



**M+P - raadgevende ingenieurs**

Müller-BBM groep

*geluid trillingen lucht bouwfysica*

Wolfskamerweg 47, Vught

Postbus 2094

5260 CB Vught

T 073-658 9050

F 073-658 9051

Vught@mp.nl

www.mp.nl

# Innovatieprogramma Luchtkwaliteit

Discussiememo PM-emissie en ZOAB

Opdrachtgever

Rijkswaterstaat  
Dienst Verkeer en Scheepvaart  
Postbus 5044  
2600 GA Delft

Rapportnummer

M+P.DVS.09.01.1

Auteurs

dr. G.J. van Blokland

Revisie

0

ir. J. Hooghwerff

Datum

16 maart 2009

Opdrachtnummer

Pagina

1 van 14

## INHOUD

1	INTRODUCTIE	3
2	EMISSIE SNELWEGVERKEER	4
2.1	Bijdrage van wegverkeer aan fijn stof hotspots	4
2.2	Uitlaat- en niet-uitlaatgerelateerde emissie	4
2.3	Opwerveling van fijn stof	7
2.4	Niet-uitlaatgerelateerde emissie in modellen	8
2.5	Nederlandse emissie snelwegverkeer	9
3	DISCUSSIEPUNTEN	12
4	LITERATUUR	13

# 1      **Introductie**

Vanuit het Innovatieprogramma Luchtkwaliteit (IPL) wordt inmiddels een aantal jaar gewerkt aan maatregelen om luchtkwaliteitsknelpunten langs rijkswegen te verminderen. Bij verschillende onderzoeken zijn er signalen dat de emissie van  $PM_{10}$  bij ZOAB mogelijk afwijkt van die bij dicht asfaltbeton. De gehanteerde PM-emissies voor berekeningen zijn gebaseerd op een redelijk grove benadering van inzichten in specifieke voertuigemissies en aannamen ten aanzien van rijgedrag, voertuigverdelingen en voertuigkilometers. Op landelijke schaal zijn deze gegevens prima toereikend, we kunnen ons echter afvragen of ze voldoende de specifieke situaties kunnen beschrijven waarop het IPL zich richt: hotspots langs rijkswegen. Dit zou bijvoorbeeld het geval kunnen zijn door het beperkte inzicht in de uitlaat- en niet-uitlaatemissies voor  $PM_{10}$  op poreuze wegdekken en daarbij de vraag in hoeverre er op autosnelwegen sprake is van opwerveling van fijn stof.

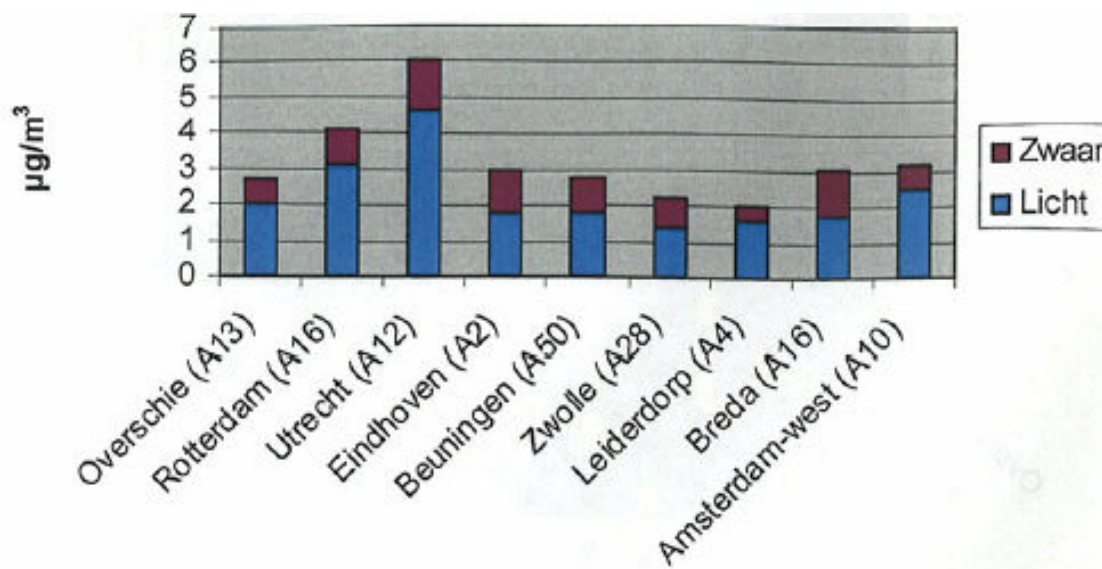
Een door het IPL gedefinieerde kennisleemte is de vraag of de (toekomstige)  $PM_{10}$ -kentallen de emissie van het verkeer op autosnelwegen die voorzien zijn van ZOAB op een adequate manier beschrijven [1].

