

TNO-rapport
TNO-MEP – R 2000/204

TNO Milieu, Energie
en Procesinnovatie

TNO-MEP
Business Park E.T.V.
Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

Telefoon: 055 549 34 93
Fax: 055 541 98 37
Internet www.mep.tno.nl

Passieve monsterneming van vluchtige koolwaterstoffen

Resultaten van vergelijkend onderzoek in Noord-Brabant in 1999

Datum
juni 2000

Auteur(s)
Th.R. Thijsse
J.C.Th. Hollander

Projectnummer
29823

Trefwoorden
– Passieve monsterneming
– Vluchtige koolwaterstoffen
– Buitenlucht

Bestemd voor
Provincie Noord-Brabant

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar
gemaakt door middel van druk, foto-
kopie, microfilm of op welke andere
wijze dan ook zonder voorafgaande
toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onder-
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel
de betreffende terzake tussen de
partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het
TNO-rapport aan direct belang-
hebbenden is toegestaan.

© 2000 TNO

Het kwaliteitssysteem van TNO Milieu, Energie en
Procesinnovatie voldoet aan ISO 9001.

TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie is een nationaal en
internationaal erkend kennis- en contractresearch instituut
voor bedrijfsleven en overheid op het gebied van duurzame
ontwikkeling en milieu- en energiegerichte procesinnovatie.



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Op opdrachten aan TNO zijn van toepassing de Algemene
Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, zoals
gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank en de
Kamer van Koophandel te 's-Gravenhage.

Samenvatting

In opdracht van de provincie Noord-Brabant wordt door TNO-MEP al geruime tijd onderzoek verricht naar de concentraties van koolwaterstoffen in de buitenlucht. Bij het onderzoek is tot op heden gebruik gemaakt van een actieve meetmethode. De meetpunten zijn uitgerust met apparatuur waarmee daggemiddelde monsters worden verzameld op adsorptiepatronen gevuld met actieve kool. Voor het actief nemen van de monsters is apparatuur, een meetbehuizing en elektriciteit nodig. Omdat bovendien circa 90 monsters per jaar per meetpunt worden geanalyseerd is de methode relatief kostbaar.

In het kader van de herstructurering van de meetactiviteiten is gezocht naar de mogelijkheid op de kosten van metingen te besparen en de vrijgekomen middelen op een efficiënte wijze in het onderzoek in te zetten. Voor de bepaling van vluchtige organische verbindingen in de buitenlucht is inmiddels een alternatieve onderzoeksmethode ter beschikking gekomen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde passieve monsterneming. Zonder gebruik te maken van een meetbehuizing en monsterapparatuur worden maandgemiddelde monsters verzameld op een badge met actieve kool.

Om ervaring met de badges op te doen en de resultaten te kunnen vergelijken met de actieve methode is de passieve meetmethode gedurende een jaar parallel aan het lopende onderzoek in Brabant ingezet. Uit dit vergelijkend onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor onderzoek naar lange termijn gemiddelde concentraties van vluchtige koolwaterstoffen in de buitenlucht kan passieve monsterneming met 3M badges een aantrekkelijk alternatief vormen.
- Voor de bepaling van maandgemiddelde concentraties in de buitenlucht zijn de effectieve opnamesnelheden gemiddeld 20% lager dan de door 3M opgegeven waarden.
- Bij gebruik van de gecorrigeerde opnamesnelheden is er een uitstekende overeenkomst tussen de resultaten met de actieve en passieve meetmethoden.
- De onzekerheid in de in enkelvoud passief gemeten maandgemiddelde concentraties bedraagt 15%.
- De onzekerheid in de uit twaalf maandgemiddelden berekende jaargemiddelde concentraties is 4%.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1. Inleiding	4
2. Experimenteel.....	6
2.1 Uitvoering van de experimenten	6
2.2 Verwerking van de resultaten	7
2.3 Vergelijking met de actieve methode	7
3. Resultaten	9
3.1 Regressieanalyse	9
3.2 Opnamesnelheden van de badges	11
3.3 Resultaten en nauwkeurigheid van de passieve monsterneming.....	12
4. Conclusies	15
5. Literatuur	16
6. Verantwoording.....	17
Bijlage 1 t/m 4	

1. Inleiding

Al geruime tijd verricht TNO in opdracht van de provincie Noord-Brabant onderzoek naar de concentraties van koolwaterstoffen in de buitenlucht. Dit onderzoek dient in de eerste plaats als aanvulling op metingen die plaatsvinden in het kader van het landelijk meetnet luchtkwaliteit (LML), beheerd door het RIVM. Ten aanzien van de opzet van de meetprogramma's heeft in 1996 een heroverweging plaatsgevonden. Als resultaat daarvan is door GS van Noord-Brabant de context waarbinnen het luchtkwaliteitsonderzoek in Noord-Brabant moet worden geplaatst vastgelegd in de notitie "Provinciale aanpak van de monitoring ter ondersteuning van het milieubeleid voor het compartiment lucht". In de notitie wordt een meer gestructureerde en samenhangende aanpak van de monitoring beschreven die is gebaseerd op een combinatie van emissiegegevens, verspreidingsmodellen en aanvullende en ondersteunende meetprogramma's. Het doel van de meetprogramma's is daarbij primair:

- In kaart brengen van de situatie op locaties waar de luchtkwaliteitseisen mogelijk worden overschreden (kritische situaties)
- In kaart brengen van de situatie op locaties met een substantiële Brabantse bijdrage
- Monitoren van de effectiviteit van het milieubeleid

Bij het onderzoek is tot op heden gebruik gemaakt van een actieve meetmethode. De meetpunten zijn uitgerust met apparatuur waarmee de te analyseren lucht door adsorptiepatronen gevuld met actieve kool wordt gezogen. De monstertijd bedraagt 24 uur en per jaar worden op deze wijze per meetpunt 365 daggemiddelde monsters verzameld waarvan een kwart later op het laboratorium wordt geanalyseerd. De metingen geven een goed inzicht in de variatie van de concentraties van dag tot dag. Door combinatie met meteorologische gegevens wordt ook een indruk van de herkomst van de gemeten koolwaterstoffen verkregen.

