

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

RIVM-rapport nr. 773002 008

Deeltjesemissie door wegverkeer
emissiefactoren, deeltjesgrootteverdeling en
chemische samenstelling

R.M.M. van den Brink

oktober 1996

Dit onderzoek is verricht in het kader van het project 'Verkeer en Vervoer',
projectnr. 773002, in opdracht van het RIVM.
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA, Bilthoven
tel. 030-2749111, fax 030-2742971

VERZENDLIJST

- 1 DGM, Directie Strategische Planning
- 2 plv. Directeur-Generaal Milieubeheer, Dr Ir B.C.J. Zoeteman

- 3 Drs H.C.G.M. Brouwer - VROM/DGM
- 4 Dipl. Ing. J.J.M. Henssen - VROM/DGM
- 5 Dr K.R. Krijgsheld - VROM/DGM
- 6 Ir H. Herremans - VROM/DGM
- 7 Ir H.L. Baarbé - VROM/DGM
- 8 Ir J. Polman - VROM/DGM (privé-adres)
- 9 Drs C.J. Sliggers - VROM/DGM
- 10 Prof. J.J. ter Meulen - Katholieke Universiteit Nijmegen
- 11 Drs N.A.H. Janssen - Landbouwniversiteit Wageningen
- 12 Drs P.F.J. van der Most - TNO-Apeldoorn
- 13 Ir J.H.J. Hulskotte - TNO-MEP
- 14 Dr J.J.M. Berdowski - TNO-MEP
- 15 Ir R.C. Rijkeboer - TNO-WT
- 16 Ir J.W.C.M. van de Venne - TNO-WT
- 17 W.A.M. den Tonkelaar - TNO-MW
- 18 Drs J.F.A.M. ten Berg - NS Technisch Onderzoek
- 19 Ir P. Kroon - ECN
- 20 Dr Ir B.J.C.M. Rutten - AVV
- 21 Dhr. Th. Cool - AVV
- 22 Ing. J.A.P. Klein - CBS-Voorburg
- 23 Ir P. Janse - CE
- 24 Ir J.M.W. Dings - CE
- 25 Dr G. van Ootmarssen - NOVEM
- 26 Dhr. R.H.F. Mol - Cap Volmac
- 27 Dhr. A.L. Viergever - Infoplan
- 28 Bibliotheek Technische Universiteit Eindhoven
- 29 Bibliotheek Technische Universiteit Delft
- 30 Bibliotheek Technische Universiteit Twente
- 31 Bibliotheek VROM
- 32 Bibliotheek V&W
- 33 Bibliotheek AVV

- 34 Directie RIVM
- 35 Ir F. Langeweg - RIVM/SB5
- 36 Drs L.H.M. Koshiek - RIVM/LAE
- 37 Drs G.P. van Wee - RIVM/LAE
- 38 Drs J.A. Annema - RIVM/LAE
- 39 Drs Ing. K.T. Geurs - RIVM/LAE
- 40 Drs J.G.J. Olivier - RIVM/LAE
- 41 Dr R. Thomas - RIVM/LAE
- 42 Ir P. Rombout - RIVM/LEO
- 43 Dr Ir E. Buringh - RIVM/LEO
- 44 Drs S. de Loos - RIVM/LEO

- 45 Ir P. Fischer - RIVM/CCM
- 46 Dr A. van der Meulen - RIVM/LEO
- 47 Drs H.J.Th. Bloemen - RIVM/LLO
- 48 Drs H. Eerens - RIVM/LLO
- 49 Dr L.H.J.M. Janssen - RIVM/LLO
- 50 Drs H. Noordijk - RIVM/LLO
- 51 Drs K. van Velze - RIVM/LLO
- 52 Drs J.M. Hesse - RIVM/ACT
- 53 Auteur
- 54 Hoofd Bureau Voorlichting en Public Relations
- 55 Bibliotheek RIVM/LAE
- 56 Bibliotheek RIVM/LLO
- 57 Bibliotheek RIVM/LEO
- 58 -59 Bibliotheek RIVM
- 60 Bureau rapportenregistratie
- 61-81 Bureau rapportenbeheer
- 82-100 Reserve exemplaren LAE

ABSTRACT

This report represents an inventory derived from a desk study on particulate emissions from road traffic. These emissions concern exhaust-gas particulate emissions, as well as particulate emissions caused by tyre wear, wear of brake linings and wear of road surface. Another particulate emission source is dust caused by moving traffic. In addition to emission factors also size distribution and chemical composition of road traffic related particulates were investigated. Besides the effect of technical measures like oxidation catalysts and particulate traps were also discussed.

From the study it can be concluded that:

- particulates in exhaust gas are smaller than 1 μm ;
- cars with diesel engines were found this year (1996) to have a 40-times higher particulate emission than cars with petrol engines with three-way catalysts;
- oxidation catalysts applied to light-duty diesel engines lead to a 25-70% reduction the particulate emissions;
- oxidation catalysts combined with heavy-duty diesel engines can lead to higher particulate emissions caused by the conversion of SO_2 to sulphates, with a reduction in the sulphate content of diesel fuel decreasing this phenomenon;
- particulate traps mounted on heavy duty engines give an 80% reduction in the particulate emissions;
- traffic-related particulate emissions from other sources than exhaust gas also contribute substantially to particulate emissions from a moving vehicle.

SAMENVATTING

In het kader van het project "Fijn stof" is een literatuurstudie uitgevoerd naar de fijnstofemissie door wegverkeer. Zowel naar de emissie afkomstig van verbrandingsmotoren als de emissie als gevolg van banden-, remvoering-, koppelingsvoering- en wegdekslijtage en opwaaiend stof door langsrijdend verkeer is literatuuronderzoek verricht.

Met fijn stof wordt in dit verband PM_{10} bedoeld. PM_{10} is gedefinieerd als dat deel van de deeltjes dat een filter met een 50% filterefficiency bij $10\ \mu\text{m}$ aërodynamische diameter¹ passeert. Aangezien het vermoeden leeft dat niet alleen PM_{10} maar ook kleinere deeltjes of bepaalde chemische componenten van PM_{10} ² verantwoordelijk zouden kunnen zijn voor het gezondheidseffect bij verhoogde PM_{10} -concentraties, zijn ook de deeltjesgrootteverdeling van PM_{10} als $PM_{2.5}$ en $PM_{0.1}$ en de chemische samenstelling van PM_{10} als gewichtspercentage (gew.%) elementair koolstof (EC) en organisch koolstof (OC) onderzocht.

Conclusies die uit het literatuuronderzoek naar voren zijn gekomen zijn:

- Deeltjes afkomstig van uitlaatgas zijn voor het grootste deel kleiner zijn dan $1\ \mu\text{m}$.
- Dieselpersonenauto's³ zonder oxidatiekatalysator hebben een 7 maal zo hoge uitlaatgas- PM_{10} -emissiefactor vergeleken met benzinemotoren zonder driewegkatalysator en een 40 maal zo hoge uitlaatgas- PM_{10} -emissiefactor vergeleken met benzinemotoren met driewegkatalysator (waarden voor park 1993).
- Oxidatiekatalysatoren toegepast bij dieselpersonenauto's geven een 25-70% afname van de uitlaatgas- PM_{10} -emissiefactor. Bij toepassing op zware dieselmotoren bij het huidige wettelijke maximum zwavelgehalte van dieselbrandstof treedt er vooral bij hoge motorbelastingen als gevolg van de omzetting van SO_2 naar sulfaat een grote toename van de PM_{10} -emissiefactor op. Pas bij zeer lage zwavelgehalten (< 0.001 gew.%) van de brandstof zal de oxidatiekatalysator de deeltjesemissie kunnen reduceren.
- Oxidatiekatalysatoren leiden tot een verschuiving in de deeltjesgrootteverdeling naar meer deeltjes tussen 50 en 150 nm en meer deeltjes > 500 nm als gevolg van sulfaatvorming en agglomeratie (samenklontering) van kleine deeltjes.
- Als gevolg van de emissienormstelling voor dieselmotoren van zware bedrijfsvoertuigen (EURO 1 en verder) zal de deeltjesemissiefactor van nieuwe zware bedrijfsvoertuigen sterk afnemen. Gezien de korte economische levensduur van vrachtwagens > 20 ton GVW⁴ zal snelle penetratie van deze nieuwe vrachtwagens plaatsvinden wat resulteert in een snelle afname van de parkdeeltjesemissiefactor.

¹ Een deeltje met willekeurige vorm dat dezelfde aërodynamische eigenschappen (bijv. valsnelheid) heeft als een waterbolletje (soortelijk gewicht $1\ \text{kg}/\text{dm}^3$) met diameter $1\ \mu\text{m}$, heeft een aërodynamische diameter $1\ \mu\text{m}$.

² Een andere mogelijkheid is dat een andere stof, waarvan de concentratie in een bepaalde mate gecorreleerd is met de PM_{10} -concentratie, verantwoordelijk is voor het waargenomen gezondheidseffect.

³ In dit rapport is bij personenauto's geen onderscheid gemaakt tussen DI- en IDI-dieselmotoren. Gezien het feit dat DI motoren bij personenauto's nog niet lang worden toegepast hebben de literatuurgegevens betrekking op IDI-dieselmotoren.

⁴ GVW (Gross Vehicle Weight) staat voor het maximaal gewicht van een voertuig inclusief de lading.

- Roetfilters toegepast bij zware dieselmotoren geven een 80% afname van de uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor. Door problemen met de regeneratie van vervuilde filters worden filters nog niet toegepast.
- Roetfilters leiden tot verschuiving in de deeltjesgrootteverdeling naar meer kleine deeltjes (<20 nm) doordat de filterefficiency bij deze deeltjesgrootte laag is (50%) ten opzichte van die bij grotere deeltjes (> 95%).
- Uitlaatgasdeeltjes afkomstig van dieselmotoren bevatten relatief het meeste elementaire koolstof⁵ (EC of roet) in vergelijking tot deeltjes afkomstig van benzinemotoren.
- Het gebruik van een drieweg-katalysator bij benzinemotoren leidt weliswaar tot een 80% afname van de uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor, het EC-aandeel in de uitlaatgasdeeltjes stijgt van 15% naar 50%.
- Deeltjesemissie als gevolg van banden- en wegdekslijtage en opwaaiend stof dragen samen substantieel bij aan de PM₁₀-concentratie langs een door verkeer bereden weg. Metingen door het RIVM van de luchtconcentratie langs enkele wegen in Amsterdam hebben dit aangetoond. Een goede kwantificering van deze bijdrage is gezien de onzekerheden rondom de meetresultaten vooralsnog niet mogelijk.

⁵ Als gewichtspercentage van PM₁₀

INHOUDSOPGAVE

VERZENDLIJST	3
ABSTRACT.....	5
SAMENVATTING	7
1. INLEIDING	11
2. UITLAATGASDEELTJES	13
2.1. Inleiding	13
2.2. Grootteverdeling uitlaatgasdeeltjes.....	14
2.3. Emissiefactoren	17
2.3.1. Personenauto's	17
2.3.2. Bestelauto's.....	21
2.3.3. Vrachtauto's, Trekkers en Bussen.....	22
2.3.4. Invloed van snelheid	24
2.4. Chemische samenstelling uitlaatgasdeeltjes.....	27
3. DEELTJES DOOR BANDENSLIJTAGE	31
3.1. Deeltjesgrootteverdeling	31
3.2. Emissiefactoren	33
3.3. Chemische Samenstelling	34
4. WEGSTOF.....	35
4.1. Inleiding	35
4.2. Deeltjesgrootteverdeling	35
4.3. Emissiefactoren	36
4.4. Chemische Samenstelling	37
5. ANDERE DEELTJESBRONNEN VAN WEGVERKEER.....	39
6. OVERIG WEGVERKEER.....	41
7. OVERIG VERKEER.....	43
8. CONCLUSIES	45
9. AANBEVELINGEN	47
10. REFERENTIES.....	49
BIJLAGEN.....	55
Bijlage 1: Overzichtstabel	57

1. INLEIDING

De aanleiding van deze rapportage is het verschijnen van een beleidsnotitie "Fijn stof" bij het ministerie van VROM in 1997. Met fijn stof wordt in dit kader bedoeld: dat deel van de deeltjes (ookwel aerosolen genoemd) dat een filter met een 50% filterefficiency bij 10 μm aerodynamische diameter⁶ passeert. De benaming voor deze deeltjes is PM_{10} (Particulate Matter < 10 μm). PM_{10} kan worden opgedeeld in primair en secundair PM_{10} . Primair PM_{10} wordt direct door de bron geëmitteerd, secundair PM_{10} wordt gevormd door chemische processen in de atmosfeer als gevolg van de uitstoot van zogenaamde precursors⁷ (SO_2 , NO_x , NH_3 , VOS) door de bron.

De advieswaarde voor de jaargemiddelde PM_{10} -concentratie van 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in 1987 vastgesteld, wordt op verschillende meetstations overschreden [1] evenals de advieswaarde van 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de daggemiddelde concentratie ten tijde van zogenaamde episoden⁸ (Annema *et al.* 1994, [1]). Het vermoeden leeft tevens dat er geen drempelwaarde voor de PM_{10} -concentratie is waaronder geen gezondheidseffecten meer optreden. Daarnaast is het niet duidelijk of PM_{10} een goede indicator is voor gezondheidsrisico's als gevolg van fijn stof (de Loos *et al.* 1995, [42]) of dat ook kleinere deeltjes of chemische componenten van PM_{10} een rol spelen.

Aangezien de bovengenoemde vermoedens zijn gebaseerd op Amerikaanse onderzoeken en de situatie aldaar niet vergelijkbaar is met Nederland (voor wegverkeer: door het gebruik van andere voertuigen en andere emissiewetgeving) is door DGM aangezet tot een onderzoeksproject waaruit het volgende duidelijk zal moeten worden:

- gegeven een gewenste concentratievermindering PM_{10} , welke emissiebronnen moeten worden beïnvloed en in welke mate om dit te bereiken?
- gegeven een emissieverandering bij de bronnen, wat is de invloed daarvan op de PM_{10} -concentratie?
- zijn er componenten van PM_{10} (fysisch en/of chemisch) die een betere correlatie hebben met het waargenomen gezondheidseffect en zo ja; wat is deze correlatie en is er een verband met PM_{10} ?

Met betrekking tot de deeltjesgrootte en chemische samenstelling is na discussie tussen RIVM en DGM vastgesteld dat informatie zal worden verzameld over:

- alle deeltjes < 10 μm (PM_{10} ; juiste definitie is hierboven gegeven)
- alle deeltjes < 2.5 μm ($\text{PM}_{2.5}$)
- alle deeltjes < 0.1 μm ($\text{PM}_{-0.1}$)
- alle koolstofhoudende deeltjes (carbonaceous)
- alle precursors (voorprodukten) van secundair aerosol (SO_2 , NO_x , NH_3 , VOS)

⁶ Een deeltje met willekeurige vorm dat dezelfde aerodynamische eigenschappen (bijv. valsnelheid) heeft als een waterbolletje (soortelijk gewicht 1 kg/dm^3) met diameter 1 μm , heeft een aerodynamische diameter 1 μm .

⁷ Gasvormige stoffen die in de atmosfeer worden omgezet naar vaste of vloeibare deeltjes.

⁸ Tijdens een zomerepisode zal door verhoogde fotochemische activiteit de deeltjesconcentratie toenemen. De winterepisode wordt veroorzaakt door stagnerende meteorologische omstandigheden, in combinatie met veel zwaveldioxide afkomstig van ruimteverwarming, zodat geen verversing van de lage luchtlagen optreedt en de luchtverontreinigingen zullen cumuleren.

In het onderzoeksproject "Fijn stof" worden de volgende deeltjesbronnen onderzocht: Industrie, Verkeer & Vervoer, Energie-opwekking, Natuur, Landbouw en Buitenlandse bronnen. In dit rapport is alleen voor wegverkeer door middel van literatuuronderzoek geïnventariseerd wat er bekend is over de hoeveelheid PM_{10} en de samenstelling, zowel fysisch als chemisch, van het geëmitteerde PM_{10} . De deeltjesemissie door wegverkeer is niet alleen afkomstig van uitlaatgassen, ook de slijtage van banden, rem- en koppelingsvoeringen, wegdek en opwaaierend wegstof als gevolg van langsrijdend verkeer dragen bij aan de deeltjesemissie van een rijdend voertuig. Het overige verkeer zal kort worden besproken wanneer een afwijking van de CBS-gegevens [21] noodzakelijk wordt geacht.

Een belangrijk doel van het fijn stof onderzoek is het bepalen van de verbanden tussen PM_{10} , $PM_{2.5}$ en $PM_{0.1}$. Zal bijvoorbeeld een halvering van de emissie van PM_{10} ook een halvering van $PM_{2.5}$ inhouden en met welke technische maatregelen kan welke reductie van de deeltjesemissie worden gerealiseerd? Aan de precursors van secundair aërosol wordt in dit rapport geen aandacht besteed aangezien de emissies hiervan goed bekend zijn.

In het vervolg zal de term **deeltjes** gebruikt worden wanneer alle deeltjes, ongeacht grootte en chemische samenstelling, bedoeld worden en zal **PM_{10}** , **$PM_{2.5}$** of **$PM_{0.1}$** gebruikt worden als deeltjes met een maximum aërodynamische diameter van respectievelijk 10, 2.5 of 0.1 μm worden bedoeld. De exacte definitie is aan het begin van deze inleiding gegeven. De term aërosolen of PM is identiek aan deeltjes, fijn stof is identiek aan PM_{10} .

