

OPWAAIEND STOF

Geringe interesse voor niet-uitlaatgerelateerde bronnen, ondanks forse toename fijnstof rondom wegen

De luchtkwaliteit rond wegen staat momenteel veel in de belangstelling. Er is vooral aandacht voor te treffen maatregelen op het gebied van de technische oplossingen, waarbij de niet-uitlaatgerelateerde emissiebronnen een vrijwel onbelicht onderwerp is. De opwerveling van fijnstof door slijtage van banden, wegdekken en remvoeringen neemt hand over hand toe, terwijl de kennis hierover nog erg beperkt is. Voor de langere termijn en voor lokale situaties kunnen deze inzichten van grote betekenis zijn.

IR. JAN HOOGHWERFF EN IR. IVONNE VERSTAPPEN*

De luchtkwaliteit rond wegen kan een belangrijke belemmering opleveren voor de voortgang van infrastructurele en ruimtelijke ontwikkelingen. Er wordt volop nagedacht over en geëxperimenteerd met maatregelen om deze problematiek te beperken. Deze maatregelen liggen zowel op het vlak van de 'regelgeving' als op het vlak van de 'technische oplossingen'. Wat betreft het laatste gaat het vooral om 'verkeerskundige maatregelen' en maatregelen die gerelateerd zijn aan het beperken van de uitlaatemissie van voertuigen, zoals de toepassing van roetfilters, snelheidsbeperkingen, beïnvloeding van rijgedrag, milieuzones, etc. De aandacht voor de niet-uitlaatgerelateerde emissiebronnen blijkt vrij gering. Het aandeel van fijnstof door slijtage van banden, wegdekken en remmen zal in de toekomst

fors toenemen. Daarom is het belangrijk om in een vroeg stadium ook deze aspecten aandacht te geven.

In deze bijdrage belichten we de relatie tussen de luchtkwaliteit en niet-uitlaatgerelateerde bronnen. Om dit in het bredere kader van de verkeersbronnen te plaatsen, besteden we ook aandacht aan de inzichten die er zijn ten aanzien van de totale bijdrage van wegverkeer aan luchtverontreiniging.

| *Wegverkeer als bron voor luchtverontreiniging*

Voor wegverkeer is met name de emissie van NO₂ en fijnstof (PM₁₀) een potentieel knelpunt. Andere componenten zijn na de invoering van de katalysator al zo ver gereduceerd, dat de grenswaarden zoals opgenomen in het Besluit

Luchtkwaliteit 2005 vrijwel nooit overschreden worden. Met de huidige stand der techniek veroorzaken vooral dieselmotoren zowel NO₂ als PM₁₀.

Omdat de niet-uitlaatgerelateerde emissie van verkeer zich toespitst op fijnstof, gaan we in dit artikel met name in op PM₁₀. Fijnstof met een diameter kleiner dan 10 micrometer (PM₁₀) ontstaat bij de verbranding in dieselmotoren (roet), maar ook bij de slijtage van banden, wegdekken, remvoeringen en koppingsplaten.

De relatie tussen de deeltjesgrootte en de gezondheidseffecten kwam de afgelopen jaar steeds meer in de belangstelling te staan. Een breed gedeelde mening is dat er geen ondergrens is aan de deeltjesgrootte en de optredende concentratie, waaronder geen schade