Voor het actief nemen van de monsters is apparatuur, een meetbehuizing en elektriciteit nodig. Omdat bovendien circa 90 monsters per jaar per meetpunt worden geanalyseerd is de methode relatief kostbaar. In het kader van de herstructurering van de meetactiviteiten is daarom gezocht naar de mogelijkheid op de kosten van metingen te besparen en de vrijgekomen middelen op een efficiënte wijze in het onderzoek in te zetten. Voor de bepaling van vluchtige organische verbindingen in de buitenlucht is inmiddels een alternatieve onderzoeksmethode ter beschikking gekomen. Hierbij wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde passieve monster-neming. Zonder gebruik te maken van een meetbehuizing en monsterapparatuur worden maandgemiddelde monsters verzameld op een badge met actieve kool. De badge wordt later op het laboratorium geanalyseerd. Een dergelijke methode is bijzonder geschikt om, tegen relatief lage kosten, gegevens over lange termijn-gemiddelde concentraties te verkrijgen. Een relatie met meteorologische omstandigheden is dan niet meer te leggen, maar wel geven de metingen inzicht in de gemiddelde

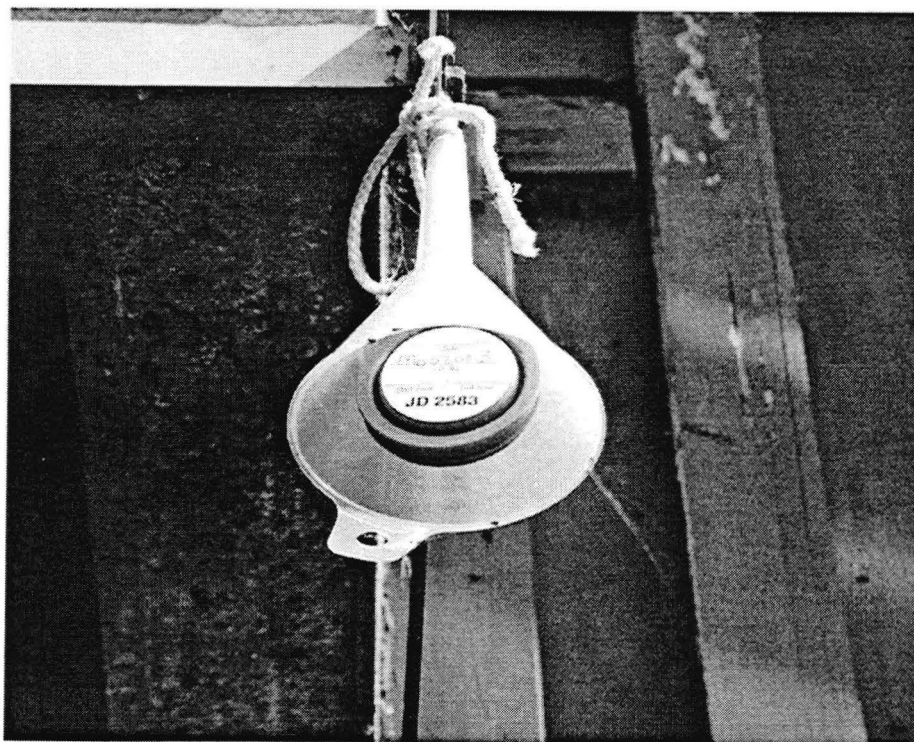
concentraties op het meetpunt en het verloop van de concentraties over het jaar. De methode biedt tevens meetstrategische voordelen. Door het verrichten van metingen op meerdere locaties kan inzicht worden verkregen in het ruimtelijk concentratiepatroon van de gemeten componenten.

Resultaten van oriënterend onderzoek naar de bruikbaarheid van badges voor het monstere van vluchtige koolwaterstoffen in de buitenlucht zijn al eerder beschreven (Shields et al., 1987, Begerow et al., 1995 en Thijsse, 1995). Om ervaring met de badges op te doen en de resultaten te kunnen vergelijken met de actieve methode is de passieve meetmethode gedurende een jaar parallel aan het lopende onderzoek in Brabant ingezet. De resultaten van dit vergelijkend onderzoek worden in het voorliggende rapport gepresenteerd.

2. Experimenteel

2.1 Uitvoering van de experimenten

Het onderzoek is verricht op twee locaties in Noord-Brabant, te weten op een TNO meetpunt ten zuidwesten van het industriecomplex Moerdijk en op het RIVM meetpunt Huijbergen in de zuidwesthoek van de provincie. Op beide meetpunten zijn in 1999 parallel aan de lopende actieve metingen passieve metingen in duplo uitgevoerd. De badges (Organic Vapor Monitor type 3500 van 3M) werden buiten bij de aanzuigopening van de actieve monsterapparatuur, op een hoogte van ca. 2,5 meter boven het maaiveld, opgehangen. Ter bescherming tegen de regen waren de badges gemonteerd in een omgekeerd PVC trechtertje (figuur 1). De monstertijd bedroeg steeds 4 of 5 weken, zodat in totaal twaalf duplo-monsters per meetpunt werden verkregen.



Figuur 1 Passieve monsternemer

In het lopende meetprogramma met de actieve bemonstering worden van alle verzamelde dagmonsters, verdeeld over het jaar ca. 90 monsters geanalyseerd. Hieruit wordt een schatting van het jaargemiddelde concentratie op het meetpunt gemaakt. Voor de vergelijking met de passieve meetmethode zijn nauwkeuriger gegevens over de maandgemiddelde concentraties nodig. Per maand zijn daarom de niet geanalyseerde dagmonsters samengevoegd tot één mengmonster dat ook is geanalyseerd.

