van NO<sub>2</sub> geadviseerd omdat voor dit gas de kans op normoverschrijding het grootst is, en omdat er een Zweedse norm is opgesteld voor deze stof in uitlaatgassen.

Voor het meten van blootstelling aan deeltjesgebonden componenten wordt de 1-hydroxypyreenconcentratie in de urine geadviseerd. Niet alleen vanwege de praktische toepasbaarheid en daardoor lage kosten maar ook omdat huidopname wordt meegenomen. Een mogelijk verstoring

effect van roken bij deze urinemetingen is beperkt en kan met een goede onderzoekopzet worden voorkomen. Biologische meetmethoden gebaseerd op (nitro)-PAK adducten aan albumine of hemoglobine verkeren nog in een vroeg stadium van ontwikkeling en zijn nog niet toepasbaar in de praktijk.

Voor het vaststellen van de blootstelling van werknemers aan dieseluitlaatgassen adviseren wij een combinatiemeting waarbij NO<sub>2</sub> in de werkplekatmosfeer wordt gebruikt als maat voor de gasvormige fractie, en 1-hydroxypyreen in de urine als maat voor PAK die aan deeltjes gebonden zijn.

#### **Voorbeelden**

##### *Voorbeeld 1*

*Achtergrond* – Op een expeditieafdeling van een cement producerend bedrijf worden met diesel aangedreven heftrucks vrachtwagens geladen met cementzakken. Als proef zijn een aantal heftrucks voorzien van cabines met luchtfilteringsinstallatie met daarin een stof- en koolstoffilter.

*Vraag* – In welke mate reduceert de luchtfiltering de concentratie aan dieseluitlaatgassen in de cabine?

*Meetadvies* – voer in en buiten de cabine stationaire metingen uit naar NO<sub>2</sub> als maat voor de gasvormige fractie en totaal koolstof als maat voor de stofvormige fractie.

##### *Voorbeeld 2*

*Achtergrond* – Werknemers van de portiersloge bij een terminal in de Rotterdamse haven worden blootgesteld aan uitlaatgassen van stationair draaiende vrachtwagens. Zij klagen over hoofdpijn en maken zich zorgen over gezondheidsrisico's zoals kanker als gevolg van de blootstelling aan dieseluitlaatgassen.

*Vraag* – Wat is de mate van blootstelling van de medewerkers aan dieseluitlaatgassen.

*Meetadvies* – Ter bepaling van blootstelling aan de gasvormige componenten in dieseluitlaatgassen wordt geadviseerd om NO<sub>2</sub> in de werkplekatmosfeer te meten. Overexpositie kan snel en relatief goedkoop worden bepaald met keurindicatorbuizen (>1,3 ppm, 8-tgg). Voor lagere 8-uurs tgg concentraties zijn diffusiemetingen (NIOSH-methode 6700) een goed alternatief; 15-min tgg luchtconcentraties kunnen uitsluitend met actieve monstername worden gemeten, zoals beschreven in NIOSH-methode 6014. Voor het vaststellen van blootstelling aan deeltjesgebonden componenten wordt 1-hydroxypyreen in de urine geadviseerd. Vanwege de lage blootstellingsniveaus wordt geadviseerd om ook bij een controlegroep urinemonsters te verzamelen.

N.B.: uit het onderzoek is gebleken dat de 1-hydroxypyreen concentratie in de urine van de portiers aan het eind van de werkweek verhoogd was en dat blootstelling aan dieseluitlaatgassen heeft geleid tot opname van PAK.

#### **Literatuur**

– Angerer J. and Schaller K.H. (eds.), Analyses of hazardous substances in biological materials – Vol 1-4, Commission for the investigation of health hazards of chemical compounds in the work area – Working group analytical chemistry, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim D, 1985-1995.

– DFG – Deutsche Forschungsgemeinschaft, MAK- und BAT-Werte-Liste, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 30, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim D, 1994.

– DOHS-Bäse, Geautomatiseerd databestand met arbeidshygiënische grenswaarden en meetmethoden, uitgave van DOHS-Bäse VOF, Eersel, NI, 1996).

– Arbeidsinspectie, De Nationale MAC-lijst 1996. P-145, SDU, Den Haag, 1996.

– Lauwerys R.R. and Hoet P., Industrial Chemical Exposure –

Guidelines for biological monitoring, Lewis Publishers, CRC Prss Inc, Boca Raton Florida USA, 1993.

- Lehmann E., Rentel K.H., Auffarth J., Measurement and evaluation of exposure to diesel exhaust fumes. Clean air at work, new trends in assessment and measurement for the 1990s, Proceedings of an international symposium, Luxembourg, 9-13 September 1991, R.H. Brown, M. Curtis, K.J. Saunders and S. Vandendriessche, Editors; Royal Society of Chemistry, Cambridge, United Kingdom, 80-82, 1992.

- Scheepers P.T.J., Monitoring of occupational exposure to diesel exhaust, Nijmegen, 1994.

- Swedish National Board of Occupational Safety and Health, Occupational Exposure Limit Values. Ordinance (AFS 1990:13), Stockholm, 1991.