Deze memo geeft een aanzet voor de discussie met een aantal deskundigen waarvoor op 19 maart 2009 een bespreking is georganiseerd.

## 2 Emissie snelwegverkeer

### 2.1 Bijdrage van wegverkeer aan fijn stof hotspots

Belangrijk is te weten wat de bijdrage van wegverkeer op de fijn stof problematiek is. Het (jaargemiddelde) aandeel van wegverkeer op de fijn stof concentratie in de buurt van snelwegen hangt af van de afstand tot de weg en de regionale achtergrondconcentratie. Uit onderzoek van het IPL in 2005 naar een aantal knelpuntsituaties langs snelwegen blijkt dat de bijdrage van het verkeer circa 10 - 20% bedraagt [4]. Op grotere afstand worden de relatieve bijdrages van een snelweg ten opzichte van de achtergrond kleiner.

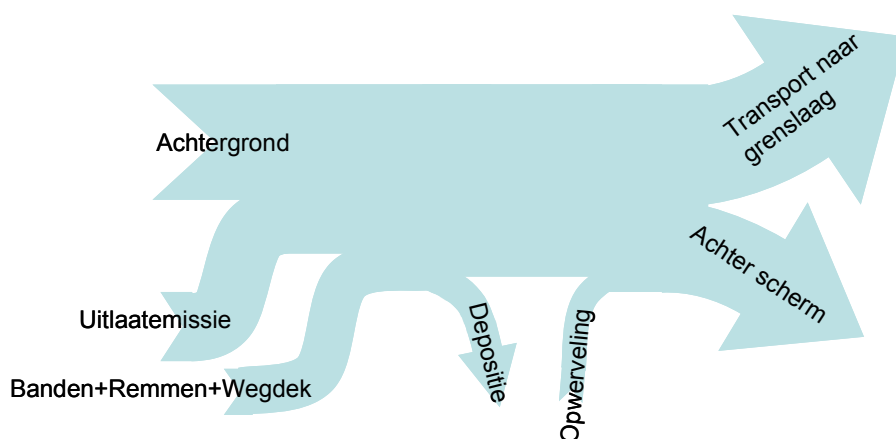


figuur 1 *Bijdrage van snelwegverkeer (uitgesplitst voor licht en zwaar verkeer) aan de  $PM_{10}$ -concentratie in 2010 voor een aantal knelpuntsituaties, de achtergrondconcentratie voor deze locaties variëren tussen 24 en 31  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [4]*

Bedacht moet worden dat het hierbij gaat om jaargemiddelde bijdragen. De wegbijdrage die gemeten worden onder gunstige omstandigheden (spitssituatie, droog wegdek) op 10 m afstand tot de weg variëren tussen circa 5 en 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

