

Emissieschattingen Diffuse bronnen Emissieregistratie

Remslijtage

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

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 = emissie van deeltjes (kg)

EVV = verkeersprestatie, afgelegde afstand op het Nederlands wegennet (km)

EF = emissiefactor (kg/km)

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

$$E_x = E_s \times X$$

Waarbij

E_x = emissie van component X (kg)

X = 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). 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 aan de zware voertuigen.

In de onderstaande tabellen 1 t/m 3 staat een tijdreeks weergegeven van de verkeersprestaties door de verschillende voertuigcategorieën voor de verschillende rittypen.

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

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

Tabel 2: Verkeersprestaties landelijke wegen per voertuigcategorie (miljoen km)

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	1 051	389	5 732	613	758	192	43	64
2010	36 295	1 110	656	5 534	569	880	210	49	72
2013	36 672	1 082	698	5 222	487	836	202	44	72
2014	36 538	1 060	710	5 255	467	835	194	46	69

Tabel 2: Verkeersprestaties snelwegen per voertuigcategorie (miljoen km)

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

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 4. 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 geschat door de taakgroep

Verkeer en Vervoer [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 en 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 ¹⁾	a ¹⁾	v	a	V	a				
gewicht remvoering (g)	540	350	770	490	6 700	13 000				
slijtage bij vervanging (%)	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 ²⁾ [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, autobussen en zware speciale voertuigen wordt de emissiefactor voor vrachtauto's aangehouden. Voor lichte speciale voertuigen wordt de emissiefactor voor bestelauto's aangehouden. De geselecteerde emissiefactoren staan 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. De EF voor de snelwegen zijn gelijk aan de EF voor buiten de bebouwde kom.

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 binnen bebouwde kom	21	23	69	63	52	23	69	7.6
EF buiten bebouwde kom	6.3	6.8	21	19	16	6.8	21	2.3
EF snelweg	3.3	3.6	11	10	8	3.6	11	1.2

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, silicium en zink), 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 stofresten van de remschijf (veelal ijzer-nikkel-zink legeringen) en de remolie (specifieke organische componenten als n-alkaanzuren of polyalkeenglycoethers). Door de hitte die vrijkomt bij het remmen kunnen de organische componenten worden omgezet naar PAK.

In 2013 is er door TNO een onderzoek uitgevoerd naar de samenstelling van remschijven [20]. Daarvoor is van 65 gebruikte remvoeringen en 12 gebruikte remschijven de samenstelling bepaald. Hiervoor werd röntgenfluorescentiespectrometrie (XRF) gebruikt. Een techniek waarbij de samenstelling van een monster uit chemische elementen wordt bepaald.

De gevonden samenstelling uit de TNO studie wordt gebruikt als emissiefactor voor deze factsheet. In het TNO rapport wordt uitgegaan van een verhouding van 71/29 voor de slijtage van remvoeringen versus de remschijven. Sanders [21] komt tot een verhouding van 60/40. Voor deze factsheet is het gemiddelde van beide studies genomen, waarbij wordt uitgegaan van een verhouding van 65% remschijven en 35% slijtage van de remvoering. Dit resulteert in een gemiddelde emissiefactor voor de remslijtage, zie tabel 6.

Tabel 6: Emissiefactor voor remschijven, remvoeringen en een gemiddelde emissiefactor voor remslijtage (g/kg)

Element	Gemiddeld gehalte in remschijven (g/kg)	Gemiddeld gehalte in remvoeringen (g/kg)	Emissiefactor remslijtage (g/kg)
Aluminium	0.6	1.5	1.0
Antimoon	-	2.4	0.8
Bismut	0.0052	1.863	0.656
Chroom	0.2	0.7	0.4
Fosfor	0.0737	1.109	0.436
Ijzer	92.9	20.5	67.6
Kobalt	0.0047	0.177	0.65
Koper	0.4	10.2	3.8
Lood	0.0048	1.18	0.416
Mangaan	0.6	0.3	0.5
Molybdeen	0.031	0.8	0.3
Nikkel	0.0001	0.1	0.1
Silicium	2	1.6	1.9
Tin	0.1	3	1.1
Titanium	-	0.8	0.3
Totaal koolstof	3.2	26	11.2
Totaal sulfuur	-	2.9	1.0
Vanadium	-	0.3	0.1
Wolfram	0.0044	1.651	0.581
Zink	0.04	4.2	1.5

