



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Gezondheidseffecten van brommeremissies

RIVM briefrapport 630315001/2011
M.E. Gerlofs-Nijland et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Gezondheidseffecten van brommeremissies

RIVM Briefrapport 630315001/2011
M.E. Gerlofs-Nijland et al.

Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

M.E. Gerlofs-Nijland
E.A.M. Mathijssen
W.P. Jongeneel
F.R. Cassee

Contact:

M.E. Gerlofs-Nijland
Centrum Milieu, Gezondheid en Omgevingskwaliteit
Miriam.Gerlofs@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M), in het kader van het project M/630315/09/BE Brommeremissies en Gezondheid.

Rapport in het kort

Gezondheidseffecten van brommeremissies

Al langer is bekend dat emissies van brommers, net als van andere gemotoriseerde voertuigen, longontsteking kunnen veroorzaken en de luchtwegen overgevoelig kunnen maken voor bijvoorbeeld allergenen. Bovendien kunnen ze de voortplanting schaden en het erfelijke materiaal (DNA) beschadigen. De ernst en omvang van de aan brommeremissie gerelateerde gezondheidseffecten zijn voor verkeersdeelnemers als fietsers echter niet duidelijk. Daardoor is ook niet duidelijk hoe deze effecten zich verhouden tot de effecten die overig gemotoriseerd wegverkeer veroorzaken. Een belangrijke reden hiervoor is het ontbreken van kennis over de relatie tussen feitelijke blootstelling en een scala van mogelijke gezondheidseffecten.

Dit blijkt uit een oriënterende studie van het RIVM naar de gezondheidseffecten van brommeremissies dat in opdracht van het ministerie van I&M is uitgevoerd. Aanleiding hiervoor is een onderzoek van de Fietsersbond uit 2008 naar de blootstelling van verkeersdeelnemers aan fijn stof ($PM_{2,5}$) en ultrafijn stof ($PM_{0,1}$) uitgestoten door gemotoriseerde voertuigen waaronder brommers. Of er werkelijk gezondheidsschade optreedt als deze emissies worden ingeademd bleef echter onduidelijk.

Factoren die brommeremissies beïnvloeden

Verskillende factoren beïnvloeden de emissies van brommers. Voorbeelden zijn het type motor, de hoeveelheid gereden kilometers, de motorafstelling (bijvoorbeeld opvoeren), onderhoud, rijstijl, Euroklasse (waarmee eisen worden gesteld aan de uitstoot) en technologie. Door maatregelen die de verbranding van brommermotoren optimaliseren raakt de lucht minder vervuild. Dit geldt vooral voor de overgang van tweetakt- naar viertaktbrommers en de invoering van het brandstofinjectiesysteem, dat voor een lager brandstofverbruik zorgt. In hoeverre gezondheidseffecten afnemen door een lagere uitstoot van schadelijke stoffen door brommers is echter op basis van de huidige kennis niet aan te geven.

Brommeremissies per groep stoffen

Brommeremissies bevatten relatief veel koolwaterstoffen: bijna een kwart (13-24 procent) van de koolwaterstofemissies van het totale wegverkeer is afkomstig van brommers. De bijdrage aan de koolmonoxide-emissie is 4-10 procent en de bijdrage aan fijn stof (PM_{10}) 1-4 procent. Brommers stoten per kilometer meer gram koolmonoxide, koolwaterstof en fijn stof uit dan personenauto's en minder kooldioxide. De stikstofoxidenemissie komt per kilometer overeen met die van personenauto's. Het aandeel van brommers aan de totale emissie van groepen stoffen die door verkeer worden uitgestoten is echter klein.

Trefwoorden:

brommeremissies, gezondheid, tweetakt- en viertaktbrommers, technologie

Abstract

Health effects of moped emissions

For some time now it has been known that emissions from mopeds, like other motor vehicles, can cause respiratory inflammation and hypersensitivity of the respiratory tract for example to allergens. Moped emissions can also damage the reproductive system and hereditary material (DNA). However, the severity and extent of the moped emission-related health effects are not clear for road users like cyclists. It is also not clear how these effects relate to negative health effects caused by other motorized vehicles. One reason for this is the lack of knowledge on the relationship between actual exposure and a whole range of possible health effects.

This is the conclusion of an exploratory study carried out by the National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) into the health effects of moped emissions. The study was commissioned by the Dutch Ministry of Infrastructure and the Environment (I&M). The reason for requesting this study stems from an investigation in 2008 by the Dutch Cyclists' Union into the exposure of road users to fine particles (PM_{2.5}) and ultra fine particles (PM_{0.1}) emitted by motor vehicles and which includes mopeds. Whether or not actual damage to health occurs through inhaling these emissions, was not clear from the present study.

Factors that influence emissions from mopeds

The emissions from mopeds are influenced by various factors. For example, the type of engine, the mileage, engine tuning, maintenance, driving style, Euro class (which places demands on the emission) and technology. Measures for optimizing the combustion of moped engines result in less air pollution. This is especially true for the transition from two-stroke to four-stroke mopeds and the introduction of the fuel injection system, which requires less fuel to be used. The extent to which negative health effects are reduced by lower emissions of harmful substances from mopeds, however, could not be determined based on the present knowledge.

Moped emissions per group of substances

Moped emissions contain quite a lot of hydrocarbons: almost one quarter (13-24 percent) of the total amount of hydrocarbon emissions from all road traffic comes from mopeds. The contribution to the carbon monoxide emission is 4-10 percent and the contribution to particulate matter (PM₁₀) 1-4 percent. Mopeds emit per kilometre more grams of carbon monoxide, hydrocarbon and PM than cars and less carbon dioxide. The emission of nitrogen oxides per kilometre is similar to that of cars. However, the part played by mopeds in relation to the total traffic emission of group of substances is small.

Key words:

moped emissions, health, two-stroke and four-stroke mopeds, technology

Inhoud

Samenvatting—9

1 Inleiding—11

2 De uitvoering van het onderzoek—13

2.1 Vaststelling onderzoeksvragen—13

2.2 Definiëring type voertuigen—13

2.3 Regelgeving en emissieclassen—14

3 Emissies—15

3.1 Algemeen—15

3.2 Gereguleerde emissies—15

3.2.1 Koolmonoxide (CO)—15

3.2.2 Koolwaterstoffen (HC) en stikstofoxiden (NO_x)—17

3.3 Ongereguleerde emissies—17

3.3.1 Kooldioxide (CO₂)—17

3.3.2 Fijn stof (PM)—18

3.3.3 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen—19

4 Bijdrage brommers luchtkwaliteit t.o.v. andere vervoersmiddelen—21

4.1 Bijdrage brommeremissies aan totale verkeersemissie—21

4.2 Vergelijking emissies met personenauto's—22

5 De schadelijkheid van brommeremissies—25

5.1 Schadelijkheid van brommeremissies (algemeen)—25

5.1.1 In vitro onderzoek—25

5.1.2 In vivo onderzoek—25

5.2 Schadelijkheid van brommeremissies t.o.v. personenauto's—26

5.2.1 Fijn stof—27

5.2.2 Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's)—27

5.2.3 Koolwaterstoffen (HC)—29

5.3 Impact van brommeremissies op de gezondheid t.o.v. personenauto's.—29

6 Maatregelen ter reductie van emissies dan wel schadelijkheid van brommeremissies—31

6.1 Regelgeving en handhaving—31

6.1.1 Tegengaan van opvoeren van brommers—31

6.1.2 Gebruik van vier-takt brommers stimuleren—31

6.1.3 Gebruik van elektrische brommers stimuleren—31

6.1.4 Stimuleren van verbetering technologie brommers—32

6.1.5 Vervanging minerale smeerolie door synthetische smeerolie—32

6.1.6 Vermindering blootstelling emissies—32

6.2 Verbetering technieken—32

6.2.1 Katalysatoren—32

6.2.2 Brandstofinjectietechnieken—33

6.2.3 Alternatieve brandstoffen—33

6.2.4 Filters—33

7 Conclusies en aanbevelingen—35

8 Referenties—37

Samenvatting

In 2008 hebben de media aandacht besteed aan de risico's voor de volksgezondheid door blootstelling aan brommeremissies naar aanleiding van een onderzoek van de Fietsersbond. In dat onderzoek werd gemeld dat brommers hoge concentraties ultrafijn stof uitstoten waaraan andere verkeersdeelnemers blootgesteld kunnen worden. Of er werkelijk gezondheidsschade optreedt als deze emissies worden ingeademd werd in het onderzoek niet duidelijk gemaakt. Het onderzoek van de Fietsersbond is mede de aanleiding voor deze oriënterende studie naar de gezondheidseffecten van brommeremissies, uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M). Naast antwoord op de vraag welke gezondheidseffecten door blootstelling aan brommeremissies kunnen optreden wordt ingegaan op de vraag hoe deze zich verhouden tot effecten door emissies van personenauto's. Ook geven de resultaten van deze op literatuuronderzoek gebaseerde oriënterende studie inzicht in maatregelen om uitstoot te beperken.

Brommeremissies leveren vooral een aanzienlijke bijdrage aan de totale verkeersemissie van koolwaterstoffen (HC). Bijna een kwart (13-24%) van de koolwaterstofemissies van het totale wegverkeer is afkomstig van brommers. De bijdrage aan de koolmonoxide-emissie (CO) is 4-10% en de bijdrage van brommers aan fijn stof (PM₁₀) is 1-4%. Brommers stoten per kilometer meer gram koolmonoxide, koolwaterstof en fijn stof uit dan personenauto's en minder kooldioxide. De stikstofoxidenemissie (NO_x) komt per kilometer overeen met die van personenauto's. Gezien het feit dat de brommer bijdrage aan de totale verkeersemissie van koolwaterstoffen aanzienlijk is, zal vermindering van brommeremissies leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit in gebieden waar brommers veel voorkomen zoals stedelijke gebieden. Het aandeel van brommers aan de totale emissie van groepen stoffen die door verkeer worden uitgestoten is echter klein.