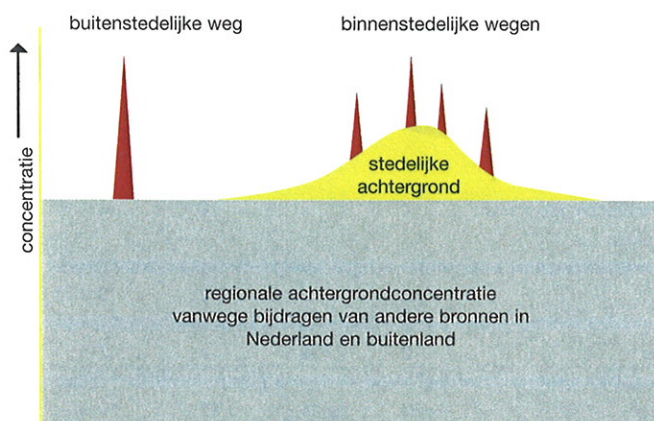
meer optreedt. Verder menen de deskundigen dat hoe kleiner de deeltjes zijn, des te schadelijker deze deeltjes zijn voor de gezondheid. Dit is de achtergrond voor de verhoogde aandacht voor het aandeel $PM_{2.5}$ in het fijnstof. Naar verwachting komt in de eerstkomende EU-richtlijn een grenswaarde voor $PM_{2.5}$ te staan. Wat is de bijdrage van wegverkeer op de fijnstofproblematiek? Deze vraag heeft meerdere antwoorden. De oorzaak hiervoor is dat er blijkbaar verschillende inzichten en verschillende invalshoeken zijn om een antwoord op deze vraag te geven. Het 'juiste' antwoord hangt af van de achtergrond van de vraag. Een paar voorbeelden.

Het meest gangbare antwoord is dat wegtransport minder dan 10% bijdraagt aan de fijnstofconcentratie. Dit is meestal gebaseerd op een overzicht van de opbouw van de fijnstofconcentratie zoals dat door MNP gepresenteerd wordt [1]. Uit die gegevens blijkt dat 55% van het fijnstof bestaat uit niet-antropogene bronnen (zeezout, bodemstof) en verder circa 30% buitenlandse bronnen betreft. Die verdeling is gemaakt voor een gemiddelde achtergrondconcentratie in buitenstedelijke gebieden in Nederland.

Binnenstedelijk is de achtergrondconcentratie vrijwel altijd hoger dan de regionale achtergrondconcentratie. Dit wordt voor het grootste deel veroorzaakt door het verkeer. Verder treedt nabij de drukke wegen lokaal een sterke verhoging van de fijnstofconcentratie op. (Zie figuur 1.) Schattingen van het aandeel van de antropogene bijdragen in stedelijke omgeving (vooral veroorzaakt door lokaal verkeer) variëren sterk. Volgens het MNP kan de bijdrage oplopen tot 45% [1].

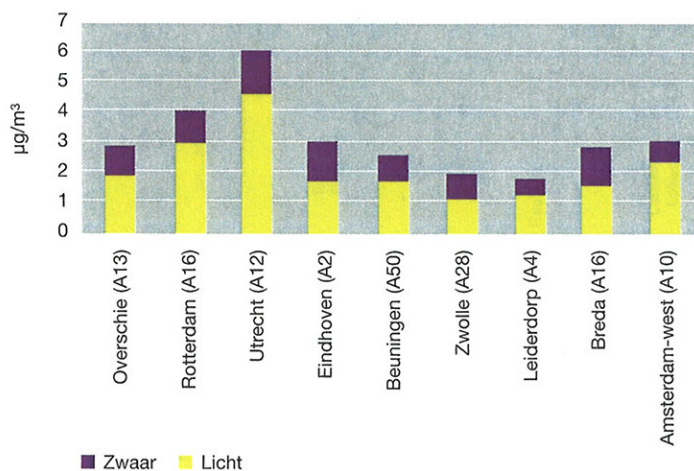
Deze inzichten zijn recentelijk enigszins gewijzigd als het gaat om de bijdrage van de achtergrondconcentratie aan de totale concentratie. De regionale achtergrondconcentratie blijkt significant lager te liggen dan de afgelopen jaren op basis van landelijke metingen en modelberekeningen werd aangenomen [3].

Het aandeel van wegverkeer op de fijnstofconcentratie rondom snelwegen hangt af van de afstand tot de weg en de regionale achtergrondconcentratie. Uit onderzoek naar een aantal knelpuntsituaties langs snelwegen



▲ Figuur 1

Schematische opbouw van de fijnstofconcentratie buiten- en binnenstedelijk.