### 2.2 Uitlaat- en niet-uitlaatgerelateerde emissie

In de onderstaande figuur is het proces van emissie, overdracht en immissie van  $PM_{10}$  schematisch weergegeven. De figuur pretendeert een hogere exactheid dan ze feitelijk heeft. De abstrahering ligt in de gemengde presentatie van totale bronemissies en achtergrondconcentraties aan de ingangskant en de mengvorm van effecten van verdunning en de feitelijke concentratie aan de uitgangskant.



figuur 2 *Schematisch aangegeven het gedrag van PM's vanaf de bron tot de ontvanger. De figuur dient kwalitatief geïnterpreteerd te worden*

Ruwweg kan de concentratie van fijn stof in de lucht nabij een weg in de volgende bronnen verdeeld worden:

- 1 de achtergrondconcentratie, waarvan de bronnen heel divers zijn en op grotere afstand liggen;
- 2 de emissie van het lokale verkeer als gevolg van een verbrandingsmotor, meestal aangeduid als uitlaatgerelateerde emissie of verbrandingsemissie;
- 3 de emissie van verkeer vanwege slijtage van bijvoorbeeld remvoering, banden, koppelingsplaten en wegdek;
- 4 de opwerveling van allerlei deeltjes die zich op en nabij de weg bevinden.

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 opgenomen wordt, zoals bijvoorbeeld bij de emissiefactoren zoals die door het CBS beschikbaar gesteld worden [5]. De inzichten voor deze bronnen zijn behoorlijk groot, omdat voor de meeste voertuigtypen gericht metingen uitgevoerd zijn van de emissie onder allerlei rijomstandigheden.

De kennis van de bijdrage aan de concentratie ten gevolge van slijtage is minder goed ontwikkeld. Dit blijkt bijvoorbeeld als een vergelijking gemaakt wordt van de bijdragen zoals die door verschillende emissiemodellen behandeld worden.

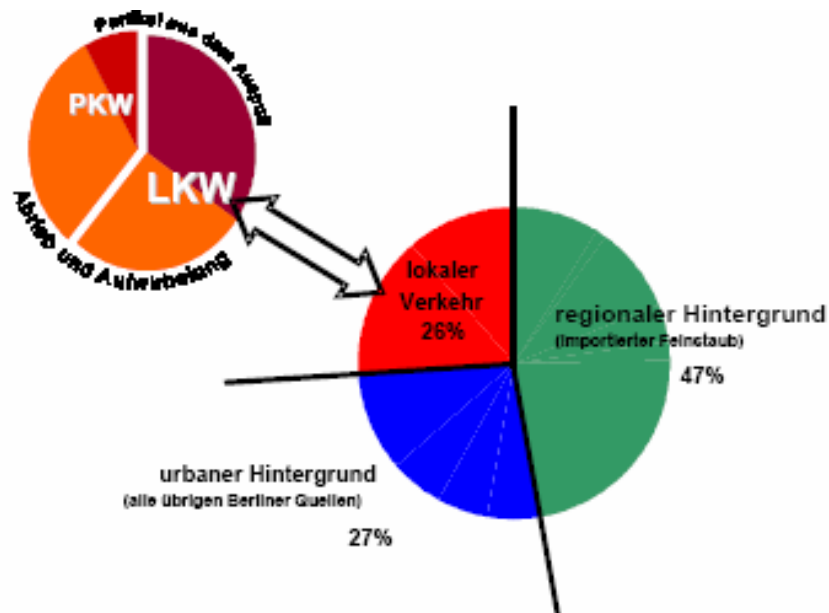
Voor het aspect van opwerveling van fijn stof als onderdeel van de concentratie ligt het anders. In Nederland is dit een onderwerp dat niet zo veel aandacht krijgt, terwijl het internationaal als een relevant fenomeen wordt gezien.

