

Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93

F 055 549 32 01

info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 97/378

**Emissies door vracht- en personenverkeer
gemeten in de Drechtunnel**

Datum	december 1997
Auteurs	Dr. M.P. Keuken
Projectnummer	26922
Trefwoorden	- fijn stof - verkeersemissies - tunnelmeting
Bestemd voor	Ministerie van VROM

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, 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 onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© 2004 TNO

Samenvatting

In dit rapport wordt verslag gedaan van de resultaten van onderzoek naar emissiefactoren van personen- en vrachtverkeer met name van fijn stof. Dit betreft *deeltjes massa, aantallen deeltjes en de chemische samenstelling van diverse groottefracties tussen 0,01 - 10 µm*. Tevens zijn emissiefactoren van een aantal relevante verbindingen vastgesteld zoals ammoniak, CO, NO_x en (lichte) koolwaterstoffen.

De meetcampagne is uitgevoerd op 15 en 16 juli 1997 in de vracht- en personenverkeersbuis van de Drechtunnel bij Dordrecht. Door meting van het verschil in luchtconcentraties in de tunnelbuizen en de buitenlucht, kennis van de verkeersintensiteit en het ventilatievoud zijn emissiefactoren van vracht- en personenvervoertuigen afzonderlijk bepaald. Deze factoren zijn representatief voor verkeer op snelwegen met een gemiddelde snelheid van 100 km/u (personenverkeer) en 80 km/u (vrachtverkeer).

Resultaten

CO, NO_x, C₂-C₃ koolwaterstoffen; Dit onderzoek bevestigt de dalende trend in CO, NO_x en (lichte) koolwaterstofemissies per afgelegde kilometer van zowel vracht- als personenverkeer. De emissiefactoren voor ammoniak zijn voor vracht- en personenvervoertuigen respectievelijk 215 en 20 mg per afgelegde kilometer; dit resulteert in een zeer beperkte bijdrage aan ammoniakemissies in Nederland, maar kan wellicht lokaal tot effecten leiden.

Benzeen; In dit onderzoek is (voor zover bekend) voor het eerst in Nederland aandacht besteed aan fijn stof gebonden benzeen. Het verkennend onderzoek bij de Drechtunnel wijst erop dat de uitstoot van benzeen door vracht- en personenauto's voor circa 50% bestaat uit fijn stof gebonden benzeen. De gevolgen van deze verkeersgerelateerde emissies op de verdeling van fijn stof gebonden c.q. gasvormig benzeen in de buitenlucht wordt in een volgende meetcampagne nader onderzocht.

Benzo(a)pyreen; PAK verbindingen (o.a. benzo(a)pyreen) bemonsterd met een "cascade-impactor" zijn voor meer dan 80% geconcentreerd in de deeltjesgrootte fractie kleiner dan 0,4 µm. Het PAK-profiel van PM_{2,5} is voor vracht- en personenverkeer vrijwel identiek, zodat met deze profielen niet de afzonderlijke bijdragen van personen- en vrachtverkeer aan buitenluchtconcentraties van fijn stof kunnen worden berekend.

PM₁₀ en PM_{2,5}; De emissie van PM₁₀ door vrachtverkeer (920 mg) is per kilometer afgelegde weg een factor 20 hoger dan door personenverkeer (45 mg). Voor PM_{2,5} is de emissie door vrachtverkeer een factor 15 hoger dan door personenverkeer. PM₁₀ afkomstig van vrachtverkeer bestaat voor circa 70% uit deeltjes kleiner dan 2,5 µm, terwijl voor personenauto's de uitgestoten PM₁₀ voor bijna 100% bestaat uit PM_{2,5}.

Deeltjesaantallen; Voor deeltjesaantallen zijn vanwege het ontbreken van buitenluchtmetingen geen emissiefactoren opgesteld. Uit de metingen in beide tunnelbuizen wordt geconcludeerd dat personen- en vrachtverkeer meer dan 90% van het aantal uitgestoten deeltjes kleiner is dan 0,1 µm. Metingen van het aantal *roetdeeltjes* geven aan dat vrachtwagens een gelijk aantal roetdeeltjes uitstoten per kilometer afgelegde weg als een personenauto: in de orde van circa $2 \cdot 10^{12}$ roetdeeltjes. Vergelijking met concentraties van het totaal aantal deeltjes met een diameter tussen de 0,02 - 0,1 µm dat door verkeer wordt uitgestoten en de concentratie van roetdeeltjes, wijst erop dat slechts 1 promille van de deeltjes uit roet bestaat. Dit onverwachte resultaat behoeft validatie in een vervolgonderzoek. Het meest waarschijnlijk is, dat deeltjes kleiner van 0,1 µm niet goed meetbaar zijn met de toegepaste elektronenmicroscopie methode.

Conclusies

De toegepaste methoden in dit verkennend onderzoek zijn geschikt voor verder onderzoek naar verkeersemisies van fijn stof. Nader onderzoek is gewenst naar het gebruik van cascade-impactoren voor monsternamen van de “zwaardere” PAK (o.a. benzo(a)pyreen) ten behoeve van het vaststellen van fijn stof profielen. Tevens is behoefte aan vergelijkend onderzoek van de meting van roetdeeltjes en totaal aantal deeltjes.

De resultaten van het verkennend onderzoek zijn een indicatie dat emissie van *deeltjesaantallen* in de grootte orde van 0,02 - 0,1 µm, vooral voor *personenverkeer* van belang is, terwijl de emissie van de *massa* van fijn stof per *vrachtwagen* per kilometer afgelegde weg een factor 20 hoger is dan die van personenvervoertuigen.

Meer metingen in tunnels en langs snelwegen zijn gewenst om emissiefactoren van vracht- en personenverkeer betrouwbaarder vast te stellen. Met deze informatie kunnen bijvoorbeeld concentratiegradiënten worden berekend in de omgeving van wegen met verschillende verkeersintensiteit en een verschillende verdeling tussen vracht- en personenverkeer. Tevens kunnen dergelijke metingen worden ingezet om trends in emissies van fijn stof door verkeer te monitoren.

Vervolgonderzoek

Vanwege de uitstekende voorzieningen en de mogelijkheid om vracht- en personenverkeer te onderscheiden wordt voorgesteld vervolgonderzoek uit te voeren in de Drechtunnel. In vervolgonderzoek zal meer aandacht worden besteed aan meting van zowel deeltjesaantallen als massa in de buitenlucht en beide tunnelbuizen, zodat emissiefactoren (nogmaals) berekend kunnen worden. Tevens wordt meer aandacht besteed aan de chemische samenstelling van verschillende deeltjesgrootte fracties van fijn stof door:

- i) PAK-monsterneming door middel van een speciale cascade-impactor
- ii) de verdeling fijn stof gebonden/gasvormig benzeen
- iii) elektronenmicroscopie

Als laatste punt zullen nogmaals emissiefactoren van CO, (lichte) koolwaterstoffen, NO_x, CO en NH₃ (en wellicht N₂O) worden vastgesteld als additionele informatie bij dit fijn stof onderzoek. Hierbij zal het ventilatievoud in de tunnel door het gebruik van SF₆ tracergas worden vastgesteld. Tenslotte is het zinvol het onderzoek uit te breiden naar “doorgaand” stadsverkeer, waarbij wellicht stadstunnels als meetlocatie kunnen worden ingericht.

Inhoudsopgave

	Samenvatting.....	3
	Inhoudsopgave	7
1.	Inleiding	9
1.1	Doelstelling van het onderzoek.....	10
1.2	Opzet van het onderzoek	11
1.3	Opzet van het rapport	12
2.	Overzicht van de meetstrategie	13
2.1	Meetlocatie	13
2.2	Meetmethoden	13
2.2.1	Deeltjesmassa.....	14
2.2.2	Deeltjesaantallen	14
2.2.3	Relevante stoffen.....	15
3.	Resultaten van metingen in de Drechtunnel	17
3.1	Verkeersintensiteit en -snelheid.....	17
3.2	Het ventilatievoud.....	18
3.3	Weersomstandigheden.....	19
3.4	Meetresultaten	20
3.4.1	Fijn stof massa meting (gravimetrisch).....	20
3.4.2	Fijn stof deeltjesaantallen (nummeriek).....	22
3.5	Relevante stoffen	26
3.6	Emissiefactoren.....	32
4.	Conclusies en aanbevelingen	37
5.	Verantwoording	41

Bijlage 1 Berekening van emissiefactoren

1. Inleiding

De aandacht in onderzoek naar fijn stof in de buitenlucht is verschoven van concentraties van de *massa* van deeltjes kleiner dan 10 μm (PM_{10}) naar:

- i) deeltjes kleiner dan 2,5 μm en zelfs 0,1 μm ($\text{PM}_{2,5}$ en $\text{PM}_{0,1}$),
- ii) de chemische samenstelling van fijn stof en
- iii) deeltjesaantallen.

In toenemende mate wordt onderkend dat PM_{10} een te grove maat is voor het vaststellen van gezondheidsrisico's van fijn stof¹. De Nederlandse luchtnorm voor PM_{10} is een jaargemiddelde concentratie van 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, terwijl voor deeltjesaantallen een arbeidsplek norm geldt van 10⁹ deeltjes per m^3 . Voor de chemische samenstelling zijn geen normen overeengekomen.

Om het leesgemak van het rapport te verbeteren is in grote lijnen de huidige, relevante kennis van fijn stof samengevat. Fijn stof luchtconcentraties op een bepaalde locatie worden bepaald door de afstand tot bronnen, uitstoot van primaire deeltjes en de vorming van secundaire deeltjes door atmosferische reacties. Primaire deeltjes zijn afkomstig van verbrandings- (roet, vliegast e.d.) en natuurlijke processen, zoals verwaaiend bodemstof en zeezout. Secundaire deeltjes, voornamelijk samengesteld uit ammoniumnitraat en -sulfaat, worden gevormd door atmosferische reacties uit NO_x , SO_2 en NH_3 . De verdeling van fijn stof in de buitenlucht in verschillende *deeltjesgrootte* wordt gekarakteriseerd naar deeltjesaantallen, het oppervlak en de massa. Veruit het grootste aantal deeltjes heeft een "diameter" van circa 0,01 - 0,1 μm , het grootste oppervlak bevindt zich in de fractie van deeltjes van circa 0,2 - 0,4 μm en de verdeling van de massa is bi-modaal met de belangrijkste piek bij deeltjes met een diameter van circa 0,4 - 0,8 μm en een kleine piek bij de fractie van 4 - 8 μm .

In een *stedelijke* omgeving wordt door verkeer deeltjes uitgestoten met een diameter van 0,01 - 0,1 μm , die in enkele uren/dagen samenklonteren tot deeltjes kleiner dan 1 μm . Deze deeltjes hebben een verblijftijd van enkele weken tot maanden in de atmosfeer. In een *landelijke* omgeving wordt door de uitstoot van ammoniak en aanvoer vanuit stedelijke/industriële omgeving van NO_x en SO_2 deeltjes gevormd van ammoniumzouten, waarvan uiteindelijk de deeltjes van circa 1 μm langere tijd in de atmosfeer verblijven. Primaire emissie door verwaaiend wegenstof, opwaaiend bodemstof e.d. betreft vooral grovere deeltjes, waarvan deeltjes groter dan 10 μm binnen enkele minuten deponeren. In Nederland wordt de bijdrage aan PM_{10} luchtconcentraties door aanvoer uit het buitenland door het RIVM op 70% geschat.

¹ R.M.M. van den Brink (1996): "Deeltjesemissie door wegverkeer." (RIVM-773002008)

Voor PM₁ (in “continental” aangevoerde lucht circa 75% van de massa) wordt geschat² dat 50% bestaat uit de “witte” fractie (ammoniumzouten), 10% uit de “zwarte” fractie (roet) en 40% organische verbindingen.

Geconcludeerd wordt dat (bovenop een achtergrond van fijn stof met als belangrijkste bestanddeel ammoniumzouten met een diameter kleiner dan 1 µm) in vergelijking met het platteland, bewoners van steden worden blootgesteld aan een *groter aantal deeltjes met een “roetachtige” samenstelling en met een kleinere diameter (en dus een groter actief oppervlak) en eventueel incidentele blootstelling aan deeltjes afkomstig van primaire emissies met een diameter van 2 - 10 µm*. Het landelijk meetnet van PM₁₀ en “zwarte rook” is onvoldoende fijnmazig om inzicht te bieden in deze factoren, met name op stedelijk niveau en in de buurt van bronnen (verkeerswegen en industrie). Meer onderzoek (wellicht in een Nationaal Onderzoek Programma) is noodzakelijk om het huidige meetnet te verbeteren ten behoeve van:

- het vaststellen van de oorzaken van gezondheidseffecten;
- aanbevelingen voor lokale, additionele luchtmonitoringsinspanning; en
- het bepalen van het effect van internationale, nationale en lokale maatregelen

Het verkeer levert een belangrijke bijdrage aan emissies van fijn stof zowel door directe uitstoot van (roet)deeltjes en opwaaiend wegstof, als door de bijdrage aan de vorming van secundaire deeltjes. Vergeleken met kennis over de emissie van stoffen zoals CO, SO₂ en NO_x is weinig bekend over fijn stof emissies door verkeer in het algemeen en nog minder over het onderscheid in fijn stof emissies door vracht- en personenverkeer. Het ontbreekt vooral aan kennis van de deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling van de uitstoten *massa en deeltjesaantallen*². Om meer inzicht te krijgen in de emissies van fijn stof door het Nederlandse wegverkeer en het onderscheid in vracht- en personenverkeer is in 1997 door TNO, onderzoek verricht in de Drechtunnel in Dordrecht.