Al langer is bekend dat emissies van brommers, net als van andere gemotoriseerde voertuigen, longontsteking kunnen veroorzaken en de luchtwegen overgevoelig kunnen maken bijvoorbeeld voor allergenen. Bovendien kunnen de uitgestoten stoffen de voortplanting schaden en het erfelijke materiaal (DNA) beschadigen. Of er werkelijk gezondheidsschade optreedt als brommeremissies worden ingeademd, hangt af van de relatie tussen feitelijke blootstelling en een scala van mogelijke gezondheidseffecten. Tot op heden ontbreekt de kennis om de relatie voor brommers in kaart te brengen. Uit de oriënterende studie blijkt dat maatregelen die de verbranding van brommermotoren optimaliseren leiden tot een afname in emissies. Dit geldt vooral voor de overgang van tweetakt naar viertaktbrommers en de invoering van het brandstofinjectiesysteem, dat voor een lager brandstofverbruik zorgt. In hoeverre gezondheidseffecten afnemen door een lagere uitstoot van schadelijke stoffen door brommers is echter op basis van de huidige kennis niet aan te geven.

Hoewel deze oriënterende studie naar de schadelijkheid van brommeremissies geen systematisch review is, kunnen een aantal belangrijke bevindingen opgemerkt worden.

- Verschillende factoren beïnvloeden de emissies van brommers. Voorbeelden zijn het type motor, de hoeveelheid gereden kilometers, de motorafstelling (bijvoorbeeld opvoeren), onderhoud, rijstijl, Euroklasse (waarmee eisen worden gesteld aan de uitstoot) en technologie.

- Op veel van deze factoren zijn interventies mogelijk waardoor de emissies afnemen.
- Welke maatregelen effectief zijn voor de Nederlandse situatie hangt af van de samenstelling van de huidige brommervloot en het gebruik van deze brommers, zoals de jaarkilometrage en de hoeveelheid gereden kilometers in de stad.

De uitkomsten van deze oriënterende studie helpen beleid bij het bepalen van nut en noodzaak van te nemen maatregelen ter bescherming van de gezondheid. Op basis van de huidige kennis is echter niet aan te geven wat het gezondheidsrendement van maatregelen ter reductie van emissies zal zijn of wat nu de totale impact van blootstelling aan brommeremissies is.

1 Inleiding

De Fietsersbond (Boogaard en Hoek, 2008) heeft onderzoek gedaan naar de hoeveelheid fijn stof ($PM_{2,5}$) en ultrafijn stof ($PM_{0,1}$) waaraan fietsers en automobilisten worden blootgesteld. In de media werden naar aanleiding van dit onderzoek brommers bestempeld als "ultrafijnstof-kanonnen". Uit dit onderzoek bleek dat brommers hoge concentraties ultrafijn stof uitstoten waaraan andere verkeersdeelnemers gedurende korte tijd worden blootgesteld.

Het ministerie van I&M krijgt sindsdien regelmatig vragen van GGD en burgers over de gezondheidseffecten van brommers, hun bijdrage aan emissies ten opzichte van andere voertuigen en maatregelen om uitstoot te beperken. De Directie Klimaat en Lucht van het ministerie van I&M heeft het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) opdracht gegeven een op literatuuronderzoek gebaseerde oriënterende studie uit te voeren wat inzicht kan geven in de noodzaak maatregelen op te stellen om gezondheidseffecten door brommers te beperken. Momenteel is onduidelijk welke maatregelen dit zouden kunnen zijn en wat het effect ervan is voor het huidige brommerwagenvoertuigpark. De samenstelling van de huidige brommervloot in Nederland maakt geen deel uit van deze quick scan. Cijfers over de omvang van het brommerwagenvoertuigpark zijn beschikbaar bij het CBS en bij de RAI-BOVAG, maar gegevens over het aandeel van het gebruik in de stedelijke omgeving zijn niet bekend (Rijkeboer et al., 2002).

In deze oriënterende studie staat de volgende vraag centraal: "Wat is bekend over de schadelijkheid van brommeremissies vooral voor de Nederlandse situatie?". Deze oriënterende studie is bedoeld om het beleid te ondersteunen bij het bepalen van het nut en de noodzaak van maatregelen die de gezondheid beschermen. De gezondheidseffecten ten gevolge van de emissies van de huidige brommervloot in Nederland zijn in kaart gebracht door middel van een beperkte literatuurstudie en het raadplegen van deskundigen in binnen- en buitenland. De kennis op het gebied van emissies van brommers en effecten op de gezondheid ten gevolge van de uitstoot kan inzicht verschaffen in de mogelijk te nemen maatregelen om de schadelijkheid van brommeremissies te reduceren.

In Hoofdstuk 2 wordt de uitvoering van het onderzoek beschreven, welke keuzes er gemaakt zijn tijdens het onderzoek en tot welke vragen het onderzoek zich beperkt. Hoofdstukken 3 t/m 6 beschrijven de resultaten.

Onder de term brommers wordt in dit rapport verstaan: bromfietsen, snorfietsen en scooters met een tweetakt- of een viertaktmotor, 2 wielen en een cilinderinhoud van maximaal 50 cc. Het rapport wordt afgesloten met conclusies en aanbevelingen.

2 De uitvoering van het onderzoek

2.1 Vaststelling onderzoeksvragen

In overleg met de opdrachtgever zijn de volgende onderzoeksvragen opgesteld. De nadruk ligt op de situatie in Nederland en Europese landen waar een vergelijkbaar brommergebruik is.

1. Wat is er bekend over de emissies van brommers en scooters?
2. Wat is de bijdrage van brommers en scooters aan de luchtkwaliteit (o.a. PM₁₀, NO₂ en ultrafijnstofconcentraties) t.o.v. andere vervoersmiddelen?
3. Wat is er bekend over de schadelijkheid van brommeremissies vooral bij de huidige vloot in Nederland?
4. Hoe verhoudt de schadelijkheid van brommers en scooters zich t.o.v. andere vervoersmiddelen?
5. Welke maatregelen zouden er genomen kunnen worden om de schadelijkheid van brommeremissies te reduceren?

Na definiëring van de vraagstelling is een beperkte literatuurstudie uitgevoerd gericht op brommers met een cilinderinhoud van minder dan 50 cc. Veel publicaties hebben betrekking op de situatie in China, Taiwan en India, maar omdat het gebruik van bromfietsen en scooters daar erg afwijkt van het gebruik in Nederland zijn deze publicaties niet betrokken bij dit onderzoek.

2.2 Definiëring type voertuigen

In verschillende publicaties worden uiteenlopende de termen voor brommers, scooters en motoren gebruikt. In tabel 2.1 zijn de motorvoertuigen aanwezig in Nederland weergegeven inclusief enkele kenmerken. Juridisch gezien is er in Nederland sprake van bromfietsen en motorfietsen. Zowel bromfietsen als motorfietsen kennen een scootervariant. Lichte motorfietsen, met een cilinderinhoud van meer dan 50 maar minder dan 150 cc komen in Nederland weinig voor. Onderzoek naar de emissies daarvan is voor Nederland niet relevant.

Tabel 2.1 In Nederland voorkomende motorvoertuigen, anders dan personenauto's, bestelauto's, vrachtwagens, autobussen en landbouwvoertuigen

Type	Omschrijving	Aantal wielen	Type motor	Cilinder inhoud	Max snelheid km/u	Auto snelweg
Bromfiets	Fiets met hulpmotor	2	2 en 4-takt	<50 cc	45	nee
Snorfiets	Bromfiets ≤25 km/u valhelm niet verplicht	2	elektrisch, 2 en 4-takt	<50 cc	25	nee
Scooter	Motorvoertuig met open frame op twee kleine brede wielen	2	elektrisch, 2 en 4-takt	<50 cc	45	nee
Scootmobiel	Elektromotor aangedreven voertuig	3 of 4	elektrisch, 2 en 4-takt	<50 cc	19	nee
Brommobiel	Op kleine personenauto lijkend voertuig	3 of 4	elektrisch, 2 en 4-takt	<50 cc	45	nee
Motor-scooter	Scooters met een grotere cilinderinhoud	2	2 en 4-takt	>50 cc		ja
Motorfiets	Motorvoertuig met grotere cilinderinhoud	2 of 3	2 en 4-takt	>50 cc		ja

Het hier beschreven literatuuronderzoek heeft zich beperkt tot emissies en gezondheidseffecten van bromfietsen, snorfietsen en scooters met een tweetakt- of een viertaktmotor, 2 wielen en een cilinderinhoud van maximaal 50 cc.

2.3 Regelgeving en emissieklassen

Voor brommers zijn grenswaarden opgesteld voor emissies van koolmonoxide, koolwaterstof en stikstofoxiden door het Europese Parlement en de Council van de Europese Unie. In dit ECE Reglement 47 uit 1981 zijn uniforme voorschriften aangegeven betreffende de uitstoot van gasvormige emissies door de motor voor de goedkeuring van bromfietsen uitgerust met een verbrandingsmotor met elektrische ontsteking. Pas in 1997 zijn grenswaarden vastgelegd in de Directive 97/24/EC. Hierin worden 2 stappen van eisen aangegeven aangeduid met Euro 1 en Euro 2 en deze grenswaarden zijn momenteel van kracht (tabel 2.2).

Tabel 2.2 Grenswaarden voor emissies van brommers (Directive 97/24/EC)

Jaar / Klasse	CO in g/km	HC+ NOx in g/km
1999 / Euro 1	6	3
2002 / Euro 2	1	1,2

3 Emissies

3.1 Algemeen

De emissies van brommers zijn afhankelijk van verschillende factoren. Zo zijn de emissies sterk afhankelijk van het type motor. Er worden duidelijke verschillen gemeten bij brommers met een tweetakt- of een viertaktmotor, een brommer met een katalysator, een brommer met een carburateur en brommers met een brandstofinjectiesysteem. Voor alle brommers geldt dat het opvoeren de emissie verhoogt (Spezzano et al., 2008a). Niet alleen het type brommer heeft invloed op de emissies maar tevens factoren als leeftijd, aantal gereden kilometers, onderhoud, rijstijl en de meteorologische omstandigheden (Saxe, 2003; Yang et al., 2005a,b). Daarnaast kan het gebruik van verschillende soorten benzine en smeerolie een grote spreiding in de gemeten emissies tot gevolg hebben (Czerwinski et al., 2006; Spezzano et al., 2008a). De verschillende beschikbare onderzoeken zijn moeilijk vergelijkbaar door het gebruik van brommers en motoren van verschillende ouderdom, met verschillende technologieën en niet overeenkomstige testomstandigheden.

