



GGD
Amsterdam

Luchtkwaliteit nabij dieselaggregaten

Informatieblad

Augustus 2015

Maciek Strak, GGD Amsterdam

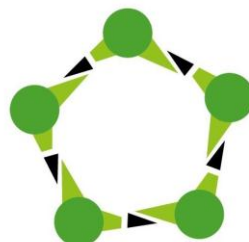
Saskia van der Zee, GGD Amsterdam

Kees Meliefste, IRAS, Universiteit Utrecht

Gerard Hoek, IRAS, Universiteit Utrecht



Universiteit Utrecht



Academische Werkplaats
MILIEU EN GEZONDHEID

Achtergrond en doel

GGD-en krijgen regelmatig vragen van bewoners die bezorgd zijn over de uitstoot van dieselaggregaten. Deze worden bijvoorbeeld gebruikt bij verbouwingen, of als elektriciteitsvoorziening bij evenementen. Informatie over de bijdrage van de dieselaggregaten aan de concentraties op leefniveau in deze situaties ontbreekt echter tot dusverre, terwijl de emissies vaak zeer dicht bij de woningen of in de directe omgeving van publiek plaats vinden.

Emissie normen voor Non-Road Mobile Machinery (NRMM), zoals dieselaggregaten, zijn minder streng dan emissie normen voor gemotoriseerd verkeer (www.dieselnet.com). Een inventarisatie van maatregelen ter beperking van de uitstoot van NRMM laat zien dat sommige Europese (hoofd)steden hiervoor wel beleid hebben (www.sootfreecities.eu). Zo is in Kopenhagen en Zurich in veel situaties een roetfilter op dieselaggregaten verplicht, en in Stockholm en Wenen moet alle NRMM aan de hoogste EU emissie normen voldoen.

Dieselmotoren stoten relatief veel roet en ultrafijnstof uit (HEI, 2010). Blootstelling aan roet en ultrafijnstof, zowel kort- als langdurig, is geassocieerd met gezondheidseffecten, variërend van systemische inflammatie, luchtwegklachten, tot hart- en vaatziekten en ziekenhuisopnames (Holgate et al. 2003, Janssen et al., 2011).

In dit onderzoek zijn de concentraties roet en ultrafijnstof met korte tijdsresolutie gemeten in de nabijheid van diverse typen dieselaggregaten en is de invloed op de lokale luchtkwaliteit bestudeerd. De verwachting is dat GGD-en op basis hiervan betere adviezen kunnen uitbrengen aan bewoners en gemeenten/stadsdelen, wat leidt tot betere bescherming van de gezondheid. Daarnaast hopen we dat door dit onderzoek een discussie zal ontstaan over aanpak van niet-mobiele luchtverontreiniging bronnen. Het onderzoek is relevant voor alle plekken in Nederland waar dieselaggregaten gebruikt worden dichtbij publiek, woningen en gevoelige bestemmingen (scholen, kinderdagverblijven).

Materiaal en methoden

Studieopzet

Om praktische redenen is gekozen voor een 'simulatie-onderzoek' waarbij twee verschillende typen dieselaggregaten en een benzineaggregaat zijn gehuurd en op een stedelijke achtergrondlocatie zijn geplaatst. Navraag bij twee grote nationale machineverhuur bedrijven liet weten dat vooral de kleinere type dieselaggregaten (d.w.z. 10, 20, 30 en 40 kVA) veel verhuurd worden.

Er zijn drie verschillende scenario's onderzocht: in *Scenario I* zijn roet- en ultrafijnstofconcentraties gemeten op 15 april 2015, tussen 10:00 en 16:00 (6 uur lang). Het 10 kVA dieselaggregaat (Europower EPS113TDE) was belast met 9 halogeen bouwlampen van 1000 W en de meetapparatuur, zodat het aggregaat bijna op volledig vermogen wordt gebruikt.

In *Scenario II* is gemeten op 16 juli 2015, tussen 9:45 en 15:30. Het 20 kVA dieselaggregaat (Atlas Copco QAS 20) was beladen met halogeen bouwlampen van 1000 W: helft van de tijd met 5 lampen en de andere helft met 10 lampen, om de invloed van belading op emissies te onderzoeken. Tien halogeen bouwlampen van 1000 W is ongeveer een helft van de maximale belading van het gebruikte dieselaggregaat.

In *Scenario III* is gemeten op 17 juli 2015, tussen 8:55 en 15:30. Er is een draagbaar 2000 W benzineaggregaat (Honda 20i) gebruikt, de helft van de tijd voor de helft belast met één 1000 W bouwlamp en de andere helft van de tijd volledig belast (werkmode aanwezig op het aggregaat). Er is voor een benzineaggregaat gekozen om te onderzoeken of er sprake is van andere typen emissies dan bij gebruik van dieselaggregaten.

In alle scenario's zijn de aggregaten geplaatst op het terrein van de Universiteit Utrecht. Dit kan worden getypeerd als een stedelijke achtergrondlocatie (Figuur 1). Er is gemeten bij droog weer op twee afstanden benedenwinds: 3 meter en 10 meter, en op 20 meter bovenwinds (achtergrond). De afstand van 3 meter is realistisch in veel drukke binnenstedelijke situaties, b.v. als er een aggregaat op de stoep dichtbij woningen staat. De afstand van 10 meter is in meerdere situaties realistisch.

Figuur 1 Kaart van de meetlocatie.



