

**Emissieschattingen Diffuse bronnen  
Emissieregistratie**

**Remslijtage**

Versie juni 2008

RIJKSWATERSTAAT – WATERDIENST  
in samenwerking met DELTARES en TNO

# Remslijtage

## 1 Omschrijving emissiebron

Deze factsheet bevat een rekenmethode voor de emissies ten gevolge van slijtage van remvoeringen in het wegverkeer. Slijtage van remvoeringen en depositie van de stofdeeltjes in het milieu is vooral voor koper een belangrijke bron.

Deze emissiebron wordt binnen de landelijke Emissieregistratie toegerekend aan de doelgroep Verkeer en Vervoer.

## 2 Toelichting berekeningswijze

De emissies worden separaat 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:

$$E_s = \text{emissie van deeltjes (kg)}$$

$$EVV = \text{verkeersprestatie, afgelegde afstand op het Nederlands wegennet, (km)}$$

$$EF = \text{emissiefactor (kg/km)}$$

De koperemissie kan worden berekend als een fractie van de geproduceerde stof:

$$E_x = E_s \times X$$

Waarbij

$$E_x = \text{emissie van component X (kg)}$$

$$X = \text{gehalte aan component X van de remvoering (-/-)}$$

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

## 3 Emissieverklarende variabele

De emissieverklarende variabele is de verkeersprestatie door de verschillende voertuigcategorieën. De totalen 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).

Table 1: Verkeersprestaties binnen de bebouwde kom per voertuigcategorie (miljoen km)

Jaar	personen-auto's	bestelauto's	vracht-auto's	trekkers	autobussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers
1985	21.425	3.628	702	276	297	100	224	448
1990	23.040	6.259	759	402	347	63	204	540
1995	22.447	5.221	422	519	250	36	132	639
2000	23.734	8.318	408	696	250	55	176	827
2005	19.647	8.296	372	793	243	66	275	733
2006	20.137	8.204	368	828	238	71	293	753

Tabel 2: Verkeersprestaties buiten de bebouwde kom per voertuigcategorie, exclusief autosnelwegen (miljoen km)

Jaar	personen-auto's	bestelauto's	vrachtauto's	trekkers	autobussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers
1985	26.479	649	1.222	521	184	16	35	171
1990	30.115	805	1.159	504	194	13	41	221
1995	32.239	3.133	1.044	498	163	15	55	418
2000	36.181	4.991	1.011	668	163	23	73	541
2005	34.407	6.222	921	761	159	28	114	733
2006	35.163	6.153	912	794	156	30	122	753

Tabel 3: Verkeersprestaties autosnelwegen (miljoen km)

Jaar	personen-auto's	bestelauto's	vrachtauto's	trekkers	autobussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers
1985	20.856	470	1.306	857	113	9	21	83
1990	28.119	716	1.441	1.124	119	8	27	126
1995	34.103	2.089	1.935	1.604	241	9	33	300
2000	37.890	3.327	1.874	2.151	241	14	44	388
2005	42.888	6.222	1.708	2.451	235	17	69	733
2006	43.116	6.153	1.690	2.558	230	18	73	753

#### 4 Emissiefactoren

##### Emissiefactoren voor stof uit remvoeringen

Emissiefactoren voor stof uit remvoeringen kunnen worden berekend als:

$$\text{gewicht remvoeringen (g)} * \text{slijtage voor vervanging (-/-) / levensduur (km)}$$

In de afgelopen jaren hebben verschillende onderzoeksgroepen schattingen gemaakt voor de totale emissiefactor uit remvoeringen. Een deel van deze emissiefactoren (bijvoorbeeld Pagotto et al. [1] en Luhana et al.[2]), zijn gebaseerd op bovenstaande massabalans. Andere emissiefactoren zijn verkregen door interpretatie van metingen. Met name voor de emissiefactoren gebaseerd op metingen lopen de resultaten nogal uiteen, van 1 tot 100 g/km. Hierbij moet in het achterhoofd worden gehouden dat metingen vaak niet direct een emissiefactor opleveren, maar de emissiefactor naar één compartiment (zie ook paragraaf 7).