5 Maatregelen en effecten

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

6 Emissies

Onderstaande tabellen 8, 9 en 10 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 8: 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
1990	485	91	53	20	18	0.3	3	1.0	671
1995	442	79	52	18	19	0.2	2.6	1.9	614
2000	390	56	43	12.2	17	0.4	3	2.4	525
2005	417	65	35	15	16.3	0.5	3	2.8	555
2010	434	63	31	17	19	0.6	4	3.0	572
2013	439	59	26	17	19	0.5	4	2.9	567
2014	437	60	25	17	18	0.5	4	2.9	564

Tabel 9: 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
1990	191	17	24	8.6	3.1	0.2	1.1	0.9	246
1995	191	22	22	10	3.2	0.1	1.0	1.6	251
2000	205	33	16	12	3.2	0.2	1.2	2.1	272
2005	218	39	13	14	3.0	0.3	1.3	2.4	291
2010	228	38	12	17	3.3	0.3	1.5	2.5	301
2013	230	36	10	16	3.2	0.3	1.5	2.5	299
2014	229	36	10	16	3.0	0.3	1.4	2.4	297

Tabel 10: 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
1990	94	5.9	16	13	0.7	0.2	1.6	0.4	132
1995	109	14	21	18	0.7	0.1	1.5	0.8	165
2000	140	29	23	24	0.8	0.2	1.7	1.1	221
2005	149	34	19	30	0.7	0.3	2.0	1.2	236
2010	151	33	17	35	0.7	0.3	2.2	1.3	240
2013	152	31	15	33	0.6	0.3	2.2	1.3	235
2014	152	31	14	33	0.6	0.3	2.1	1.3	234

7 Verdeling compartimenten

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

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

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 11: 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 ₁₀)	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 8, 9 en 10, 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 12, 13 en 15. In de bijbehorende form20876.12*ules staat uitgewerkt hoe deze emissies zijn berekend.

$$\text{koperemissie binnen de bebouwde kom naar het riool} = \text{vorming van stof uit remvoeringen} * \text{kopergehalte in dit stof} * \text{deel geëmitteerd naar water} = \text{vorming van stof uit remvoeringen in tabel 8} * \text{emissiefactor koper tabel 6} * 12\%$$

Tabel 12: Emissie van koper van remvoeringen binnen de bebouwde kom naar riool (kg).

Jaar	Personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen	motor-tweewielers	totaal
1990	2 212	413	240	92	81	1.5	12	5
1995	2 018	359	236	81	85	1.1	12	9
2000	1 780	255	198	56	78	1.6	14	11
2005	1 901	297	158	69	74	2.2	16	13
2010	1 981	287	139	80	87	2.5	17	14
2013	2 000	271	119	76	85	2.3	18	13
2014	1 995	273	114	75	82	2.4	17	13

$$\text{koperemissie buiten de bebouwde kom naar het oppervlaktewater} = \text{vorming van stof uit remvoeringen} * \text{kopergehalte in dit stof} * \text{deel geëmitteerd naar water} = \text{vorming van stof uit remvoeringen in tabel 9} * \text{emissiefactor koper tabel 6} * 2\%$$

Tabel 13: Emissie van koper van remvoeringen buiten de bebouwde kom, exclusief autosnelwegen naar oppervlaktewater (kg).

Jaar	personen-auto's	bestel-auto's	vracht-auto's	trekkers	auto-bussen	speciale voertuigen	motor-tweewielers	totaal
1990	145	13	18	6.6	2.4	0.1	0.7	186
1995	145	17	16	7.7	2.5	0.1	0.7	189
2000	155	25	12	8.8	2.4	0.2	0.8	205
2005	166	30	9.6	11	2.3	0.2	0.9	220
2010	173	29	8.9	13	2.5	0.3	1.0	227
2013	175	27	7.6	12	2.4	0.2	1.0	225
2014	174	27	7.3	12	2.3	0.2	1.0	224

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 14: ZOAB-correctiefactoren voor metalen.