Meetmethoden

De concentratie ultrafijnstof is gemeten met draagbare deeltjestellers (*Scenario I* – Condensation Particle Counter 3007, TSI Inc., MN, USA; *Scenario's II en III* – DiSCmini, Testo AG, Lenzkirch, Germany) met een tijdsresolutie van 1 s. Roet is gemeten met draagbare roetmeters (microAeth AE51, AethLabs, CA, USA) met een flow van 150 ml/min en een resolutie van 60 s. Er is voor 60 s gekozen, omdat bij een hogere resolutie (b.v. 1 s) de sensitiviteit van het apparaat niet voldoende is. Op elk van de 3 afstanden zijn beide apparaten geplaatst op een hoogte van 1,05 m (Figuur 2, Figuren A-B). Tijdens de metingen heeft een getrainde veldwerker nauwkeurig de windrichting geregistreerd door middel van een windvaan. Indien nodig werd de positie van de meetapparaten aangepast zodat ze altijd benedenwinds (3 meter, 10 meter) en bovenwinds (20 meter) van het aggregaat stonden. De klokken van alle apparatuur waren tot op de seconde met elkaar gesynchroniseerd. Alle aanpassingen en onverwachte situaties zijn geregistreerd op een

veldformulier. Meteorologische uurgegevens (windrichting, windsnelheid, hoogste windstoot, temperatuur, luchtdruk en relatieve luchtvochtigheid) van de meetdag van zijn verzameld van het dichtstbijzijnde weerstation (De Bilt, 1,7 km afstand) van het KNMI (www.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens).

Voor en na de metingen zijn parallelmetingen met de drie roetmeters en de drie deeltjestellers uitgevoerd op verschillende locaties om eventuele systematische afwijkingen tussen de apparatuur onderling in beeld te brengen.

Figuur 2 Opzet bron en meetapparatuur (op een ladder geplaatst) bij *Scenario I*.



Data-analyse

Alle 1-seconde ultrafijnstofconcentraties metingen zijn omgerekend naar 1-minuutgemiddelden voor vergelijking met de roetconcentraties.

In *Scenario I* is als gevolg van een technische storing van één van de CPC's waren de tijdens het eerste uur gemeten deeltjesaantallen op 10 m afstand helaas niet bruikbaar. Daarom rapporteren we voor ultrafijnstofconcentraties gemiddelden van 5 uur en niet van 6 uur zoals voor roet.

In *Scenario III* is als gevolg van een technische storing zijn de roet- en ultrafijnstofconcentraties in de laatste uur van de meetdag niet beschikbaar.

De associaties tussen verschillende afstanden en componenten zijn geanalyseerd in SAS versie 9.4.

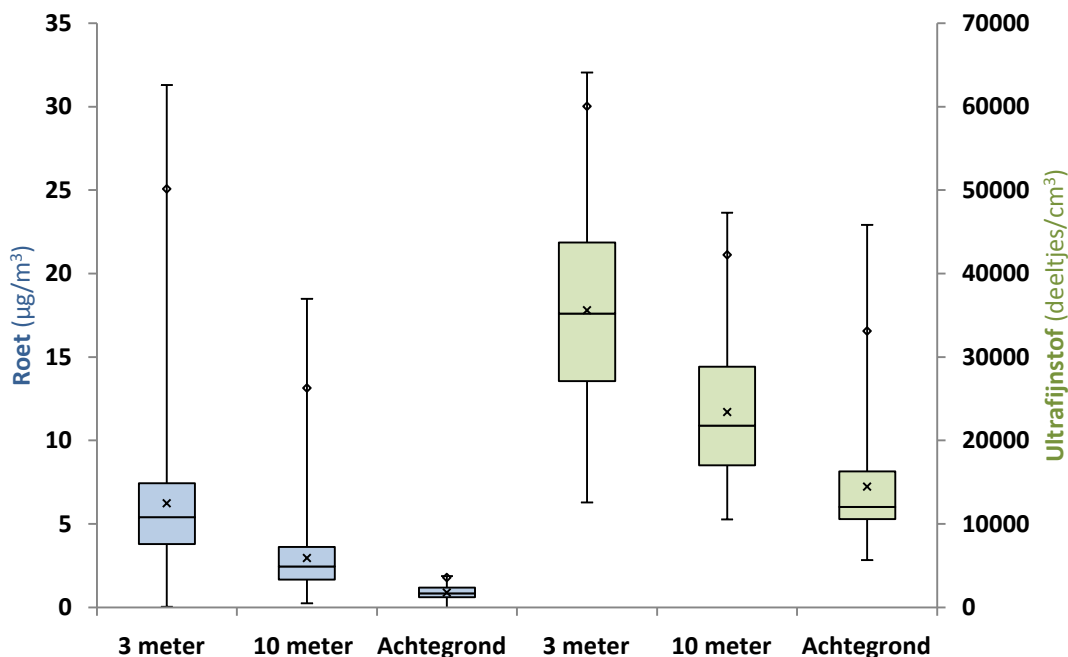
Resultaten en discussie

Scenario I

Figuur 3 vat de gemeten concentraties roet en ultrafijnstof samen (zie ook Tabel A, bijlage). De gemeten gemiddelde concentraties op beide benedenwindse afstanden zijn sterk verhoogd t.o.v. de achtergrond. Op 3 meter afstand is de gemiddelde concentratie roet $6,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en de concentratie ultrafijnstof $35637 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$. Dat is respectievelijk 7 en 2,5 keer hoger dan de achtergrond (Tabel 1). Op 10 m afstand is de gemiddelde concentratie roet $2,96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ultrafijnstof $23419 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$, wat respectievelijk 3,3 en 1,6 keer hoger is dan achtergrond. De gemiddelde achtergrondconcentratie tijdens de meting is $0,89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor roet en $14492 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$ voor ultrafijnstof. Dit is redelijk goed vergelijkbaar met de jaargemiddelde stadsachtergrondconcentratie op meetstation Vondelpark van de GGD Amsterdam (2014) – $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor roet en ca. $9000 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$ voor ultrafijnstof. De hoogst gemeten roetconcentratie in onze studie was $31,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en het 99^e percentiel (d.w.z. concentratie waaronder 99% van de gemeten concentraties zich bevinden, dus zonder infrequente hoge uitschieters) was $25,09 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Voor ultrafijnstof was het maximum $64102 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$ en het 99^e percentiel $60071 \text{ deeltjes}/\text{cm}^3$.