De badges en de actief bemonsterde adsorptiepatronen met kool werden na de bemonstering op het laboratorium met zwavelkoolstof geëxtraheerd. De extracten zijn vervolgens gaschromatografisch geanalyseerd op de vluchtige koolwaterstoffen in de range van C₆-C₁₂.

2.2 Verwerking van de resultaten

Uit de analyseresultaten van de koolbuizen en de doorgezogen volumina kunnen de concentraties rechtstreeks worden berekend. Bij de badges kan niet gesproken worden van een doorgezogen volume. De koolwaterstoffen worden door diffusie getransporteerd naar een adsorbens (actieve kool). De snelheid waarmee dit gebeurt wordt bepaald door de geometrie van de badge en de diffusiecoëfficiënt van de verschillende koolwaterstoffen. Door de fabrikant van de badges worden voor een reeks koolwaterstoffen opnamesnelheden voor de badges gegeven (3M, Analysis Guide). Deze opnamesnelheden zijn in eerste instantie gebruikt om de meetresultaten met de badges om te rekenen naar maandgemiddelde concentraties. Voor die koolwaterstoffen waarvoor 3M geen opnamesnelheid geeft, is d.m.v. extrapolatie een schatting gemaakt. Daarbij is uitgegaan van vergelijkbare koolwaterstoffen waarvoor wel een opnamesnelheid is gegeven.

2.3 Vergelijking met de actieve methode

De resultaten verkregen met de passieve en de actieve meetmethode zijn vergeleken m.b.v. een lineaire regressieanalyse volgens:

$$\text{Concentratie (passief)} = a \cdot \text{Concentratie (actief)}$$

De actieve methode is daarbij dus als referentiemethode beschouwd. Wanneer de methoden identieke resultaten leveren zal een helling a van 1 worden gevonden. Indien de helling significant van 1 afwijkt wijst dit op een verschil tussen de uitkomsten van de passieve methode t.o.v. de referentiemethode. Voor het berekenen van de concentraties is bij passieve monstermethode gebruik gemaakt van de opnamesnelheden die door de fabrikant zijn opgegeven. Deze opnamesnelheden gelden over het algemeen voor onderzoek op de werkplek bij relatief hoge concentraties. Bij toepassing van de badges voor metingen in de buitenlucht kunnen de effectieve opnamesnelheden daar echter vanaf wijken. De bij de regressieanalyse gevonden helling is gebruikt om de opnamesnelheden van de badges te corrigeren. Op deze manier zijn de badges gekalibreerd voor de bepaling van maandgemiddelde koolwaterstofconcentraties onder buitenluchtcondities. Uit de regressieanalyse volgt ook de onzekerheid in de, uit de passieve metingen, geschatte maandgemiddelde concentraties (de standaarddeviatie van de schatting). De precisie van de passieve meetmethode is afgeleid uit de resultaten van de duplometingen.

