

**Emissieschattingen Diffuse bronnen
Emissieregistratie**

**Wegdekslijtage ten gevolge
van het 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

Wegdekslijtage wegverkeer

1 Omschrijving emissiebron

Bij het rijden over het wegdek slijt dit wegdek door de wrijving veroorzaakt door de banden van het wegverkeer. Bij wegdek dient onderscheidt gemaakt te worden tussen asfalt en ander wegdek. Asfalt is een mengsel van $\geq 95\%$ minerale bestanddelen (stenen, zand en vulstof) met een bindmiddel ($\leq 5\%$). Overig wegdek (beton, klinkers, etc.) bestaat volledig uit minerale grondstoffen zoals steenslag, klei, grind en zand. Het in asfalt gebruikte bindmiddel kan andere verontreinigende stoffen bevatten zoals PAK. In deze factsheet wordt eerst de totale (minerale) wegdekslijtage berekend met behulp van in de factsheet beschreven aannamen, daar basisgegevens voor exacte berekening ontbreken. Vervolgens wordt het onderscheid naar type asfalt gemaakt (teerhoudend versus niet-teerhoudend) en een indicatieve schatting gemaakt van de mogelijke PAK emissie door asfaltslijtage.

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

2 Toelichting berekeningswijze

De emissies worden berekend door de vermenigvuldiging van een emissieverklarende variabele (EVV), hier de verkeersprestatie per voertuigtype in Nederland in miljoen km, met een emissiefactor (EF) per voertuigtype, uitgedrukt in mg wegdekstof per km.

$$\text{Emissie (Ex)} = \text{EVV} \times \text{EF}$$

Waarbij:

EVV = Verkeersprestatie (km)

EF = Slijtage van het wegdek (mg/km)

De eventuele PAK-emissie kan worden berekend als een fractie van het geproduceerde slijtsel:

$$E_x = E_s \times X$$

Waarbij

E_x = emissie van PAK (kg)

X = PAK gehalte in wegdek materiaal¹ (kg/kg).

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 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.

¹ Enkel asfalt kan PAK bevatten, ander bestratingmateriaal (beton, klinkers, kinderkopjes, etc.) is PAK vrij en bestaat volledig uit minerale bestanddelen.

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	1247	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	1557	2 771	445	278	366	25	55
2013	20 988	387	1616	2 616	379	264	358	22	56
2014	20 932	379	1635	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	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
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	1026	0	9 310	1 690	2 992	86	70	179
2010	45 223	1095	0	8 982	1 550	3 471	81	80	198
2013	45 551	1072	0	8 471	1 336	3 296	74	72	201
2014	45 413	1051	0	8 524	1 277	3 292	71	74	191

Emissiefactoren

Er is geen kwantificering van totale wegdekslijtage mogelijk vanuit het wegenbeheer. Het wegdek wordt namelijk niet vervangen ten gevolge van een bepaald aantal centimeters slijtage (wat een maat voor totale slijtagemassa zou geven) maar ten gevolge van spoorvorming, breuk, scheuring, innovaties (bijv. de invoering van ZOAB) of ten gevolge van andere werkzaamheden (bijv. onderhoud of riolering). Dit maakt het schatten van totale wegdekslijtage een onzekere exercitie.

Emissie naar lucht

Een andere ingang kan de chemische compositie van het door wegdekslijtage vrijkomende materiaal zijn. Bij wegdekslijtage zal voornamelijk mineraal materiaal vrijkomen, dit mineraal materiaal is echter chemisch en morfologisch niet te onderscheiden van (bodem-)materiaal dat verwaait vanuit landbouwgronden, afspoelt uit wegbermen enzovoorts. Een deel van het vrijkomende wegdekslijtagestof zal dermate klein zijn dat het naar lucht geëmitteerd wordt (fijn stof). Deze emissie kan gekwantificeerd worden doordat minerale delen in het fijn stof onderscheiden kunnen worden van ander fijn stof (bijv. uitlaatemissies) en onder bepaalde omstandigheden voornamelijk van wegdekslijtage afkomstig zal zijn. Zo zal in een verkeerstunnel de hoeveelheid bodemstof uit andere bronnen verwaarloosbaar zijn en kunnen we aannemen dat de minerale componenten volledig door wegdekslijtage worden veroorzaakt. Denier van der Gon et al. (2003) hebben deze waarneming in