In hoofdstuk 2 zal voor uitlaatgas aan de hand van de gevonden literatuur een voorstel worden gedaan voor de deeltjesemissiefactor, de deeltjesgrootteverdeling als PM_{10} , $PM_{2.5}$ en $PM_{0.1}$ en de chemische samenstelling als gewichtspercentage elementair koolstof (EC) en organische bestanddelen (OC). In hoofdstuk 3 wordt hetzelfde gedaan voor bandenslijtage, in hoofdstuk 4 voor wegdekslijtage en opwaaierend stof en in hoofdstuk 5 voor remvoerings- en koppelingslijtage. De deeltjesemissiefactoren zullen worden vergeleken met de resultaten van PM_{10} - en $PM_{2.5}$ -concentratie metingen in Amsterdam die door het RIVM in de winter van 1995 zijn uitgevoerd.

In hoofdstuk 6 zal kort de deeltjesemissie van overig wegverkeer worden behandeld en in hoofdstuk 7 dat van overig verkeer. Hoofdstuk 8 en 9 bevatten respectievelijk de conclusies en de aanbevelingen.

Voor de voorstellen in hoofdstuk 2 t/m 7 geldt het schattingen betreft met redelijk grote onzekerheidsmarges (minimaal + of - 50%). Om de bruikbaarheid van de gegeven getallen te vergroten zijn niet de intervallen gegeven maar de middenwaarden van de intervallen. Aan de hand van de onderbouwing van de verschillende schattingen kan een indruk worden verkregen van de onzekerheidsintervallen.

In een later stadium van het fijn stof project zal voor verkeer & vervoer een geografische verdeling van de emissies over Nederland bepaald worden zodat met deze informatie luchtkwaliteitsberekeningen kunnen worden uitgevoerd.

2. UITLAATGASDEELTJES

2.1. Inleiding

In het basisdocument Fijn Stof [1] is aangegeven dat de door het CBS [2] in 1992 opgegeven 1990 parkemissiefactoren voor aërosolen niet overeenkomen met de factoren voor PM_{10} zoals Hildemann *et al.* (1991a, [3]) die vermeldt. Een mogelijke oorzaak voor de verschillen tussen beide literatuurbronnen zou het verschil in meetmethode en definitie van fijn stof kunnen zijn. De CBS-factor heeft betrekking op aërosolen, dus in principe ook deeltjes groter dan PM_{10} ⁹. In [3] worden alleen deeltjes $< 2 \mu m$ gemeten voor zowel auto's met katalysator als zonder katalysator afzonderlijk¹⁰. Aangezien echter zal blijken dat deeltjes afkomstig van verbrandingsprocessen voor het overgrote deel kleiner zijn dan $1 \mu m$ (zie paragraaf 2.3) is een vergelijking tussen beide bronnen in principe correct. De correctie van de CBS-emissiefactoren voor aërosolen die in het basisdocument is voorgesteld: 10-40% van de aërosolemisse is PM_{10} , zal derhalve moeten herzien. In de volgende paragraaf zal hier verder op in gegaan worden.

Op het moment dat het basisdocument verscheen, begin 1994, was nog niet bekend wat de uitlaatgasemissiefactoren zijn van $PM_{2,5}$ en $PM_{-0,1}$ en wat de chemische samenstelling van de uitlaatgasdeeltjes is. Invulling van deze witte plekken is gewenst om een volledig beeld te krijgen van het fenomeen "Fijn Stof".

In paragraaf 2.2 zal de deeltjesgrootteverdeling van uitlaatgas PM_{10} worden besproken. In paragraaf 2.3 zullen voor de voertuigcategorieën personenauto's, bestelauto's, vrachtauto's, trekkers en bussen de PM_{10} -emissiefactoren, zoals in de literatuur gevonden, bij één wegtype¹¹ besproken en met elkaar vergeleken worden. De factoren voor andere wegtypen zullen worden afgeleid aan de hand van paragraaf 2.2.4, waar de snelheidsafhankelijkheid van de deeltjesemissiefactoren zal worden besproken. De emissiefactoren voor $PM_{2,5}$ en $PM_{-0,1}$ kunnen aan de hand van de deeltjesgrootteverdeling in paragraaf 2.2 afgeleid worden. Als laatste zal in paragraaf 2.4 de chemische samenstelling van PM_{10} , en dan in het bijzonder het gewichtspercentage organische deeltjes (OC) en elementaire koolstofdeeltjes (EC of carbonaceous), behandeld worden.

Tevens zal in de verschillende paragrafen van hoofdstuk 2 het effect van uitlaatgasnabehandeling door middel van filters of katalysatoren op de emissiefactor, deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling worden besproken.

⁹ Volgens TNO [47] die de emissiemetwaarden aan CBS levert wordt bij de aërosolmetingen een soort voorafscheider gebruikt die zeer grote deeltjes afscheidt. Vanaf welke grootte precies is niet bekend. Het filter waarmee de deeltjesmassa wordt gemeten heeft voor deeltjes van $0.3 \mu m$ een filterefficiency van 94-99% afhankelijk van de doorstroomsnelheid. Voor deeltjes van $1 \mu m$ is dit 98-100%.

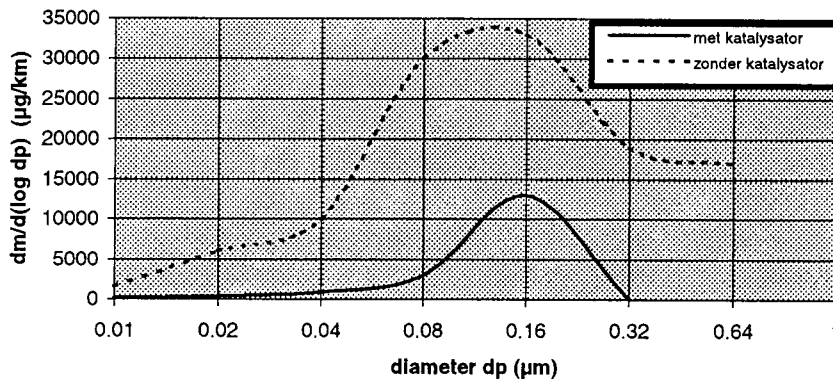
¹⁰ De verhouding tussen de verkeersprestatie van benzinepersonenauto's met en zonder katalysator was in 1993 ongeveer 1:1 [21].

¹¹ Voor de wegtypen worden de 3 CBS-wegtypen stad, overige wegen en autosnelwegen gebruikt.

2.2. Grootteverdeling uitlaatgasdeeltjes

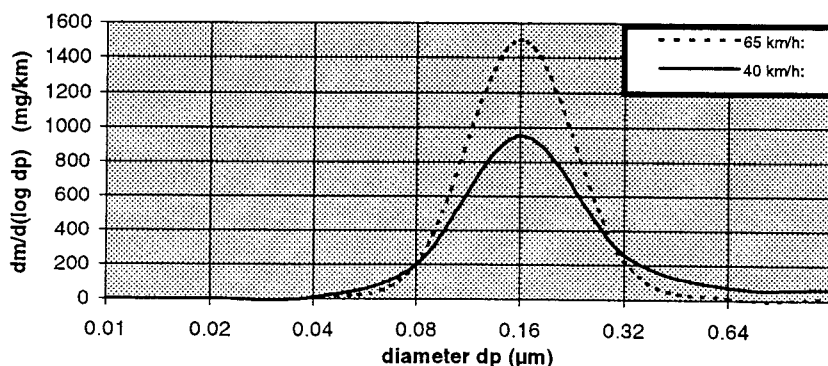
Uit literatuur over grootteverdelingen (op massabasis) komt eenduidig naar voren dat deeltjes afkomstig van verbrandingsmotoren in ieder geval kleiner is dan $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$). De verschillende literatuurbronnen variëren van 87%¹² (Moriske *et al.* 1987, [12]) via 92% (EPA 1995, [11]) tot 100% [4]. Black *et al.* (1985, [29]) vermeldt dat de literatuur het erover eens is dat 90% van de uitlaatgasdeeltjes kleiner is dan $1 \mu\text{m}$. Uit [4] blijkt dat het massadeel dat kleiner is dan $0.1 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{0.1}$) voor dieselvrachtwagens 15% bedraagt en voor benzineauto's met katalysator 30% en zonder katalysator 50%.

In figuur 1 is voor benzinepersonenauto's met en zonder katalysator een (massa)grootteverdeling van de geëmitteerde deeltjes afgebeeld. Te zien is dat de piek in de grootteverdeling tussen 0.10 en $0.20 \mu\text{m}$ ligt. Zoals gezegd bedraagt $\text{PM}_{0.1}$ circa 30% van de totale deeltjesmassa in aanwezigheid van een katalysator en 50% bij benzinemotoren zonder katalysator. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat de percentages zijn verkregen door aflezing uit een grafiek. De oppervlakte onder de grafiek geeft de PM_1 -emissiefactor.



Figuur 1: Grootteverdeling uitlaatgasdeeltjes voor benzinepersonenauto's met en zonder katalysator (bewerking uit [4])

In figuur 2 is eenzelfde grootteverdeling afgebeeld van de deeltjes afkomstig van een vrachtautodieselmotor bij twee constante snelheden. De piek in deze verdeling ligt zoals als bij benzinemotoren rond $0.16 \mu\text{m}$ en verschuift nauwelijks bij verandering van de snelheid (en motorbelasting).



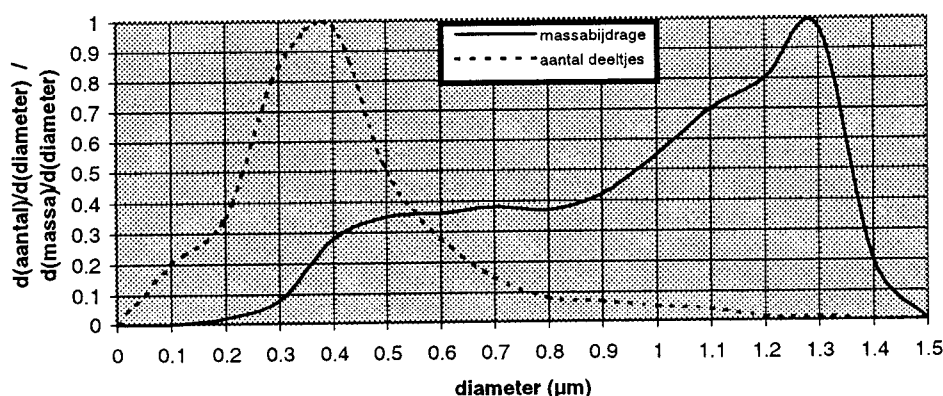
Figuur 2: Grootteverdeling uitlaatgasdeeltjes voor dieselvrachtauto's bij 40 en 65 km/h (bewerking uit [4])

¹² Als% wordt gebruikt wordt, mits anders aangegeven, gewichtsprocent bedoeld.

Andere literatuur [8] geeft een piekdiameter rond $0.03 \mu\text{m}$ voor een benzinemotor met katalysator. Voor een personenauto met dieselmotor geeft hetzelfde artikel een piekdiameter van $0.05\text{-}0.10 \mu\text{m}$.

Voor wat betreft de deeltjesgrootteverdeling bij het verbrandingsproces in een kleine éencilinder dieselmotor (max. vermogen 4 kW) vermeldt (Maass 1992, [44]) dat dit typisch een verdeling met twee pieken is. De eerste piek, de zogenaamde nucleïde mode, ligt rond de $10\text{-}15 \text{ nm}$ en bestaat uit primair gevormde deeltjes tijdens het verbrandingsproces. Het overgrote deel hiervan bestaat uit koolstofdeeltjes. De tweede piek ligt tussen $75\text{-}150 \text{ nm}$ en bestaat uit geagglomererde (samengeklonterde) primaire deeltjes. De hoogte van beide pieken (gemeten in aantal deeltjes per volume-eenheid) is afhankelijk van de motorbelasting omdat de hogere motortemperatuur die samengaat met een hogere motorbelasting de agglomeratie-eigening verhoogt. De deeltjesgrootteverdeling (aantallen deeltjes) die in deze referentie wordt gegeven reikt niet verder dan 750 nm . De reden hiervoor is dat de meetmethode (Electrical Aerosol Analyzer) geen grotere deeltjes dan $1 \mu\text{m}$ kan meten. Dit lijkt echter geen bezwaar te zijn omdat deeltjes van 750 nm en groter relatief gezien in zeer kleine aantallen in het uitlaatgas voorkwamen. Bij interpretatie van dit laatste moet wel worden bedacht dat het om aantallen deeltjes per volume-eenheid gaat en niet om massa¹³.

In figuur 3 zijn zowel de deeltjesgrootteverdeling op basis van de massa als op basis van het aantal uit [8] weergegeven. Duidelijk te zien is dat het kleine aantal deeltjes met een grote diameter een zeer grote massabijdrage heeft. Omgekeerd geldt ook dat het grote aantal kleine deeltjes een nauwelijks waarneembare massabijdrage hebben.



Figuur 3: Grootteverdeling diesel uitlaatgasdeeltjes op basis van massa en aantal (bewerking uit [8])

De conclusie die uit figuur 3 kan worden getrokken is dat een deeltjesgrootteverdeling op massabasis (veelal gemeten met filters) het beeld vertekent. Het lijkt immers dat de kleine deeltjes nauwelijks voorkomen. De verdeling op basis van aantallen deeltjes per diameterbereik (gemeten met laserstraling) toont echter aan dat er juist zeer veel kleine deeltjes ($0.2\text{-}0.4 \mu\text{m}$) en zeer weinig grote deeltjes ($> 1 \mu\text{m}$) in het uitlaatgas aanwezig zijn. Het is op dit moment nog niet duidelijk óf het aantal deeltjes óf de massabijdrage

¹³ Eén deeltje van $1 \mu\text{m}$ weegt evenveel als 1 miljoen deeltjes van 10 nm bij de aanname dat alle deeltjes bolvormig zijn en dezelfde dichtheid bezitten. De indruk bestaat echter dat er verre van sprake is van bolvormige deeltjesclusters maar meer van stervormige deeltjes [45].

binnen een diameterklasse bepalend is voor het gezondheidseffect. In het RIVM-onderzoek ter ondersteuning van de beleidsnotitie 'Fijn Stof' zoals deze in 1997 zal verschijnen, zal aan dit aspect aandacht worden besteed.

Neeft (1995, [45]) concludeert aan de hand van gevonden literatuur dat de gemiddelde (gebaseerd op massa) diameter van diesel uitlaatgasdeeltjes ca. 55 tot 90 nm bedraagt. Daarentegen kunnen ook deeltjes voorkomen van enkele μm 's. Het aantal wordt niet vermeld. De andere literatuur die in deze referentie geraadpleegd is geeft 0.1 tot 1 μm voor dezelfde gemiddelde diameter. Gesteld wordt dat de in deze literatuur gebruikte meetmethoden, namelijk het filteren en daarna oplossen in ethanol, de deeltjesgrootte te sterk zou beïnvloeden.

In [44] is tevens de invloed van uitlaatgasnabehandelingssystemen op de deeltjesgrootteverdeling van dieseluitlaatgas onderzocht. Het blijkt dat filters zeer kleine deeltjes van 10 tot 20 nm voor minimaal 50% afvangen. Deeltjes met een diameter > 150 nm worden voor meer dan 95% afgevangen. Voor de onderzochte oxidatiekatalysator blijkt dat door de vorming van sulfaten in de katalysator de deeltjesgrootteverdeling zeer sterk beïnvloed wordt. Na de katalysator zijn er meer deeltjes groter dan 500 nm in het uitlaatgas aanwezig dan voor de katalysator. Dit fenomeen blijkt bij de oxidatiekatalysator ook op te treden bij deeltjes van 50 tot 150 nm. Door agglomeratie van kleinere deeltjes en de vorming van primaire sulfaatdeeltjes is de werkingsgraad van de oxidatiekatalysator in dit diameterbereik $\sim 230\%$, ofwel het aantal deeltjes wordt in dit diameterbereik meer dan verdrievoudigd. De werkingsgraad bij in het gebied < 25 nm is daarentegen veel groter dan die van het filter en bedraagt $> 80\%$. Bij lagere motorbelasting (lagere uitlaatgastemperatuur) zal de werkingsgraad van de oxidatiekatalysator verminderen. Bij het filter is deze vermindering veel minder dramatisch.

Over de grootteverdeling per chemische component van uitlaatgasdeeltjes is alleen literatuur gevonden over elementair koolstof (EC) en lood. Ulrich *et al.* (1992, [13]) vermeldt dat bij een bus met een direct ingespoten dieselmotor 85% van de totale massa EC kleiner is dan 0.125 μm en 37% kleiner dan 0.063 μm . Venkatamaran *et al.* (1994, [14]) noemt hetzelfde percentage (85% < 0.12 μm) aan de hand van tunnelmetingen in de USA waar het dus een mix betreft van diesel en benzinevoertuigen.

