

Memo

Aan

MEWAT, Taakgroep Verkeer en Vervoer

Datum

31 mei 2021

Aantal pagina's

1 van 10

Contactpersoon

Nanette van Duijnhoven

Doorkiesnummer

+31(0)88 335 7740

E-mail

Nanette.vanDuijnhoven@deltares.nl

Onderwerp

Nieuwe emissiefactore bandenslijtage

1 Inleiding

De huidige factsheet voor de bandenslijtage is opgesteld in 2007 (ER, 2016). De toen afgeleide emissiefactoren, gebaseerd op literatuuronderzoek uit 1990-2005, worden nog gebruikt voor de emissieschattingen van de bandenslijtage.

De emissiefactoren zijn voor de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) inmiddels verouderd. Sinds 2010 gelden er nieuwe regels voor autobanden in Europa. In de EU richtlijn 2005/69/EG (EU, 2005) is bepaald dat op 1 januari 2010 geen banden meer op de markt mogen komen die geproduceerd zijn met aromatische oliën die meer dan 1 mg/kg benzo(a)pyreen of meer dan 10 mg/kg van de EU-PAK8 bevatten. Banden geproduceerd voor 2010 bevatten zo'n 100 mg/kg EU-PAK8.

Recent zijn een aantal onderzoeken gepubliceerd waarin het rubbergranulaat van afgedankte/versleten autobanden is geanalyseerd. Vier van deze onderzoeken zijn gebruikt om nieuwe emissiefactoren af te leiden voor de bandenslijtage in EmissieRegistratie. Het onderzoek richt zich niet alleen op PAK, maar ook op metalen en overige stoffen. Deze drie stofgroepen komen in deze memo aan bod.

2 Resultaten

2.1 Gebruikte literatuur

Een groot Europees project, de European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill (ERASSTRI) is in 2019 opgestart. Het project bestaat uit drie delen. Voor het eerste deel van de studie is in 14 Europese landen rubber granulaat bemonsterd op 47 sportvelden en bij 25 recycling bedrijven van autobanden. In de studie is zowel gekeken naar gecoat als ongecoat granulaat. Voor het afleiden van emissiefactoren voor EmissieRegistratie wordt alleen gekeken naar het ongecoate granulaat, omdat dit de onbehandelde 'ruwe' autobanden zijn. Schneider et al (2020) heeft een artikel gepubliceerd over het eerste deel van de studie.

Naast het ERASSTRI project heeft het RIVM (2016) in Nederland op 100 kunstgras sportvelden ruim 700 rubber granulaat monsters genomen en onderzocht op PAK en overige stoffen. Van deze waarden zijn de gemiddelde waarden gerapporteerd.

De ECHA, European Chemicals Agency, heeft in 2017 een studie uitgevoerd naar de mogelijke risico's van rubbergranulaat dat gebruikt wordt als instrooi materiaal op kunstgrasvelden. Voor deze studie heeft een uitgebreid literatuuronderzoek plaatsgevonden op basis van studies tussen 2004 en 2016. Daarbij is gekeken naar PAK, metalen, ftalaten en vluchtige organische stoffen in zowel het granulaat van sportvelden als recycling bedrijven van autobanden.

In een TNO studie uit 2017 (Joswicka et al), toegespitst op de Nederlandse situatie, is gekeken naar 30 afgedankte banden verzameld in 2013 bij 2 autobedrijven, een gemeentelijk afvalverwerkingsstation en een banden recyclingcentrum voor vrachtwagenbanden. Om een representatieve steekproef te krijgen van de banden waarmee auto's in Nederland zijn uitgerust, werden 17 verschillende bandenmerken verzameld, waaronder de 8 populairste bandenmerken in Nederland. De totale steekproef bestond uit 23 zomerbanden voor personenauto's, 5 winterbanden voor personenauto's en 1 all season vrachtwagen.

2.2 PAK

In tabel 1 worden de gemiddelde waarden uit het ERASSTRI (Schneider, 2020) vergeleken met de gemiddelde waarden uit het RIVM (2016) onderzoek. Van de literatuur gegevens uit ECHA (2017) wordt alleen de Murfitts studie uit 2016 gebruikt. De andere studies van voor 2014 maken wellicht gebruik van gerecyclede banden geproduceerd vóór 2010 of zijn om andere redenen niet bruikbaar.