combinatie met chemische analyses van PM₁₀ gebruikt om een schatting te maken voor wegdekslijtage in de Maastunnel (Rotterdam), leidend tot een emissiefactor van 3-4 mg/vkm (voertuig kilometer) voor wegdekslijtage. Wegdekslijtage zal niet constant zijn maar afhankelijk van de aard van het wegdek materiaal en de hoeveelheid wrijving met banden die bij remmen, optrekken en bochten rijden groter zal zijn dan gemiddeld. Daarom wordt de uit tunnelmetingen afgeleide emissiefactor gezien als een ondergrens. In de literatuur (Tabel 2) worden doorgaans wegdekslijtage emissiefactoren van 8-10 mg/vkm gegeven. Dit is consistent met 3-4 mg/vkm als ondergrens in minder slijtageveroorzakende omstandigheden. Data uit landen als Noorwegen, Zweden, Oostenrijk is (deels) onbruikbaar voor de Nederlandse situatie omdat het gebruik van spikes (studded tires) in de wintermaanden de wegdekslijtage sterk verhoogt.

Tabel 2: Wegdekslijtage emissiefactoren in de literatuur.

Voertuigklasse	Waarde mg/vkm	Opmerkingen	Bron
Niet ingedeeld	4	Onderste limiet	Boulter et al, 2006
Niet ingedeeld (overwegend Personen auto's)	3-4	Onderste limiet	Denier van der Gon et al., 2003
Niet ingedeeld	3.8		Muschack, 1990
LDV	7.9	Inclusief bandenslijtage	CBS, 1998
HDV	38		
Tweewielers	3.0	NB: schatting, niet nauwkeurig	Corinair Emission Inventory Guidebook, 2003
Personenauto's	3.8		
LDV	3.8		
HDV	7.6		

De afleiding voor het aandeel wegdekslijtage kan verder onderbouwd worden met analyses van verkeerstunnelstudies. Gillies et al. (2001) rapporteerden dat ~12% van het PM₁₀ in de Sulpeveda tunnel van geologische of minerale oorsprong was. Daar de totale PM₁₀ concentratie ook gemeten was, kan hier een emissiefactor uit worden afgeleid die wederom redelijk overeenkomt met 3-8 mg/vkm.

Ter vergelijking worden de waarden weergegeven die in het RAINS model en de CEPMEIP inventarisatie zijn gebruikt (Tabel 3). Omdat deze waarden ook gebaseerd zijn op literatuurstudies, zijn ze niet in dezelfde tabel opgenomen als directe waarnemingen (Tabel 2), maar ze vormen wel een borging voor de gemaakte keuzes.

Tabel 3: Gehanteerde wegdekslijtage in de RAINS en CEPMEIP-modellen.

Voertuigklasse	Model	TSP (mg/vkm)	PM ₁₀ (mg/vkm)	PM _{2,5} (mg/vkm)
Tweewielers	RAINS ^{a)}	6	3	1.6
	CEPMEIP ^{b)}	73	3.65	0
Personenauto's	RAINS	15	7.5	4.2
	CEPMEIP	145	7.25	0
LDV	RAINS	15	7.5	4.2
	CEPMEIP	190	9.5	0
HDV	RAINS	76	38	21
	CEPMEIP	738	26.9	0

^{a)} Klimont et al. (2002)

^{b)} Visschedijk et al. (2004)

Totale wegdekslijtage schatting

De tracermethode is niet toe te passen voor de totale wegdekslijtage. Een eerste schatting kan gemaakt worden door eenzelfde fractionering aan te nemen als voor bandenslijtage omdat beide emissies door hetzelfde (wrijvings)proces veroorzaakt worden. Dit betekent dat de fijn stof emissie 5% van de totale slijtage is; m.a.w. de totale slijtage is een factor 20 hoger dan de fijn stof emissie. Omdat wegdek materiaal harder is dan bandenrubber lijkt dit een overschatting, maar de informatie om nauwkeuriger te zijn ontbreekt. De fractie $PM_{2.5}$ in PM_{10} wordt gesteld op 15%. Deze verdeling is gebaseerd op fractionering van minerale delen in fijn stof naar de fracties $PM_{2.5}$ en $PM_{2.5-10}$ zoals geanalyseerd op filters. De verdeling naar andere voertuigtypen wordt volgens eenzelfde verdeling gedaan als de PM_{10} door bandenslijtage daar gegevens voor andere voertuigtypen ontbreken.

Het voorstel voor emissiefactoren wordt in Tabel 4 weergegeven.

Tabel 4: Voorgestelde emissiefactoren wegdekslijtage voor 3 voertuigklassen.

Klasse	Totaal stof (mg/vkm)	PM_{10} (mg/vkm)	$PM_{2.5}$ (mg/vkm)
Tweewielers	70	3.5	0.55
Licht	140	7	1.1
Zwaar	700	35	5.3

Onder de klasse licht vallen personenauto's, bestelauto's en lichte speciale voertuigen en met zwaar worden vrachtauto's, autobussen, trekkers en zware speciale voertuigen gerekend. Tweewielers (bromfietsen en motortweewielers) worden als half maal de waarde van licht ingedeeld.

