

# BIJDRAGE BINNEN-SCHEEPVAART EN DIESEL TREINEN AAN ROET EN ULTRAFIJN STOF

De lokale luchtkwaliteit wordt sterk beïnvloed door gemotoriseerd verkeer. Van andere bronnen, zoals binnenvaartschepen en dieseltreinen, is veel minder bekend. In dit onderzoek<sup>1</sup> is gekeken naar de bijdrage van dieseltreinen en binnenvaartschepen aan ultrafijnstofdeeltjes<sup>2</sup> en roetdeeltjes. Er is gekozen voor ultrafijnstofdeeltjes en roet, omdat deze gezondheidskundig gezien veel belangrijker zijn dan  $PM_{10}$  en  $PM_{2,5}$ .

B.J.A. GROOT, M.A. VAAL, A.W. GROENEWOLD EN M. ZUURBIER\*

## Inleiding

Het doel van dit onderzoek is te inventariseren of en in welke mate de uitstoot van binnenvaartschepen en dieseltreinen bijdraagt aan de gemeten concentraties van ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties in de leefomgeving. Daarmee krijgen gemeenten inzicht in de vraag in hoeverre zij rekening moeten houden met deze bronnen om de lokale luchtkwaliteit te verbeteren.

## Materiaal en methode

### Studieopzet

Voor het meten van de immissieconcentraties zijn locaties geselecteerd die aan een aantal kenmerken voldeden.

De locaties moesten dicht bij drukke vaarwegen of sporen, waarover dieseltreinen rijden, liggen. Zij moesten verkeersluw zijn om de verstoring door wegverkeer zo veel mogelijk te minimaliseren. Dit gold ook voor de achtergrondlocaties. Deze lagen op zo'n 150-400 meter van de belaste locatie. Voor de binnenvaart zijn twee drukke vaarwegen geselecteerd: het Amsterdam-Rijnkanaal bij Nieuwegein en de Waal bij Nijmegen (Ooijpolder). Voor het treinverkeer zijn twee locaties geselecteerd: de verbinding tussen Arnhem en Zutphen/Duitsland bij Arnhem en de verbinding tussen Zutphen en Lochem bij Eefde. Bij de eerste locatie passeerden dieselgoederentreinen en dieselpassagierstreinen. Bij de tweede locatie alleen dieselpassagierstreinen in de frequentie van vier treinen per uur. De locaties lagen bene-

denwinds binnen 20 meter van de oever of het spoor. Figuur 1 toont de meetlocatie aan de Heemstedseweg aan de oostzijde van het Amsterdam-Rijnkanaal.

De metingen zijn tussen 29 mei en 6 juli 2012 uitgevoerd, zo veel mogelijk op twee achtereenvolgende dagen op één locatie. Dit kon niet altijd, omdat bij regen niet kon worden gemeten. Alle metingen vonden buiten de spits tussen 10.00 uur en 16.00 uur plaats en duurden gemiddeld vier uur.

### Meetmethoden

Ultrafijnstofdeeltjes zijn gemeten met draagbare Condensation Particle Counters (CPC model 3007, TSI). Roetdeeltjes zijn gemeten met een draagbare Aethalometer (microAeth, model AE51, Magee Scientific). De veldwerkers registreerden de windrichting

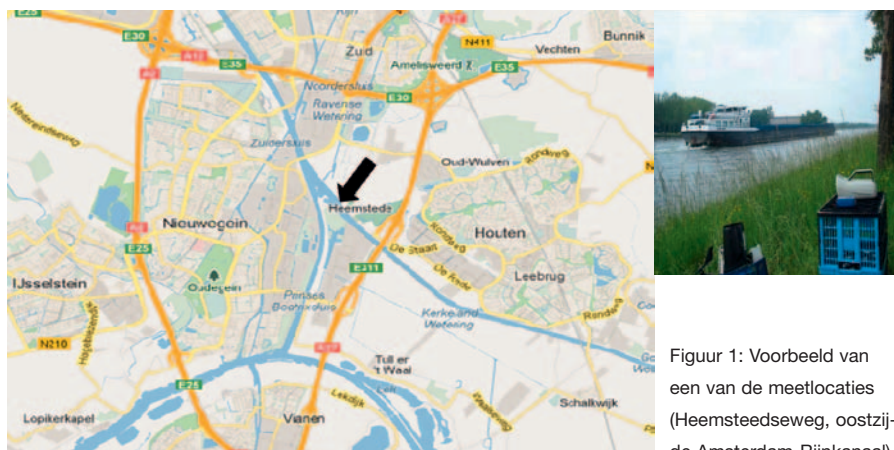
# EEN ONDERZOEK NAAR DE LOKALE CONCENTRATIES VAN ULTRAFIJN STOF EN ROETDEELTJES BIJ BINNENVAARTSCHEPEN EN DIESELTREINEN