Tabel 1 Gemeten concentraties in rubbergranulaat (mg/kg) uit drie recente studies. De rode cijfers zijn de halve waarde van de rapportagegrens, GEM is het rekenkundig gemiddelde.

Stof in mg/kg	Huidige factsheet (2007)	ECHA: Murfitts Industries (2016)	RIVM (2016)	Schneider et al (2020)			Overall GEM	PAK8 (EU)	PAK10
			sportveld	sportveld	granulaat	GEM			
aantal monsters			GEM	GEM	GEM	GEM			
			100	47	25	73			
Naftaleen	7.2	1.4		0.64	0.77	0.71	1.1		x
Acenaftyleen	1.7*	0.74		0.64	0.65	0.65	0.69		
Acenafteen	5.4*	-		0.33	0.16	0.25	0.25		
Fluoreen	1.7*	0.29		0.46	0.36	0.41	0.35		
Fenantreen	10.9	4.7	1.3	4.5	4.3	4.4	3.4		x
Anthraceen	2.1	0.0025	0.25	0.68	0.63	0.66	0.30		x
Fluorantheen	19.1	7.6	1.4	8.0	8.5	8.3	5.8		x
Pyreen	24*	26	11	24	25	24	20		
Benzo(a)anthraceen	6.5	0.53	1	0.9	0.81	0.86	0.80	x	x
Chryseen	24	0.83	1.3	1.4	1.2	1.3	1.1	x	x
Benzo(b/j)fluorantheen	16.4	1.5	1.4	1.4	1.0	1.2	1.3	x	
Benzo(k)fluorantheen	9.1	0.18	0.25	0.43	0.28	0.36	0.26	x	x
Benzo(a)pyreen	5.4	1.5	1.2	1.5	1.3	1.4	1.4	x	x
Benzo(e)pyreen		2.6	3	2.6	2.4	2.5	2.7	x	
Dibenzo(a,h)anthraceen	1.65	-	0.25	0.26	0.1	0.18	0.22	x	
Indeno(123-c,d)pyreen	1.98	0.86		0.81	0.51	0.66	0.76		x
Benzo(ghi)peryleen	12.6	2.0	4.3	5.4	4.4	4.9	3.7		x
PAK16	157	50		54	52	53	52		
PAK8	70**	7.1	8.2	8.2	7.0	7.6	7.6		

*aangewild vanuit VMM factsheet

**exclusief Benzo(e)pyreen

De waarden uit Schneider et al (2020) liggen voor zowel de sportvelden als de productie van granulaat bij recycling bedrijven in dezelfde orde van grootte. Daarom zijn deze waarden gemiddeld en worden ze in de tabel vergeleken met de gemeten waarden uit het RIVM onderzoek en de Murfitts studie. Voor de meeste PAK liggen de gemiddelde waarden uit de drie studies in dezelfde orde van grootte. Alleen voor fenantreen, antraceen, fluorantheen en

pyreen zijn de RIVM concentraties een factor 2 tot 3 lager dan de concentraties uit de 2 andere studies. De Murfitts studie is hoger bij naftaleen en lager bij benzo(ghi)peryleen.

De gemeten concentraties uit tabel 1 voldoen voor alle onderzoeken aan de richtlijn voor de som PAK8 (EU) van maximaal 10 mg/kg. De norm voor benzo(a)pyreen, 1 mg/kg, wordt niet gehaald. De gemiddelde concentratie zit op 1.4 mg/kg.

De drie studies hebben banden onderzocht die geproduceerd/gebruikt zijn in diverse Europese landen. Deze banden dienen te voldoen aan Europese regelgeving. Gezien de range van de cijfers in tabel 1 en berekende PAK gehalten (min of meer) conform de EU richtlijn, wordt voorgesteld om de overall gemiddelde waarden uit tabel 1 over te nemen in ER.