In tabel 3.1 is een overzicht opgenomen van gemeten emissies voor brommers met een cilinderinhoud kleiner dan 50 cc. Er is hierbij geen onderscheid gemaakt in de plaats van de emissie zoals een stedelijke omgeving, snelweg of op het platteland.

3.2 Gereguleerde emissies

In Nederland gelden voor brommers de Euro 2 grenswaarden (Directive 97/24/EC). Dit betekent dat de emissie voor koolmonoxide niet hoger mag zijn dan 1 g/km en voor de totale koolwaterstoffen en de stikstofoxiden samen niet hoger dan 1,2 g/km (tabel 2.2).

3.2.1 Koolmonoxide (CO)

In tabel 3.1 zijn de gemiddelde CO emissies uit verschillende onderzoeken weergegeven. De diverse publicaties vermelden uiteenlopende resultaten voor CO emissies van tweetakt- en viertaktmotoren. Deze niet consistente uitkomsten kunnen soms verklaard worden uit het feit dat motoren met verschillende cilinderinhoud vergeleken worden. De conclusie in de publicatie van Prati en Costagliola (2009) is dat de CO emissie van viertaktmotoren minder is dan voor tweetaktmotoren. Bij nadere beschouwing van de gegevens uit dit onderzoek blijkt er echter nagenoeg geen verschil in CO emissies te zijn voor tweetakt- en viertaktbrommers in de Euro 1 en 2 klasse. De tweetaktbrommer uit de pre-euro klasse stoot verreweg de meeste CO uit. Een enkel onderzoek laat duidelijk zien dat viertaktmotoren < 50 cc minder CO emissie geven dan tweetaktmotoren al is de Euroklasse voor deze viertaktbrommer niet bekend (Saxe, 2003). Gaande van pre-euro naar Euro 1 en 2 wordt er een afname van de CO-emissie voor zowel tweetakt- als viertaktmotoren gevonden (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Waargenomen emissies afkomstig uit verschillende onderzoeken

Klasse	Prati en Costagliola 2009				Vasic 2006		Yang* 2005b		Schramm 2005		Chen 2003		Saxe 2003					
	pre-Euro 2-takt carb	Euro 1 2-takt carb	Euro 1 4-takt Carb	Euro 2 4-takt EFI	Euro 2 2-takt carb	Euro 2 4-takt Carb	Euro 1 2-takt carb	2-takt carb	2-takt carb	2-takt Carb	2-takt EFI	2-takt	2-takt	pre-Euro 2-takt	Euro 1 2-takt	Euro 1 2-takt	Euro 1 2-takt	4-takt
Injectiesysteem																		
Nabehandeling	geen	OC	Geen	OC lambda Sensor	OC-SAI	OC-SAI	OC					OC						
Aantal gereden km	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	11.222	16	29.800			gebruikt						
CO g/km	9,81	6,46	7,83	0,532	4,15	3,38	7,1	3,05	4,45	4	0,7	6,61	13,51	12,64	2,39	8,95		
HC g/km	6,33	2,49	0,789	0,312	3,461	0,239	4,7	1,85	3,94	4	1	3,37	8,28	2,86	1,93	1,16		
NOx g/km	0,04	0,03	0,343	0,064	0,03	0,273	0,06	0,07	0,05	0,03	0,6	0,037	0,17	0,06	0,42	0,4		
CO ₂ g/km	-	-	-	-	-	-	39,1	-	-	-	-	43,07	32	51,2	45,2	45,9		

Afkortingen: carb = carburateur; OC = oxidation catalyst; SAI = secondary air injection; EFI = Electronic Fuel Injection; DI = Direct Injection
* koude start

Opvallend is de CO afname bij toepassing van een brandstofinjectiesysteem. De toepassing van dit systeem resulteert in een emissieafname van 84% bij een brommer met viertaktmotor en Euro 2 klasse (Prati en Costagliola, 2009). Afname van CO emissies door gebruik van brandstofinjectiesystemen wordt bevestigd door ander onderzoek. Het onderzoek bij tweetaktbrommers laat een afname van 81% (Saxe, 2003) en 83% zien (Schramm et al., 2005).

Voor wat betreft de regelgeving blijkt dat gebruikte brommers niet voldoen aan de Euro 1 norm (6 g/km) en zeker niet aan de Euro 2 norm (1 g/km). Een uitzondering hierop zijn de brommers getest door Yang et al. (2005b). De uitstoot van deze brommers voldoet aan de Euro 1 maar niet aan de Euro 2 norm. Over het algemeen hebben alleen brommers met een brandstofinjectiesysteem een CO emissie die lager is dan de Euro 2 norm van 1 g/km. Een uitzondering hierop vormt de brommer uit het onderzoek van Saxe (2003) waar een CO emissie van 2,39 g/km gevonden wordt (tabel 3.1).

3.2.2 *Koolwaterstoffen (HC) en stikstofoxiden (NOx)*

In tabel 3.1 zijn de gemiddelde HC en NOx emissies uit diverse publicaties weergegeven. Uit de verschillende onderzoeken blijkt dat tweetaktmotoren meer koolwaterstoffen uitstoten dan viertaktmotoren. Voor de NOx uitstoot geldt het tegenovergestelde, viertaktmotoren stoten veel meer NOx uit dan tweetaktmotoren.

Brommers uit de Euro 1 klasse geven een verlaging van de HC emissie te zien ten opzichte van de pre-euroklasse. Deze afname bij toenemende euroklasse zet zich voort bij viertaktmotoren maar niet bij tweetaktmotoren. De tweetaktbrommer uit de Euro 2 klasse uit het onderzoek van Prati en Costagliola (2009) geeft een hogere HC emissie dan die uit de Euro 1 klasse. Dit in tegenstelling tot de viertaktbrommer uit de Euro 2 klasse die wel een verlaging van de HC emissie ten opzichte van de Euro 1 klasse viertaktbrommer geeft.

Er zijn geen duidelijke verschillen aan te geven in NOx emissies tussen de verschillende klassen met uitzondering van het onderzoek van Saxe (2003). In dit onderzoek is een duidelijke afname in NOx waarneembaar gaande van pre-euro naar Euro 1.

Uit de onderzoeken opgenomen in tabel 3.1 blijkt dat toepassing van een brandstofinjectiesysteem bij tweetaktmotoren over het algemeen leidt tot een vermindering van de HC emissie (Saxe, 2003; Schramm et al., 2005). Bij viertaktmotoren is een lichte stijging waar te nemen bij gebruik van een brandstofinjectiesysteem (Prati and Costagliola, 2009). Hierbij dient opgemerkt te worden dat het verschil in emissie minimaal is en dat bij dit onderzoek slechts één viertaktmotor met een brandstofinjectiesysteem is getest.

Voor NOx geldt het tegenovergestelde als voor HC emissie. Tweetaktmotoren waarbij een brandstofinjectiesysteem wordt toegepast stoten meer NOx uit terwijl deze toepassing bij viertaktmotoren leidt tot een verminderde NOx uitstoot.

3.3 **Ongereguleerde emissies**

3.3.1 *Kooldioxide (CO₂)*

CO₂ emissies van brommers met een cilinderinhoud minder dan 50 cc zijn nauwelijks onderzocht. De CO₂-emissie van viertaktmotoren komt overeen met die van de tweetaktmotoren, zoals blijkt uit het onderzoek van Saxe (2003).

In dit onderzoek is de uitstoot van vier brommers uit verschillende klassen gemeten, waarvan drie tweetaktmotoren en één viertaktmotor, allen met een cilinderinhoud minder dan 50 cc (tabel 3.1). In andere onderzoeken kan het vergelijk tweetakt- en viertaktmotoren niet gemaakt worden omdat de viertaktmo-

toren een cilinderinhoud van groter dan 50 cc hebben (Chen et al., 2003, Vasic and Weilenmann, 2006). De gevonden emissiefactoren voor CO₂ voor brommers van < 50 cc liggen in dezelfde orde van grootte en variëren van 39,1 tot 51,2 g/km (tabel 3.1).

Invoering van de Euroklassen hebben voor brommers geen vermindering van de CO₂-emissie tot gevolg gehad. Ook de toepassing van een brandstofinjectiesysteem lijkt volgens dit onderzoek niet te leiden tot een duidelijke afname van de CO₂ emissie (Saxe, 2003).

3.3.2 *Fijn stof (PM)*

Het brommeremissie onderzoek richt zich meer en meer op fijnstofemissies (Czerwinski et al., 2006; Etissa et al., 2008; Hensema en Roeterdink, 2009; Ntziachristos et al., 2005, 2006; Prati en Costagliola, 2009; Saxe, 2003; Spezzano et al., 2008a,b; Yang et al., 2005a,b). In de publicaties van Hensema en Ntziachristos worden modellen gebruikt en de overige publicaties zijn gebaseerd op experimenteel onderzoek.