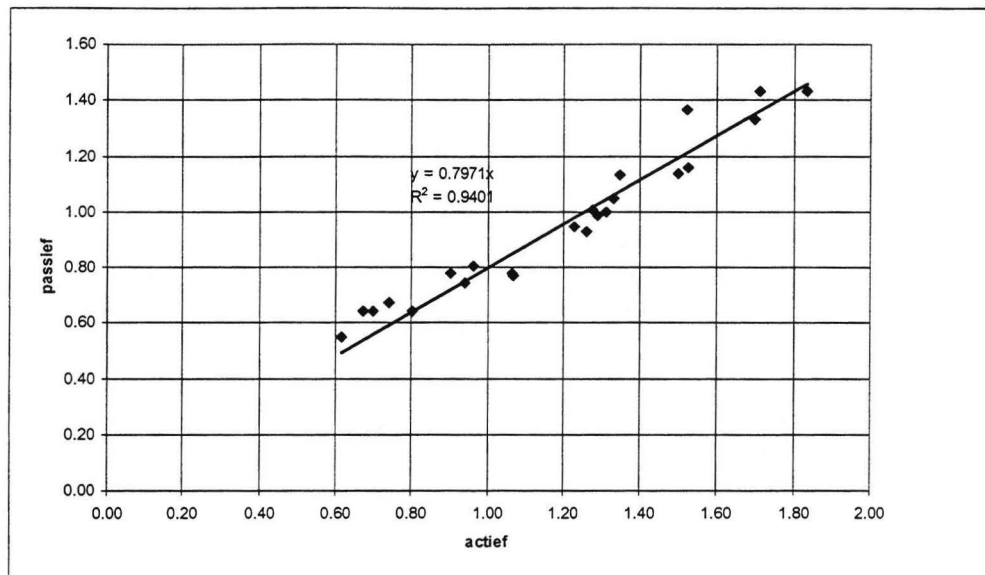
3. Resultaten

3.1 Regressieanalyse

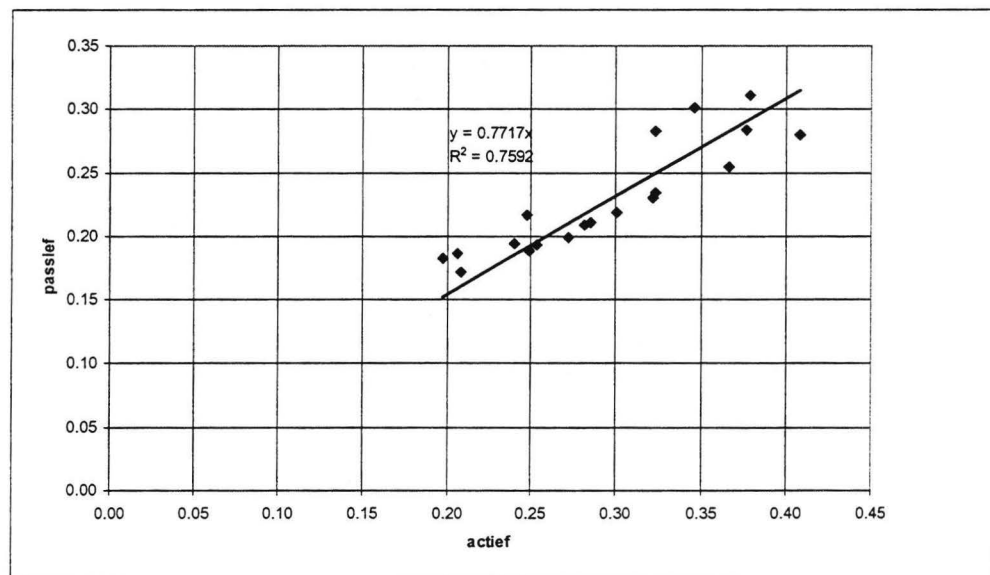
Als eerste resultaat zijn voor de meeste koolwaterstoffen op de twee meetpunten in totaal 24 maandgemiddelde concentraties met zowel de passieve als met de actieve meetmethode verkregen. De gemeten concentraties zijn over het algemeen niet hoog en liggen voor een aantal koolwaterstoffen rond de onderste detectiegrens van de toegepaste methoden ($0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dit bemoeilijkt de onderlinge vergelijking. Absoluut gezien kleine verschillen in de concentraties werken sterk door in de resultaten van de lineaire regressie. Bij de interpretatie van de resultaten moet hiermee rekening worden gehouden. Als vrijwel alle waarnemingen onder de detectiegrens liggen is vergelijking niet mogelijk. Dit was het geval bij styreen, dodecaan, dimethylcyclopentaan en naftaleen. De koolwaterstof 2,2,4-trimethylpentaan werd bij de analyse gestoord en werd ook niet meegenomen.

De resultaten van de lineaire regressieanalyse zijn opgenomen in bijlage 1. De meetresultaten zijn eerst gescreend op uitbijters die bij de analyse buiten beschouwing zijn gelaten. Het aantal geldige waarnemingen is in de bijlage vermeld. Tevens zijn de berekende helling en de standaarddeviatie van de helling gegeven. Als indicatie voor de kwaliteit van de fit is de verklaarde variantie gegeven zoals berekend met de statistische module uit het programma EXCEL. Een hoge waarde correspondeert met een goede fit. In de bijlage is ook de standaarddeviatie van de schatting vermeld. Dit is de onzekerheid (standaarddeviatie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in de maandgemiddelde concentratie die is geschat uit het resultaat verkregen met de passieve monsterneming. Tenslotte zijn in de bijlage de toegepaste en op basis van de vergelijking berekende opnamesnelheden van de passieve monsternemers opgenomen.

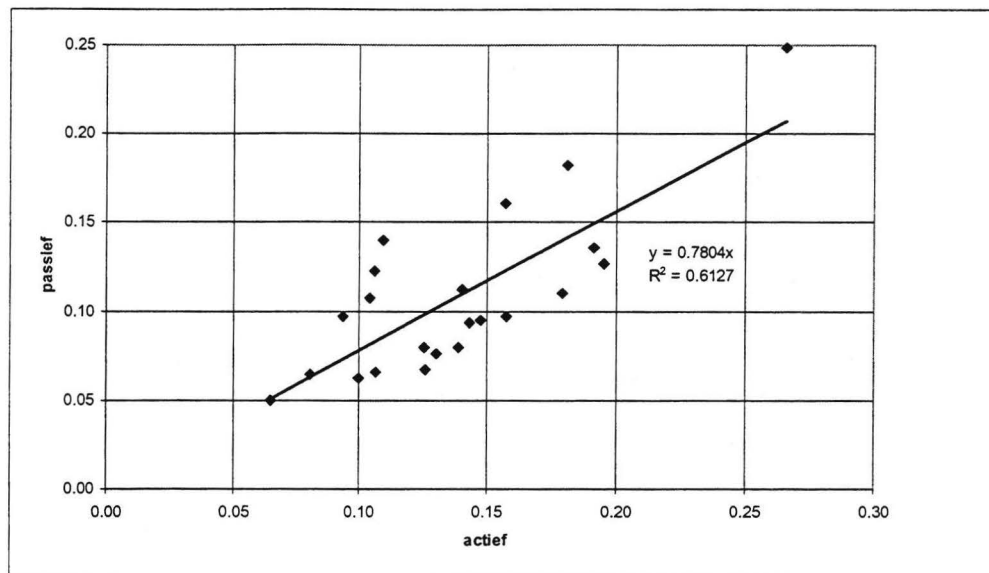
De concentraties verkregen met de passieve meetmethode bleken over het algemeen goed te correleren met die van de referentiemethode. Ter illustratie zijn in de figuren 2, 3 en 4 de met beide methoden gemeten concentraties van benzeen, n-heptaan en tetrachlooretheen tegen elkaar uitgezet.