Overigens was er tijdens de meetperiode ook een sterke diesellucht en zwart uitstoot zichtbaar – twee karakteristieken die vaak gemeld worden bij GGD-en door bezorgde bewoners.

Figuur 3 Verdeling van gemeten roet- en ultrafijnstofconcentraties (1-minuut) in *Scenario I*.



Whiskers zijn min en max; "x", gemiddelde; "o", 99^e percentiel.

De invloed van het dieselaggregaat aan de concentraties roet en ultrafijnstof is beoordeeld op basis van de ratio's tussen de op 3 en 10 meter afstand benedenwinds gemeten concentraties en de achtergrondconcentratie. Die concentratie ratio's zijn groter dan voor het lokaal wegverkeer. In studies in Amsterdam/Rotterdam (Klompmaker et al., 2015) en Utrecht (Boogaard et al., 2010) waren roet- en ultrafijnstofconcentraties in een drukke straat respectievelijk 1,7-2,9 en 1,6-2,7 keer

hoger dan op de stedelijk achtergrond (Tabel 1). In de Academische Werkplaats studie (Groot et al. 2013, Zuurbier et al. 2013) naar emissies van dieseltreinen was de ratio's tussen belaste locatie en een achtergrond 1,1-1,3 voor roet en 1,2-1,5 voor ultrafijnstof (afhankelijk van de locatie). In dezelfde studie is ook gekeken naar de emissies van binnenscheepvaart. Ook daar waren de ratio's lager dan in onze studie: 1,0-1,3 voor roet en 1,2-1,3 voor ultrafijnstof.

Tabel 1 Ratio's tussen afstanden (of belaste/onbelaste locaties) voor roet- en ultrafijnstofconcentraties.

Studie	Locatie	Ratio roet	Ratio ultrafijnstof
Deze studie	3 m / Achtergrond	7,0	2,5
	10 m / Achtergrond	3,3	1,6
	3 m / 10 m	2,1	1,5
Klompmaker et al. (2015)	Straat / Stadsachtergrond	1,7	1,6
Zuurbier et al. (2013)	Dieseltrein / Achtergrond	1,1-1,3 ^a	1,2-1,5 ^a
	Scheepvaart / Achtergrond	1,0-1,3 ^a	1,2-1,3 ^a
Boogaard et al. (2011)	Straat / Stadsachtergrond	2,9	2,7

^a Afhankelijk van de meetlocatie.

Het verschil in de ratio's tussen roet en ultrafijnstof in onze studie heeft waarschijnlijk te maken met de keuze van afstanden en meer mogelijke bronnen van ultrafijnstof in de omgeving. Als we de achtergrondconcentraties aftrekken van de concentraties gemeten op de benedenwinds afstanden, dan is de bijdrage van het dieselaggregaat op 3 meter: 5,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ roet en 21145 ultrafijnstofdeeltjes/ cm^3 , en op 10 meter: 2,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ roet en 8927 ultrafijnstofdeeltjes/ cm^3 . De ratio's van die bijdrages zijn dan vergelijkbaar: 2,6 voor roet en 2,4 voor ultrafijnstof.

In onze studie zijn de afstanden tussen de bron (dieselaggregaat) en de benedenwinds meetpunten (veel) kleiner dan in de andere studies. De afstanden in onze studie zijn echter representatief voor de afstanden tot bebouwing zoals die ook bij verbouwingen en evenementen in de stad worden aangetroffen, waar mensen zich vaak (zeer) dichtbij dieselaggregaat blootgesteld bevinden.

De correlatie tussen roet en ultrafijnstof onderling is hoog op 3 meter en neemt af met de afstand (Tabel 2). Op de achtergrond locatie zijn ze niet met elkaar gecorreleerd.

Tabel 2 Correlatie (Spearman R) tussen roet en ultrafijnstof op verschillende afstanden (1-minuut metingen) in *Scenario I*.

Afstand	Correlatie roet-ultrafijnstof ^a
3 meter	0,67
10 meter	0,25
Achtergrond	-0,33

Alle correlaties $p < 0.001$. ^a gebaseerd op 5-uur concentraties.

De weersomstandigheden zijn op de meetdag van *Scenario I* stabiel geweest (Tabel 3). De hele meetdag was er een west-zuid-westelijke wind die niet veel wisselde van richting. In de middag nam de windsnelheid toe, met hogere windstoten. Kleine veranderingen in de weersomstandigheden hadden niet veel invloed op de gemeten concentraties roet en ultrafijnstof (Tabel 3). De vergelijking met het KNMI data liet zien dat de meetdag zeer representatief was voor deze periode van het jaar (Tabel D, bijlage). Daarom geeft deze meetdag een goed beeld van de bijdrage van het dieselaggregaat aan lokale concentraties benedenwinds.

Tabel 3 Meteorologische gegevens van de meetdag en hun invloed op roet- en ultrafijnstofconcentraties in *Scenario I*.