De EU richtlijn geldt vanaf 2010, de nieuwe emissiefactoren kunnen gebruikt worden vanaf peiljaar 2015. Voor basisjaar 2010 dient de emissiefactor te worden aangepast omdat er toen al auto's rondreden met banden die voldeden aan de EU-richtlijn. Emissiefactoren tot en met peiljaar 2005 zullen worden gehandhaafd.

2.3 Metalen en elementen

Voor metalen wordt vooral gekeken naar de TNO studie uit 2017 (Joswicka et al). De studie gaat uit van de Nederlandse situatie en het gaat om afgedankte, nog niet gerecyclede autobanden gaat. Wel wordt gekeken of deze concentratie in de range ligt van de oude emissiefactoren en de afgeleide gemiddelde Europese concentratie.

Tabel 2 Gemeten metaal concentraties (mg/kg) in diverse studies. GEM is het rekenkundig gemiddelde.

stof (mg/kg)	huidig ER	TNO studie ¹		Europese literatuur ²		Nieuwe EF
	range	range	GEM	range	GEM	
aantal		30		36-91		
Aluminium	81 - 956	34 - 721	289	1.2-957	425	289
Antimoon	2	0.1-11	1.7	<0.05-7.7	1.6	1.7
Arseen	0.8	0-4.6	0.2	<0.05-<5	1.0	0.2
Barium	0.9 - 4.1	0.1-45	4.9	2.4-167	28	4.9
Beryllium	-			0.001-1.5	0.6	0.6
Cadmium	0.28 - 4.96	0-4	0.5	<0.25-2.38	1.6	0.5
Chroom	0.4 - 49	0.2-2.5	0.8	<0.34-56	7.6	0.8
Kobalt	0.88 - 39	0-118	8.3	0.7-268	118	8.3
Koper	1.8 - 69	0-15	2.5	0.8-111	40	2.5
Ijzer	2 - 2800	28-191	80	5.6-2310	832.0	80
Lood	1 - 160	0.1-259	10.5	<0.5-7256	36.2	10.5
Magnesium	32 - 444	22-451	125	36-966	360	125
Mangaan	2 - 14	0.4-3.8	1.6	2.6-30	8	1.6
Molybdeen	2.8 - 10			0.04-6.6	1.7	1.7
Nikkel	0.9 - 50	0.4-5.4	1.9	0.6-26	4.3	1.9
Seleen	4 - 20	0-23	2.7	<	<	2.7
Strontium	1.16 - 3.13	0.3-4.2	1.7	0.6-90	17	1.7
Tin	-	0.1-11	1.7	0.1-39	7.3	1.7
Titaan	195	0.9-50	16	0.01-72	23.6	16
Vanadium	1	0.1-2.9	1	0.4-22	5	1
Zink	8000 - 13500	6500 - 54000	22100 ³	118-21000	10978	10978

¹ afgedankte banden van autobedrijf

² gerecyclede banden

³ medeling PC Tromp (TNO), betreft het gemiddelde voor personenauto's, excl vrachtwagen 18000 mg/kg.

Voor de afgeleide Europese concentratie is de range en het daaruit berekende gemiddelde uit het ECHA (2017) rapport én de gevonden concentraties uit Schneider (2020) gebruikt en opgenomen in tabel 2. In het ECHA rapport is gekeken naar 8 verschillende Europese studies tussen 2004 en 2016. De resultaten van de verschillende EU studies zijn opgenomen in bijlage A. In de studies is onderscheid gemaakt tussen concentraties van geproduceerd granulaat van gerecyclede banden en concentraties gevonden in het granulaat bij sportvelden.

De huidige emissiefactoren in EmissieRegistratie zijn afkomstig uit 5 studies tussen 1983 en 2002 (ER, 2016). De range daarvan is terug te vinden in de eerste kolom van tabel 2.

Voor de meeste metalen liggen de TNO concentraties binnen de range van zowel de huidige ER emissiefactoren als de range uit de Europese literatuur. Uitzonderingen zijn titaan en zink. De gemiddelde concentratie voor titaan ligt in zowel de TNO als de Europese studies dicht bij elkaar (16 resp 24 mg/kg) maar wijkt flink af van de huidige emissiefactoren (195 mg/kg). Voor zink ligt de TNO concentratie op 22100 mg/kg, Europees op 10978 mg/kg en de huidige factoren op 8000-13500. Gezien de erg hoge concentratie uit de TNO studie wordt voor zink het gemiddelde uit de Europese literatuur aangehouden. Voor de overige metalen worden de concentraties uit de TNO studie overgenomen. Nieuwe emissiefactoren kunnen worden afgeleid voor beryllium en molybdeen uit de Europese studies.