3.1 PAK emissie uit asfaltslijtage

Asfalt bestaat uit minerale grondstoffen en $\leq 5\%$ uit een bindmiddel. Vroeger was dat veelal (kool)teer, tegenwoordig bitumen. De termen teer en bitumen worden regelmatig ten onrechte door elkaar gebruikt. De materialen hebben wel dezelfde donkerbruine tot zwarte kleur, hebben beide uitstekende hecht-eigenschappen maar zijn verder van verschillende herkomst en chemische samenstelling.

Teer is een hoog viskeus mengsel van complexe hoogmoleculaire componenten, dat verkregen wordt bij de destructieve destillatie van steenkool of hout. Tot 1991 werden regelmatig koolteer (teer) of een combinatie van teer en bitumen (teerbitumen) in asfalt als bindmiddel gebruikt in plaats van bitumen. Teerhoudende bindmiddelen bevatten hoge gehalten PAK waardoor asfaltmengsels met teerhoudend bindmiddel concentraties aan PAK hebben van 100 – 3000 mg/kg. Vaak wordt een gemiddelde van 1500 milligram per kilo (mg/kg) genoemd hoewel de schaarse voorbeeldanalyses lagere gehalten geven, bijvoorbeeld 674 mg/kg (Rood et al, 1995) en 998 mg/kg (OCW, 2003 – zie Tabel 6). Het bereik in concentraties ontstond waarschijnlijk omdat teer en bitumen gemengd werden. Per definitie wordt asfalt(granulaat) dat meer dan 75 mg/kg PAK-10 bevat teerhoudend asfalt granulaat (TAG) genoemd. Afspraken in de CAO voor de Bouw leidde ertoe dat vanaf 1991 teer en teerproducten definitief niet meer werden toegepast en daarmee geen nieuw TAG meer als (bovenste) wegdeklaag werd aangelegd. Vanaf 1995 was enkel gebruik van asfaltgranulaat met minder dan 75 mg/kg PAK10 toegestaan. In het verleden is vrijgekomen TAG ook hergebruikt in wegfunderingen, vaak vermengd met andere steenachtige materialen. Vanaf 1 januari 2001 verbiedt het Bouwstoffenbesluit bodem – en oppervlaktewater (Bsb) ook dergelijk hergebruik van TAG. Belangrijkste conclusie uit bovenstaande is dat sinds 1991 geen TAG met hoog PAK10 gehalte meer gebruikt wordt als bovenste wegdeklaag.

Bitumen is een aardolieproduct. Het wordt verkregen door destillatie onder bepaalde omstandigheden van druk en temperatuur, van daarvoor geselecteerde ruwe aardolie. Het is een mengsel van complexe verbindingen dat voorgesteld kan worden als een dispersie van asfaltene en harsen in een aromatische olie met een hoog kookpunt. Bitumen is een vaste stof bij omgevingstemperatuur. Het PAK gehalte van bitumen is laag. Het Nederlands adviesbureau voor bitumentoe toepassingen (Nabit,

1996) bepaalde het PAK-gehalte in 14 bitumenstalen afkomstig van 7 raffinaderijen. Globaal kwam men tot een PAK-gehalte (10 PAK) van minder dan 3 mg/kg bitumen. Een Europese studie rapporteerde een gemiddeld PAK gehalte van 26 mg/kg (Concawe, 1994). Het eerste getal (3 mg/kg) lijkt echter het meest representatief voor Nederland. Dit geeft op basis van 5% bindmiddel een PAK gehalte in asfalt van 0,15 mg/kg.

Tabel 5: Voorbeeld van PAK in teerhoudend asfaltgranulaat (TAG).

Naam van de individuele PAK-verbinding	Voorbeeld van TAG (5 massa-% bindmiddel: bitumen/wegenteer 85/15)	
	(mg/kg)	(%)
benzo[a]antraceen	74	7,4
benzo[a]pyreen	67	6,7
benzo[ghi]peryleen	35	3,5
benzo[b]fluoranteen	90	9,0
benzo[k]fluoranteen	25	2,5
chryseen	73	7,3
fenantreen	367	36,8
fluoranteen	232	23,2
indeno[1,2,3-cd]pyreen	34	3,4
naftaleen	1	0,1
Totaal voor PAK10 in dit voorbeeld	998	100

Bron OCW (2003)