Tijd	WR (graden)	WS (m/s)	HWS (m/s)	T (C)	P (hPa)	RV (%)	Bijdrage roet 3 m t.o.v. 10 m	Bijdrage ultrafijnstof 3 m t.o.v. 10 m
10-11	WZW (240)	4	7	17,3	1018	59	2,3	-
11-12	WZW (250)	4	7	18,5	1017	55	2,8	2,9
12-13	WZW (250)	5	10	20,4	1017	50	2,4	2,6
13-14	WZW (250)	6	11	21,3	1017	40	2,6	2,7
14-15	WZW (250)	5	11	22,5	1016	37	3,4	2,4
15-16	WZW (260)	6	10	22,3	1016	33	2,4	1,8

WR, windrichting; WS, windsnelheid; HWS, hoogste windstoot; T, temperatuur; P, luchtdruk; RV, relatieve vochtigheid. Bijdrage van het dieselaggregaat is de concentratie na aftrekken achtergrondconcentratie.

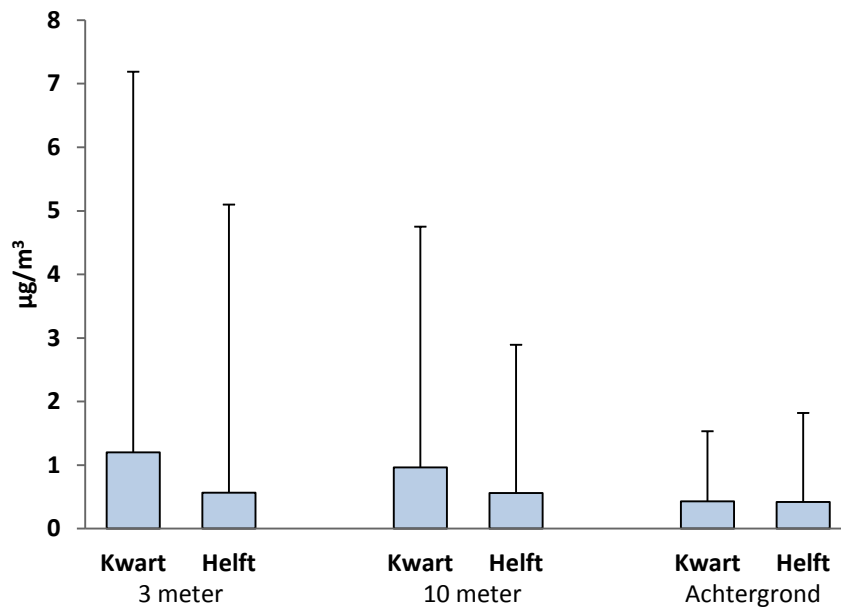
Scenario II

Het doel van *Scenario II* was om het effect van belading van het dieselaggregaat op de gemeten concentraties te onderzoeken. Tabel B (bijlage) vat de gemeten concentraties roet en ultrafijnstof samen. De gemeten gemiddelde concentraties zijn lager dan in *Scenario I*. Toch zijn de concentraties op beide benedenwindse afstanden verhoogd t.o.v. de achtergrond. Op 3 meter afstand waren de concentraties roet en ultrafijnstof respectievelijk 2,1 keer en 1,4 keer zo hoog als de achtergrond, gedreven door het dagdeel waarin het benzineaggregaat voor een kwart i.p.v. de helft beladen was (Tabel 4). Op 10 m afstand was dat vooral het geval voor roet – 1,8 keer hoger dan achtergrond, ook gedreven door de periode met minder belading van het dieselaggregaat.

De gemeten concentraties roet en ultrafijnstof waren hoger als het dieselaggregaat minder beladen was (kwart i.p.v. een helft van de vermogen; Figuren 4-5). Dat is consistent met studies uit de literatuur (McDonald et al. 2011, Smits et al. 2012) die laten zien dat de uitstoot bij een lage belading relatief groot is. Door technische problemen was het niet mogelijk om het aggregaat volledig te beladen, maar de verwachting is dat de concentraties afnemen als het aggregaat hoger beladen is.

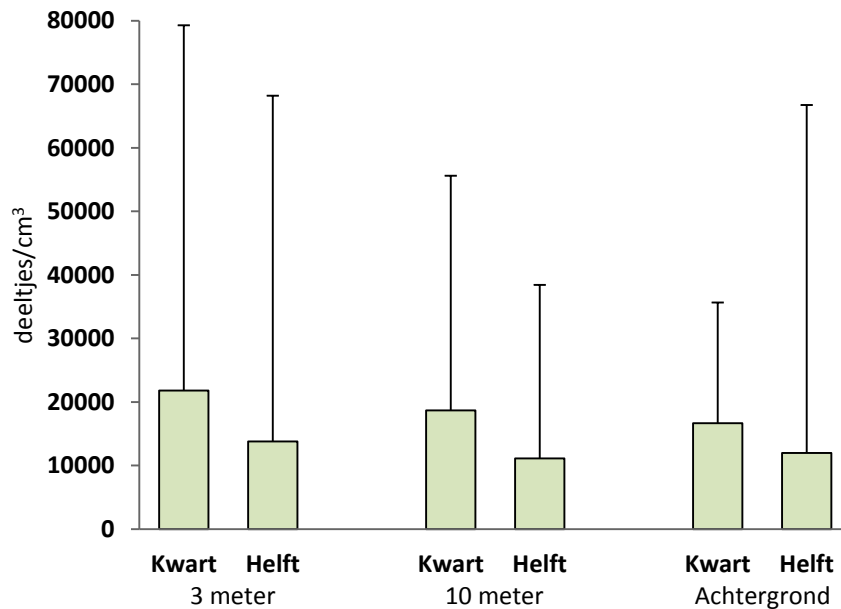
De weeromstandigheden op de meetdag van *Scenario II* waren minder stabiel en de wind wisselde steeds van richting (Tabel 5). Ondanks zorgvuldig aanpassen van de positie van de apparatuur om steeds benedenwinds van het aggregaat te meten, heeft het mogelijk invloed gehad op de gemeten concentraties.