▲ Figuur 2

Bijdrage van snelwegverkeer (uitgesplitst voor licht en zwaar verkeer) aan de PM_{10} -concentratie in 2010 voor een aantal knelpuntsituaties, de achtergrondconcentratie voor deze locaties variëren tussen 24 en 31 $\mu g/m^3$ [4].

blijkt dat de bijdrage van het verkeer circa 10-20% bedraagt. (Zie figuur 2.) Op grotere afstand worden de relatieve bijdrages van een snelweg ten opzichte van de achtergrond kleiner.

Ten slotte kan gekeken worden naar de (productie) van de emissie van primair fijnstof in Nederland. In de afgelopen vijftien jaar is de totale emissie in Nederland gedaald met circa 50%. Volgens het MNP-rapport 'Fijnstof nader bekeken', is de totale emissie van PM₁₀ in 2003 42 miljoen kg. Hiervan wordt een kleine 40% veroorzaakt door het verkeer. In 2010 zal de verkeersbijdrage teruglopen tot circa 30% van de totale emissie.

▼ Tabel 1
Emissie (in miljoen kg) van primair fijnstof van verkeer in Nederland [1].

	1990	1995	2000	2002	2003	2010
wegverkeer, verbrandingsemissie dieselvoertuigen	14	10	8	7	6	6
wegverkeer verbrandingsemissie overige voertuigen	4	4	4	4	5	3
Slijtage	3	3	3	3	3	4
Overig verkeer	2	3	2	2	2	0
totaal verkeer	23	20	17	16	16	13

	TSP	PM ₁₀	PM _{2.5}
slijtage van remmen	5,6	48,6	92,2
slijtage van banden	29,4	15,3	0,0
slijtage van wegdek	62,8	27,9	0,0
slijtage van bovenleidingen	0,1	0,5	0,9
slijtage van rails	1,7	7,3	6,9
overige	0,5	0,4	0,0
totaal	100	100	100

▲ Tabel 2
Verdeling van slijtage over verschillende bronnen en naar deeltjesgrootte in % van de totale uitstoot van respectievelijk TSP (Total Suspended Particulates), PM₁₀ en PM_{2.5} [8].

Afgezien van de beschouwing uit verschillende invalshoeken en schaalniveaus moet de conclusie zijn dat het verkeer een belangrijke bron is voor de concentratie van fijnstof. Het belang van het verkeer op de fijnstofconcentratie is nog groter als rekening wordt gehouden met het feit dat de grootste deel bestaat uit kleine stofdeeltjes uit verbrandingsmotoren (PM_{2.5}), waarvan de gezondheidseffecten het grootste zijn.

| Uitlaat- en niet-uitlaatgerelateerde emissie

Ruwweg kun je de concentratie van fijnstof in de lucht nabij een weg in de volgende bronnen verdelen:

- de achtergrondconcentratie, waarvan de

bronnen heel divers zijn en op grotere afstand liggen;

- de emissie van het lokale verkeer als gevolg van een verbrandingsmotor, meestal aangeduid als uitlaatgerelateerde emissie of verbrandingsemissie;
- de verkeersemissie vanwege slijtage van bijvoorbeeld remvoering, banden, koppingsplaten en wegdek;
- de opwerveling van allerlei deeltjes die zich op en nabij de weg bevinden.

Een dergelijke indeling is internationaal gangbaar. De meeste aandacht gaat uit naar de uitlaatgerelateerde emissie. Dit blijkt o.a. uit het feit dat in veel overzichten van de totale emissie van verkeer alleen het uitlaatgerelateerde deel wordt opgenomen, zoals bijvoorbeeld bij de emissiefactoren van het CBS [5]. De inzichten voor deze bronnen zijn behoorlijk groot, omdat voor de meeste voertuigtypen gericht emissiemetingen zijn uitgevoerd onder allerlei rijomstandigheden. De kennis van de bijdrage aan de concentratie ten gevolge van slijtage is minder goed ontwikkeld. Dit blijkt bijvoorbeeld als je een vergelijking maakt van de bijdragen zoals die door verschillende emissiemodellen worden behandeld. Voor het aspect van opwerveling van fijnstof als onderdeel van de concentratie ligt het anders. In Nederland krijgt dit onderwerp nauwelijks aandacht, terwijl ze het internationaal als een relevant fenomeen zien. We gaan hierna nader in op de emissie ten gevolge van slijtage en de opwerveling van fijnstof.

De bijdrage van slijtage op de totale emissie van fijnstof door verkeer en vervoer ligt naar schatting in Nederland tussen 15% en 30% (zie [1] en [6]). Hierin zit behalve de slijtage van wegdek, banden en remvoeringen ook de slijtage van railverkeer: bijvoorbeeld van de rails en de bovenleidingen. Tabel 1 geeft een overzicht hoe deze bijdrage zich verhoudt over een periode van twintig jaar. Wat opvalt is dat de slijtage relatief een groter aandeel aan de emissie gaat leveren, omdat met name de verbrandingsemissie van dieselmotoren naar 2010 fors zal afnemen.

De bronnenverdeling voor fijnstof langs een drukke straat kan behoorlijk afwijken van de landelijke gemiddelde verdeling. Een aardig voorbeeld is een straat in de binnenstad van Berlijn, waarvoor in figuur 3 rechts de verdeling over achtergrond en lokaal verkeer en links voor het verkeer een verdeling over lichte (PKW) en zware (LKW) motorvoertuigen en over uitlaatgerelateerde (paars) en niet-uitlaatgerelateerde emissie wordt gemaakt. Meer dan 50% van het aandeel van lokaal verkeer op de fijnstofconcentratie komt door slijtage en opwerveling.

Afhankelijk van de bron die een rol speelt, kan het fijnstof vanwege slijtage worden verdeeld in grotere en kleinere fracties. In tabel 2 staat een verdeling van de totale emissie van het verkeer, waarbij ook het railverkeer is opgenomen [8]. Het blijkt dat voor PM_{10} de slijtage van remmen en het wegdek de belangrijkste bronnen vormen. Voor de kleinere fracties blijven alleen de remmen als belangrijke bron over.

Opwerveling van fijnstof

In Nederland is nauwelijks aandacht voor de opwerveling van fijnstof als deel van de concentratie. Uit internationale onderzoeksrapporten en ervaringen blijkt daarentegen dat een aanzienlijk deel van het fijnstof in de lucht langs wegen juist bestaat uit de opwerveling van fijnstof [3], [5]. Dit kan lokaal tot hoge PM_{10} -concentraties leiden.

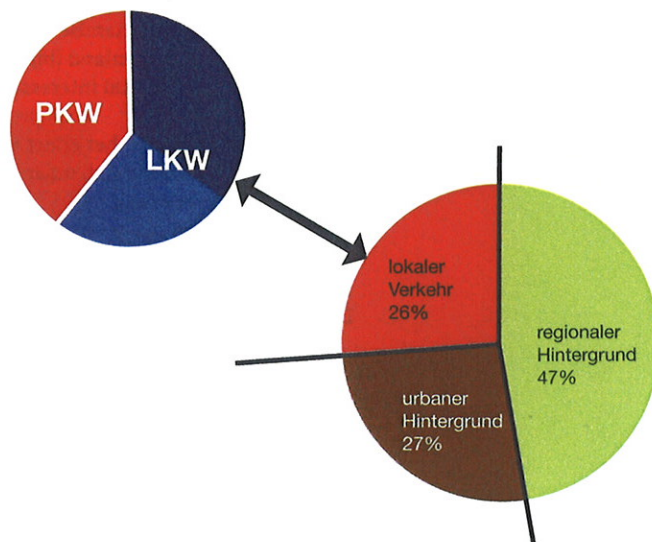
Om verwarring in het spraakgebruik te voorkomen is het zinvol om te definiëren wat met opwerveling van fijnstof wordt bedoeld. De deeltjes die voor opwerveling zorgen komen waarschijnlijk vooral van bodemstof en bestaat daarnaast voor een deel uit de emissie van uitlaat en slijtage. De opwerveling van fijnstof is het deel van de concentratie dat je niet kunt verklaren uit de verbrandings-emissie, de emissie ten gevolge van slijtage van remmen en banden en de achtergrondconcentratie. De slijtage van het wegdek wordt daarbij vaak als onderdeel van de opwerveling beschouwd. Het aandeel van opwerveling op de concentratie in stedelijke omgeving kan oplopen tot circa 50%, zoals bijvoorbeeld blijkt uit Duitse modelberekeningen en metingen. [10]

Illustratief is figuur 4 (vanuit een Oostenrijks verzameldocument over fijnstof, [2]) waarin de opwerveling (de middelste hogere kolommen) wordt vergeleken met de uitlaatgerelateerde emissie en de emissie ten gevolge van slijtage (van banden, remmen en wegdek).

Lohmeyer [2] is van mening dat de emissie ten gevolge van opwerveling in de op EPA-gebaseerde methoden te hoge waarden geeft. Hij presenteerde daarom in 2004 een nieuwe benadering, waarbij de slijtage en de opwerveling in één emissiefactor is opgenomen. De resultaten staan in figuur 4 geheel rechts. Volgens die benadering ligt de bijdrage van slijtage en opwerveling in dezelfde orde van grootte als die van de uitlaatgerelateerde emissie.

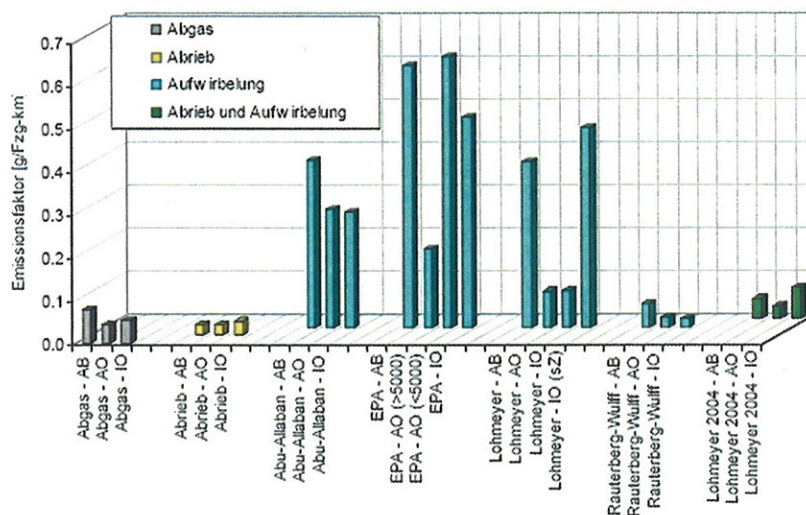
Niet-uitlaatgerelateerde emissie in modellen

Internationaal bestaan er diverse modellen beschikbaar, die de 'niet-uitlaatgerelateerde' emissie beschrijven, zoals het Amerikaanse EPA-model, een Zweeds model (SMHI), een Noors model (VLUF) en een model dat ze in



▲ Figuur 3

Voorbeeld van de verdeling van de bronnen voor fijnstof langs een drukke straat in de binnenstad van Berlijn [7].



▲ Figuur 4

Vergelijking van de emissie van fijnstof ten gevolge van uitlaat, slijtage en opwerveling. Uitgezet is de emissiefactor van personenauto's in verschillende rijomstandigheden in g/voertuig/km. Het meest linkse groepje kolommen geeft de uitlaatgerelateerde emissie, rechts daarvan de slijtage-emissie en de groepjes rechts daarvan de emissie ten gevolge van opwerveling voor vijf verschillende rekenmodellen. De aanduidingen AB, AO en IO geven verschillende bedrijfssituaties weer. Bron: [2].

Duitsland gebruiken dat is gebaseerd op modificaties van het EPA-model.

De inzichten in de bijdragen van de verschillende niet-uitlaatgerelateerde bronnen zijn heel divers. De emissies ten gevolge van slijtage en opwerveling variëren van 'in dezelfde orde van grootte als de uitlaatemissie' tot emissies die circa tien keer zo hoog liggen. Belangrijke invloed op de opwerveling blijkt de toestand van de weg te hebben (onder-

houdstoestand) en regen. Er bestaan (nog) geen gerichte onderzoeken die het effect van het wegdektype op de opwerveling van fijnstof beschrijven.

De verwachting is dat het wegdektype zeker een belangrijke rol speelt, waarbij gedacht wordt aan het effect van de buffering van bijvoorbeeld poreuze wegdektypen ten aanzien van stofdeeltjes. Daarnaast is ook de onderhoudstoestand en het materiaal van het wegdek een belangrijke factor: oudere 'ver-

sleten' dichte wegdekken kunnen bijvoorbeeld voor meer opwerfeling zorgen.

Vergelijking van de Nederlandse emissiefactoren met die in het buitenland (bijvoorbeeld Duitsland) levert een aantal interessante gegevens op:

- in Nederland wordt wel het effect van slijtage in de emissie verwerkt, maar geen invloed van opwerfeling;
- de emissiefactoren ten gevolge van verbranding liggen in Nederland veel hoger (bijna factor twee) dan bijvoorbeeld in het Duitse handboek voor emissiefactoren [11].

Het verdient aanbeveling om het aandeel 'niet-uitlaatgerelateerde' emissie nog eens goed onder de loep te nemen, waarbij ook het aspect van opwerfeling wordt meegenomen. Ter illustratie geeft tabel 3 een overzicht van gehanteerde Nederlandse emissiefactoren voor fijnstof door slijtage van banden remmen en voertuigen. Deze factoren worden vergeleken met de (gemiddelde) emissiefactoren in een bepaalde voertuigcategorie in het CAR-model voor snelwegsituaties. Het aandeel slijtage in de emissiefactoren ligt voor snelwegsituaties tussen de 25 tot 40%.

	personenauto	vrachtauto	autobus
<i>slijtage emissie</i>			
slijtage van banden	0,0046	0,0248	0,018
slijtage van remmen	0,008	0,043	0,031
slijtage van wegdek	0,0073	0,039	0,028
totaal slijtage	0,020	0,107	0,077
<i>totale emissie voor snelwegsituatie</i>			
emissiefactoren voor 2002	0,050	0,302	0,280

▲ Tabel 3
Emissiefactoren in g/km zoals die in Nederland gehanteerd worden voor de slijtage van banden, remmen en wegdek.

Aan de andere kant bestaat er ook in Nederland het besef dat voor het hoofdwegennet het aandeel van fijnstof door slijtage van banden, wegdekken en remmen in de toekomst fors zal toenemen. Naar schatting vindt de komende tien jaar een toename plaats van 40% naar circa 70%. Dit komt door het steeds schoner worden van de uitlaatemissie van de voertuigen, terwijl de bronnen ten gevolge van slijtage en/of de opwerfeling ten gevolge van het verkeer door de toenemende verkeersintensiteiten verder toenemen [4]. In nr. 2 van Lucht (april 2006) is hier uitgebreid aandacht aan besteed. [12]

Maatregelen

In de afgelopen jaren zijn diverse maatregelen bedacht om de luchtkwaliteit te verbeteren. Onderscheid kan worden gemaakt tussen maatregelen die reductie opleveren in een groot gebied, bijvoorbeeld door het schoner

maken van voertuigen en andere belangrijke bronnen en maatregelen die lokaal voor reductie kunnen zorgen. Bij de lokale maatregelen kun je een verdeling maken naar bronmaatregelen en maatregelen in de overdracht. Veel lokale bronmaatregelen zijn gebaseerd op beïnvloeding van het verkeer(sgedrag). Er zijn diverse overzichten van mogelijkheden, bijvoorbeeld de CROW-publicaties Luchtkwaliteit en verkeer [13, 14, 15].

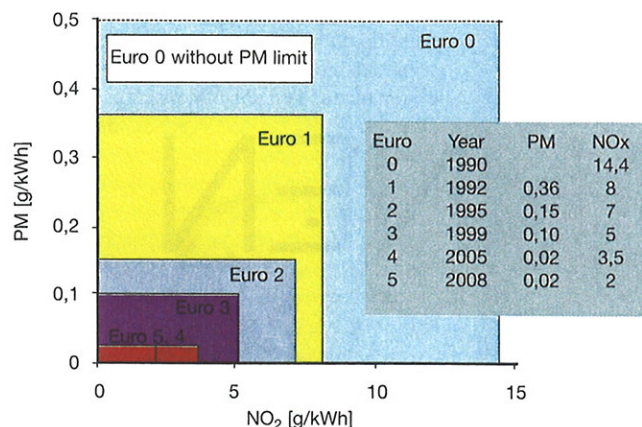
Andere maatregelen zijn gericht op het verlagen van de emissie van de voertuigen zelf. Als gevolg van Europese regelgeving zijn verbrandingsmotoren van wegvoertuigen de laatste jaren aanzienlijk schoner en de komende jaren valt een forse verbetering te verwachten. In 2005 is Euro 4 van kracht geworden voor nieuwe typen voertuigen. De afspraken over Euro 5 en Euro 6 liggen voor een deel al vast. Een voorbeeld van de verschillen in emissies tussen de euroklassen staat in figuur 5. Na invoering van deze normen is de uitlaatgasemissie van voertuigen met dieselmotoren vergelijkbaar met de huidige benzinemotorvoertuigen.

Deze maatregelen hebben pas op de lange termijn effect. Eenmaal verkochte voertuigen rijden immers nog vele jaren rond met 'verouderde' technologie. Om het proces van vernieuwing door schone technologie te versnellen besloot de Nederlandse overheid in 2005 om 800 miljoen euro uit te trekken voor extra maatregelen. Dit betreft onder andere subsidieregelingen voor nieuwe dieselpersonenauto's en bestelwagens met roetfilter, de invoering van roetfilters op bestaande voertuigen, bouwmaschinen en binnenvaartschepen en voor voertuigen die voortijdig voldoen aan Euro 5.

De Europese Commissie is bezig met een voorstel voor de invoering van Euro 5 als eis vanaf 2008. Uit schattingen blijkt dat dit tien jaar na de invoering een emissiereductie geeft voor fijnstof van 50% van de verbrandingsemissie. Aan Euro 5 kan met een roetfilter worden voldaan. Het toepassen van deze filters is kosteneffectief. Geschat is dat de schade - als gevolg van de emissie - € 340 per kg emissie is, terwijl de kosten voor de roetfilters per kg emissiereductie geraamd zijn op € 50 tot € 250 [16].

Tot slot kan gekeken worden naar effecten en maatregelen die verband houden met de weg en de inrichting van de weg. Voor maatregelen bij de inrichting van de weg valt te denken aan de rol van afscherming (bebouwing, geluidschermen, overkappingen) en bijvoorbeeld van groen rond de weg. Ook het wegdek en maatregelen aan het wegdek (nat reinigen, sproeien) kunnen van invloed zijn op de lokale luchtkwaliteit. De maatregelen die verband houden met de weg krijgen momenteel minder aandacht, wellicht omdat de verwachting

EU Emission Standards for Heavy Vehicles (1990 to 2009)



▲ Figuur 5

Toegepaste uitlaatgasemissie voor zware vrachtwagens afhankelijk van euroklasse, horizontaal de emissiefactor voor NO_x, verticaal voor PM₁₀.

gen en mogelijkheden minder zijn. Ze krijgen o.a. wel aandacht in het Innovatieprogramma Lucht (IPL) en in een aantal Luchtkwaliteitplannen van gemeenten (Maastricht, Nijmegen, Utrecht).

Conclusies

De luchtkwaliteit rond wegen kan een beperking opleveren voor de voortgang van infrastructuur en ruimtelijke ontwikkelingen. De fijnstofconcentraties spelen daarbij een belangrijke rol.