De bijdrage van slijtage op de totale emissie van fijn stof door verkeer en vervoer wordt in Nederland geschat op tussen 15% en 30% (zie [2] en [6]). Hierin zit behalve de slijtage van wegdek, banden en remvoeringen ook de slijtage van railverkeer, bijvoorbeeld van de rails en de bovenleidingen. In tabel I wordt een overzicht gegeven hoe deze bijdrage zich verhoudt over een periode van 20 jaar. Wat opvalt is dat relatief de slijtage een groter aandeel aan de emissie gaat leveren, omdat met name de verbrandingsemissie van dieselmotoren naar 2010 fors zal afnemen. Onduidelijk is waarom de emissie van "overig verkeer" in 2010 geheel wegvalt.

tabel 1 Emissie (in miljoen kg) van primair fijn stof van verkeer in Nederland [2]

	1990	1995	2000	2002	2003	2010
wegverkeer, verbrandingsemissie dieselveertuigen	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
<b>totaal verkeer</b>	<b>23</b>	<b>20</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>13</b>

De verdeling van de bronnen voor fijn stof 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 gemaakt wordt. Het blijkt dat voor die situatie meer dan 50% van het aandeel van lokaal verkeer op de fijn stof concentratie wordt veroorzaakt door slijtage en opwerveling.



figuur 3 Voorbeeld van de verdeling van de bronnen voor fijn stof langs een drukke straat in de binnenstad van Berlijn, rechts de verdeling over achtergrond en lokaal verkeer, links voor het verkeer een verdeling over lichte (PKW) en zware (LKW) motorvoertuigen en over uitlaatgerelateerde (paars) en niet-uitlaatgerelateerde emissie (oranje) [7]

Afhankelijk van de bron die een rol speelt kan het fijn stof vanwege slijtage verdeeld worden in grotere en kleinere fracties. In tabel II is een verdeling gegeven 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 zijn. Voor de kleinere fracties blijven alleen de remmen als belangrijke bron over.

*tabel II* Verdeling van slijtage over verschillende bronnen en naar deeltjesgrootte in % van de totale uitstoot (van primaire stof) voor respectievelijk TSP (Total Suspended Particulates),  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  [8]

	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
<b>totaal</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

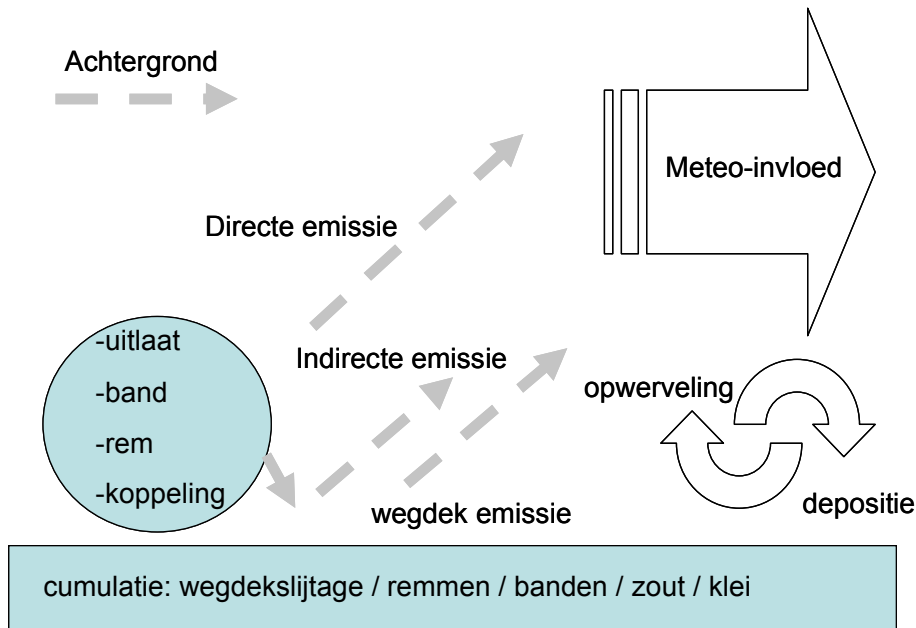
Voor de Nederlandse situatie zijn recent door TNO in opdracht van Rijkswaterstaat de inzichten uit de literatuur op een rijtje gezet. Dit heeft geleid tot een drietal rapporten die weer gebruikt worden voor de Emissieschattingen Diffuse Bronnen. Zie [9] t/m [11].