Figuur 4 Gemeten roetconcentraties bij twee typen belading (kwart vs. helft) in *Scenario II*.



Whiskers zijn 99^e percentiel.

Figuur 5 Gemeten ultrafijnstofconcentraties (1-minuut) bij twee typen belading (kwart vs. helft) in *Scenario II*.



Whiskers zijn P99 99^e percentiel.

Tabel 4 Ratio's tussen afstanden (of belaste/onbelaste locaties) voor roet- en ultrafijnstofconcentraties in *Scenario II*.

Type	Locatie	Ratio roet	Ratio ultrafijnstof
Totaal	3 m / Achtergrond	2,1	1,4
	10 m / Achtergrond	1,8	1,1
	3 m / 10 m	1,2	1,2
Kwart belading	3 m / Achtergrond	2,8	1,3
	10 m / Achtergrond	2,2	1,1
	3 m / 10 m	1,3	1,2
Halve belading	3 m / Achtergrond	1,3	1,2
	10 m / Achtergrond	1,3	0,9
	3 m / 10 m	1,0	1,2

Tabel 5 Meteorologische gegevens van de meetdag en hun invloed op roet- en ultrafijnstofconcentraties in *Scenario II*.

Tijd	Belading	WR (graden)	WS (m/s)	HWS (m/s)	T (C)	P (hPa)	RV (%)	Bijdrage roet 3 m t.o.v. 10 m	Bijdrage ultrafijnstof 3 m t.o.v. 10 m
10-11	Halve*	NW (310)	1	4	19,1	1020,0	64	0,8	2,1
11-12	Halve	Ver. (990)	2	4	20,8	1019,7	53	8,6	-2,2
12-13	Halve	W (280)	1	4	21,6	1019,4	47	0,9	-0,2
13-14	Kwart	NW (310)	2	4	22,4	1018,7	45	2,5	4,5
14-15	Kwart	Ver. (990)	2	4	23,5	1018,2	45	1,1	2,0
15-16	Kwart	NNO (20)	2	3	23,7	1017,7	48	0,6	0,7

WR, windrichting; WS, windsnelheid; HWS, hoogste windstoot; T, temperatuur; P, luchtdruk; RV, relatieve vochtigheid; Ver., veranderlijk. Bijdrage van het dieselaggregaat is de concentratie na aftrekken achtergrondconcentratie. * Halve belading vanaf 10:30, daarvoor variabele belading.

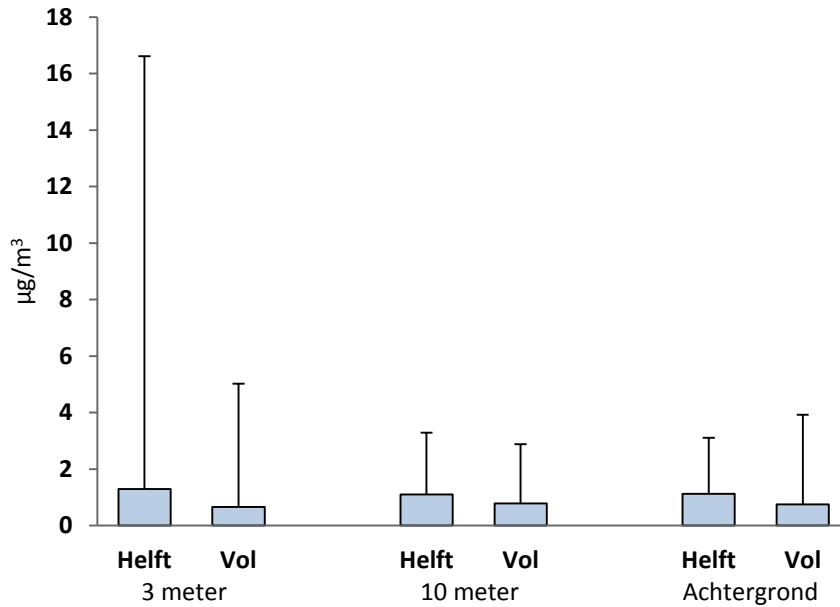
Scenario III

Het doel van dit scenario was om te onderzoeken of de concentraties, ratio's en contrasten gevonden in de *Scenario's I en II* anders zijn bij het benzineaggregaat. Tabel C (bijlage) vat de gemeten concentraties roet en ultrafijnstof samen. De gemeten gemiddelde concentraties zijn ook in dit scenario lager t.o.v. *Scenario I*. Op 3 m afstand is vooral de gemeten concentratie ultrafijnstof verhoogd - 1,3 keer hoger dan de achtergrond, gedreven door het dagdeel waarin het benzineaggregaat minder gunstig beladen was (halve i.p.v. volledige belading) (Tabel 6). Op 10 m afstand waren de concentraties roet en ultrafijnstof niet verhoogd t.o.v. de achtergrond, wellicht door de weersomstandigheden. De meetdag was gekarakteriseerd door redelijk hoog windsnelheid met windstoten tot 14 m/s (Tabel 7). Daardoor is er hoogstwaarschijnlijk een sterkte verdunning van de gemeten concentraties ontstaan.