In [7] is in een Duitse studie naar de invloed van bandenslijtage op de roetmissie van wegverkeer een (roet)deeltjesgrootteverdeling van een vrachtwagendieselmotor opgenomen. De piek in deze verdeling ligt bij 0.08 μm en ca. 60% van de roetdeeltjes (EC) heeft een diameter kleiner dan 0.1 μm . Rauterberg-Wulff (1995, [48]) stelt n.a.v. hetzelfde soort onderzoek (uitgebreid met extra meetstations) dat dieselroet (90% van totale deeltjesmassa) kleiner is dan 0.5 μm .

Een aspect dat vergelijkbaarheid tussen de verschillende literatuur niet eenvoudig maakt is het feit dat tijdens de weg van verbrandingsruimte naar buitenlucht fysische en chemische processen optreden die de deeltjesgrootteverdeling beïnvloeden. Een voorbeeld hiervan is de afzetting en aangroeiing van deeltjes aan de uitlaatwand die in een later stadium loslaten. Andere mechanismen die aan een vergroting van deeltjes meewerken zijn coagulatie en condensatie. Een kwantitatieve waarde voor deze verschuiving wordt in [12] gegeven. Hier is onderzocht dat in de

deeltjesgrootteverdeling van een uitlaatgasmonster van een dieselmotor 87% kleiner is dan 2.1 μm terwijl bij tunnelmetingen nog maar 60-65% kleiner is dan 2.1 μm .

Een andere oorzaak van verschillen tussen de verschillende deeltjesgrootteverdelingen in de literatuur is het feit dat het interpreteren van metingen langs een autoweg wordt gecompliceerd door andere deeltjesbronnen dan de verbrandingsmotor. Er moet hier gedacht worden aan bronnen als gevolg van slijtage van banden, rem- en koppelingsvoering en wegdek. Deeltjes afkomstig van slijtageprocessen hebben over het algemeen een grotere piekdiameter, > 2.5 μm [48]. In hoofdstuk 3 t/m 5 zal hier verder op ingegaan worden.

Over de invloed van de motortemperatuur op de deeltjesgrootteverdeling is geen literatuur gevonden. Daarnaast bestaat het vermoeden dat de deeltjesgrootteverdeling van DI-dieselmotoren wezenlijk verschilt van die van IDI-dieselmotoren omdat de inspuitdrukken bij DI-motoren veel hoger zijn en daarom de brandstof veel fijner verdeeld wordt en er om die reden fijnere onverbrande deeltjes worden geëmitteerd. Bewijzen voor dit vermoeden zijn echter niet gevonden.

Voorstel deeltjesgrootteverdeling uitlaatgas:

De volgende afgeronde waarden worden voorgesteld op basis van [4]:

- benzine- en LPG-personenauto's **met** drieweg-katalysator:
 massa-aandeel $\text{PM}_{2.5} = 100\%$ van massa-aandeel PM_{10}
 " " $\text{PM}_{0.1} = 30\%$ van " "
- benzine- en LPG-personenauto's **zonder** drieweg-katalysator:
 massa-aandeel $\text{PM}_{2.5} = 100\%$ van massa-aandeel PM_{10}
 " " $\text{PM}_{0.1} = 50\%$ " "
- dieselpersonen-, bestel-, vrachtauto's en trekkers **zonder** oxidatiekatalysator/filter
 massa-aandeel $\text{PM}_{2.5} = 100\%$ van massa-aandeel PM_{10}
 " " $\text{PM}_{0.1} = 15\%$ " "
- dieselpersonen-, bestel-, vrachtauto's en trekkers **met** oxidatiekatalysator
 massa-aandeel $\text{PM}_{2.5} = 100\%$ van massa-aandeel PM_{10}
 " " $\text{PM}_{0.1} = 5\%$ " " (schatting op basis van [44])
- dieselpersonen-, bestel-, vrachtauto's en trekkers **met** filter
 massa-aandeel $\text{PM}_{2.5} = 100\%$ van massa-aandeel PM_{10}
 " " $\text{PM}_{0.1} = 45\%$ " " (schatting op basis van [44])

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

2.3. Emissiefactoren

2.3.1. Personenauto's

De deeltjesemissie als gevolg van verbrandingsprocessen is voornamelijk afkomstig van dieselmotoren. De deeltjesemissiefactor tijdens stadsverkeer van een benzinepersonauto zonder katalysator (parkjaar 1993) is volgens CBS [21] slechts

14% van die van een dieselpersonenauto.

Tabel 1: Deeltjesemissiefactoren (mg/km) voor personenauto's in de stad

		CBS ¹⁴	lit.[1] ¹⁵	lit.[27] lit.[28] ¹⁶	lit.[30] ¹⁷	lit.[3] ¹⁸	lit.[4] ¹⁹	lit.[5] ²⁰	lit.[8] ²¹	Voorstel
Benzine met kat.	deeltjes	30	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM ₁₀		3-12	8	-	11	5	-	-	5
	PM _{2,5}	-	-	-	-	-	5	-	-	5
	PM _{0,1}	-	-	-	-	-	2	-	-	1.5
Benzine zonder kat.	deeltjes	43	-	-	-	-	-	-	20	-
	PM ₁₀		4-17	11	-	59	33	-	-	30
	PM _{2,5}	-	-	-	-	-	33	-	-	30
	PM _{0,1}	-	-	-	-	-	16	-	-	15
Diesel	deeltjes	300	-	-	244	-	-	146	100-200	-
	PM ₁₀		30-120	75	-	-	-	-	-	200
LPG met kat.	deeltjes	18	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM ₁₀		2-7	5	-	-	-	-	-	3
LPG zonder kat.	deeltjes	18	-	-	-	-	-	-	-	-
	PM ₁₀		2-7	5	-	-	-	-	-	18

(- = geen data)

In het hiervoor genoemde basisdocument "Fijn stof" is verondersteld dat de PM₁₀-emissiefactoren 10-40% bedragen van de door het CBS opgegeven deeltjesemissiefactoren. In het Emissiejaarrapport 1995 [28] en de Milieubalans 1995 [27] is de waarde 25% gebruikt. Deze waarden (voor de stad) zijn naast de park-emissiefactoren van CBS in tabel 1 opgenomen. Te zien is dat de CBS-waarden voor personenauto's met en zonder katalysator tussen de waarden uit [3] in liggen. De conclusie in het basisdocument "Fijn stof" dat de CBS-waarden 3-5 maal hoger zijn dan die in [3], is daarom niet correct. De waarden uit [27] en [28] zijn alle lager dan in [3].

In de Europese studie Corinair [30], door een werkgroep waarin onder andere TNO zitting heeft genomen, zijn standaard parkemissiefactoren gegeven voor wegverkeer. Parameters als gemiddelde snelheid en verkeersprestatie per wegtype zijn per Europees land geïnventariseerd. De deeltjesemissiefactor voor personenauto's met dieselmotor is afhankelijk van de gemiddelde snelheid van een rittype en wel volgens een 2^{de}-graads polynoom (zie verder paragraaf 2.2.4).

Hildemann *et al.* (1991b, [4]) hebben onderscheid gemaakt naar de deeltjesemissie van benzinepersonenauto's met (7 stuks) en zonder katalysator (6 stuks). De gemiddelde parkemissiefactor ('88) van de auto met katalysator, gemeten in een FTP-cyclus²², is

¹⁴ CBS-parkfactoren voor deeltjesemissie binnen de bebouwde kom (gemiddelde snelheid 22 km/h) voor personenauto's van het parkjaar 1993; LPG is niet opgedeeld in met en zonder katalysator.

¹⁵ PM₁₀-emissie is in [1] geschat op 10-40% van de CBS deeltjes-emissie

¹⁶ PM₁₀-emissie is in [27] en [28] geschat op 25% van de CBS deeltjes-emissie

¹⁷ Corinair studie m.m.v. o.a. TNO, parkwaarde 1992 (Europees gemiddelde) voor lichte dieselveertuigen < 2.5 ton bij een gemiddelde snelheid 30 km/h

¹⁸ Amerikaanse studie met 5 personenauto's met katalysator (bouwjaren '80-'83) en 6 zonder katalysator (bouwjaren '65-'76), gebruikte testprocedure is de Federal Test Procedure (FTP) cyclus met koud start (gemiddelde snelheid 31 km/h)

¹⁹ Amerikaanse studie naar de uitlaatgasdeeltjesgrootteverdeling met 7 personenauto's met katalysator (bouwjaren '77-'83) en 6 zonder katalysator (bouwjaren '65-'76) (FTP-cyclus met koudstart)

²⁰ Duitse studie naar EPM (Engine Particulate Matter)-emissie van personenauto's met dieselmotor in het parkjaar 1990 bij een ritcyclus met gemiddelde snelheid 32 km/h

²¹ Europese studie met UDC+EUDC testcyclus (gemiddelde snelheid 36 km/h)

²² Federal Test Procedure: 41 minuten durende dynamische ritcyclus, max. snelheid 90 km/h, gemid. snelheid 31 km/h

15% van die van de auto zonder katalysator (zie tabel 1). Uit deze studie blijkt tevens dat de invloed van belastingwisselingen zeer groot is op de uitlaatgasdeeltjesemissie. Deze is bij constante snelheid van 90 km/h circa 10% van die bij de FTP-cyclus.

Een Duitse bron (Hassel *et al.* 1993, [5]) geeft deeltjesemissiefactoren van uitlaatgas voor dieselpersonen- en bestelauto's. Onduidelijk is of het hier om alle deeltjes gaat of om een fractie hiervan (bijv. PM₁₀). Gemeten is bij verschillende constante snelheden op autosnelwegen en bij enkele ritcycli met verschillende gemiddelde snelheden. De gemiddelde waarde voor een ritcyclus met gemiddelde snelheid 32 km/h is weergegeven in tabel 1. De hoogte van deze emissiefactor is minder dan de helft van de desbetreffende CBS-parkemissiefactor in 1993 (= 300).

In een andere Duitse bron (Israël *et al.* 1994, [7]) waar de invloed van bandenslijtage op de EC-emissie van wegverkeer (zie ook hoofdstuk 3) in Berlijn is onderzocht, blijkt dat de deeltjesemissiefactor (afgeleid van de NO_x-concentratie), dus inclusief EC afkomstig van bandenslijtage, 25 maal hoger is dan de uitlaatgasdeeltjesemissiefactor²³ (= 4.8 mg/km). Deze waarde geldt voor de mix van diesel- en benzinepersonen-voertuigen met en zonder katalysator zoals die in Duitsland op dat moment aanwezig was. De waarde van 4.8 mg/km lijkt gezien het grote aantal dieselpersonenauto's in Duitsland (12% van alle personenauto's in 1992 (Bakkes 1995, [31])) een veel te lage parkemissiefactor. Een andere in diezelfde bron gebruikte emissiefactor voor CO is wel nagenoeg gelijk aan de CBS-parkemissiefactor voor personenauto's op overige wegen in 1992 (= 3.3 g/km) (CBS, [21]). Aangezien bovendien de categorie personenauto's in deze studie niet is gedesaggregeerd naar brandstofsoort, zal deze emissiefactor niet kunnen worden gebruikt.

Als laatste wordt een Europese studie (Davies 1995, [8]) aangehaald waarin aan één turbodiesel, één zelfaanzuigende diesel en één benzinepersonenauto met katalysator (waarschijnlijk drieweg-katalysator) met behulp van 3 soorten testapparatuur deeltjesemissiemetingen zijn uitgevoerd. Uit de gevonden deeltjesgrootteverdelingen blijkt dat de turbodieselmotor een 3 maal lagere uitlaatgasdeeltjesemissiefactor heeft dan de zelfaanzuigende dieselmotor en een 3 maal hogere dan de benzinemotor met katalysator. Ook worden emissiefactoren over een UDC+EUDC-cyclus²⁴ voor lichte dieselvoertuigen en benzinevoertuigen zonder katalysator gegeven. De resultaten zijn vermeld in tabel 1.

Voor wat betreft maatregelen ter reductie van de deeltjesemissie bij dieselpersonenauto's wordt door Pernet *et al.* (1995, [34]) gegeven dat een oxidatiekatalysator een reductie van de deeltjesemissiefactor van 30-45% bij warme katalysator tijdens een UDC-cyclus en een reductie van 60-70% bij een EUDC kan opleveren. De deeltjesemissiefactor van dieselpersonenauto's wordt bij gebruik van een oxidatiekatalysator 50-90 mg/km (UDC) en 36-140 mg/km (EUDC). Zonder oxidatiekatalysator zou de deeltjesemissiefactor 100-230 mg/km (UDC) en 100-300 mg/km (EUDC) zijn geweest.

²³ De gemiddelde snelheid van het verkeer bedroeg hier 78 km/h.

²⁴ Urban Drive Cycle + Extra Urban Drive Cycle (zie elders in dit rapport)

Voorstel deeltjesemissiefactoren personenauto's in de stad:

De emissiefactor voor PM_{10} van benzinepersonenauto's met drieweg-katalysator is 5 mg/km. Deze waarde gold al in 1983 [4] en zal op dit moment geen te hoge waarde zijn. De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes ($PM_{0.1}$ en $PM_{2.5}$) wordt afgeleid aan de hand van de grootteverdeling van uitlaatgasdeeltjes zoals door Hildemann *et al.* (1991b, [4]) is gemeten (zie ook paragraaf 2.2).

De emissiefactor voor PM_{10} van benzinepersonenauto's zonder katalysator is 30 mg/km. Deze waarde is al bepaald voor voertuigen van 1976 en zal op dit moment niet hoger zijn. De meest recente waarde (Davies 1995, [8]) ligt weliswaar lager maar heeft betrekking op een testcyclus met een groter snelheidsbereik en hogere gemiddelde snelheid. Het verschil met CBS is dusdanig groot dat wordt voorgesteld van de CBS-factor af te wijken. De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens [4] bepaald.

De emissiefactor voor PM_{10} van dieselpersonenauto's zonder oxidatiekatalysator is 200 mg/km. Uit paragraaf 2.3 is af te leiden dat uitlaatgas alleen deeltjes $< 10 \mu m$ bevat zodat de deeltjesemissiefactoren van CBS ook voor PM_{10} zullen gelden. Gezien de andere literatuurgegevens is de CBS-factor te hoog. De nieuwe waarde is de bovengrens van [8] en het gemiddelde van de andere twee literatuurbronnen. De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens die van zware dieselmotoren uit [4] bepaald. Dit betekent dat $PM_{2.5}$ 100% van PM_{10} is en $PM_{0.1}$ ca. 15% van PM_{10} is.

Voor dieselpersonenauto's wordt verondersteld dat de oxidatiekatalysator tot een 50% reductie van de deeltjesemissie tijdens een stadsrit leidt zodat de PM_{10} -emissiefactor 100 mg/km wordt. De deeltjesgrootteverdeling zal door de oxidatiekatalysator worden beïnvloed en daarom verschillen van die van een dieselpersonenauto zonder oxidatiekatalysator (zie hiervoor paragraaf 2.2).

Er is een vermoeden dat de PM_{10} -emissiefactor van LPG-personenauto's zonder katalysator hoger is dan die van benzinepersonenauto's met drieweg-katalysator aangezien de laatste jaren veel inspanning op het gebied van emissiereductie bij benzinemotoren is verricht. Bij gebrek aan gegevens is het voorstel het ongewogen gemiddelde van de benzineauto met en zonder katalysator te gebruiken. Voor LPG personenauto's met drieweg-katalysator is aangenomen dat de effectiviteit van het gebruik van een katalysator gelijk is aan die bij gebruik van een katalysator bij benzinepersonenauto's. Het vermoeden bestaat wel dat deze effectiviteit lager is gezien het feit dat de mengselregeling bij achteraf ingebouwde LPG-installaties (veelal nog op basis van het carburatieprincipe) over het algemeen minder nauwkeurig is dan die van het originele benzine-inspuitsysteem. Dezelfde deeltjesgrootteverdeling als bij benzinepersonenauto's met respectievelijk zonder katalysator wordt voorgesteld.

Voor emissiefactoren op autosnelwegen en overige wegen, zie paragraaf 2.3.4.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

2.3.2. Bestelauto's

Specifieke emissiefactoren buiten die van het CBS [2] worden in de gevonden literatuur alleen vermeld voor dieselbestelauto's. In tabel 2 zijn alle gegevens verzameld.

Tabel 2: Deeltjesemissiefactoren (mg/km) voor dieselbestelauto's in de stad

	CBS ²⁵	lit.[1] ²⁶	lit.[27]/lit.[28] ²⁷	lit.[30] ²⁸	lit.[5] ²⁹	Voorstel
deeltjes	300	-	-	250	585	-
PM ₁₀	-	30-120	75	-	-	300

(- = geen data)

Voorstel deeltjesemissiefactoren bestelauto's in de stad:

De parkemissiefactor voor PM₁₀ van dieselbestelauto's is 300 mg/km. Argument hiervoor is dat de CBS-parkemissiefactoren van dieselbestel- en dieselpersonenauto's voor 1993 identiek zijn terwijl volgens Hassel *et al.* (1993, [5]), die aan voor Nederland representatieve dieselbestelauto's heeft gemeten, de parkemissiefactor van dieselbestelauto's 3 maal hoger is dan die van dieselpersonenauto's. Het voorstel is de verhouding van de deeltjesemissie door dieselbestel- en personenauto's 1.5 te laten zijn. De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens die van zware dieselmotoren volgens Hildemann (1991b, [4]) bepaald. Dit betekent dat PM_{2.5} 100% van PM₁₀ is en PM_{0.1} ca. 15% van PM₁₀ is. Dus: **PM_{2.5} = 300 mg/km** (= 1.5 * 200) en **PM_{0.1} = 45 mg/km**. Dit impliceert dat de CBS-emissiefactor voor deeltjes kan worden aangehouden.