### 2.3 Opwerveling van fijn stof

In Nederland wordt weinig aandacht gegeven aan de opwerveling van fijn stof als deel van de concentratie. In het kader van het IPL is er de laatste jaren wel aandacht voor gevraagd, bijvoorbeeld via de experimenten in Nijmegen en de prijsvraag "Schoner, stiller en homogener wegdek (SSH)" (zie [14] t/m [17]). Uit internationale onderzoeksrapporten en ervaringen blijkt daarentegen dat een aanzienlijk deel van het fijn stof in de lucht langs wegen juist bestaat uit de opwerveling van fijn stof (zie bijvoorbeeld [3] en [12]). 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 fijn stof bedoeld wordt. De deeltjes die voor opwerveling zorgen zijn waarschijnlijk vooral afkomstig van bodemstof en daarnaast voor een deel uit de emissie van uitlaat en slijtage. De opwerveling van fijn stof is het deel van de concentratie dat niet verklaard kan worden uit de verbrandingsemissie, de emissie ten gevolge van slijtage van remmen en banden en de achtergrondconcentratie. Bedacht moet worden dat de slijtage van het wegdek vaak als onderdeel van de opwerveling beschouwd wordt. Het aandeel van opwerveling op de concentratie in stedelijke omgeving kan oplopen tot circa 50%, zoals bijvoorbeeld blijkt uit modelberekeningen en metingen in Duitsland [13].

Een schematische weergave van de relevante emissieonderdelen wordt weergegeven in figuur 4.



figuur 4

Schematische weergave van de bijdragen van de emissie en de mogelijke invloed van het wegdek op de verspreiding

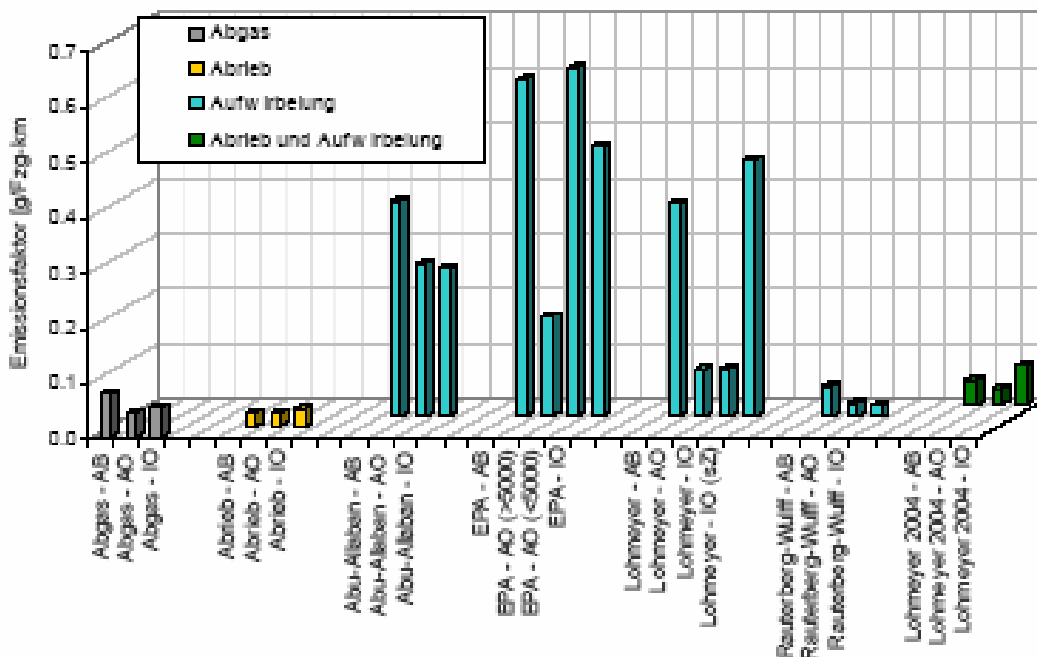
## 2.4 Niet-uitlaatgerelateerde emissie in modellen