en specifieke kenmerken, zoals het draaien van de wind en neerslag. Daarnaast zijn voor alle meetdagen de meteorologische gegevens van het datacentrum van het KNMI De Bilt verzameld. Daarvoor zijn de data van het weerstation in De Bilt (Nieuwegein), Volkel (Nijmegen), Deelen (Arnhem) en Hupsel (Eefde) gebruikt.

## Data-analyse

In dit onderzoek wilden wij nagaan wat de bijdrage van schepen en dieseltreinen aan de achtergrondconcentraties van fijn stof en roet was. Voor de analyse konden wij de data van de achtergrondlocaties niet gebruiken, omdat daar niet geregistreerd was welke bronnen op welk tijdstip passeerden. Daarom is voor de analyse de methode van de Amsterdamse studie van Van der Zee gebruikt (Van der Zee et al., 2012a). Van der Zee heeft responstijden voor schepen en verkeer berekend. Een responstijd is de tijd die nodig is voor een rookpluim om vanaf de bron tot helemaal over de meetapparatuur te trekken. Voor schepen kwam Van der Zee op een responstijd van 120 seconden en voor verkeer was de responstijd 60 seconden.<sup>3</sup> Deze responstijden zijn voor de analyse gebruikt. Voor dieseltreinen is een responstijd van 120 seconden gekozen. Vervolgens heeft Van der Zee een vergelijking gemaakt tussen de belaste perioden en de onbelaste perioden (van de belaste locatie). Belaste perioden waren perioden waarin een bron passeerde en/of waarin een responstijd gold. Onbelaste perioden waren perioden waarin geen bron passeerde en waarin geen responstijden van andere bronnen nog aanwezig waren.

Wij hebben de berekeningen uitgevoerd met het 'mixed model'. Bij deze berekeningen is ook gekeken naar de invloed van vrachtschepen, passagiersschepen en overige schepen, de invloed van de



Figuur 1: Voorbeeld van een van de meetlocaties (Heemstedseweg, oostzijde Amsterdam-Rijnkanaal).

vaarrichting, de invloed van elektrische treinen en dieseltreinen, de invloed van goederen- en passagierstreinen en de invloed van remmende en optrekkende treinen.

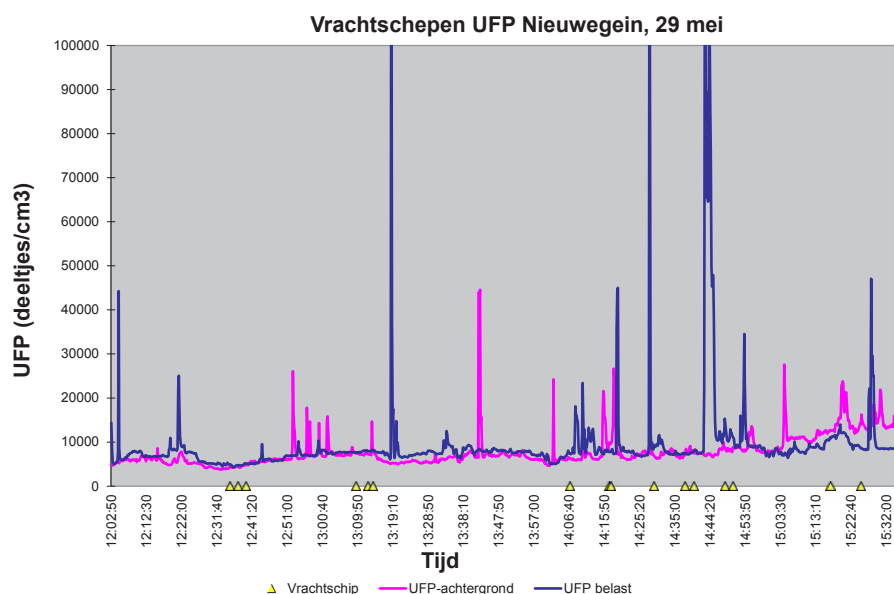
## Resultaten

In Nieuwegein, Nijmegen en Arnhem werd 5 dagen gemeten en in Eefde 3 dagen. In Nijmegen passeerden gemiddeld zo'n 20 schepen per uur en in Nieuwegein 7. In Arnhem passeerden gemiddeld meer dieseltreinen dan in Eefde (10 versus 4). Het aantal passerende brommers en voertuigen varieerde behoorlijk. In Nijmegen was er he-

