

**Emissieschattingen Diffuse bronnen**

**Emissies door  
bandenslijtage afkomstig  
van het wegverkeer**

September 2008

Auteurs: H. ten Broeke, J. Hulskotte en H. Denier van der Gon  
(TNO Bouw en Ondergrond)

RIJKSWATERSTAAT - WATERDIENST

# Emissies bandenslijtage

## 1 Omschrijving emissiebron

Deze factsheet bevat een rekenmethode voor de emissies ten gevolge van slijtage van banden in het wegverkeer. Slijtage van banden veroorzaakt een emissie van bandenstof, bestaande uit fijn stof ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ), grof stof, metalen (vooral zink) en PAK. Deze emissiebron wordt binnen de landelijke Emissieregistratie toegerekend aan de doelgroep Verkeer en Vervoer.

## 2 Toelichting berekeningswijze

De emissies worden gescheiden berekend voor diverse voertuigcategorieën. Emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een emissieverklarende variabele (EVV) – hier het aantal verreden kilometers op de Nederlandse wegen – met een emissiefactor (EF), uitgedrukt in emissie per eenheid van de EVV:

$$E_s = EVV \times EF$$

Waarbij:

$E_s$	=	emissie van deeltjes (kg),
EVV	=	verkeersprestatie, afgelegde afstand op het Nederlandse wegennet (mln km) en
EF	=	emissiefactor (kg/mln km).

De PM-, PAK-, metaal en zinkemissie kan worden berekend als een fractie van het geproduceerde slijtsel:

$$E_x = E_s \times X$$

Waarbij

$E_x$	=	emissie van component X (kg) en
X	=	gehalte aan component X van de banden (kg/kg).

De op deze wijze berekende emissie wordt de bruto emissie genoemd. Een specifiek deel hiervan komt terecht in het oppervlakte water: de netto belasting van het oppervlaktewater.

## 3 Emissieverklarende variabele

De emissieverklarende variabele is de verkeersprestatie door de verschillende voertuigcategorieën voor verschillende jaren. De verkeersprestaties worden door het CBS aangeleverd aan de taakgroep Verkeer en Vervoer. De taakgroep Verkeer en Vervoer berekent vervolgens de verdeling over de verschillende rittypen (binnen de bebouwde kom en buiten de bebouwde kom bestaande uit autosnelwegen en landelijke wegen) (Klein et al., 2007). In onderstaande tabellen worden de totale verkeersprestaties weergegeven binnen en buiten de bebouwde kom.

Tabel 1 - Verkeersprestaties binnen de bebouwde kom, op landelijke wegen en snelwegen per voertuigcategorie (miljoen km) voor verschillende jaren

<b>Binnen bebouwde kom</b>									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	beste- lauto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	22665	540	1537	6259	759	402	347	63	204
1995	20723	659	1193	5757	420	534	250	36	133
2000	18491	578	909	6770	404	734	247	48	187
2004	19895	711	729	8394	380	781	247	62	258
2005	19820	733	909	8296	372	793	243	66	275
2006	20137	753	909	8204	368	828	238	71	293
<b>Landelijke wegen</b>									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	29574	221	171	805	1159	504	194	13	41
1995	29763	406	133	2355	1039	512	163	15	56
2000	32723	578	101	5078	1001	704	162	20	78
2004	34815	711	81	6295	942	749	162	26	108
2005	34597	733	101	6222	921	761	159	28	114
2006	35163	753	101	6153	912	794	156	30	122
<b>Snelwegen</b>									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	27813	126		716	1441	1124	119	8	27
1995	31545	291		2355	1925	1650	241	9	33
2000	39979	578		5078	1855	2269	239	12	47
2004	42680	711		6295	1746	2412	238	16	65
2005	42525	733		6222	1708	2451	235	17	69
2006	43116	753		6153	1690	2558	230	18	73

## 4 Emissiefactoren

### 4.1 Emissiefactoren bandenslijtage algemeen en voor fijn stof uit banden

De taakgroep Verkeer en Vervoer heeft reeds eerder voor alle voertuigcategorieën emissiefactoren vastgesteld voor bandenslijtage. Deze factsheet heeft als doel deze gegevens uit te breiden met de emissies van PAK en zware metalen en waar nodig aanpassing van de overige emissiefactoren.

De basis voor de te berekenen emissie van fijn stof en overige componenten is de totale hoeveelheid bandenstof (bandenslijtsel) dat ontstaat door slijtage per gereden kilometer. Dit kan op verschillende manieren berekend worden.

1. "Kilometrage aanpak". Op basis van het aantal voertuigkilometers per voertuigtype, het aantal banden per voertuig type, het gemiddelde kilometrage waarbij banden versleten zijn en het gewichtsverlies tussen nieuwe en oude banden kan het totale bandenrubberverlies berekend worden. Al het door slijtage vrijkomende bandenrubber wordt geacht als stof (fijn + grof) vrij te komen.
2. "Verkoop aanpak". De verkoop aanpak is gebaseerd op de Europese bandenverkoopcijfers en het Nederlandse marktaandeel daarin. Op basis van het gemiddelde gewichtsverlies gedurende de

levensduur van een band per voertuigtype kan de totale bandenstofproductie in Nederland uitgerekend worden.

3. "Directe meting" (Fijn-) stof door bandenslijtage kan rechtstreeks bepaald worden door (fijn-) stof monsters te nemen bij verkeerswegen en vervolgens dit opgevangen stof te analyseren op bepaalde tracers die uniek zijn voor bandenstof, zoals styreen-butadieenrubber of organisch gebonden zink. Daar de concentratie van de tracer in bandenstof bekend is kan op basis van de tracer-concentratie ook de totale concentratie fijn stof door bandenslijtage berekend worden. Uit de verkregen gegevens en de verkeerscijfers kan hiervan een slijtagefactor worden afgeleid (o.a. Dannis, 1974; Baumann *et al.*, 1997; Fauser, 1999). Het is echter lastig op deze wijze een totale slijtage factor af te leiden omdat dan ook de emissie naar water en bodem gemonsterd moet worden. Dit is wel een goede manier om de emissie naar een bepaald compartiment (bijv. lucht) vast te stellen.

De benodigde gegevens om met de kilometrage-aanpak en de verkoop-aanpak het totale jaarlijks geproduceerde bandenstof in Nederland te berekenen zijn, naast de verkeersprestaties van het CBS verkregen uit BLIC/ZOPA (2001a,b) en Blok (2005). Voor het jaar 1998 leveren beiden onafhankelijke aanpakken een totale emissie van 10.8 (kilometrage-aanpak) en 11.2 (verkoop-aanpak) kton bandenstof per jaar. Beide onafhankelijke schattingen zijn goed in overeenstemming met elkaar en tonen aan dat dit een goede basis is om de specifieke emissies naar compartiment op te baseren.

Het gedeelte van het bandenslijtsel dat geëmitteerd wordt als  $PM_{10}$  en  $PM_{2.5}$  is onderwerp van veel studies geweest. Er is een overzicht gemaakt van in de literatuur vermelde emissiefactoren voor bandenslijtage (Tabel 2). Het betreft hier emissiefactoren naar lucht. Dit betekent dat TSP (Total suspended particles) niet te vergelijken is met de totale bandenstofproductie zoals berekend met de hierboven onder punt 1 en punt 2 beschreven methodes omdat deze methodes ook het deel van de slijtage meenemen dat dermate grof is dat het niet naar lucht geëmitteerd wordt.

De data in Tabel 2 zijn gebruikt om de eerder door de taakgroep verkeer en vervoer voorgestelde emissiefactoren nader te onderbouwen en mogelijk bij te stellen. Het resultaat van de emissiefactoren review is gepresenteerd in Tabel 3. De veranderingen ten opzichte van eerder door de taakgroep gehanteerde emissiefactoren is beperkt. De meest robuuste aanpak is gebaseerd op het aandeel  $PM_{10}$  in de totale slijtage dat ongeveer 5% bedraagt (o.a. Pierson and Brachaczek, 1974). Validatie is lastig omdat bandenslijtage ritcyclus en locatie afhankelijk is. Het robuuste van de aanpak om  $PM_{10}$  te berekenen als een fractie van totaal bandenstof is dat de verdeling naar compartimenten eenduidig blijft en de massabalans voor totaal stof blijft kloppen. Voor personenwagens kan een vergelijking gemaakt worden tussen de emissiefactor gebaseerd op de fractie  $PM_{10}$  en direct gemeten waarden (Tabel 2). Het gemiddelde van de  $PM_{10}$  emissiefactor op basis van de literatuur studie is  $7 \text{ mg/vkm}^1$  met een range van 1-14  $\text{mg/vkm}$  (Tabel 2). Hoewel dit iets hoger is dan de waarde van  $5 \text{ mg/vkm}$  die voorspeld wordt op basis van totaal bandenstof is dit gezien de spreiding in de literatuur data en de onzekerheid omtrent het exacte percentage niet significant verschillend. Ook wordt het gemiddelde van  $7 \text{ mg/vkm}$  beïnvloedt door twee relatief hoge waarden (13 en  $14 \text{ mg/vkm}$ , terwijl het merendeel van de metingen  $\sim 5 \text{ mg/vkm}$  suggereert (Tabel 2). Er wordt daarom geadviseerd vooralsnog de emissiefactor voor personenwagens op  $5 \text{ mg/vkm}$  te houden overeenkomend met 5% van  $100 \text{ mg/vkm}$  totaal bandenstof.

Specifieke slijtagefactoren voor banden van de voertuigcategorieën trekkers, autobussen, bromfietsen en speciale voertuigen zijn niet bekend. Ook data voor vrachtwagens zijn uitermate schaars (Tabel 2) maar hiervoor is wel het gewichtsverlies gedurende de levensduur van een band bekend (BLIC/ZOPA, 2001a,b) en kan het fijn stof afgeleid worden op basis van de aangenomen fractie van 5%  $PM_{10}$  van totaal bandenstof.  $PM_{2.5}$  emissiefactoren zijn nauwelijks gepubliceerd (zie ook Tabel 2). Op basis van de beschikbare literatuur is er voor gekozen de fractie  $PM_{2.5}$  van bandenslijtage op 20% (range 0-40%) te veronderstellen. Het aandeel  $PM_{2.5}$  is onzeker en kan wellicht in de nabije toekomst aangepast worden indien meer data beschikbaar komen

In het overzicht van geadviseerde emissiefactoren (Tabel 3) is te zien dat de emissiefactoren voor totale bandenslijtage ronde getallen zijn, dit benadrukt dat het, gezien de onzekerheid, niet zinvol is nader te specificeren en het belangrijker is de consistentie tussen de voertuigcategorieën en de fracties  $PM_{10}$  transparant te houden.