Internationaal zijn er diverse modellen beschikbaar, waarin de "niet-uitlaatgerelateerde" emissie beschreven wordt, zoals het Amerikaanse EPA-model, een Zweeds model (SMHI), een Noors model (VLUFT) en een model dat in Duitsland gebruik wordt en dat gebaseerd is 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 10 keer zo hoog liggen. Belangrijke invloed op de opwerveling blijkt de toestand van de weg te hebben (onderhoudstoestand) en regen. Er zijn (nog) geen gerichte onderzoeken bekend naar het effect van het wegdektype op de opwerveling van fijn stof.

Illustratief is een figuur (vanuit een Oostenrijks verzameldocument over fijn stof, [13]) waarin de opwerveling (de middelste hogere kolommen) vergeleken wordt met de uitlaatgerelateerde emissie en de emissie ten gevolge van slijtage (van banden, remmen en wegdek). Zie figuur 5.

Lohmeyer [13] is van mening dat de emissie ten gevolge van opwerveling in de op EPA-gebaseerde methoden te hoge waarden geeft en heeft daarom in 2004 een nieuwe benadering gepresenteerd, waarbij de slijtage en de opwerveling in één emissiefactor opgenomen is. De resultaten zijn in figuur 5 geheel rechts opgenomen. Volgens die benadering ligt de bijdrage van slijtage en opwerveling in dezelfde orde van grootte als die van de uitlaatgerelateerde emissie.



figuur 5 *Vergelijking van de emissie van fijn stof 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 emissie van slijtage 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. AB = autosnelweg. Bron: [3]*

De verwachting is dat het wegdektype zeker van belang is, waarbij gedacht wordt aan het effect van de buffering van bijvoorbeeld poreuze wegdektypen ten aanzien van stofdeeltjes. Daarnaast speelt ook de onderhoudstoestand en het materiaal van het wegdek een rol: oudere "versleten" dichte wegdekken zouden bijvoorbeeld voor meer opwerveling kunnen zorgen.

## 2.5 Nederlandse emissie snelwegverkeer

Nagegaan is welke emissies in Nederland gebruikt worden voor de niet-uitlaatgerelateerde bronnen. Gebleken is dat tot voor kort deze kentallen gebaseerd waren inzichten uit oudere literatuur, die samengevat wordt in [18]. Recent is door TNO in opdracht van Rijkswaterstaat de nieuwste inzichten op een rijtje gezet. Dit heeft geleid tot een drietal rapporten die weer gebruikt worden voor de Emissieschattingen Diffuse Bronnen. Zie [9] t/m [11] en [20]. Het blijkt dat deze nieuwere inzichten leiden tot circa 40% lagere inschattingen van de slijtagebronnen. Zie onderstaande tabellen.

tabel III *Emissiefactoren in mg/km voor **personenauto's** zoals die in Nederland gehanteerd worden voor de slijtage van banden, remmen en wegdek volgens verschillende bronnen*

	1996, [18]	2004, [19]	2008, [20]
<b>slijtage emissie</b>			
slijtage van banden	4	5	4,2
slijtage van remmen	8	8	3,2
slijtage van wegdek	?	7	5,7
totaal slijtage	?	20	13,1
<b>totale emissie voor snelwegsituatie</b>		2005:	2010:
emissiefactoren		52	37

tabel IV *Emissiefactoren in mg/km voor **vrachtauto's** zoals die in Nederland gehanteerd worden voor de slijtage van banden, remmen en wegdek volgens verschillende bronnen*