De deeltjesemissiefactoren voor bestelauto's met benzine- of LPG-motoren met en zonder katalysator zullen bij gebrek aan andere gegevens gelijk gehouden worden aan de CBS-factoren [21]. Aangezien CBS bij LPG-voertuigen geen emissiewaarden bij katalysatorgebruik geeft zal bij LPG dezelfde verhouding tussen emissiewaarden met en zonder katalysator als bij benzinebestelauto's gebruikt worden. Deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling worden gelijk gesteld aan die bij benzinemotoren met of zonder katalysator.

Voor emissiefactoren op autosnelwegen en overige wegen, zie paragraaf 2.3.4.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

²⁵ CBS-parkfactoren voor deeltjesemissie binnen de bebouwde kom (gemiddelde snelheid 22 km/h) voor bestelauto's in het parkjaar 1993

²⁶ PM₁₀-emissie is in [1] geschat op 10-40% van de CBS deeltjes-emissie

²⁷ PM₁₀-emissie is in [27] en [28] geschat op 25% van de CBS deeltjes-emissie

²⁸ Europese studie m.m.v. o.a. TNO, lichte diesel bestelauto's < 3.5 ton bij een snelheid 22 km/h

²⁹ Duitse studie naar EPM (Engine Particulate Matter)-emissie van bestelauto's met dieselmotor < 3.5 ton in het parkjaar 1990 bij een ritcyclus met gemiddelde snelheid 20 km/h

2.3.3. Vrachtauto's, Trekkers en Bussen

Voor vrachtauto's geldt dat de CBS-deeltjesemissiefactor (voor parkjaar 1993) circa 1.5 tot 2 maal hoger ligt dan de waarden voor PM₁₀ uit andere literatuurbronnen [3][4][9] (zie tabel 3) echter wel nagenoeg gelijk is aan de waarde in de Europese Corinair-studie [30]. De aanname dat de PM₁₀-emissiefactor 10-40% [1] of 25% [27][28] is van de CBS-deeltjesemissiefactor is aan de lage kant.

Tabel 3: Deeltjesemissiefactoren (mg/km) voor vrachtauto's op overige wegen

Diesel	CBS ³⁰ lit.[21]	lit.[1] ³¹	lit.[27] lit.[28] ³²	lit.[30] ³³	lit.[3] ³⁴	lit.[4] ³⁵	lit.[9] ³⁶ met roetfilter	lit.[9] ³⁷ zonder roetfilter	lit.[10] ³⁸	Voorstel zonder roetfilter
deeltjes	890	-	-	820	-	-	-	-	2090	-
PM ₁₀	-	89-356	223	-	410	470/430	-	-	-	890
PM _{2.5}	-	-	-	-	-	470/430	124	622	-	890
PM _{0.1}	-	-	-	-	-	75/68	-	-	-	140
OC	-	-	-	-	-	-	-	-	945	-
EC	-	-	-	-	-	-	12	311	-	-

(- = geen data)

In een Amerikaanse studie [4] zijn twee zware vrachtwagens op een rollenbank getest met een testcyclus zonder veel belastingswisselingen. Hoewel deze situatie "best case" is zal het verschil met CBS niet overbrugd worden. Een ander Amerikaans artikel [3] heeft waarschijnlijk betrekking op dezelfde experimenten en geeft nagenoeg dezelfde emissiefactor (410 mg/km). Aangezien het twee vrachtwagens met bouwjaar 1987 betreft gaat het hier niet om een parkemissiefactor maar om een bouwjaaremmissiefactor die per definitie lager is dan de parkwaarde. Een belangrijke kanttekening is dat de type vrachtwagens uit de Amerikaanse literatuur niet of nauwelijks in Nederland voorkomen. In 1988 kwam in de Verenigde Staten al regelgeving voor de deeltjesemissie van dieselvrachtauto's, namelijk 600 mg/kWh, terwijl Nederland pas vanaf de EURO-1 norm (ingang per 1-10-1993) een richtlijn voor de deeltjesemissie van nieuwe vrachtauto's hanteert (400 mg/kWh bij > 85 kW; 670 mg/kWh bij < 85 kW). Dit is een tweede mogelijke oorzaak van de lage deeltjesemissiefactor van deze beide vrachtauto's.

In een ander Amerikaans artikel (Lowenthal *et al.* 1994, [9]) worden laboratorium-emissietesten beschreven aan bussen en vrachtwagens met en zonder roetfilters. De

³⁰ CBS-parkfactor voor deeltjesemissie op overige wegen (gemiddelde snelheid 50 km/h) voor vrachtauto's van het parkjaar 1993.

³¹ PM₁₀-emissie is in [1] geschat op 10-40% van de CBS deeltjes-emissie

³² PM₁₀-emissie is in [27] en [28] geschat op 25% van de CBS deeltjes-emissie

³³ Corinair studie m.m.v. o.a. TNO, parkwaarde 1992 (Europees gemiddelde) van zware dieselveertuigen (3.5 tot 16 ton) op rurale wegen (aanname: 50 km/h)

³⁴ Amerikaanse studie met 2 zware dieselvrachtwagens, een GMC en een Ford (bouwjaar '87), op een rollenbank waar geen grote belastingswisselingen konden worden opgelegd, testcyclus met maximum snelheid 65 km/h en gemiddelde snelheid 44 km/h; meetmethode EAA

³⁵ Amerikaanse studie naar de uitlaatgasdeeltjesgrootteverdeling met 2 vrachtauto's (bouwjaar '87), dezelfde als in [3], bij constante snelheden van 40 en 65 km/h; meetmethode EAA

³⁶ Amerikaanse studie met 6 diesalbussen met roetfilters, gebruikte testcyclus is de Central Business District (CBD) cyclus (14 maal accellereren tot 32 km/h, gemiddelde snelheid 20.7 km/h); alleen deeltjes gemeten < 2.5 µm met Pallflex-filter.

³⁷ Amerikaanse studie met 9 diesalbussen en 8 dieselvrachtwagens zonder roetfilters (CBD-cyclus).

³⁸ Australische studie; gemiddelde waarde van 12 vrachtwagens en bussen (bouwjaren '74-'85), gebruikte testcyclus is de ADR 36 waar bij constant motortoerental de belasting wordt gewisseld (11 mode-test).

emissiefactoren worden gegeven voor $PM_{2.5}$ maar zijn vergelijkbaar met PM_{10} -gegevens omdat - zoals in paragraaf 2.3 zal blijken - de deeltjes afkomstig van verbrandingsprocessen in ieder geval kleiner zijn dan $1 \mu m$. De invloed van een roetfilter op de $PM_{2.5}$ -emissiefactor is groot nl. 80% afname, de invloed op de emissiefactor van elementair koolstof is groter, ca. 96% afname. Roetfilters worden echter op dit moment slechts op zeer kleine schaal toegepast bij zware vrachtwagens door problemen met de duurzaamheid. Het tussentijds schoonmaken (regenereren) van de filters levert nog steeds problemen op.

Een Australisch onderzoek (Williams *et al.* 1989, [10]) met 12 zware vrachtwagens (park '88) wijst een grote spreiding uit in emissiefactoren van EPM (Engine Particulate Matter) over de verschillende voertuigen, variërend van 800 tot 7150 mg/km (gem. 2090 mg/km). De bouwjaren van de voertuigen variëren van '74 tot '84. De reden voor deze hoge emissiefactor is niet bekend. De twee nieuwste voertuigen uit '84 en '85 van Europese makelij emitteerden beide slechts 1000 mg EPM/km.

Baranescu (1988, [49]) heeft onderzocht wat de invloed is van de brandstofsamenstelling op de emissie van deeltjes. Het blijkt dat een stijging van het zwavelgehalte in dieselbrandstof van 0.1 naar 0.2 gew.% de deeltjesemissiefactor met ca. 10% verhoogt. Dezelfde waarde wordt ook gerapporteerd door Gairing *et al.* (1994, [50]). Het gew.% sulfaat in de uitlaatgasdeeltjes is bij een zwavelgehalte van 0.3% gelijk aan ca. 20%. Bij 0.05 gew.% zwavel is dit nog maar 5%. Tevens heeft Baranescu de invloed van het inspuitsysteem, IDI of DI, onderzocht. Het blijkt dat deze invloed op het sulfaatgehalte in de uitlaatgasdeeltjes marginaal is t.o.v. de invloed van het zwavelgehalte in de brandstof [49].

Gairing *et al.* hebben aangetoond dat het toepassen van een oxidatiekatalysator bij een zware vrachtauto (177 kW) pas leidt tot een reductie van de deeltjesemissie als het zwavelgehalte in de brandstof lager is als 0.001 gew.%. Zwavelgehalten hoger dan 0.001 gew.% leiden tot een hogere emissie van deeltjes door de vorming sulfaten uit SO_2 in de oxidatiekatalysator. Zo zal bij een zwavelgehalte van 0.05 gew.%, zoals vanaf 1-10-1996 het wettelijk maximum zwavelgehalte zal zijn (93/12/EEG), het gebruik van een oxidatiekatalysator tot een ruime verdubbeling van de deeltjesemissie leidt. Dit komt geheel voor rekening van de extra sulfaatemissie [50].

Voorstel deeltjesemissiefactoren vrachtauto's op overige wegen:

De parkemissiefactor op overige wegen voor PM_{10} van dieselvrachtauto's zonder roetfilter is 890 mg/km. Er zijn niet genoeg aanwijzingen dat de CBS-emissiefactor veranderd zou moeten worden. De emissiefactoren volgens Hildemann *et al.* (1991b, [4]) en Lowenthal *et al.* (1994, [9]) zijn niet realistisch omdat onder "best case" omstandigheden is gemeten. De emissiefactor volgens Williams *et al.* (1989, [10]) is door het feit dat aan oude voertuigen (vanaf '74) is gemeten ook niet realistisch voor de huidige parkemissiefactor.

De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens die van zware dieselmotoren uit [4] bepaald, dus $PM_{2.5} = 100\%$ van PM_{10} en $PM_{0.1} = 15\%$ van PM_{10} (zie ook paragraaf 2.2). Voor emissiefactoren in de stad en op autosnelwegen, zie paragraaf 2.3.4.

Z.O.Z.

Voor de parkemissiefactor bij gebruik van een roetfilter wordt de verhouding zoals in [9] voorgesteld. Deze factor wordt hiermee $124/622 * 100\% = 20\%$ van de parkemissiefactor zonder roetfilter. Ook bij trekkers en bussen is deze reductiefactor toegepast.

Het effect van een oxidatiekatalysator is zeer afhankelijk van het zwavelgehalte in de brandstof. Er kan geen algemene inschatting van het effect gegeven worden.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

Voorstel deeltjesemissiefactoren trekkers op overige wegen:

Voor de parkemissiefactor van trekkers wordt identiek aan de situatie bij vrachtwagens ook de CBS-waarde voorgesteld. De **PM₁₀-emissiefactor** op landelijke wegen voor trekkers is: **1400 mg/km**. De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens die van zware dieselmotoren volgens Hildemann *et al.* (1991b, [4]) bepaald, dus PM_{2,5} = 1400 mg/km en PM_{0,1} = 210 mg/km. Voor emissiefactoren in de stad en op autosnelwegen, zie paragraaf 2.3.4.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

Voorstel deeltjesemissiefactoren dieselbussen op overige wegen:

Voor de parkemissiefactoren van dieselbussen worden identiek aan de situatie bij vrachtwagens en trekkers de CBS-waarden voorgesteld (= 1300 mg/km). De emissiefactor voor andere deeltjesgroottes wordt volgens die van zware dieselmotoren volgens Hildemann *et al.* (1991b, [4]) bepaald.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

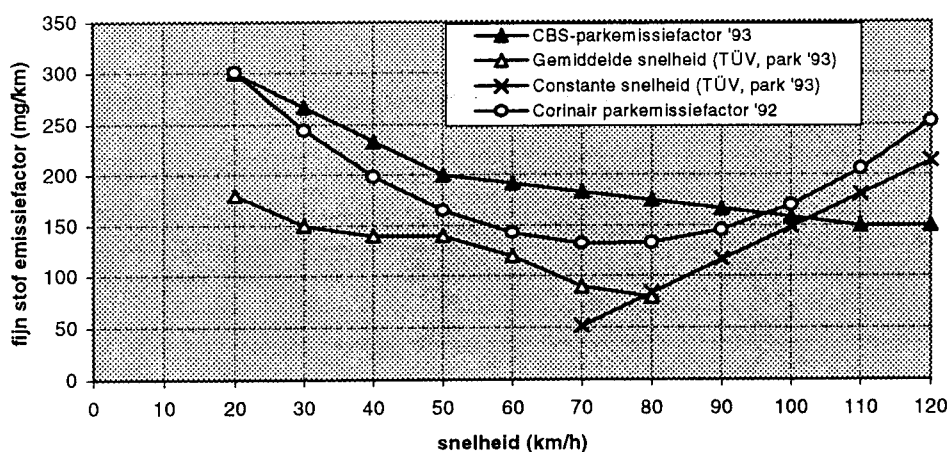
2.3.4. Invloed van snelheid

Naast de gegevens voor emissiefactoren per wegtype van het CBS [21] zijn slechts drie andere literatuurbronnen gevonden waar de invloed van de (gemiddelde) snelheid op de deeltjesemissie is bestudeerd. In [5] is door de TÜV voor 34 dieselpersonenauto's waarvan 3 met oxidatiekatalysator (bouwjaren vanaf 1985) gemeten dat vanaf 70 km/h een verhoging van de (constante) snelheid op autosnelwegen met 10 km/h een verhoging van de deeltjesemissiefactor van 32 mg/km tot gevolg heeft (52 mg/km bij 70 km/h). Dit verband (kruisjes) is afgebeeld in figuur 4. Voor de 13 lichte dieselbestelauto's is dit 115 mg/km per 10 km/h snelheidsverhoging (172 mg/km bij 70 km/h) (zie kruisjes in figuur 5). De CBS-waarde voor autosnelwegen (110 km/h constant) is lager dan die bij overige wegen (51 km/h gemiddeld) hetgeen niet strookt met de in figuur 4 en 5 getoonde trend.

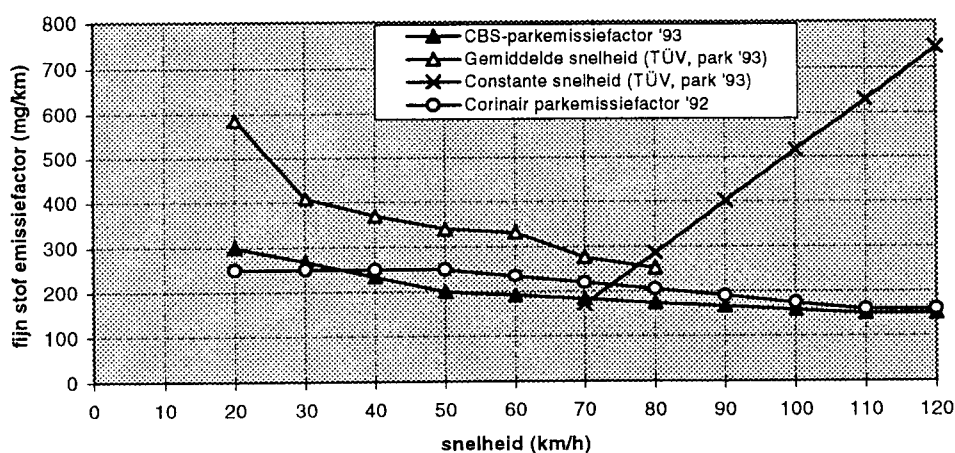
Het verband tussen snelheid en deeltjesemissie van lichte dieselvoertuigen (< 2.5 ton) gegeven door Corinair [30] (open rondjes) is een kwadratische functie. De deeltjesemissiefactor geldt voor gemiddelde snelheden. Bij dieselbestelauto's (< 3.5 ton) zijn alleen de waarden voor de verschillende wegtypen gegeven en de tussenliggende waarden zijn lineair geïnterpoleerd. Hetzelfde geldt voor de CBS-parkemissiefactoren.

Bij toename van de snelheid op autosnelwegen (kruisjes in figuur 4 en 5) blijkt ongeveer de helft van de toename in de deeltjesemissiefactor te verklaren te zijn uit een toename van het brandstofverbruik. De andere helft zal waarschijnlijk veroorzaakt worden door een als gevolg van vollast draaien ongunstiger verbranding.

De trend dat bij ritcycli de emissiefactor stijgt bij verlaging van de gemiddelde snelheid (open driehoekjes in figuur 4 en figuur 5) wordt ook door CBS en Corinair onderschreven. De relatieve verhoging van het brandstofverbruik blijkt in dit geval tot minder dan eenzelfde relatieve verhoging van de emissiefactor te leiden. In navolging van de conclusie bij de constante snelheid zal bij lagere gemiddelde ritcyclussnelheid een gunstiger verbranding optreden. Waarschijnlijk is het percentage vollast in de cyclus kleiner.