Figuur 2 *Passief versus actief gemeten concentraties voor benzeen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.*



Figuur 3 *Passief versus actief gemeten concentraties voor n-heptaan in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.*



Figuur 4 Passief versus actief gemeten concentraties voor tetrachlooretheen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Voor de koolwaterstoffen die in relatief hoge concentraties in de buitenlucht voorkomen en goed zijn te meten is de gevonden correlatie tussen beide methoden over het algemeen het hoogst. Een voorbeeld hiervan is benzeen in figuur 2. Als de concentraties lager zijn gaan toevallige fouten bij monsterneming en analyse een grotere rol spelen en wordt de spreiding wat groter. Dit is bijvoorbeeld het geval bij n-heptaan en nog sterker bij tetrachlooretheen in respectievelijk figuur 3 en figuur 4. Bij tetrachlooretheen liggen de concentraties tussen de 0,1 en 0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor stoffen met een min of meer constante achtergrondconcentratie, zoals tetra, vertonen de gemeten concentraties weinig dynamiek en is de berekende verklaarde variantie laag. Dit wil niet zeggen dat vergelijking van beide methoden niet goed mogelijk is, want de standaarddeviatie van de helling is laag. In feite komt het er op neer dat hier de correctie overeenkomt met de verhouding tussen de gemiddelden met beide methoden.

3.2 Opnamesnelheden van de badges

Bij het berekenen van de concentraties is gebruik gemaakt van de opnamesnelheden zoals die door 3M zijn opgegeven voor toepassing van de badges bij onderzoek op de werkplek. Voor die koolwaterstoffen waarvoor 3M geen opnamesnelheid geeft, is d.m.v. extrapolatie een schatting gemaakt. Daarbij is uitgegaan van vergelijkbare koolwaterstoffen waarvoor wel een opnamesnelheid is gegeven.

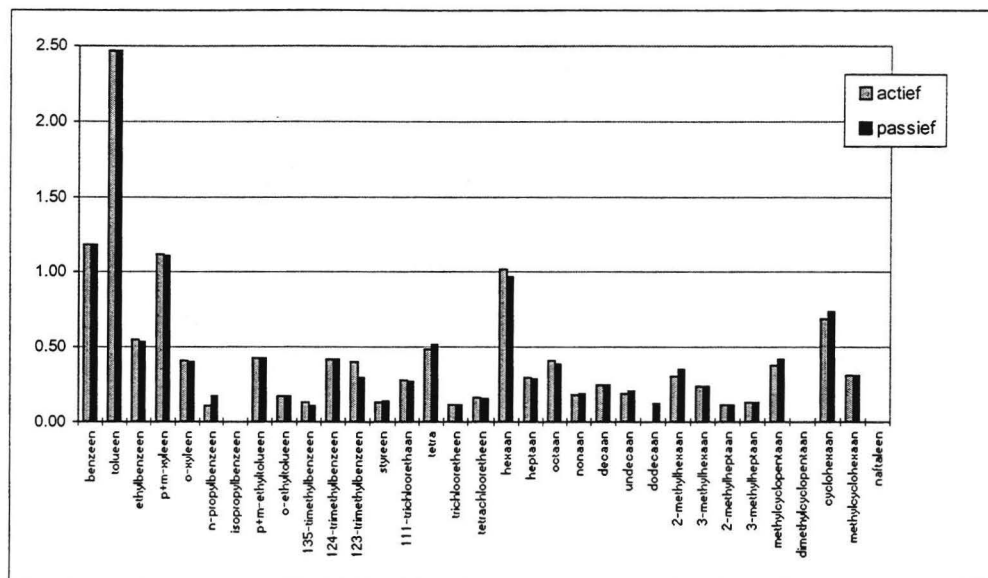
Bij toepassing van deze opnamesnelheden blijken de gemeten concentraties, in vergelijking met de referentiemethode, voor de meeste koolwaterstoffen lager uit te komen. De afgelopen jaren zijn resultaten van diverse onderzoeken naar de bruikbaarheid van passieve meetmethode met 3M badges gerapporteerd door Fung et

al., (1986), Shields et al., (1987), Cohen et al., (1990), Begerow et al., (1995), Thijssse (1995), Keuken (1998), Ulrich et al., (1996) en Chung et al., (1999). Deze onderzoeken zijn onderling slecht vergelijkbaar. Experimentele omstandigheden m.b.t. de meetprocedure, de middelingstijd, de bij het onderzoek betrokken koolwaterstoffen en de concentratieniveaus variëren sterk. Ook werd de passieve methode niet altijd vergeleken met een actieve meetmethode maar werden experimenten in een testatmosfeer uitgevoerd. Het algehele beeld dat uit de onderzoeken naar voren komt is echter ook dat de concentraties met de passieve methode wat lager uitkomen.