	1996, [18]	2004, [19]	2008, [20]
<b>slijtage emissie</b>			
slijtage van banden	20	20	26,7
slijtage van remmen	?	43	4,2
slijtage van wegdek	?	40	29,0
totaal slijtage	?	103	59,9
<b>totale emissie voor snelwegsituatie</b>		2005:	2010:
emissiefactoren, volgens [21]		266	187

Voor zover voor ons te achterhalen is, wordt in deze kentallen geen rekening gehouden met een effect van ZOAB. In de bepaling van emissiekentallen wordt wel met een effect van ZOAB gerekend op het aandeel fijn stof dat naar de bodem gaat, maar niet op het aandeel fijn stof dat in de lucht terecht komt. Voor het aandeel van de emissie dat naar de bodem gaat wordt bij ZOAB een reductie van 95% gehanteerd [20]!

Ten slotte, ter illustratie in tabel III een samenvattend overzicht van de emissiefactoren zoals die in 2008 in Nederland gehanteerd worden voor fijn stof door slijtage van banden remmen en voertuigen. Deze factoren worden vergeleken met de (gemiddelde) emissiefactoren zoals die voor een bepaalde voertuigcategorie gebruikt wordt in het CAR-model voor snelwegsituaties. Het aandeel slijtage in de emissiefactoren blijkt voor snelwegsituaties in de orde van 35 tot 40% te liggen. Let wel, in deze tabel zijn nog niet de laatste inzichten verwerkt zoals die in bovenstaande

tabel gepresenteerd zijn. Onduidelijk is wat het effect van de nieuwste inzichten is op de emissiekentallen zoals die in maart 2009 beschikbaar zullen komen.

*tabel V*

*Samenvatting van verhouding tussen uitlaat- en niet-uitlaatgerelateerde PM<sub>10</sub>-emissie in 2005 en 2020 in mg/voertuigkm (lv = lichte motorvoertuigen, zv = zware motorvoertuigen)*

	2005		2020	
	lv	zv	lv	zv
uitlaat gerelateerde emissie	32	166	7	22
niet-uitlaat gerelateerde emissie	20	100	20	100
<b>totaal</b>	<b>52</b>	<b>266</b>	<b>27</b>	<b>124</b>

De vraag blijft, met alle nieuwe inzichten, geven deze kentallen een goede beschrijving voor de situatie van ZOAB op autosnelwegen.

### 3 Discussiepunten

Wat zijn de aanwijzingen om nog eens goed naar de emissiekentallen voor rijkswegen in combinatie met ZOAB te kijken?

1. De experimenten van IPL in Nijmegen: het blijkt dat de emissie op het ZOAB-vak significant lager is dan de emissie op DAB. Het rapport vermeldt een reductie van de wegbijdrage op het ZOAB-vak van meer dan 60%. Zie [14].
2. Bij de beoordeling van de resultaten van de maatregelen die te maken hebben met het beïnvloeden van de niet-uitlaatgerelateerde emissies blijkt een significant gebrek aan inzicht in deze onderdelen van de emissie voor Nederlandse snelwegsituaties. Bij veel experimenten blijkt de wegbijdrage relatief klein te zijn en (o.a. daardoor) erg lastig om het effect van reducerende maatregelen voor die situaties te kunnen bepalen.

Voorbeelden:

- experimenten met Calciumchloride op de A50 door BAM, Nido en Nedmag, zie [15];
  - experimenten van Dura Vermeer om opwervend stof af te vangen, zie [16];
  - experimenten van Heijmans om wegdek te reinigen, zie [17].
3. In de emissies die gehanteerd worden in de rekenmethoden is het aandeel van niet-uitlaatgerelateerde bronnen momenteel circa 35%, dit aandeel zal - volgens de emissiekentallen in 2007 - groeien naar circa 75% in 2020. Eind 2008 zijn de emissies voor slijtagebronnen fors naar beneden bijgesteld. Onduidelijk is in hoeverre de aanname met betrekking tot de niet-uitlaatgerelateerde emissies de situatie voor de Nederlandse autosnelwegen op een adequate manier beschrijft.
  4. Aandachtspunt is het feit dat het wegdek van de autosnelwegen bestaat uit ZOAB. In de  $PM_{10}$ -emissies voor de rekenmethoden wordt hiervoor geen effect opgenomen.