De maatregelen die genomen zijn om de concentratie van PAK in autobanden te reduceren, lijken weinig consequenties te hebben voor de metaalgehalten in autobanden.

Naar het verschil in concentraties tussen personenauto's en vrachtauto's wordt alleen in de Europese Aliapur (2015) studie gekeken. De concentraties in banden voor vrachtauto's liggen alleen voor kobalt, koper, titaan en zink een stuk hoger. Voor zink geldt in het Aliapur rapport een percentage van 1.5% voor personenauto's en 1.9% in vrachtauto's. In de TNO studie zijn 2 van de 30 banden afkomstig van trucks. De autobanden van personenauto's bestaan gemiddeld uit 2.4% ZnO en die van vrachtwagens gemiddeld uit 5.7% ZnO. De gevonden concentraties organisch zink zijn bij de banden van personenauto's weer een factor 2.5 hoger dan bij vrachtwagens. Waardoor de concentratie zink weer minder groot lijken te zijn tussen personen- en vrachtwagens.

In de huidige ER berekeningen wordt 0.95% voor personenauto's, 1.3% voor bestelauto's en 1.7% voor vrachtauto's aangehouden. Omdat het percentage zink uit de Aliapur studie dicht bij elkaar ligt voor personen- en vrachtauto's, bij de TNO studie weinig verschil lijkt te zijn en er in de meeste ander Europese onderzoeken geen onderscheid is gemaakt tussen de verschillende typen wordt aanbevolen om voor alle banden eenzelfde concentratie aan te houden.

In EmissieRegistratie wordt op dit moment voor de metalen uitgegaan van een percentage per stof dat vrijkomt bij slijtage van autobanden. In de nieuw afgeleide cijfers wordt een gemiddelde concentratie in mg/kg berekend. Voor de PAK worden al concentraties gehanteerd binnen ER. Daarom wordt voorgesteld om de nieuwe emissiefactor uit tabel 2 te gebruiken voor de metalen. Er wordt overgestapt van een percentage naar een concentratie.

Fosfor wordt ook genoemd als element in autobanden in de Aliapur studie. De concentratie fosfor is gemiddeld 167 mg/kg. Gekeken naar de berekende emissies voor 2014 (laatste factsheet) gaat het om 91 kg naar oppervlaktewater en 371 kg naar riool. De vrachten voor fosfor zijn verwaarloosbaar klein ten opzichte van andere emissies vanuit afstromend wegwater. Voorstel is om fosfor niet op te nemen bij de bandenslijtage.

2.4 Overige stoffen

In verschillende onderzoeken naar rubber granulaat is in de afgelopen jaren gekeken naar ftalaten, benzothiazolen en fenolen. In drie studies uit ECHA (2017) zijn overige stoffen bepaald: het Norwegian Building Institute (2004), Nillson et al (2008) en Ruffino et al (2013). De meetgegevens uit Schneider et al (2020), RIVM (2016) en TNO (2017) zijn uit de betreffende rapportages overgenomen. Deze onderzoeken met bijbehorende concentraties staan vermeld in bijlage B. De range en het berekende gemiddelde staat weergegeven in tabel 3.