Er bestaat nagenoeg geen literatuur over het vrijkomen van PAK door wegdekslijtage van TAG. Klein et al (2009) stellen dat de emissies van PAK uit wegdekslijtage voor de gehele periode 1980-1999 niet significant zijn op basis van een interne notitie uit 1996. De exacte onderbouwing van deze conclusie is echter niet goed te achterhalen. Om toch een kwantitatieve analyse mogelijk te maken is een aantal aannames gedaan waardoor vervolgens op basis van totale wegdekslijtage een schatting van de emissie van PAK door wegdekslijtage gegeven kan worden. Er zijn aannames nodig voor:

- Het PAK10 gehalte van TAG van voor 1991 (Tabel 6),
- Het PAK10 gehalte van huidig AG (Tabel 6),
- De fractie wegen en categorie wegen waar nog TAG voorkomt (Tabel 7),
- Het aantal kilometers dat op deze wegen verreden wordt (landelijke wegen zie Tabel 1).

Tabel 6: PAK10 gehalte van TAG en AG.

Materiaal	Totaal PAK10 in	
	bindmiddel	Asfalt (5% bindmiddel) (mg/kg)
teer	5-20%	1500 ¹⁾
bitumen	10-30 (mg/kg)	0.5 -1.5
bitumen_gem NL	3 (mg/kg)	0.15

¹⁾ Dit is een onzeker getal en zou een overschatting met een factor 1.5-2 kunnen zijn indien de 2 analyses in Rood et al. (1995) en OCW (2003) representatief zouden zijn. Twee analyses is echter een te smalle basis om dit op te baseren.

Aangenomen wordt dat de fractie TAG binnen de bebouwde kom verwaarloosbaar is. Enerzijds bestaat binnen de bebouwde kom een groot deel van de wegen niet uit asfalt. Daarnaast is al het asfalt van na 1991 geen TAG meer en wordt aangenomen dat asfaltwegen binnen de bebouwde kom van voor 1991 (dan wel de toplaag van die wegen) inmiddels vervangen zijn als gevolg van onderhoud en herinrichtingen zoals riool- of andere ondergrondse werkzaamheden. Voor snelwegen is de aanname dat in 2005 al het asfalt van voor 1991 vervangen is, dan wel van een nieuwe top-/slijtlaag is voorzien. Het aandeel TAG is dus nul in 2005 en het aandeel in 1990 is op 85% geschat. Dit laatste is wellicht een overschatting maar goede gegevens ontbreken. Dat vervanging van asfalt op snelwegen relatief snel gaat wordt bevestigd door de sterke groei van het aandeel ZOAB op de Nederlandse snelwegen sinds 1990 (zie ook Klein et al. 2007).

De vervanging van asfalt bij landelijke wegen zal aanzienlijk minder snel gaan. Er is uitgegaan van eenzelfde aandeel asfalt in 1990 als op snelwegen met de aanname dat in 2015 al het TAG houdende asfalt van voor 1991 vervangen zal zijn.

Op basis van bovenstaande kan een schatting van het voorkomen van TAG op Nederlandse wegen gemaakt worden (Tabel 7). Voor de tussenliggende jaren is een lineaire afname verondersteld.

Tabel 7: Schatting van het voorkomen van teerhoudend asfalt granulaat (TAG).

Snelwegen		Landelijke wegen	
Jaar	Fractie TAG	Jaar	Fractie TAG
1990	0.85	1990	0.85
1991	0.79	1991	0.82
1992	0.73	1992	0.78
1993	0.67	1993	0.75
1994	0.61	1994	0.71
1995	0.55	1995	0.68
1996	0.49	1996	0.65
1997	0.43	1997	0.61
1998	0.36	1998	0.58
1999	0.30	1999	0.54
2000	0.24	2000	0.51
2001	0.18	2001	0.48
2002	0.12	2002	0.44
2003	0.06	2003	0.41
2004	0	2004	0.37
2005	0	2005	0.34
2006	0	2006	0.31
2007	0	2007	0.26
2008	0	2008	0.21
2009	0	2009	0.15
2010	0	2010	0.10
2011	0	2011	0.08
2012	0	2012	0.05
2013	0	2013	0.03
2014	0	2014	0.01

3.2 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 slijtage van banden en remmen per verreden km binnen de bebouwde kom hoger is dan buiten de bebouwde kom zijn er geen data die dit voor wegdekslijtage kwantificeren. Wegdekslijtage is echter een gevolg van dezelfde processen als rem- en bandenslijtage, er is daarom als eerste benadering voor gekozen, naar analogie van de rem- en bandenslijtage, de emissiefactoren binnen de bebouwde kom een factor 2 hoger te veronderstellen per verreden kilometer dan op de snelweg en landelijke wegen. Voor een verdere onderbouwing van deze keuze wordt verwezen naar de factsheet bandenslijtage en remvoeringslijtage. Tabel 8 geeft de uiteindelijke gedifferentieerde emissiefactoren weer.