Een aantal resultaten, gebaseerd op bovenstaande massabalans, staan weergegeven in tabel 3. Zoals daar is weergegeven, zijn de verschillen hier vrij klein. Desondanks zijn er wel verschillen in nauwkeurigheid van de methodiek. De emissiefactoren van Luhana et al. [2] lijken hierbinnen nog het meest betrouwbaar omdat deze zijn vastgesteld door metingen van het gewichtsverlies van de remschijven van een aantal auto's tijdens een nauwkeurig vastgesteld aantal verreden kilometers. Voor personenauto's worden daarom deze emissiefactoren aan gehouden. De emissiefactoren van Pagatto et al. [1] zijn gebaseerd op gemeten gewichtsverlies en een geschat aantal verreden kilometers en lijken iets minder nauwkeurig. Voor bestelauto's en vrachtauto's lijken deze emissiefactoren echter de beste die beschikbaar zijn. De emissiefactoren van Klein et al [4] zijn gebaseerd op schattingen van het gewichtsverlies en verreden aantal kilometers en zijn dus gebaseerd op een minder robuuste benadering. Voor motortweewielers is dit echter de enige waarde die beschikbaar is. Het resultaat van van Hyfte [3] is gebaseerd op review van beschikbare emissiefactoren in de literatuur betreft een gemiddelde van gepubliceerde emissiefactoren, inclusief een aantal interpretaties van depositiemetingen. Hierbij is geen rekening gehouden met de kwaliteit van de gepubliceerde emissiefactor met als gevolg dat de waarde van het gemiddelde ook aan kwaliteit inboet.

Tabel 4: Berekening van de emissiefactoren voor stof van remvoeringen per voertuigcategorie (mg/km)

	personen- auto's		bestelauto's		vrachtauto's		trekker s	autobussen	speciale voertuigen	motor- tweewielers
	v <sup>1)</sup>	a <sup>1)</sup>	v	a	V	a				
gewicht remvoering (g)	540	350	770	490	6.700	13.000				
slijtage bij vervangings (%)	75	75	75	75	75					
levensduur (1000 km)	30	75	30	75	200	400				
EF Pagotto [1]	13,4	3,5	19,4	4,9	25	25				
	8,5		12,2		25					
EF Luhana [2]	8,8									
EF Klein <sup>2)</sup> [4]	8		10		43		43	31		4
EF Van Hyfte [3]	6,8		10,6		26,5		26,5	17,2		4

1) v: voorremmen; a: achterremmen

2) betreft alleen het fijn-stof deel

Voor trekkers en autobussen wordt de emissiefactor voor vrachtauto's aangehouden. Voor lichte speciale voertuigen de emissiefactor voor bestelauto's en voor zware speciale voertuigen wordt de emissiefactor van vrachtauto's aangehouden. De geselecteerde emissiefactoren staan nog eens vet aangegeven in tabel 4.

#### Emissiefactoren binnen en buiten de bebouwde kom.

Binnen de bebouwde kom wordt in de regel meer frequent geremd dan buiten de bebouwde kom. Om die reden kan worden verwacht dat de emissiefactor per km binnen de bebouwde kom hoger is dan de emissiefactor buiten de bebouwde kom. Luhana et al. [2] heeft voor personenwagens de invloed onderzocht van de gemiddelde ritsnelheid op de slijtage van de remvoering. Bij een gemiddelde ritsnelheid van 80 km/u is de slijtage per km nog slechts 40% van de slijtage per km bij 40 km/u. Als men op basis van deze resultaten aanneemt dat de emissiefactor buiten de bebouwde kom 40% is van de emissiefactor binnen de bebouwde kom kan men vervolgens uit het aantal verreden kilometers binnen en buiten de bebouwde kom (tabel 1 en 2) en de gemiddelde emissiefactor in tabel 4, de emissiefactoren voor binnen en buiten de bebouwde kom in tabel 5 afleiden.