Tabel 3 Range en gemiddelde concentraties uit verschillende studies voor overige stoffen gemeten in autobanden en rubber granulaat (mg/kg). De resultaten uit de studies zelf staan in bijlage B.

concentraties per stof in rubber granulaat (mg/kg)	overall		
	range		gem
Benzothiazole	2.7	87	43
2-Mercaptobenzothiazol	2.6	10	5
2-hydroxybenzothiazole	1.6	56	29
2-methoxybenzothiazole	2.6	10	4
2-aminobenzothiazole	0.1	0	0
N-cyclohexyl-1,3-benzothiazole-2-amine	1.5	4	5
2,2-dithiobis-(benzothiazole)	0.2	0.3	0.2
N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide	<0.02	0.04	0.03
N-1,3-di-methyl-butyl)-N-phenyl-p-phenylene-diamine (1,3-diphenylguanidine)	571	1479	1024
4-tert-octylphenol	12	51	31
4-tert-butylphenol	4.8	50	22
2,4-di-tert-butylphenol	2.5	5.6	4.1
2,6-Di-tert-butyl-p-cresol (butylated hydroxytoluene)	2.8	4.1	3.5
Bisphenol A	1.7	2.6	2.1
Diisononyl phthalate (DINP)	0.5	4.3	2.5
Diisobutyl phthalate (DIBP)	5.9	61	20
DEHP	0.6	3.5	2.5
nonylfenol	4.7	27	7.3
4-VCH			
styreen	206.8	2182.1	970.2
limoneen	125.2	6784.8	3303.3
	60.7	5288.2	1181.2
Concentratie per stof in %			
Rubber	51%	63%	57%
Zwavel	1.1%	2.2%	1.5%
nano BC	6.5%	42%	23%
nano Si)2	0.02%	35%	15%
nano ZNO	0.8%	6.7%	2.7%

Voor de overige stoffen is op dit moment alleen nonylfenol opgenomen in EmissieRegistratie voor autobandenslijtage. De afgeleide factoren zijn afkomstig van het Norwegian Building Institute. De emissiefactor wordt tot en met 2000 op 20 mg/kg geschat, vanaf 2005 op 10 mg/kg. Deze stof is in de recente onderzoeken alleen door RIVM gemeten, waarbij alle waarden zijn aangetroffen onder de rapportagegrens. Het voorstel is om nonylfenol vanaf 2015 op 5 mg/kg te zetten.

Voor DEHP zijn de gevonden concentraties in oudere banden veel hoger dan de concentraties uit recente studies. Om die reden zijn de oude resultaten niet verwerkt in de berekening van de emissiefactor. Het gaat om de blauw gearceerde velden in bijlage B.

Welke van bovenstaande stoffen opgenomen kan worden in ER moet nog besloten worden. De meeste van de stoffen uit tabel 3 zijn nog niet opgenomen in ER. Voorstel vanuit de MEWAT is om in elk geval DEHP en nonylfenol op te nemen. Over de andere stoffen moet de knoop nog worden doorgehakt.

3 Vervolg

De nieuwe emissiefactoren zijn al in de MEWAT besproken in november 2020. De memo is daarop aangepast. De memo zal nog worden ingebracht in de taakgroep Verkeer en Vervoer.

Voorstel:

- PAK
 - Oude factoren handhaven tot en met peiljaar 2005,
 - De gemiddelde waarden overnemen uit tabel 1 voor de peiljaren na 2015.
 - Voor peiljaar 2010 een nieuwe emissiefactor afleiden. Hiervoor dient een schatting gemaakt te worden wat het percentage is van nieuwe versus oude autobanden vervangen in 2010.
- Metalen
Concentraties uit tabel 2 overnemen. De emissiefactoren doorvoeren voor de gehele reeks. Er wordt geen uitzondering meer gemaakt in banden voor personen- en vrachtwagens.
- Overige stoffen
 - Nonylfenol op 5 mg/kg te zetten vanaf 2015
 - DEHP, de gemiddelde waarde overnemen uit tabel 3
 - In de MEWAT is nog geen besluit genomen of de andere overige stoffen worden opgenomen in EmissieRegistratie. De emissiefactoren gelden dan voor de gehele reeks.

4 Literatuur

Aliapur (2015). Resultaten overgenomen uit ECHA, 2017. Achterliggende rapport niet kunnen achterhalen.

ECHA, 2017; Annex XV report; An evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields, 28 February 2017.

EU, 2005. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32005L0069&from=NL>

ER, 2016, Emissieschattingen Diffuse bronnen EmissieRegistratie, Bandenslijtage wegverkeer, mei 2016.