Tabel 8: Afgeleide emissiefactoren wegdekslijtage binnen en buiten de bebouwde kom (mg/km).

Stofnaam	Voertuigcategorie	Bebouwde kom	Landelijke wegen	Autosnelwegen
Grof stof	Personenauto	215	108	108
	Motortweewieler	88	44	44
	Bromfiets	88	44	0
	Bestelauto	215	108	108
	Vrachtauto	1 100	550	550
	Trekker	1 100	550	550
	Autobus	1 100	550	550
	Speciaal voertuig-licht	215	108	108
	Speciaal voertuig-zwaar	1 100	550	550
PM10	Personenauto	11	5.5	5.5
	Motortweewieler	5	2.5	2.5
	Bromfiets	5	2.5	0
	Bestelauto	11	5.5	5.5
	Vrachtauto	58	29	29
	Trekker	58	29	29
	Autobus	58	29	29
	Speciaal voertuig-licht	11	5.5	5.5
	Speciaal voertuig-zwaar	58	29	29
PM2,5	Personenauto	1.7	0.8	0.8
	Motortweewieler	0.8	0.4	0.4
	Bromfiets	0.8	0.4	0.0
	Bestelauto	1.7	0.8	0.8
	Vrachtauto	8.7	4.4	4.4
	Trekker	8.7	4.4	4.4
	Autobus	8.7	4.4	4.4
	Speciaal voertuig-licht	1.7	0.8	0.8
	Speciaal voertuig-zwaar	8.7	4.4	4.4

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

4 Maatregelen en effecten

Tot 1990 werden teer en teerproducten op grote schaal in de wegenbouw gebruikt als bindmiddel in asfalt, bij oppervlaktebehandeling en reconstructie van wegen. Het teerhoudend asfalt granulaat (TAG) bevatte aanzienlijke hoeveelheden PAK. Per 1 januari 1991 is in Nederland geen teerhoudend bindmiddel meer gebruikt in asfaltfabricage en wordt enkel bitumen als bindmiddel gebruikt. Het gehalte PAK in bitumen (de vervanging van teer als bindmiddel) is <1.5 mg/kg (RIVM, 1995). Hierdoor is het PAK gehalte in huidig asfalt granulaat een factor ~ 1000-10000 lager dan in TAG. De PAK emissies door slijtage van asfalt en toplagen aangelegd na 1990 zijn daarom verwaarloosbaar. Dit betekent dat na 1990 PAK emissie door wegdekslijtage enkel ontstaat door rijden over wegen met een toplaag daterend van voor 1991. Het uitfaseren van TAG heeft er toe geleid dat in de tijd de emissies van PAK door wegdekslijtage afnemen naar nul in 2015, waarbij de aanname is dat in 2015 al het TAG vervangen is.

5 Verdeling naar compartimenten

De verdeling van de slijtage-emissies naar de verschillende milieucompartimenten zoals momenteel wordt gehanteerd door de taakgroep verkeer staat in Tabel 9. 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 (analoog aan de factsheet voor bandenslijtage).

Tabel 9: Verdelingspercentages voor wegdekslijtagestof naar compartimenten zoals tot nu toe gehanteerd (bron: Klein et al., 2007).

	Bandenstof		
	lucht	bodem	water
	%		
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: methodiekrappport taakgroep verkeer (Klein et al., 2007)

Toedeling binnen de bebouwde kom

De toedeling van de emissie binnen de bebouwde kom gaat voor 100% naar riool (Tabel 9), dit is echter niet waarschijnlijk. Een GIS-overlay van het grondgebruiksbestand van Nederland met de rioleringsgebieden in de Emissieregistratie leert dat precies 50% van het oppervlak van de rioleringsgebieden uit verhard gebied bestaat (zie Tabel 10).

Tabel 10: 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 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 de 100 procent zal liggen. De hier geponeerde stelling is (tot dat betere meetgegevens beschikbaar komen) om 50 procent naar riool binnen de bebouwde kom te hanteren als uitgangspunt in plaats van 100%. Daar echter een deel van de vuillast van de bodem alsnog afspoelt naar riool zal rekening gehouden moeten worden met een iets hogere aanvoer naar riool. Als voorlopige waarde wordt daarom 60 procent aanvoer naar riool gekozen.