Tabel 5: Emissiefactoren voor de vorming van stof uit remvoeringen in het wegverkeer binnen en buiten de bebouwde kom (mg/km)

	personen auto's	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	auto- bussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor- tweewielers
EF totaal	8,8	12,2	25	25	25	12,2	25	4
EF binnen bebouwde kom	16,1	17,4	52,7	48,2	39,7	17,4	52,7	5,9
EF buiten bebouwde kom	6,4	7,0	21,1	19,3	16,1	7,0	21,1	2,3

#### Fijn stof

Schattingen van de hoeveelheid slijtage van de remvoering die wordt geëmitteerd als fijn stof lopen uiteen. Van den Brink [5] schat de hoeveelheid fijn stof in het gevormde remstof op 55%; Garg et al. [6] schatten deze fractie op 35%, gebaseerd op een analyse van deeltjesgrootteverdeling van het gevormde stof. Sanders et al. [7] meldt dat in laboratoriumtests gemiddeld 63% van de remvoeringslijtage vrijkomt als fijn stof. Fraunhofer [8] schat de fractie fijn stof op 40% op basis van metingen van deeltjesgrootte-verdelingen. Op basis van al deze gegevens schat van Hyfte [3] de hoeveelheid fijn stof in het gevormde remstof op 49%, welke wordt overgenomen in deze studie.

#### Kopergehalte en gehalte aan andere metalen

Het stof, afkomstig van remvoeringen is complex van samenstelling. Het bevat resten van de remvoeringen, welke bestaan uit metallische fibers (vooral koper, zink, lood en antimoon), anorganisch vulmateriaal (bijvoorbeeld goedkope metaaloxiden zoals bijvoorbeeld bariumoxide of kleiachtig materiaal) en wrijvingsmodificatoren (koolstof, grafiet) bij elkaar gehouden door veelal fenol-formaldehyde harsen. Daarnaast bevat het stof resten van de remschijf (veelal ijzer-nikkel-zink legeringen) en de remolie (specifieke organische componenten als n-alkaanzuren of polyalkeenglycol ethers). Door de hitte die vrijkomt bij het remmen kunnen de organische componenten worden omgezet naar PAK.

Aan het kopergehalte in de remvoeringen wordt in de literatuur veel aandacht besteed. Schattingen van dit kopergehalte zijn in vergelijking met veel andere metalen redelijk consistent en lopen uiteen van 5% (bijvoorbeeld Harrison [9]) tot 15% (bijvoorbeeld Pagotto [1]). Van Hyfte [3] geeft een inventarisatie van beschikbare literatuur en schat op basis van beschikbare Europese studies het gemiddeld kopergehalte op 10%. Deze 10% is ook in overeenstemming met interpretaties van concentratietoenames van fijn stof en koper op dat fijn stof in de Maastunnel [10].

De belangrijkste andere metaalverontreinigingen qua omvang en toxiciteit zijn Cu, Cd, Ni, Pb, Sb, Zn. Er zijn een aantal analyses beschikbaar van de remvoering zelf (bijvoorbeeld van Brewer [11] en Westerlund [12]). Daarnaast zijn er een aantal studies, waarin op basis van resultaten van opgevangen stof in de omgeving de samenstelling van gevormd remstof is ingeschat (zoals van Luhana et al., [2]; Hildeman, [13]). [14] richt zich specifiek op lood en berekent deze aan de hand van de samenstelling van een typische remvoering en het loodgehalte van de remvoering.

De metaalgehalten op basis van interpretaties van samenstelling van stofdepositie door Luhana et al., en Hildeman, resulteert in onwaarschijnlijk lage metaal-gehalten: ongeveer 300 keer zo laag ten opzichte van de analyses van de remvoeringen zelf. Waarschijnlijk zijn de stofmonsters van Hildeman en Luhana sterk verontreinigd met stof uit andere bronnen, terwijl daar onvoldoende goed voor gecorrigeerd wordt. De analyses van remvoeringen zelf (Brewer [11] en Westerlund [12]) lijken betere resultaten te geven, maar geven voor Ni en Zn mogelijk een onderschatting omdat deze componenten ook afkomstig kunnen zijn van de remschijf. Bij gebrek aan betere informatie worden deze analyses van remvoeringen gebruikt als emissiefactor. De Okopol-studie [14] lijkt voor lood de beste informatie te geven. De voor deze methodiek gekozen emissiefactoren staan in de laatste kolom van onderstaande tabel. De emissiefactoren van andere metalen dan koper zijn zeer onzeker en geven alleen een inschatting van de orde grootte van emissies.