Zoals bij *Scenario II* waren de gemeten concentraties roet en ultrafijnstof hoger bij mindere belading van het benzineaggregaat, d.w.z. een half i.p.v. volledig vermogen (Figuren 6-7). Er waren geen

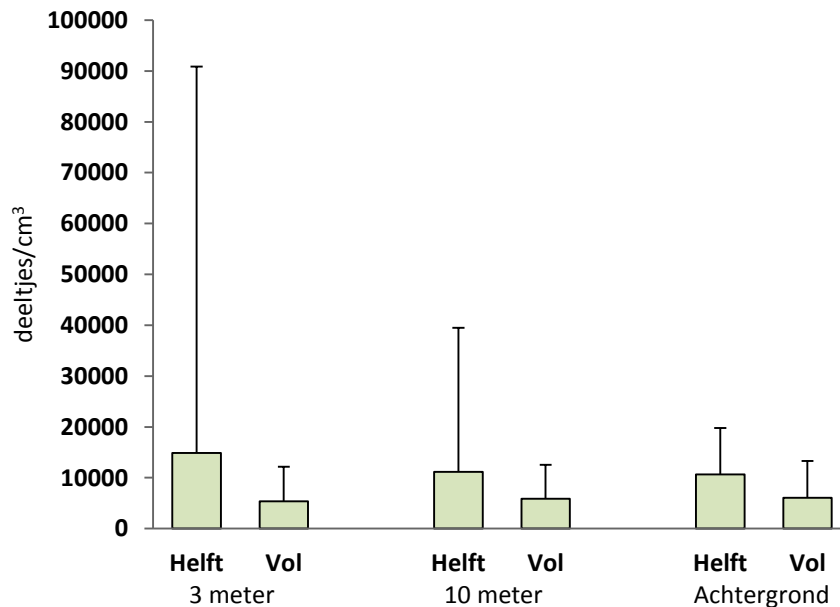
merkbare verschillen in de weersomstandigheden tussen het dagdeel waarin het benzineaggregaat half t.o.v. volledig beladen was (Tabel 7).

Figuur 6 Gemeten roetconcentraties bij twee typen belading (helft vs. vol) in *Scenario III*.



Whiskers zijn P99 99^e percentiel.

Figuur 7 Gemeten ultrafijnstofconcentraties (1-minuut) bij twee typen belading (helft vs. vol) in *Scenario III*.



Whiskers zijn P99 99^e percentiel.

Tabel 6 Ratio's tussen afstanden (of belaste/onbelaste locaties) voor roet- en ultrafijnstofconcentraties in *Scenario III*.

Type	Locatie	Ratio roet	Ratio ultrafijnstof
Totaal	3 m / Achtergrond	1,1	1,3
	10 m / Achtergrond	1,0	1,0
	3 m / 10 m	1,1	1,2
Halve belading	3 m / Achtergrond	1,2	1,4
	10 m / Achtergrond	1,0	1,1
	3 m / 10 m	1,2	1,3
Volledige belading	3 m / Achtergrond	0,9	0,9
	10 m / Achtergrond	1,1	1,0
	3 m / 10 m	0,8	0,9

Tabel 7 Meteorologische gegevens van de meetdag en hun invloed op roet- en ultrafijnstofconcentraties in *Scenario III*.

Tijd	Belading	WR (graden)	WS (m/s)	HWS (m/s)	T (C)	P (hPa)	RV (%)	Bijdrage roet 3 m t.o.v. 10 m	Bijdrage ultrafijnstof 3 m t.o.v. 10 m
9-10	Halve	ZW (230)	7	14	23,0	1010,3	74	-17,7	3,9
10-11	Halve	ZW (230)	7	12	22,6	1011,1	75	9,3	-1,4
11-12	Halve	ZW (230)	8	14	23,9	1011,7	70	1,1	2,5
12-13	Volledige	WZW (240)	8	14	23,4	1012,9	69	-3,3	2,7
13-14	Volledige	ZW (230)	8	14	23,2	1013,4	67	-0,5	300,3
14-15	Volledige	WZW (240)	6	13	23,6	1013,5	70	-	-

WR, windrichting; WS, windsnelheid; HWS, hoogste windstoot; T, temperatuur; P, luchtdruk; RV, relatieve vochtigheid. Bijdrage van het dieselaggregaat is de concentratie na aftrekken achtergrondconcentratie.

Conclusies en aanbevelingen

- De resultaten van deze studie tonen aan dat dieselaggregaten een grote lokale bijdrage kunnen leveren aan roet- en ultrafijnstofconcentraties.
- Tijdens de meting was de concentratie roet op een afstand van 3 meter van het dieselaggregaat 7 keer zo hoog als de achtergrondconcentratie en 2 keer zo hoog als de concentratie op 10 meter afstand. Op 10 meter afstand was de concentratie meer dan 3 keer hoger dan op de achtergrond. Voor ultrafijnstof was de concentratie op 3 meter afstand 2,5 keer zo hoog als de achtergrondconcentratie en 1,5 keer hoger dan de concentratie op 10 meter. Op 10 meter afstand was de concentratie ultrafijnstof meer dan 1,5 keer zo hoog als op de achtergrond. Deze toenames zijn hoger dan nabij een drukke binnenstedelijke weg, of door emissies van dieseltreinen of binnenscheepvaart.
- De resultaten geven een indicatie dat een niet optimaal beladen aggregaat meer uitstoot dan een volledig beladen aggregaat. Dat is ook eerder te vinden in de literatuur. Dat betekent ook

dat in *Scenario I* in feite een 'best case' scenario is onderzocht: een klein aggregaat met een voor de uitstoot gunstige belading.