Toedeling binnen de bebouwde kom

De toedeling van de emissies van de grove fractie van het wegdekslijtagestof buiten de bebouwde kom is complexer dan binnen de bebouwde kom. Een vrij uitgebreide studie is gedaan door Blok voor bandenstof (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. Hoewel de studie van Blok (2005) slijtage en verspreiding van bandenstof beschrijft wordt hier aangenomen dat deze redenering in grote lijn ook geldig is voor wegdekslijtage daar banden- en wegdekslijtage een gevolg zijn van hetzelfde proces. 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.

Op basis van de hierboven beschreven aannames en overwegingen wordt een nieuwe verdeling van wegdekslijtagestof naar de verschillende milieucompartmenten voorgesteld ([@]Noot: Totaal stof = Grof stof + Fijn stof) in Tabel 11.

Tabel 11: Voorgestelde verdelingspercentages voor wegdekslijtage naar compartimenten.

	Lucht	Bodem	Oppervlaktewater	Riool
	%			
Fijn stof				
bebouwde kom	100	0	0	0
landelijke wegen	100	0	0	0
autosnelwegen	100	0	0	0
Grof stof				
bebouwde kom	0	40	0	60
landelijke wegen	0	90	10	0
autosnelwegen	0	90	10	0

6 Emissies

De berekende emissies worden in onderstaande tabellen gepresenteerd. In tabel 12 worden de totale emissies gepresenteerd per peiljaar. Tabellen 13 t/m 16 geven respectievelijk de emissie naar de bodem, het oppervlaktewater, riool en de lucht weer. In bijlage 1 worden de emissies verder uitgesplitst naar wegdeklocatie (binnen / buiten de bebouwde kom) en voertuigklasse.

Alle emissies zijn in kilogrammen.

Tabel 12: Totale emissies (kg) van PAK, grof en fijn stof, peiljaren.

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Benzo(a)Anthraceen	640	461	282	137	42	12	4.1
Benzo(a)Pyreen	580	418	255	124	38	11	3.7
Benzo(b)Fluorantheen	779	561	342	166	51	15	5.0
Benzo(ghi)Peryleen	303	218	133	65	20	5.9	1.9
Benzo(k)Fluorantheen	216	156	95	46	14	4.2	1.4
Chryseen	632	455	278	135	41	12	4.1
Fenanthreen	3 176	2 288	1 396	679	207	61	20
Fluorantheen	2 007	1 446	883	429	131	39	13
Indeno.(1,2,3-c,d)Pyreen	294	212	129	63	19	5.7	1.9
Naftaleen	8.7	6.2	3.8	1.8	0.56	0.17	0.06
Fijn.stof.(PM _{2,5}) ¹⁾	132 592	141 674	157 101	166 628	171 960	168 544	167 554
Fijn.stof.(PM ₂₁₀)	883 946	944 495	1 047 343	1 110 854	1 146 398	1 123 627	1 117 028
Grof.stof. ^{a)}	16 187 450	15 730 253	14 838 726	14 123 624	13 144 612	12 572 031	12 345 608

^{a)}Noot::Totaal.stof.=.Grof.stof.+Fijn.stof

Tabel 13: Emissies (kg) van PAK en grof stof naar de bodem per peiljaar.

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Benzo(a)Anthraceen	576	415	253	123	38	11	3.7
Benzo(a)Pyreen	522	376	229	111	34	10	3.3
Benzo(b)Fluorantheen	701	505	308	150	46	14	4.5
Benzo(ghi)Peryleen	273	196	120	58	18	5.3	1.7
Benzo(k)Fluorantheen	195	140	86	42	13	3.8	1.2
Chryseen	569	410	250	121	37	11	3.6
Fenanthreen	2 858	2 059	1 257	611	186	55	18
Fluorantheen	1 807	1 302	794	386	118	35	12
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	265	191	116	57	17	5.1	1.7
Naftaleen	7.8	5.6	3.4	1.7	0.51	0.15	0.05
Grof stof	11 564 977	11 394 423	10 987 857	10 238 933	9 260 577	8 778 596	8 590 793

Tabel 14: Emissies (kg) van PAK en grof stof direct naar het oppervlaktewater per peiljaar.

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Benzo(a)Anthraceen	64	46	28	14	4.2	1.2	0.41
Benzo(a)Pyreen	58	42	25	12	3.8	1.1	0.37
Benzo(b)Fluorantheen	78	56	34	17	5.1	1.5	0.50
Benzo(ghi)Peryleen	30	22	13	6.5	2.0	0.59	0.19
Benzo(k)Fluorantheen	22	16	9.5	4.6	1.4	0.42	0.14
Chryseen	63	46	28	13	4.1	1.2	0.41
Fenanthreen	318	229	140	68	21	6.1	2.0
Fluorantheen	201	145	88	43	13	3.9	1.3
Indeno (1,2,3-c,d)Pyreen	29	21	13	6.3	1.9	0.57	0.19
Naftaleen	0.87	0.62	0.38	0.18	0.06	0.02	0.01
Grof stof	1 017 999	1 020 464	1 010 473	917 897	800 546	749 957	730 510

Tabel 15: Emissies (kg) van grof stof naar het riool per peiljaar.