Tabel 6: Metaalgehalte van stof van remvoeringen (mg/kg gevormd stof)

	Hildeman [13]	Brewer [11] <sup>1)</sup>	Westerlund, [12] <sup>1)</sup>	Okopol, [14] <sup>1,2)</sup>	Lulana [2] <sup>3)</sup>	keuze emissie-factor
koper	370	15.000-140.000	50.000-120.000	200.000	430	100.000
cadmium		3-30	3-8		-	10
nikkel	660	200-850	70-180		260	100
lood	50	2.000-4.000	9.000-19.000	7.000	320	10.000
antimoon		10.000		100.000	40	10.000
zink	270	300-22.000	7.000-24.000		4600	10.000

1) heeft betrekking op remvoering.

2) interpretatie van specificatie van Okopol: 20% 'brass fibers', 10% antimony compound en in totaal 0,7% lood in de remvoering

3) Lulana rapporteert metaal/koperverhoudingen. Uitgegaan is van 10% koper in het stof.

## 5 Maatregelen en effecten

Er zijn geen ontwikkelingen aangetroffen in de geraadpleegde literatuur omtrent emissiefactoren en kopergehalte van de remvoeringen.

## 6 Emissies

Onderstaande tabellen 7, 8 en 9 geven de primaire emissies van remstof voor de verschillende voertuigcategorieën per jaar weer. De emissies zijn berekend door vermenigvuldiging van de emissiefactoren in tabel 4 met de emissieverklarende variabele in tabel 1 en 2 en 3.

Tabel 7: Vorming van stof van remvoeringen binnen de bebouwde kom (ton)

Jaar	personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers	totaal
1985	345	89	37	13	12	2	12	3	512
1990	371	109	40	19	14	1	11	3	568
1995	361	91	22	25	10	1	7	4	521
2000	382	145	22	34	10	1	9	5	607
2005	316	144	20	38	10	1	14	4	548
2006	324	143	19	40	9	1	15	4	557

Tabel 8: Vorming van stof van remvoeringen buiten de bebouwde kom, exclusief autosnelwegen (ton)

Jaar	personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers	totaal
1985	169	5	26	10	3	0	1	0	215
1990	193	6	24	10	3	0	1	1	237
1995	206	22	22	10	3	0	1	1	265
2000	232	35	21	13	3	0	2	1	306
2005	220	44	19	15	3	0	2	2	305
2006	225	43	19	15	3	0	3	2	310

Tabel 9: Vorming van stof van remvoeringen op autosnelwegen (ton)

Jaar	personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen -licht	speciale voertuigen -zwaar	motor-tweewielers	totaal
1985	133	3	28	17	2	0	0	0	183
1990	180	5	30	22	2	0	1	0	240
1995	218	15	41	31	4	0	1	1	310
2000	242	23	40	42	4	0	1	1	353
2005	274	44	36	47	4	0	1	1	408
2006	276	43	36	49	4	0	2	2	411

## 7 Verdeling compartimenten

Voor kwantificering van de verdeling over de compartimenten wordt de methode van Van Hyfte [3] aangehouden, gebaseerd op de massabalans:

$$\text{emissie naar bodem en grondwater} = \text{vorming van remstof} - \text{deel dat aan voertuig blijft} - \text{deel geëmitteerd als fijn stof}$$

Het deel dat aan de auto achterblijft, wordt door Sundberg [15] geschat op 25%. Op basis van resultaten van laboratoriummetingen concludeert Sanders [7] dat 22-47% van het stof van de remvoering achterblijft. Op basis van deze gegevens schat van Hyfte [3] dat 31% op de auto achterblijft, deels wordt verwijderd in autowasserijen, garages en autosloperijen en dus verder niet bijdraagt aan emissies naar lucht, bodem of water.

Het deel geëmitteerd als fijn stof wordt op basis van gegevens in de literatuur door van Hyfte [3] geschat op 49%. De onderbouwing hiervan staat vermeld in paragraaf 4. Naar schatting 20% van het remstof (100% - 31% dat achterblijft aan het voertuig - 49% geëmitteerd als fijn stof) slaat volgens Van Hyfte [3] neer op bodem en oppervlaktewater.

Voor de verdeling over bodem en oppervlaktewater wordt de verdeling van Klein et al. [4] aangehouden: binnen de bebouwde kom wordt 60% via de riolering naar het oppervlaktewater afgevoerd. Buiten de bebouwde kom komt 90% op de bodem terecht en 10% direct op het oppervlaktewater: dus 18%, respectievelijk 2% van het totaal.

Tabel 10: Verdeling emissies over de compartimenten in %

compartiment	minimum	maximum	gemiddeld binnen bebouwde kom	gemiddeld buiten bebouwde kom
blijft aan voertuig	25	36	31	31
naar lucht (vooral PM <sub>10</sub> )	35	63	49	49
naar bodem			8	18
naar riool of oppervlaktewater			12	2

De koperbelasting kan worden berekend uit de hoeveelheid gevormd stof uit remvoeringen uit de tabellen 6, 7 en 8, het kopergehalte van de remvoering en het deel van het stof dat naar riool of oppervlaktewater wordt geëmitteerd.

De resulterende koperbelasting naar oppervlaktewater en riool staat berekend in de tabellen 11 en 12. In de bijbehorende formules staat uitgewerkt hoe deze emissies zijn berekend.

$$\text{koperemissie binnen de bebouwde kom naar het riool} = \text{vorming van stof uit remvoeringen} * \text{kopergehalte in dit stof} * \text{deel geëmitteerd naar water} = \text{vorming van stof uit remvoeringen in tabel 7} * 10\% * 12\%$$

Tabel 11: Emissie van koper van remvoeringen binnen de bebouwde kom naar riool (ton)

Jaar	Personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen	motor-tweewielers	totaal
1985	4,1	1,1	0,44	0,16	0,14	0,17	0,04	6,1
1990	4,4	1,3	0,48	0,23	0,17	0,14	0,04	6,7
1995	4,0	1,2	0,27	0,31	0,12	0,09	0,05	6,0
2000	3,6	1,4	0,26	0,42	0,12	0,13	0,04	6,0
2005	3,8	1,7	0,24	0,46	0,12	0,19	0,05	6,6
2006	3,9	1,7	0,23	0,48	0,11	0,20	0,05	6,7

$$\text{koperemissie buiten de bebouwde kom naar het oppervlaktewater} = \text{vorming van stof uit remvoeringen} * \text{kopergehalte in dit stof} * \text{deel geëmitteerd naar water} = \text{vorming van stof uit remvoeringen in tabel 8} * 10\% * 2\%$$

Tabel 12: Emissie van koper van remvoeringen buiten de bebouwde kom, exclusief autosnelwegen naar oppervlaktewater (ton)

Jaar	personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen	motor-tweewielers	totaal
1985	0,38	0,01	0,05	0,02	0,01	0,002	0,000	0,43
1990	0,38	0,01	0,05	0,02	0,01	0,002	0,001	0,47
1995	0,38	0,03	0,04	0,02	0,01	0,003	0,002	0,49
2000	0,42	0,07	0,04	0,03	0,01	0,004	0,003	0,57
2005	0,44	0,09	0,04	0,03	0,01	0,005	0,003	0,61
2006	0,45	0,09	0,04	0,03	0,01	0,006	0,003	0,62

De emissie op autosnelwegen wordt beperkt doordat in de loop der jaren steeds meer zeer open asfaltbeton (ZOAB) als deklaag wordt toegepast. Hierdoor zakt een groot deel van het vrijgekomen stof in de grove poriën weg. De verspreiding van stoffen wordt hierdoor grotendeels voorkomen. Van de meeste metalen wordt de emissie meer dan 90 procent teruggedrongen volgens een CIW-rapport [16]. Dit rapport bevat een overzicht van alle metingen die in de loop der jaren zijn uitgevoerd. In de berekeningen wordt er van uitgegaan dat, daar waar ZOAB ligt, de emissie met 95% wordt gereduceerd.

Voor PAK worden andere correctiefactoren gebruikt dan voor metalen[4]. In deze factsheet worden echter alleen emissies van metalen berekend.

Tabel 13: ZOAB-correctiefactoren voor metalen

Jaar	Aandeel ZOAB op autosnelwegen (in %)	ZOAB-correctiefactor
1985	0,5	1,00
1990	10	0,90
1995	31	0,71
2000	53	0,50
2005	68	0,35
2006	71	0,33

*koperemissie op autosnelwegen naar het oppervlaktewater =  
vorming van stof uit remvoeringen \* kopergehalte in dit stof \* deel geëmitteerd naar water =  
vorming van stof uit remvoeringen in tabel 9 \* 10% \* 2% \* ZOAB-correctiefactor*

Tabel 14: Emissie van koper van remvoeringen op autosnelwegen naar oppervlaktewater (ton)

Jaar	personen- auto's	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	auto- bussen	speciale voertuigen -licht	motor- tweewielers	totaal
1985	0,27	0,01	0,06	0,03	0,004	0,000	0,000	0,37
1990	0,32	0,01	0,05	0,04	0,003	0,001	0,001	0,43
1995	0,29	0,02	0,06	0,05	0,006	0,001	0,001	0,42
2000	0,25	0,04	0,04	0,04	0,004	0,001	0,001	0,38
2005	0,19	0,03	0,03	0,03	0,003	0,001	0,001	0,29
2006	0,18	0,03	0,02	0,03	0,002	0,001	0,001	0,27

De emissies van andere metalen kunnen op een zelfde manier worden berekend uit de vorming van stof uit remvoeringen in de tabellen 6, 7 en 8 en de metaalgehalten in het stof in tabel 6 en het deel dat wordt geëmitteerd naar riool of oppervlaktewater in tabel 9. Het resultaat staat in de tabellen 15 en 16.

Tabel 15: emissies van andere metalen van remvoeringen binnen de bebouwde kom naar riool (ton)

Jaar	Cadmium	Nikkel	Lood	Antimoon	Zink
1985	0,0006	0,006	0,6	0,6	0,6
1990	0,0007	0,007	0,7	0,7	0,7
1995	0,0006	0,006	0,6	0,6	0,6
2000	0,0006	0,006	0,6	0,6	0,6
2005	0,0007	0,007	0,7	0,7	0,7
2006	0,0007	0,007	0,7	0,7	0,7

Tabel 16: emissies andere metalen van remvoeringen buiten de bebouwde kom (incl. autosnelwegen) naar oppervlaktewater (ton)

Jaar	Cadmium	Nikkel	Lood	Antimoon	Zink
1985	0,00008	0,0008	0,08	0,08	0,08
1990	0,00009	0,0009	0,09	0,09	0,09
1995	0,00009	0,0009	0,09	0,09	0,09
2000	0,00009	0,0009	0,09	0,09	0,09
2005	0,00009	0,0009	0,09	0,09	0,09
2006	0,00009	0,0009	0,09	0,09	0,09

De emissies van remstof dat als fijn stof naar lucht wordt geëmitteerd wordt berekend door 49% (tabel 9) te berekenen over de totale primaire emissies zoals vermeld in tabel 6, 7 en 8.

Tabel 17: Emissies van fijn stof (PM10) als gevolg van slijtage van remvoeringen naar lucht (ton)

Jaar	Binnen bebouwde kom	Buiten bebouwde kom	Autosnelwegen	Totaal
1985	251	105	90	446
1990	275	115	117	506
1995	247	119	145	511
2000	243	140	186	569
2005	270	150	199	619
2006	273	152	201	626

De totale emissies van metalen naar lucht worden berekend door de totale emissie van tabel 17 te combineren met de gehalten van metalen die staan vermeld in tabel 6.

Tabel 18: emissies van metalen als gevolg van slijtage van remvoeringen naar lucht (ton)

Jaar	Koper	Cadmium	Nikkel	Lood	Antimoon	Zink
1985	44,6	0,045	0,45	4,5	4,5	4,5
1990	50,6	0,051	0,51	5,1	5,1	5,1
1995	51,1	0,051	0,51	5,1	5,1	5,1
2000	5,69.	0,057	0,57	5,7	5,7	5,7
2005	6,19	0,062	0,62	6,2	6,2	6,2
2006	6,26	0,063	0,63	6,3	6,3	6,3



## 8 Emissieroutes naar water

De emissies naar bodem en water binnen de bebouwde kom worden voor 60% als indirecte lozingen op het riool beschouwd en gaan voor 40 % naar de bodem. De emissies naar bodem en water buiten de bebouwde kom worden voor 90% aan het compartiment bodem toegekend en voor 10% als directe lozing op oppervlaktewater toegekend.

## 9 Regionalisatie

De emissies buiten de bebouwde kom worden geregionaliseerd op basis van de gegevens over verkeersintensiteit en binnen de bebouwde kom aan de hand van het aantal inwoners, zoals geregistreerd in het ERC (Emissieregistratie Collectief).

## 10 Opmerkingen en wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

In 2006 zijn diverse wijzigingen doorgevoerd. Voorheen werd alleen de fijn stof emissie als gevolg van de slijtage van remmen berekend door de taakgroep Verkeer en Vervoer. De emissiefactoren van het deel dat naar lucht gaat die nu worden gepresenteerd zijn lager dan de emissiefactoren van fijn stof die voorheen werden gebruikt door de taakgroep Verkeer en Vervoer omdat slechts 49% van de emissies van remstof als fijn stof worden aangemerkt terwijl dat voorheen 100% was. In dit rapport worden nu ook de emissie naar bodem en water berekend.

In het methodiekrapport van de taakgroep Verkeer en Vervoer, Klein et al. [4] werd uitgegaan van kopergehalten als gemeten door Hildeman [13] in buiten het voertuig opgevangen stof. Volgens inzichten in deze inventarisatie ligt het werkelijk kopergehalte in remvoeringen ongeveer 300 keer zo hoog. Dit laatste was aanleiding om de berekening te herzien. De hier berekende emissie van koper uit remvoeringen naar de lucht bedraagt in 2003 ongeveer 66 ton Cu ( totaal werd in 2004 1350 ton stof uit remvoeringen gevormd. 49% hiervan is fijn stof en betreft een emissie naar de lucht; 10% hiervan is koper). Tot dusver was de schatting van koperemissies 0,5 ton Cu [17].

In 2008 is de verdeling van de compartimenten binnen en buiten de bebouwde kom aangepast. Er wordt nu aangenomen dat de emissies binnen de bebouwde kom voor 60% naar riool en voor 40% naar bodem gaan, terwijl eerder werd aangenomen dat alle emissies naar riool gaan. Dit is nu gelijk getrokken met de compartimentverdeling zoals bij de berekening van de emissies door bandenslijtage.

## 11 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 [18]. 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.

In het algemeen kan worden gesteld dat de emissiefactoren gebaseerd zijn op een aantal onderzoeken in binnen- en buitenland. De resultaten van deze onderzoeken komen redelijk tot goed overeen. Op grond hiervan kan voor de emissiefactoren de classificatie B worden aangehouden. 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	betrouwbaarheids- classificatie
Emissieverklarende variabele	A
Emissiefactor koper	B
Emissiefactoren overige metalen	D
Verdeling compartimenten	D
Emissieroutes naar water	B
Regionalisatie	B

## 12 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met: Nanette van Duijnhoven, Deltares, 06-10399534, email Nanette.vanduijnhoven@deltares.nl

## 13 Referenties

- [1] Pagotto C., *Étude sur l'émission et le transfert dans les eaux et les sols des éléments traces métalliques et des hydrocarbures en domaine routier*. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'Université de Poitiers.
- [2] Luhana L., Sokhi R., Warner L., Mao H, Boulter P., McCrae I., Wright J and Osborn D., *PARTICULATES - Characterisation of Exhaust Particulate Emissions from Road Vehicles, Deliverable 8, Measurement of non-exhaust particulate matter*, Version 2.0 – October 2004, University of Hertfordshire, College Lane, Hatfield, Herts AL10 9AB, UK, 2004.
- [3] Van Hyfte A., et al., *EU Risk Assessment on Copper and copper compounds*, Assessment of Regional Exposure, final draft, May 2005, Ecolas, Antwerpen, België.
- [4] Taakgroep Verkeer en Vervoer van het project Emissieregistratie, *Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland*, CBS, MNP, RIZA, TNO, AVV, november 2006. <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/natuur-milieu/methoden/dataverzameling/overige-dataverzameling/2006-methoden-emissies-mobiele-bronnen-nederland-pub.htm>.
- [5] Brink R. v.d., *Deeltjesemissie door wegverkeer: emissiefactoren, deeltjesgrootteverdeling en chemische samenstelling*. RIVM, De Bilt. 1996.
- [6] Garg B.D., Cadle S.H., Mulawa P.A., Groblicki P.J., Laroo C., Parr G.A., *Brake wear particulate matter emissions*, Environ. Sci. Technol., 34, pp. 4463-3369, 2000.
- [7] Sanders P.G., Xu N., Dalka T.M. and Maricq M.M., *Airborne brake wear debris: Size distributions, composition, and a comparison of dynamometer and vehicle tests*. Environ Sci Technol. Vol. 37, pp 4060-4069, 2003.
- [8] Fraunhofer Institut, Presentatie, aan gereferereerd in Ecolas 2005: *Freisetzung von Schwermetallen aus Materialien in die Umwelt - Teilvorhaben 2: Ermittlung und Reduzierung des Eintgrags der Schwermetalle Kupfer, Zink und Blei aus ihre Verwendung als Dacheinbauten, Regenrinnen und Fallrohren*, 2003.
- [9] Harrison, *Copper from brake pads background material*. Prepared by Copper Research Information Flow for the Europe Copper Institute, 2003.

- [10]Denier v.d. Gon H., van het Bolscher M., Hollander K., Spoelstra H., *Particle matter in the size range of 2.5-10 microns in the Dutch environment - an exploratory study*, TNO report 2003/181, TNO, Apeldoorn, the Netherlands, 2003.
- [11]Brewer P, 1997: MSc. Thesis: *Vehicles as a source of heavy metal contamination in the environment* (unpublished). University of Reading, Berkshire, UK gerefereerd aan in Lulana et al. 2004.
- [12]Westerlund, *Metal emissions from Stockholm traffic – wear of brake linings*, Stockholm Environmental Administration, Sweden, 2001.
- [13]Hildemann L.M., Markowski G.R. and Cass G.R., *Chemical composition of emissions from urban sources of fine organic aerosol*. Environmental Science and Technology. Vol. 25 (4), pp 744-759, 1991.
- [14]Okopol, *Heavy metals in vehicles II*, Institute for Ecology and Political Affair, Hamburg, Duitsland, 2001.
- [15]Sundberg R., *Composition of brake pads during braking released material*, technical report D3262 2003-06-30 Outokumpu Västerås, 2003.
- [16]CIW, *Afstromend wegwater*, Werkgroep 4 Water en Milieu, april 2002
- [17]Datawarehouse Emissieregistratie ([www.emisieregistratie.nl](http://www.emisieregistratie.nl)), Cijfers vastgesteld juli 2004
- [18]Most, P.F.J. van der et al., *Methoden voor de bepaling van emissies naar lucht en water*. Publicatierreeks Emissieregistratie, nr. 44, juli 1998.