Er zijn weinig onderzoeken beschreven waar de fijnstofemissie van tweetakt- en viertaktmotoren vergeleken wordt. Deze onderzoeken laten zien dat bij een vergelijkbare techniek en cilinderinhoud tweetaktmotoren een lichte stijging in fijnstofemissies laten zien ten opzichte van viertaktmotoren (Czerwinski en Comte, 2003; Prati en Costagliola, 2009). Toekomstig onderzoek zal moeten uitwijzen of dit algemeen geldt. Invoering van een katalysator zoals bij Euro 1 heeft echter een veel sterkere afname van de fijnstofemissie tot gevolg. Gaande van pre-Euro naar Euro 1 en 2 neemt de uitstoot van fijn stof met bijna 80% af. De fijnstofemissie van een pre-Euro brommer zonder katalysator is sterk afhankelijk van het smeeroil verbruik (onverbrande smeeroil) (Spezzano et al., 2008a). De meeste tweetaktmotoren rijden op een mengsel van benzine met smeeroil. De hogere emissies van onverbrande smeeroil en benzine leiden tot een hogere uitstoot van oplosbare organische componenten (SOFs) (Etissa et al., 2008; Yang et al., 2005a). Ook uit het onderzoek van Saxe (2003) blijkt dat fijn stof van tweetaktmotoren voornamelijk bestaat uit onverbrande koolwaterstoffen afkomstig uit de smeeroil die toegevoegd wordt aan de benzine. De bijdrage van onverbrande smeeroil en benzine op de PM emissie is onderzocht bij tweetaktbrommers met en zonder katalysator (Spezzano et al., 2008a). Uit dit onderzoek blijkt dat een katalysator de uitstoot van onverbrande smeeroil met 75% en van n-alkanen met 88% verminderd. Motoren met een carburateur en een brandstofinjectiesysteem zorgden voor een afname van 95% van onverbrande smeeroil en van 88% van n-alkanen. Afname van de fijnstofemissie door invoering van een brandstofinjectiesysteem blijkt ook uit het onderzoek van Prati en Costagliola (2009) bij een Euro 2 viertaktbrommer. Daarnaast wordt er minder fijn stof uitgestoten bij een warme start vergeleken met een koude start (Spezzano et al., 2008a).

Niet alleen de hoeveelheid uitgestoten fijn stof is onderzocht maar enkele onderzoeken hebben ook gekeken naar deeltjes aantallen, verdeling en grootte. Zo blijken tweetaktmotoren meer deeltjes uit te stoten dan viertaktmotoren en de emissie vindt voornamelijk plaats tijdens de acceleratie (Prati en Costagliola, 2009; Czerwinski en Comte, 2003). De samenstelling van verbrandingaerosol hangt af van de motortechnologie directe injectie versus carburateur), de nabehandeling en het gebruik van olie en benzine. Er worden relatief kleinere deeltjes uitgestoten door tweetaktmotoren met een carburateur vergeleken met directe injectie (Czerwinski et al., 2006). De oxidatie van koolwaterstoffen in de

oxidatie katalysator is vrij intens bij de onderzochte brommer met carburateur mede door de hoge temperatuur en het Secondary Air System (SAS). Dit heeft tot gevolg dat de fijnstofemissie van deze brommer gering is en bijna onafhankelijk van de olie kwaliteit terwijl er wel veel sulfaten worden uitgestoten (Czerwinski et al., 2006).

3.3.3 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen

In het onderzoek van Spezzano et al. (2008b) is de emissie polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) van tien gebruikte brommers onderzocht (tabel 3.2). Brommers met een katalysator (Euro 1) laten een afname van de PAK's emissie zien van 45-60% ten opzichte van een brommer zonder katalysator (pre-Euro). Een verdere afname van ongeveer 20% gaande van Euro 1 naar Euro 2 is mogelijk door het gebruik van verbeterde katalysatoren, waardoor een betere verbranding plaatsvindt van de smeeroilie en de benzine, en mogelijk door toepassing van een brandstofinjectiesysteem.

Tijdens de koude start zijn de PAK's emissies hoger dan bij warme motoren. Vooral in de stad waar brommers veel gebruikt worden is dit van belang (Spezzano et al., 2008a). PAK's met een laag moleculair gewicht (zoals naftaleen) zijn in grote mate in de emissies aanwezig en het percentage laag moleculair is tevens hoger tijdens de koude start. De totale hoeveelheid PAK's bestaat voor 98% uit naftaleen (Yang et al., 2005a,b).

In een aantal onderzoeken is de PAK's emissie van gebruikte brommers vergeleken met nieuwe brommers en deze blijkt hoger te zijn voor gebruikte brommers (tabel 3.2) (Spezzano et al., 2008b; Yang et al., 2005a). Dit verschil tussen nieuw en gebruikt neemt toe naarmate de motor warmer is. Het verschil in de uitstoot van PAK's is 10% bij een koude start en 45% bij een warme motor (Spezzano et al., 2008b). Het grote verschil tussen de gemeten totaal waarden van PAK's tussen Prati en Costagliola (2009) en Spezzano et al. (2008b) en Yang et al. (2005b) zou kunnen zitten in de verschillende PAK's die bepaald zijn. Zo hebben Spezzano en Yang naftaleen wel meegenomen in de metingen en Prati en Costagliola niet.

Naast de massa is ook de deeltjes verdeling van PAK's onderzocht (Yang et al., 2005a,b). De meeste van de eenentwintig onderzochte PAK's vertoonden een piek bij 0,18-0,32 μm en een tweede bij 0,056- 0,1 μm (ultrafijn stof). Voor enkele PAK's verscheen nog een derde piek bij 1,8-10 μm . De eerste piek wordt veroorzaakt door onvolledige verbranding van smeeroilie en benzine. De tweede piek bevat deeltjes die ontstaan door condensatie en verdunning van de uitstoot. De derde piek bestaat uit deeltjes die eerst zijn neergeslagen in de cilinder en andere oppervlakken en later weer vrijkomen. De PAK's in de brommermissie zijn voor 89% kleiner dan 2,5 μm .

Tabel 3.2 Fijnstof- en PAK's-emissies

Klasse	Prati en Costagliola 2009						Spezzano 2008b						Yang 2005b*			Schramm 2005	
	pre-Euro 2-takt	Euro 1 2-takt	Euro 1 4-takt	Euro 2 2-takt	Euro 2 4-takt	Euro 2 4-takt	pre-Euro 2-takt	Euro 1 2-takt	Euro 1 2-takt	Euro 2 2-takt	Euro 2 2-takt	Euro 2 2-takt	2-takt	2-takt	2-takt	2-takt	2-takt
Injectiesysteem	carb	carb	Carb	carb	carb	EFI	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	carb	EFI	
Nabehandeling	geen	OC	Geen	OC-SAI	OC-SAI	OC lambda sensor	geen	OC	OC	OC-SAI	OC	OC	OC				
Aantal gereden km	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	>10.000	<10.000	1380	1500	16	29.800				
PM10 g/km	0,156	0,036	0,036	0,035	0,023	0,014	0,325	0,072	0,066	0,054	0,085	0,088	0,091	0,06	0,01		
Aantal deeltjes/km		$3,88 \times 10^{13}$	$7,08 \times 10^{12}$	$2,23 \times 10^{13}$	$1,37 \times 10^{13}$	$9,32 \times 10^{12}$											
PAK's µg/km	547,52	16,11	80,92	38,97	30,75	8,39	9550	5135	5538	4709	2393	4245	8320				

Afkortingen: carb = carburateur; OC = oxidation catalyst; SAI = Secondary Air Injection; EFI = Electronic Fuel Injection; DI = Direct Injection
 * koude start

4 Bijdrage brommers luchtkwaliteit t.o.v. andere vervoersmiddelen

4.1 Bijdrage brommeremissies aan totale verkeersemissie

Een aantal onderzoeken geven inzicht in de bijdrage van brommeremissies aan de totale verkeersemissie (tabel 4.1). In opdracht van de gemeente Amsterdam zijn de effecten van brommers op de luchtkwaliteit in Amsterdam onderzocht (Hensema en Roeterdink, 2009). Voor dit onderzoek zijn gemiddelde emissiefactoren voor brommers berekend met behulp van het luchtkwaliteitmodel CAR. De conclusie uit het onderzoek is dat de bijdrage van brommeremissies aan de stedelijke luchtkwaliteit niet erg groot is in vergelijking met de bijdrage van personen- en bestelauto's. Toch lijkt vooral de bijdrage aan de totale CO en HC emissie van brommers niet gering maar juist relatief groot met respectievelijk 10% en 24%. De NO_x emissie van brommers is zeer laag omdat NO_x voornamelijk wordt uitgestoten door voertuigen die op diesel rijden en wat voor brommers meestal niet het geval is. Brommers leveren een bijdrage van 4% aan de totale PM₁₀ emissie.

In het onderzoek van Ntziachristos et al. (2006) is de bijdrage van brommers en motoren aan de totale emissies van het verkeer in Europa berekend in de periode van 1999 tot 2012. Deze berekeningen zijn gebaseerd op het totale aantal brommers en motoren in 15 Europese landen en emissiefactoren van studies uit 2004. In 2004 droegen brommers en motoren voor 7,5% bij aan de emissie van CO en 18% aan de emissie van HC. Geschat wordt dat in 2012 alleen brommers al 13% bijdragen aan de totale HC emissie. Als er geen maatregelen worden genomen zal in 2012 volgens het model de bijdrage van brommers en motoren aan CO meer dan 7% en de emissie van HC ongeveer 20% bedragen. De bijdrage aan de NO_x emissie en CO₂ emissie is echter verwaarloosbaar (resp. 0,7% en <1 %). Volgens de berekeningen neemt de fijnstofemissie af van 1,6% in 2004 tot 0,9% in 2012 ten gevolge van de introductie van brandstofinjectiemotoren en de vervanging van de tweetakmotoren door de meer efficiëntere viertakmotoren.

In 2002 is er een inventariserend onderzoek gedaan naar de bijdrage van gemonitoriseerde tweewielers aan de stedelijke milieukwaliteit (Rijkeboer et al., 2002). Voor brom- en snorfietsen is het totale jaarkilometrage berekend uit gegevens van het CBS en RAI-BOVAG en is aangegeven dat 90% van de bromfietsen en 95% van de snorfietsen in Nederland wordt gebruikt in een stedelijke omgeving. Cijfers over het jaarkilometrage in de stedelijke omgeving zijn niet bekend. Voor dit onderzoek zijn daarom schattingen gebruikt. Brommers hebben een groter aandeel in CO en HC emissies dan motoren, ondanks de hogere individuele emissie CO en HC door motorfietsen. Dit komt door het groter aantal afgelegde kilometers van brommers in de stad. Rekening houdend met onzekerheden vormen de brommer uitlaatgassen CO en HC een wezenlijk aandeel (4,1 resp. 12,7%) aan de totale wegverkeersemissie. NO_x emissie is echter laag (0.1%) in vergelijking met de emissie van het overige verkeer. De emissies van fijn stof zijn in het onderzoek niet meegenomen.

