

**Emissieschattingen Diffuse bronnen
Emissieregistratie**

Bandenslijtage wegverkeer

Versie mei 2016

De gepresenteerde methode voor emissieberekening van de genoemde emissieoorzaken in deze factsheet is actueel, maar vanaf 2017 worden de nieuwe emissiecijfers niet meer toegevoegd. Ga voor de meest recente emissiecijfers naar de website van EmissieRegistratie (www.emissieregistratie.nl).

In opdracht van Rijkswaterstaat – WVL
Uitgevoerd door DELTARES en TNO

Bandenslijtage wegverkeer

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 (PM10, PM2,5), grof stof, metalen (vooral zink), PAK en nonylfenolen. Deze emissiebron wordt binnen de landelijke Emissieregistratie toegekend 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)
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)
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.

Binnen de EmissieRegistratie worden de verschillende voertuigcategorieën gesommeerd naar lichte en zware voertuigen. Personenauto's, bestelauto's, motortweewielers en speciale voertuigen-licht worden toegedeeld aan de lichte voertuigen. De overige categorieën worden toegedeeld aan de zware voertuigen.

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

Binnen bebouwde kom									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	beste- lauto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	23 214	137	1 247	3 987	767	323	341	14	40
1995	21 173	247	943	3 462	754	282	356	11	37
2000	18 679	320	988	2 458	632	195	328	16	44
2005	19 951	374	905	2 867	504	239	313	21	50
2010	20 790	396	1 557	2 771	445	278	366	25	55
2013	20 988	387	1 616	2 616	379	264	358	22	56
2014	20 932	379	1 635	2 633	364	264	345	23	53
Landelijke wegen									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	30 498	389	461	2 445	1 172	459	200	28	51
1995	30 408	699	387	3 281	1 048	538	207	21	48
2000	32 633	902	411	4 914	769	616	205	31	57
2005	34 843	1051	389	5 732	613	758	192	43	64
2010	36 295	1110	656	5 534	569	880	210	49	72
2013	36 672	1082	698	5 222	487	836	202	44	72
2014	36 538	1060	710	5 255	467	835	194	46	69
Snelwegen									
Jaar	personen- auto's	motortwee- wielers	brom- fietsen	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	autobus- sen	speciale voertuigen	
								Licht	Zwaar
1990	28 157	363	0	1 635	1 464	1 293	80	46	142
1995	32 572	663	0	3 820	1 924	1 799	81	35	134
2000	41 887	868	0	7 982	2 120	2 432	95	51	157
2005	44 711	1 026	0	9 310	1 690	2 992	86	70	179
2010	45 223	1 095	0	8 982	1 550	3 471	81	80	198
2013	45 551	1 072	0	8 471	1 336	3 296	74	72	201
2014	45 413	1 051	0	8 524	1 277	3 292	71	74	191

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. "Kilometragedaanpak". 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 slijtagefactor 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 (zie 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 is 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 mg/vkm^1 met een range van 1-14 mg/vkm (Tabel 2). Hoewel dit iets hoger is dan de waarde van 5 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 mg/vkm beïnvloedt door twee relatief hoge waarden (13 en 14 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 mg/vkm te houden, overeenkomend met 5% van 100 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 komt

¹ vkm = voertuigkilometer

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 PM₁₀ transparant te houden.

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

TSP ¹⁾	PM ₁₀	PM _{2,5}	Opmerkingen	Bron
(mg/km/voertuig)				
Personenauto's				
2 – 5 7.5 – 25	4 5 1 – 5 14 8 5	1,4 1,25	0.5 µm < d ²⁾ < 10 µm d < 0.5 µm Model output	Cadle and Williams (1978) 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 ₁₀ ± 1.1	Keuken et al. (1999) Rauterberg-Wulf (1999) Doki et al. (2002) Baumann et al. (1997) Stark (1995) Garbet et al. (1997) Hüglin et al. (2000) Warner et al. (2002); Luhana et al. (2004) Gebbe et al. (1997) Gemiddelden en spreiding
Vrachtauto's en bussen				
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)

¹⁾ TSP = Total Suspended Particles

²⁾ d = diameter

Tabel 3: Bandenslijtage en emissie aan fijn stof per voertuigcategorie

Voertuigklasse	Bandenslijtage	PM ₁₀	PM _{2,5}
	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 (KEMI, 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 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 bodemvulling voor sportvelden. De literatuurwaarden zijn gecompileerd in Tabel 4. Als totaal PAK is in Tabel 4 gedefinieerd als 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		Kemi, 2003 BLIC, 2002	Baumann <i>et al.</i> , 1998		LUT, 2004	NBI, 2004
PAK-component	Totaal PAK	PA ¹⁾	VA ¹⁾	PA	PA	VA	PA	PA
		13% HA-oil						
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
Totaal (VROMPAK + BbF)		46.9	47.9	82.3	36.8	25.2	42.8	30.8

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

¹⁾ 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 (± 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 literatuurbronnen. Indien geen spreiding is vermeld in Tabel 5 was enkel de gemiddelde waarde gedocumenteerd.

Tabel 5: Totaal PAK waarden in banden volgens andere bronnen.

Totaal PAK gehalte (mg/kg) in banden per voertuigklasse volgens literatuurbronnen						
Voertuigklasse	Vrachtauto			Personenauto		
Bron	min.	max.	gemiddeld	min.	max.	gemiddeld
CSTEE (2003)	13.5	31.5	22.5	18	112	65
Rauterberg-Wulff (2003)				30	360	195
LUT (2004)						62
NBI (2004)						67
TUV (Noordermeer, 2006)						47
Hofstra (2006)			14			33
TNO (Noordermeer, 2006)			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 hetzelfde 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 bandslijtage. 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 oliën (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

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 – 1 500	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 – 2 800	Ti	195
K	180	V	1
Li	0.23 – 2.3	Zn	8 000 – 13 500

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	
				%
Cadmium	1			EPA
Chroom	10			
Koper	50			
Nikkel	50			
Lood	100			
Antimoon	1			
Selenium	10			
Zink	0.95	1.3	1.7	Blok (2005); BLIC/ZOPA (2001a,b)

4.4 Emissiefactoren nonylfenolen

Nonylphenol/formaldehyde harsen worden gebruikt in de rubberindustrie als lijm / en als kleefmateriaal om de stroefheid van autobanden te verhogen. Met het teruglopen van emissies van nonylfenolen in het algemeen, kan emissie vanuit rubber van autobanden als bron belangrijker worden. De emissie kan berekend worden door het gehalte aan nonylfenol in autobanden (Tabel 9) te gebruiken als emissiefactor en vervolgens de emissie te schatten volgens de berekeningsmethodiek van emissie van zware metalen als gevolg van bandenslijtage.

Het gemiddelde gehalte aan nonylfenol in rubber van autobanden in 2004 is 10 mg/kg op basis van literatuur. Vóór 2004 wordt aanbevolen om 20 mg/kg als emissiefactor te gebruiken. Ná 2004, ondanks verbod toepassing in producten met een concentratie hoger dan 0,1%, wordt aanbevolen een emissiefactor van 10 mg/kg aan te houden, zie Tabel 10. Dit wordt beredeneerd vanuit de gedachte dat autobanden met hogere gehalten nonylfenol nog in omloop zijn en het enige tijd duurt voordat deze autobanden niet meer gebruikt worden (Schipper et al, 2010).

Tabel 9: Nonylfenol in rubber van autobanden.

Stof	Ref 1	Ref 2	Ref 2	Ref 2
iso nonylphenol in rubber granules (mg/kg)	21.2 *	21.6	9.12	1.12

Ref 1) LUT (2004);

Ref 2) NBI (2004);

* De Duitse norm voor nonylfenolen in rubber ligt op 100 mg/kg.

Tabel 10: Emissiefactoren nonylfenol bij toepassing in rubber van autobanden (mg/kg).

jaar	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013
emissiefactor	20	20	20	20	10	10	10	10

4.5 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 11.

Tabel 11: 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 et al. (1998)
Rustig rijden	12		
"Professioneel" rijden ¹⁾	70		
Droge condities	150	%	
Winter ten opzichte van zomer	140		

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

De gegevens van Dannis (1974) en Le Maitre 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 11 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 12 geeft de uiteindelijke gedifferentieerde emissiefactoren weer.

Tabel 12: Afgeleide emissiefactoren bandenslijtage binnen en buiten de bebouwde kom (mg/km).

Stofnaam	Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Landelijke wegen	Autosnelwegen
Grof stof	Personenauto	132	85	104
	Motortweewieler	60	39	47
	Bromfiets	13	9	10
	Bestelauto	159	102	125
	Vrachtauto	850	546	668
	Trekker	658	423	517
	Autobus	415	267	326
	Speciaal voertuig-licht	159	102	125
	Speciaal voertuig-zwaar	850	546	668
	PM10	Personenauto	6.6	4.3
Motortweewieler		3	2.0	2.4
Bromfiets		0.65	0.45	0.5
Bestelauto		8.0	5.1	6.3
Vrachtauto		43	27	33
Trekker		33	21	26
Autobus		21	13	16
Speciaal voertuig-licht		8.0	5.1	6.3
Speciaal voertuig-zwaar		43	27	33
PM2.5		Personenauto	1.3	0.85
	Motortweewieler	0.6	0.39	0.47
	Bromfiets	0.13	0.09	0.1
	Bestelauto	1.6	1.0	1.3
	Vrachtauto	8.5	5.5	6.7
	Trekker	6.6	4.2	5.2
	Autobus	4.2	2.7	3.3
	Speciaal voertuig-licht	1.6	1.0	1.3
	Speciaal voertuig-zwaar	8.5	5.5	6.7

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

4.6 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 13 staat, vanaf de introductie van ZOAB, de correctiefactor weergegeven

Tabel 13: Correctiefactoren voor ZOAB (Klein et al. 2016).

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	0.90	0.94	0.90
1991	14	0.87	0.92	0.87
1992	17	0.84	0.90	0.84
1993	22	0.79	0.87	0.79
1994	26	0.76	0.84	0.76
1995	31	0.71	0.81	0.71
1996	37	0.65	0.78	0.65
1997	43	0.60	0.74	0.60
1998	48	0.55	0.71	0.55
1999	50	0.52	0.70	0.52
2000	53	0.50	0.68	0.50
2001	56	0.47	0.66	0.47
2002	60	0.43	0.64	0.43
2003	62	0.41	0.63	0.41
2004	65	0.38	0.61	0.38
2005	69	0.35	0.59	0.35
2006	72	0.32	0.57	0.32
2007	75	0.29	0.55	0.29
2008	78	0.26	0.53	0.26
2009	79	0.25	0.52	0.25
2010	83	0.21	0.50	0.21
2011	83	0.21	0.50	0.21
2012	85	0.19	0.49	0.19
2013	86	0.18	0.48	0.18
2014	88	0.17	0.47	0.17

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 74%. De correctiefactor voor metalen wordt dan $[(1-0.74) + (0.74/20 (=reductiefactor\ metalen\ zie\ Tabel12))] = 0.30$.

4.7 Overzicht gebruikte profielen

In deze paragraaf worden de opgestelde profielen gepresenteerd. In Tabel 14 staan de totalen en wordt de differentiatie zichtbaar.

Tabel 14: Gehanteerde profielen voor de berekening van emissies van PAK en zware metalen.

Categorie	Component	Voertuigclassificatie	
		Licht ¹⁾	Zwaar ²⁾
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
	Arseen (als As)	1.00E-06	1.00E-06
	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
Overige stoffen	nonylfenolen t/m 2004	2.00E-05	2.00E-05
	nonylfenolen vanaf 2005	1.00E-05	1.00E-05

¹⁾ Personenauto's, motortweewielers, bromfietsen, bestelauto's en lichte speciale voertuigen

²⁾ 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 VROM PAK + 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 15.

Tabel 15: 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: http://www.milieuennatuurcompendium.nl/indicatoren/nl0026-Aantal-motorvoertuigen.html?i=15-103)	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 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.

In tabel 15a staat het reductiepercentage vermeld waarmee vanaf 2011 gerekend wordt, als gevolg van de invoering van EU-directive EG 76/769 (EU, 2005).

Tabel 15a: reductiepercentage voor berekening PAK slijtage banden.

	Reductie	PAK's banden lichte voertuigen	PAK's banden zware voertuigen
	%	kg/kg slijtage	
1990-2010	0	0.00011528	0.00003691
2011	20	0.000092224	0.000029528
2012	50	0.00005764	0.000018455
2013	70	0.000034584	0.000011073
2014	80	0.000023056	0.000007382
2016-2030	90	0.000011528	0.000003691

Voor nonylfenol geldt een verbod op gebruik (wijziging EG-verbodsrichtlijn Wms 1998 van 11 maart 2004). Dit heeft een reductie van de emissie van nonylfenolen naar water tot gevolg. Nonylfenol ethoxylaten mogen niet meer worden toegepast in producten met een concentratie hoger dan 0,1 gewichtsprocent. Uitzonderingen hierop zijn:

- gebruik in textiel-, metaal, en leerbewerking mits sterk emissiebeperkende maatregelen worden getroffen
- spermaciden
- op nationaal niveau toegelaten gewasbeschermingsmiddelen en biociden die nonylfenoethoxylaten als co-formulant bevatten

Uiteindelijk zal dus de emissie van nonylfenolen vanuit bandenslijtage afnemen. Het zal nog even duren voordat alle banden met nonylfenolen opgebruikt zijn.

6 Emissies

De tabellen 16 tot en met 19 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. In bijlage 1 staan de emissies uitgesplitst naar het lichte en zware wegverkeer voor de verschillende compartimenten.

Tabel 16: Emissies naar bodem als gevolg van bandenslijtage, (kg/jaar).

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Antimoonverb. (als Sb)	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.6	6.4
Arseenverb. (als As)	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.6	6.5
Cadmiumverb. (als Cd)	8.9	8.8	8.5	7.9	7.1	6.7	6.6
Chroomverb. (als Cr)	88	87	84	78	70	66	65
Koperverb. (als Cu)	451	449	436	410	372	356	350
Loodverb. (als Pb)	886	876	845	785	705	668	654
Nikkelverb. (als Ni)	442	437	421	391	351	332	325
Seleenverb. (als Se)	89	88	85	79	71	67	66
Zinkverb. (als Zn)	103 347	102 593	96 772	88 129	78 659	73 575	71 790
Anthraceen	15	15	15	14	13	3.6	2.4
Benzo(a)Anthraceen	46	45	45	43	39	11	7.3
Benzo(a)Pyreen	38	38	37	35	32	9.2	6.0
Benzo(b)Fluorantheen	117	115	114	108	98	28	18
Benzo(ghi)Peryleen	89	88	87	83	75	22	14
Benzo(k)Fluorantheen	65	64	63	60	54	16	10
Chryseen	170	168	166	158	143	41	27
Fenanthreen	77	76	75	72	65	19	12
Fluorantheen	136	134	132	126	114	33	21
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	14	14	14	13	12	3.4	2.2
Naftaleen	51	50	50	47	43	12	8.1
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)	177	171	157	66	52	47	45
Grof stof	8 846 183	8 748 078	8 427 543	7 820 772	7 025 444	6 644 213	6 502 101

Tabel 17: Emissies direct naar oppervlaktewater als gevolg van bandenslijtage (kg/jaar).

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Antimoonverb. (als Sb)	0.78	0.78	0.78	0.70	0.61	0.57	0.55
Arseenverb. (als As)	0.78	0.78	0.78	0.70	0.61	0.57	0.55
Cadmiumverb. (als Cd)	0.78	0.78	0.78	0.70	0.61	0.57	0.55
Chroomverb. (als Cr)	7.8	7.8	7.8	7.0	6.1	5.7	5.5
Koperverb. (als Cu)	39	39	39	35	30	28	28
Loodverb. (als Pb)	78	78	78	70	61	57	55
Nikkelverb. (als Ni)	39	39	39	35	30	28	28
Seleenverb. (als Se)	7.8	7.8	7.8	7.0	6.1	5.7	5.5
Zinkverb. (als Zn)	9 189	9 256	8 904	7 880	6 774	6 240	6 053
Anthraceen	1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	0.31	0.20
Benzo(a)Anthraceen	4.0	4.0	4.1	3.8	3.3	0.95	0.62
Benzo(a)Pyreen	3.3	3.3	3.4	3.2	2.8	0.79	0.51
Benzo(b)Fluorantheen	10	10	10	9.7	8.5	2.4	1.6
Benzo(ghi)Peryleen	7.8	7.8	8.0	7.4	6.5	1.8	1.2
Benzo(k)Fluorantheen	5.6	5.6	5.8	5.3	4.7	1.3	0.87
Chryseen	15	15	15	14	12	3.5	2.3
Fenanthreen	6.7	6.8	6.9	6.4	5.6	1.6	1.0
Fluorantheen	12	12	12	11	9.8	2.8	1.8
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1.2	1.2	1.3	1.2	1.0	0.29	0.19
Naftaleen	4.4	4.5	4.6	4.2	3.7	1.1	0.69
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)	16	16	16	7.0	6.1	5.7	5.5
Grof stof	779 290	784 021	775 070	699 882	606 513	566 242	551 271

Tabel 18: Emissies naar riool binnen de bebouwde kom als gevolg van bandenslijtage (kg/jaar).

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Antimoonverb. (als Sb)	2.7	2.5	2.1	2.2	2.3	2.2	2.2
Arseenverb. (als As)	2.7	2.5	2.1	2.2	2.3	2.2	2.2
Cadmiumverb. (als Cd)	2.7	2.5	2.1	2.2	2.3	2.2	2.2
Chroomverb. (als Cr)	27	25	21	22	23	22	22
Koperverb. (als Cu)	136	125	106	111	114	112	111
Loodverb. (als Pb)	272	250	213	222	228	224	223
Nikkelverb. (als Ni)	136	125	106	111	114	112	111
Seleenverb. (als Se)	27	25	21	22	23	22	22
Zinkverb. (als Zn)	30 267	28 039	23 796	24 308	24 905	24 255	24 037
Anthraceen	4.9	4.4	3.8	4.0	4.2	1.2	0.83
Benzo(a)Anthraceen	15	14	12	13	13	3.8	2.6
Benzo(a)Pyreen	12	11	9.7	10	11	3.2	2.1
Benzo(b)Fluorantheen	38	35	30	32	33	9.7	6.5
Benzo(ghi)Peryleen	29	26	23	24	25	7.4	4.9
Benzo(k)Fluorantheen	21	19	16	17	18	5.4	3.6
Chryseen	56	51	43	46	48	14	9.4
Fenanthreen	25	23	20	21	22	6.5	4.3
Fluorantheen	44	40	34	37	38	11	7.5
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	4.6	4.2	3.6	3.8	3.9	1.2	0.78
Naftaleen	17	15	13	14	14	4.3	2.8
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)	54	50	43	22	23	22	22
Grof stof	2 718 063	2 498 715	2 127 564	2 217 173	2 279 028	2 241 102	2 227 073

Tabel 19: Emissies naar lucht als gevolg van bandenslijtage (kg/jaar).

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Antimoonverb. (als Sb)	0.68	0.73	0.81	0.85	0.87	0.85	0.85
Arseenverb. (als As)	0.68	0.73	0.81	0.85	0.87	0.85	0.85
Cadmiumverb. (als Cd)	0.68	0.73	0.81	0.85	0.87	0.85	0.85
Chroomverb. (als Cr)	6.8	7.3	8.1	8.5	8.7	8.5	8.5
Koperverb. (als Cu)	34	36	40	43	44	43	42
Loodverb. (als Pb)	68	73	81	85	87	85	85
Nikkelverb. (als Ni)	34	36	40	43	44	43	42
Seleenverb. (als Se)	6.8	7.3	8.1	8.5	8.7	8.5	8.5
Zinkverb. (als Zn)	7 835	8 497	9 336	9 749	10 040	9 727	9 649
Anthraceen	1.1	1.2	1.4	1.5	1.5	0.44	0.30
Benzo(a)Anthraceen	3.6	3.8	4.2	4.5	4.6	1.4	0.92
Benzo(a)Pyreen	2.9	3.1	3.5	3.8	3.8	1.1	0.76
Benzo(b)Fluorantheen	9.0	9.5	11	11	12	3.5	2.3
Benzo(ghi)Peryleen	6.9	7.3	8.2	8.8	9.0	2.7	1.8
Benzo(k)Fluorantheen	5.0	5.3	5.9	6.4	6.5	1.9	1.3
Chryseen	13	14	16	17	17	5.1	3.4
Fenanthreen	6.0	6.3	7.1	7.6	7.8	2.3	1.5
Fluorantheen	10	11	12	13	14	4.1	2.7
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	0.42	0.28
Naftaleen	3.9	4.2	4.7	5.0	5.1	1.5	1.0
Nonylfenol/Ethoxylaten(Np/Npe)	13	14	16	8.5	8.7	8.5	8.4
fijn stof (pm10)	675 732	725 358	805 141	851 118	873 364	854 237	854 184
fijn stof (pm2.5)	135 146	145 072	161 028	170 224	174 673	170 847	168 442

7 Verdeling compartimenten

In Tabel 20 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 vanaf 2007 in de EmissieRegistratie.

Tabel 20: Verdelingspercentages voor bandenstof naar compartimenten zoals tot nu toe gehanteerd (bron: Klein et al., 2007).

	Bandenstof		
	lucht	bodem	oppervlaktewater
	%		
Fijn stof (incl metalen)			
bebouwde kom	100	0	0
landelijke wegen	100	0	0
autosnelwegen	100	0	0
Grof stof (incl metalen)			
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 21).

Tabel 21: Resultaten GIS-overlay rioleringsgebieden.

AggregatieNaam	Bodem Areaal [ha]	Riool Areaal [ha]
Bodem verhard	433 649	341 061
Bodem onverhard	2 893 753	336 033
Bodem semi-verhard	50 136	16 016
Som	3 377 538	693 109

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 wordt 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 naar 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 afgefilterd waardoor de hoeveelheid vuil per hoeveelheid water (de concentratie) van onverhard gebied kleiner wordt (afnemende bijdrage naar riool).
- De depositie van grof stof vindt dichterbij 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 het 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. Totdat betere meetgegevens beschikbaar komen wordt er vanuit gegaan dat 50 procent naar het riool binnen de bebouwde kom gaat 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 buiten 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 22 staat de nieuw voorgestelde verdeling van bandenstof naar de verschillende milieucompartimenten weergegeven.

Tabel 22: Voorgestelde verdelingspercentages voor bandenstof naar compartimenten.

	lucht	bodem	oppervlaktewater	riool
	%			
Fijn stof (incl metalen)				
bebouwde kom	100	0	0	0
landelijke wegen	100	0	0	0
autosnelwegen	100	0	0	0
Grof stof (incl metalen)				
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 de Emissieregistratie gebruik gemaakt van een set van digitale kaarten, welke aanwezig is bij RIVM. Deze set geeft de regionale verdeling in Nederland weer van allerlei grootheden, zoals bijvoorbeeld de bevolkingsdichtheid, verkeersintensiteit, landbouwactiviteiten, etc. Binnen de 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 23: 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 verkeersmilieukaarten 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 het RIVM. Deze kaart is gebaseerd op CBS-statistieken over aantal inwoners en aantal woningen per gemeente (voor 2010). De verdeling van inwoners binnen de gemeente over de gridcellen is gebaseerd op gegevens uit de Basisregistratie Adressen en Gebouwen (BAG, met adressen en woningtypen) in combinatie met het bestand Riolerings Eenheden (2003).

9 Opmerkingen/wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

In 2015 zijn de percentages ZOAB door RWS bijgesteld (Klein, 2016).

Jaartal	%ZOAB nieuw	%ZOAB oud
2003	62	62
2004	65	66
2005	69	70
2006	72	74
2007	75	78
2008	78	82
2009	79	86
2010	83	90
2011	83	92
2012	85	93

Jaartal	%ZOAB nieuw	%ZOAB oud
2013	86	95
2014	88	

De verkeersprestaties in de peiljaren zijn in 2012 veranderd ten opzichte van eerdere jaren omdat er nieuwe CBS cijfers beschikbaar zijn gekomen voor het aantal voertuigkilometers voor de speciale voertuigen, voor meer informatie zie "Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland (o.a. Klein et al., 2014).

De verkeersprestaties in de peiljaren zijn in 2010 veranderd ten opzichte van eerdere jaren omdat er nieuwe CBS cijfers beschikbaar zijn gekomen voor het aantal voertuigkilometers, voor meer informatie zie "Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland (o.a. Klein et al., 2009).

Nonylfenol is toegevoegd als stof die vrijkomt bij de slijtage van banden (Schipper et al, 2010)

De berekeningsmethodiek is in 2008 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 de 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 ₁₀	PM _{2,5}
mg/vkm				
Personenauto's	Nieuw	100	5	1
	Oud	92	4.6	-
Bestelauto's	Nieuw	120	6	1.2
	Oud	120	6	-
Vrachtauto's ¹⁾	Nieuw	600	30	6
	Oud	495	24.75	-
Trekken	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	-

¹⁾ Uitgaande van vrachtauto's met gemiddelde 10 banden

Originele factsheet

Broeke, H. ten; H. Denier van der Gon; J. Hulskotte - Emissies door banden- en wegdekslijtage door het wegverkeer, november 2007.

De factsheet wordt jaarlijks geupdate.

10 Betrouwbaarheid en verbeterpunten

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent, realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of zijn er andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de EVV een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de EVV wel goed over Nederland verdeeld worden?

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor:	
- PAK	50
- Zink	25
- Nonylfenol	400
Verdeling compartimenten	50
Emissieroutes via riool naar water	10
Regionalisatie	50

De emissieverklarende variabele wordt regelmatig bijgehouden door de Taakgroep Verkeer en Vervoer en krijgt een betrouwbaarheidspercentage van 10%.

De emissiefactoren zijn, afhankelijk van de stof of stofgroep, gebaseerd 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 betrouwbaarheidspercentage gekozen van 50% voor PAK en zink en 400% voor nonylfenolen. De nauwkeurigheid van de schatting van de emissie van nonylfenolen uit bandenslijtage is te vergelijken met die van de andere stoffen in bandenslijtage, met als verschil dat er zeer weinig getallen in autobandenrubber beschikbaar zijn.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten zijn zeer onzeker, zodat hiervoor een percentage van 50% wordt gehanteerd. De onzekerheid in emissieroutes via riool naar water is in relatie daarmee minder groot en krijgt een betrouwbaarheid van 10%. Dit is beschreven in de factsheet van de berekende effluenten RWZI's (Rijkswaterstaat WVL, 2014). De regionalisatie van de emissies is mede afhankelijk van het wegdektype. Dit resulteert in een betrouwbaarheidspercentage van 50%.

De belangrijkste verbeterpunten zijn:

- 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 Nanette van Duijnhoven van Deltares (E-mail: nanette.vanduijnhoven@deltares.nl, Tel: 06-10399534) of TNO Bouw en Ondergrond (Hugo Denier van der Gon, E-mail: hugo.deniervandergon@tno.nl en/of Jan Hulskotte E-mail 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 Kautschukderivate 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, Letter 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.
- CSTE, 2003, Opinion of the scientific committee on toxicity, ecotoxicity and the environment (CSTE) on "Questions to the CSTE relating to scientific evidence of risk to health and the environment from polycyclic aromatic hydrocarbons in extender oils and tyres", Adopted by the CSTE 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 Reifenabreißs 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..
- Hüglin, 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/>

- Klein, J. et al., Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, CBS, TNO, PBL en RWS, 2012
- Klein, J. et al., Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands, CBS, TNO, PBL en RWS, 2016
- 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.
- Most, P.F.J. van der, van Loon, M.M.J., Aulbers, J.A.W. en van Daelen, H.J.A.M., juli 1998. Methoden voor de bepaling van emissies naar lucht en water. Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 44.
- NBI (Norges Byggforskninginstitut) Oppdragsrapport, Potensiële 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 amines 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 Reifenabrieb zur Russimmission 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.
- Schipper, P.N.M., ir. M.J. Hehenkamp, dr. A.A. Vergouwen, dr. B. Pieters, dr. M. Vissers, drs. B. Jannink – Emissies van gevaarlijke stofgroepen in beeld, 2010.
- 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.
- Rijkswaterstaat WVL, 2014. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's, factsheet diffuse bronnen, mei 2014.
- 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.