Jozwicka Magdalena, Hugo Denier van der Gon, Antoon Visschedijk, Sanne van Leeuwen Peter Tromp, NanoNextNL, Emissions of nanoparticles from engine oil, brake wear, tyre wear and catalysts, TNO, 2017

RIVM, 2016; Oomen, A.G. and G.M. de Groot, Beoordeling gezondheidsrisico's door sporten op kunstgrasvelden met rubbergranulaat, RIVM Rapport 2016-0202.

Schneider, Klaas, Manfred de Hoogd, Maria Pelle Madsen, pascal Haxaire, Anne Bierwisch and Eva Kaiser, ERASSTRI – European Risk Assessment Study on Synthetic Turf Rubber Infill – Part 1: Analysis of infill samples, Science of the Total Environment 718 (2020).

A Concentraties metalen autobanden Europese studies

Ranges uit het ECHA rapport (2017), waarbij gekeken is naar 8 verschillende Europese studies tussen 2004 en 2016. In studies waar alleen een range gerapporteerd is, is het range-gemiddelde gebruikt. Alleen de range en het gemiddelde zijn overgenomen uit het ECHA rapport. In de studies is onderscheid gemaakt tussen concentraties van geproduceerd granulaat van gerecyclede banden en concentraties gevonden in het granulaat bij sportvelden.

Tabel A.1 Concentraties in verschillende studies voor metalen gemeten in rubber granulaat (mg/kg). De blauw gearceerde velden zijn dusdanig afwijkend dat ze niet zijn meegenomen in het berekenen van het gemiddelde. De rode cijfers zijn de halve waarde van de rapportagegrens, GEM is het rekenkundig gemiddelde.

stof (mg/kg)	Gercycled rubbergranulaat bedrijven						Gercycled granulaat sportvelden						resultaat		
	Norwegian building institute (2004)	Nilsson N. (2008)	Marsili et al. (2014)	Alipur (2015)	Schneider (2020)	Murfits industries (2016)	Nilsson N. (2008)	Bocca et al. (2009)	nenichini et al. (2011)	Ruffino et al. (2013)	Marsili et al. (2014)	Schneider et al. (2020)	marge	GEM	huidig ER
aantal	3	2		4	25		1	32	4	4	4	47			
Aluminium				603-876	957.16	25.7	-	1.2-6680	164-477	68-94	-	5382	1.2-957	425	81 - 956
Antimoon						0.25	-	0.3-7.7	0.46-1.1	-	-		<0.05-7.7	1.6	2
Arseen	1.5			1.5		0.25		0.1-1.21	0.1-0.41	2.7	-		<0.05-<5	1.0	0.8
Barium				5-12		2.6		2.4-4778	2.4-23	10.7-167			2.4-167	28	0.9 - 4.1
Beryllium				1.5				0.001-0.37	0.008-0.04				0.001-0.37	0.6	-
Cadmium	1-2		0.47-2.05	1.5	0.97	0.25		0.11-1.89	0.62-1.9	0.13	0.47-2.38	7.2	<0.25-2.38	1.6	0.28 - 4.96
Chroom	1		3.3-17.5	3-12				0.4-56	<0.34-4.6	0.36	1.9-5.4		<0.34-56	7.6	0.4 - 49
Kobalt				99-268	184.35	0.7		3.5-234	8.8-116	97-125		168	0.7-268	118	0.88 - 39
Koper	20-70			39-111		39.2		0.8-60	8.7-22	29-60.5	5.5-65		0.8-111	40	1.8 - 69
Ijzer			5.6-84	451-2310				15-4318	199-620	37-105	262.2-1577		5.6-2310	832	2 - 2800
Lood	15-20		129-7256	11-25	23.53	0.25		12-46	12-26	19.7-308	11-39	30	<0.5-7256	36	1 - 160
Lithium			14-34					0.6-11	0.87-1.4				0-34	10	0.23 - 2.3
Magnesium				288-507				123-966	235-653	36-53			36-966	360	32 - 444
Mangaan				4-19		2.6		3-30	3-4.4	4-5.5			2.6-30	7.8	2 - 14
Kwik	<9.93-0.04			1.5		0.25		0.03-0.16	0.05-0.16				0.03-0.2	0.5	-
Molybdeen				1.5				0.04-6.6	0.12-0.29				0.04-6.6	1.7	2.8 - 10
Nickel	2.5		4.1-26	3.8-8		0.25		0.6-5.8	1.3-2.5	0.75	3.9-5.8		0.6-26	4.3	0.9 - 50
Rubidium								0.7-26	0.9-3.1				0.7-26	7.7	-
Seleen				1.5		0.25		0.15	0.15				<	<	4 - 20
Strontium						0.6		3.2-90	3.2-6				0.6-90	17	1.16 - 3.13
Tin						0.25		0.1-3	0.65-2.4	13-39			0.1-39	7.3	-
Titaan				32-72				0.01-0.21	0.04-0.14	36-48.5			0.01-72	24	195
Vanadium				1.5				0.4-22	1.3-3.5				0.4-22	5.0	1
Wolfram								0.02-2	0.06-0.12				0.02-2	0.6	-
Zink	7300-17000	16200-18500	-	15000-20000		491	21000	118-19375	10229-17772	1220-1530	4368-6006		118-21000	10978	8000 - 13500