Stof	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014
Grof stof	3 604 474	3 315 365	2 840 396	2 966 795	3 083 489	3 043 478	3 024 305

Noot: Er zijn hier geen PAK emissies omdat de aanname is dat er binnen de bebouwde kom geen TAG aanwezig is. Mogelijk is dit voor de situatie 1990 een onderschatting maar goede gegevens om beter te schatten ontbreken.

Tabel 16: Emissies (kg) van fijn stof naar lucht per peiljaar.

Gepresenteerde stof	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013
Fijn.stof.(PM ₁₀)	883 946	944 495	1 047 343	1 110 854	1 146 398	1 123 627	1 117 028
Fijn.stof.(PM _{2.5}) ¹⁾	132 592	141 674	157 101	166 628	171 960	168 544	167 554

¹⁾ PM2.5 is een fractie van PM10.

Noot: Er zijn hier geen PAK emissies omdat aangenomen wordt dat TAG enkel nog in beperkte mate op de landelijke wegen aanwezig is waar slechts een klein deel van het totaal verreden kilometers in Nederland plaats vindt. Emissie naar lucht (fijn stof) is 5% van het totaal stof en wederom slechts 5% hierin is bindmiddel indien asfalt waarvan een klein % PAK. De resterende emissie PAK is verwaarloosbaar.

7 Regionalisatie

Voor de regionale verdeling van emissies wordt binnen de Emissieregistratie gebruik gemaakt van een set van digitale kaarten welke aanwezig is bij het RIVM. Deze set geeft de regionale verdeling in Nederland weer van allerlei grootheden zoals 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 (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 wegdeklijtage 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 17: Overzicht van wijze van regionalisatie van emissies.

Onderdeel	Lokatoren
Wegdeklijtage snelwegen	Verkeersintensiteit op autosnelwegen
Wegdeklijtage landelijke wegen	Verkeersintensiteit landelijke wegen 80%
Wegdeklijtage landelijke wegen	Aantal woningen buiten de bebouwde kom 20%
Wegdeklijtage 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) zijn afkomstig 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 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.

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).

Hoewel wegdekslijtage bij verhoogde wrijving (veel remmen optrekken en bochtige wegen) waarschijnlijk hoger is is er op basis van beschikbare literatuurgegevens en onderzoek geen verschil tussen de slijtagefactoren binnen de bebouwde kom op landelijke wegen en snelwegen te maken. Daarom zijn voorsnog de emissiefactoren voor alle wegtypen hetzelfde gehouden.

8 Opmerkingen / Wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

2009:

De verkeersprestaties zijn 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).

- De veronderstelde fractie fijn stof in totaal wegdekslijtage (5%) is gelijk aan eerdere schattingen.
- De hoeveelheid totaal stof is berekend op basis van de fijn stof emissie gegevens. In voorgaande jaren was wegdekslijtage gespecificeerd naar 7 voertuigklassen echter de gegevens om een dergelijk nauwkeurige inschatting te geven ontbreken. Daarom zijn nu enkel 2-wielers lichte – en zware voertuigen onderscheiden. De totale emissies zijn slechts marginaal veranderd.
- In voorgaande jaren was geen inschatting voor PAK emissies door wegdekslijtage opgenomen.
- De verdeling over de compartimenten is aangepast (zie sectie 7)

9 Betrouwbaarheid/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:	200
- Grof stof	200
- PM10	100
- PM2.5	100
- PAK gehalte TAG	100
- Fractie TAG in Nederlands wegennet	200
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 emissiefactor voor fijn stof is deels gebaseerd op metingen en deels schattingen omdat wegdekafhankelijkheid en type weg (bochtig, binnen of buiten bebouwde kom) niet in de metingen zijn opgenomen en krijgt daarom een percentage van 100%. Totaal stof en grof stof zijn berekend op basis van de fijn stof emissiefactor door middel van een geschatte fractie fijn stof in totaal stof. De berekening is uitermate gevoelig voor de aangenomen fractie en de emissiefactor voor totaal- en grof stof krijgen daarom een betrouwbaarheidspercentage van 200%. Het PAK gehalte van TAG is gebaseerd op enkele metingen maar de spreiding is groot, daarom krijgt deze een betrouwbaarheid van 100%. Hoeveel TAG er nog op Nederlandse wegen ligt is niet goed bekend en gebaseerd op schattingen en deductie. De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten is onzeker zodat hiervoor een betrouwbaarheidspercentage van 50% wordt gehanteerd. In relatie hiermee staat de onzekerheid cq. ontbreken van gegevens over de vraag of wegdekslijtage binnen de bebouwde kom hoger is door meer bochten, kruispunten en stoplichten. Indien de verdeling van emissie verschuift tussen binnen en buiten de bebouwde kom zal ook de toedeling naar compartimenten veranderen. 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, wat esulteert in een betrouwbaarheidspercentage van 50%.