Figuur 4: Gegevens uit [2], [5] en [30] over snelheidsafhankelijkheid van de deeltjesemissiefactor van **dieselpersonenauto's**



Figuur 5: Gegevens uit [2], [5] en [30] over snelheidsafhankelijkheid van de deeltjesemissiefactor van **dieselbestelauto's**

De absolute waarden in figuur 5 liggen ver uiteen. Een verklaring hiervoor is dat bij CBS de emissiefactoren van dieselpersonenauto's en dieselbestelauto's gelijk zijn en bij TÜV een factor 3 verschil aanwezig is. Aangezien het in deze paragraaf niet gaat

om het vaststellen van de absolute emissiefactor maar om het verloop als functie van de voertuigsnelheid wordt aan dit verschil verder geen aandacht aan besteed.

Voor dieselveertuigen tussen 2.5 en 16 ton is door Corinair [30] gegeven dat de deeltjesemissiefactor (park) onafhankelijk van het rittype 4.3 g/kg brandstof zal zijn. Gegeven het brandstofverbruik van 227, 189 en 154 g/km voor respectievelijk stad, overige wegen en autosnelwegen, zal de deeltjesemissiefactor respectievelijk 976, 813 en 662 g/km zijn. Het CBS [2] geeft respectievelijk 1400, 890 en 830 voor deze parkemissiefactoren (zie tabel 4). De trend dat het brandstofverbruik en o.a. daardoor de deeltjesemissie per kilometer stijgt bij hogere snelheden, zoals bij personen en bestelauto's het geval is, is bij vrachtwagens en trekkers niet waarneembaar. Het feit dat de emissiefactor op de autosnelweg lager is dan op de overige wegen komt doordat CBS en waarschijnlijk ook Corinair de emissiefactor op autosnelwegen bij constante snelheid bepalen en die op overige wegen met een voor dat wegtype relevante ritcyclus.

Tabel 4: Parkdeeltjesemissiefactoren (mg/km) vrachtwagens en trekkers volgens Corinair³⁹ en CBS⁴⁰

wegtype:	Corinair: 2.5 < > 16 ton CBS: vrachtwagens			Corinair: > 16 ton CBS: trekkers		
	stad	overige wegen	autosnelweg	stad	overige wegen	autosnelweg
gemid. snelheid:	19 km/h	50 km/h	80 km/h	19 km/h	50 km/h	80 km/h
Corinair '92 [30]	975	815	660	1575	1410	1265
CBS '93 [21]	1400	890	830	2200	1400	1200

In [4] is voor één vrachtwagen bij twee snelheden de deeltjesemissiefactor bepaald. Bij 40 km/h bedraagt deze 470 mg/km, bij 65 km/h is deze factor lager nl. 430 mg/km. De absolute waarde is om eerder genoemde reden (paragraaf 2.3.3) erg laag, de trend komt wel overeen met beide andere literatuurbronnen.

Het lijkt erop, gezien voorgaande resultaten, dat de deeltjesemissiefactor een minimum heeft tussen 60 en 80 km/h. De waarde voor de deeltjesemissiefactor van personen- en bestelauto's op autosnelwegen zal in tegenstelling tot CBS en Corinair hoger moeten zijn dan die op overige wegen. Voor vrachtwagens en trekkers zal niet van CBS worden afgeweken.

³⁹ De aanname wordt hier gedaan dat de gemiddelde snelheden bij de Corinair-wegtype-aanduidingen "urban", "rural" en "highway" overeenkomen met die bij de respectievelijke CBS-aanduidingen "bebouwde kom", "overige wegen" en "autosnelwegen" en gelijk zijn aan respectievelijk 19, 50 en 80 km/h.

⁴⁰ De CBS categorie "vrachtwagens" is ingedeeld in 3.5-16 ton en > 16 ton. Het gemiddeld gewicht binnen de categorie is 10 resp. 22 ton. De gemiddelde vrachtwagen woog in 1990 19 ton. CBS "trekkers" wegen gemiddeld 35 ton. De categorieën van CBS en Corinair zijn dus niet geheel uniform.

Voorstel snelheidsafhankelijkheid deeltjesemissiefactoren:

Voor personenauto's (alle subcategorieën) wordt de kwadratische afhankelijkheid volgens Corinair [30] voorgesteld. De afhankelijkheid volgens [5] komt hier grofweg mee overeen (zie figuur 1). De emissiefactor voor overige wegen (51 km/h gemiddeld) wordt hiermee 60% en die voor autosnelwegen (110 km/h constant) 80% van de waarden voor de stadsrit (22 km/h gemiddeld) uit tabel 1.

Voor bestelauto's wordt hetzelfde verband voorgesteld.

Voor vrachtauto's wordt het verband volgens CBS (zie tabel 4) voorgesteld omdat het, gezien de kleine verschillen tussen CBS en Corinair, voor de hand liggender is de CBS-categorieën aan te houden. Uitgaande van de emissiefactor op overige wegen uit tabel 3 (= 890 mg/km) zal de emissiefactor in de stad 57% hoger zijn, op autosnelwegen zal de emissiefactor 7% lager zijn.

Voor trekkers is uitgaande van de deeltjesemissiefactor op landelijke wegen (= 1400 mg/km) de emissiefactor in de stad 57% hoger, op autosnelwegen is de emissiefactor 14% lager.

Voor bussen is uitgaande van de deeltjesemissiefactor op landelijke wegen (= 1300 mg/km) de emissiefactor in de stad 46% hoger, op autosnelwegen is de emissiefactor 33% lager.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

2.4. Chemische samenstelling uitlaatgasdeeltjes

In de projectgroep "Fijn stof" is overeengekomen dat carbonaceous (elementaire koolstof EC en organische bestanddelen OC) de enige chemische component van uitlaatgasdeeltjes is die voor de verschillende emissiebronnen gekwantificeerd moet worden. In deze paragraaf zal een opsplitsing gemaakt worden naar het EC- en OC-gewichtspercentage van uitlaatgas aangezien in de literatuur over het algemeen beide onderzocht zijn.

In tabel 5 is de informatie uit de verschillende literatuurbronnen over het gew.% EC en OC in uitlaatgasdeeltjes samengevat. Opvallend hierin is de afwijking van de busdieselmotor (Watson *et al.* 1990, [15]) en [13].

Het effect van een oxidatiekatalysator op de chemische samenstelling zoals deze op zware dieselmotoren wordt toegepast wordt voor zover bekend niet in de literatuur beschreven. Het blijkt dat het toepassen van een roetfilter het relatieve massa-aandeel van EC in uitlaatgasdeeltjes verkleint.

In andere terminologie geeft Schafer *et al.* (1993, [46]) de typische samenstelling van dieseluitlaatgasdeeltjes als zijnde: 40% afkomstig van smeerolie, 30% roet, 7% onverbrande brandstof, 14% sulfaat en gebonden water en 8% overige stoffen. Dit komt neer 47% OC (smeerolie en brandstof) en 30% EC (roet) en dus 77% totaal C. Deze waarden vallen binnen de range van de waarden zoals in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5: EC- en OC-gew.% van uitlaatgasdeeltjes van dieselmotoren zonder oxidatiekatalysator of filter in bestelauto's, vrachtauto's en bussen

type:	lit.[11]	lit.[10] ⁴¹	lit.[15]	lit.[15] ⁴²	lit.[7]	lit.[17] ⁴³	lit.[13] ⁴⁴	lit.[3]	Voorstel
	vracht	bestel	vracht	bus	vracht	vracht	bus	vracht	vracht/bestel
EC	51	67	75	18	43	33	18	41	55
OC	37	33	23	56	-	40	-	39	35
totaal C	88	99	98	74	-	73	-	80	90

(- = geen data)

Zoals tabel 5 is in tabel 6 hetzelfde gedaan voor benzinemotoren zonder katalysator. Duidelijk is dat het EC-gew.% van uitlaatgasdeeltjes bij benzinemotoren lager is dan bij dieselmotoren.

Tabel 6: EC- en OC-gew.% in uitlaatgasdeeltjes van benzinemotoren zonder katalysator

	lit.[11]	lit.[18] ⁴⁵	lit.[15]	lit.[17] ⁴⁶	lit.[3]	Voorstel
EC	16	4	22	14	8	15
OC	49	27	64	30	66	45
totaal C	65	31	86	44	74	60

Tabel 7, als laatste, bevat het EC- en OC-gew.% van benzineauto's met katalysator. Te zien is dat het relatieve EC-gew.% bij katalysatorauto's hoger is. Gezien de lagere deeltjesemissiefactor (zie tabel 1) zal de absolute emissie van EC bij gebruik van een katalysator lager zijn.

Tabel 7: EC- en OC-gew.% in uitlaatgasdeeltjes van benzinemotoren met katalysator

	lit.[11]	lit.[18] ⁴⁷	lit.[18] ⁴⁸	lit.[7]	lit.[3]	Voorstel
EC	24	21	56	34	23	30
OC	52	77	36	-	50	55
totaal C	76	98	92	-	73	85

(- = geen data)

⁴¹ Waarde geldt voor dieselbestelauto, zware vrachtauto heeft een hoger OC-gew.%.

⁴² Voor de afzonderlijke categorie bussen (aanname: diesel)

⁴³ Zware dieselvrachtwagen

⁴⁴ DI busdieselmotor

⁴⁵ Amerikaanse studie met 20 benzinepersonenauto's rijdend op gelode benzine: 25% van totale uitlaatgasdeeltjesmassa bestaat uit lood, 21% uit broom.

⁴⁶ Meting met personenauto's rijdend op zowel gelode als ongelode benzine (verhouding niet bekend)

⁴⁷ Voor een warme motor

⁴⁸ Voor opwarmende (koude) motor; bij koude starts zal door verrijking het gew.% roet in de uitlaatgasdeeltjes bij katalysatorauto's verhoogd worden.

Voorstel chemische samenstelling uitlaatgasdeeltjes:

Er zijn niet genoeg redenen om aan te nemen dat de chemische samenstelling van uitlaatgas afkomstig van dieselmotoren in bestel en vrachtauto's substantieel van elkaar verschilt. Daarom zijn de kolommen voor "vracht" en "bestel", alleen die met gegevens voor zowel EC als OC, ongewogen gemiddeld. Voor bussen kan de chemische samenstelling uit [15] aangehouden worden.

De invloed van een roetfilter op dieselmotoren wordt afgeleid uit tabel 3 waarin zowel voor dieselbussen met als zonder roetfilter het aandeel van EC in de emissiefactor van $PM_{2.5}$ is vermeld. Deze bedraagt 10% bij roetfilter. Zonder roetfilter is dit 55% (waarde uit tabel 5). Het OC gewichtspercentage bij een roetfilter wordt $90 - 10 = 80\%$.

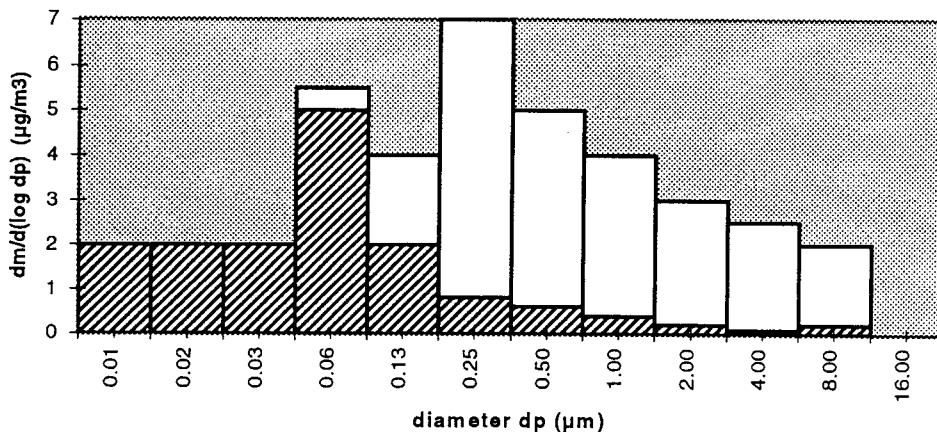
Voor benzinemotoren met en zonder katalysator zijn de ongewogen gemiddelde waarden van het EC- en OC-gewichtspercentage in resp. tabel 6 en 7 bepaald.

Er is geen informatie gevonden over eventueel afwijkende deeltjesgrootteverdeling bij LPG-motoren en het voorstel is dan ook deze gelijk te houden aan benzinemotoren met of zonder katalysator.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

3. DEELTJES DOOR BANDENSLIJTAGE

3.1. Deeltjesgrootteverdeling

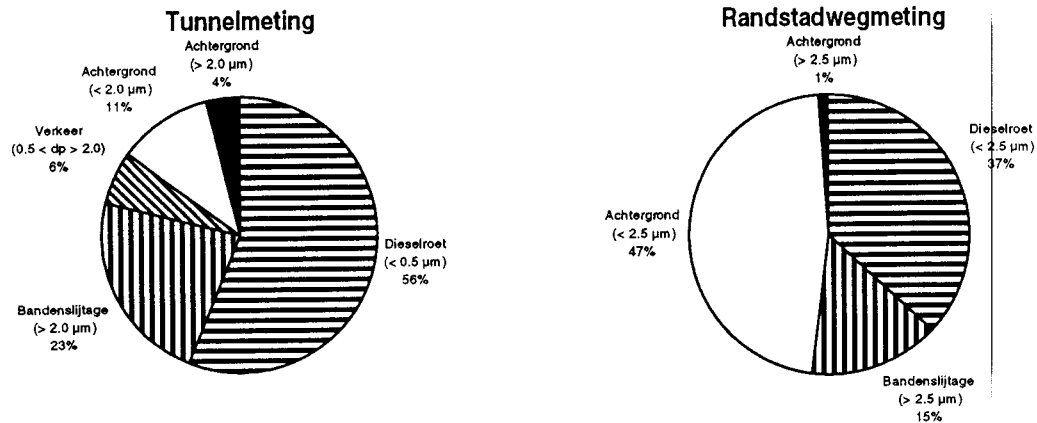


Figuur 6: Deeltjesgrootteverdeling van EC in buitenluchtmonster en in (genormeerd) uitlaatgas (gearceerd) (bewerking uit [7])

Over de deeltjesgrootteverdeling van geëmitteerd bandenstof geven slechts drie literatuurbronnen een indicatie. In een vergelijking tussen de deeltjesgrootteverdeling van EC in een uitlaatgasmonster van een vrachtwagendieselmotor en die in een concentratiemeting langs een autoweg bleek dat de EC-deeltjesgrootteverdeling van het uitlaatgas slechts één van de twee massaverdelingen in de roetdeeltjesgrootteverdeling van het buitenluchtmonster kon verklaren [7]. De tweede massaverdeling met een massa-gewogen equivalente diameter van ca. $0.8 \mu\text{m}$ moet volgens dit artikel verklaard worden uit een andere automobiele bron. De meest aannemelijke lijkt de auteurs bandenslijtage te zijn. Aan opwaaiend wegstof (indirect ook gedeeltelijk afkomstig van bandenslijtage) of achtergrondconcentratie, die hier ook een verklaring voor kunnen zijn, wordt door hen niet gedacht. In figuur 6 zijn in de deeltjesgrootteverdeling van EC in het buitenluchtmonster (geen arcering) de twee massaverdelingen te onderscheiden. De gearceerde deeltjesgrootteverdeling is die van het uitlaatgasmonster genormeerd op de deeltjesgrootte 0.01 . Het uitgangspunt hierbij is dat zeer kleine deeltjes ($< 0.03 \mu\text{m}$) alleen in uitlaatgas voorkomen en niet in andere roetbronnen. Het verschil tussen beide verdelingen wordt gezien als de deeltjesgrootteverdeling van bandenstof. Aan de hand van deze verschilwaarden kan worden uitgerekend dat ca. 85% van bandenstof- PM_{10} bestaat uit $\text{PM}_{2.5}$. $\text{PM}_{0.1}$ is verwaarloosbaar.

Door o.a. dezelfde auteurs als in [7] zijn een jaar later in een snelwegtunnel metingen gedaan om de bijdrage van bandenslijtage aan de deeltjesconcentratie te onderzoeken (Rauterberg-Wulff *et al.* 1995, [48]). Op bepaalde punten worden t.o.v. hun voorgaande studie tegenstrijdige resultaten gerapporteerd. Deeltjes afkomstig van bandenslijtage zijn volgens [48] namelijk alle groter dan $2 \mu\text{m}$. Deeltjes tot $16 \mu\text{m}$ konden met de gebruikte apparatuur worden gemeten. De indruk bestaat dat er ook deeltjes groter dan $16 \mu\text{m}$ als gevolg van bandenslijtage worden geëmitteerd. Ook blijkt dat de bijdrage van verkeer aan de tunnelconcentratie van deeltjes tussen 0.5 en $2 \mu\text{m}$ juist zeer laag (6%) is vergeleken met deeltjes $< 0.5 \mu\text{m}$ (dieselroet 55%) en deeltjes $> 2 \mu\text{m}$ (bandenslijtage 24%). De overige 15% (11% $< 2 \mu\text{m}$; 4% $> 2 \mu\text{m}$)

wordt veroorzaakt door de achtergrondconcentratie buiten de tunnel (zie figuur 7 links).