---

<sup>1</sup> vkm = voertuigkilometer

Tabel 2 – Literatuur data voor bandenslijtage en verdeling naar fracties fijn stof

TSP <sup>1)</sup>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	Opmerkingen	Bron
(mg/km/voertuig) <b>Personenauto's</b>				
2 – 5 7,5 – 25	4 5 1 – 5 14 8 5	1,4 1,25	0.5 µm < d <sup>2)</sup> < 10 µm d < 0,5 µm Model output	Cadle and Williams (1974) Pierson & Brachaczek (1974) Fishman (1998) USEPA Part 5 (2002) Annema et al. (1994), Van den Brink (1996) Subramini (1971) Subramini (1971) Singh and Colls (2000)
7  2 80 1 – 5 32 – 110 53  52 – 110 2-100	5 6.1  13 24 (15-50) 7 (1 – 14)	0    1,3	PM <sub>10</sub> ± 1.1	Keuken et al. (1999) Rauterberg-Wulf (1999) Doki et al. (2002) Baumann et al. (1997) Stark (1995) Garben et al. (1997) Hüglin et al. (2000) Warner et al. (2002); Luhana et al. (2004) Gebbe et al. (1997) Gemiddelden en spreiding
<b>Vrachtauto's en bussen</b>				
32  180 – 240 20 770 800 100 – 550	20 < 32  200		(2.5 µm < d < 10 µm)	Keuken et al. (1999) Rauterberg-Wulf (1999) Baumann et al. (1997) Doki et al. (2002) Garben et al. (1997) Hüglin et al. (2000) Gebbe et al. (1997)

<sup>1)</sup> TSP = Total Suspended Particles

<sup>2)</sup> d = diameter

Tabel 3 – Bandenslijtage en emissie aan fijn stof per voertuigcategorie

Voertuigklasse	Bandenslijtage	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
	mg/vkm		
Bromfietsen	23	1,2	0,25
Motorfietsen	50	2,5	0,5
Personenauto's	100	5	1
Bestelauto's	140	7	1,4
Trekkers	495	25	5
Vrachtauto's	600	30	6
Autobussen	360	18	3,6
Speciale voertuigen (licht)	140	7	1,4
Speciale voertuigen (zwaar)	600	30	5

#### 4.2 Emissiefactoren voor PAK uit banden

Het aantal onderzoeken en rapporten betreffende PAK in autobanden is beperkt. Een Zweedse studie geeft het PAK-gehalte in extender-oliën met hoog aromaatgehalte (Keml, 2003). Aromatische extender-oliën worden toegevoegd aan het loopvlakrubber van banden. Deze oliën bevatten aanzienlijke hoeveelheden PAK. Gecombineerd met de gegevens van BLIC (2002), die vermelden wat de gemiddelde toevoeging van aromatische extender-oliën oliën is aan banden, kan het gehalte aan PAK worden berekend.

Nilsson *et al* (2005) hebben in opdracht van het Deense ministerie van milieu een aantal gebruikte banden verzameld en hierin direct het gehalte van diverse PAK-componenten bepaald. LUT (2004) en NBI (2004) hebben hetzelfde gedaan voor vermalen autobanden die worden toegepast als bodenvulling voor sportvelden. De literatuurwaarden zijn gecompileerd in Tabel 4. Als totaal PAK is in Tabel 4 gedefinieerd: de som van individuele PAK soorten die bestaan uit de 10 VROM-PAK en Benzo(b)fluorantheen, ofwel VROM-PAK + 1.

Tabel 4 – Gemeten PAK-gehalten in autobanden (mg/kg/band)

Bron		Nilsson <i>et al.</i> , 2005		Keml, 2003 BLIC, 2002	Baumann <i>et al.</i> , 1998		LUT, 2004	NBI, 2004
PAK-component	Totaal PAK	PA <sup>1)</sup>	VA <sup>1)</sup>	PA 13% HA-oil	PA	VA	PA	PA
Fluorantheen	Ja	9,4	15,4	1,4	7,4	3,8	4,3	7,5
Pyreen		24,2	33,2	3,3	14,0	3,5	17,0	23,5
Benzo(a)fluoreen				0,1				
Benzo(a)anthraceen	Ja	0,8	0,9	4,4	1,0	0,7	8,5	1,3
Chryseen	Ja	5,5	5,3	51,3	7,0	2,3	6,0	2,2
Benzo(b+j+k)fluorantheen	Ja	1,8	2,1	4,2	3,8	1,9	5,8	3,0
Benzo(b)fluorantheen	Ja	6,4	6,4	9,5	6,4	6,4	3,3	2,4
Benzo(e)pyreen		5,5	5,9	14,7				
Benzo(a)pyreen	Ja	1,3	2,6	1,7	3,0	0,4	3,0	2,1
DiBenzo(a,i)anthraceen				0,6				
DiBenzo(a,h)anthraceen		1,2	0,8	0,7	0,1	0,2	0,5	1,1
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	Ja	2,3	1,0	0,8	0,1	0,4	0,2	0,8
Benzo(ghi)peryleen	Ja	12,9	7,3	2,3	0,5	2,4	6,0	3,6
Ananthreen				0,9				
Naftaleen	Ja	1,6	4,5	1,6	2,7	4,5	0,6	0,4
Acenaphteen					0,1	1,0	0,3	0,2
Acenaphtyleen					0,4	0,3	5,6	0,6
Fluoreen					0,1	4,4	0,2	0,4
Fenanthreen	Ja	4,3	2,3	4,3	4,2	2,3	4,3	5,5
Anthraceen	Ja	0,8	0,1	0,8	0,7	0,1	0,8	2,0
<b>Totaal (VROMPAK + BbF)</b>		<b>46,9</b>	<b>47,9</b>	<b>82,3</b>	<b>36,8</b>	<b>25,2</b>	<b>42,8</b>	<b>30,8</b>

N.B: PAK in rood zijn de PAK-componenten die onderdeel uitmaken van het berekende totaal PAK.

<sup>1)</sup> PA = Personenauto's, VA = Vrachtauto's

Er zijn enkele gaten opgevuld in de tabel betreffende PAK-componenten die in het totaal worden meegenomen. Volgens de gehanteerde definitie van totaal PAK hebben Baumann *et al.* (1998), LUT (2004) en NBI (2004) hiervan het hoogste percentage geanalyseerd (91% ten opzichte van 64% voor de overige bronnen). De gaten die zijn opgevuld met (gemiddelde) gegevens van de andere bronnen zijn cursief weergegeven. Voor Benzo(b)fluorantheengehalten in vrachtwagenbanden kon geen afgeleide gevonden worden door het ontbreken van gegevens, hier zijn de waarden van personenautobanden aangehouden. Het totaal PAK gehalte in autobanden wordt op basis van Tabel 4 geschat op 45 ( $\pm 18$ ) mg/kg/band). De spreiding is gezien het aantal verschillende merken en type

banden beperkt. In Tabel 5 worden totaal PAK waarden gegeven volgens andere literatuur bronnen. Indien geen spreiding is vermeld in Tabel 5 was enkel de gemiddelde waarde gedocumenteerd.

Tabel 5 – Totaal PAK waarden in banden volgens bronnen

<b>Totaal PAK gehalte (mg/kg) in banden per voertuigklasse volgens literatuurbronnen</b>						
Voertuigklasse	Vrachtauto			Personenauto		
Bron	min.	max.	gemiddeld	min.	max.	gemiddeld
<b>CSTEE (2003)</b>	13,5	31,5	22,5	18	112	65
<b>Rauterberg-Wulff (2003)</b>				30	360	195
<b>LUT (2004)</b>						62
<b>NBI (2004)</b>						67
<b>TUV (Noordermeer, 2006)</b>						47
<b>Hofstra (2006)</b>			14			33
<b>TNO (Noordermeer, 2006)</b>			90			112

Om tot een uiteindelijke emissiefactor te komen voor personenauto's en vrachtauto's moet een aantal factoren met elkaar vergeleken worden. Zo is de directe analyse van PAK in banden uiteraard de meest directe benadering. De gedocumenteerde totalen (zoals in Tabel 5) kunnen het best worden gebruikt als controle. Nilsson *et al.* (2005) hebben hun analyses gedaan aan bandensnippers, die in speeltuinen als omheining en/of botskussens gebruikt zijn. De gegevens van LUT (2004) en NBI (2004) hebben betrekking op bandsnippers die zijn toegepast als vulmateriaal voor sportvelden. Er dient dus rekening gehouden te worden met eventuele uitloging, al zijn de meeste PAK volgens genoemde bronnen dusdanig in de rubbermatrix opgenomen dat dit effect minimaal is. Baumann *et al.* (1998) hebben 2 verschillende banden geanalyseerd op PAK, maar het is onbekend om welk type band het hier gaat en zodoende ook of deze band behoort tot een categorie met een laag PAK-gehalte in de extender-olie. De aanpak van de Keml (2003) staat min of meer gelijk aan de directe analyse, aangezien de aromatische extender-oliën de voornaamste bron van PAK zijn in banden. Bovendien wordt hiermee de meefout als gevolg van ontsluiting van PAK in bandenrubber geëlimineerd. Er zijn echter verschillende waarden opgegeven voor het gehalte aan deze oliën in banden (range 10-37%), en dit levert variatie op in de uiteindelijke PAK gehalten in banden.

Een ander probleem is de definitie van totaal PAK. Dit betekent dat wat in het kader van een studie voor de EU als totaal PAK gerapporteerd wordt minder PAK bevat dan het zelfde monster indien er VROMPAK gerapporteerd wordt (omdat er eenvoudigweg minder PAK componenten onder de definitie van EU PAK vallen). Op basis van de beschikbare gegevens is een algemeen profiel van PAK-soorten in relatie tot totaal PAK in autobanden opgesteld (Tabel 6). Dit profiel wordt gebruikt in de verdere berekeningen van PAK emissies door bandenslijtage. Hoewel er in Tabel 4 nog enkele andere individuele PAK waarden staan worden deze niet apart berekend omdat er zeer weinig informatie is en niet goed bekend is of het niet opgeven van deze PAKs in andere studies nu betekent dat ze niet gemeten zijn danwel niet voorkomen. De gekozen benadering gaat uit van het lage percentage HA extender-olie (14%; BLIC 2002) voor de Europese markt en de PAK gehalten daarin zoals gerapporteerd door KEMI (2003). Vervolgens is een vertaalslag uitgevoerd om vanuit "EU-PAK" te komen tot VROMPAK, gebaseerd op het profiel in tabel 6. Deze benadering resulteert in een VROMPAKgehalte van ~100 mg/kg bandenstof, dat met de hier gehanteerde profielen overeenkomt met een EU-PAK gehalte van ~70 mg/kg. De waarde van 100 mg/kg totaal PAK is in goede overeenstemming met de gegevens in Tabel 5 en wat hoger dan de waarden in tabel 4. Voorts zijn dergelijke gehalten goed in overeenstemming met informatie betreffende de verwachte reductie van het PAK gehalte na in werking treden van de regulering van het gebruik van PAK bevattende extender olien (EU Directive 2005/69/EC). De verwachting is namelijk dat dit het PAK gehalte met een factor 10 zal doen dalen om aan de nieuwe regulering te voldoen. Met de hier gekozen waarden zou dat voor Benz(a)pyreen dalen tot 0,5 mg/kg en voor EU-PAK tot 7 mg/kg terwijl de normen respectievelijk 1 en 10 mg/kg worden. Dit lijkt goed in overeenstemming met elkaar.