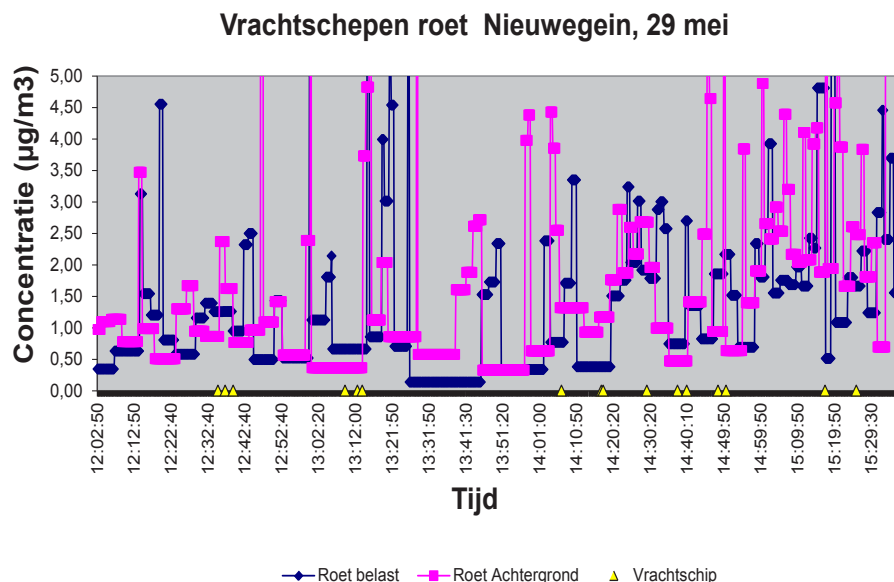
maal geen verkeer en in Nieuwegein passeerden zo'n 6 brommers en 23 andere voertuigen per uur. Tijdens de meeste dagen was er weinig wind. Er werden grote verschillen tussen de meetdagen gevonden. Zo varieerde het gemiddelde aantal stofdeeltjes/cm<sup>3</sup> op de belaste locatie in Nieuwegein tussen de 4.900 en 26.300. Ook bij de roetconcentraties werden grote verschillen gevonden. Daar varieerden de gemiddelde roetconcentraties op de belaste locatie in Nieuwegein tussen 0,57 µg/m<sup>3</sup> en 1,43 µg/m<sup>3</sup>. Echter, de hoogste gemiddelden van de roetconcentraties waren niet synchroon met die van de

Plaats	Belaste meetlocatie UFP deeltjes/cm <sup>3</sup>		Achtergrondlocatie UFP deeltjes/cm <sup>3</sup>	
	Gemiddelde	Mediaan	Gemiddelde	Mediaan
Nieuwegein	10800	9600	8900	6100
Nijmegen	7000	5300	5400	4700
Arnhem	10100	8000	8500	7400
Eefde	5400	4600	3700	3500
Plaats	Belaste meetlocatie BC µg/m <sup>3</sup>		Achtergrondlocatie BC µg/m <sup>3</sup>	
	Gemiddelde	Mediaan	Gemiddelde	Mediaan
Nieuwegein	0,95	0,64	0,98	0,58
Nijmegen	0,78	0,59	0,58	0,55
Arnhem	0,95	0,59	0,75	0,39
Eefde	0,51	0,25	0,46	0,45

Tabel 1: Gemiddelden en medianen van ultrafijnstofdeeltjes en zwarte rook van de belaste meetlocatie en de achtergrondlocatie voor de vier meetlocaties Nieuwegein, Nijmegen, Arnhem en Eefde.



Figuur 2: De invloed van passerende schepen in Nieuwegein van 29 mei op het aantal ultrafijnstofdeeltjes in vergelijking met de achtergrondconcentraties.



Figuur 3: De invloed van passerende schepen in Nieuwegein van 29 mei op de roetconcentraties in vergelijking met de achtergrondconcentraties.

ultrafijne stofdeeltjes. Op sommige dagen werden hogere concentraties op de achtergrondlocatie gevonden. Deze werden veroorzaakt door pieken van onbekende bronnen.

Tabel 1 vat de gemiddelden en medianen van ultrafijnstofdeeltjes en zwarte rook van alle belaste meetlocaties en alle achtergrondlocaties samen. Uit deze tabel blijkt dat het gemiddeld aan-

tal ultrafijnstofdeeltjes op de belaste locatie altijd hoger was dan op de achtergrondlocatie. Voor de roetconcentraties waren deze verschillen veel minder duidelijk. Verder valt op dat de achtergrondconcentraties van de stedelijke locaties (Nieuwegein en Arnhem) hoger waren dan die van de plattelandlocaties (Ooijpolder Nijmegen en Eefde).

Figuur 2 en 3 illustreren de invloed van passerende schepen in Nieuwegein op het aantal ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties in vergelijking met de achtergrondlocaties. Deze figuren laten zien dat er ook op de achtergrond pieken zijn. Omdat de veldwerker alleen op de belaste locatie noteerde welke schepen en andere voertuigen passeerden, is het niet bekend welke passerende voertuigen op de achtergrondlocaties voor de piekconcentraties zorgden. Tabel 2 toont de resultaten van de 'mixed model'-analyses voor het effect van schepen en treinen op de aantallen ultrafijnstofdeeltjes en de concentraties roet. Voor schepen werd een significante bijdrage aan de aantallen ultrafijnstofdeeltjes gevonden, maar deze is niet significant voor de bijdrage aan roetconcentraties. Voor Nieuwegein was de bijdrage aan ultrafijnstofdeeltjes zo'n 1150 deeltjes/cm<sup>3</sup> en voor Nijmegen was deze bijdrage zo'n 450 deeltjes/cm<sup>3</sup>. Ten opzichte van de achtergrondconcentraties waren deze bijdragen respectievelijk 4% en 7%.

Voor de dieseltreinen werd ook een significante bijdrage aan ultrafijnstofdeeltjes gevonden. Deze waren afgerond voor respectievelijk Arnhem en Eefde op 1800 en 450 ultrafijnstofdeeltjes/cm<sup>3</sup>. Ten opzichte van de achtergrondconcentraties waren deze bijdragen respectievelijk 8% en 1%. Voor roet werd alleen voor de dieseltreinen in Arnhem een significante bijdrage gevonden. Deze bedroeg 75 nanogram/m<sup>3</sup>. Dat is 5% van de achtergrondconcentratie.

## DE RESULTATEN VAN DE HUIDIGE STUDIES TONEN AAN DAT SCHEPEN EN DIESELTREINEN (IN MINDERE MATE) EEN LOKALE BIJDRAGE AAN ULTRAFIJNSTOFDEELTJES EN ROETCONCENTRATIES LEVEREN

Locaties/ Plaats	UFP/BC	Schip of dieseltrein	Brommer	Overig verkeer
Nieuwegein Schip	UFP	1140 (785-1500) deeltjes/cm <sup>3</sup>	1965 (1420-2505) deeltjes/cm <sup>3</sup>	-240 (-510 – 35)* deeltjes/cm <sup>3</sup>
	BC	87 (-52 – 225)* ng/m <sup>3</sup>	-46 (-256 – 164)* ng/m <sup>3</sup>	-46 (-152 – 600)* ng/m <sup>3</sup>
Nijmegen Schip	UFP	445 (290-595) deeltjes/cm <sup>3</sup>	Geen verkeer	Geen verkeer
	BC	27 (-26 – 79)*	Geen verkeer	Geen verkeer
Arnhem Dieseltrein	UFP	1815 (1390-2245) deeltjes/cm <sup>3</sup>	-355 (-1290 – 580)* deeltjes/cm <sup>3</sup>	-2250 (-7355 – 2855)* deeltjes/cm <sup>3</sup>
	BC	78 (17-139) ng/m <sup>3</sup>	134 (1-268) ng/m <sup>3</sup>	29 (-701 – 758)* ng/m <sup>3</sup>
Eefde Dieseltrein	UFP	445 (175-715) deeltjes/cm <sup>3</sup>	4695 (3665-5720) deeltjes/cm <sup>3</sup>	1790 (1495-2085) deeltjes/cm <sup>3</sup>
	BC	-39 (-265 – 186)* ng/m <sup>3</sup>	-277 (-1134 – 580)* ng/m <sup>3</sup>	130 (-116 – 376)* ng/m <sup>3</sup>

\* NS: niet significant p < 0,05.

Tabel 2: Bijdragen aan ultrafijne stofdeeltjes (UFP) en roetconcentraties (BC) berekend met het mixed model voor schepen, dieseltreinen, brommers en het overige verkeer van de belaste locaties/plaats.

Opvallend was de hoge bijdrage van brommers aan ultrafijnstofdeeltjes en roet. Deze bedroeg in Nieuwegein en in Eefde respectievelijk 1950 en 4700 ultrafijnstofdeeltjes/cm<sup>3</sup>.

Nadere analyses toonden aan dat optrekkende treinen een significant hogere bijdrage leverden aan het aantal ultrafijne stofdeeltjes dan afremmende treinen. Bij de nadere analyse van de vracht-, passagiers- en overige schepen zijn alleen significante bijdragen voor de vrachtschepen gevonden. Daar werd bij Nieuwegein behalve voor ultrafijn

stof ook voor roetconcentraties een significante bijdrage gevonden. Deze bedroeg 150 nanogram/m<sup>3</sup> (16%). De elektrische treinen leverden geen significante bijdrage aan ultrafijnstofdeeltjes en roetdeeltjes. Een bijdrage door slijtage kon in deze studie niet worden aangetoond.

### Discussie

Deze studie toont aan dat (vracht)schepen, dieseltreinen en brommers een lokale bijdrage leveren aan ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties. Tabel 3

Onderzoek	UFP Aantal deeltjes/cm <sup>3</sup>	UFP Bijdrage	BC ng/m <sup>3</sup>	BC Bijdrage
Nieuwegein	1250	3,9%	150	16,3%
Nijmegen	500	2,3%	NS	NS -
Amsterdam, waterkant (Zee et al., 2012B)	4200	3%		
Amsterdam, woongevel (Zee et al., 2012B)	700	20%		
Nijmegen (Bloemen et al., 2006)			200	

Tabel 3: Vergelijking van de lokale bijdrage van vrachtschepen aan aantal ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties met overige studies uit de literatuur.

toont de resultaten van vergelijkbare studies naar binnenvaartschepen. Van der Zee (Van der Zee et al., 2012a) heeft in Amsterdam met een CPC-meter de bijdrage van ultrafijnstofdeeltjes door binnenvaartschepen gemeten aan de waterkant en aan de woongevel. Zij vond voor de binnenvaartvrachtschepen bijdragen van respectievelijk 3% en 20%. Dit is opvallend, omdat de waterkant dichter bij de bron ligt dan de gevel. Zij geeft als mogelijke verklaring dat gasvormige verbindingen, zoals SO<sub>2</sub>, zich omvormen tot ultrafijne stofdeeltjes (sulfaat). Bloemen (Bloemen et al., 2006) heeft in 2005 en 2006 op beide oevers van de Waal bovenstrooms van Nijmegen gedurende twee perioden intensieve metingen (uurgemiddelde concentratiewaarden) uitgevoerd, waaronder metingen naar roetconcentraties (black carbon) met een Aethalometer. Bloemen vond voor die perioden een bijdrage van 200 nanogram/m<sup>3</sup> aan roetconcentraties. Tabel 3 vergelijkt de gegevens van de huidige studie met de gegevens van de studies van Van der Zee en Bloemen. Hieruit blijkt dat de bijdragen van binnenvaartschepen aan roet- en ultrafijnstofdeeltjes tussen de 2% en de 20% variëren.

### Dieseltreinen

Er is nauwelijks onderzoek gedaan naar de bijdrage van het aantal ultrafijne stofdeeltjes en de roetconcentraties van dieseltreinen op leefniveau. Bij een onderzoek naar de bijdrage van PM<sub>10</sub> aan de Velperweg 10 in Arnhem vond Buro Blauw (Buro Blauw, 2011) een bijdrage van 0,8 µg/m<sup>3</sup> bij een achtergrondconcentratie van gemiddeld zo'n 25 µg/m<sup>3</sup>. Dit komt overeen met een verhoging van 3%.

### Brommers

Behalve dieseltreinen en vrachtschepen leveren brommers belangrijke bijdra-

## VOOR SCHEPEN WERD EEN SIGNIFICANTE BIJDRAGE AAN DE AANTALLEN ULTRAFIJNSTOFDEELTJES GEVONDEN, MAAR DEZE IS NIET SIGNIFICANT VOOR DE BIJDRAGE AAN ROETCONCENTRATIES

gen aan ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties. In eerdere studies is ook al gewezen op deze belangrijke bron (Van der Zee et al., 2010b; Zuurbier et al., 2010).

### Lokaal beleid

De resultaten van de huidige studies tonen aan dat schepen en dieseltreinen (in mindere mate) een lokale bijdrage aan ultrafijnstofdeeltjes en roetconcentraties leveren. Deze bijdrage ligt ruwweg tussen de 2% en 20%.

Voor de gezondheid is het belangrijk om woonlocaties op te sporen waar een hoge bijdrage van binnenvaartschepen en dieseltreinen is te verwachten. Dit zijn plaatsen die zeer dicht tegen het spoor aanliggen en waar veel dieseltreinen passeren (bijvoorbeeld rangeertreinen) of plaatsen die dicht bij intensieve binnenvaartroutes liggen. Daar zal nader onderzoek moeten uitwijzen in welke mate schepen en dieseltreinen een nadelig effect op de gezondheid hebben. Ook kunnen steigers voor grotere schepen, die intensief worden gebruikt en die dicht bij woonlocaties liggen, een belangrijke bron voor ultrafijnstofdeeltjes en/of roet vormen. Daar kan walstroom uitkomst bieden.

Verder is bekend dat schepen een hoge bijdrage aan  $\text{NO}_x$  leveren (Bloemen et al., 2006; Boeft et al., 2010; Keuken et al., 2005; Van der Zee et al., 2012b). Deze bijdrage ligt tussen de 2 en  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Op sommige plaatsen is deze bijdrage vergelijkbaar met de bijdrage van een snelweg (Bloemen et al., 2006; Boeft et al., 2010).

Naast binnenvaartschepen en dieseltreinen blijken brommers een belangrijke bijdrage aan ultrafijnstofdeeltjes te leveren. Van de tweetaktmotoren is algemeen bekend dat deze veel ultrafijnstofdeeltjes uitstoten. Voor ultrafijn stof zijn elektrische brommers/scooters verre te prefereren. Bovendien maken deze brommers nauwelijks geluid.

### Referenties

- Bloemen, H. J.Th., Uiterwijk, J.W., Putten, E.M. van en Verboom, J.H. (2006). Lokale Invloed Scheepvaart Emissies-LISE. Een verkenning. RIVM-rapport 680280001.
- Boeft, J. den, Hulskotte, J.H.J. (2010). Emissie en immissie ten gevolge van het scheepvaartverkeer op de Waal en het Maas-Waalkanaal bij Nijmegen (2007, 2010 en 2015). TNO-rapport, TNO-034-UT-2010-00760\_RPT-ML.
- Buro Blauw (2011). Onderzoek naar de lokale fijnstofbelasting van het spoor aan de Velperweg in Arnhem, Buro Blauw, Rapportnr. BL2011.5092.02-V01, Wageningen.
- Keuken, M.P., Wesseling, J., Hollander, J.C.T. en Verhagen, H. (2005). Luchtkwaliteit in relatie tot scheepvaart. TNO rapport 2005, TNO-rapport B&O-A R2005/085.
- Zee, S. van der, Dijkema, M., Laan, J. van der, Hoek, G. (2012a). De bijdrage van scheepvaartemissies aan de gemeten concentraties van stikstofoxiden en ultrafijn stof langs vaarwegen in Amsterdam en Diemen. GGD Amsterdam, 18 april 2012.
- Zee, S. van der, Dijkema, M., Laan, J. van der en Hoek, G. (2012b). The contribution of inland ships and recreational boats to measured  $\text{NO}_x$  and ultrafine particle concentrations along waterways in Amsterdam. *Atmospheric Environment* 2012; 55: 368-376.
- Zuurbier, M., Hoek, G., Oldenwening, M., Lenters, V., Meliefste, K., Hazel, P. van den en Brunekreef, B. (2010). Commuters' exposure to particulate matter air pollution is affected by mode of transport, fuel type, and route. *Environmental Health Perspectives* 2010, 118: 783-789.

### Noten

1. Zie voor het volledige rapport: [www.academischewerkplaatsmmk.nl](http://www.academischewerkplaatsmmk.nl).
2. Ultrafijnstofdeeltjes zijn deeltjes die kleiner dan  $< 0,1 \mu\text{meter}$  zijn ( $\text{PM}_{0,1}$ ).
3. Gevoeligheidsanalyses laten zien dat ook in deze studie bij deze responstijden de hoogste bijdragen worden berekend.

\* B.J.A. Groot, M.A. Vaal en M. Zuurbier zijn werkzaam bij GGD Gelderland-Midden. A.W. Groenewold is werkzaam bij GGD Gelre-IJssel.