1.1 Doelstelling van het onderzoek

De metingen in de Drechtunnel zijn onderdeel van doelsubsidie-onderzoek naar fijn stof emissies door verkeer, dat TNO uitvoert in opdracht van het Ministerie van VROM. Dit onderzoek betreft voertuig- en wegverkeer-emissies van fijn stof. De lange-termijn doelstellingen van het onderzoek zijn:

1. De ontwikkeling van een gestandaardiseerde methode waarmee *voertuigemissies* van fijn stof onder gecontroleerde omstandigheden kunnen worden gemeten; en

² Ten Brink e.o. (1997): “Composition /size of the light-scattering aerosol in the Netherlands.”, Atmos. Environ. 31, 23, 3955-3962 (1997)

2. De ontwikkeling van een gestandaardiseerde methode waarmee de bijdrage van *verkeersemisies* aan fijn stof en de verspreiding naar de directe omgeving kan worden bepaald.

De doelstellingen van het onderzoek in de Drechtunnel zijn als volgt:

1. *inzicht verkrijgen van de massa, aantallen en chemische samenstelling van verschillende grootte-fracties van fijn stof, uitgestoten door personen- en vrachtverkeer.* Dit inzicht is gewenst voor het ontwikkelen van een methode voor het opstellen van “fijn stof profielen” van personen- en vrachtverkeer, waarmee met behulp van receptor-modellen de bijdragen van personen- en vrachtverkeer aan concentraties van fijn stof in de lucht op lokale, regionale en landelijke schaal kan worden geschat; en
2. *het meten van emissiefactoren per afgelegde kilometer uitgestoten door personen- en vrachtverkeer van fijn stof naast een aantal andere componenten.* De resultaten worden gebruikt om de bijdrage van het verkeer aan de luchtkwaliteit in Nederland te schatten. Tevens wordt door vergelijking met waarden afkomstig van het CBS en resultaten van soortgelijke metingen in het verleden^{3,4} de betrouwbaarheid van de resultaten getoetst en de trend in (dalende) emissiefactoren onderzocht.

1.2 Opzet van het onderzoek

Het doelsubsidie-onderzoek naar fijn stof wordt uitgevoerd door de Afdeling Milieukwaliteit en -analyse van het instituut TNO-MEP en de Afdeling Verbrandingsmotoren van het instituut TNO-WT. Tevens wordt nauw samengewerkt met het ECN in Petten. Het onderzoek heeft een looptijd van 1996 tot 1998.

In 1996 zijn metingen uitgevoerd beneden- en bovenwinds bij een verkeersweg en voertuigemissiemetingen op de rollenbank. In 1997 zijn de rollenbankmetingen uitgebreid met andere typen voertuigen en het (in dit rapport beschreven) onderzoek in de Drechtunnel. Het onderzoek in 1998 wordt nader gedefinieerd op basis van de resultaten in 1997.

³ Th.R. Thijsse en W.A.M. den Tonkelaar (1987): “Meting van emissies door wegverkeer in de Drechtunnel te Dordrecht.” (TNO-R87/036)

⁴ L.F. Heidema (1993): “Verkeersemisies vastgesteld in de Velzer tunnel”. (TNO-R93/079)

1.3 Opzet van het rapport

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de veldmetingen in de Drechtunnel. In Hoofdstuk 2 wordt ingegaan op de meetstrategie. In hoofdstuk 3 worden de resultaten gepresenteerd. Hoofdstuk 4 bevat conclusies en aanbevelingen, en hoofdstuk 5 geeft een verantwoording voor het onderzoek. In Bijlage 1 wordt de toegepaste rekenmethode toegelicht.

2. Overzicht van de meetstrategie

2.1 Meetlocatie

De Drechtunnel, gelegen in de A16 tussen Zwijndrecht en Dordrecht, heeft in beide rijrichtingen twee tunnelbuizen met elk twee rijbanen. In beide rijrichtingen mag het zware vrachtverkeer alleen van de rechterbuis gebruik maken. Hierdoor rijden door één tunnelbuis voornamelijk personenauto's en licht vrachtverkeer en rijdt door de andere tunnelbuis (naast personenverkeer) het zware vrachtverkeer. Tijdens een meetcampagne van twee dagen zijn op de ene dag luchtconcentraties in de "vrachtverkeersbuis" gemeten en op de andere dag in de "personenverkeersbuis". Naast metingen in de tunnelbuizen zijn ook op beide dagen buitenluchtconcentraties gemeten.

De tunnelbuizen hebben een lengte van 530 meter, een breedte van 10 meter en een hoogte van 5 meter. Tussen de tunnelbuizen bevindt zich een service- annex vluchtgang met op regelmatige afstand aan weerszijden deuren, die op de tunnelbuizen uitkomen. Met uitzondering van stagnerend verkeer en/of calamiteiten wordt gebruik gemaakt van (natuurlijke) ventilatie in de tunnelbuizen, die voornamelijk door het verkeer wordt veroorzaakt.

De meetcampagne is uitgevoerd op 15 en 16 juli 1997 tussen 16.30 - 18.30 uur, waarbij apparatuur in de servicegang was opgesteld en via een luik in deur 11 metingen uitgevoerd en luchtmonsters verzameld. De afstand tussen het luik en het langrijdende verkeer bedroeg circa 0,5 m en de afstand van deur 11 tot het begin van de tunnelbuis is circa 400 meter. Op 15 juli zijn metingen uitgevoerd van verkeer rijdend in de richting van Breda in de "vrachttunnelbuis" overeenkomend met de rijstroken W3 en W4. Op 16 juli zijn identieke metingen uitgevoerd in de "personentunnelbuis" overeenkomend met de rijstroken W1 en W2. Op beide meetdagen zijn buitenlucht metingen uitgevoerd op circa 2 meter afstand aan de buitenzijde van de vangrail langs de A16 en circa 25 meter voor de ingang van de "vrachttunnelbuis".

2.2 Meetmethoden

In het onderzoek in de Drechtunnel is de massa van fijn stof in diverse grootte fracties en de luchtconcentraties van verschillende relevante stoffen gemeten door TNO-MEP. Deeltjesaantallen in verschillende deeltjesgrootte fracties zijn gemeten door het ECN, TNO-Bouw en TNO-MEP.

2.2.1 Deeltjesmassa

Met de Sierra model 236 “*cascade impactor*” is de massa van fijn stof in diverse deeltjesgrootte fracties bemonsterd gedurende 2 uur in elk van de tunnelbuizen. De deeltjesgrootte fracties zijn verzameld op folies met een vangstefficiëncy van circa 50% in de volgende deeltjesgrootte: back-up filter, 0,4 μm , 0,7 μm , 1,4 μm , 2,1 μm , 4,2 μm en 10 μm . Het debiet van de monsternamen was 0,7 m^3/min .

De beladen folies zijn voor en na monsternamen 48 uur geconditioneerd bij een relatieve luchtvochtigheid van 60% en temperatuur van 22 °C en vervolgens gewogen. Het verschil in gewicht van de folies voor en na monsternamen is een maat voor de massa van fijn stof in diverse grootte klassen. Met behulp van het bemonsterde volume is de concentratie van fijn stof in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in diverse grootte-klassen berekend.

Ter controle van de resultaten van de Sierra impactoren is met een zogenaamde “Hund” stof-monitor, die is gebaseerd op een optische methode, de uurs-gemiddelde PM_{10} luchtconcentraties tijdens de meetperiode in beide verkeerstuunnelbuizen bepaald.

2.2.2 Deeltjesaantallen

Het ECN heeft een *Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS)* ingezet voor het meten van deeltjesaantallen in het bereik van 0,01 tot 1 μm . Een scan van het totale meetbereik duurt circa 3 minuten. TNO-Bouw heeft deeltjesaantallen gemeten met een (enigszins verouderd) TSI model 3030 Electrical Aerosol Analyzer (EAA) in het bereik van 0,01 tot 1 μm . Tevens zijn metingen uitgevoerd met een Royco model 5230 Airborn Particle Counter in het bereik van 0,3 tot 25 μm . Deeltjesaantallen zijn alleen in de tunnel gemeten (en niet in de buitenlucht), zodat alleen een vergelijking tussen luchtconcentraties in de vracht- en personenverkeersbuis mogelijk is. Berekening van emissiefactoren is niet mogelijk door het ontbreken van buitenlucht data.

TNO-MEP heeft met goud-gecoate filters zowel tunnellucht en buitenlucht bemonsterd voor het tellen van aantallen (roet)deeltjes met een *Raster Elektronen Microscoop (REM)* in het bereik van 0,05 tot 10 μm . Hierbij zijn twee kanttekeningen van belang:

1. Secundaire deeltjes, zoals ammonium-zouten en zeezout, die voor een belangrijk deel de massa van $\text{PM}_{2,5}$ bepalen, worden als een zoutkorst op het filter bemonsterd, waardoor individuele telling niet mogelijk is; en
2. Deeltjesgroottes worden op verschillende wijze gekarakteriseerd: met de REM wordt de “zichtbare” diameter van deeltjes bepaald, terwijl massametingen in dit onderzoek zijn gebaseerd op de “aërodynamische” diameter en deeltjes

aantallen metingen betrekking hebben op de “mobiliteits” diameter. Vanwege de relatie met de doordringbaarheid in longen en verspreiding in de atmosfeer is het gebruik van aërodynamisch diameter een gangbaarder begrip dan de “zichtbare” diameter.

In vergelijking met bovengenoemde SMPS en APS is REM een arbeidsintensieve methode om deeltjesaantallen te bepalen, maar het voordeel is een relatief eenvoudige monstername en de mogelijkheid om van individuele deeltjes de chemische samenstelling te bepalen. [Dit laatste is overigens in dit onderzoek niet uitgevoerd.]

2.2.3 Relevante stoffen

De fijn stof fracties verzameld met de Sierra impactoren zijn na weging geëxtraheerd met dichloormethaan en geanalyseerd met HPLC op PolyAromatische Koolwaterstoffen (PAK). Deze meting is een maat voor PAK die gebonden zijn aan fijn stof en/of als vloeistof druppels in de buitenlucht aanwezig zijn. Dit type monstername is zeker niet geschikt voor kwantitatieve monstername van “gasvormige” PAK met een molgewicht lager dan 200, maar wel indicatief voor luchtconcentraties van deeltjesgebonden zwaardere PAK (zoals benzo(a)pyreen met een molgewicht van 252). Onderzoek van het ECN⁵ geeft aan dat circa 20% van benzo(a)pyreen op deze wijze wordt bemonsterd in vergelijking met de “PolyUrethaanFoam - PUF” methode, die in het landelijk meetnet van het RIVM wordt toegepast. Ander onderzoek⁶ geeft aan dat “cascade-impactoren” wel geschikt zijn voor het bepalen van deeltjesgebonden PAK, mits voorzorgsmaatregelen worden genomen. In verband met deze onzekerheden worden de PAK metingen in dit onderzoek indicatief beschouwd.

Koolmonoxide en stikstofoxiden lucht zijn op beide meetdagen zowel in de tunnel als in de buitenlucht met monitoren gemeten.

Vluchtige koolwaterstoffen zijn verzameld op beide meetdagen zowel in de tunnelbuizen als in de buitenlucht door half-uurs monstername met een Teflon pomp en Teflon-gecoate monsterzakken. De bemonsterde lucht is op het laboratorium geanalyseerd met b.v. gaschromatografie op ethaan, etheen, acethyleen, propaan en propeen.

Ammoniak is in duplo bemonsterd met oxaalzuur-gecoate denuderbuizen op beide meetdagen zowel in de tunnel als in de buitenlucht met een debiet van 3 l/min. De uitgespoelde denuderbuizen zijn bij het ECN op ammonium geanalyseerd.

⁵ G.P. Wyers e.a. (1997): “Atmospheric dispersion of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from motorways; a research strategy”. (ECN-C-97-024)

⁶ J.O. Allen e.a. (1996): “Measurements of PAH associated with size-segregated atmospheric aerosols in Massachusetts”, Environ. Sci. Technol. 1996, 30, 1023-1031.

Benzeen en toluen zijn bemonsterd met Tenax gevulde absorptiepatronen met een debiet van 20 ml/min. De monsternamen zijn uitgevoerd in twee parallel geschakelde Tenax patronen, waarbij een koolstof-gecoate denuder is geplaatst voor één van de twee Tenax patronen. Door de koolstof-gecoate denuder wordt gasvormig benzeen (en toluen) voor meer dan 95% afgevangen. Het verschil tussen beide metingen met de parallel geschakelde Tenax patronen is een maat voor deeltjesgebonden benzeen. Onderscheid van deeltjesgebonden en gasvormig benzeen lijkt van belang voor gezondheidseffecten (van fijn stof (en benzeen)). De toegepaste monsternamemethode is voor zover bekend de eerste keer toegepast om luchtconcentraties van benzeen te onderscheiden in gasvormig en deeltjesgebonden fracties. De bemonsterde Tenax buizen zijn in het laboratorium thermisch gedesorbeerd en met gaschromatografie geanalyseerd.