Tabel 6 – Opgesteld algemeen profiel van PAK-soorten in relatie tot totaal PAK

Algemeen PAK-PROFIEL in banden	
PAK-soort	Gehalte in loopvlak rubber mg/kg
Fluorantheen	19,1
Benzo(a)anthraceen	6,5
Chryseen	24
Benzo(k)fluorantheen	9,1
Benzo(b)fluorantheen	16,4
Benzo(a)pyreen	5,4
Benzo(e)pyreen	6,9
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	1,98
Benzo(ghi)peryleen	12,6
Naftaleen	7,2
Fenanthreen	10,9
Anthraceen	2,1
Dibenzo(a,h)anthraceen	1,65
TOTAAL VROMPAK+BbF	100
TOTAAL EU-PAK	70

#### 4.3 Emissiefactoren zware metalen

Bandenrubber bevat sporen van (zware) metalen die een bijdrage leveren aan de emissie. Op basis van een beperkte set literatuurgegevens is een indicatief chemisch profiel opgesteld (Tabel 7). Tabel 7 laat zien dat van de metalen enkel zink in aanzienlijke concentraties in bandenrubber voorkomt. Zink komt in relatief grote hoeveelheden voor aangezien het als katalysator in het vulkanisatieproces wordt toegevoegd in de vorm van ZnO. Volgens de literatuur bevat het gemiddelde bandenrubber ongeveer 1% ZnO (overeenkomend met 0,8% Zn). Omgerekend naar een gehalte op massabasis wordt dit 8000 mg/kg. Dit is de ondergrens van het profiel in de tabel. Blok (2005) refereert aan BLIC/ZOPA (2001a,b) en presenteert een zinkgehalte in banden van 0,95% voor personenauto's, 1,3% voor bestelbussen en 1,7% voor vrachtauto's. Zie Tabel 8 voor de complete schatting van zinkemissies (BLIC/ZOPA, 2001 – geciteerd in Blok, 2005) en het overzicht van de voorgestelde fracties metalen in bandenrubber zoals te gebruiken bij het bepalen van de metaalemmissies ten gevolge van bandenslijtage.

Tabel 7 – Gehalten aan metaalsoorten in banden

Metaal-soort	Concentratiespreiding (mg/kg)	Metaal-soort	Concentratiespreiding (mg/kg)
Ag	0,08	Mg	32 – 444
As	0,8	Mn	2 – 14
Al	81 – 956	Mo	2,8 – 10
Ba	0,9 – 4,1	Na	610
Ca	113 – 1500	Ni	0,9 – 50
Cd	0,28 – 4,96	Pb	1 – 160
Co	0,88 – 39	Sb	2
Cr	0,4 – 49	Se	4 – 20
Cu	1,8 – 69	Sr	1,16 – 3,13
Fe	2 – 2800	Ti	195
K	180	V	1
Li	0,23 – 2,3	Zn	8000 - 13500

Bron: Malmqvist (1983), Hewit *et al.* (1990), Brewer (1997), Legret *et al.* (1999), San Miguel *et al.* (2002).

Tabel 8 – Samenvatting van de schatting van metaalgehalten in verschillende typen banden

Metaal	Bandentype			Bron
	Personenauto's	Bestelbussen	Vrachtauto's	
	%			
<b>Cadmium</b>	1			EPA
<b>Chroom</b>	10			
<b>Koper</b>	50			
<b>Nikkel</b>	50			
<b>Lood</b>	100			
<b>Antimoon</b>	1			
<b>Selenium</b>	10			
<b>Zink</b>	0,95	1,3	1,7	

#### 4.4 Emissiefactoren binnen de bebouwde kom, op landelijke wegen en snelwegen

Binnen de bebouwde kom wordt in de regel meer geaccelereerd en geremd dan buiten de bebouwde kom. Ook zijn er meer bochten, is het weglandschap dynamischer en de relatieve verschillen in snelheid groter. Hoewel bekend is dat om die redenen de bandenslijtage per verreden km binnen de bebouwde kom hoger is dan buiten de bebouwde kom is er weinig data om dit goed te onderbouwen. De beperkte informatie is samengevat in Tabel 9.

Tabel 9 – Invloeden van rijstijl en omgeving op emissiefactoren

Conditie	Waarde	Eenheid	Bron
Snelweg – 120 km/h	24	mg/km/band	Dannis (1974)
Bochten nemen – 50 km/h	490		
Bochten in stedelijke wegen	30	mg/km/band	Le Maitre <i>et al.</i> (1998)
Rustig rijden	12		
"Professioneel" rijden <sup>1)</sup>	70		
Droge condities	150	%	
Winter ten opzichte van zomer	140		

<sup>1)</sup> "professioneel rijden": snel optrekken, zoveel mogelijk de maximum snelheid aanhouden en weinig afremmen.

De gegevens van Dannis (1974) en LeMaitre *et al.* (1998) bevestigen dat bochtige wegen een hogere slijtage veroorzaken. De extreem hoge waarde van Dannis (1974) wordt geacht niet langer realistisch te zijn. In de tijd sinds het onderzoek van Dannis (begin van de 70-er jaren) zijn door technologische verbeteringen de eigenschappen van banden (zoals slijtvastheid, grip) aanzienlijk vooruitgegaan. De informatie in Tabel 9 toont duidelijk aan dat slijtage per kilometer hoger is bij het maken van veel bochten en optrekken zoals in binnenstedelijk verkeer maar geeft geen exacte verhouding. Als eerste benadering is aangenomen dat de emissiefactoren binnen de bebouwde kom een factor 2 hoger zijn per verreden kilometer dan op de snelweg en landelijke wegen. Dit is gebaseerd op de verhouding tussen waarden die Le Maitre *et al.* gemeten hebben maar de overweging daarbij dat enkel "rustig rijden" een onderschatting is van het huidige snelwegverkeer. Tabel 10 geeft de uiteindelijke gedifferentieerde emissiefactoren weer.

Tabel 10 – Afgeleide emissiefactoren bandenslijtage binnen en buiten de bebouwde kom (mg/km)

Stofnaam	Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Landelijke wegen	Autosnelwegen
Grof stof	Personenauto	158	79	79
	Motortweewieler	71	36	36
	Bromfiets	23	12	-
	Bestelauto	190	95	95
	Vrachtauto	1014	507	507
	Trekker	785	393	393
	Autobus	495	248	248
	Speciaal voertuig-licht	167	84	84
	Speciaal voertuig-zwaar	712	356	356
	PM10	Personenauto	8	4
Motortweewieler		4	2	2
Bromfiets		1	1	-
Bestelauto		10	5	5
Vrachtauto		53	27	27
Trekker		41	21	21
Autobus		26	13	13
Speciaal voertuig-licht		9	4	4
Speciaal voertuig-zwaar		37	19	19
PM2.5		Personenauto	1,6	0,8
	Motortweewieler	0,8	0,4	0,4
	Bromfiets	0,2	0,2	-
	Bestelauto	2,0	1,0	1,0
	Vrachtauto	10,6	5,4	5,4
	Trekker	8,2	4,2	4,2
	Autobus	5,2	2,6	2,6
	Speciaal voertuig-licht	1,8	0,8	0,8
	Speciaal voertuig-zwaar	7,4	3,8	3,8

Noot: Emissiefactoren grof stof en PM10 zijn afgerond op hele getallen, PM2,5 emissiefactoren op 1 decimaal.

#### 4.5 Correctiefactor voor het ZOAB-aandeel

Op de Nederlandse snelwegen is vanaf 1985 ZOAB (Zeer Open Asfalt Beton) geïntroduceerd. Dit beton bevat een groter aantal holten dan het tot dan toe gebruikte DAB (Dicht Asfalt Beton). Door deze open structuur wordt het grove gedeelte van het geproduceerde bandenstof direct opgevangen in deze holten. Omdat vanaf 1985 het aandeel ZOAB op de Nederlandse snelwegen is toegenomen, wordt hiervoor gecorrigeerd in de emissies. In Tabel 11 staat, vanaf de introductie van ZOAB, de correctie weergegeven

Tabel 11 – Correctiefactoren voor ZOAB. (Bron: Klein et al. 2007).

Jaar	Aandeel ZOAB op autosnelwegen (%)	Component		
		Metalen	PAK	Stof
		Reductiefactor		
		20	2,5	20
Correctiefactor				
1980-1984	0,0	1,00	1,00	1,00
1985	0,5	1,00	1,00	1,00
1986	1,3	0,99	0,99	0,99
1987	2,0	0,98	0,99	0,98
1988	2,8	0,97	0,98	0,97
1989	5,6	0,95	0,97	0,95
1990	10,4	0,90	0,94	0,90
1991	13,9	0,87	0,92	0,87
1992	16,9	0,84	0,90	0,84
1993	22,4	0,79	0,87	0,79
1994	25,9	0,76	0,84	0,76
1995	30,9	0,71	0,81	0,71
1996	36,9	0,65	0,78	0,65
1997	42,7	0,60	0,74	0,60
1998	47,9	0,55	0,71	0,55
1999	50,4	0,52	0,70	0,52
2000	53,0	0,50	0,68	0,50
2001	55,5	0,47	0,67	0,47
2002	59,8	0,43	0,64	0,43
2003	62,2	0,41	0,63	0,41
2004	65,0	0,38	0,61	0,38
2005	68,0	0,35	0,59	0,35
2006*	71,0	0,33	0,57	0,33

De correctiefactor in Tabel 11 is de fractie waarmee de emissie wordt vermenigvuldigd. Deze fractie wordt berekend aan de hand van het percentage ZOAB op de Nederlandse snelwegen. Bijvoorbeeld voor het jaar 2006 is het aandeel ZOAB 71%. De correctiefactor voor metalen wordt dan  $[(1-0.71) + (0.71/20 (=reductiefactor\ metalen\ zie\ Tabel12))] = 0.33$ .

## 4.6 Overzicht gebruikte profielen

In deze paragraaf worden de opgestelde profielen gepresenteerd. In Tabel 12 staan de totalen en wordt de differentiatie zichtbaar.