Jaar	Aandeel ZOAB op autosnelwegen (in %)	ZOAB-correctiefactor
1990	10	0.9
1995	31	0.71
2000	53	0.50
2005	70	0.34
2010	83	0.21
2013	86	0.18
2014	88	0.17

*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 10 * emissiefactor koper tabel 6 * 2% * ZOAB-
correctiefactor*

Tabel 15: Emissie van koper van remvoeringen op autosnelwegen naar oppervlaktewater (kg).

Jaar	personen- auto's	bestel- auto's	vracht- auto's	trekkers	auto- bussen	speciale voertuigen	motor- tweewielers	totaal
1990	64	4.1	11	8.9	0.5	0.1	1.0	90
1995	58	7.4	11	10	0.4	0.1	0.7	88
2000	53	11	8.8	9.2	0.3	0.1	0.6	83
2005	38	8.6	4.7	7.7	0.2	0.1	0.5	60
2010	24	5.2	2.7	5.6	0.1	0.0	0.3	38
2013	21	4.3	2.0	4.6	0.1	0.0	0.3	33
2014	19	3.9	1.7	4.1	0.1	0.0	0.2	29

De emissies van andere metalen kunnen op eenzelfde manier worden berekend uit de vorming van stof uit remvoeringen in de tabellen 8, 9 en 10 en de metaalgehalten in het stof in tabel 6 en het deel dat wordt geëmitteerd naar riool of oppervlaktewater in tabel 10. Het resultaat staat in de tabellen 16 en 17.

Tabel 16: Emissies van andere metalen van remvoeringen binnen de bebouwde kom naar riool (kg).

Jaar	Antimoon	Cadmium	Chroom	Lood	Nikkel	Zink
1990	676	0.8	298	32	74	1 207
1995	619	0.7	273	29	68	1 105
2000	529	0.6	233	25	58	944
2005	559	0.7	246	27	61	998
2010	576	0.7	254	27	63	1 029
2013	571	0.7	252	27	63	1 020
2014	568	0.7	250	27	62	1 015

Tabel 17: emissies andere metalen van remvoeringen buiten de bebouwde kom (incl. autosnelwegen) naar oppervlaktewater (kg).

Jaar	Antimoon	Cadmium	Chroom	Lood	Nikkel	Zink
1990	61	0.07	27	2.9	6.7	109
1995	62	0.07	27	2.9	6.8	110
2000	64	0.08	28	3.1	7.0	115
2005	62	0.07	27	3.0	6.8	111
2010	59	0.07	26	2.8	6.5	106
2013	57	0.07	25	2.7	6.3	102
2014	56	0.07	25	2.7	6.2	101

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 8, 9 en 10.

Tabel 18: Emissies van fijn stof (PM10) als gevolg van slijtage van remvoeringen naar lucht (kg).

Jaar	Binnen bebouwde kom	Buiten bebouwde kom	Autosnelwegen	Totaal
1990	329	120	65	514
1995	301	123	81	505
2000	257	133	108	499
2005	272	143	116	530
2010	280	148	118	546
2013	278	146	115	539
2014	276	146	115	537

De totale emissies van metalen naar lucht worden berekend door de totale emissie van tabel 19 te combineren met de gehalten van metalen die staan vermeld in tabel 6.

Tabel 19: Emissies van metalen als gevolg van slijtage van remvoeringen naar lucht (kg).

Jaar	Antimoon	Cadmium	chrom	Koper	Lood	Nikkel	Zink
1990	4 340	5.2	1 911	19 631	207	475	7 749
1995	4 269	5.1	1 880	19 312	203	468	7 623
2000	4 227	5.0	1 862	19 124	201	463	7 549
2005	4 508	5.4	1 985	20 391	215	494	8 049
2010	4 639	5.5	2 044	20 988	221	508	8 285
2013	4 595	5.5	2 024	20 786	219	503	8 205
2014	4 577	5.4	2 016	20 704	218	501	8 172

8 Emissieroutes via riool 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.

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).