Figuur 7: Bijdrage van de verschillende EC-bronnen aan de EC-concentratie in een tunnel en langs een randstadweg [48]

Een extra meetserie in [48] aan een drukbereden randstadweg in Berlijn geeft andere bijdragen van verkeer aan de buitenluchtconcentratie van EC (figuur 7 rechts) nl.: 37% < 2.5 μm (dieselroet), 15% > 2.5 μm (bandenslijtage) en 48% (47% < 2.5 μm ; 1% > 2.5 μm). Deze laatste meting is waarschijnlijk beter vergelijkbaar met de concentratiemeting uit [7] (ook langs een autoweg) dan de tunnelmeting. De grote bijdrage van de achtergrondconcentratie aan de concentratie van deeltjes < 2.5 μm is waarschijnlijk in [7] nog niet bekend geweest en verondersteld is dat de bijdrage van bandenslijtage in dit diameterbereik de gemeten concentratie heeft bepaald. Er is in deze referentie echter geen deeltjesgrootteverdeling gegeven van de meting langs de randstadweg en een vergelijking met de deeltjesgrootteverdeling uit [7] is dan ook niet te realiseren.

Als laatste bron voor de deeltjesgrootteverdeling van bandenstof is een Engels rapport van de Quality of Urban Air Review Group gevonden [54]. Hierin wordt aan de hand van een studie uit 1985 gesteld dat 55% van de deeltjes kleiner is dan PM_{10} en 40% kleiner is dan $\text{PM}_{2.5}$. Dit zou betekenen dat ca. 75% van PM_{10} bestaat uit $\text{PM}_{2.5}$. In hetzelfde rapport staat ook dat $\text{PM}_{2.5}$ verwaarloosbaar is ten opzichte van PM_{10} . Deze interne tegenstrijdigheid voor het $\text{PM}_{2.5}$ -aandeel maakt de betrouwbaarheid van deze bron klein. Er wordt dan ook vastgehouden aan de deeltjesgrootteverdeling van PM_{10} zoals deze is af te leiden uit [48], waarin wordt gesteld dat deeltjes door bandenslijtage over het algemeen groter zijn dan 2.5 μm . Het aandeel PM_{10} in de totale deeltjesemissie als gevolg van bandenslijtage wordt wel overgenomen uit [54].

Voorstel deeltjesgrootteverdeling bandenstof:

Voor de deeltjesgrootteverdeling van bandenstof wordt verondersteld dat deeltjes als gevolg van bandenslijtage over het algemeen groter zijn dan $2.5 \mu\text{m}$ [48][54]. Het percentage PM_{10} in de totale deeltjesmassa is gelijk aan de waarde in [54]. De deeltjesgrootteverdeling van bandenstof wordt dan:

massa-aandeel PM_{10}	=	55%	van	totale deeltjesmassa (PM)
massa-aandeel $\text{PM}_{2.5}$	=	5%	van	“ (schatting)
“	“	$\text{PM}_{0.1}$	=	0% van “

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

3.2. Emissiefactoren

De literatuur over bandenslijtage en de deeltjesemissie naar lucht die daarvan het gevolg is (bandenstof), is zeer summier. Er zijn verschillende schattingen over de hoeveelheid bandenslijtage per gereden kilometer per band. In [7] is de bandenslijtage voor personenauto's geschat op 28 mg/bandkm. In [1] en (Rab 1991, [33]) is een soortgelijke schatting gedaan op grond van geometrie en levensduur van nieuwe en oude banden voor de Nederlandse situatie, namelijk 23 mg/bandkm voor de bandenslijtage bij personenauto's en 45 mg/bandkm bij vrachtauto's. Cadle *et al.* (1978, [19]) schat voor de bandenslijtage 30 mg/bandkm. Niet bekend is of deze waarde voor een personenauto dan wel voor een vrachtauto's geldt.

De PM_{10} -emissiefactor (naar lucht) als gevolg van deze slijtage is zeker niet gelijk aan de hiervoor genoemde waarden maal het aantal banden per voertuig. Een deel blijft nl. achter in het wegdek, een ander deel wordt weliswaar geëmitteerd maar slaat binnen enkele meters al neer en wordt derhalve niet als emissie naar lucht beschouwd. In [7] wordt gesteld dat als al het bandenslijpsel wordt geëmitteerd, een groot deel van de deeltjesconcentratie langs de weg hiermee kan worden verklaard. Deze conclusie is echter gebaseerd op de aanname dat de emissiefactor van uitlaatgasdeeltjes voor alle personenauto's gemiddeld 4.8 mg/km bedraagt, wat in aanwezigheid van diesel-personenauto's niet het geval kan zijn. De inschatting in [1] is dat slechts 10-40% van de totale gesleten bandenmassa naar de lucht als PM_{10} wordt geëmitteerd (10% wordt aannemelijker geacht dan 40%). In [27] en [28] wordt hiervoor 5% geschat. In [19] wordt aan de hand van de hierboven gegeven aanname en een rubberconcentratie-meting in de bodem langs het wegdek ook geopperd dat 5% van alle rubberdeeltjes naar de lucht als PM_{10} wordt geëmitteerd. Dit zou betekenen dat een personenauto $0.05 \cdot 23 \cdot 4 \approx 5$ mg PM_{10} per voertuigkilometer emitteert als gevolg van bandenslijtage. Een vrachtauto/trekker heeft volgens [33] gemiddeld 11 banden en zal volgens deze aanname en de schatting voor de bandenslijtage in [1] circa 25 mg PM_{10} per voertuigkilometer emitteren.

De CBS- PM_{10} -emissiefactoren als gevolg van bandenslijtage zijn opgesteld aan de hand van bovenstaande schattingen van de bandenslijtage en de PM_{10} -emissie die daarvan het gevolg is. Deze factor is voor personenauto's 4 mg/km, voor bestelauto's 5 mg/km, voor vrachtauto's en trekkers 20 mg/km, voor bussen 14 mg/km, voor motorfietsen 2 mg/km en voor bromfietsen 1 mg/km (CBS-*emmob*). Voor de deeltjesemissiefactoren wordt voorgesteld om de CBS-factoren te delen door 0.55 (55% van PM is PM_{10}). CBS daarentegen stelt dat de deeltjesemissiefactor gelijk is

aan de bandenslijtagefactor, wat gezien het feit dat niet alle bandenstof naar lucht maar ook een deel naar water wordt geëmitteerd te hoog lijkt. In de tabel in bijlage 1 zijn alleen de PM_{10} -emissiefactoren vermeld.

Voorstel PM_{10} -emissiefactor bandenstof naar lucht:

Voor de PM_{10} -emissiefactor van bandenstof naar lucht wordt voorgesteld CBS aan te houden. De PM_{10} -emissiefactor bedraagt ca. 5% van de bandenslijtagefactor (als gram bandmateriaal per kilometer). Een personenauto emitteert 4 mg PM_{10} /voertuigkm. Deze waarde is nagenoeg gelijk aan de uitlaatgasemissiefactor van benzinepersonenauto's met katalysator in de stad. Een vrachtwagen/trekker emitteert 20 mg PM_{10} /voertuigkm, wat slechts 1 á 2% is van de $PM_{2.5}$ -emissiefactor a.g.v. uitlaatgas bij vrachtwagens in de stad. De PM_{10} -emissiefactor als gevolg van van bandenslijtage van bestelauto's is 5 mg/km, die van bussen 14 mg/km en die van motorfietsen en bromfietsen resp. 2 en 1 mg/km.

Het vermoeden dat deze gemiddelde emissiefactoren per wegtype verschillen is met behulp van de gevonden literatuur niet te bevestigen noch te ontkennen.

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

3.3. Chemische Samenstelling

Ook over de chemische samenstelling van bandenstof is de literatuur zeer summier. In [3] wordt vermeld dat op grond van de samenstelling van banden bandenstof voor 58% uit OC en 29% uit EC zou moeten bestaan. Dit stemt goed overeen met [33] waar wordt gesteld dat volgens de chemische samenstelling van bandenrubber het bandenstof voor 60% uit OC en voor 30% uit EC zou moeten bestaan. In metingen is echter gevonden dat het OC-gew.% 35 tot 45% bedraagt en het EC-gew.% ca. 15% [3]. In [48] tonen metingen aan dat bandenstof voor 20-30% uit EC bestaat. De rest zou bestaan uit minerale stoffen.

Voorstel chemische samenstelling bandenstof:

Voor de chemische samenstelling van bandenstof wordt voorgesteld:

massa-aandeel EC = 30% van massa-aandeel PM_{10}

“ “ OC = 60% van “ “

Daarnaast zou volgens [33] bandenstof bestaan uit voornamelijk zinkoxyde (3%) en reststoffen (7%).

N.B. Voor een volledig overzicht wordt verwezen naar B1 in bijlage 1.

4. WEGSTOF

4.1. Inleiding

Met de term wegstof wordt de deeltjesemissie naar lucht door het opwaaien van deeltjes afkomstig van het wegdek als gevolg van langsrijdende voertuigen bedoeld. Een deel van de op het wegdek aanwezige deeltjes is het gevolg van wegdekslijtage, een ander deel van niet geëmitteerd bandenslijpsel of van rem- en koppelingsvoeringslijtage. De rol van neerslag, omgevingstemperatuur en windsnelheden in de deeltjesemissiefactor van wegstof is niet bekend.

4.2. Deeltjesgrootteverdeling

Over de deeltjesgrootteverdeling van wegstof afkomstig van verharde en onverharde wegen geven twee literatuurbronnen nagenoeg dezelfde gegevens. Uit gegevens van EPA [11] en een studie door Chow *et al.* (1994, [23]) blijkt dat het totale naar de lucht geëmitteerde wegstof voor 50% uit PM_{10} , voor 10% uit $PM_{2.5}$ en voor 3% uit $PM_{0.1}$ bestaat. De andere 50% is dus groter dan PM_{10} . In het basisdocument Fijn stof [1] is verondersteld dat 10-40% van het totale wegdekslijpsel uit PM_{10} bestaat.

Eind 1995 zijn door het RIVM metingen in Amsterdam verricht naar de emissie van fijn stof door wegverkeer. Gelijktijdig werden de concentraties PM_{10} en $PM_{2.5}$ gemeten. Aan de hand van schattingen voor het percentage vrachtverkeer en de emissiefactoren voor CO en NO_x van zowel vracht- als personenverkeer zijn PM_{10} - en $PM_{2.5}$ -emissiefactoren van vracht- en personenverkeer bepaald. Het bleek het dat het quotiënt $PM_{2.5}/PM_{10}$ gemiddeld tussen de 0.55 en 0.60 inligt. Uit de resultaten blijkt verder dat er geen verschillen zijn tussen deze verhouding bij een straat en die bij een stadsachtergrond. De conclusie op grond van deze resultaten is dat de deeltjesemissie van verkeer hetzelfde quotiënt $PM_{2.5}/PM_{10}$ heeft. Gegeven het feit dat het uitlaatgas geen of nauwelijks deeltjes groter dan $2.5 \mu m$ bevat kan hieruit de conclusie worden getrokken dat verkeer ook verantwoordelijk is voor de emissie van deeltjes groter dan $2.5 \mu m$. Hoogstwaarschijnlijk betreft het deeltjesemissie als gevolg van banden- en wegdekslijtage en opwaaiend stof (Bloemen *et al.*, 1996 [52]).

Een studie van de Landbouwniversiteit in Wageningen naar de PM_{10} - en $PM_{2.5}$ -concentraties langs een drukke straat in Arnhem en Wageningen en op een stadsachtergrondlocatie geeft voor het quotiënt $PM_{2.5}/PM_{10}$ nagenoeg dezelfde waarde, namelijk 0.55. Het verschil tussen de straat en de stadsachtergrond is miniem. Daarnaast is zowel de PM_{10} - als de $PM_{2.5}$ -concentratie in de straat 30% hoger dan op de stadsachtergrond (Janssen *et al.*, 1996 [53]). Het ontbreken van een verschil tussen dit quotiënt voor de straat en de achtergrond en het ontbreken van een verschil in de relatieve verhoging van de PM_{10} - en $PM_{2.5}$ -concentraties in de straat ten opzichte van de stadsachtergrond, leidt ook hier tot dezelfde conclusie, namelijk dat de $PM_{2.5}/PM_{10}$ -quotiënt van de deeltjesemissie door verkeer in de straat dezelfde waarde heeft als die van de achtergronddeeltjesconcentratie (= 0.55).

Voorstel deeltjesgrootteverdeling wegstof:

Gezien de actualiteit van [11] en [23] wordt deze grootteverdeling voorgesteld, dus:

PM₁₀ = 50% van de totale geëmitteerde deeltjesmassa

PM_{2.5} = 10% “ “

PM_{0.1} = 3% “ “

4.3. Emissiefactoren

Het CBS rapporteert sinds 1994 deeltjesemissies naar lucht als gevolg van wegdekslijtage (CBS-emma). Voor personenauto's wordt een PM₁₀-emissiefactor van 4 mg/km gegeven. Voor bestelauto's is de PM₁₀-emissiefactor 5 mg/km, voor vrachtauto's 20 mg/km, voor bussen 14 mg/km, voor motorfietsen 2 mg/km en voor bromfietsen 1 mg/km. Uitgangspunt hierbij is dat 5% van de totale deeltjesemissie als gevolg van wegdekslijtage PM₁₀ is en dat de deeltjesemissie als gevolg van bandenslijtage gelijk is aan de deeltjesemissie als gevolg van wegdekslijtage. Deze CBS-emissiefactoren geven alleen de deeltjesemissie als gevolg van wegdekslijtage en niet die ten gevolge van opwaaiend/opwervend stof als gevolg van langsrijdend verkeer. Uit onderzoek door Kulmala *et al.* (1986, [20]) blijkt dat de bijdrage van opwaaiend stof (als gevolg van langsrijdend verkeer) aan de deeltjesconcentratie langs verharde wegen waarschijnlijk 50 -70% bedraagt⁴⁹.

Aan de hand van de resultaten (zie paragraaf 4.2) uit het eerder genoemde Medam-project (het quotiënt PM_{2.5}/PM₁₀ van de verkeersbijdrage aan de deeltjesconcentratie langs een straat is 0.55 tot 0.60) kan met behulp een gewogen uitlaatgas-deeltjesemissiefactor van stadsverkeer de deeltjesemissiefactor van andere bronnen dan uitlaatgas bepaald worden. Deze gewogen uitlaatgas-deeltjesemissiefactor wordt bepaald door de uitlaatgas-deeltjesemissiefactor van iedere voertuigcategorie, zoals vermeld in bijlage 1, te wegen naar het aantal kilometers dat in 1995 binnen de bebouwde kom werd afgelegd (CBS). Deze gewogen waarde is gelijk aan 177 mg/km. Met de veronderstelling dat uitlaatgas geen deeltjes groter dan 2.5 µm bevat en dat deeltjes door slijtageprocessen en opwaaiend stof niet kleiner zijn dan 2.5 µm, zal de PM₁₀-emissiefactor (binnen de bebouwde kom) door andere bronnen dan uitlaatgas 118 tot 145 mg/km bedragen. Deze waarde moet met veel voorzichtigheid worden gebruikt. Ten eerste is het waarschijnlijk dat deze waarde voor vracht- en personenverkeer zal verschillen en ten tweede zal de meetlocatie (snelheden, nabij stoplichten) waarschijnlijk van grote invloed zijn op dit resultaat.

Eerdere schattingen door het RIVM in het basisdocument "fijn stof" [1] gebaseerd op wegdekslijtagegegevens (27 kton/jaar) in Nederland voor 1986 levert een wegstofemissie van in totaal 13.5 kton over 70.000 km geasfalteerd wegdek wanneer aangenomen wordt dat 50% van het wegdekslijpsel als deeltjes naar lucht wordt geëmitteerd. Het totaal aantal verreden kilometers in 1986 door het wegverkeer bedraagt 84810 mln km [21]. Een grove maat voor de deeltjesemissiefactor van verharde wegen als gevolg van wegdekslijtage is het delen van de geschatte wegstofemissie door de totale verkeersprestatie: 13.5 / 84810 = 160 mg/km. De PM₁₀-emissie als gevolg van wegdekslijtage is volgens [1] 10-40% en volgens [27] en

⁴⁹ Metingen verricht in de stad Helsinki (25000 voertuigen/dag) en in een buitenwijk van Helsinki (5000 voertuigen/dag)

[28] 5% van de totale wegstofemissie. De wegstof-PM₁₀-emissiefactor voor verharde wegen als gevolg van wegdekslijtage zou dus moeten inliggen tussen 8 en 64 mg/km. Deze waarde heeft dezelfde ordegrrootte als de uitlaatgas PM₁₀-parkemissiefactor van benzinepersonenauto's zonder katalysator in 1993 en is gemiddeld een factor 3.5 lager dan de schatting uit de Medam-resultaten waarin zowel deeltjes afkomstig van slijtageprocessen als opwaaiend stof zijn verdisconteerd.

De hierboven afgeleide PM₁₀-emissiefactor is gemiddeld een factor 180 lager dan de PM₁₀-emissiefactor volgens Claiborn *et al.* (1995, [22]) die voor verharde wegen 3-10 g/km bedraagt. In deze waarde, die in een vergelijking met uitlaatgasemissiefactoren zeer hoog is, is waarschijnlijk ook het geresuspendeerde (na te zijn neergeslagen weer opgewaaide) stof verdisconteerd. Voor onverharde wegen, waar het begrip wegdekslijtage moeilijk te definiëren is, wordt in ditzelfde artikel de waarde 136-336 g/km genoemd, wat extreem hoog is. Williams *et al.* (1988, [32]) noemt in dit verband zelfs de waarde 600-1800 g/km.