10 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met Nanette van Duijnhoven (Deltares E-mail: nanette.vanduijnhoven@deltares.nl Tel: 06-10399534) Hugo Denier van der Gon (TNO Bouw en Ondergrond E-mail: hugo.deniervandergon@tno.nl) en/of Jan Hulskotte (TNO Bouw en Ondergrond E-mail: jan.hulskotte@tno.nl).

11 Referenties

- Blok J. (2005) Environmental exposure of road borders to zinc –Science of the Total Environment 348 173 – 190.
- Boulter P.; Thorpe A.; Harrison R.; Allen A. (2006) Road vehicle non-exhaust particulate matter: final report on emission modelling – Published project report PPR110 TRL limited Department for the Environment Food and Rural Affairs Scottish Executive Welsh Assembly Government and the Department of Environment in Northern Ireland .
- CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek) (1998) Methodiekb beschrijving van de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland in het kader van het Emissiejaarrapport.
- Concawe (1994) "Health aspects of bitumens" Concawe Den Haag .
- Denier van der Gon H.A.C M van het Bolscher JCT Hollander and H Spoelstra (2003) Particulate matter in the size range of 2.5 – 10 microns in the Dutch urban environment an exploratory study TNO-report R 2003/181..
- De Straat Milieu-adviseurs B.V. (2004) Weg met TAG rapport ketenhandhaving Teerhoudend Asfalt Granulaat (TAG) In opdracht van VROM-Inspectie regio Oost

- Corinair Emission Inventory Guidebook (2003) Road Vehicle Tyre & Brake Wear Snap Code 070700/070800 EEA Copenhagen.
- Gillies J.A; A.W. Gertler; J.C. Sagebiel and W.A. Dippel (2001) On-Road Particulate Matter (PM2.5 and PM10) Emissions in the Sepulveda Tunnel Los Angeles California Environmental science & technology 35 1054-1063.
- Klein J. A. Hoen J. Hulskotte N. van Duynhoven R. Smit A. Hensema D. Broekhuizen (2007) 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. R. van den Brink J. Hulskotte J. Annema J. van den Roovaart M. Borst R. Gense E. van de Burgwal (2002) Methoden voor de berekening van de emissies door mobiele bronnen in Nederland Methodiekrapport van de taakgroep verkeer Rapportagereeks MilieuMonitor Nr. 4 januari 2002 CBS/RIVM/TNO/RIZA Voorburg/Bilthoven/Apeldoorn/Lelystad.
- Klimont Z. Cofala J. Bertok I. Amann M. Heyes C. and Gyarmas F.: (2002) Modelling Particulate Emissions in Europe A Framework to Estimate Reduction Potential and Control Costs. Interim Report IR-02-076
- Molder R. te (2007). Notitie ruimtelijke verdeling binnen de emissieregistratie. Een overzicht.
- Muschak W. (1990) Pollution of street run-off by traffic and local conditions The science of the total environment 93 419 - 431.
- Nabit (Nederlands adviesbureau voor bitumentoepassingen) (1996) geciteerd in; A. Jacobs L. De Bock en R. Dijkmans Beste Beschikbare Technieken (BBT) voor Asfaltcentrales Vito 2001
- Rood GA; Wilde PGM de; Aalbers TG (1995) Emissie van Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK) uit diverse bouwmaterialen en afvalstoffen Rijksinstituut voor Volksgezondheid en milieuhygiëne (RIVM) Rapportnr. 771402003 56p. Bilthoven .
- Rijkswaterstaat WVL, 2014. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's, factsheet diffuse bronnen, mei 2014.
- Visschedijk A.J.H. J. Pacyna T. Pulles P. Zandveld and H. Denier van der Gon (2004) Coordinated European Particulate Matter Emission Inventory Program (CEPMEIP) In: P. Dilara et al. (eds) Proceedings of the PM emission inventories scientific workshop Lago Maggiore Italy 18 October 2004 EUR 21302 EN JRC pp 163-174.