- Het is mogelijk dat het benzineaggregaat schoner is dan het dieselaggregaat, vooral als hij volledig beladen is, met verhoogde ultrafijnstofconcentratie maar met minder bijdrage aan de roetconcentratie. Gezien de grote verschillen (b.v. maat, vermogen) in de typen van de onderzochte aggregaten (2000 W draagbaar benzineaggregaat t.o.v. 20 kVA dieselaggregaat) en sterke verschillen in de weersomstandigheden op de meetdagen, durven we echter niet met zekerheid te concluderen dat een benzineaggregaat een betere keuze is dan een dieselaggregaat.
- Aggregaten die hetzelfde vermogen kunnen leveren met minder uitstoot hebben de voorkeur (Tabel E, bijlage). Er zijn ook aggregaten (te huur) met roetfilters (of roetfilters om te installeren op het aggregaten). Die stoten beduidend minder roet en ultrafijnstof uit. Mogelijk nadeel hiervan kan zijn verhoogde NO_x emissies door zelfreiniging van het filter.
- Als het echt niet mogelijk is om schonere aggregaten te gebruiken, let dan op afstand en windrichting bij opzetten van dieselaggregaten, om blootstelling zo veel mogelijk te beperken. Let er ook op dat de belading zo groot mogelijk is door een aggregaat te gebruiken dat niet veel groter is dan nodig voor de voorziening van de stroombehoefte.
- GGD-en kunnen binnen de gemeentes aanraden om geen dieselaggregaten te gebruiken, vooral op locaties waar mensen zich langdurig ophouden (b.v. scholen, kinderdagverblijven, woningen, etc.). Te overwegen is om dit ook als eis te stellen bij de vergunningverlening door de GHOR.

Referenties

- Boogaard, H., Montagne, D.R., Brandenburg, A.P., Meliefste, K., Hoek, G., 2010. Comparison of short-term exposure to particle number, PM10 and soot concentrations on three (sub) urban locations. *Sci. Total Environ.* 408, 4403–4411.
- Groot, B.J.A., Vaal, M.A., Groenewold, A.W., Zuurbier, M., 2013. Bijdrage binnenscheepvaart en dieseltreinen aan roet en ultrafijn stof. *Tijdschr. Lucht* 1, 16–20.
- HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution, 2010. *Traffic-Related Air Pollution: A Critical Review of the Literature on Emissions, Exposure, and Health Effects (Special Report No. 17)*. Health Effects Institute, Boston, MA.
- Holgate, S.T., Sandström, T., Frew, A.J., Stenfors, N., Nördenhall, C., Salvi, S., Blomberg, A., Helleday, R., Söderberg, M., 2003. Health effects of acute exposure to air pollution. Part I: Healthy and asthmatic subjects exposed to diesel exhaust (HEI Research Report 112). Health Effects Institute, Boston, MA.
- Janssen, N.A.H., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., ten Brink, H., Keuken, M., Atkinson, R.W., Anderson, H.R., Brunekreef, B., Cassee, F.R., 2011. Black Carbon as an Additional Indicator of the Adverse Health Effects of Airborne Particles Compared with PM10 and PM2.5. *Environ. Health Perspect.* 119, 1691–1699.
- Klomp maker, J.O., Montagne, D.R., Meliefste, K., Hoek, G., Brunekreef, B., 2015. Spatial variation of ultrafine particles and black carbon in two cities: Results from a short-term measurement campaign. *Sci. Total Environ.* 508, 266–275.

- McDonald, J.D., Campen, M.J., Harrod, K.S., Seagrave, J., Seilkop, S.K., Mauderly, J.L., 2011. Engine-Operating Load Influences Diesel Exhaust Composition and Cardiopulmonary and Immune Responses. *Environ. Health Perspect.* 119, 1136–1141.
- Smits, M., Vanpachtenbeke, F., Horemans, B., De Wael, K., Hauchecorne, B., Van Langenhove, H., Demeestere, K., Lenaerts, S., 2012. Effect of Operating and Sampling Conditions on the Exhaust Gas Composition of Small-Scale Power Generators. *PLoS ONE* 7.
- Zuurbier, M., Groenewold, A.W., Groot, B.J.A., Vaal, M.A., 2013. Bijdrage binnenscheepvaart en dieseltreinen aan roet en ultrafijn stof. *Academische Werkplaats Milieu en Gezondheid.*

Dankwoord

Dit onderzoek is onderdeel van de Academische Werkplaats Milieu en Gezondheid (AW-MMK). Het is financieel mogelijk gemaakt door AW-MMK, Gemeente Amsterdam (Programmabureau Luchtkwaliteit) en GGD Amsterdam.

Met dank aan Jules Kerckhoffs, Daan Buijtenhuijs en Max Leenders voor de hulp bij de dataverzameling.

Disseminatie

De resultaten van dit onderzoek worden actief gepromoot. Dit informatieblad zal beschikbaar worden gemaakt via o.a. de website van AW-MMK, het Platform Gezondheid en Milieu van het RIVM, GGD Kennisnet, LinkedIn groep Milieu en Gezondheid, de website en intranet van GGD Amsterdam. Ook wordt een artikel geschreven voor het Tijdschrift Lucht. Daarnaast worden de resultaten aan collega's van GGD-en mondeling gepresenteerd op minstens één landelijke bijeenkomst, zoals vakgroep Milieu en Gezondheid, en/of Kenniskring Lucht RIVM.

Bijlagen

Tabel A Gemeten concentraties roet en ultrafijnstof in *Scenario I*.

Afstand	Roet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Ultrafijnstof (deeltjes/ cm^3)					
	N	Gem	Med	SD	P99	Max	N	Gem	Med	SD	P99	Max
3 meter	337	6,25	5,39	4,31	25,09	31,31	300	35637	35207	10864	60071	64102
10 meter	355	2,96	2,46	2,18	13,15	18,48	300	23419	21775	8076	42245	47299
Achtergrond	355	0,89	0,84	0,40	1,79	1,87	300	14492	12020	6732	33143	45826

N, aantal observaties; Gem, gemiddelde; Med, mediaan; SD, standaard deviatie; P99, 99^e percentiel; Max, maximum.