Gezien de grote spreiding in de gegevens wordt voor de wegstofemissiefactor geen voorstel gedaan.

4.4. Chemische Samenstelling

Het OC- en EC-gew.% van wegstof is volgens [11] 15-25% resp. 3-4%. In [3] is onderzocht dat het OC-gew.% afhankelijk van de lokatie tussen 7 en 20% ligt. Watson *et al.* (1994, [17]) vermeldt dat wegstof typisch 10-15% OC en EC bevat (50-50). Een enigszins lagere schatting van het gew.% organische bestanddelen is afkomstig van Feenstra *et al.* (1986, [35]) die vermeldt dat asfalt voor 86% uit zand en steen, voor 7% uit vulstof en voor 7% uit bitumen bestaat. Bitumen bestaan voor nagenoeg 100% uit organische verbindingen met zeer hoge C/H verhouding (circa 8) (Concawe 1992, [36]), zodat wegstof voor 7% uit organische bestanddelen zal moeten bestaan. Een opsplitsing naar OC en EC wordt niet gemaakt.

Voorstel chemische samenstelling wegstof:

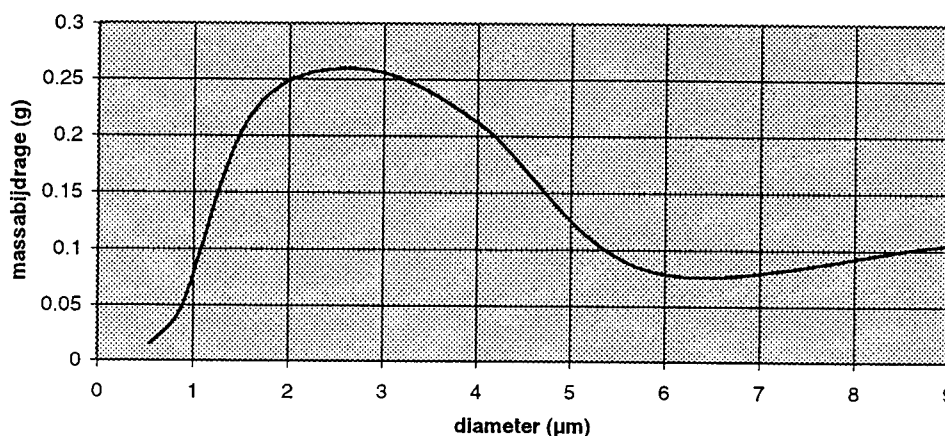
Voor de chemische samenstelling van wegstof wordt voorgesteld:

massa-aandeel EC = 5% van massa-aandeel PM

“ OC = 15% “

5. ANDERE DEELTJESBRONNEN VAN WEGVERKEER

Ter completering van dit rapport zouden ook andere deeltjesbronnen veroorzaakt door wegverkeer voor zover mogelijk besproken moeten worden. Hierbij moet gedacht worden aan slijtage van rem- en koppelingsvoering. Over beide deeltjesbronnen is slechts weinig onderzoek gevonden. Cha *et al.* (1983, [43]) heeft onderzoek gedaan naar de emissiefactor en deeltjesgroottesamenstelling van deeltjes afkomstig van remvoeringslijtage van een personenauto. Aan de hand van een ritcyclus, representatief voor stadsritten, is gemeten dat 32% van de slijtagedeeltjes in de lucht blijft. De emissiefactor zou dan neerkomen op 8 mg/km. De gemiddelde aërodynamische diameter van deze luchtgedragen (airborn) deeltjes is 3.7 μm . De gemeten grootteverdeling is afgebeeld in figuur 8. Nagenoeg alle deeltjes blijken kleiner dan PM_{10} en ca. 40% kleiner dan $\text{PM}_{2.5}$. Het is waarschijnlijk dat de emissiefactor per kilometer op andere wegtypen als autosnelwegen veel lager ligt omdat daar relatief veel minder gebruikt wordt gemaakt van de remmen. De deeltjesemissiefactor van vrachtwagens, trekkers en bussen zal in de stad waarschijnlijk hoger zijn als gevolg van het grotere remvoeringsoppervlak dat nodig is om voertuigen met een grotere massa te kunnen vertragen. Het is aan de hand van de gevonden literatuur niet mogelijk beide vermoedens te verifiëren. In bijlage 1 zijn in tabel B.3 de voorstellen voor factoren en grootteverdeling samengevat.



Figuur 8: Grootteverdeling van deeltjes afkomstig van remvoeringslijtage uit [43]

Over de chemische samenstelling van deeltjes als gevolg van remvoeringslijtage is in [3] te vinden dat deze deeltjes voor ca. 13% uit OC en voor minder dan 5% uit EC bestaan. Andere chemische componenten zijn SiO_2 , Fe_2O_3 , Mg^{2+} en Ba. Voor deeltjes als gevolg van koppelingsvoeringslijtage zal waarschijnlijk dezelfde samenstelling gelden.

6. OVERIG WEGVERKEER

Over de PM_{10} -emissiefactoren van ander wegverkeer, bijvoorbeeld motorfietsen, bromfietsen, en speciale voertuigen, is geen literatuur gevonden. Voorgesteld wordt voor deze categorieën de deeltjesemissiefactoren, voor zover aanwezig, van het CBS uit [21] te gebruiken. Voor de deeltjesgroottesamenstelling van uitlaatgas van **motorfietsen** wordt dezelfde verdeling als die van benzinepersonenauto's zonder katalysator voorgesteld. Voor 2-takt **bromfietsen**, waar als gevolg van mengsmering veel olie wordt verbrand, geldt hoogstwaarschijnlijk een andere deeltjesgrootteverdeling. Bij gebrek aan literatuur wordt dezelfde verdeling als bij benzinemotoren zonder katalysator voorgesteld. Voor de chemische samenstelling van de deeltjes zullen op dit moment dezelfde waarden gebruikt worden als die van benzinepersonenauto's zonder katalysator.

Voor de deeltjesemissiefactor van **speciale voertuigen** wordt ook het gebruik van de CBS-factoren voorgesteld. De deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling afhankelijk van de gebruikte brandstof volgens benzinemotoren met of zonder katalysator (LPG en benzine) of volgens zware dieselmotoren met of zonder roetfilter (diesel).

7. OVERIG VERKEER

Voor gegevens over deeltjesemissie van overig verkeer is gezien de scope van deze literatuurstudie geen speciaal literatuuronderzoek verricht en is reeds aanwezig cijfermateriaal gebruikt. In dit hoofdstuk wordt alleen overig verkeer behandeld dat wordt voortbewogen door verbrandingsmotoren gezien de geringe bijdrage van elektrisch vervoer aan de totale deeltjesemissie door verkeer en vervoer. Met uitzondering van de luchtvaart wordt in het niet-wegverkeer voornamelijk gebruik gemaakt van dieselmotoren.

Over **zeescheepvaart** kan gezegd worden dat de deeltjesemissiefactor zeer sterk afhankelijk is van het zwavelgehalte van de gebruikte brandstof. In 2-takt motoren wordt voornamelijk stookolie (3.1 gew.% zwavel, [CBS]) gebruikt, in 4-takt scheepsdieselmotoren meestal dieselolie (0.18 gew.% zwavel, [CBS]). MAN (1989, [37]) geeft voor de deeltjesemissiefactor van 2-takt dieselmotoren de waarde 0.8 tot 1.0 g/kWh en MariTerm AB (1990, [51]) 0.9 g/kWh. Het brandstofverbruik per kWh van 2-takt zeescheepsmotoren is gemiddeld circa 0.22 kg/kWh (Lloyd's 1991, [38]) zodat de emissiefactor in g/kg brandstof gemiddeld 4.1 bedraagt. Voor 4-takt dieselmotoren in zeeschepen geeft [51] voor de deeltjesemissiefactor gemiddeld 0.5 g/kWh wat bij een gemiddeld brandstofverbruik van 0.24 kg/kWh (van der Most 1990, [39]) overeenkomt met 2.1 g/kg brandstof. CBS [21] geeft een deeltjesemissiefactor van 4.8 g/kg voor zeescheepvaart dat voor 65% uit schepen met een 4-takt motor en voor 35% uit schepen met een 2-takt motor bestaat. De CBS-factor is in vergelijking met de andere literatuur te hoog en **voorgesteld** wordt om voor de Nederlandse zeescheepvaart de deeltjesemissiefactor gelijk aan **3 g/kg** te maken.

Voor de **binnenvaart** geeft [39] een deeltjesemissiefactor van 2 g/kton*km. Gebruik is gemaakt van de deeltjesemissiefactoren van zware dieselvrachtwagens. Omgerekend naar g/kg brandstof is dit ca. 0.3 g/kg⁵⁰, wat een extreem lage waarde mag worden genoemd. CBS [21] geeft voor deeltjesemissiefactor van vracht- en tankschepen en van sleep- en duwvaartuigen de waarde 4 g/kg (6 g/kg voor passagiers- en veerboten), welke aannemelijker is dan de waarde uit [39]. In een studie van TNO-MEP (Pulles *et al.* 1995, [40]) is onderzocht dat door scheepsdieselmotoren 4.5 g/kg roet wordt geëmitteerd. Volgens schattingen is 25% hiervan (1.1 g/kg) PM₁₀. Deze schatting is gebaseerd op schattingen in de Milieubalans '95 en zijn tegenstrijdig met de conclusie in paragraaf 2.2 over de grootteverdeling van uitlaatgasdeeltjes (100% PM₁₀). Als laatste geeft NEA in een studie naar emissies door goederenvervoer op de binnenwateren (NEA 1991, [41]) dat de deeltjesemissiefactor afhankelijk van de motorbelasting circa 1 tot 2 g/kg zal bedragen. Het **voorstel** voor de deeltjesemissiefactor van vracht- en tankschepen en van sleep- en duwvaartuigen is de waarde **2 g/kg** (3 g/kg voor passagiers- en veerboten).

Voor **goederen- en personenvervoer per rail** en voor **luchtvaart** zijn geen waarden anders dan die van CBS [21] bekend.

⁵⁰ Met de aanname dat er 7 gram brandstof per tonkm wordt verbruikt.

De deeltjesgrootteverdeling van de uitlaatgasdeeltjes van scheepvaartsmotoren en van railvoertuigmotoren is dezelfde als die van een zware dieselmotor. In paragraaf 2.2 is dit uitvoerig besproken. Voor de deeltjesgrootteverdeling van motoren gebruikt in de luchtvaart is geen informatie aangetroffen.

De chemische samenstelling van deeltjes afkomstig van dieseluitlaatgas is gegeven in paragraaf 2.4. Over de chemische samenstelling van uitlaatgas van vliegtuigmotoren zijn geen gegevens aangetroffen.

8. CONCLUSIES

Gezien alle resultaten is duidelijk dat van de meeste verkeersgerelateerde deeltjesbronnen waarden bekend zijn over emissiefactor, deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling (met een beperking tot OC en EC). Het is ook duidelijk dat niet alle gegevens door meer dan één literatuurbron worden gedekt zodat onzekerheid over de juistheid en de toepasbaarheid op de Nederlandse situatie van de genoemde waarden blijft bestaan. Daar staat tegenover dat één goede referentie betrouwbaarder kan zijn dan meerdere literatuurbronnen waarin verschillende methodieken worden gehanteerd.

Er kunnen desalniettemin wel enige conclusies uit het bovenstaande worden getrokken. Voorstellen voor de te gebruiken waarden van emissiefactor, deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling zijn reeds getrokken in de gearceerde kaders in de tekst. Een samenvatting is te vinden in tabel B1 in bijlage 1.

De belangrijkste conclusies zullen hierna worden opgesomd:

- Deeltjes afkomstig van uitlaatgas voor het grootste deel kleiner zijn dan 1 µm.
- Dieselpersonenauto's⁵¹ zonder oxidatiekatalysator hebben een 7 maal hogere uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor dan benzinemotoren zonder drieweg-katalysator en een 40 maal hogere uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor dan benzinemotoren met drieweg-katalysator (waarden voor park 1993).
- Als gevolg van de emissienormstelling voor dieselmotoren van zware bedrijfsvoertuigen (EURO-1 en verder) zal de deeltjesemissiefactor van nieuwe zware bedrijfsvoertuigen sterk afnemen. Gezien de korte economische levensduur van vrachtwagens > 20 ton GVW⁵² zal snelle penetratie van deze nieuwe vrachtwagens plaatsvinden wat resulteert in een snelle afname van de parkdeeltjesemissiefactor.
- Roetfilters op zware dieselmotoren geven een 80% afname van de uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor. Door problemen met de regeneratie van vervuilde filters worden filters (nog) niet toegepast.
- Roetfilters leiden tot verschuiving in de deeltjesgrootteverdeling naar meer kleine deeltjes (<20 nm) doordat de filterefficiency bij deze deeltjesgrootte laag is (50%) ten opzichte van die bij grotere deeltjes (> 95%).
- Oxidatiekatalysatoren toegepast bij dieselpersonenauto's geven een 25-70% afname van de uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor. Bij toepassing op zware dieselmotoren bij het huidige wettelijke maximum zwavelgehalte van dieselbrandstof treedt er vooral bij hoge motorbelastingen als gevolg van de omzetting van SO₂ naar sulfaat een grote toename van de PM₁₀-emissiefactor op. Pas bij zeer lage zwavelgehalten (< 0.001 gew.%) van de brandstof zal de oxidatiekatalysator de deeltjesemissie kunnen reduceren.
- Oxidatiekatalysatoren leiden tot een verschuiving in de deeltjesgrootteverdeling naar meer deeltjes tussen 50 en 150 nm en meer deeltjes > 500 nm als gevolg van sulfaatvorming en agglomeratie (samenklontering) van kleine deeltjes.

⁵¹ In dit rapport is bij personenauto's geen onderscheid gemaakt tussen DI- en IDI-dieselmotoren. Gezien het feit dat DI motoren bij personenauto's nog niet lang worden toegepast hebben de literatuurgegevens betrekking op IDI-dieselmotoren.

⁵² GVW staat voor het maximaal gewicht van een voertuig inclusief de lading.

- Uitlaatgasdeeltjes van dieselmotoren bevatten relatief het meeste elementaire koolstof⁵³ (EC of roet) in vergelijking tot die van benzinemotoren.
- Het gebruik van een drieweg-katalysator bij benzinemotoren leidt weliswaar tot een 80% afname van de uitlaatgas-PM₁₀-emissiefactor, het EC-aandeel in de uitlaatgasdeeltjes stijgt van 15% naar 50%.
- Deeltjesemissie als gevolg van banden- en wegdekslijtage en opwaaiend stof dragen samen substantieel bij aan de PM₁₀-concentratie langs een door verkeer bereden weg. Metingen door het RIVM van de luchtconcentratie langs enkele wegen in Amsterdam hebben dit aangetoond. Een goede kwantificering van deze bijdrage is gezien de onzekerheden rondom de meetresultaten niet mogelijk.

Eén en ander impliceert dat een halvering van de uitlaatgasdeeltjesemissie door technische maatregelen (stel het resultaat is een halvering van de PM_{2,5}-emissie) nauwelijks een indicatie geeft over de afname van de totale PM₁₀-concentratie. Ten eerste omdat de bijdrage van verkeer en vervoer aan de totale PM₁₀-concentratie langs de weg 17% (Gertler *et al.* (1995, [26]) via 40% [11] tot 52% [48] is. En ten tweede omdat de andere deeltjesbronnen van een rijdend voertuig dan uitlaatgas - denk aan bandenslijtage - ook een significante bijdrage kunnen leveren aan de PM₁₀-concentratie langs een straat of autoweg.

Een belangrijke kanttekening bij alle resultaten is dat zij gegeven zijn in massagerelateerde eenheden. Zoals in paragraaf 2.3 is te zien is de invloed van enkele grote deeltjes op de deeltjesgrootteverdeling (op massabasis) zeer groot en suggereert ten onrechte dat kleine deeltjes nauwelijks aanwezig zijn. Het zal door toxicologen moeten worden vastgesteld welk van beide de beste correlatie vertoont met het gezondheidseffect als gevolg van blootstelling aan deeltjes; aantallen deeltjes of de massa van alle deeltjes kleiner dan een bepaalde diameter. In het RIVM-project 'Fijn Stof', waarin het fenomeen PM₁₀ van emissie tot gezondheidseffect wordt onderzocht, zal deze vraag gepoogd te worden beantwoord.

Onderzoeksresultaten over het belang van wegstof als gevolg van slijtage en opwaaiing door langsrijdend verkeer in het totale verkeersgerelateerde stof is in de literatuur zeer summier aanwezig. Op grond van de resultaten in hoofdstuk 4 kan op dit moment hier nog geen kwantitatieve uitspraak over gedaan worden.