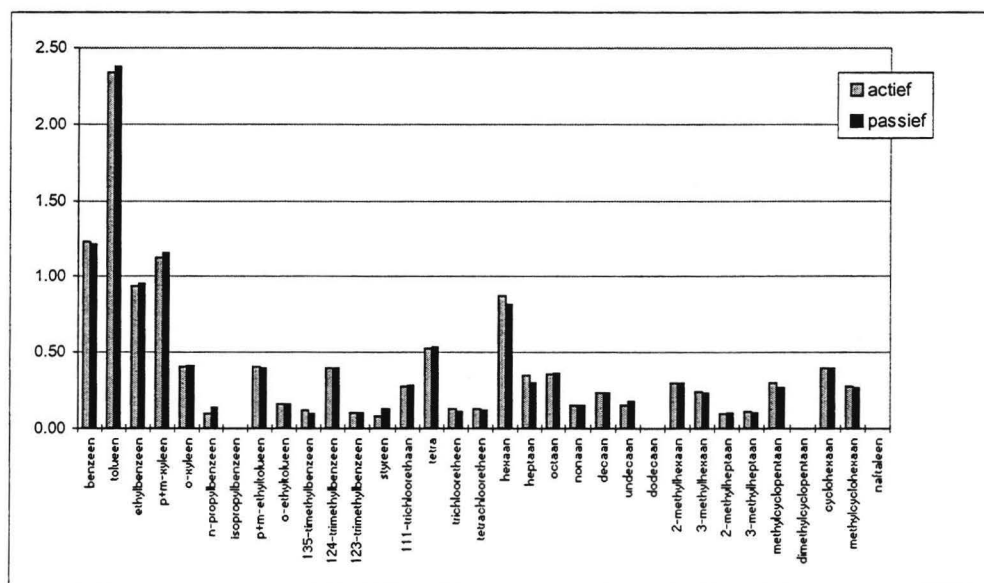
De snelheid waarmee de diverse koolwaterstoffen bij de passieve monsterneming worden opgenomen hangt af van de dimensies van de badge en de diffusiecoëfficiënt van de betreffende stof. Binnen een homologe reeks van stoffen, bijvoorbeeld de aromaten of de n-alkanen, is er een verband tussen de diffusiecoëfficiënt en het molgewicht van de stof. Bij toenemend molgewicht neemt de diffusiecoëfficiënt af. In bijlage 2 en 3 zijn de uit de metingen berekende opnamesnelheden voor respectievelijk de aromatische en alifatische koolwaterstoffen grafisch uitgezet. Voor de aromaten nemen de berekende opnamesnelheden af met het molgewicht. De opnamesnelheden van n-propylbenzeen en 1,3,5-trimethylbenzeen wijken enigszins af. De concentraties van deze stoffen zijn laag en de onzekerheid in de opnamesnelheid is daarmee groter. Voor deze twee stoffen is de gemiddelde opnamesnelheid van de overige C9-aromaten genomen. Ook de opnamesnelheden van de n-alkanen vertonen een afname met toenemend molgewicht. De onzekerheden zijn over het algemeen wat groter dan bij de aromaten. De opnamesnelheid van undecaan lijkt wat hoog. Voor deze stof is een opnamesnelheid van 20 ml/min aangenomen. Voor styreen, 2,2,4-trimethylpentaan, naftaleen, dimethylcyclopentaan en dodecaan konden geen opnamesnelheden uit de metingen worden afgeleid. Voor de eerste drie stoffen zijn wel opnamesnelheden door 3M gegeven. Uit het onderzoek is gebleken dat voor die stoffen waarvoor 3M opnamesnelheden geeft, de effectieve opnamesnelheden voor de bepaling van maandgemiddelde buitenluchtconcentraties gemiddeld 20% lager zijn. Deze correctie is bij de genoemde stoffen ook toegepast. Voor dodecaan is een opnamesnelheid van 20 ml/min aangenomen; voor dimethylcyclopentaan is de opnamesnelheid van cyclohexaan genomen. De resulterende opnamesnelheden zijn opgenomen in bijlage 4.

3.3 Resultaten en nauwkeurigheid van de passieve monsterneming

Als de verkregen opnamesnelheden worden toegepast bij de in Huijbergen en Moerdijk verrichte metingen leidt dit tot de resultaten zoals deze respectievelijk in figuur 5 en figuur 6 zijn weergegeven. Ontbrekende concentraties in de figuren waren lager dan de onderste detectiegrens van de methode ($0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Figuur 5 Jaargemiddelde concentraties op het meetpunt Huijbergen met de actieve en passieve meetmethode. Periode 1999. Concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figuur 6 Jaargemiddelde concentraties op het meetpunt Moerdijk met de actieve en passieve meetmethode. Periode 1999. Concentraties in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De precisie van de passieve methode, afgeleid uit de duplometingen bedraagt 8%. De standaarddeviatie van de maandgemiddelde concentraties die worden geschat op basis van de passieve meetmethode bedraagt gemiddeld 15%. Hiervan kan ongeveer 2% worden toegeschreven aan toevallige fouten bij monsterneming en analyse. Het grootste deel van de onzekerheid (13%) wordt toegeschreven aan de experimentele omstandigheden buiten die van maand tot maand verschillen. Door verschillen in bijvoorbeeld temperatuur, windsnelheid en relatieve vochtigheid va-

rieert de effectieve opnamesnelheid van de badges van maand tot maand. Ook de reproduceerbaarheid van de analyse op dit lage concentratieniveau kan een rol spelen. Door de metingen in duplo of triplo uit te voeren kan de onzekerheid in de maandgemiddelden daarom vrijwel niet worden verbeterd. Voor een uit twaalf maandgemiddelden berekend jaargemiddelde is de onzekerheid (standaarddeviatie) 4%.

4. Conclusies

Op twee meetpunten in Noord-Brabant is in 1999 een vergelijkend onderzoek uitgevoerd met een actieve en een passieve meetmethode voor de bepaling van maandgemiddelde concentraties van vluchtige koolwaterstoffen in de buitenlucht. Uit het onderzoek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Voor onderzoek naar lange termijn gemiddelde concentraties van vluchtige koolwaterstoffen in de buitenlucht kan passieve monsterneming met 3M badges een aantrekkelijk alternatief vormen.
- Voor de bepaling van maandgemiddelde concentraties in de buitenlucht zijn de effectieve opnamesnelheden gemiddeld 20% lager dan de door 3M opgegeven waarden.
- Bij gebruik van de gecorrigeerde opnamesnelheden is er een uitstekende overeenkomst tussen de resultaten met de actieve en passieve meetmethoden.
- De onzekerheid in de in enkelvoud passief gemeten maandgemiddelde concentraties bedraagt 15%.
- De onzekerheid in de uit twaalf maandgemiddelden berekende jaargemiddelde concentraties is 4%.