Tabel B Gemeten concentraties roet en ultrafijnstof in *Scenario II* – totaal, bij kwart belading en bij halve belading.

Afstand	Roet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Ultrafijnstof (deeltjes/ cm^3)					
	N*	Gem	Med	SD	P99	Max	N*	Gem	Med	SD	P99	Max
3 meter	332	0,91	1,78	0,57	7,19	17,43	323	17295	13671	15796	79270	144892
Kwart	134	1,20	2,04	0,87	7,19	17,43	132	21816	16660	15486	79270	144892
Halve	150	0,56	1,22	0,46	5,10	7,91	147	13778	9741	12648	68204	78697
10 meter	333	0,77	0,90	0,61	3,79	5,66	322	14292	12377	9852	51317	83944
Kwart	135	0,96	1,05	0,65	4,75	5,66	131	18682	14400	9515	55617	57130
Halve	150	0,56	0,70	0,50	2,89	3,41	147	11119	8779	8942	38447	83944
Achtergrond	333	0,43	0,41	0,44	1,59	1,85	298	12755	11702	9978	66709	90096
Kwart	135	0,43	0,45	0,46	1,53	1,59	107	16649	15410	7434	35632	85729
Halve	150	0,42	0,42	0,39	1,82	1,85	147	11958	7491	11665	66709	90096

N, aantal observaties; Gem, gemiddelde; Med, mediaan; SD, standaard deviatie; P99, 99^e percentiel; Max, maximum.

* Er waren ook observaties met variabele belading.

Tabel C Gemeten concentraties roet en ultrafijnstof in *Scenario III* – totaal, bij halve belading en bij volledige belading.

Afstand	Roet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						Ultrafijnstof (deeltjes/ cm^3)					
	N	Gem	Med	SD	P99	Max	N	Gem	Med	SD	P99	Max
3 meter	295	1,04	0,97	2,25	7,30	21,91	290	11128	8685	29364	81539	485237
Halve	180	1,29	0,99	2,29	16,61	21,91	176	14861	9638	37223	90846	485237
Volledige	115	0,65	0,85	2,15	5,02	5,03	114	5364	5249	2059	12197	12894
10 meter	294	0,98	1,00	0,88	3,18	5,08	291	9074	8885	9167	22654	153253
Halve	179	1,10	1,06	0,65	3,29	5,08	177	11143	9751	11155	39480	153253
Volledige	115	0,79	0,95	1,13	2,88	3,18	114	5860	5838	2179	12526	13923
Achtergrond	295	0,98	1,08	1,13	3,43	4,03	291	8839	9189	3352	19109	34394
Halve	180	1,13	1,12	0,70	3,10	3,17	177	10633	9962	2552	19816	34394
Volledige	115	0,74	0,97	1,57	3,92	4,03	114	6054	6034	2415	13315	14619

N, aantal observaties; Gem, gemiddelde; Med, mediaan; SD, standaard deviatie; P99, 99^e percentiel; Max, maximum.

Tabel D Samenvatting van meteorologische gegevens in hetzelfde seizoen (maart-april, 10-16 uur) in de jaren tussen 2005 en 2015 gemeten op het KNMI station De Bilt.

	Gemiddelde	Min	Max
Windrichting (graden)	197	0	360
Windsnelheid (m/s)	4	0	12
Hoogste windstoot (m/s)	8	1	26
Temperatuur (C)	11,3	-6,0	28,4
Luchtdruk (hPa)	1016	977	1042
Relatief vochtigheid (%)	63	19	100

N, aantal observaties; Gem, gemiddelde; Med, mediaan; SD, standaard deviatie; P99, 99^e percentiel; Max, maximum.

Tabel E Overzicht van aggregaten te huur die volgens opgave van de fabrikant minder uitstoten. Let op: de lijst is mogelijk niet volledig en is alleen bedoeld ter indicatie van mogelijke andere typen aggregaten.

Type aggregaat	Link
Waterstof	b.v.: http://www.bredenoord.com/nl/Brandstofcelaggregaat_Purity meer informatie: http://duurzaammb.nl/tips/tip/727/stroomaggregaat-op-waterstof/
Hybride	b.v.: http://www.bredenoord.com/nl/esaver2 http://www.degroeneaggregaat.nl http://www.bredenoord.com/nl/off-grid-solar-based-power-plant http://www.dewitaggregaten.nl/news-posts/nieuwsbericht1/ meer informatie: http://duurzaammb.nl/tips/tip/1026/hybride-stroomaggregaat/
Andere alternatieve brandstoffen	b.v.: http://www.aggreko.nl/nieuws-evenementen/lage-emissie-generatoren/ http://www.aggreko.nl/producten-en-services/tijdelijke-stroomvoorziening/aggregaat-huren/ghp2-aggregaten/ http://www.aggreko.nl/producten-en-services/tijdelijke-stroomvoorziening/aggregaat-huren/gas-generatoren/ http://www.koppertpower.nl/duurzaamheid/biobrandstof http://www.bredenoord.com/nl/GTL_synthetische_diesel
Meerdere kleinere i.p.v. enkele grote	b.v.: http://www.bredenoord.com/nl/powermanagement meer informatie: http://duurzaammb.nl/tips/tip/1015/meerdere-kleinere-ipv-enkele-grote-aggregaten/

Figuur A Opzet bron en meetapparatuur (op een ladder geplaatst) bij *Scenario II*.



Figuur B Opzet bron en meetapparatuur (op een ladder geplaatst) bij *Scenario III*.