⁵³ Als gewichtspercentage van PM₁₀

9. AANBEVELINGEN

Het verdient aanbeveling verder onderzoek te concentreren op de volgende gebieden:

- Deeltjesgrootteverdeling van dieselmotoren onderscheiden in DI en IDI.
- Emissiefactoren als gevolg van bandenslijtage en de invloed van rijnsnelheid of wegtype.
- De bijdrage van andere wegverkeer-deeltjesbronnen dan uitlaatgas aan de totale deeltjesemissiefactor van een rijdend voertuig.
- De invloed van drieweg- en oxidatiekatalysatoren op de emissiefactor, grootteverdeling en chemische samenstelling van uitlaatgasdeeltjes bij verschillende bedrijfscondities.
- De invloed van de brandstofsamenstelling, en dan met name het zwavelgehalte, op de deeltjesemissie en de invloed van een oxidatiekatalysator op de vorming van sulfaten.
- De invloed van chemische en fysische processen op de deeltjesgrootteverdeling van uitlaatgas in het traject verbrandingsmotor => buitenlucht zou meer helderheid moeten verschaffen over de geconstateerde verschillen in resultaten uit buitenluchtconcentratieingen en voertuigemissieingen.
- Het meten van deeltjes met behulp van optische apparatuur (aantallen deeltjes) i.p.v. met filters (massa van deeltjes) geeft een objectiever beeld van de deeltjesgrootteverdeling (vooral bij kleine diameters). Toepassing is gewenst gezien de trend naar hogere inspuiddrukken bij dieselmotoren en de daarmee verbonden verschuiving naar meer kleinere deeltjes die steeds moeilijker met een filter kunnen worden getraceerd. Daarnaast zijn deskundigen er nog niet over uit óf de deeltjesmassa wel maatgevend of dat juist het aantal deeltjes maatgevend is voor het gezondheidseffect als gevolg van blootstelling aan deeltjes. Onderzoeksresultaten hieromtrent zijn van groot belang gezien het gebruik van de juiste meetmethode.

10. REFERENTIES

- 1 "Basisdocument Fijn Stof"
J.A. Annema, H. Booij, J.M. Hesse, A. van der Meulen, W. Slooff
RIVM-rapport nr. 710401029, januari 1994
- 2 "Luchtverontreiniging, emissies door wegverkeer, 1980-1990"
CBS-milieustatistieken, 1992
- 3 "Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol"
L.M. Hildemann, *et al.*
Environmental Science & Technology, vol 25, pp 744-759, 1991
- 4 "Submicrometer Aerosol Mass Distributions of Emissions from Boilers, Fireplaces, Automobiles, Diesel Trucks, and Meat-Cooking Operations"
L.M. Hildemann *et al.*
Aerosol Science and Technology, vol. 14, pp. 138-152, 1991
- 5 "Abgas-Emissionsfaktoren von Pkw in der Bundesrepublik Deutschland"
D. Hassel *et al.*
TUV Rheinland, UBA-FB 91-042, 1993
- 6 "Milieufacten, cijfers bij de tweede nationale milieuverkenning 1991"
CBS-milieustatistieken, 1991
- 7 "Bedeutung des Riefenabtriebs für die Rußemission des Kfz-Verkehrs"
G. Israël; M. Pesch; C. Schlums
Staub- Reinhaltung der Luft 54, pp. 423-430, 1994
- 8 "Particulate Research Programme, Report of the Particulate Sizing Expert Group"
M.J. Davies
ETSU, 1995
- 9 "Characterization of heavy-duty diesel vehicle emissions"
D.H. Lowenthal, B. Zielinski, J.C. Chow, J.G. Watson
Atmospheric Environment, vol. 28 nr. 4, pp. 731-743, 1994
- 10 "Particulate Emissions from 'in-use' motor vehicles-II. Diesel Vehicles"
D.J. Williams; J.W. Milne; S.M. Quigley; D.B. Roberts
Atmospheric Environment Vol. 23, No. 12, pp. 2647-2661, 1989.
- 11 "Air Quality criteria for Particulate Matter"
External Review Draft, april 1995
EPA, chap. 5, 1995

- 12 "Polare neutrale organische Verbindungen (POC_N) im Stadtaerosol
2.Mitteilung: Messung der Emissionen von Hausbrand un Kfz. und Imissionsstäuben in Berlin (West)"
H.J. Moriske; R. Freise; C. Schneider; H. Rüden
Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene. Serie B, 185, 72-104, 1987
- 13 "Diesel soot measurement under traffic conditions"
E. Ulrich; G.W. Israël
Journal of Aerosol Science, vol. 23 suppl. 1, pp. S925-S928, 1992
- 14 "Size Distributions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elemental Carbon. 1. Sampling, Mearurement Methods, and Source Characterization"
C. Venkataraman, J.M. Lyons, S.K. Friedlander
Environmental Science & Technology, vol. 28, pp. 555-562, 1994
- 15 "Chemical source profiles for particulate motor vehicle exhaust under cold and high altitude operating conditions"
J.G. Watson *et al.*
The science of Total Environment, 93, 183-190, 1990
- 16 "Size fractionated determination of black carbon particles in airborne dust originating from highway traffic"
E. Schultz
The Science of the Total Environment 146/147, pp. 289-296, 1994
- 17 "Differences in the carbon composition of source profiles for diesel- and gasoline-powered vehicles"
J.G. Watson; J.C. Chow; e.a
Atmospheric Environment, vol 28 nr. 15, pp. 2493-2505, 1994
- 18 "Particulate Emissions from 'in-use' motor vehicles-II. Spark Ignition Vehicles"
D.J. Williams; J.W. Milne; D.B. Roberts
Atmospheric Environment Vol. 23, No. 12, pp. 2639-2645, 1989.
- 19 "Gas and Particle Emissions from Automobile Tires in Laboratory and Field Studies"
S.H. Cadle, R.L. Williams
Journal of the Air Pollution Control Association, vol 28 nr. 5, pp 502-507, 1978
- 20 "Particle emission from gasoline powered vehicles: emission, deposition and re-emission u-nder different traffic density situations"
M. Kulmala; V. Riihiluoma; T. Raunemaa
Journal of Aerosol Science, vol. 17, nr. 6, pp. 973-983, 1986
- 21 "Emissies door mobiele bronnen"
Emmob-bestanden 1980-1993 op diskette
CBS-statistieken

- 22 "Evaluation of PM10 emission rates from paved and unpaved roads using tracer techniques"
C. Claiborn; *et al.*
Atmospheric Environment, vol. 29 nr. 10, pp. 1075-1089, 1995
- 23 "A Laboratory resuspension chamber to measure fugitive dust size distributions and chemical composition"
J.C. Chow, J.G. Watson
Atmospheric Environment, vol. 28 nr. 21, pp. 3463-3481, 1994
- 24 "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) in Abraded Particles of Brake and Clutch Linings"
U. Knecht *et al.*
International Journal of Environmental Analytical Chemistry, vol 28, pp 227-236, 1987
- 25 "Sources of Fine Organic Aerosol. 3. Road Dust, Tire Debris, and Organometallic Brake Lining Dust: Roads as Sources and Sinks"
W.F. Rogge; L.M. Hildemann; M.A. Mazurek *et al.*
Environmental Science & Technology, vol. 27 nr. 9, pp. 1892-1904, 1993
- 26 "PM10 Source Apportionment Study in Bullhead City, Arizona"
A.W. Gertler; e.a
Journal of the Air & Waste Management Association, vol. 45, pp. 75-82, 1995
- 27 "Milieubalans 95"
Uitgever: Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn
RIVM, Bilthoven, 1995
- 28 "Emissies in Nederland, Trends, thema's en doelgroepen 1993 en ramingen 1994"
Publicatiereeks Emissieregistratie nr. 26, oktober 1995
RIVM, Bilthoven, 1995
- 29 "Highway Motor Vehicles as Sources of Atmospheric Particles: Projected Trends 1977 to 2000"
F. Black, J. Braddock, R. Bradow
Environmental International, vol 11, pp. 205-233, 1985
- 30 "Default emission handbook"
Part 3: Default emission factor form road traffic (January 1992)
Corinair, Technical annexes Vol. 2, Brussel, 1994
- 31 "Road Transport and the Environment in the European Union"
J.A. Bakkes
Statistics in Focus, Environment, Eurostat, vol. 1, 1995
- 32 "Development of a PM10 emission factor from unpaved roads"
A.L. Williams, G.J. Stensland, D.F. Gatz
Proceedings of the 81st Annual Meeting of APCA, June 19-24, 1988, Dallas, Texas
paper 88-71B.4, pp 2-11, 1988

- 33 "Notitie vrachtwagenbanden"
E. Rab
RIVM, Bilthoven, oktober 1991
- 34 "Impact des conditions de conduite sur l'efficacite des pots catalytiques de véhicules a essence et diésel"
Ph. Pornet *et al.*
The Science of the Total Environment 169, pp. 321-329, 1995
- 35 "Diffuse bronnen van waterverontreiniging" (conceptrapport)
J.F. Feenstra; P.F.J. van der Most
Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, dienst binnenwateren / riza, januari 1986
- 36 "Bitumen and birumen derivatives"
Concawe, product dossier no. 92/104, Brussels, december 1992
- 37 "Emission Control of Two-Stroke Low Speed Diesel Engines"
MAN B&W, report no. P.8909-205, Copenhagen, 1989
- 38 "Marine Exhaust Emissions Research Programma, Steady State Operation, Slow Speed Addendum"
Lloyd's Register, London, 1991
- 39 "Calculation and Registration of Emissions from Shipping in the Dutch Emission Inventory"
P.F.J. van der Most
Proceedings of EMEP Workshop on Emissions from Ships on 7-8 June 1990, Oslo pp. 115-131, Oslo, 1990
- 40 "Emissiefactoren verbrandingsemissies schepen"
T. Pulles, A. Klein
TNO-MEP, divisie Milieukwaliteit & Veiligheid, Delft, 1995
- 41 "Emissie door het goederenvervoer op de binnenwateren"
NEA, rapportnr. 910039/36142, Rijswijk, oktober 1991
- 42 "Interne startnotitie 'Fijn stof Onderzoek'"
S. de Loos, E. Buringh., P. Rombout, H. Herremans, R. Thomas, L. Janssen, T. van der Meulen, P. Fischer, L. van Bree
RIVM, Bilthoven, november 1995
- 43 "Simulation of Automobile Brake Wear Dynamics and Estimation of Emissions"
S. Cha, P. Carter, R. Bradow
SAE-paper nr. 831036, Warrendale, 1983
- 44 "Die Beeinflussung der Abgasemissionen von Dieselmotoren durch Abgasnachbehandlungssysteme"
O. Maass
Dissertatie Technische Hochschule Aachen, november 1992

- 45 "Catalytic oxidation of soot, potential for the reduction of diesel particulate emissions"
J.P.A. Neeft
Dissertatie TU delft, november 1995
- 46 "Schadstoffreduzierung und Kraftstoffverbrauch von Pkw-Verbrennungsmotoren"
F. Schafer, R. Van Basshuysen
Die Verbrennungskraftmaschine. Neue Folge Bd.7
Springer, Wenen, 1993
- 47 Mondeling overleg met H.A.J. Hagenaaars (TNO-WT) d.d. 12-2-'96
- 48 "Bestimmung des Beitrags von Reifenabrieb zur Russimmission an stark befahrenen Strassen"
A. Rauterberg-Wulff, G.W. Israël, M. Pesch, C. Schlumms
VDI-Berichte nr. 1228, pp. 81-92, 1995
- 49 "Influence of Fuel Sulphur on Diesel Particulate Emissions"
R.A. Baranescu
SAE-paper 881174, Warrendale, 1988
- 50 "Der Einfluss von Kraftstoffeigenschaften auf die Abgasemissionen moderner Dieselmotoren von Mercedes-Benz"
M. Gairing, W. Lange, A. Le Jeune, D. Naber, A. Reglitzky, A. Schäfer
Motortechnische Zeitschrift, 55. Jahrgang/Nr.1, pp. 8-16, januari 1994
- 51 "Exhaust emissions from ships"
Presentation of the Swedish investigation
A. Alexandersson (MariTerm AB)
Proceedings of EMEP Workshop on Emissions from Ships on 7-8 June 1990, Oslo
pp. 85-94, Oslo, 1990
- 52 "Mobile Emission Factor Determination by Ambient Air Measurements - Medam-project" (in voorbereiding)
H.J.Th. Bloemen, E.M. van Putten, K. Van Velze
RIVM, Bilthoven, 1996
- 53 "Mass concentration and elemental composition of airborne particulate matter at street and background locations" (concept)
N.A.H. Janssen, D.F.M. van Mansom, K. van der Jagt, H. Harssema, G. Hoek
Landbouwwuniversiteit Wageningen, 1996
- 54 "Airborne Particulate Matter in the United Kingdom"
Third Report of the Quality of Urban Air Review Group,
hoofdstuk 4, pp. 37-55, London, mei 1996

BIJLAGEN

Bijlage 1: Overzichtstabel

Tabel B1: Uitlaatgasdeeltjesemissie wegverkeer

Type voertuig + brandstof	Type brandstof + reductiemaatregel	PM ₁₀ -emissiefactor (mg/km)			Deeltjesgrootte-verdeling (% van PM ₁₀)		Chemische Samenstelling (% van PM ₁₀)	
		stad	overige wegen	autosnelwegen	PM _{2,5}	PM _{0,1}	EC	OC
personenauto	benzine zonder kat.	30	18	24	100	50	15	45
	benzine met kat.	5	3	4	100	30	30	55
	LPG zonder kat.	18	11	14	100	50	15	45
	LPG met kat.	3	2	2	100	30	30	55
	diesel zonder oxi-kat.	200	120	160	100	15	55	35
diesel met oxi-kat.	100	60	80	100	5	55	35	
bestelauto	benzine zonder kat.	53 [#]	32	42	100	50	15	45
	benzine met kat.	30 [#]	18	24	100	30	30	55
	LPG zonder kat.	17 [#]	10	14	100	50	15	45
	LPG met kat.	10	6	8	100	30	30	55
	diesel zonder oxi-kat.	300	180	240	100	15	55	35
diesel met oxi-kat.	150	90	120	100	5	55	35	
vrachtauto	diesel zonder roetfilter	1400 [#]	890 [#]	830 [#]	100	15	55	35
	diesel met roetfilter	280	178	166	100	45	10	80
trekkers	diesel zonder roetfilter	2200 [#]	1400 [#]	1200 [#]	100	15	55	35
	diesel met roetfilter	440	280	240	100	45	10	80
bussen	diesel zonder roetfilter	1900 [#]	1300 [#]	870 [#]	100	15	20	55
	diesel met roetfilter	380	260	174	100	45	10	80
bromfietsen	2-takt benzine	40 [#]	40 [#]	n.v.t.	100	50	15	45
motorfietsen	benzine zonder kat.	120 [#]	120 [#]	120 [#]	100	50	15	45
spec. voertuigen < 3.5 ton	benzine zonder kat.	90 [#]	62 [#]	52 [#]	100	50	15	45
	LPG zonder kat.	20 [#]	16 [#]	14 [#]	100	50	15	45
	diesel zonder oxi-kat.	390 [#]	240 [#]	180 [#]	100	15	55	35
spec. voertuigen > 3.5 ton	diesel zonder roetfilter	1400 [#]	900 [#]	840 [#]	100	15	55	35

([#] = overgenomen uit CBS-data in CBS-embob-file 1993)

Tabel B2: Deeltjesemissie als gevolg van bandenslijtage van wegverkeer

Type Voertuig	PM ₁₀ -emissiefactor (mg/km)			Deeltjesgrootte-verdeling (% van PM)			Chemische Samenstelling (% van PM)	
	stad	overige wegen	autosnelwegen	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{0,1}	EC	OC
Personenauto	4 [#]	4 [#]	4 [#]	55	5	0	30	60
Bestelauto	5 [#]	5 [#]	5 [#]	55	5	0	30	60
Vrachtwagen, en trekkers	20 [#]	20 [#]	20 [#]	55	5	0	30	60
Bus	14 [#]	14 [#]	14 [#]	55	5	0	30	60
Motorfietsen	2 [#]	2 [#]	2 [#]	55	5	0	30	60
Bromfietsen	1 [#]	1 [#]	1 [#]	55	5	0	30	60

([#] = overgenomen uit CBS-data in CBS-embob-file 1994)

Tabel B3: Deeltjesemissie als gevolg van remvoeringsslijtage van wegverkeer

Type Voertuig	PM-emissiefactor (mg/km)			Deeltjesgrootte-verdeling (% van PM)			Chemische Samenstelling (% van PM)	
	stad	overige wegen	autosnelwegen	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM _{0,1}	EC	OC
Personenauto	8	-	-	100	40	0	5	13

Tabel B4: Uitlaatgasdeeltjesemissie overig verkeer (diesel)

categorie:	PM ₁₀ -emissiefactor (g/kg)	Deeltjesgrootte-verdeling (% van PM ₁₀)		Chemische Samenstelling (% van PM ₁₀)	
		PM _{2,5}	PM _{0,1}	EC	OC
zeescheepvaart	3	100	15	55	35
binnenvaart vracht- & tankvaart	2	100	15	55	35
" " sleep- & duwvaart	2	100	15	55	35
" " passagiers- & veerboten	3	100	15	55	35
railvervoer personen	3 [#]	100	15	55	35
" " goederen	1 [#]	100	15	55	35
luchtvaart	0.6 [#]	-	-	-	-

([#] = overgenomen uit CBS-data in CBS-embob-file 1993)