5. Literatuur

- Begerow, J, E. Jermann, T. Keles, U. Ranft and L. Dunemann (1995)
Passive sampling for volatile organic compounds (VOCs) in air at environmentally relevant concentration levels.
Fresenius Journal of Analytical Chemistry 351, p.p. 549-554
- Chung, C., M.T. Morandi, T.H. Stock and M. Afshar (1999)
Evaluation of a Passive Sampler for Volatile Organic Compounds at ppb Concentrations, Varying Temperatures and Humidities with 24-h Exposures
Environmental Science and Technology, 33, p.p. 3661-3665.
- Cohen, M.A., P.B. Ryan, Y. Yanagisawa and S.K. Hammond (1990)
The Validation of a Passive Sampler for Indoor and Outdoor Concentrations of Volatile Organic Compounds
Journal of the Air and Waste Management Association 40, No. 7., p.p. 993-997
- Fung, K.K. and B.J. Wright (1986)
Monitoring of Benzene in Ambient Air with Organic Vapor Badges.
Journal of the Air Pollution Control Association 36, No. 7., p.p. 819-821
- Keuken, M.P. (1998)
Stedelijke luchtkwaliteit:
Validatie passieve monsternamen van vluchtige koolwaterstoffen
Rapport R98/067, TNO-MEP.
- Shields, H.C. and C.J. Weschler (1987)
Analysis of Ambient Concentrations of Organic Vapors with a Passive Sampler
Journal of the Air Pollution Control Association 37, No. 9., p.p. 1039-1045
- Thijssen, Th.R. (1995)
Passieve monsterneming van koolwaterstoffen
Rapport R95/062A, TNO-MW.
- Ullrich, D. and R. Nagel (1996)
Comparison of Diffusive Sampling with Different Sampling Periods and Short Term Active Sampling at Low VOC Concentrations
Indoor Air 1996, Institute of Public Health, Tokyo, Japan, p.p. 703-708
- 3M Occupational Health and Safety Products Division
3500/3520 Organic Vapor Monitor, Analysis Guide.

6. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Het in dit rapport beschreven onderzoek is, in opdracht van de Dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer van de Provincie Noord-Brabant, uitgevoerd door de afdeling Milieukwaliteit en -analyse van TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie.

Namen en functies van de projectmedewerkers:

Th.R. Thijsse	Onderzoekleider
J.C.Th. Hollander	
H.L.M. Verhagen	
T.C. Hofman	
S.A.C.M. Walraven	

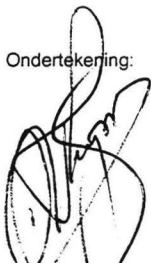
Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed:

N.V.T.

Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad:

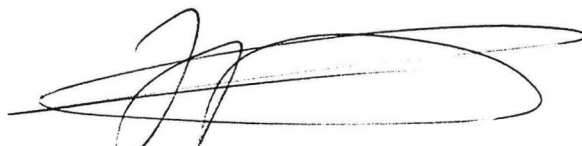
januari t/m december 1999

Ondertekening:



Th.R. Thijsse
onderzoekleider

Goedgekeurd door:



Ir. H.P. Baars
afdelingshoofd

Bijlage 1 Resultaten van de lineaire regressieanalyse

	N	H	s.d.(H)	K	s.d.(S)	OS(t)	OS(b)
benzeen	23	0.797	0.011	0.940	0.083	35.5	28.3
tolueen	24	0.819	0.011	0.915	0.162	31.4	25.7
ethylbenzeen	24	0.844	0.011	0.982	0.056	27.3	23.0
p+m-xyleen	24	0.822	0.011	0.946	0.074	27.3	22.4
o-xyleen	24	0.816	0.012	0.927	0.031	27.3	22.3
n-propylbenzeen	23	1.140	0.049	0.441	0.022	<u>27.0</u>	30.8
isopropylbenzeen	23	0.875	0.020	0.894	0.008	<u>27.0</u>	23.6
p+m-ethyltolueen	24	0.769	0.011	0.924	0.031	<u>27.0</u>	20.8
o-ethyltolueen	24	0.767	0.016	0.830	0.017	<u>27.0</u>	20.7
135-timethylbenzeen	23	0.674	0.037	0.626	0.034	26.3	17.7
124-trimethylbenzeen	24	0.808	0.014	0.889	0.036	26.3	21.3
123-trimethylbenzeen	19	0.782	0.039	0.837	0.045	26.3	20.6
styreen	24					26.8	
111-trichloorethaan	24	0.624	0.027	0.374	0.059	29.7	18.5
tetra	23	1.050	0.038	-1.828 ¹⁾	0.089	<u>28.0</u>	29.4
trichlooretheen	22	0.922	0.053	0.690	0.032	31.1	28.7
tetrachlooretheen	22	0.780	0.042	0.613	0.037	<u>28.0</u>	21.9
hexaan	18	0.967	0.080	0.675	0.364	32.0	30.9
heptaan	19	0.772	0.016	0.759	0.028	28.9	22.3
octaan	23	0.913	0.018	0.909	0.036	26.6	24.3
nonaan	22	0.756	0.016	0.849	0.018	<u>24.6</u>	18.6
decaan	22	0.882	0.017	0.804	0.022	<u>23.0</u>	20.3
undecaan	23	1.021	0.031	0.178	0.025	<u>21.5</u>	22.0
dodecaan	24					<u>20.0</u>	
2-methylhexaan	18	0.869	0.041	0.400	0.059	<u>29.0</u>	25.2
3-methylhexaan	20	0.757	0.035	0.342	0.050	<u>29.0</u>	22.0
224-trimethylpentaan	24					26.3	
2-methylheptaan	22	1.000	0.032	0.400	0.017	<u>27.0</u>	27.0
3-methylheptaan	23	0.735	0.024	0.664	0.019	<u>27.0</u>	19.8
methylcyclopentaan	22	0.902	0.057	0.687	0.103	<u>32.0</u>	28.9
dimethylcyclopentaan	24					<u>29.0</u>	
cyclohexaan	20	0.709	0.029	0.814	0.112	32.4	23.0
methylcyclohexaan	23	0.778	0.015	0.887	0.028	28.9	22.5
naftaleen	24					24.6	