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 [19]), 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. 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 20: Overzicht van wijze van regionalisatie van emissies.

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

De wijze waarop de lokatoren tot stand komen wordt beschreven in Molder (2010):

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 [19]. 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 2010. 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 2010. 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 2010. De resultaten van het NRM (verkeersintensiteiten) zijn afkomstig van MNP/LOK (Leefomgevingskwaliteit), waar ze dienen als invoer voor geluidsberekeningen.

10 Opmerkingen en wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

In 2015 zijn de percentages ZOAB door RWS bijgesteld [4].

Jaartal	%ZOAB nieuw	%ZOAB oud
2005	69	70
2010	83	90
2013	86	95

In ronde 2013 zijn er nieuwe EF factoren doorgevoerd. De oude factoren waren als volgt:

	Hildeman [13]	Brewer [11] ¹⁾	Westerlund, [12] ¹⁾	Okopol, [14] ^{1,2)}	Luhana [2] ³⁾	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		4 600	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) Luhana rapporteert metaal/koperverhoudingen. Uitgegaan is van 10% koper in het stof.

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 het riool gaan. Dit is nu gelijk getrokken met de compartimentverdeling zoals bij de berekening van de emissies door bandenslijtage.

In 2009 en 2010 zijn de verkeersprestaties aangepast. Meer informatie hierover is terug te vinden in het methoderapport Verkeer en Vervoer [4].

Originele factsheet:

Oonk, H. (TNO), J. Hulskotte (TNO), J. v.d. Roovaart (RWS RIZA), N. van Duynhoven (RWS RIZA); Emissies remvoeringen, maart 2006

De factsheet wordt jaarlijks geupdate.

11 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 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 lokator 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 lokator wel goed over Nederland verdeeld worden?

Onderdeel emissieberekening	Betrouwbaarheidspercentage (%)
Emissieverklarende variabele	10
Emissiefactor	25
Verdeling compartimenten	50
Emissieroutes via riool naar water	10
Regionalisatie	50

Voor de in Nederland veel voorkomende remschijven en –voeringen is de chemische samenstelling bepaald in ruim 60 monsters. Voor de betrouwbaarheid wordt een percentage van 25% aangehouden. De emissieverklarende variabele wordt regelmatig bijgehouden door de Taakgroep Verkeer en Vervoer en krijgt een betrouwbaarheidspercentage van 10%.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten zijn zeer onzeker, hiervoor wordt een betrouwbaarheid van 50% aangehouden. De emissieroutes via riool naar water krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 10%, zoals beschreven in de factsheet van de berekende effluënten RWZI's [22]. De regionalisatie van de emissies is mede afhankelijk van het wegdektype. Dit resulteert in een betrouwbaarheidspercentage van 50%.

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] Klein, J. et al., *Methods for calculating the emissions of transport in the Netherlands*, CBS, TNO, PBL en RWS, 2016.

- [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 gereferereerd 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 Västeras, 2003.
- [16] CIW, *Afstromend wegwater*, Werkgroep 4 Water en Milieu, april 2002
- [17] Datawarehouse Emissieregistratie (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*. Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 44, juli 1998.
- [19] Molder, R., *Digitaal overzicht Lokatoren_water_2010_2.xsl*, 2012
- [20] Hulskotte, ir. J.H.J., H.A.C. Enier van der Gon, B. Jansen en G. Roskam, *Elemental composition of current automotive brake materials*, TNO, 2013.
- [21] Sanders, P.G., N. Xu, T.M. Dalka and M.M. Marick, 2003: *Airborne brake wear debris: Size distributions, composition, and a comparison of dynamometer and vehicle tests*. Environ.Sci,Technol., 37, 4060-4069, doi:10.1021/es034145s.
- [22] Rijkswaterstaat WVL, 2014. *Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's*, factsheet diffuse bronnen, mei 2014.