B Concentraties overige stoffen in autobanden

Tabel B.1 Concentraties in verschillende studies voor overige stoffen gemeten in rubber granulaat (mg/kg). De blauw gearceerde velden zijn dusdanig afwijkend dat ze niet zijn meegenomen in het berekenen van het gemiddelde. De rode cijfers zijn de halve waarde van de rapportagegrens en GEM is het rekenkundig gemiddelde.

concentraties per stof in rubber granulaat (mg/kg)	Norwegian Building Institute (2004), granulaat	Nilsson et al (2008) granulaat	Ruffino et al (2013) sportveld	Schneider et al (2020)			RIVM (2016) sportveld	TNO (2017)	Overall	
	range	range	range	sportveld	granulaat	GEM	GEM	gem 30	range	GEM
aantal meetpunten	3	3	4	47	25	73	100	30		
Benzothiazole (BT)		13-60		48	87	67	3.5	66.4	2.7- 87	43
2-Mercaptobenzothiazol				8.0	3.1	5.5	3.6		2.6- 10	5
2-hydroxybenzothiazole (OHBT)				34	56	45	3.6	38.8	1.6- 56	29
2-methoxybenzothiazole							4.2		4.2	4.2
2-aminobenzothiazole							0.2		0.2	0.20
N-cyclohexyl-1,3-benzothiazole-2-amine (NCBA)							2	8.3	2-8.3	5.2
2,2-dithiobis-(benzothiazole)							0.2		0.2	0.20
N-cyclohexyl-2-benzothiazole sulphenamide							0.03		0.03	0.03
N-1,3-di-methyl-butyl)-N-phenyl-p-phenylene-diamine (1,3-diphenylguanidine)				571	1478	1024			571- 1479	1024
4-tert-octylphenol	19.6-33.7			14	50	32	8.7		4.8- 50	23
4-tert-butylphenol				2.5	5.6	4.1			2.5- 5.6	4.1
2,4-di-tert-butylphenol				2.8	4.1	3.5			2.8- 4.1	3.5
2,6-Di-tert-butyl-p-cresol (butylated hydroxytoluene)				1.7	2.6	2.1			1.7- 2.6	2.1
Bisphenol A				3.2	4.3	3.7	0.5		0.5- 4.3	2.3
Diisononyl phthalate (DINP)	57-58			15	5.9	11	34.1		5.9- 61	34
Diisobutyl phthalate (DIBP)				3.5	2.5	3.0	0.6		0.6-3.5	2.0
DEHP	21-29	52	26	9.2	4.7	6.9	8.2		4.7- 9.2	7.6
nonylfenol	9.1-21.6						<RG		-	
4-VCH								970	207-2182	970
styreen								3303	125-6785	3303
limoneen								1181	61-5288	1181
Concentratie per stof in %										
Rubber								57.20%	51%-63%	57%
Zwavel								1.50%	1.1%-2.2%	2%
nano BC								23.40%	6.5%-42%	23%
nano siliciumdioxide (SiO ₂)								15.10%	0.02%-35%	15%
nano Zinkoxide (ZnO)								2.70%	0.8%-6.7%	3%