Tabel 12 – Gehanteerde profielen voor de berekening van emissies van PAK en zware metalen

Categorie	Component	Voertuigclassificatie	
		Licht <sup>1)</sup>	Zwaar <sup>2)</sup>
PAK	Anthraceen	2,10E-06	6,80E-07
	Benzo(a)Anthraceen	6,50E-06	2,10E-06
	Benzo(a)Pyreen	5,40E-06	1,70E-06
	Benzo(b)Fluorantheen	1,64E-05	5,30E-06
	Benzo(ghi)Peryleen	1,26E-05	4,00E-06
	Benzo(k)Fluorantheen	9,10E-06	2,90E-06
	Chryseen	2,40E-05	7,70E-06
	Fenanthreen	1,09E-05	3,50E-06
	Fluorantheen	1,91E-05	6,10E-06
	Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1,98E-06	6,30E-07
	Naftaleen	7,20E-06	2,30E-06
Metalen	Zink (als Zn)	9,50E-03	1,70E-02
	Cadmium (als Cd)	1,00E-06	1,00E-06
	Chroom (als Cr)	1,00E-05	1,00E-05
	Koper (als Cu)	5,00E-05	5,00E-05
	Nikkel (als Ni)	5,00E-05	5,00E-05
	Lood (als Pb)	1,00E-04	1,00E-04
	Antimoon (als Sb)	1,00E-06	1,00E-06
	Selenium (als Se)	1,00E-05	1,00E-05

<sup>1)</sup> Personenauto's, motortweewielers, bromfietsen, bestelauto's en lichte speciale voertuigen

<sup>2)</sup> Vrachtauto's, trekkers, autobussen, en zware speciale voertuigen.

## 5 Maatregelen en effecten

In EU-directive EG 76/769 (EU, 2005) is bepaald dat op 1 januari 2010 geen banden meer op de markt mogen komen, geproduceerd met aromatische oliën die meer dan 1 mg/kg Benzo(a)pyreen of meer dan 10 mg/kg van de EU-PAK bevatten. Onder de door de EU gereguleerde PAK-componenten vallen de volgende verbindingen: Benzo(a)pyreen, benzo(e)pyreen, benzo(a)anthraceen, chryseen, benzo(b)fluorantheen, benzo(j)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en dibenzo(a,h)anthraceen.

Dit betekent dat de emissiefactoren vanaf 2010 zullen dalen tot een uiteindelijke waarde van 20 mg/kg/band, aangezien uit de gevonden data en daarop toegepaste berekeningen blijkt dat het totale gehalte VROMPAK + 1 ongeveer gelijk is aan 2 maal het gehalte van de door de EU aangewezen PAK-componenten. Bij gelijkblijvende verkeersprestatie per voertuig, zal vanaf het moment van invoering na uiteindelijk 5 jaar (worst-case scenario) deze waarde behaald zijn. Hierbij zijn de volgende aannames gedaan:

- Ieder voertuig wordt op 31 december 2006 voorzien van banden met een PAK-gehalte van 70/mg/kg/band. Als deze banden zijn opgereden worden ze vervangen door banden met een PAK-gehalte van 20 mg/kg/band.
- De gemiddelde levensduur van de banden is 50.000 km, ze worden dus na 50.000 km te hebben afgelegd vervangen.
- De verkeersprestatie in 2010 zal niet veel veranderd zijn ten opzichte van eerdere jaren. Dit lijkt een aannemelijke trend, omdat er weinig speling is in de verkeersprestaties van 2004, 2005 en 2006.
- Het grootste deel van de PAK-emissie komt voor de rekening van personenauto's en bestelauto's (combinatie van hoog PAK-gehalte in banden en de grootste verkeersprestatie).

De op bovenstaande aannames gebaseerde waarden benodigd voor berekening PAK emissie staan in Tabel 13.

Tabel 13 – Gebruikte waarden voor doorberekening PAK-emissie na 2010

Variabele	Eenheid	Waarde
Verkeersprestatie 2010 (personenauto's en bestelauto's)	km	$1,9 \cdot 10^{11}$
Bandenleeftijd	km	$5,0 \cdot 10^4$
Aantal personenauto's en bestelauto's: (Bron: <a href="http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0026-Aantal-motorvoertuigen.html?i=15-103">http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0026-Aantal-motorvoertuigen.html?i=15-103</a> )	n	$8,2 \cdot 10^6$
Gemiddelde afgelegde afstand per voertuig	km/jaar	$1,5 \cdot 10^4$
Gemiddelde bandenleeftijd	jaar	3,5

Aangenomen wordt dat banden gemiddeld na 3,5 jaar worden vervangen. Omdat sommige weinig gebruikte voertuigen langer zullen doorrijden met het oude type banden en er mogelijk nog nalevering uit voorraad is zal de complete vervanging met PAK-arme banden langer duren. Daarom wordt aangenomen dat in 2015 de toepassing van banden met een lager PAK-gehalte is voltooid. Wanneer van lineaire implementatie wordt uitgegaan daalt de emissiefactor vanaf 2010 tot 2015 jaarlijks met 20% (Van 70 mg/kg EU-PAK naar <10 mg/kg EU-PAK, of van 5,4 mg/kg Benzo(a)Pyreen tot <1 mg/kg Benzo(a)Pyreen) ten opzichte van de waarde voor 2010.

## 6 Emissies

De tabellen 14 tot en met 17 geven de emissies voor de verschillende voertuigcategorieën per jaar. De emissies zijn berekend door vermenigvuldiging van de emissieverklarende variabele (Tabel 1) met de emissiefactoren uit tabel 3 en de fracties van specifieke stoffen in bandenstof zoals gegeven in tabel 6 en 8. Alle emissies zijn in kg per jaar weergegeven. Tevens is EU-directive EG 76/769 (EU, 2005) doorberekend in een prognose voor de PAK-emissie in 2015. Hiervoor is een schatting van de verkeersprestatie in 2015 gebruikt (A. Hoen, MNP, persoonlijke mededeling, 13/11/2007).

Tabel 14 – Emissies naar bodem als gevolg van bandenslijtage, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	8	8	8	8	8	8	9
Arseenverb. (als As)	7	6	7	7	6	6	7
Cadmiumverb. (als Cd)	8	8	8	8	8	8	9
Chroomverb. (als Cr)	83	81	82	83	81	80	90
Koperverb. (als Cu)	414	403	412	414	405	402	451
Loodverb. (als Pb)	83	81	82	83	81	80	90
Nikkelverb. (als Ni)	414	403	412	414	405	402	451
Seleenverb. (als Se)	827	806	825	829	810	804	903
Zinkverb. (als Zn)	95885	93162	94208	93336	91179	90512	101225
Fenanthreen	74	75	82	86	85	85	10
Anthraceen	14	14	16	17	16	16	2
Fluorantheen	130	131	144	151	149	149	17
Chryseen	163	165	181	190	187	187	22
Benzo(a)Anthraceen	44	45	49	51	51	51	6
Benzo(a)Pyreen	37	37	41	43	42	42	5
Benzo(b)Fluorantheen	111	113	123	130	128	128	15
Benzo(k)Fluorantheen	62	63	68	72	71	71	8
Benzo(ghi)Peryleen	85	87	95	100	98	98	11
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	13	14	15	16	15	15	2
Naftaleen	49	49	54	57	56	56	7
Grof stof	8271834	8059469	8246013	8288135	8100064	8042759	9028951

Tabel 15 – Emissies direct naar oppervlaktewater als gevolg van bandenslijtage, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	1	1	1	1	1	1	1
Arseenverb. (als As)	1	1	1	1	1	0	1
Cadmiumverb. (als Cd)	1	1	1	1	1	1	1
Chroomverb. (als Cr)	6	7	7	6	6	6	6
Koperverb. (als Cu)	32	33	34	32	31	31	32
Loodverb. (als Pb)	6	7	7	6	6	6	6
Nikkelverb. (als Ni)	32	33	34	32	31	31	32
Seleenverb. (als Se)	64	65	67	65	63	62	65
Zinkverb. (als Zn)	7545	7670	7723	7352	7114	6999	7301
Fenanthreen	6	6	7	7	7	7	1
Anthraceen	1	1	1	1	1	1	0
Fluorantheen	10	11	12	12	12	12	1
Chryseen	12	13	15	16	15	15	2
Benzo(a)Anthraceen	3	4	4	4	4	4	0
Benzo(a)Pyreen	3	3	3	3	3	3	0
Benzo(b)Fluorantheen	9	9	10	11	10	10	1
Benzo(k)Fluorantheen	5	5	6	6	6	6	1
Benzo(ghi)Peryleen	7	7	8	8	8	8	1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1	1	1	1	1	1	0
Naftaleen	4	4	5	5	5	5	1
Grof stof	641044	650544	670900	648880	628560	619135	646995

Tabel 16 – Emissies naar riool binnen de bebouwde kom als gevolg van bandenslijtage, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	4	3	3	4	4	4	5
Arseenverb. (als As)	3	3	3	3	3	3	4
Cadmiumverb. (als Cd)	4	3	3	4	4	4	5
Chroomverb. (als Cr)	38	33	33	37	37	37	48
Koperverb. (als Cu)	188	165	166	184	183	185	240
Loodverb. (als Pb)	38	33	33	37	37	37	48
Nikkelverb. (als Ni)	188	165	166	184	183	185	240
Seleenverb. (als Se)	375	331	331	367	366	371	481
Zinkverb. (als Zn)	41967	36199	37051	40758	40734	41279	53277
Fenanthreen	35	31	31	34	34	34	4
Anthraceen	7	6	6	7	7	7	1
Fluorantheen	61	55	54	60	60	60	8
Chryseen	76	69	67	75	75	76	10
Benzo(a)Anthraceen	21	19	18	20	20	21	3
Benzo(a)Pyreen	17	15	15	17	17	17	2
Benzo(b)Fluorantheen	52	47	46	52	51	52	7
Benzo(k)Fluorantheen	29	26	26	29	28	29	4
Benzo(ghi)Peryleen	40	36	35	40	39	40	5
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	6	6	6	6	6	6	1
Naftaleen	23	21	20	23	23	23	3
Grof stof	3753656	3306865	3311876	3672317	3664531	3705810	4808998

Tabel 17 – Emissies naar lucht als gevolg van bandenslijtage, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	1	1	1	1	1	1	1
Arseenverb. (als As)	1	0	1	1	1	1	1
Cadmiumverb. (als Cd)	1	1	1	1	1	1	1
Chroomverb. (als Cr)	7	6	6	6	6	6	7
Koperverb. (als Cu)	33	31	32	32	32	32	37
Loodverb. (als Pb)	7	6	6	6	6	6	7
Nikkelverb. (als Ni)	33	31	32	32	32	32	37
Seleenverb. (als Se)	65	62	63	65	64	64	75
Zinkverb. (als Zn)	7514	7087	7194	7319	7193	7180	8367
Fenanthreen	6	6	6	7	6	6	1
Anthraceen	1	1	1	1	1	1	0
Fluorantheen	10	10	11	11	11	11	1
Chryseen	13	13	13	14	14	14	2
Benzo(a)Anthraceen	3	3	4	4	4	4	0
Benzo(a)Pyreen	3	3	3	3	3	3	0
Benzo(b)Fluorantheen	9	9	9	10	10	10	1
Benzo(k)Fluorantheen	5	5	5	5	5	5	1
Benzo(ghi)Peryleen	7	7	7	8	7	7	1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1	1	1	1	1	1	0
Naftaleen	4	4	4	4	4	4	1
Fijn stof (PM10)	651532	618630	630283	649994	638805	637407	746364
Fijn stof (PM2,5)	130306	123726	126057	129999	127761	127481	149273

## 7 Verdeling compartimenten

In tabel 18 is de verdeling weergegeven van de slijtage-emissies naar de verschillende milieucompartimenten zoals momenteel wordt gehanteerd door de taakgroep verkeer. De emissie van fijn stof wordt in alle gevallen voor 100% aan het compartiment lucht toegekend. De toedeling van fijn stof naar lucht staat niet ter discussie. Echter de verdeling van grof stof naar de verschillende milieucompartimenten staat in deze factsheet ter discussie en wordt herzien.

Tabel 18 –Verdelingspercentages voor bandenstof naar compartimenten zoals tot nu toe gehanteerd (bron: Klein et al.,2007)

	Bandenstof		
	lucht	bodem	water
	%		
<b>Fijn stof (incl metalen)</b>			
bebouwde kom	100	0	0
landelijke wegen	100	0	0
autosnelwegen	100	0	0
<b>Grof stof (incl metalen)</b>			
bebouwde kom	0	0	100
landelijke wegen	0	80	20
autosnelwegen	0	80	20

Bron: methodiekrapport taakgroep verkeer (Klein et al., 2007)

### Toedeling binnen de bebouwde kom

De toedeling van de emissie binnen de bebouwde kom voor 100% naar riool (Tabel 18) is niet waarschijnlijk. Een GIS-overlay van het grondgebruiksbestand van Nederland met de rioleringsgebieden in Emissieregistratie leert dat precies 50% van het oppervlak van de rioleringsgebieden uit verhard gebied bestaat (zie tabel 19).

Tabel 19 – Resultaten GIS-overlay rioleringsgebieden

AggregatieNaam	Bodem Areaal [ha]	Riool Areaal [ha]
Bodem verhard	433649	341061
Bodem onverhard	2893753	336033
Bodem semi-verhard	50136	16016
Som	3377538	693109

Dat 50 procent van het gerioleerde gebied verhard is, wil nog niet zeggen dat ook 50 procent van de emissie van de depositie van grof stof naar het riool zal gaan. In de rioleringswereld worden afstroomcoëfficiënten gebruikt om te bepalen welk deel van het regenwater dat in een rioleringsgebied valt naar het riool gaat. Dikwijls worden een afstroomcoëfficiënt van 50% gehanteerd. Tijdens een recente studie van TNO in de verzorgingsgebieden van twee RWZI's in Noord-Brabant in 2005 werden voor den Bosch en Asten afstroomcoëfficiënten van respectievelijk 50% en 90% gemeten.

Omdat water als transportmedium van de vervuiling werkt lijkt het voor de hand liggend om de verdeling van het water over de compartimenten als uitgangspunt te hanteren.

Er zijn echter diverse factoren die afwijkingen zowel naar boven als beneden kunnen veroorzaken:

- Een deel van het water verdampt waardoor het deel van het oppervlak dat afstroomt groter is dan het oppervlak dat kan worden afgeleid van de neerslag en het water dat naar het riool gaat. Als de depositie van neerslaand stof redelijk homogeen verdeeld is, dan is het afstromende oppervlak een goede maat voor de hoeveelheid emissie die afstroomt. Het zal echter zo zijn dat op onverhard gebied een deel van de vervuiling wordt gefilterd waardoor de hoeveelheid vuil per hoeveelheid water (de concentratie) van onverhard gebied kleiner wordt. (afnemende bijdrage naar riool)
- De depositie van grof stof vindt dicht bij de bron plaats. De bron is de verharde weg. Daarom zal daar ter plekke de depositie meer geconcentreerd zijn en bijgevolg de emissie in verhouding tot de hoeveelheid water (de concentratie) groter zijn. (toenemende bijdrage naar riool)

- Een gedeelte van de vervuiling van de wegen zal via de route van het veegvuil worden ingezameld. Dit gedeelte komt niet in het riool terecht. Het grootste deel van het veegvuil is grof zand dat relatief weinig vervuiling bevat. (afnemende bijdrage naar riool)
- Een deel van het bodemmateriaal van onverhard gebied zal afspoelen naar riool. In dit bodemmateriaal zal in de loop der tijd vuil zijn geaccumuleerd dat onder andere van bandenslijtage afkomstig is. Dit betekent dat een klein deel van het vuil dat oorspronkelijk in de bodem is geaccumuleerd alsnog in het riool terecht komt (toenemende bijdrage naar riool).

Deze tegen elkaar in werkende processen maken het moeilijk om een kwantitatief gefundeerde uitspraak te doen. Zeker is dat de hoeveelheid emissie die naar riool gaat onder 100 procent zal liggen. De hier geponeerde stelling is (tot dat betere meetgevens beschikbaar komen) om 50 procent naar riool binnen de bebouwde kom te hanteren als uitgangspunt in plaats van 100%. Daar echter een deel van de vuillast van de bodem alsnog afspoelt naar riool zal rekening gehouden moeten worden met een iets hogere aanvoer naar riool. Als voorlopige waarde wordt daarom 60 procent aanvoer naar riool gekozen.

#### Toedeling binnen de bebouwde kom

De toedeling van de emissies van de grove fractie van het bandenstof buiten de bebouwde kom is complexer dan binnen de bebouwde kom. Een vrij uitgebreide studie is gedaan door Blok (Blok, 2005). Uit het werk van Blok blijkt dat ongeveer 70% van de totale hoeveelheid materiaal via het mechanisme van run-off grotendeels in de bodem van de wegberm terecht komt. De overige 30 procent wordt volgens Blok verspreid via het mechanisme van drift. Hierbij nemen we aan dat de fijnste fractie van deze 30 procent (ongeveer 5 procent fijn stof) via atmosferisch transport verder weg getransporteerd zal worden. Het grootste deel (25 van de 30 procent) die via drift wordt verspreid komt volgens Blok niet verder dan 4,5 m (overige wegen) tot 6 meter (snelwegen) van de zijkant van de weg. Het is onbekend wat het aandeel van sloten is van het oppervlak dat op 4,5 tot 6 meter langs de wegen ligt, echter dit zal minder dan 50% van het oppervlak tussen 4,5 en 6 meter vanaf wegen zijn. Als eerste benadering nemen we de helft van 25 procent en ronden af naar beneden resulterend in een schatting van 10 procent directe emissie naar oppervlaktewater.

In Tabel 20 staat de nieuwe voorgestelde verdeling van bandenstof naar de verschillende milieucompartimenten weergegeven.

Tabel 20 – Voorgestelde verdelingspercentages voor bandenstof naar compartimenten

	Lucht	bodem	oppervlaktewater	Riool
	%			
<b>Fijn stof (incl metalen)</b>				
bebouwde kom	100	0	0	0
landelijke wegen	100	0	0	0
autosnelwegen	100	0	0	0
<b>Grof stof (incl metalen)</b>				
bebouwde kom	0	40	0	60
landelijke wegen	0	90	10	0
autosnelwegen	0	90	10	0

## 8 Regionalisatie

Voor de regionale verdeling van emissies wordt binnen emissieregistratie gebruik gemaakt van een set van digitale kaarten, welke aanwezig is bij MNP. Deze set geeft de regionale verdeling in Nederland weer van allerlei grootheden, zoals bijvoorbeeld de bevolkingsdichtheid, verkeersintensiteit, landbouwactiviteiten, etc. Binnen emissieregistratie worden deze kaarten gebruikt als 'lokator' om de regionale verdeling van emissies vast te stellen. De set aan mogelijke lokatoren is beperkt (voor een overzicht van beschikbare lokatoren zie (Molder, 2007)), dus kan niet iedere denkbare grootheid als lokator worden toegepast. Daarom wordt die lokator gebruikt, waarvan wordt aangenomen dat hij het beste correleert met de emissie. In sommige gevallen wordt één bron via meerdere lokatoren verdeeld. Dat is hier het geval voor bandenslijtage op landelijke wegen, welke voor 80% wordt verdeeld middels de verkeersintensiteit op autosnelwegen en voor 20% wordt verdeeld via het aantal woningen buiten de bebouwde kom. De verdeling van emissies over Nederland wordt aangenomen gelijk te zijn aan de verdeling van de lokator over Nederland.

In onderstaande tabel staat voor de verschillende emissieoorzaken de lokator weergegeven, waarmee emissies worden geregionaliseerd.

Tabel 21: Overzicht van wijze van regionalisatie van emissies

Onderdeel	Lokatoren
Bandenslijtage, snelwegen	Verkeersintensiteit op autosnelwegen
Bandenslijtage, landelijke wegen	Verkeersintensiteit landelijke wegen, 80%
Bandenslijtage, landelijke wegen	Aantal woningen buiten de bebouwde kom, 20%
Bandenslijtage, binnen de bebouwde kom	Aantal inwoners per gridcel van 500x500 meter

De wijze waarop de lokatoren tot stand komen wordt beschreven in Molder (2007) :

### *Verkeersintensiteit autosnelwegen en landelijke wegen (zie boven)*

De verkeersintensiteit op autosnelwegen is afkomstig van de kaart 'toedeling naar wegvak op basis van voertuigkilometers'. Deze kaart onderscheidt 6 categorieën, waaronder:

- Autosnelwegen (rijkswegen) personen- en bestelauto's
- Autosnelwegen (rijkswegen) vracht- en overig verkeer
- Provinciale wegen personen en bestelauto's
- Provinciale wegen vracht- en overig verkeer
- Bebouwde kom personen- en bestelauto's
- Bebouwde kom vracht- en overig verkeer

Gegevens over de ligging en de lengte van de weg(vakken) afkomstig zijn uit het Nationaal Wegenbestand (NWB) van de Adviesdienst Verkeer- en Vervoer (AVV) (zie ook Molder, 2007). De intensiteiten (etmaalgemiddelde aantal voertuigen over het gehele beschouwde jaar x wegvaklengte) zijn voor de autosnelwegen berekend uit door AVV uitgevoerde tellingen en hebben betrekking op 2005. Voor de provinciale wegen en wegen binnen de bebouwde kom betreft het gemodelleerde gegevens, afkomstig uit het Nieuw Regionaal Model (NRM), in beheer bij AVV en hebben betrekking op 2005. Naast tellingen gebruikt dit model sociaal-economische en demografische factoren als bevolkingsdichtheid en opbouw, aanwezige werkgelegenheid en type bedrijven in de omgeving. Voor de intensiteiten binnen de bebouwde kom worden ook gegevens gebruikt uit gemeentelijke verkeersmilieu kaarten en hebben betrekking op 2005. De resultaten van het NRM (verkeersintensiteiten) zijn afkomstig van MNP/LOK (Leefomgevingskwaliteit), waar ze dienen als invoer voor geluidsberekeningen.

### *Aantal woningen buiten de bebouwde kom en aantal inwoners per gridcel van 500x 500 m*

Het aantal inwoners per gridcel van 500x500 meter is afkomstig uit de kaart 'toedeling naar gridcel op basis van aantal inwoners, woningen en inwoners/rioleringsseenheid', opgesteld door MNP. Deze kaart is gebaseerd op CBS-statistieken over aantal inwoners en aantal woningen per gemeente (voor 2005). De verdeling van inwoners binnen de gemeente over de gridcellen is gedaan gebruik makend van het verrijkt bestand Adres Coördinaten Nederland (met adressen en woningtypen) en bestand RioleringsEenheden (2003).

## 9 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

De berekeningsmethodiek is gewijzigd ten opzichte van eerdere publicaties (o.a. Klein et al., 2007) op de volgende punten

- Emissiefactoren fijn stof. De veranderingen ten opzichte van eerder door de taakgroep verkeer en vervoer gehanteerde emissiefactoren is beperkt en een gevolg van het hanteren van vaste fracties PM10 en PM2.5 in het totaal geproduceerde bandenstof voor iedere voertuig categorie (zie ook sectie 4.1)
- Verdeling van emissies naar bodem en riool binnen de bebouwde kom (zie ook sectie 7)
- Verdeling van emissies naar bodem en water buiten de bebouwde kom ((zie ook sectie 7)
- Gehaltes en afgeleide emissiefactoren van metalen en PAK uit bandenslijtage.

Een beknopte vergelijking tussen oude en nieuwe emissiefactoren voor fijn stof is gegeven in onderstaande tabel. Voor speciale voertuigen is geen vergelijking gegeven daar deze nu zijn opgesplitst in lichte – en zware speciale voertuigen. PM2.5 emissiefactoren waren in voorgaande documenten niet opgenomen.

Voertuigklasse		Bandenslijtage	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Personenauto's	Nieuw	100	5	1
	Oud	92	4,6	-
Bestelauto's	Nieuw	120	6	1,2
	Oud	120	6	-
Vrachtauto's <sup>1)</sup>	Nieuw	600	30	6
	Oud	495	24,75	-
Trekkeurs	Nieuw	495	25	5
	Oud	495	1,25	-
Autobussen	Nieuw	360	18	3,6
	Oud	360	18	-
Motorfietsen	Nieuw	50	2,5	0,5
	Oud	46	8,3	-
Bromfietsen	Nieuw	23	1,2	0,25
	Oud	23	1,2	-

<sup>1)</sup> Uitgaande van vrachtauto's met gemiddelde 10 banden

## 10 Betrouwbaarheid en verbeterpunten

Bij de classificatie van de kwaliteit van de informatie wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de werkwijze die in de publicatiereeks Emissieregistratie wordt aangehouden. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (CORE emission INventories AIR). Hierbij worden de volgende kwaliteitsclassificaties aangehouden:

- A: een getal gebaseerd op een groot aantal metingen aan representatieve locaties;
- B: een getal gebaseerd op een aantal metingen aan een deel van de voor de sector representatieve locaties;
- C: een getal gebaseerd op een beperkt aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van de technische kennis van het proces;
- D: een getal gebaseerd op een gering aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van aannames;
- E: een getal gebaseerd op een technische berekening op basis van een aantal aannames.

De emissiefactoren zijn, afhankelijk van de stof of stofgroep, gebaseerd zijn op een variërend aantal onderzoeken in binnen- en buitenland die, wederom verschillend per stof, meer of minder variatie vertonen. Op grond hiervan is voor de emissiefactoren per stof / stofgroep een classificatie gekozen van B, C of D. De emissieverklarende variabele wordt regelmatig bijgehouden door de Taakgroep Verkeer en Vervoer en kan in de categorie A worden ingedeeld.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten zijn zeer onzeker, zodat hiervoor de categorie D wordt gehanteerd. De onzekerheid in emissieroutes naar water is in relatie daarmee weer minder groot en krijgt een kwalificatie B. De regionalisatie van de emissies tenslotte is vrij betrouwbaar, wat resulteert in een betrouwbaarheidsclassificatie B.

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidsclassificatie
Emissieverklarende variabele	A
Emissiefactor totaal	B
Emissiefactor PM <sub>10</sub>	D
Emissiefactor PM <sub>2,5</sub>	D
Emissiefactor PAK	C
Emissiefactor zink	B
Verdeling compartimenten	D
Emissieroutes naar water	B
Regionalisatie	B

De fabricage van bandenrubber is een complex industrieel-chemisch proces waarbij een groot aantal chemicaliën gebruikt worden, waaronder ook potentieel toxische stoffen zoals dithiocarbamaten en organische stikstofverbindingen. Het is echter niet bekend in welke mate deze stoffen nog in het uiteindelijke product voorkomen en als zodanig kunnen vrijkomen. Indien hier in de toekomst data over beschikbaar komen zou de factsheet op dit punt bijgesteld dienen te worden.

## 11 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met Joost van den Roovaart (Rijkswaterstaat Waterdienst). E-mail: [joost.vanden.roovaart@rws.nl](mailto:joost.vanden.roovaart@rws.nl), Tel: 0320-298866, of TNO Bouw en Ondergrond (Hugo Denier van der Gon, E-mail: [hugo.deniervandergon@tno.nl](mailto:hugo.deniervandergon@tno.nl) en/of Jan Hulskotte E-mail [jan.hulskotte@tno.nl](mailto:jan.hulskotte@tno.nl))

## 12 Referenties

- Annema (ed) et al. – Basisdocument fijn stof – (1994) – RIVM rapport nr. 710401029, Bilthoven, the Netherlands, 1994.
- Baumann, W. et al. – Exemplarische erfassung der Umweltexposition ausgewählter Kauschukderivate bei der bestimmungsgemäßen Verwendung in Reifen und deren Entsorgung –UBA-FB 98-003, 1997.
- BLIC, Tyre particulates as a source of PAHs in the environment, cited in CSTE (2003), 2002.
- BLIC and ZOPA (2001a). Comments on the 17 November draft RAR of Zn and compounds, Letter of Alex Coursier, 2 February 2001 (UMZC/Mktg/AC05/02/01); cited in Blok (2005)
- BLIC and ZOPA. (2001b) Industry comments on RAR draft of February 2001. Releases of zinc to the environment from the wearing of tyres, Lettre of April 27, 2001; cited in Blok (2005)
- Blok, J. – Environmental exposure of road borders to zinc –Science of the Total Environment 348 (2005), 173 – 190.
- Brewer, P. – Vehicles as a source of heavy metal contamination in the environment (unpublished) – MSc thesis, University of Reading, Berkshire, UK, 1997. Geciteerd in <http://vergina.eng.ath.gr/>
- Cadle, S.; Williams, R. – Environmental degradation of tire-wear particles –Rubber chemistry and technology (53) 1978, 146 – 158.
- CSTEE, 2003, Opinion of the scientific committee on toxicity, ecotoxicity and the environment (CSTEE) on "Questions to the CSTEE relating to scientific evidence of risk to health and the environment from polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres", Adopted by the CSTEE during the 40th plenary meeting of 12-13 November 2003
- Dannis, M. – Rubber dust from the normal wear of tires –Rubber chemistry and technology 47 (1974), 1011 – 1037.
- Doki, S.; Kunimi, H.; Takahasi, K. – Estimation of tire emission factors by roadside observation – Japan Clean Air Program (JCAP II), paper presented at 43rd annual meeting of Japan Society for Atmospheric environment, 2002.
- Emission Inventory Guidebook – Road Vehicle Tyre & Brake Wear, Snap Code 070700/070800 – 2003
- EU (2005) EU Directive 2005/69/EC on restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres)
- Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway – Legret, M.; Pagotto, C. – The science of the total environment 235 (1999), 143-150.
- Fausser, P., J. C. Tjell, H. Mosbaek and K. Pilegaard, Quantification of Tire-Tread Particles Using Extractable Organic Zinc as Tracer. Rubber chemistry and technology, 72, 969-977, 1999.
- Fishman, R. – Tire wear contributions to ambient particulate matter – Msc thesis, Sever Institute of Technology, Washington University, 1998.

- Garbet et al. – Emissionskataster Kraftfahrzeugverkehr Berlin 1993 - IVU GmbH Berlin, Gutachten im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Umweltschutz und Technologie, Berlin, unveröffentlicht, 1997.
- Gebbe et al. – Quantifizierung des Reifenabriebs von Kraftfahrzeugen in Berlin –ISS-Fahrzeugtechnik, TU Berlin, i. A. der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung – Umweltschutz und Technologie, Berlin 1997.
- Hewit, C.; Rashed, M. – An integrated budget for selected pollutants for a major rural highway – *The Science of the Total Environment* (93), 375 – 384, Elsevier Science, 1990.
- Hofstra U. (2006), Instrooirubber op kunstgrasvelden uit geshredderde autobanden., Onderzoek naar milieu- en gezondheidsrisico's. Intron..
- Hügli, C.; Gehrig, R. – Anteil des Strassenverkehrs an den PM10- und PM2,5-Immisionen, Chemische Zusammenetzung des Feinstaubes und Quellenzuordnung mit einem Rezeptormodell, Kurzfassung – NFP41/C4, Bericht Nr 801.583.d, BBL/EDMZ, Bern, Switzerland, 2000.
- KEMI: HA oils in automotive tyres – prospects of a national ban. Report on a government commission. Swedish National Chemicals Inspectorate, 27 March 2003.
- Keuken, M.; Teeuwisse, S.; ten Brink, H.M. – Research on the contribution of road dust emissions to PM10 concentrations in the Netherlands – TNO Report Nr. R99/505, TNO-MEP, Apeldoorn, The Netherlands, 1999
- Klein J., A. Hoen, J. Hulskotte, N. van Duynhoven, R. Smit, A. Hensema, D. Broekhuizen, Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland, Taakgroep Verkeer en Vervoer van het project Emissieregistratie, Oktober 2007, <http://www.emissieregistratie.nl/>
- Legret, M.; Pagotto, C. – Evaluation of pollutant loadings in the runoff waters from a major rural highway – *The science of the total environment* (235), 143 – 150, 1999.
- LeMaitre, O. M. Süssner and c. Zarak, , Evaluation of tyre wear performance, SAE technical paper series 980256, International congress and Exposition, Detroit, Michigan. 1998
- Luhana, L.; Sokhi, R.; Warner, L.; Mao, H.; Boulter, P.; McCrae, I.; Wright, J.; Osborn, D. – Particulates – Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles, Deliverable 8: Measurement of non-exhaust particulate matter, Version 2.0 – October 2004
- LUT (Lulea University of Technology) - Technical and Environmental Properties of Tyre Shreds Focusing on Ground Engineering Applications; 2004.; <http://epubl.ltu.se/1402-1536/2004/05/index.html>
- Malmqvist, P-A – Urban storm water pollutant sources – Chalmers University, Gothenberg, Sweden, 1983.
- Molder, R. te, 2007. Notitie ruimtelijke verdeling binnen de emissieregistratie. Een overzicht.
- NBI (Norges Byggforskninginstitut) Oppdragsrapport, Potensielle helse- og miljøeffekter tilknyttet kunstgresssystemer-sluttrapport. Byggforsk rapport O-10820. 15p, 2004
- Nilsson, N.; Feilberg, A.; Pommer, K. – Emissions and evaluation of health effects of PAH's and aromatic mines from tyres – Survey of Chemical Substances in Consumer Products, No. 54 2005.
- Noordermeer (2006) Stellingname betreffende beantwoording Kamervragen 2050603510 door de Staatsecretaris van Volksgezondheid, Welzijn en Sport. Universiteit Twente, Faculteit Technische Natuurwetenschappen, Rubbertechnologie.
- Pierson, W.; BrachrcZek, W. – Airborne particulate debris from rubber tires – *Rubber chemistry and technology* (47), 1275 – 1299, 1974.
- Rauterberg-Wulff A: Tire wear as source of PAH, Umweltbundesamt, Berlin CSTEE/2003/18/4, 2003
- Rauterberg-Wulff, A, Determination of emission factors for tire wear particles up to 10 microns by tunnel measurements, Proceedings Of The Eighth International Symposium Transport And Air Pollution Including Cost 319 Final Conference, Sturm, P.J.; [Ed.]; Graz, Austria, 31 May - 2 June 1999, Report Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics, Vol. 76, pp 265-72, 1999
- Rauterberg-Wulff, A.; Israel, G.W.; Pesch, M.; Schlums, C. – Bestimmung des Beitrags von Reifenabtrieb zur Russimmision an stark befahrenen Strassen – VDI Berichte NR. 1228, 1998
- San Miguel, G; Fowler, G.; Sollars, C. – The leaching of inorganic species from activated carbons produced from waste tyre rubber - *Water research* (36), 1939 – 1946, 2002.
- Singh, R.; Colls, J. – Development and Preliminary Evaluation of a Particulate Matter Emission Factor Model for European Motor Vehicles – *Journal of the Air & Waste Management Association* 50, 1805 – 1807, Technical Paper, 2000.
- Stark, R. – Environmental impact of a tyre – *Kautchuk Gummi Kunststoffe* (48), 448 – 453, 1995.
- Subramini, J. – Particulate air pollution from automobile tire tread wear – PhD dissertation, University of Cincinnati, 1971. Geciteerd in Fishmann, 1998.
- Techn. Univ. Berlin, Fachgebiet Luftreinhaltung – Untersuchung über die Bedeutung der Staubaufwirbelung für die PM10 Immission an einer Hauptverkehrsstrasse - (2000).
- US-Environmental Protection Agency, Office of Mobile Sources – Software-based algorithm for calculating emissions from mobile sources PART5, Version as of 2002 – US-EPA 2002.
- Van den Brink, R. – Deeltjesemissie door wegverkeer, emissiefactoren, deeltjes-grootteverdeling en chemische samenstelling - RIVM report no. 772002008, Bilthoven, the Netherlands, 1996.
- Warner L.R., Sokhi R.S., Luhana L., Boulter P.G., McCrae I. "Non-Exhaust Particle Emissions from Road Transport", Graz University of Technology – Transport and Air Pollution Symposium, Proceedings Volume I, , pp 265-272, 2002.

## Bijlage 1 – Emissies lichte / zware voertuigen per compartiment

Tabel B1: Emissies van lichte wegvoertuigen naar riool binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	3.0	2.7	2.6	3.0	3.0	3.0	3.9
Arseenverb. (als As)	2.4	2.2	2.1	2.4	2.4	2.4	3.1
Cadmiumverb. (als Cd)	3.0	2.7	2.6	3.0	3.0	3.0	3.9
Chroomverb. (als Cr)	30	27	26	30	30	30	39
Koperverb. (als Cu)	150	136	132	150	150	151	195
Loodverb. (als Pb)	30	27	26	30	30	30	39
Nikkelverb. (als Ni)	150	136	132	150	150	151	195
Seleenverb. (als Se)	300	273	265	300	299	302	390
Zinkverb. (als Zn)	29155	26325	25746	29328	29308	29639	37762
Anthraceen	6.2	5.6	5.4	6.1	6.1	6.2	0.8
Benzo(a)Anthraceen	19	17	17	19	19	19	2
Benzo(a)Pyreen	16	15	14	16	16	16	2
Benzo(b)Fluorantheen	48	44	43	48	48	48	6
Benzo(ghi)Peryleen	37	34	33	37	37	37	5
Benzo(k)Fluorantheen	27	24	24	27	27	27	3
Chryseen	71	64	62	70	70	70	9
Fenanthreen	32	29	28	32	32	32	4
Fluorantheen	56	51	50	56	56	56	7
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	5.8	5.3	5.1	5.8	5.8	5.8	0.8
Naftaleen	21	19	19	21	21	21	3
Grof stof	3000039	2726076	2646885	2999931	2992425	3021143	3896381

Tabel B2: Emissies van zware wegvoertuigen naar riool binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9
Arseenverb. (als As)	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
Cadmiumverb. (als Cd)	0.8	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7	0.9
Chroomverb. (als Cr)	8	6	7	7	7	7	9
Koperverb. (als Cu)	38	29	33	34	34	34	46
Loodverb. (als Pb)	8	6	7	7	7	7	9
Nikkelverb. (als Ni)	38	29	33	34	34	34	46
Seleenverb. (als Se)	75	58	66	67	67	68	91
Zinkverb. (als Zn)	12811	9873	11305	11431	11426	11639	15514
Anthraceen	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1
Benzo(a)Anthraceen	1.6	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4	0.2
Benzo(a)Pyreen	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	0.2
Benzo(b)Fluorantheen	4.0	3.1	3.5	3.6	3.6	3.6	0.5
Benzo(ghi)Peryleen	3.0	2.3	2.7	2.7	2.7	2.7	0.4
Benzo(k)Fluorantheen	2.2	1.7	1.9	1.9	1.9	2.0	0.3
Chryseen	5.8	4.5	5.1	5.2	5.2	5.3	0.7
Fenanthreen	2.6	2.0	2.3	2.4	2.4	2.4	0.3
Fluorantheen	4.6	3.5	4.1	4.1	4.1	4.2	0.6
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.1
Naftaleen	2	1	2	2	2	2	0
Grof stof	753616	580789	664991	672386	672106	684666	912616

Tabel B3: Emissies van lichte wegvoertuigen naar bodem binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	2.0	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.6
Arseenverb. (als As)	1.6	1.5	1.4	1.6	1.6	1.6	2.1
Cadmiumverb. (als Cd)	2.0	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	2.6
Chroomverb. (als Cr)	20	18	18	20	20	20	26
Koperverb. (als Cu)	100	91	88	100	100	101	130
Loodverb. (als Pb)	20	18	18	20	20	20	26
Nikkelverb. (als Ni)	100	91	88	100	100	101	130
Seleenverb. (als Se)	200	182	176	200	199	201	260
Zinkverb. (als Zn)	19437	17550	17164	19552	19539	19759	25175
Anthraceen	4.1	3.8	3.6	4.1	4.1	4.1	0.5
Benzo(a)Anthraceen	13	12	11	13	13	13	2
Benzo(a)Pyreen	11	10	9	11	10	11	1
Benzo(b)Fluorantheen	32	29	28	32	32	32	4
Benzo(ghi)Peryleen	25	23	22	25	24	25	3
Benzo(k)Fluorantheen	18	16	16	18	18	18	2
Chryseen	47	43	41	47	47	47	6
Fenanthreen	21	20	19	21	21	21	3
Fluorantheen	37	34	33	37	37	37	5
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	3.9	3.5	3.4	3.9	3.8	3.9	0.5
Naftaleen	14	13	12	14	14	14	2
Grof stof	2000026	1817384	1764590	1999954	1994950	2014095	2597588

Tabel B4: Emissies van zware wegvoertuigen naar bodem binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
Arseenverb. (als As)	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
Cadmiumverb. (als Cd)	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
Chroomverb. (als Cr)	5.0	3.9	4.4	4.5	4.5	4.6	6.1
Koperverb. (als Cu)	25	19	22	22	22	23	30
Loodverb. (als Pb)	5.0	3.9	4.4	4.5	4.5	4.6	6.1
Nikkelverb. (als Ni)	25	19	22	22	22	23	30
Seleenverb. (als Se)	50	39	44	45	45	46	61
Zinkverb. (als Zn)	8541	6582	7537	7620	7617	7760	10343
Anthraceen	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
Benzo(a)Anthraceen	1.1	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	0.1
Benzo(a)Pyreen	0.9	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1
Benzo(b)Fluorantheen	2.7	2.1	2.3	2.4	2.4	2.4	0.3
Benzo(ghi)Peryleen	2.0	1.5	1.8	1.8	1.8	1.8	0.2
Benzo(k)Fluorantheen	1.5	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3	0.2
Chryseen	3.9	3.0	3.4	3.5	3.5	3.5	0.5
Fenanthreen	1.8	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6	0.2
Fluorantheen	3.1	2.4	2.7	2.7	2.7	2.8	0.4
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
Naftaleen	1.2	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	0.1
Grof stof	502411	387193	443328	448257	448071	456444	608411

Tabel B5: Emissies van lichte wegvoertuigen naar lucht binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Arseenverb. (als As)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3
Cadmiumverb. (als Cd)	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3
Chroomverb. (als Cr)	2.6	2.3	2.3	2.6	2.6	2.6	3.3
Koperverb. (als Cu)	13	12	11	13	13	13	17
Loodverb. (als Pb)	2.6	2.3	2.3	2.6	2.6	2.6	3.3
Nikkelverb. (als Ni)	13	12	11	13	13	13	17
Seleenverb. (als Se)	26	23	23	26	26	26	33
Zinkverb. (als Zn)	2486	2245	2201	2511	2509	2537	3233
Anthraceen	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.1
Benzo(a)Anthraceen	1.6	1.5	1.4	1.6	1.6	1.6	0.2
Benzo(a)Pyreen	1.4	1.2	1.2	1.4	1.3	1.4	0.2
Benzo(b)Fluorantheen	4.1	3.8	3.6	4.1	4.1	4.1	0.5
Benzo(ghi)Peryleen	3.2	2.9	2.8	3.2	3.1	3.2	0.4
Benzo(k)Fluorantheen	2.3	2.1	2.0	2.3	2.3	2.3	0.3
Chryseen	6.0	5.5	5.3	6.0	6.0	6.0	0.8
Fenanthreen	2.7	2.5	2.4	2.7	2.7	2.7	0.4
Fluorantheen	4.8	4.4	4.2	4.8	4.8	4.8	0.6
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.1
Naftaleen	1.8	1.6	1.6	1.8	1.8	1.8	0.2
Fijn stof (PM10)	255739	232452	226226	256793	256120	258536	333545
Fijn stof (PM2,5)	51148	46490	45245	51359	51224	51707	66709

Tabel B6: Emissies van zware wegvoertuigen naar lucht binnen bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb. (als Sb)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Arseenverb. (als As)	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Cadmiumverb. (als Cd)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Chroomverb. (als Cr)	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8
Koperverb. (als Cu)	3.3	2.5	2.9	2.9	2.9	3.0	4.0
Loodverb. (als Pb)	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.8
Nikkelverb. (als Ni)	3.3	2.5	2.9	2.9	2.9	3.0	4.0
Seleenverb. (als Se)	6.6	5.1	5.8	5.9	5.9	6.0	8.0
Zinkverb. (als Zn)	1117	860	985	996	995	1014	1352
Fenanthreen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Anthraceen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Fluorantheen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Chryseen	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
Benzo(a)Anthraceen	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Benzo(a)Pyreen	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Benzo(b)Fluorantheen	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.1
Benzo(k)Fluorantheen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Benzo(ghi)Peryleen	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Naftaleen	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Fijn Stof (PM10)	65682	50610	57939	58582	58556	59649	79514
Fijn Stof (PM2,5)	13136	10122	11588	11716	11711	11930	15903

Tabel B7: Emissies van lichte wegvoertuigen naar oppervlaktewater buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Arseenverb, (als As)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
Cadmiumverb, (als Cd)	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Chroomverb, (als Cr)	4.5	4.5	4.9	5.0	4.8	4.8	5.0
Koperverb, (als Cu)	22	23	25	25	24	24	25
Loodverb, (als Pb)	4.5	4.5	4.9	5.0	4.8	4.8	5.0
Nikkelverb, (als Ni)	22	23	25	25	24	24	25
Seleenverb, (als Se)	45	45	49	50	48	48	50
Zinkverb, (als Zn)	4286	4341	4726	4741	4608	4555	4748
Fenanthreen	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	0.1
Anthraceen	3.0	3.1	3.6	3.8	3.7	3.7	0.4
Fluorantheen	2.5	2.6	3.0	3.1	3.1	3.1	0.3
Chryseen	7.5	7.9	9.2	9.6	9.4	9.4	1.0
Benzo(a)Anthraceen	5.7	6.1	7.1	7.3	7.2	7.2	0.8
Benzo(a)Pyreen	4.1	4.4	5.1	5.3	5.2	5.2	0.6
Benzo(b)Fluorantheen	11	12	13	14	14	14	2
Benzo(k)Fluorantheen	5.0	5.3	6.1	6.4	6.2	6.2	0.7
Benzo(ghi)Peryleen	9	9	11	11	11	11	1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1	0.1
Naftaleen	3.3	3.5	4.0	4.2	4.1	4.1	0.5
Grof Stof	449332	454719	494574	495306	481183	475344	496847

Tabel B8: Emissies van zware wegvoertuigen naar oppervlaktewater buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
Arseenverb, (als As)	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmiumverb, (als Cd)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
Chroomverb, (als Cr)	1.9	2.0	1.8	1.5	1.5	1.4	1.5
Koperverb, (als Cu)	9.6	9.8	8.8	7.7	7.4	7.2	7.5
Loodverb, (als Pb)	1.9	2.0	1.8	1.5	1.5	1.4	1.5
Nikkelverb, (als Ni)	10	10	9	8	7	7	8
Seleenverb, (als Se)	19	20	18	15	15	14	15
Zinkverb, (als Zn)	3259	3329	2998	2611	2505	2444	2553
Fenanthreen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Anthraceen	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
Fluorantheen	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.0
Chryseen	1.0	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	0.1
Benzo(a)Anthraceen	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.1
Benzo(a)Pyreen	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
Benzo(b)Fluorantheen	1.5	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	0.2
Benzo(k)Fluorantheen	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.1
Benzo(ghi)Peryleen	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	0.1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Naftaleen	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.1
Grof Stof	191712	195824	176326	153574	147377	143791	150148

Tabel B9: Emissies van lichte wegvoertuigen naar bodem buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	4.0	4.1	4.5	4.5	4.3	4.3	4.5
Arseenverb, (als As)	3.2	3.3	3.6	3.6	3.5	3.4	3.6
Cadmiumverb, (als Cd)	4.0	4.1	4.5	4.5	4.3	4.3	4.5
Chroomverb, (als Cr)	40	41	45	45	43	43	45
Koperverb, (als Cu)	202	205	223	223	217	214	224
Loodverb, (als Pb)	40	41	45	45	43	43	45
Nikkelverb, (als Ni)	202	205	223	223	217	214	224
Seleenverb, (als Se)	404	409	445	446	433	428	447
Zinkverb, (als Zn)	38575	39069	42530	42667	41475	40992	42734
Fenanthreen	9	9	11	11	11	11	1
Anthraceen	27	28	33	34	34	33	4
Fluorantheen	22	23	27	28	28	28	3
Chryseen	67	71	83	86	85	84	9
Benzo(a)Anthraceen	52	55	64	66	65	65	7
Benzo(a)Pyreen	37	40	46	48	47	47	5
Benzo(b)Fluorantheen	99	104	121	126	124	124	14
Benzo(k)Fluorantheen	45	47	55	57	56	56	6
Benzo(ghi)Peryleen	78	83	96	100	98	98	11
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	8	9	10	10	10	10	1
Naftaleen	30	31	36	38	37	37	4
Grof Stof	4043988	4092474	4451164	4457758	4330651	4278099	4471621

Tabel B10: Emissies van zware wegvoertuigen naar bodem buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	1.7	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4
Arseenverb, (als As)	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	1.1
Cadmiumverb, (als Cd)	1.7	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.4
Chroomverb, (als Cr)	17	18	16	14	13	13	14
Koperverb, (als Cu)	86	88	79	69	66	65	68
Loodverb, (als Pb)	17	18	16	14	13	13	14
Nikkelverb, (als Ni)	86	88	79	69	66	65	68
Seleenverb, (als Se)	173	176	159	138	133	129	135
Zinkverb, (als Zn)	29332	29961	26978	23497	22549	22000	22973
Fenanthreen	1.2	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	0.1
Anthraceen	3.7	4.0	4.0	3.7	3.6	3.6	0.4
Fluorantheen	3.0	3.3	3.2	3.0	2.9	2.9	0.4
Chryseen	9.4	10.2	10.1	9.4	9.2	9.1	1.1
Benzo(a)Anthraceen	7.1	7.7	7.6	7.1	6.9	6.9	0.8
Benzo(a)Pyreen	5.1	5.6	5.5	5.1	5.0	5.0	0.6
Benzo(b)Fluorantheen	14	15	15	14	13	13	2
Benzo(k)Fluorantheen	6.2	6.7	6.7	6.2	6.1	6.0	0.7
Benzo(ghi)Peryleen	11	12	12	11	11	11	1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	0.1
Naftaleen	4.1	4.4	4.4	4.1	4.0	4.0	0.5
Grof Stof	1725409	1762419	1586931	1382166	1326393	1294120	1351332

Tabel B11: Emissies van lichte wegvoertuigen naar lucht buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Arseenverb, (als As)	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Cadmiumverb, (als Cd)	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3
Chroomverb, (als Cr)	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5
Koperverb, (als Cu)	11	12	13	13	12	12	13
Loodverb, (als Pb)	2.3	2.3	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5
Nikkelverb, (als Ni)	11	12	13	13	12	12	13
Seleenverb, (als Se)	23	23	25	25	25	24	25
Zinkverb, (als Zn)	2175	2208	2410	2420	2353	2325	2421
Fenanthreen	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
Anthraceen	1.5	1.6	1.9	1.9	1.9	1.9	0.2
Fluorantheen	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	0.2
Chryseen	3.8	4.0	4.7	4.9	4.8	4.8	0.5
Benzo(a)Anthraceen	2.9	3.1	3.6	3.7	3.7	3.7	0.4
Benzo(a)Pyreen	2.1	2.2	2.6	2.7	2.7	2.7	0.3
Benzo(b)Fluorantheen	5.6	5.9	6.9	7.1	7.0	7.0	0.8
Benzo(k)Fluorantheen	2.5	2.7	3.1	3.2	3.2	3.2	0.4
Benzo(ghi)Peryleen	4.4	4.7	5.5	5.7	5.6	5.6	0.6
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.1
Naftaleen	1.7	1.8	2.1	2.1	2.1	2.1	0.2
Fijn Stof (PM10)	227970	231233	252145	252767	245579	242579	253285
Fijn Stof (PM2,5)	45594	46247	50429	50553	49116	48516	50657

Tabel B12: Emissies van zware wegvoertuigen naar lucht buiten bebouwde kom, (kg/jaar)

Stof	1990	1995	2000	2004	2005	2006	2015
Antimoonverb, (als Sb)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Arseenverb, (als As)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cadmiumverb, (als Cd)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Chroomverb, (als Cr)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Koperverb, (als Cu)	5.1	5.2	4.7	4.1	3.9	3.8	4.0
Loodverb, (als Pb)	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Nikkelverb, (als Ni)	5	5	5	4	4	4	4
Seleenverb, (als Se)	10	10	9	8	8	8	8
Zinkverb, (als Zn)	1736	1774	1598	1391	1335	1303	1360
Fenanthreen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Anthraceen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Fluorantheen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.0
Chryseen	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1
Benzo(a)Anthraceen	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.0
Benzo(a)Pyreen	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.0
Benzo(b)Fluorantheen	0.8	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.1
Benzo(k)Fluorantheen	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
Benzo(ghi)Peryleen	0.6	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.1
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0
Naftaleen	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.0
Fijn Stof (PM10)	102141	104335	93973	81851	78550	76643	80019
Fijn Stof (PM2,5)	20428	20867	18795	16370	15710	15329	16004