Het aandeel van brommers aan de totale PM₁₀ emissie is 4% in de gemeente Amsterdam. Dit blijkt uit een berekening met het luchtkwaliteitmodel CAR (Calculation of Air pollution from Road traffic) (Hensema en Roeterdink, 2009). De

schatting voor Europa is dat de bijdrage van brommers aan de totale fijnstofemissie van verkeer daalt van 1,6% in 2004 naar 0,9% in 2012 (Ntziachristos et al., 2006). Deze daling lijkt het gevolg te zijn van de introductie van brandstofinjectiesystemen voor tweetaktmotoren en de vervanging van tweetaktmotoren door viertaktmotoren.

De verwachting is dat emissies van brommers (en motoren) niet zullen toenemen (Hensema and Roeterdink, 2009; Ntziachristos et al., 2006). Dit is mede te verklaren door strengere eisen aan tweewielers (Rijkeboer et al., 2002).

Tabel 4.1 Percentage bijdrage emissie van brommers aan totale verkeersemissie

Component	Stad in Nederland (Rijkeboer, 2002)	Binnenstedelijk (CBS, 2009)	Amsterdam (Hensema, 2009)	Totaal Nederland (CBS, 2009)	Europa (Ntziachristos, 2006)	Stad in Nederland (Rijkeboer, 2002)
	Brommers <50 cc			Brommers en motoren		
CO	4,1	6.3	10	2.8	7,5	6,3
HC	12,7	22.8	24	15.2	18	14,2
NOx	0,1	0.1	0,5	0.05	0,7	0,3
CO ₂	-	0.6	1,3	0.2	<1,0	-
PM ₁₀	-	2.1	4	0.8	1,6	-

4.2 Vergelijking emissies met personenauto's

Om de emissies van brommers te vergelijken met emissies van auto's zijn de emissiefactoren, uitgedrukt in het aantal grammen dat uitgestoten wordt per gereden kilometer, naast elkaar gezet (tabel 4.2). Hier is geen rekening gehouden met de absolute waarde van de afgelegde afstanden, die voor brommers en auto's aanzienlijk kunnen verschillen. De vermelde getallen zijn gemiddelde emissies van de geteste brommers. Er is geen onderscheid aangegeven in tweetakt- en viertaktbrommers en Euroklassen. In enkele publicaties is geen onderscheid gemaakt tussen diesel- en benzinemotoren voor personenauto's. Dit is in de tabel aangegeven.

Uit de vergelijking met personenauto's blijkt dat brommers per kilometer meer gram CO, HC en fijn stof uitstoten dan personenauto's (tabel 4.2). Slechts enkele onderzoeken hebben gekeken naar emissiefactoren van CO₂ (Saxe, 2003, Vasic en Weilenmann, 2006). Uit beide onderzoeken blijkt dat in g/km de CO₂ emissie bij brommers een factor 3-5 lager is. De NOx emissie van brommers is gelijk aan of soms zelfs aanzienlijk minder dan bij personenauto's. Voor NOx wordt in het onderzoek van Prati en Costagliola (2009) juist een toename waargenomen voor brommers ten opzichte van personenauto's. Een verklaring voor de gevonden verschillen kan niet gegeven worden.

Tabel 4.2. Emissiefactoren in g/km van brommers (<50cc) en personenauto's

Component	Italië (Prati en Costagliola, 2009)		Amsterdam (Hensema et al., 2009) *		Zwitserland (Vasic en Weilenmann, 2006)		Europa (Schramm et al., 2005)		Denemarken (Saxe, 2003)	
	brommer	personen-auto	brommer	personen- auto	brommer	personen- auto	brommer	personen- auto	brommer	personen- auto
	Euro 2	Euro 3								
	benzine	benzine		benzine + diesel	benzine	benzine	benzine	diesel	benzine	benzine + diesel
CO	0,532-4,15	0,559	10,0	2,4	7,1	1,49	2,35	0,2	8,9	3,61
HC	0,239-3,46	0,022	6,38	0,49	4,7	0,022	2,5	0,05	5,54	0,39
NOx	0,03-0,27	0,065	0,05	0,422	0,06	0,069	0,32	0,5	0,20	0,46
CO ₂	-	-	-	-	39,1	210,4	-	-	43,6	122
PM	0,014-0,034	0,005	0,04	0,034	-	-	0,035	0,03	-	-

* Emissiefactoren uit model CAR

5 De schadelijkheid van brommeremissies

5.1 Schadelijkheid van brommeremissies (algemeen)

Brommeremissies bestaan, net als andere gemotoriseerde voertuigen, uit een complex mengsel van luchtvervuilende stoffen ontstaan door verbrandingsprocessen. De emissie bevat honderden stoffen, waarvan maar gedeeltelijk bekend is of ze schadelijk zijn of niet. Er kan onderscheid gemaakt worden tussen schadelijke gassen en 'deeltjesvormige luchtverontreiniging' ook wel (ultra)fijn stof genoemd. Belangrijke schadelijke stoffen die uitgestoten worden zijn: (ultra)fijn stof, al dan niet gebonden polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), vluchtige organische stoffen (VOS), stikstofoxiden (waaronder NO₂), koolmonoxide en benzeen.

Er zijn tot op heden maar een beperkt aantal studies beschreven die de schadelijkheid van brommeremissies onderzocht hebben. Er kan hierbij onderscheid gemaakt worden tussen *in vitro* (gebruikmakend van celkweken) en *in vivo* (gebruikmakend van proefdieren) experimenten. Er is geen humaan onderzoek bekend waarbij vrijwilligers zijn blootgesteld. Verschillende vormen van blootstelling kunnen onderscheiden worden bij het onderzoek naar de schadelijkheid van motoremissies. Zo kan de blootstelling bestaan uit de totale emissie al dan niet verdund met verse lucht (ME: motor exhaust), alleen de deeltjesfractie die opgevangen wordt op een filter (MEP: motor exhaust particles), een met organische oplosmiddelen geëxtraheerde MEP (MEPE) waardoor een deeltjesvrij extract ontstaat. Het opvangen en extraheren van materiaal ten behoeve van de blootstelling in het onderzoek kan leiden tot een andere samenstelling van de emissie en daarmee samenhangend een afwijkende schadelijkheid.

5.1.1 *In vitro* onderzoek

Deeltjes afkomstig van de emissie van tweetaktbrommers kunnen leiden tot veranderingen (mutaties) in het genetische materiaal (Ames test) (Cheng et al., 2004). De gevonden effecten worden versterkt door metabole activatie wat blijkt uit een toegenomen mutageniteit na toevoeging van leverenzymen die MEP kunnen omzetten in andere stoffen. Behandeling met anti-oxidanten heeft gedeeltelijk een beschermende werking vooral bij genetische veranderingen ontstaan na bioactivatie. Ook de genexpressie kan beïnvloed worden door blootstelling aan brommeremissies. Blootstelling van diverse celtypes afkomstig uit de long aan MEPE (organische componenten) leidt tot veranderingen in genen betrokken bij metabole activatie, groeifactoren en ontsteking (Ueng et al., 2005).

Ontsteking in humane longcellen is een ander effect dat kan optreden na blootstelling aan brommeremissies. Er wordt een toename in de ontstekingsmarker interleukiene 8 (IL-8) gevonden na blootstelling aan deeltjes afkomstig van een tweetaktbrommer (Lee et al., 2005). Deze ontstekingsmarker speelt een rol bij het ontstaan van diverse luchtwegaandoeningen. Daarnaast kunnen organische componenten uit de emissie (MEPE) mogelijk bijdragen aan de pathogenese van cardiovasculaire aandoeningen (Tzeng et al., 2007).

5.1.2 *In vivo* onderzoek

Blootstelling *in vivo* kan plaatsvinden door inhalatie waarbij dieren worden blootgesteld aan de totale brommeremissies of door middel van instillaties waarbij een specifieke fractie (MEP of MEPE) direct in de longen gebracht wordt.

Inhalatie is over het algemeen wat lastiger en zeker kostbaarder dan instillatie experimenten. Inhalatie experimenten verdienen echter de voorkeur als men de schadelijkheid van brommeremissies wil onderzoeken vanwege het feit dat dit een realistische blootstelling is waarbij de samenstelling nagenoeg niet wijzigt.

Inhalatie van verdunde uitlaatgassen (ME) afkomstig van een Tweetaktbrommer heeft bij ratten nadelige effecten op het mannelijke reproductiesysteem tot gevolg (Huang et al., 2008). Daarnaast beïnvloedt ME de genexpressie en afgifte van diverse eiwitten verantwoordelijk voor metabolisme, groei en ontstekingsreacties in de long en lever, en ook de activiteit van antioxidanten verandert ten gevolge van de blootstelling (Ueng et al., 2004, 2005).

Niet alleen in vitro onderzoek maar ook in vivo instillatie onderzoek toont aan dat ontstekingsmarkers in de longen verhoogd zijn na blootstelling aan MEP (Lee et al., 2004). Tevens wordt een verhoogde gevoeligheid voor ontstekingsreacties in de longen gevonden bij blootstelling aan allergische stoffen (Lee et al., 2004, 2008). De mutageniteit is ook in vivo onderzocht gebruik makend van de micronuclei test en met deze test wordt de mutageniteit van brommeremissies nogmaals onderstreept (Cheng et al., 2004).

Onvolwassen vrouwelijke ratten zijn ingespoten met een MEP oplossing in de buikholte om het effect van brommeremissies op het hormoon oestradiol te onderzoeken. Vanuit de buikholte kunnen stoffen gemakkelijk in bloed worden opgenomen. Toediening van oestradiol bij vrouwelijke onvolwassen ratten leidt onder normale omstandigheden tot groei van de baarmoeder. Toediening van een oplossing met MEP remde deze door oestradiol gestimuleerde groei (Ueng et al., 2004).