3. Resultaten van metingen in de Drechtunnel

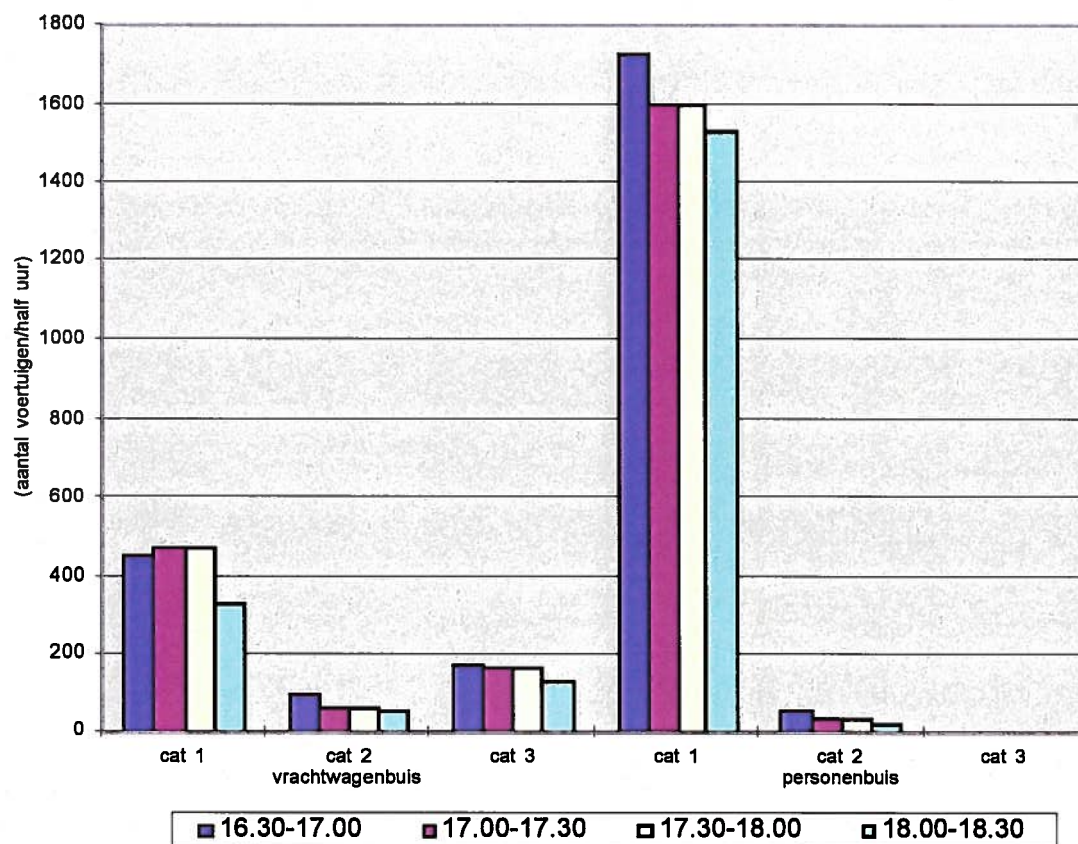
3.1 Verkeersintensiteit en -snelheid

De Adviesdienst Verkeer en Vervoer van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat registreert per rijbaan de verkeersintensiteit en -snelheid. Hierbij wordt een onderscheid gemaakt in drie categorieën: personenauto's (minder dan 6 meter lengte), lichte vrachtauto's (6-12 meter lengte) en zware vrachtauto's (langer dan 12 meter). De verkeersintensiteit en -snelheid op beide meetdagen is weergegeven in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Verkeersintensiteit en -snelheid in de vracht- (15 juli) en personenverkeersbuis (16 juli) van de Drechtunnel van verkeer in de richting Breda van 16.30 tot 18.30 uur in de categorie 1 t/m 3.

Periode (uur)	vrachtbuis (15 juli) aantal/snelheid (km/u)			personenbuis (16 juli) aantal/snelheid (km/u)		
	cat. 1	cat. 2	cat. 3	cat. 1	cat. 2	cat. 3
16.30-17.00	450/89	99/81	171/78	1730/98	59/94	2/-
17.00-17.30	471/91	67/82	168/79	1600/102	35/95	0/-
17.30-18.00	471/91	67/82	168/79	1600/102	35/95	1/-
18.00-18.30	327/92	56/83	129/79	1527/104	22/97	0/-

Uit tabel 3.1 blijkt dat tijdens de monsternamperiodes zwaar vrachtverkeer niet of nauwelijks door de personenverkeersbuis heeft gereden, zodat de emissies terecht onderscheiden kunnen worden in personen- en vrachtverkeer. Gezien het relatief kleine aandeel van categorie 2 aan het verkeer wordt in de analyse van de data categorie 2 opgeteld bij categorie 1. Tenslotte blijkt dat de spreiding in de verkeersintensiteit en -snelheid tussen de vier half-uurs perioden gering is. Dit wordt voor de verkeersintensiteit geïllustreerd in Figuur 3.1.



Figuur 3.1 De verkeersintensiteit in aantal per half-uursperioden door de vrachtbuis op 15 juli en de personenbuis op 16 juli van verkeer rijdend in de richting Breda door de Drechtunnel.

Vanwege de geringe spreiding in de verkeersintensiteit is in de data-analyse gewerkt met de verkeersintensiteit over de totale meetperiode van 16.30 t/m 18.30 van verkeer rijdend met een snelheid gelijk aan het gemiddelde van de vier half-uursperioden.

3.2 Het ventilatievoud

Tijdens de metingen is gepoogd het ventilatievoud in de Drechtunnel te bepalen met behulp van het tracergas SF_6 . Helaas is door een storing in de SF_6 meting op het laboratorium deze bepaling mislukt. In 1987 is door Thijsse³ met behulp van SF_6 het ventilatievoud in beide tunnelbuizen van de Drechtunnel bepaald. Een belangrijke conclusie van dat onderzoek was dat het ventilatievoud (gegeven de geometrie van de tunnelbuis) wordt bepaald door het aantal voertuigen, de snelheid en de categorie. Door vergelijking van deze factoren van de experimenten in 1986/87 en het experiment in 1997 is een schatting gemaakt van het huidige ventilatievoud in beide tunnelbuizen. Deze waarden zijn weergegeven in Tabel 3.2.

Tabel 3.2 *Verkeersintensiteit naar aantal en categorie en de snelheid in de vrachtverkeersbuis en personenverkeersbuis van verkeer rijdend richting Breda door de Drechtunnel in 1986/87 en in 1997, en het ventilatievoud bepaald in 1986/87.*

Periode	vrachtbuis aantal/snelheid (km/u)			personenbuis aantal/snelheid (km/u)		
	cat. 1+2	cat. 3	voud	cat. 1+2	cat. 3	voud
15/07/1997	1004/86	318/79	-	-	-	-
16/07/1997	-	-	-	3304/98	0/-	-
06/11/1986	444/94	381/84	68	3280/99	0/-	58
07/05/1987	488/94	408/83	61	3397/97	0/-	48

Opvallend in Tabel 3.2 is dat in vergelijking met 10 jaar geleden de verkeersintensiteit en snelheid door de *personenverkeersbuis* niet of nauwelijks is veranderd. Ook het zware vrachtverkeer rijdend door de *vrachtverkeersbuis* is nauwelijks in intensiteit en snelheid veranderd. Daarentegen is het aantal *personenauto's* dat de *vrachtverkeersbuis* passeert in 10 jaar tijd verdubbeld.

Tien jaar geleden is bepaald dat het ventilatievoud voor de personenbuis gemiddeld 53 bedroeg d.w.z. in één uur tijd werd de lucht in de buis 53 maal verversd. Een verkeersbuis in de Drechtunnel heeft de afmetingen (in meters) van 530 (lengte) * 10 (breedte) * 5 (hoogte) en (dus) een volume van circa 20.000 m³. Met een ventilatievoud van 53 kan worden berekend, dat per seconde 300 m³ lucht wordt verplaatst. Dit komt overeen met een windsnelheid van circa 30 km/uur in de tunnelbuis, wat realistisch is uit waarnemingen van bijvoorbeeld verwaaiende papiersnippers in de tunnelbuis. In de vrachtverkeersbuis is het gemiddelde ventilatievoud 65. Deze grotere luchtverplaatsing wordt voornamelijk veroorzaakt door het grotere volume van vrachtwagens in vergelijking met personenauto's.

Door vergelijking van de huidige verkeersintensiteit en -snelheid met 10 jaar geleden is geschat dat het ventilatievoud in de personen- en vrachtwagenverkeersbuis respectievelijk 53 en 65 bedraagt. Met deze cijfers zijn in dit onderzoek emissiefactoren berekend, zoals toegelicht in Bijlage 1.

3.3 Weersomstandigheden

De weersomstandigheden op beide meetdagen waren "normaal" voor de tijd van het jaar met een windsnelheid en -richting op 15 en 16 juli van respectievelijk 4 m/s en Zuid/Zuid-West. De hoeveelheid neerslag was nihil op beide meetdagen. De temperatuur in de tunnelbuizen en de relatieve vochtigheid bedroeg circa 20°C en 60%.

3.4 Meetresultaten

De meetresultaten worden eerst als luchtconcentraties gepresenteerd verdeeld over vracht- en personenverkeer. Hierbij wordt opgemerkt dat de verkeersintensiteit van *personenverkeer* in de *vrachtverkeersbuis* aanzienlijk is. Vergelijking van de luchtconcentraties in beide tunnelbuizen geeft slechts een kwalitatief beeld over de bijdrage van emissies van vracht- en personenverkeer. In Hoofdstuk 3.6 worden emissiefactoren gepresenteerd van de afzonderlijke emissies van vracht- en personenauto's per kilometer afgelegde weg.

3.4.1 Fijn stof massa meting (gravimetrisch)

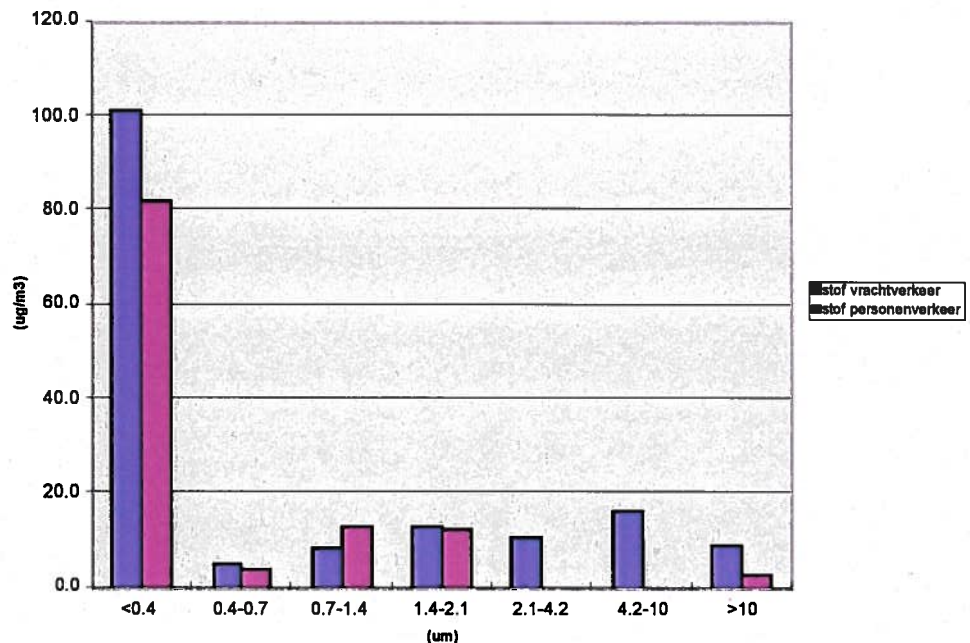
De luchtconcentraties van de massa van fijn stof verdeeld naar deeltjesgrootte fractie zijn weergegeven in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Luchtconcentraties van fijn stof in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ van verschillende deeltjesgrootte in μm in de vracht- en de personen-verkeersbuis op 15 en 16 juli in de Drecht-tunnel.

tunnel- buis	$\mu\text{g}/\text{m}^3$						
	<0,4 μm	0,4-0,7 μm	0,7-1,4 μm	1,4-2,1 μm	2,1-4,2 μm	4,2-10 μm	>10 μm
vracht	101,2	4,5	7,9	13,1	10,8	16,4	9,0
personen	81,9	3,8	12,7	12,3	d.l.	d.l.	2,3

dl: bepalingsondergrens ($2,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)

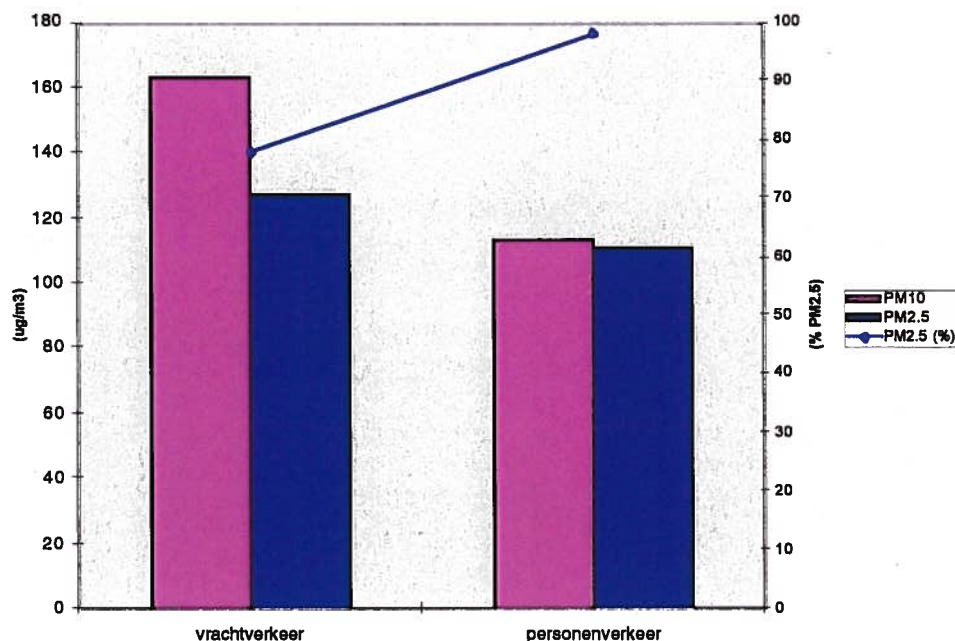
Volgens de verwachting duiden de resultaten op een absoluut hogere emissie van vrachtverkeer ten opzichte van personenverkeer. Tevens blijkt dat vrachtverkeer een hogere emissie veroorzaakt in de deeltjesfractie groter dan $2,5 \mu\text{m}$, waarschijnlijk door meer opwaaiend wegenstof bij vrachtverkeer. In Figuur 3.2 zijn de cijfers van Tabel 3.3 grafisch weergegeven.