N = aantal waarnemingen

H = helling

s.d.(H) = standaarddeviatie van de helling

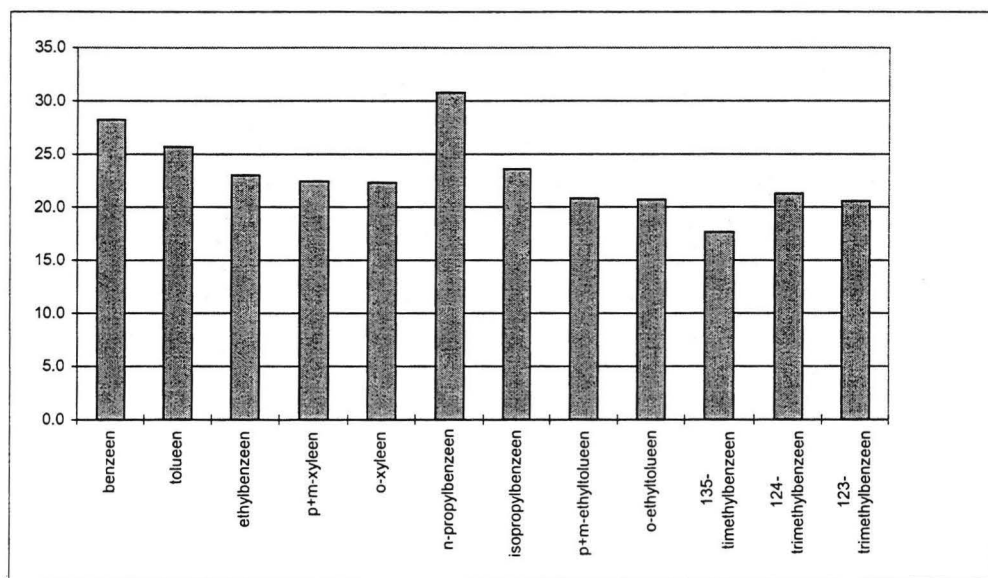
K = verklaarde variantie

s.d.(S) = standaarddeviatie van de schatting in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

OS(t) = toegepaste opnamesnelheid in ml/min (geschat onderstreept)

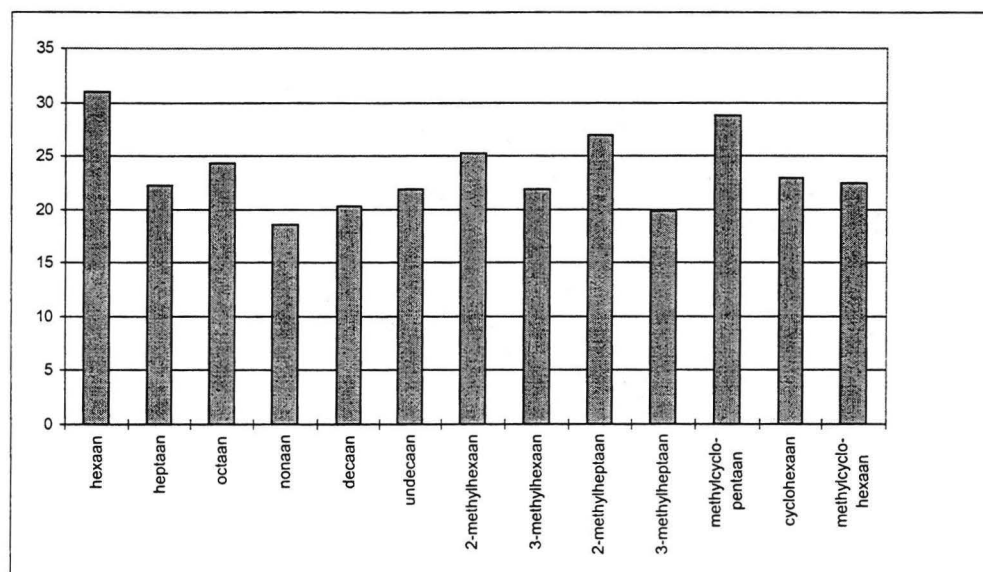
OS(b) = berekende opnamesnelheid in ml/min (gekalibreerd t.o.v. actief)

¹⁾ Voor de functie $y = ax$ wordt in EXCEL een onjuiste formule gehanteerd. Bij lage correlatie leidt dit tot een significante afwijking van de correcte waarde van de verklaarde variantie. De overige parameters worden wel correct berekend.

Bijlage 2

Berekende opnamesnelheden voor de aromatische koolwaterstoffen in ml/min

Bijlage 3



Berekende opnamesnelheden voor de alifatische koolwaterstoffen in ml/min

**Bijlage 4 De uit het onderzoek afgeleide opnamesnelheden van
3M badges voor de bepaling van maandgemiddelde
koolwaterstofconcentraties in de buitenlucht in
ml/min**

Stof	Opnamesnelheid
benzeen	28.3
tolueen	25.7
ethylbenzeen	23.0
p+m-xyleen	22.4
o-xyleen	22.3
n-propylbenzeen	21.4
isopropylbenzeen	23.6
p+m-ethyltolueen	20.8
o-ethyltolueen	20.7
135-trimethylbenzeen	21.4
124-trimethylbenzeen	21.3
123-trimethylbenzeen	20.6
styreen	21.4
111-trichloorethaan	18.5
tetra	29.4
trichlooretheen	28.7
tetrachlooretheen	21.9
hexaan	30.9
heptaan	22.3
octaan	24.3
nonaan	18.6
decaan	20.3
undecaan	20.0
dodecaan	20.0
2-methylhexaan	25.2
3-methylhexaan	22.0
224-trimethylpentaan	21.0
2-methylheptaan	27.0
3-methylheptaan	19.8
methylcyclopentaan	28.9
dimethylcyclopentaan	23.0
cyclohexaan	23.0
methylcyclohexaan	22.5
naftaleen	19.7