Samengevat blijkt uit in vivo en in vitro onderzoek dat blootstelling aan brommeremissies van tweetaktmotoren kan leiden tot longontsteking en overgevoeligheid van de luchtwegen, effecten op het reproductiesysteem en genotoxische effecten. De schadelijkheid van viertaktbrommers is nog nauwelijks onderzocht en dergelijk onderzoek zal moeten uitwijzen in hoeverre de schadelijkheid van tweetakt- en viertaktbrommers verschilt alsook mogelijke verschillen door diverse Euroklassen. Uit emissieonderzoek blijkt dat tweetaktmotoren relatief meer en kleinere deeltjes uitstoten dan viertaktmotoren en dat bij toenemende Euro-klasse de PAK's uitstoot afneemt. Zowel fijn stof als PAK's hebben een negatieve invloed op de gezondheid en een afname van deze stoffen bij overgang naar viertaktbrommers en een verbeterde technologie door invoering van nieuwe Euro-klasse zou een afname van de schadelijkheid van brommeremissies tot gevolg kunnen hebben.

5.2 Schadelijkheid van brommeremissies t.o.v. personenauto's

Er zijn geen studies (in vitro of in vivo) gevonden die de toxiciteit van brommeremissies vergeleken hebben met emissies van andere vervoersmiddelen. Wel kunnen enkele algemene opmerkingen geplaatst worden met betrekking tot de samenstelling van de uitstoot en de kennis over de toxiciteit van deze stoffen. De schadelijkheid van de uitstoot van brommers ten opzichte van personenauto's hangt af van zowel de hoeveelheid als de samenstelling uitgestoten gassen en deeltjes. De uitstoot van stoffen per gereden kilometer is al eerder in hoofdstuk 3 beschreven. Hierin is ook de emissie van enkele mengsels besproken, namelijk fijn stof, koolwaterstoffen en PAK's. De schadelijkheid van deze groepen van stoffen wordt hieronder besproken.

5.2.1 *Fijn stof*

De fysisch-chemische samenstelling van het fijn stof uitgestoten door brommers is anders dan dat van dieselauto's. Bij tweetaktbrommers bestaat het fijn stof voornamelijk uit vloeibare deeltjes in plaats van vaste deeltjes zoals gebruikelijk bij dieselauto's (Etissa et al., 2008; Ntziachristos et al., 2005). De vaste deeltjes die uitgestoten worden door brommers hebben een hoger percentage aangehechte oplosbare organische stoffen dan de dieseldeeltjes van automotoren (Yang et al., 2005b). De invloed hiervan op de toxiciteit van de deeltjes is niet eenduidig aan te geven. Het is dus niet duidelijk of de emissie van fijn stof per gereden kilometer of per m³ bij brommers schadelijker is dan bij personenauto's.

5.2.2 *Polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's)*

Door onvolledige verbranding en het bijmengen van smeerolie stoten brommers meer koolwaterstoffen waaronder PAK's uit per gereden kilometer dan personenauto's. Sommige van deze koolwaterstoffen zijn bekende kankerverwekkende stoffen. De schadelijkheid van een mengsel van verschillende PAK's kan bepaald worden door het BaPequivalent (BaPeq) te berekenen. Door middel van weegfactoren wordt de schadelijkheid, in dit geval de genotoxiciteit, van het mengsel uitgedrukt in equivalenten van het genotoxische benzo(a)pyreen (BaP). In tabel 5.1 staat een indicatief overzicht van de PAK uitstoot, uitgedrukt in BaPeq, van auto's en brommers bij een koude start. Bij een al draaiende motor (warme start) blijkt de emissie van PAK's een factor 2-4 lager te zijn dan bij een koude start (Spezzano et al., 2008b).

Uit tabel 5.1 blijkt dat voor zowel auto's als brommers geldt dat het voldoen aan Euro normen een grote invloed heeft op de uitstoot van schadelijke PAK's. De uitstoot van schadelijke PAK's door pre euro brommers is ongeveer 0.5-1.0x de uitstoot door autovoertuigen zonder Euro norm. Bij de Euro 2 brommers ligt de uitstoot bij een koude start 10-80x hoger vergeleken met dieselpersonenauto's. Op basis van de BaPeq lijkt het aannemelijk dat de emissies van tweetaktbrommers schadelijker zijn dan emissies van personenauto's.

Tabel 5.1 Vergelijking van de BaP en BaPeq emissie per gereden kilometer tussen auto's en brommers

Referentie	(De Abrantes et al., 2004)		(Lim et al., 2007)		(Verbeek et al., 2008)		(Yang et al., 2005a)		(Prati en Costagliola, 2009)		(Spezzano et al., 2008b)							
	Auto's		Diesel		Personen auto		Euro 3		Euro 4		Brommers		Benzine		2 en 4-takt		2 en 4-takt	
Brandstof	Pick-up	Personen auto	onbekend	onbekend	Euro 3	Euro 4	2-takt		2-takt		2 en 4-takt		2-takt		2-takt		2-takt	
Type voertuig	Pre-Euro	onbekend	13	onbekend	0-0,3	0	onbekend	onbekend	Pre-euro	Pre-euro	Euro 1	Euro 2	Pre-euro	Euro 1	Euro 2	Euro 1	Euro 2	Euro 2
Euroklasse	Pre-Euro	onbekend	13	onbekend	0-0,3	0	Oud	Nieuw	Pre-euro	Pre-euro	Euro 1	Euro 2	Pre-euro	Euro 1	Euro 2	Euro 1	Euro 2	Euro 2
BaP (ug/km)	21		13	onbekend	0-0,3	0	1	1	14*	14*	1-5*	0-1*	11-55	6-19	4-10	6-19	4-10	4-10
BaPeq** (ug/km)	106-159	onbekend	onbekend	onbekend	0-1	0-0,03	10	5	20*	20*	2-7*	0-2*	17-80	9-26	7-15	9-26	7-15	7-15

* Warme start

** Voor de berekening van het BaPeq zijn de concentraties van de volgende PAK's genomen. Tussen haakjes staat de relatieve weegfactor (overgenomen van European Commission, 2001): fluoranthene (0.01), pyrene (0.001), benz[a]anthracene (0.1), chrysene (0.01), benzo[b]fluoranthene (0.1), benzo[k]fluoranthene (0.1), benzo[a]pyrene (1), dibenzo[a,h]anthracene (1.9)

5.2.3 *Koolwaterstoffen (HC)*

Uitstoot van HC kan, onder invloed van zonlicht, leiden tot de vorming van het schadelijke ozon. Daarnaast kunnen HC irriterend zijn en zijn sommige HC kankerverwekkend. Er is zeer weinig bekend over de samenstelling van de koolwaterstoffen uitgestoten door brommers.

Uit de studie van Prati en Costagliola (2009) blijkt dat de emissies van de kankerverwekkende stoffen formaldehyde en benzeen door Euro 2 brommers sterk verhoogd zijn (10-300x) ten opzichte van Euro 3/4 dieselpersonenauto's getest door TNO (2007). Uit tabel 4.2 bleek al dat de totale HC emissie van Euro 2 brommers 10-200x hoger is dan die van Euro 3 personenauto's. Brommeremissies zouden schadelijker kunnen zijn dan personenauto's op basis van een verhoging van dergelijke stoffen. Er zijn echter geen adequate gegevens beschikbaar om te bepalen of emissies van brommers tot meer gezondheidsproblemen kunnen leiden dan personenauto's.

5.3 **Impact van brommeremissies op de gezondheid t.o.v. personenauto's.**

Het aantal brommers en de gereden kilometers door brommers zijn aanzienlijk kleiner in vergelijking met personenauto's. In stedelijke gebieden wordt ongeveer 3% van de afgelegde kilometers per bromfiets afgelegd (Rijkswaterstaat, 2008). De bijdrage aan de totale verkeersemissie is hierdoor in stedelijke gebieden beperkt en voor fijn stof en NO_x is dat respectievelijk 1-4% en 0,1-0,5%. Voor koolwaterstoffen is de brommer bijdrage aan de totale verkeersemissies echter nog aanzienlijk (13-24%).

De gezondheidsschade door langdurige blootstelling aan verkeersgerelateerde luchtverontreiniging wordt veelal toegeschreven aan fijn stof afkomstig van o.a. motoremissies en ozon. Deze worden geassocieerd met o.a. irritatie van de luchtwegen, verergering van luchtwegklachten en vroegtijdige cardiovasculaire en respiratoire sterfte. De bijdrage van brommers aan deze door verkeer veroorzaakte gezondheidsschade is onbekend. De bijdrage van brommers aan de verkeersgerelateerde emissies van fijn stof is gering, het is echter onbekend of de schadelijkheid van deze fijnstoffractie gelijk is aan die van personenauto's waardoor de impact op de gezondheid niet is te kwantificeren.

Ook de bijdrage van brommers aan de door ozon veroorzaakte gezondheidsschade is onbekend. Hoewel brommers een aanzienlijk deel bijdragen aan de uitstoot van koolwaterstoffen is het niet bekend of het ozonvormende potentieel van deze bijdrage gelijk is aan die van personenauto's.

Door de huidige lage niveaus van PAK's en irriterende of kankerverwekkende koolwaterstoffen is de verwachting dat de gezondheidsschade door deze groep van stoffen afkomstig van verkeer gering zal zijn. De bijdrage van brommeremissies hieraan is onbekend. Voor PAK's geldt dat de schadelijkheid van de PAK's bij brommers per gereden kilometer groter is maar de bijdrage van brommers aan de totale verkeersemissie van PAK's is onbekend. Bij koolwaterstoffen is de totale bijdrage wel bekend maar is de samenstelling van de koolwaterstofemissie van brommers onbekend.