Wat zou meer inzicht in de slijtagebronnen voor de snelwegemissies op kunnen leveren?

Op basis van de inzichten zoals die in beschreven zijn, zou het volgende scenario mogelijk kunnen zijn:

- de bijdrage van slijtagebronnen zijn voor de Nederlandse autosnelwegen significant lager dan momenteel wordt aangenomen;
- gevolg kan zijn dat maatregelen die gericht zijn op reductie van deze bronnen voor de meeste autosnelwegsituaties niet effectief kunnen zijn;
- gevolg kan eveneens zijn dat de huidige rekenmethoden de toekomstige scenario's voor  $PM_{10}$  overschatten;
- met als resultaat dat de problematiek gereduceerd wordt door betere inzichten in de opwerveling- en slijtagebronnen.

## 4 Literatuur

- [1] Innovatieprogramma Luchtkwaliteit, Tussentijdse evaluatie en inventarisatie kennisleemten, M+P-rapport M+P.DVS.08.05.1, 18 december 2008
- [2] Fijn stof 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
- [3] Schwebestaub in Österreich, Fachgrunlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung, Umweltbundesamt, bericht BE-277, Wenen, augustus 2005
- [4] Bron van inspiratie, De bijdragen van het snelwegverkeer aan de emissies en concentraties NO<sub>2</sub> en PM<sub>10</sub>, 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](http://www.mnp.nl)
- [7] Luftreinhalte- und Aktionsplan für Berlin 2005 - 2010, Berlijn, februari 2005
- [8] Evaluatie van het reductiepotentieel voor fijn stofemissies (TSP, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) naar het compartiment lucht in een aantal sectoren in Vlaanderen, VITO, december 2003
- [9] Emissies door bandenslijtage, Rijkswaterstaat, december 2007
- [10] Emissies door wegdekslijtage ten gevolge van het wegverkeer, Rijkswaterstaat in samenwerking met Deltares en TNO, september 2008
- [11] Remslijtage, Rijkswaterstaat in samenwerking met Deltares en TNO, juni 2008
- [12] Berechnung der KFZ-bedingten Feinstaubemissionen infolge Aufwirbelung und Abrieb für das Emissionskataster Sachsen, rapport Lohmeyer, project 2546, november 2004
- [13] Validierung von PM<sub>10</sub>-immissionberechnungen im Nahbereich von Strassen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Strassen, I.Düring et al., Lohmeyer-rapport, juni 2001
- [14] IPL Pilot Nat Reinigen, Energieweg Nijmegen, Een maatregel voor de luchtkwaliteit langs wegen, RAP-07.0005, 2 april 2007
- [15] Zo naar betere luchtkwaliteit, De toepassing van calciumchloride om de opwerveling van fijnstof door het verkeer te verminderen, rapportnummer: DWW-2007-020, 10 augustus 2007

- [16] De Twister, Reiniging van een bestaande traditionele ZOAB wegverharding met name op een snelweg om de opwerveling van fijnstof te voorkomen of te beperken, DWW-2007-023, 11 december 2007
- [17] STOF UIT DE WEG, Hoogrendement Stofreiniger voor ZOAB, Rapportnummer DWW- 2007-026, december 2007
- [18] Deeltjesemissie door wegverkeer, RIVM-rapport 773002008, oktober 1996
- [19] Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland, Taakgroep Verkeer en Vervoer, februari 2004
- [20] Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland, Taakgroep Verkeer en Vervoer, november 2008
- [21] Snelweg emissiefactoren, TNO-rapport MON-RPT-033-DTS-2008-01376, 2007