Figuur 3.2 Verschil in massa van fijn stof in verschillende deeltjesgrootte in de vracht- en personenverkeersbuis in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

De fractie kleiner dan $0,4 \mu\text{m}$ is het gevolg van uitlaat emissies door primaire deeltjes, terwijl deeltjes van 1 tot $10 \mu\text{m}$ opwaaiend wegestof betreft van o.a. bandenslijpsel en geabsorbeerde primaire deeltjes. Volgens verwachting levert vrachtverkeer een hoger aandeel opwaaiend wegestof dan het personenverkeer. De resultaten zoals weergegeven in Figuur 3.2 bevestigen dat verkeersemisies van de fijn stof massa vooral optreden in de fractie kleiner dan $0,4 \mu\text{m}$, maar de bijdrage van verwaaiend wegestof met deeltjes in de orde van $1\text{--}10 \mu\text{m}$ in de directe omgeving van een weg is niet te verwaarlozen.

In Figuur 3.3 zijn berekende PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ in de vracht- en personenverkeersbuis weergegeven. Deze waarden zijn verkregen door de relevante fracties van de Sierra impactor te sommeren. PM_{10} voor het vracht- en personenverkeer is respectievelijk 163 en $113 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naast Sierra impactoren is met een Hund stofmonitor PM_{10} in beide verkeerstunnelbuizen in de Drechtunnel bepaald. Deze metingen geven een uurs-gemiddelde PM_{10} van vracht- en personenverkeer tijdens de meetperiode van respectievelijk 140 en $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De overeenkomst van de Hund metingen (gebaseerd op een optische methode) en de Sierra impactoren (gebaseerd op een verschil weging van folies) zijn een maat voor de redelijke betrouwbaarheid van de Sierra resultaten.



Figuur 3.3 PM_{10} en $PM_{2.5}$ van vracht- en personenverkeer.

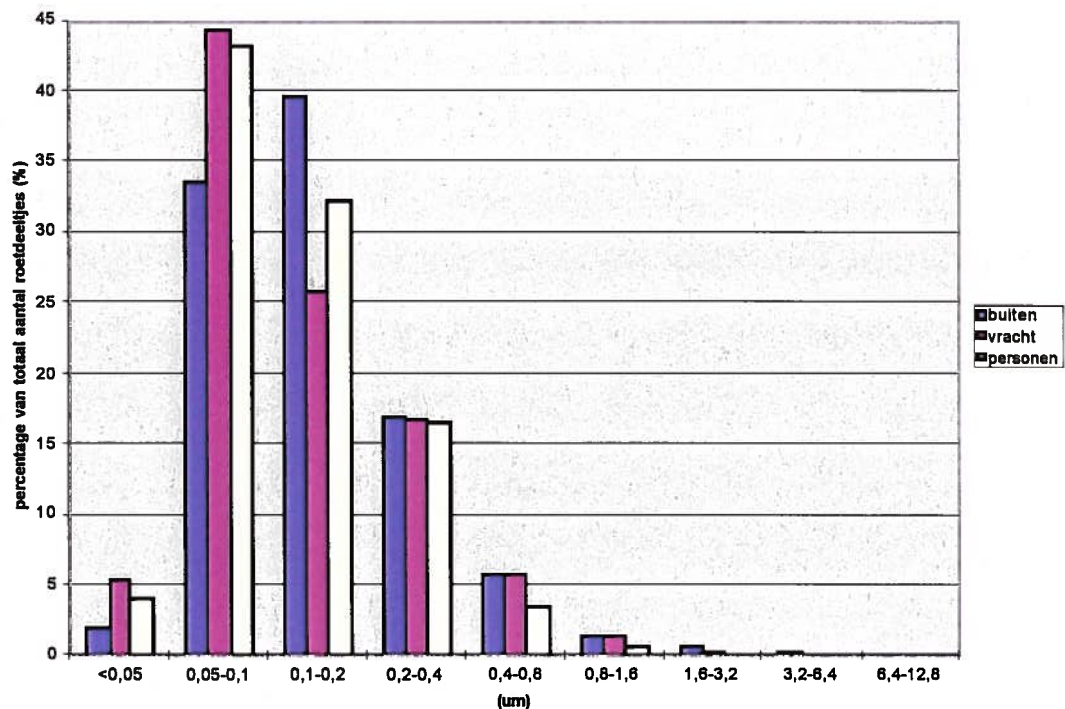
Figuur 3.3 illustreert dat vrachtverkeer aanzienlijk hogere PM_{10} emissies veroorzaakt dan personenverkeer en dat $PM_{2.5}$ een aanzienlijk hoger relatief aandeel heeft van PM_{10} voor personenverkeer (98%) dan voor vrachtverkeer (78%).

3.4.2 Fijn stof deeltjesaantallen (nummeriek)

Deeltjesaantallen in verschillende grootteklassen zijn gemeten op verschillende manieren: aantallen roetdeeltjes met “off-line”elektronenmicroscopie en “on-line” met verschillende apparatuur.

Roetdeeltjes met elektronenmicroscopie

Het aantal roetdeeltjes in de buitenlucht, de vrachtwagenbuis en de personenbuis bedroeg respectievelijk $7,4 \cdot 10^7$, $7,3 \cdot 10^8$ en $2,1 \cdot 10^9$ per m^3 . De binnenlucht norm voor aantallen deeltjes bedraagt 10^9 deeltjes per m^3 . De uitstoot per vrachtwagen per kilometer afgelegde weg is weliswaar hoger dan die voor een personenwagen (zie Hoofdstuk 3.6), maar deze cijfers illustreren vooral dat de uitstoot door een groot aantal personenauto's tot aanzienlijke concentraties van roetdeeltjes in de lucht kunnen leiden. In Figuur 3.4 is de verdeling over de verschillende grootteklassen van deze luchtconcentraties van roetdeeltjes weergegeven.

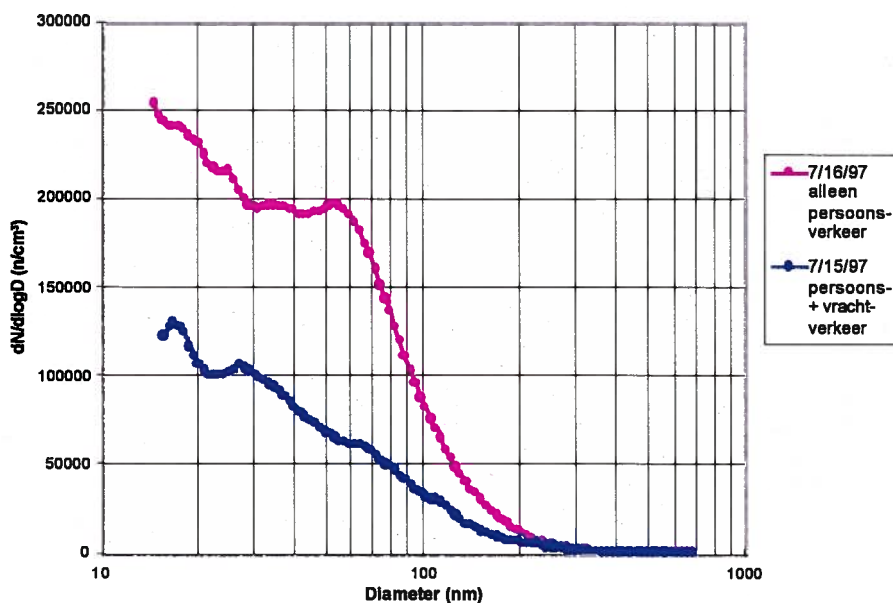


Figuur 3.4 Verdeling in % van roetdeeltjes in verschillende grootteklassen in de buitenlucht en van vracht- en personenverkeer gemeten in de Drechtunnel.

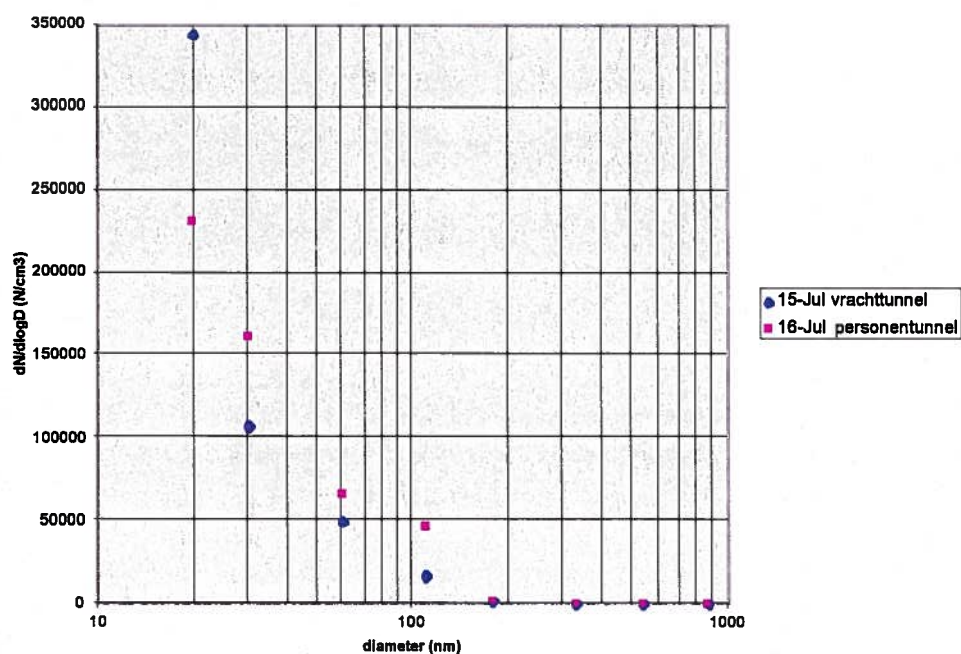
Figuur 3.4 illustreert dat de hoogste concentratie roetdeeltjes in de buitenlucht een deeltjesgrootte heeft van 0,1 - 0,2 µm, terwijl voor “vers” uitgestoten roet de hoogste concentratie een grootte heeft van 0,05 - 0,1 µm. Met andere woorden: bewoners in de nabijheid van verkeerswegen worden aan kleinere deeltjes blootgesteld (bovenop de reeds aanwezige achtergrond van aantallen deeltjes in de buitenlucht). Opvallend is dat de deeltjesgrootteverdeling van vracht- en personenverkeer vrijwel gelijk is, terwijl op grond van waarneming (de bekende “zwarte rookpluimen” uit vrachtauto’s) grotere roetdeeltjes worden verwacht bij vrachtverkeer. De verklaring van de “zwarte rookpluimen” moet daarom eerder worden gezocht in de hoge concentratie roetdeeltjes dan in de grootte van de deeltjes. Er wordt aangetekend dat deeltjes kleiner dan 0,1 µm moeilijk door de toegepaste elektronenmicroscopie worden gedetecteerd, zodat vooral de lage aantallen in het bereik van < 0,05 µm een niet erg betrouwbare meting is.

Aantal deeltjes kleiner dan 1 µm

In de Figuren 3.5A en 3.5B zijn weergegeven het totaal aantal deeltjes gemeten in de vrachtwagenbuis en de personenbuis door het ECN en TNO-Bouw. Beide apparaten hebben een gelijkwaardig meetprincipe, maar het ECN heeft een meer ontwikkelde en geautomatiseerde versie.