6 Maatregelen ter reductie van emissies dan wel schadelijkheid van brommeremissies

6.1 Regelgeving en handhaving

6.1.1 *Tegengaan van opvoeren van brommers*

Uit onderzoek blijkt dat de CO en HC emissies een factor 2 tot 4 keer hoger liggen door het opvoeren van brommers dan voor niet opgevoerde brommers (Rijkeboer et al., 2002). Hoe de uitstoot van fijn stof en NOx veranderen door het opvoeren van brommers is niet bekend. Het terugdringen van het aantal opgevoerde brommers is mogelijk door meer controles in het verkeer uit te voeren maar ook door een verplichte jaarlijkse keuring in te voeren (Hensema en Roeterdink, 2009; Ntziachristos et al., 2006; Vasic en Weilenmann, 2006).

6.1.2 *Gebruik van vier-takt brommers stimuleren*

Het stimuleren van de aanschaf van viertaktbrommers om brommeremissies te verminderen hebben niet voor alle componenten een goed resultaat. Voor CO en CO₂ blijkt dat tweetaktmotoren met een katalysator en een cilinderinhoud van minder dan 50cc geen hogere emissies geven dan viertaktmotoren. Voor de koolwaterstoffen en fijn stof geldt wel dat tweetaktmotoren een hogere emissie geven dan viertaktmotoren. Uit het onderzoek van Prati en Costagliola (2009) blijkt dat viertaktbrommers juist meer NOx uitstoten.

Een reden om toch te kiezen voor het stimuleren van viertaktbrommers is dat de emissies van fijn stof gezondheidseffecten kunnen veroorzaken en de fijnstofemissie (massa en aantal deeltjes) van viertaktmotoren minder lijkt te zijn. Uit de berekeningen van Ntziachristos (2006) blijkt dat de bijdrage aan de fijnstofemissie van brommers aan het totale verkeer van 1,6% in 2004 daalt naar 0,9% in 2012. Deze daling is deels het gevolg van de introductie van brandstofinjectiesystemen voor tweetaktmotoren maar ook door de vervanging van tweetaktmotoren door viertaktmotoren.

De brancheorganisatie Bovag pleit sinds december 2009 voor een slooppremie van een paar honderd Euro op tweetaktbrom- en snorfietsen. Volgens Bovag is het een effectief middel tegen geluidshinder, illegaal opvoeren en de uitstoot van schadelijke stoffen. De organisatie heeft berekend dat ongeveer twee derde van het brommer- en snorfietspark in Nederland een tweetaktmotor heeft, ruim 600.000 stuks.

Op 10 december 2009 is een motie ingediend in de Tweede kamer waarin de regering verzocht werd in Europees verband te pleiten voor aanscherping van de emissienormen voor scooters, brom- en snorfietsen. Tevens werd de regering verzocht met voorstellen te komen om tweetakt scooters, brom- en snorfietsen versneld te vervangen door elektrische voertuigen en versies met viertaktmotoren. Deze motie is verworpen.

6.1.3 *Gebruik van elektrische brommers stimuleren*

Maatregelen die emissies kunnen verminderen zijn het stimuleren van het gebruik van elektrische brommers. De motie die 10 december 2009 is ingediend in de Tweede Kamer ter stimulering van het gebruik van o.a. elektrische brommers is verworpen.

Elektrische brommers hebben geen emissies van CO, HC, NO_x, CO₂, maar er komt wel nog fijn stof vrij door slijtage van de banden. Het stimuleren van de aanschaf van elektrische brommers is mogelijk door er voor te zorgen dat elektrische brommers goedkoper zijn dan tweetakt- en viertaktbrommers en voor voldoende oplaadpunten te zorgen.

In maart 2008 zijn de Nederlandse Spoorwegen, die ook de OV-fiets exploiteren, begonnen aan een proef met het verhuren van elektrische brommers op station Den Haag CS. In de loop van 2008 zijn er ook enkele brommers op Den Haag HS gestationeerd. Deze proef was zo geslaagd dat vanaf het voorjaar van 2009 op de stations van de vier grote steden Amsterdam, Den Haag, Rotterdam en Utrecht NS-brommers te huur zijn.

6.1.4 *Stimuleren van verbetering technologie brommers*

Verbeteringen aan de technologie van brommers zoals verbetering van katalysatoren en brandstofinjectietechnieken kunnen de emissies aanzienlijk verminderen. Er kan een stimuleringsprogramma opgezet worden voor versnelde invoering van voertuigen die voldoen aan toekomstige emissie-eisen, zoals in Italië is gebeurd. In Italië kregen fabrikanten een prijscompensatie voor het op de markt brengen van schonere, maar duurere technologie zoals direct ingespoten tweetaktmotoren. Gebruikers kregen gebruiksbependingen opgelegd voor voertuigen die niet aan de Euro 1 eis voldeden waaronder het toegangsverbod tot vervuilde binnensteden (Rijkeboer et al., 2002).

6.1.5 *Vervanging minerale smeeroilie door synthetische smeeroilie*

Het gebruik van synthetische smeeroilie kan de emissies van tweetaktmotoren verminderen (Ntziachristos et al., 2006). Dit is te wijten aan een gecombineerd effect van betere smeerbaarheid en verbrandbaarheid. Het gebruik van synthetische smeeroilie kan verplicht gesteld worden. Dit is een maatregel die eenvoudig is in te voeren, geen technische complicaties met zich meebrengt en die direct effectief lijkt te zijn in de vermindering van de uitstoot van brommeremissies.

6.1.6 *Vermindering blootstelling emissies*

Er kunnen een aantal praktische adviezen aan fietsers gegeven worden vanuit het oogpunt van blootstelling aan brommeremissies (Borgman et al., 2009). De blootstelling is voor een deel al afgenomen door de scheiding van fietsers van brom- en snorfietsers. Dat betekent in ieder geval geen brommers meer op de (solitaire) fietspaden binnen de bebouwde kom toelaten. Daarnaast kan het verhogen van de doorstroming van fietsers op kruispunten verbeterd worden door bijvoorbeeld de aanleg van rotondes of fietsvriendelijker afstelling van verkeerslichten.

6.2 **Verbetering technieken**

Door verbetering van technieken kunnen de emissies van brommers fors verminderd worden. Hieronder volgen een aantal mogelijkheden om de techniek te verbeteren.

6.2.1 *Katalysatoren*

Verbetering van oxidatie-katalysatoren kan bij tweetaktmotoren een aanzienlijke vermindering van de CO en HC emissies tot gevolg hebben (Ntziachristos et al., 2006).

6.2.2 *Brandstofinjectietechnieken*

Bij bromfietsen zijn brandstofinjectietechnieken in opkomst. Een injectiemotor is een verbrandingsmotor waar de brandstof door middel van inspuiting (injectie) in de verbrandingskamer terecht komt, in plaats van in een luchtstroom door een carburateur. Dit resulteert in een lager brandstofverbruik en het verbruik van olie. Door deze technieken vindt ook een betere verbranding plaats van de benzine waardoor de emissies verminderen (Prati en Costagliola, 2009; Saxe, 2003; Schramm et al., 2005).

6.2.3 *Alternatieve brandstoffen*

Toevoeging van 10% ethanol aan benzine geeft een matige verlaging van de emissies van HC (20%) en CO (10%). De uitstoot van roet wordt sterk vermindert (60%) al wordt er wel een toename waargenomen van CO₂. Het toevoegen van 10% ethanol aan benzine vermindert daarnaast het benzineverbruik (Schramm et al., 2005).

6.2.4 *Filters*

Voor de vermindering van fijn stof is door "GEO2 Technologies" een CML-filter ontwikkeld dat 98% van de fijnstofemissies reduceert. Een dergelijk filter is toe te passen op bestaande tweetaktmotoren (Miller en Loren, 2008).

7 Conclusies en aanbevelingen

Er is nog weinig onderzoek gedaan naar de schadelijkheid en de gezondheidseffecten van ongeregleerde emissies van broomremissies. Vooral het onderzoek naar de gezondheidseffecten van ongeregleerde emissies zoals fijn stof en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) blijft achter. Daarnaast blijken gebruikte brommers lang niet altijd te voldoen aan de Euro 2 grenswaarden die momenteel gelden voor koolmonoxide, koolwaterstoffen en stikstofoxiden.

Broomremissies worden beïnvloed door verschillende factoren zoals type motor, de hoeveelheid gereden kilometers, de motorafstelling (bijvoorbeeld opvoeren), onderhoud, rijstijl, Euroklasse (waarmee eisen worden gesteld aan de uitstoot) en technologie. Op veel van deze factoren zijn interventies mogelijk waardoor de emissies afnemen. Welke maatregelen effectief zijn voor de Nederlandse situatie hangt af van de samenstelling van de huidige brommervloot en het gebruik van deze brommers, zoals de jaarkilometrage en de hoeveelheid gereden kilometers in de stad. De uitkomsten van deze oriënterende studie geven richting aan nut en noodzaak van te nemen maatregelen ter bescherming van de gezondheid. Op basis van de huidige kennis is echter niet aan te geven wat het gezondheidsrendement van maatregelen ter reductie van emissies zal zijn. Ook kan geen inzicht worden gegeven in de omvang van de gezondheidseffecten. Dit vergt nader (epidemiologisch of toxicologisch) onderzoek.

Emissie

- Tweetaktbrommers geven hogere emissies van koolwaterstoffen en fijn stof (massa en aantal kleine deeltjes) dan viertaktbrommers terwijl de emissie van stikstofoxiden juist lager ligt;
- Bij toenemende Euroklasse neemt de emissie van koolmonoxide, koolwaterstoffen, fijn stof en polyaromatische koolwaterstoffen af;
- De invoering van een brandstofinjectiesysteem zorgt bij tweetaktbrommers voor een afname van koolmonoxide, koolwaterstoffen en fijn stof terwijl NOx toeneemt;
- Anders dan bij tweetaktbrommers neemt bij viertaktbrommers de koolwaterstofemissie toe bij het toepassen van een brandstofinjectiesysteem. Deze conclusie is echter gebaseerd op slechts één onderzoek met één viertaktmotor met een brandstofinjectiesysteem. De emissie van de andere componenten, koolmonoxide, stikstofoxiden en fijn stof, nemen ook bij viertaktbrommers af bij gebruik van een brandstofinjectiesysteem.