Veel aandacht gaat momenteel uit naar de reductie van de verbrandingsemissies van voertuigen en de maatregelen die op het gebied van beïnvloeding van de verkeerintensiteiten en het voertuiggedrag liggen. Deze aandacht is voor de kortere termijn terecht. Het aandeel van fijnstof door slijtage van banden, wegdekken en remmen neemt in de toekomst echter relatief gezien fors toe. Dit komt door het schoner worden van de verbrandingsmotoren en door bijvoorbeeld het toepassen van roetfilters.

Er blijkt veel inzicht te zijn in de verbrandingsemissie van voertuigen, terwijl de kennis van de emissie van slijtage en opwerveling veel beperkter is. Echter voor de langere termijn en voor lokale situaties kunnen deze inzichten van grote betekenis zijn. Er is een directe relatie met onderwerpen als de rolweerstand van wegdekken, innovaties om de slijtage van banden, remmen en wegdekken te verminderen en de mogelijkheden die het wegdek zelf heeft als maatregel voor het beperken van negatieve effecten op de luchtkwaliteit. Aanbevolen wordt om naast het vergroten van het inzicht in de slijtagebronnen meer aan-

dacht te geven aan maatregelen die de emissie ten gevolge van slijtage kan reduceren. Innovaties op het gebied van het wegdek en banden kunnen (en moeten) aansluiten bij lopende onderzoeken waarbij wegdekken en banden verder worden geoptimaliseerd voor de aspecten geluid en veiligheid.

* ir. Jan Hoogwerff is als senior adviseur werkzaam bij de afdeling Transport en Infrastructuur bij M+P Vught. ir. Ivonne Verstappen is werkzaam als senior adviseur bij de afdeling Bouw en Omgeving bij M+P Aalsmeer.

Literatuur

- 1 Fijnstof nader bekeken, Buijsman, E., Beck, J.P., van Bree, L., Cassee, F.R., Koelemeijer, R.B.A., Matthijsen, J., Thomas, R., Wieringa, K., MNP-rapport 500037008, 2005
- 2 Schwebstaub in Österreich, Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebstaubbelaugung, Umweltbundesamt, bericht BE-277, Wenen, augustus 2005
- 3 Nieuwe inzichten in de omvang van de fijnstofproblematiek, MNP-rapport, 500093003/2006, maart 2006
- 4 Bron van inspiratie, De bijdragen van het snelwegverkeer aan de emissies en concentraties NO₂ en PM₁₀, L.J. Kortmann et al., CE-rapport 05.4048.29, september 2005
- 5 Emissiefactoren wegverkeer in 2004 per bouwjaar en brandstofsoort, Centraal Bureau voor de Statistiek, Voorburg/Heerlen, 2006
- 6 Milieu & natuurcompendium, Milieudruk doelgroep Verkeer en Vervoer, MNP, www.mnp.nl
- 7 Luftreinhalte- und Aktionsplan für Berlin 2005 - 2010, Berlin, februari 2005
- 8 Evaluatie van het reductiepotentieel voor fijnstof-emissies (TSP, PM₁₀, PM_{2,5}) naar het compartiment lucht in een aantal sectoren in Vlaanderen, VITO, december 2003
- 9 Berechnung der KFZ-bedingten Feinstaubemissionen

infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen, rapport Lohmeyer, project 2546, november 2004

- 10 Validierung von PM₁₀-immissionsberechnungen im Nahbereich von Strassen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Strassen, I.Düring et al., Lohmeyer-rapport, juni 2001
- 11 Handbook Emission Factors for Road Transport, UBA Berlin, UBA Wenen, FOEFL Bern, 2004
- 12 Verhoogde aandacht voor fijnstof door slijtage, drs. Carrie de Wilde, Lucht, april 2006
- 13 Wegen naar een schonere lucht, Mogelijkheden voor verbetering van de luchtkwaliteit langs wegen, CROW-publicatie 218a, juli 2005
- 14 Maatregelen voor een schonere lucht, Mogelijkheden voor verbetering van de luchtkwaliteit langs wegen, CROW-publicatie 218b, december 2005
- 15 Plannen voor een schonere lucht, CROW-publicatie 218c, maart 2006
- 16 The impact of Euro 5: facts and figures, MNP-rapport, februari 2006