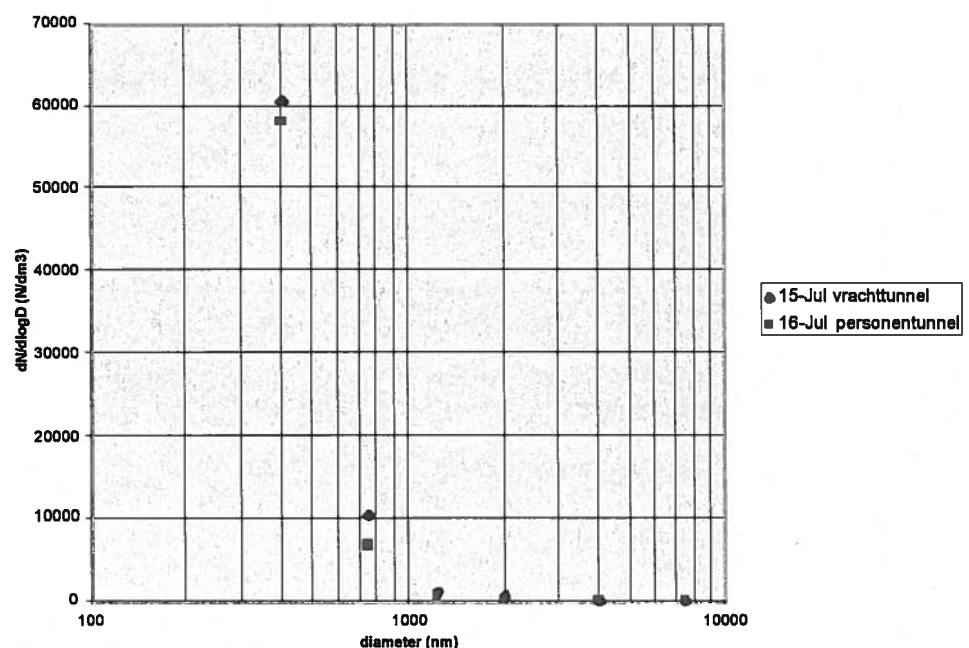
Figuur 3.5a Totaal aantal deeltjes per cm^3 in verschillende deeltjes klasse tot $1 \mu\text{m}$ van zowel vracht- als personenverkeer gemeten in de Drechtunnel door het ECN.



Figuur 3.5b Totaal aantal deeltjes per cm^3 in verschillende deeltjes klasse tot $1 \mu\text{m}$ van zowel vracht- als personenverkeer gemeten in de Drechtunnel door TNO-Bouw.

Beide metingen van het ECN en TNO-Bouw geven een vergelijkbaar resultaat, bijvoorbeeld het aantal deeltjes van circa 30 nm zijn voor de personenbuis en vrachtbuis respectievelijk circa 175.000 en 100.000 per cm^3 . Het groter aantal kanalen dat door het ECN wordt gescant en de hoge mate van automatiseringen geven meer detail informatie. Zowel personen- als vrachtverkeer stoten vooral deeltjes uit met een diameter kleiner dan 0,1 μm , terwijl er nauwelijks deeltjes groter dan 200 nm worden geëmitteerd. De sub 0,1-micron deeltjes klonten binnen enkele uren/dagen tot deeltjes van circa 0,8 μm . De luchtconcentraties van deeltjes met een diameter tussen de 20 - 100 nm wordt geschat door het gemiddelde aantal deeltjes per meetkanaal (circa 175.000/ cm^3 voor personenverkeer en 100.000/ cm^3 voor vrachtverkeer) te vermenigvuldigen met het aantal meetkanalen (47) van de SMPS. Dit geeft een luchtconcentratie in de personenverkeerbuis van circa $8 \cdot 10^{12}$ deeltjes per m^3 en voor de vrachtverkeerbuis van circa $3 \cdot 10^{12}$ deeltjes per m^3 .

De resultaten van de meting van aantallen deeltjes in de grootte orde van 1 tot 10 μm zijn weergegeven in Figuur 3.6.



Figuur 3.6 Totaal aantal deeltjes per dm^3 in verschillende deeltjes klasse tot 10 μm van zowel vracht- als personenverkeer gemeten in de Drechtunnel door TNO-Bouw.

In vergelijking met de aantallen deeltjes tot 1 μm illustreert Figuur 3.6 dat het aantal deeltjes groter dan 1 μm dat door verkeer wordt uitgestoten nihil is. [In Figuren 3.5A en 3.5B zijn het aantal deeltjes per cm^3 weergegeven, terwijl in Figuur 3.6 het aantal deeltjes per dm^3 is weergegeven: een factor 1000 kleiner in Figuur 3.6.] Figuur 3.6 geeft wel aan dat de emissie van het aantal deeltjes door

vrachtverkeer met een diameter van 1 - 5 μm , gelijk of zelfs groter is dan van personenverkeer. Dit komt overeen met de meting van de massa van fijn stof, waaruit wordt geconcludeerd dat vrachtverkeer met name ook een bijdrage levert aan emissie van verwaaiend wegstof van deeltjes groter dan 1 μm .

Berekening van emissiefactoren van *deeltjesaantallen* door vracht- en personenverkeer is mogelijk indien ook metingen in de buitenlucht worden uitgevoerd. Door het ontbreken van voldoende apparatuur in deze meetcampagne zijn deeltjesaantallen alleen gemeten in de tunnelbuizen. SMPS metingen zoals uitgevoerd door het ECN voor het bepalen van deeltjesaantallen verdienen de voorkeur boven de enigszins verouderde meetapparatuur van TNO-Bouw. In vervolgonderzoek wordt dan ook gepoogd voor metingen van buitenlucht en de tunnelbuizen, twee SMPS'en van het ECN in te zetten.

3.5 Relevante stoffen

Naast deeltjesmassa en -aantallen van fijn stof zijn tevens luchtconcentraties gemeten van een aantal relevante verbindingen. Dit betreft deeltjesgebonden c.q. deeltjesvormige stoffen zoals PAK; gedeeltelijk gasvormige en deeltjesgebonden stoffen zoals benzeen (C_6H_6) en toluen (C_7H_8); en alleen gasvormige verbindingen zoals koolmonoxide (CO), stikstofmonoxide (NO), stikstofdioxide (NO_2), ammoniak (NH_3) en (lichte) koolwaterstoffen (C_2H_2 - C_3H_8).

Chemisch profiel van fijn stof door PAK analyse

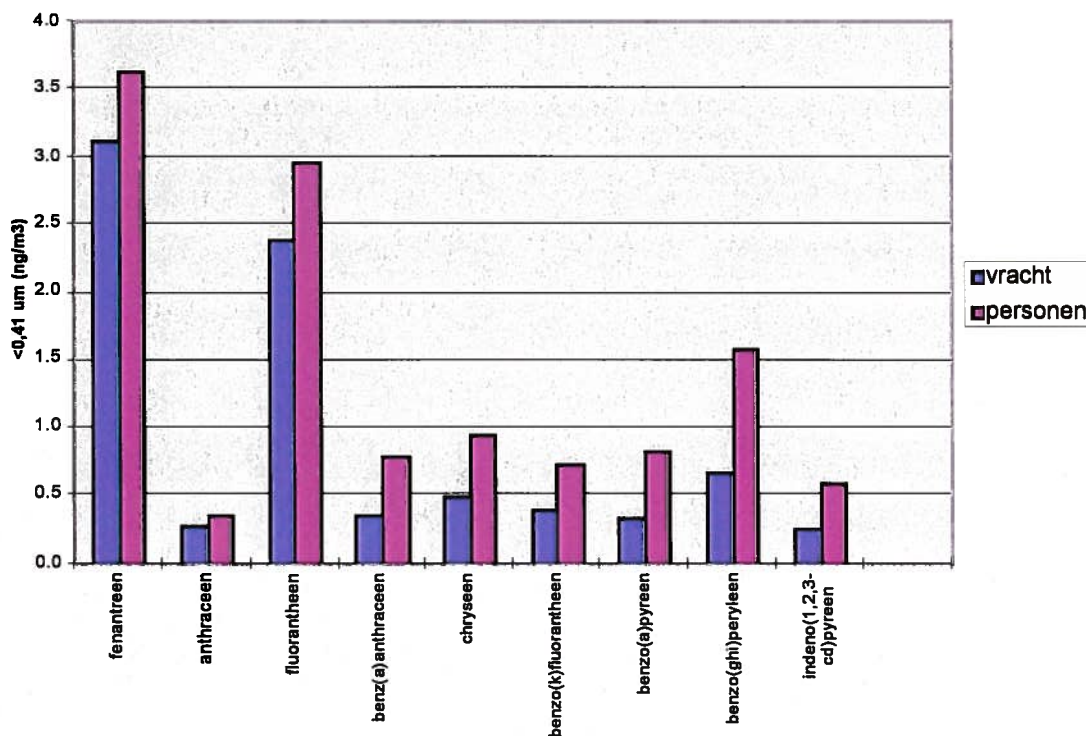
De meting van PAK vormt een onderdeel van het identificeren van een chemisch profiel van fijn stof uitgestoten door vrachtverkeer versus personenverkeer. PAK analyses zijn uitgevoerd op de verschillende fijn stof fracties bemonsterd met de Sierra impactoren in beide tunnelbuizen. Zoals eerder vermeld in Hoofdstuk 2.2.1 is deze bepaling semi-kwantitatief. De PAK analyses hebben betrekking op de volgende PAK: fenantreen, anthraceen, fluorantheen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(k)fluorantheen, benzo(a)pyreen, benzo(ghi)peryleen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. Vanwege gezondheidseffecten is met name de concentratie van benzo(a)pyreen (BAP) van belang. In Tabel 3.4 zijn de som van de luchtconcentraties van de gemeten PAK verbindingen overeenkomend met verschillende deeltjesgrootte fracties weergegeven.

Tabel 3.4 Luchtconcentraties van deeltjes gebonden PAK in ng/m^3 van verschillende deeltjesgrootte in μm in de vracht- en personenverkeerstunnelbuis op 15 en 16 juli gemeten in de Drechtunnel.

tunnelbuis	ng/m^3						
	<0,4 μm	0,4-0,7 μm	0,7-1,4 μm	1,4-2,1 μm	2,1-4,2 μm	4,2-10 μm	>10 μm
vracht	8,3	1,8	1,2	0,5	2,8	0,3	0,2
personen	12,4	0,6	0,8	0,8	0,2	0,3	0,1

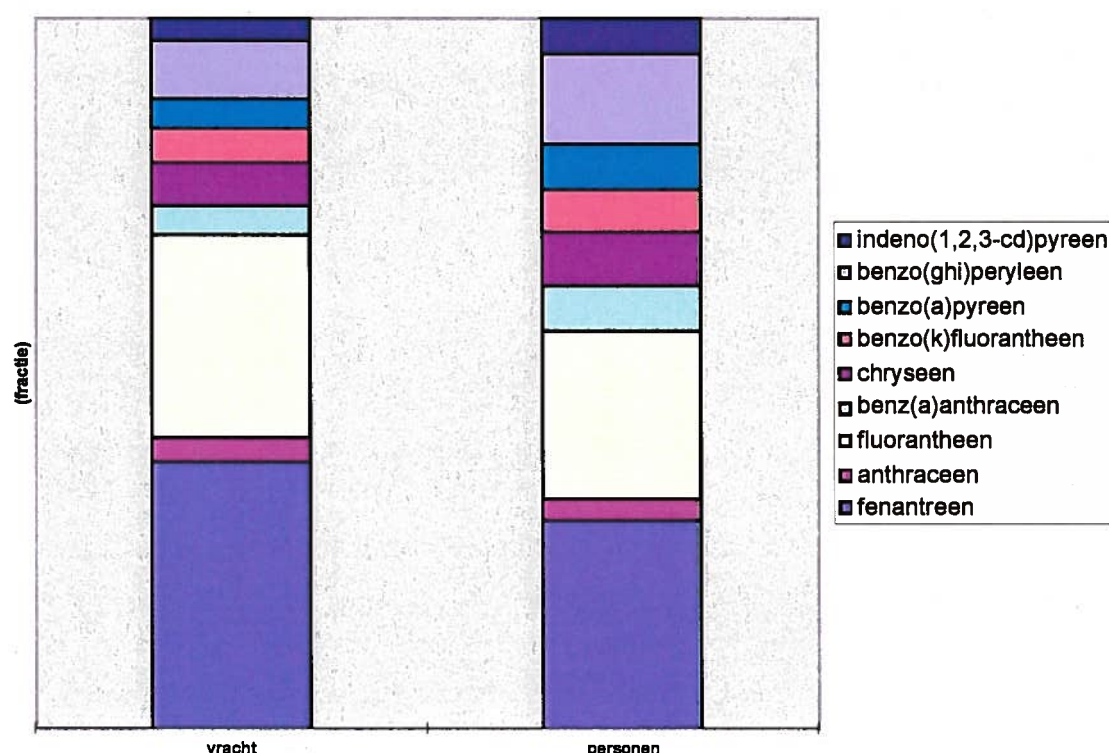
Uit de data weergegeven in Tabel 3.4 blijkt dat voor vracht- en personenverkeer respectievelijk meer dan 60% en 80% van de totale PAK voorkomt in de fijn stof fractie met deeltjes kleiner dan $0,4 \mu\text{m}$. Voor vrachtverkeer wordt nog een aanzienlijk deel van PAK (20%) aangetroffen in de fractie van $2,1 - 4,2 \mu\text{m}$. Waarschijnlijk is het hogere aandeel PAK bij vrachtverkeer in de grovere fractie vooral het gevolg van een hoger aandeel opwaaiend wegestof bij vrachtverkeer (zie Tabel 3.3) en adsorptie van PAK aan deze deeltjes.

In Figuur 3.7 zijn de luchtconcentraties van verschillende PAK verbindingen overeenkomend met een fractie van deeltjes kleiner dan $0,4 \mu\text{m}$ weergegeven.



Figuur 3.7 Luchtconcentraties van PAK verbindingen in ng/m^3 overeenkomend met een fijn stof fractie met deeltjes kleiner dan $0,4 \mu\text{m}$ gemeten in de vracht- en personenverkeersbuis op 15 en 16 juli in de Drechtunnel.

Figuur 3.7 illustreert dat in de verdeling van verschillende PAK verbindingen aan fijn stof van vracht- en personenverkeer vrijwel gelijk is. Met andere woorden het PAK-profiel is voor vracht- en personenverkeer vrijwel identiek. Dit is verder onderzocht door de PAK concentraties in fracties kleiner dan $2,1\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) en kleiner dan $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) te sommeren en als fracties weer te geven. Vanwege het feit dan meer dan 60% en 80% van PAK van respectievelijk vracht- en personenverkeer overeenkomt met een fractie kleiner dan $0,4\ \mu\text{m}$ zijn de $\text{PM}_{2,5}$ en PM_{10} vrijwel identiek. In Figuur 3.8 is het PAK-profiel van $\text{PM}_{2,5}$ voor vracht- en personenverkeer weergegeven.



Figuur 3.8 Het chemisch profiel van PAK verbindingen van vracht- en personenverkeer overeenkomend met een fijn stof fractie kleiner dan $2,1\ \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$).

Uit vergelijking van het PAK-profiel van fijn stof van vracht- en personenverkeer blijkt vrijwel geen verschil in deze profielen.

Ter relativering van deze conclusie wordt vermeld dat het PAK-profiel van vrachtverkeer bij de meting in de Drechtunnel is “vervuild” door personenverkeer. Omdat bij het Drechtunnel experiment geen metingen zijn uitgevoerd van de PAK concentraties gebonden aan deeltjes in de buitenlucht kan geen correctie voor de achtergrond worden berekend. Hierdoor is het niet mogelijk met deze experimentele data een afzonderlijk personen- en vracht-PAK profiel te berekenen. Bij een volgend experiment zal tevens een PAK profiel van de buitenlucht worden geme-

ten, zodat afzonderlijke profielen van vracht- en personenverkeer met een grotere betrouwbaarheid (dan bij het huidige experiment) kunnen worden vastgesteld.

(Lucht)Concentraties van gasvormig en deeltjesgebonden benzeen en toluen

Uit de literatuur is geen onderzoek bekend naar het onderscheid in gasvormig en fijn stof-gebonden benzeen (en toluen). Vanwege gezondheidseffecten lijkt het echter van belang onderscheid te maken in gasvormig benzeen (C_6H_6 (g)) en fijn stof-gebonden benzeen (C_6H_6 (v)), tenslotte kunnen deeltjes met benzeen na blootstelling achterblijven in de longen, terwijl gasvormig benzeen voor het merendeel weer wordt uitgeademd. [Uiteraard is er sprake van een verhoogd gezondheidsrisico bij *chronische* blootstelling aan te hoge concentraties van gasvormig benzeen.]

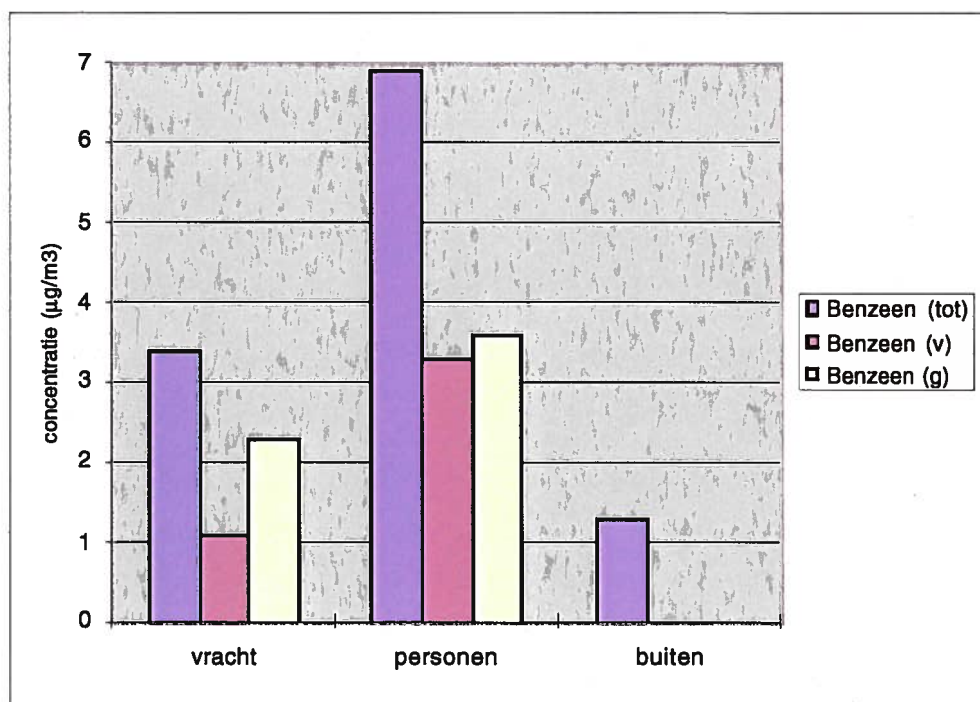
De resultaten van gasvormig, deeltjesgebonden en totale luchtconcentraties van benzeen en toluen zijn weergegeven in Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Luchtconcentraties van totaal (tot), gasvormig (g) en fijn stof gebonden (v) benzeen (C_6H_6) en toluen (C_7H_8) in de buitenlucht en in de vracht- en personenverkeersbuis gemeten op 15 en 16 juli in de Drechtunnel.

	Benzeen ($\mu g/m^3$)			Toluene ($\mu g/m^3$)		
	C_6H_6 totaal (tot)	C_6H_6 aantal deeltjes (v)	C_6H_6 gas- vormig (g)	C_7H_8 (tot)	C_7H_8 (v)	C_7H_8 (g)
vrachtbuis	3,4	1,1	2,3	9,2	1,9	7,3
personenbuis	6,9	3,3	3,6	17,3	3,8	13,5
buitenlucht	1,3	-	-	2	-	-

De resultaten in Tabel 3.5 bevestigen dat vracht- en personenverkeersemisies ten opzichte van de buitenlucht de luchtconcentraties verhogen met respectievelijk een factor 3 en 5 voor totaal benzeen (en een factor 4 en 8 voor totaal toluen).

Tevens geven de resultaten in Tabel 3.5 aan, dat een aanzienlijk gedeelte van benzeen (30-50%) en toluen (25%) afkomstig van zowel vracht- en personenverkeer gebonden is aan fijn stof. Bij het experiment in de Drechtunnel is voor de *buitenlucht* geen onderscheid gemaakt in separate monsternamen van deeltjes gebonden en gasvormig benzeen en toluen, zodat het aandeel van deeltjes gebonden benzeen in de buitenlucht niet bekend is. De resultaten voor benzeen zijn in Figuur 3.9 grafisch weergegeven.



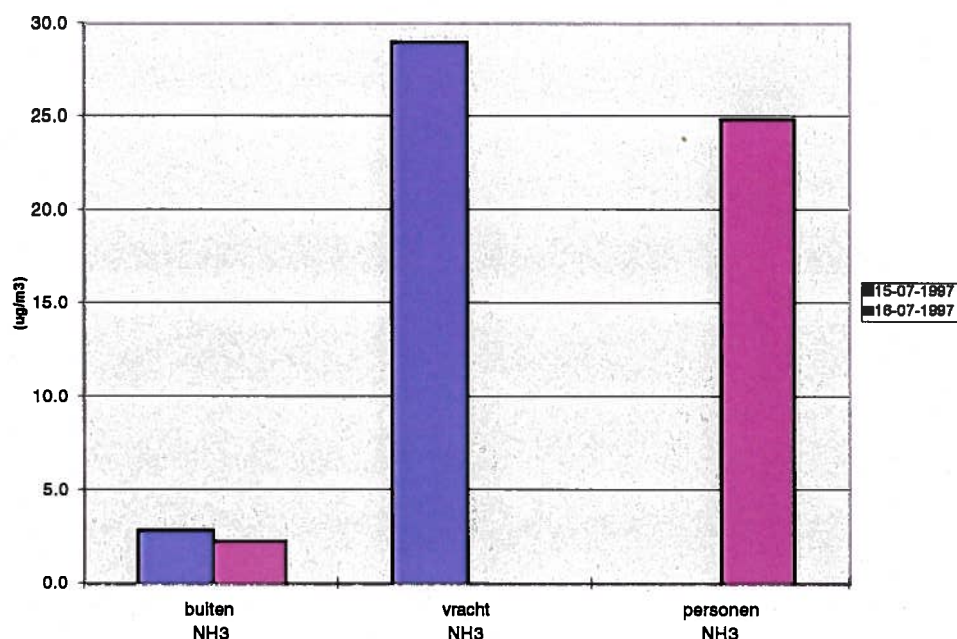
Figuur 3.9 Luchtconcentraties van totaal (tot), gasvormig (g) en fijn stof gebonden (v) benzeen (C_6H_6) in de buitenlucht en in de vrachtverkeers- en personenverkeersbuis gemeten op 15 en 16 juli in de Drechtunnel.

Met behulp van deze luchtconcentratiemetingen zijn in Hoofdstuk 3.6 emissiefactoren van gasvormig en fijn stof-gebonden benzeen door vracht- en personenverkeer afzonderlijk geschat.

Luchtconcentraties van ammoniak

Meting van luchtconcentraties van ammoniak is (mogelijk) van belang, omdat uit de literatuur van voertuigemissies blijkt dat ammoniak-emissie uit voertuigen toenemen door toepassing van 3-weg katalysatoren⁷. In de katalysator wordt NO_x gedeeltelijk omgezet in ammoniak met als gevolg een extra bijdrage door verkeer aan de milieuthema's "verzuring" en "vermesting". Voor zover bekend is in Nederland niet of nauwelijks onderzoek uitgevoerd naar ammoniakemissies door wegverkeer. De resultaten van de meting in Drechtunnel zijn weergegeven in Figuur 3.10.

⁷ Naast de vorming van ammoniak wordt ook N_2O ("lachgas") genoemd als een mogelijk product van de omzetting van NO_x in een 3-weg katalysator. Het belang van N_2O emissies is de bijdrage van verkeer aan klimaatverandering en aantasting van de ozonlaag. Meting van deze component is echter niet in dit onderzoek uitgevoerd maar is wel voorzien in vervolgonderzoek.



Figuur 3.10 Luchtconcentraties van ammoniak in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in de vrachtverkeerbuis, de personenverkeerbuis en de buitenlucht gemeten op 15 en 16 juli in de Drecht-tunnel.

De verschillen van de luchtconcentraties in beide tunnelbuizen geven aan dat zowel vracht- als personenverkeer ammoniak uitstoten. Met behulp van deze meetresultaten zijn in Hoofdstuk 3.6 emissiefactoren van ammoniak door vracht- en personenverkeer afzonderlijk geschat.

Luchtconcentraties van CO, NO_x en (lichte) koolwaterstoffen

Metingen van NO_x en (lichte) koolwaterstoffen (C₂H₂ - C₃H₈) zijn uitgevoerd om de emissie van deze ozon-vormende componenten door het verkeer vast te stellen. De afgelopen jaren is een dalende trend waargenomen van voertuigemissies en buitenluchtconcentraties van zowel NO_x als (lichte) koolwaterstoffen. Deze verbetering van de luchtkwaliteit is voornamelijk het gevolg van technologische verbeteringen en voortschrijdende introductie van de 3-weg katalysator. Deze trend heeft ook invloed op een daling van CO emissies. Zoals bekend wordt deze positieve trend gedeeltelijk teniet gedaan door volumegroei van het verkeer. De resultaten van de CO, NO_x en (lichte) koolwaterstof metingen zijn weergegeven in Tabel 3.6.

Tabel 3.6 *Luchtconcentraties van CO, NOx en (lichte) koolwaterstoffen in de buitenlucht en in de vracht- en personenverkeersbuis gemeten op 15 en 16 juli in de Drechtunnel.*

	(µg/m ³)							
	NO	NO ₂	CO/1000	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆
vrachtbuis	115	143	1,3	3,0	8,7	3,7	7,3	4,4
personenbuis	328	145	2,2	4,5	20,3	8,9	19,2	9,5
buitenlucht	20	32	0,8	1,8	2,1	0,9	2,2	1,3

Met behulp van deze metingen zijn in Hoofdstuk 3.6 emissiefactoren van de componenten weergegeven in Tabel 3.6 door vracht- en personenverkeer afzonderlijk geschat.

3.6 Emissiefactoren

Het verschil van luchtconcentraties in de afzonderlijke tunnelbuizen en de buitenluchtconcentraties is een maat voor de afzonderlijke bijdrage van vracht- en personenverkeer aan de verontreinigingsniveaus. Met behulp van de verkeersintensiteit en het ventilatievoud kunnen vervolgens emissiefactoren worden geschat van vracht- en personenverkeer. De systematiek en een voorbeeld van de berekening is beschreven in Bijlage 1.

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Tabellen 3.7A-C voor respectievelijk fijn stof gerelateerde verbindingen (Tabel 3.7A), gasvormige componenten (Tabel 3.7B) en benzeen en toluen (Tabel 3.7C).

Tabel 3.7A *Emissiefactoren per km afgelegde weg door een vrachtwagen en een personenauto van fijn stof fracties (PM₁₀ en PM_{2,5}) in mg, benzo(a)pyreen in µg en roetdeeltjes in aantal.*

	mg/km		ug/km	aantal/km
	PM ₁₀	PM _{2,5}	benzo(a)pyreen	roetdeeltjes
vrachtwagen	920	630	0,7	1,5*10 ¹²
personenauto	45	45	0,5	1,7*10 ¹²

Voor benzo(a)pyreen geeft het CBS (1993) voor vracht- en personenverkeer emissiefactoren van respectievelijk 13 en 2,2 µg/km voor verkeer met een kruissnelheid van 100 km/uur. Het RIVM⁸ geeft een schatting van 6,7 ug/km voor verkeer binnen de bebouwde kom en 10% vrachtverkeer. De emissiefactoren van ben-

⁸ RIVM (723301): "PAK in stedelijke omgeving, benzo(a)pyreen en mogelijke alternatieven als gidsstof voor PAK". (1996)

zo(a)pyreen van het CBS zijn gebaseerd op rollenbanktesten met de zogenaamde “PUF-methode”, waardoor de totale hoeveelheid benzo(a)pyreen wordt bepaald, terwijl in het Drechttunnel experiment met een Sierra impactor is gewerkt, die systematisch lagere waarden oplevert. Meer onderzoek is gewenst naar de vergelijkbaarheid van Sierra en PUF metingen, alvorens conclusies mogelijk zijn voor emissiefactoren van benzo(a)pyreen. Vanwege de genoemde beperkingen kunnen slechts beperkt conclusies worden getrokken ten aanzien van absolute emissiefactoren.

Het CBS (1993) geeft voor PM_{10} emissiefactoren voor vracht- en personenverkeer van respectievelijk 620 en 57 mg/km voor verkeer rijdend met een snelheid van 100 km/uur. De meetcampagne in de Drechttunnel wijst op vergelijkbare emissiefactoren van PM_{10} als de CBS -waarden die zijn gebaseerd op rollenbank metingen.

De emissie van PM_{10} door vrachtverkeer per kilometer afgelegde weg is een factor 10 (CBS) of een factor 20 (deze studie) hoger dan voor personenverkeer. Opmerkelijk is dat PM_{10} emissies van personenverkeer voor circa 100% uit $PM_{2,5}$ bestaat, terwijl voor vrachtverkeer de fractie $PM_{2,5}$ (van PM_{10}) circa 70% bedraagt. Het aandeel van $PM_{2,5}$ aan PM_{10} uitgestoten door vracht- en personenverkeer is aanzienlijk hoger dan het landelijk gemiddelde. De resultaten van het onderzoek bij de Drechttunnel bevestigen dat: *PM_{10} en $PM_{2,5}$ niveaus en het aandeel $PM_{2,5}$ aan PM_{10} hoger is in de omgeving van wegen met een hoge verkeersintensiteit en met name door vrachtwagens.* Meer tunnel- en wegmetingen zoals uitgevoerd in de Drechttunnel zijn gewenst om emissiefactoren van vracht- en personenverkeer betrouwbaarder vast te stellen. Met deze informatie kunnen bijvoorbeeld concentratiegradiënten worden berekend in de omgeving van wegen met verschillende verkeersintensiteit en verdeling van vracht- en personenverkeer. Tevens kunnen dergelijke metingen worden ingezet om trends in (dalende) emissies van fijn stof door verkeer te monitoren.

Uit Tabel 3.7A blijkt dat vracht- en personenauto's vergelijkbare aantallen roetdeeltjes uitstoten per kilometer afgelegde weg. Meer onderzoek is echter gewenst naar de fysisch-chemische samenstelling en vergelijking tussen de REM meting en de deeltjesaantallen meetmethoden zoals toegepast door het ECN en TNO-Bouw.

Tabel 3.7B Emissiefactoren door een vrachtwagen en een personenauto van CO, NO, NO₂, NH₃ en de som van lichte koolwaterstoffen C₂H₂ - C₃H₈ in mg/km.

	mg/km				
	CO	NO	NO ₂	NH ₃	C ₂ H ₂ -C ₃ H ₈
vrachtwagen	1550	200	850	215	55
personenauto	1125	250	100	20	45

Thijssse³ vond door metingen in Drechttunnel in 1987 de volgende waarden voor emissiefactoren in mg/km van vracht- en personenverkeer: CO (5000/4900) en

NO_x (9900/2800). Het CBS hanteerde in 1987 de volgende waarden, die waren gebaseerd op rollenbank metingen in de periode 1978-1984 voor emissiefactoren van vracht- en personenverkeer: CO (4200/5400) en NO_x (19000/3600). Voor CO bleken de emissiefactoren van tunnel- en rollenbankmetingen goed overeen te komen. Daarentegen waren NO_x emissies gemeten in de tunnel een factor 2 lager dan gemeten bij de rollenbank test. De hogere NO_x waarden werden door Thijsse toegeschreven aan onvolledige verbrandingsprocessen door verkeer rijdend in een tunnel. Het CBS hanteert in 1993 voor emissiefactoren van vracht- en personenverkeer de volgende waarden: CO (2700/3500) en NO_x (17200/1800) voor verkeer rijdend met een snelheid van 100 km/uur. Vergelijking met de emissiefactoren voor vracht- en personenverkeer voor CO (1550/1125) en NO_x (1050/350) in Tabel 3.7B wijzen op veel lagere emissiefactoren. In geval van CO kan dit verklaard worden door de dalende trend in emissies, tenslotte dateren de CBS gegevens uit 1993 terwijl de Drechtunnelmetingen zijn uitgevoerd in 1997. Daarentegen is het verschil voor NO_x (een factor 15 voor vrachtverkeer en een factor 5 voor personenverkeer) tussen de experimentele data van dit onderzoek en de CBS gegevens wel erg groot. In vervolg onderzoek zal de betrouwbaarheid van deze bevinding nader worden onderzocht.

Voor lichte koolwaterstoffen geeft het CBS een som van verbindingen van C₂H₂ t/m C₅H₁₂ die niet vergelijkbaar is met de stoffen gemeten in de Drechtunnel. Echter, Thijsse heeft in 1987 identieke lichte koolwaterstoffen gemeten waarvoor de emissiefactoren in mg/km van vracht- en personenverkeer respectievelijk 138/249 waren. De gemeten emissiefactoren in mg/km in deze studie voor vracht- en personenverkeer bedragen respectievelijk 55/45 zoals weergegeven in Tabel 3.7B. Deze cijfers bevestigen de voortgaande dalende emissies van lichte koolwaterstoffen door met name personenverkeer.

Emissiefactoren van ammoniak kunnen vanwege het ontbreken van CBS gegevens niet worden vergeleken met resultaten uit het verleden. Door vermenigvuldiging met het aantal voertuigkilometers van vracht- (categorie 3) en personenverkeer (categorie 1 + 2) is de emissie van ammoniak door verkeer berekend. Voor het jaar 1995 was het aantal kilometers afgelegde weg *op snelwegen* voor vrachtverkeer 1,2 miljard kilometer (op een totaal van 2,9 miljard kilometer) en voor personenverkeer 40 miljard kilometer (op een totaal van 107 miljard). Met deze cijfers is berekend dat de emissie van ammoniak door vracht- en personenverkeer *op snelwegen* respectievelijk 260 en 800 ton per jaar bedraagt. Hoewel deze emissie gering is ten opzichte van de totale ammoniak emissie in Nederland in de orde van 150.000 ton per jaar kan vanwege de emissie dicht bij de grond, de relatief hoge depositiesnelheid van ammoniak en geconcentreerde emissie langs snelwegen lokale effecten optreden. Daarom zal in vervolgonderzoek aandacht worden besteed aan de betrouwbaarheid van de wegemissiemetingen van ammoniak en voertuigemissiemetingen om inzicht te krijgen in de belangrijkste factoren die bepalend zijn voor ammoniak emissie.

Tabel 3.7C Emissiefactoren door een vrachtwagen en een personenauto van benzeen en toluen, zowel fijn stof gebonden als gasvormig in mg/km.

	mg/km			
	benzeen (v)	benzeen (g)	tolueen (v)	tolueen (g)
vrachtwagen	4	4	8	27
personenauto	2	2	3	10

Het CBS (1993) geeft voor de emissiefactoren van totaal benzeen van vracht- en personenverkeer een waarde van respectievelijk 25 en 20 mg/km voor verkeer rijdend met een snelheid van 100 km/uur. Thijsse vond in 1987 voor totaal benzeen en toluen emissiefactoren in mg/km van vracht- en personenverkeer van benzeen (48/29) en toluen (119/55). Vergelijking van deze waarden met de emissiefactoren in Tabel 3.7C voor vracht- en personenverkeer van totaal-benzeen (8/4) en totaal-tolueen (35/13) wijzen opnieuw op een sterk dalende trend in verkeersemis-sies.

De verdeling van fijn stof-gebonden en gasvormig benzeen in Tabel 3.7C voor zowel vracht- en personenverkeer is 50%. De emissie van toluen is voor circa 25% fijn stof-gebonden. De verhouding totaal benzeen versus totaal toluen (de som van fijn stof-gebonden en gasvormig benzeen en toluen in Tabel 3.7C) be-draagt voor zowel vracht- als personenverkeer circa een factor 3-4. Deze verhou-ding is karakteristiek voor verkeersemis-sies van benzeen en toluen en geeft daar-om vertrouwen in de meetresultaten. Vanwege consequenties voor de volksge-zondheid wordt in vervolgonderzoek meer aandacht besteed aan fijn stof-gebonden benzeen en met name naar:

- i) de deeltjesgrootte verdeling van fijn stof-gebonden benzeen
- ii) de verhouding in de buitenlucht rondom verkeerswegen
- iii) voertuigemissies

4. Conclusies en aanbevelingen

Representativiteit

Wat betreft de representativiteit van de meetresultaten wordt opgemerkt dat tunnelmetingen technisch uitermate geschikt zijn voor het vaststellen van emissiefactoren, maar dat de omstandigheden in een tunnel niet geheel vergelijkbaar zijn met omstandigheden elders op de weg in Nederland. In het algemeen is er een lichte daling en stijging bij respectievelijk de ingang en uitgang van de tunnel. Het gevolg is dat het verkeer “gas” terugneemt bij de ingang en “gas” geeft bij het verlaten van de tunnel. Dit zal uitlaatemissies van het verkeer beïnvloeden. Daarnaast veroorzaakt het verkeer in de tunnel een luchtstroming in de rijrichting, wat van invloed kan zijn op een verstoring van het verbrandingsproces en (dus) de verkeersemissies. De meetresultaten in dit onderzoek worden dan ook niet beschouwd als representatief voor bijvoorbeeld stadsverkeer, maar als een indicatie voor emissies van doorstromend verkeer op een snelweg. *Het wordt aanbevolen metingen in stads- en snelwegtunnels onder identieke omstandigheden op regelmatige tijden te herhalen om trends in verkeersemissies te bepalen.*

Betrouwbaarheid

Vergelijking van de emissiefactoren van CO door vracht- en personenverkeer vastgesteld in deze studie met waarden van het CBS (gebaseerd op rollenbank metingen) en vergelijking met metingen in het verleden geven aan dat deze studie binnen een factor 2 vergelijkbare waarden vaststelt. Dit is een redelijke factor voor dit type metingen en ondersteunt de betrouwbaarheid van het onderzoek. Hiermee is niet gezegd dat daarmee voor alle componenten in deze studie een vergelijkbare betrouwbaarheid is verzekerd (de afwijkende waarden voor NO_x zijn reden voor aanvullend onderzoek), maar voor componenten zoals: deeltjesaantallen, deeltjesmassa van diverse groottefracties, ammoniak, fijn stof-gebonden benzeen zijn eenvoudig geen vergelijkbare metingen bekend. Echter, de redelijke overeenkomst tussen de meetresultaten van deeltjesaantallen door het ECN en TNO-bouw en de overeenkomst tussen de “Hund” stof monitor en de som van de cascade-impactor metingen voor de massa van fijn stof ondersteunen het vertrouwen in de meetresultaten van de belangrijkste componenten. *De resultaten worden daarom beschouwd als richtinggevend voor de ontwikkeling van een meetmethode om fijn stof emissies van wegverkeer vast te stellen.*

Fijn stof deeltjesmassa

PM₁₀ emissies van personenverkeer bestaan voor bijna 100% uit PM_{2,5}, terwijl voor vrachtverkeer de fractie PM_{2,5} (van PM₁₀) circa 70% bedraagt. Het aandeel van PM_{2,5} aan PM₁₀ door wegverkeer is aanzienlijk hoger dan het landelijk gemiddelde, waarbij de bijdrage van PM_{2,5} aan PM₁₀ door het RIVM op 60% wordt geschat. *De resultaten van het onderzoek bij de Drechtunnel bevestigen resultaten van onderzoek uit de literatuur dat: PM₁₀ en PM_{2,5} niveaus en het aandeel PM_{2,5} aan PM₁₀*

hoger is in de omgeving van wegen met een hoge verkeersintensiteit van met name vrachtverkeer.

Fijn stof deeltjesaantallen

Zowel personen- als vrachtverkeer stoten vooral deeltjes uit met een diameter kleiner dan $0,05\ \mu\text{m}$, terwijl er nauwelijks deeltjes groter dan $0,2\ \mu\text{m}$ worden geëmitteerd. De luchtconcentraties van deeltjesaantallen in de vracht- en personenverkeersbuis zijn respectievelijk circa $3 \cdot 10^{12}$ en $8 \cdot 10^{12}$ deeltjes per m^3 . *Dit duidt erop dat fijn stof emissie in aantallen deeltjes van personenverkeer niet verwaarloosbaar is ten opzichte van vrachtverkeer.*

Fijn stof roetdeeltjes

Onderzoek met elektronenmicroscopie geeft aan dat de meest voorkomende roetfractie in de buitenlucht een deeltjesgrootte heeft van $0,1 - 0,2\ \mu\text{m}$, terwijl voor “vers” uitgestoten roet de meest voorkomende fractie een grootte heeft van $0,05 - 0,1\ \mu\text{m}$. De luchtconcentraties van aantallen roetdeeltjes in de vracht- en personenverkeersbuis zijn respectievelijk circa $0,7 \cdot 10^9$ en $2,1 \cdot 10^9$ per m^3 . Vergelijking met de luchtconcentraties van het totaal aantal deeltjes duidt erop dat minder dan 1 promille van de uitgestoten deeltjes uit roetdeeltjes bestaat. Hoogstwaarschijnlijk onderschat de roetmeting het aantal deeltjes kleiner dan $0,05\ \mu\text{m}$, terwijl deze fractie voor een belangrijk deel het aantal deeltjes bepaald. Nader onderzoek is gewenst om deze bevinding nader te onderbouwen. *Uit deze resultaten wordt (voorlopig) geconcludeerd dat bewoners in de nabijheid van verkeerswegen aan kleinere deeltjes met verhoogde concentraties en onbekende chemische samenstelling worden blootgesteld.*

Chemische samenstelling van fijn stof

PAK verbindingen zijn voor meer dan 80% geconcentreerd in de deeltjesgrootte fractie kleiner dan $0,4\ \mu\text{m}$. Het PAK-profiel van $\text{PM}_{2,5}$ is voor vracht- en personenverkeer vrijwel identiek. Het gevolg is dat het niet mogelijk is de afzonderlijke bijdrage van vracht- en personenverkeer aan fijn stof (op een willekeurige locatie) te schatten met “receptor” modellen.

In dit onderzoek is voor zover bekend voor het eerst in Nederland aandacht besteed aan luchtconcentraties van benzeen dat gebonden is aan fijn stof. Het blijkt dat verkeer voor circa 50% fijn stof gebonden benzeen uitstoot. *Nader onderzoek is gewenst naar de verhouding van gasvormig en fijn stof gebonden benzeen in de buitenlucht en de eventuele effecten op de volksgezondheid.*

Emissiefactoren

De luchtconcentratiemetingen in beide tunnelbuizen en de buitenlucht zijn gebruikt om emissiefactoren van vracht- en personenverkeer afzonderlijk te schatten per kilometer afgelegde weg. De belangrijkste conclusies resultaten zijn als volgt:

1. De emissie van PM_{10} door vrachtverkeer per kilometer afgelegde weg is een factor 10 (CBS) of een factor 20 (deze studie) hoger dan voor personenverkeer. Voor $PM_{2,5}$ is de emissiefactor voor vrachtverkeer een factor 15 hoger dan voor personenverkeer.
2. Vrachtwagens en personenauto's stoten beiden circa $2 \cdot 10^{12}$ roetdeeltjes per kilometer afgelegde weg. Deze oriënterende metingen zijn uitgevoerd met scanning elektronenmicroscopie en behoeve validatie in een vervolgonderzoek.
3. Emissiefactoren van NO_x , CO en (lichte) koolwaterstoffen van vracht- en personenvoertuigen zijn respectievelijk 15, 2 en 5 maal lager dan de cijfers van het CBS uit 1993. Dit bevestigt de dalende trend in emissies per kilometer afgelegde weg van zowel vracht- en personenverkeer, maar gezien de grote verschillen met CBS schattingen is nader onderzoek gewenst (met name voor NO_x) naar de betrouwbaarheid van de bevindingen.
4. Emissiefactoren van ammoniak zijn voor vracht- en personenverkeer respectievelijk 215 en 20 mg per afgelegde kilometer. Voor het jaar 1995 is berekend dat de emissie van ammoniak door vracht- en personenverkeer *op snelwegen* respectievelijk 260 en 800 ton per jaar bedraagt. Hoewel deze emissie gering is ten opzichte van de totale ammoniak emissie in Nederland in de orde van 150.000 ton per jaar kan vanwege de emissie dicht bij de grond, de relatief, hoge depositiesnelheid van ammoniak en geconcentreerde emissie langs snelwegen lokale effecten optreden.
5. Emissiefactoren van fijn stof gebonden benzeen zijn voor vracht- en personenverkeer respectievelijk 4 en 2 mg per afgelegde kilometer, terwijl de emissiefactoren voor gasvormig benzeen respectievelijk 4 en 2 mg per afgelegde kilometer zijn. Dit duidt op emissie van fijn stof gebonden benzeen in de buitenlucht met mogelijke gevolgen voor de verdeling van benzeen in de buitenlucht in fijn stof gebonden en gasvormige fracties (in de nabijheid van verkeerswegen).

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

In vervolgonderzoek wordt met name meer aandacht besteed aan meting van deeltjesaantallen en massa in de buitenlucht en beide tunnelbuizen, zodat emissiefactoren berekend kunnen worden. Tevens zal meer aandacht worden besteed aan de chemische samenstelling van verschillende deeltjesgrootte fracties van fijn stof door:

- i) PAK-analyse met speciale cascade-impactor metingen
- ii) de verdeling fijn stof gebonden/gasvormig benzeen
- iii) elektronenmicroscopie

Als laatste punt zullen nogmaals emissiefactoren van CO, lichte koolwaterstoffen, NO_x , CO en NH_3 (en wellicht N_2O) worden vastgesteld als additionele informatie bij dit fijn stof onderzoek. Hierbij zal het ventilatievoud door het gebruik van SF_6 tracergas worden vastgesteld.

Vanwege de uitstekende voorzieningen en de mogelijkheid om vracht- en personenverkeer te onderscheiden wordt voorgesteld de metingen van vervolgonderzoek nogmaals uit te voeren in de Drechtunnel. Uiteraard onder voorbehoud van toestemming van de betrokkenen. Daarnaast is het zinvol het onderzoek uit te breiden naar “doorgaand” stadsverkeer, waarbij wellicht stadstunnels als meetlocatie kunnen worden ingericht.

5. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever:

Ministerie van VROM

Uitgevoerd door de afdeling Milieukwaliteit en -analyse (MA) van het TNO instituut Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP).

Namen en functies van de projectmedewerkers:

M.P. Keuken

Projectleider

J.H. Weststrate

Th.R. Thijsse

P. Tromp

M. Houtzager

A. van Renesse

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

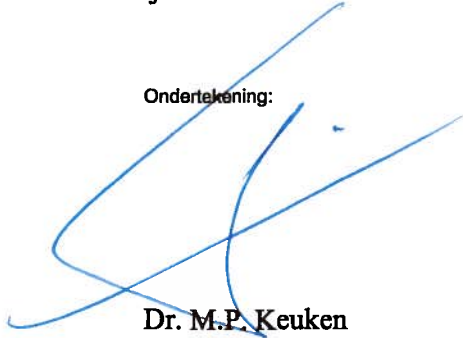
De deeltjesaantallen metingen zijn uitgevoerd door G. Kos van het ECN met medewerking van H. ten Brink. De deeltjesaantallen metingen van TNO-Bouw zijn door G. Stegehuis verricht. De Adviesdienst Verkeer en Vervoer van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat heeft gegevens over de verkeersintensiteit op de A16 aangeleverd.

De heer A.J. Bras, werkzaam bij de Directie Zuid-Holland van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat en verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van de Drechtunnel, wordt speciaal bedankt voor zijn ondersteuning bij het opzetten en uitvoeren van het experiment.

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

januari tot december 1997

Ondertekening:



Dr. M.P. Keuken
Projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. H.P. Baars
Afdelingshoofd Milieukwaliteit en -risico's

Bijlage 1 Berekening van de emissiefactoren

De berekening van de emissiefactoren per vrachtwagen en personenauto is gebaseerd op een aantal stappen. Dit wordt geïllustreerd met de berekening van de emissiefactoren van ammoniak:

1. Berekening van de ammoniakemissie $E_{(tot)}$ van het totaal aantal personenauto's dat per uur door de personenverkeersbuis rijdt uit het verschil in luchtconcentraties in de personenverkeersbuis ($24,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en de buitenlucht ($2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dit geeft een waarde voor $E_{(tot)}$ van $22,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per uur.
2. Het totale volume (V) van lucht waarin deze emissie wordt uitgestoten wordt berekend uit i.) de afstand tot de ingang van de tunnel en de meetopstelling in de tunnel (392 meter), ii.) de breedte (10 meter) en hoogte (5 meter) van de tunnelbuis en het ventilatievoud voor de "personenverkeersbuis" bij de gemeten "personenverkeersintensiteit" (53 maal per uur). De berekening is gebaseerd op de volgende formule: $V = 392 * 10 * 5 * 53$. Dit geeft een waarde voor V van $1.038.800 \text{ m}^3$ per uur.
3. Vervolgens wordt de emissiefactor ($E_{(personenauto)}$) per auto en per km afgelegde weg in mg berekend door de totale emissie $E_{(tot)}$ maal het totale volume V te delen door de verkeersintensiteit (I : het aantal personenauto's dat gedurende een uur door de tunnel rijdt ($I = 3304$) maal de afgelegde weg ($A = 0,392 \text{ km}$) maal 1000 (vanwege de omrekening van μg naar mg). In formule:

$$E_{(personenauto)} = (E_{(tot)} (\mu\text{g}/\text{m}^3) * V (\text{m}^3/\text{uur})) / (I (\text{aantal/uur}) * A(\text{km}) * 1000)$$

Dit geeft voor een waarde voor $E_{(personenauto)}$ van 18 mg ammoniak per kilometer afgelegde weg bij een snelheid van 98 km/u.

De volgende reeks stappen resulteert in de emissiefactor van ammoniak voor vrachtwagens.

4. De eerste stap is een correctie voor de emissie van ammoniak door personenauto's die door de vrachtwagenbuis rijden ($E_{(bijdrage-personenauto's)}$). Het aantal personenauto's door de vrachtwagentunnel per uur bedraagt 1004 (met een snelheid van 86 km/u) met een ammoniakemissie van 18 mg per km (zoals berekend in stap 1 t/m 3). Dit resulteert in een ammoniakemissie door personenauto's over de afgelegde afstand van 0.392 km in de vrachtwagentunnel van totaal $1004 * 18 * 0,392 * 1000$. Dit geeft een $E_{(bijdrage-personenauto's)}$ van $7,1 * 10^6 \mu\text{g}$ ammoniak.
5. De tweede en derde stap is analoog aan de eerste twee stappen van de berekening van de personenauto emissiefactoren. Berekening van de ammoniakemis-

sie $E_{(tot)}$ van het totaal aantal vracht- en personenauto's dat per uur door de vrachtunnelbuis rijdt uit het verschil in luchtconcentraties in de vrachtverkeersbuis ($29,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en de buitenlucht ($2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Dit geeft een waarde voor $E_{(tot)}$ van $26,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per uur.

6. Het totale volume (V) van lucht waarin deze emissie wordt uitgestoten wordt berekend uit i.) de afstand tot de ingang van de tunnel en de meetopstelling in de tunnel (392 meter), ii.) de breedte (10 meter) en hoogte (5 meter) van de tunnelbuis en het ventilatievoud voor de vrachtverkeersbuis bij de gemeten verkeersintensiteit (65 maal per uur). De berekening is gebaseerd op de volgende formule: $V = 392 * 10 * 5 * 65$. Dit geeft een waarde voor V van $1.274.000 \text{ m}^3$ per uur.
7. In de laatste stap wordt de totale emissie ($E_{(tot)} * V$) gecorrigeerd voor de bijdrage van de personenauto's ($E_{(bijdrage\text{-}personenauto's)}$). Dit wordt als volgt berekend: $(26,5 \text{ (stap 5)} * 1274000 \text{ (stap 6)}) - (7,1 * 10^6 \text{ (stap 4)}) = 26,7 * 10^6 \mu\text{g}$ ammoniak. Dit is de hoeveelheid ammoniak die door 318 vrachtauto's per uur wordt uitgestoten over een weglengte van 0,392 km. Per vrachtauto is de emissiefactor ($E_{(vrachtwagen)}$) voor ammoniak vervolgens te berekenen met de formule:

$$E_{(vrachtwagen)} = 26,7 * 10^6 / (318 * 0,392 * 1000)$$

Dit geeft een $E_{(vrachtwagen)}$ van 214 mg ammoniak per kilometer afgelegde weg bij een snelheid van 79 km/u.

Op soortgelijke wijze zijn voor de overige componenten, emissiefactoren berekend met uitzondering van deeltjesaantallen, waarvoor geen buitenlucht metingen beschikbaar waren. Voor PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ is gebruik gemaakt van waarden uit het landelijk meetnet van locaties in de nabijheid van doorgaande verkeerswegen.