Gezondheidseffecten

- Blootstelling aan broomremissies van tweetaktmotoren kan, net als emissies van andere gemotoriseerde voertuigen, longontsteking veroorzaken en de luchtwegen overgevoelig maken voor allergenen. Bovendien kunnen ze de voortplanting schaden en het erfelijke materiaal (DNA) beschadigen;
- Per gereden kilometer kan de uitstoot van brommers schadelijker zijn in vergelijking met personenauto's door een hogere emissie van koolwaterstoffen (bijvoorbeeld PAK's) en fijn stof;
- Het is niet duidelijk of deze relatief hogere emissies van schadelijke stoffen door brommers vergeleken met personenauto's ook leidt tot meer gezondheidseffecten.

Bijdrage brommers aan luchtkwaliteit

- Brommeremissies leveren een aanzienlijke bijdrage aan de totale verkeers-emissie van koolwaterstoffen. Bijna een kwart (13-24 procent) van de koolwaterstofemissies van het totale wegverkeer is afkomstig van brommers. De bijdrage aan de koolmonoxide-emissie is 4-10 procent en de bijdrage van brommers aan fijnstofemissies zijn geringer (1-4 procent);
- Brommers stoten per kilometer meer gram koolmonoxide, koolwaterstof uit dan personenauto's en minder kooldioxide. De stikstofoxidenemissie komt per kilometer overeen met die van personenauto's;
- Het streven naar vermindering van brommeremissies kan leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit voornamelijk in stedelijke gebieden.

Er zijn onvoldoende gegevens om een risicobeoordeling op te stellen en de totale last voor de volksgezondheid te bepalen. Dit komt mede door het feit dat de samenstelling van de brommervloot in Nederland sterk verschilt van bijvoorbeeld China, Taiwan en India waar veel meer informatie beschikbaar is. Onderzoek uit deze regio's kan daardoor niet worden gebruikt voor de beoordeling van de Nederlandse situatie. De maatregelen die genomen zouden kunnen worden om de emissies dan wel de schadelijkheid van brommeremissies te reduceren staan beschreven in hoofdstuk 6. Vooral maatregelen die een overgang naar viertaktbrommers en elektrische brommers stimuleren of de invoering van verbeterde technologie zouden een positief effect op de gezondheid kunnen hebben.

8 Referenties

- Boogaard, H. & G. Hoek (2008) Blootstelling aan ultrafijnstof tijdens fietsen en autorijden in Nederlandse steden. Utrecht: Kennispunt Bétawetenschappen, Universiteit Utrecht. P-UB-2008-02.
- Borgman, F., J. Kamminga, H. Boogaard & G. Hoek (2009) Onderzoek naar blootstelling fietsers: nieuwe inzichten vragen nieuw beleid. *Lucht*.
- CBS (2009) Luchtverontreiniging, feitelijke emissies door wegverkeer [Online]. Den Haag: Centraal Bureau voor de statistiek (CBS). Available: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7063&D1=0-35&D2=0,3&D3=I&HDR=T&STB=G1,G2&VW=T> [Accessed May 2011].
- Chen, K.S., W.C. Wang, H.M. Chen, C.F. Lin, H.C. Hsu, J.H. Kao & M.T. Hu (2003) Motorcycle emissions and fuel consumption in urban and rural driving conditions. *Sci Total Environ* 312: 113-122.
- Cheng, Y.W., W.W. Lee, C.H. Li, C.C Lee & J.J. Kang (2004) Genotoxicity of motorcycle exhaust particles in vivo and in vitro. *Toxicol Sci* 81: 103-111.
- Czerwinski, J. & P. Comte (2003) Limited emissions and nanoparticles of a scooter with 2-stroke direct injection (TSDI). *SAE Paper* No. 2003-01-2314.
- Czerwinski, J., P. Comte, F. Reutimann & A. Mayer (2006) Influencing (nano)particle emissions of 2-stroke scooters. *Int J Automotive Technol* 7: 237-244.
- De Abrantes, R., J.V. De Assunção & C.R. Pesquero (2004) Emission of polycyclic aromatic hydrocarbons from light-duty diesel vehicles exhaust. *Atmos Environ* 38: 1631-1640.
- Etissa, D., M. Mohr, D. Schreiber P.A. Buffat (2008) Investigation of particles emitted from modern 2-stroke scooters. *Atmos Environ* 42: 183-195.
- European Commission (2001) Ambient air pollution by Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH). Position Paper. Luxemburg: European Commission Working group on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons.
- Hensema, A. & W. Roeterdink (2009) De effecten van brommers op de luchtkwaliteit in de gemeente Amsterdam Delft: TNO Industrie en Techniek. Report MON-RPT-033-DTS-2009-00524.
- Huang, J.Y., J.W. Liao, Y.C. Liu, S.Y. Lu, C.P. Chou, W.H. Chan, S.U. Chen & T.H. Ueng (2008) Motorcycle exhaust induces reproductive toxicity and testicular interleukin-6 in male rats. *Toxicol Sci* 103: 137-148.
- Lee, C.C., J.W. Liao & J.J. Kang (2004) Motorcycle exhaust particles induce airway inflammation and airway hyperresponsiveness in BALB/C mice. *Toxicol Sci* 79: 326-334.

- Lee, C.C., Y.W. Cheng & J.J. Kang (2005) Motorcycle exhaust particles induce IL-8 production through NF- κ B activation in human airway epithelial cells. *J Toxicol Environ Health - Part A* 68: 1537-1555.
- Lee, C.C., Y.W. Cheng, J.W. Liao, B.L. Chiang, Y.L. Lai & J.J. Kang (2008) Motorcycle exhaust particles augment antigen-induced airway inflammation in BALB/c mice. *J Toxicol Environ Health - Part A* 71: 405-412.
- Lim, M.C.H., G.A. Ayoko, L. Morawska, Z.D. Ristovski & E.R. Jayaratne (2007) Influence of fuel composition on polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from a fleet of in-service passenger cars. *Atmos Environ* 41: 150-160.
- Miller, R.K. & N. Loren (2008) Reducing emissions: Creating cleaner 2-stroke engines. *Filtration and Separation* 45: 40-41.
- Ntziachristos, L., P. Pistikopoulos & Z. Samaras (2005) Particle characterization from two-stroke powered two-wheelers. *Int J Engine Research* 6: 263-275.
- Ntziachristos, L., A. Mamakos, Z. Samaras, A. Xanthopoulos & E. Iakovou (2006) Emission control options for power two wheelers in Europe. *Atmos Environ* 40: 4547-4561.
- Prati, M.V. & M.A. Costagliola (2009) Emissions of fine particles and organic compounds from mopeds. *Environ Eng Sci* 26: 111-121.
- Rijkeboer, R.C., R.J. Vermeulen & J.D.V.D. Toorn (2002) Inventariserend onderzoek gemotoriseerde tweewielers; Een inventariserend onderzoek naar de bijdrage van gemotoriseerde tweewielers aan de stedelijke milieukwaliteit. TNO Report 02.OR.VM.034.1/RR.
- Rijkswaterstaat (2008) Emissies door wegdekslijtage ten gevolge van het wegverkeer. Rijkswaterstaat - waterdienst in samenwerking met DELTARES en TNO.
- Saxe, H. (2003) An environmental and economic assessment of mopeds in Denmark. *Int J Environ Technol Manage* 3: 349-367.
- Schramm, J., C. Knudsen, M. Mandrupsen, C. Thorhauge (2005) Emissions from a moped fuelled by gasoline/ethanol mixtures. Proceedings of the 15th International Symposium on Alcohol Fuels (ISAF XV).
- Spezzano, P., P. Picini & D. Cataldi (2008a) Contribution of unburned lubricating oil and gasoline-derived n-alkanes to particulate emission from non-catalyst and catalyst-equipped two-stroke mopeds operated with synthetic lubricating oil. *J Environ Monitor* 10: 1202-1210.
- Spezzano, P., P. Picini, D. Cataldi, F. Messale & C. Manni (2008b) Particle- and gas-phase emissions of polycyclic aromatic hydrocarbons from two-stroke, 50-cm³ mopeds. *Atmos Environ* 42: 4332-4344.
- Tzeng, H.P., R.S. Yang, T.H. Ueng S.H. Liu (2007) Upregulation of cyclooxygenase-2 by motorcycle exhaust particulate-induced reactive oxygen

species enhances rat vascular smooth muscle cell proliferation. *Chem Res Toxicol* 20: 1170-1176.

- Ueng, T.H., H.W. Wang, C.C. Hung & H.L. Chang (2004) Effects of motorcycle exhaust inhalation exposure on cytochrome P-450 2B1, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in rat liver and lung. *J Toxicol Environ Health - Part A* 67: 875-888.
- Ueng, T.H., C.C. Hung, M.L. Kuo, P.K. Chan, S.H. Hu, P.C. Yang & L.W. Chang (2005) Induction of fibroblast growth factor-9 and interleukin-1 β gene expression by motorcycle exhaust particulate extracts and benzo(a)pyrene in human lung adenocarcinoma cells. *Toxicol Sci* 87: 483-496.
- Vasic, A.M. & M. Weilenmann (2006) Comparison of real-world emissions from two-wheelers and passenger cars. *Environ Sci Technol* 40: 149-154.
- Verbeek, R., R.J. Vermeulen, E.L.M. Rabe, C.A.M. Krul, I.M. Kooter & M.M.G. Houtzager (2008) Investigation into the effect of retrofit particulate filters on the exhaust gas emissions of diesel passenger cars. Delft: TNO.
- Yang, H.H., S.M. Chien, M.R. Chao & C.C. Lin (2005a) Particle size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in motorcycle exhaust emissions. *J Hazard Mater* 125: 154-159.
- Yang, H.H., L.T. Hsieh, H.C. Liu & H.H. Mi (2005b) Polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from motorcycles. *Atmos Environ* 39: 17-25.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl