

Gezondheidseffecten stedelijk verkeer in nieuw perspectief

Na 40 jaar aanpak van de luchtvervuiling en geluidsoverlast lijkt de lucht in stedelijke gebieden veel schoner en zijn de ergste toppen van lawaai weggenomen. Toch ondervinden nog steeds heel veel mensen nadelen voor hun gezondheid. Hoe komt dat? Is er niets verbeterd? Zijn de emissies schadelijker voor de gezondheid geworden? Wat zijn de nieuwste inzichten over gezondheidseffecten, technologie en verkeers- en vervoersbeleid?

Inleiding

De gezondheidseffecten van het verkeer in steden door luchtvervuiling en geluid zijn nog steeds groot. De inzichten hierover en over de potentie van technische oplossingen zijn volop in beweging. In dit artikel wordt aan de hand van de belangrijkste gezondheidseffecten geschetst wat er tot nu toe is bereikt en wat de beleidsopgave voor de nabije toekomst is. Duidelijk wordt dat er meer nodig is dan schonere en stillere voertuigen.

Sinds de 70-er jaren is de verzuringsdruk gehalveerd. En waslijnen en raamkozijnen zijn niet meer gitzwart. De grote industriële emissiebronnen zijn bijna allemaal gesaneerd en vracht-, bestel- en personenauto's zijn een stuk schoner geworden. Toch zucht de natuur nog steeds onder te veel stikstofdepositie en neemt het aantal astmatici en long-, hart- en vaatziekten bepaald niet af. De slechte luchtkwaliteit en hoge geluidbelasting, vooral in steden, blijken daarbij belangrijke factoren.

Luchtkwaliteit in de steden

Voor de luchtvervuilende bulkstoffen, zoals zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO_x)

en fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}), waarvan de emissie gemeten wordt in tonnen, is de emissie sterk gedaald. Voor SO₂, ooit de grote verzuurder, is de daling 90 à 95 % in vergelijking met het topjaar, voor NO_x, ammoniak en fijnstof is dit circa 50%. Bijkomend effect is dat er ook veel minder secundair aerosol wordt gevormd. In Nederland is verzuring nu vooral een stikstofprobleem voor duinen, rietland en hoogvenen. Voor de gezondheid van de mens laat de luchtkwaliteit vooral nog te wensen over wat betreft fijnstof, stikstofdioxide (NO₂) en ozon. Nederland blijft voor vuile lucht een hotspot in Europa, vooral voor NO₂, en fijnstof. Hoofdoorzaak is de enorme hoeveelheid activiteiten samengebond op een klein grondgebied. Met name de omvang van het wegverkeer (personen- en vrachtvervoer), scheepvaart, industrie en veehouderij in Noordwest Europa bepalen de hoge achtergrondconcentraties in de lucht.

Tegelijk is het karakter van de emissies veranderd, met name in de steden. De voertuig-emissies hebben nu een veel groter aandeel zeer kleine deeltjes en NO₂ door de moderne motortechnologie, driewegkatalysator, roetfilters, e.d. en zijn daardoor per gram schadelijker geworden, zoals hierna duidelijk zal worden. Daarbij is de omvang van het verkeer en vervoer sterk toegenomen.

Geluid in steden

De allerlawaaigste plekken in de woonomgeving zijn verbeterd door de massale toepassing van geluidschermen en verlaging van de geluidemissie van vrachtwagens en bussen. Per saldo is het effect hiervan echter meer dan gecompenseerd door de enorme groei van het wegverkeer en de luchtvaart. De deken van geluid over Nederland is toegenomen en het aantal te zwaar geluid belaste woningen is niet gedaald. Het motorgeluid is alleen nog bij kleine snelheden van belang, het bandenla-

Jan Fransen

Jan Fransen (J.Fransen@natuurenmilieu.nl) is werkzaam bij de Stichting Natuur en Milieu en lid van de redactie-adviesraad van Tijdschrift Milieu.

waai is bij wegen boven de 40 km/u bepalend, mede door de veel bredere banden dan vroeger.

Gezondheidseffecten vuile lucht in de woonomgeving

Hoewel de officiële normen voor luchtkwaliteit maar hier en daar worden overschreden, is de stedelijke lucht op grote schaal ongezond. In woongebieden met veel luchtvervuiling door verkeer in de Randstad blijkt veel meer astma en COPD voor te komen dan in weinig belaste gebieden in de Randstad. Dit geldt ook, maar in iets minder extreme mate, voor hart- en vaatziekten, specifiek ischemische hartziekten en voor beroertes. Zelfs type 2 diabetes is in dit verband in de aandacht¹.

Bij het huidige niveau van luchtverontreiniging leeft een Nederlander gemiddeld 1 jaar korter, met het verkeer als hoofdoorzaak. Kinderen ontwikkelen ook vaker astma en COPD (longziekten) als ze in de buurt van snelwegen wonen of op school gaan². Een recente studie concludeert zelfs dat de helft van de astmagevallen bij kinderen in Californië door luchtvervuiling van het verkeer komt. Zelfs dementie wordt in verband gebracht met vervuilde lucht in steden. De kans op overlijden door een hartziekte is voor bewoners op 50 m afstand van een snelweg het dubbele van op grote afstand (IRAS, GGD).

Vuile lucht kost onze maatschappij veel geld. Met name fijnstof heeft forse medische kosten tot gevolg, maar leidt ook tot een slechtere kwaliteit van leven (ziektelast), verzuim van werk of school en zelfs vroegtijdige sterfte. In vergelijking tot andere milieufactoren is in Nederland de totale schade



door fijnstof veruit het grootst, gevolgd door lawaai: de jaarlijkse milieugerelateerde ziektebelasting door fijnstof is naar schatting 135.500 DALYs, van lawaai 12.600 DALYs waarvan 90% door wegverkeerslawaai³. Oftewel een geschatte jaarlijkse gezondheidsschade in Nederland van zo'n 13,5 mld euro door fijnstof. Het tienvoudige van de circa 1,3 mld euro door lawaai en de circa 1,2 mld euro gezondheidsschade door meeroken.

De gezondheidsschade door ozon en NO₂ is van belang, maar beloopt een fractie van deze bedragen. Ook luchtwegverwijders voor astmatici zijn daardoor overigens minder effectief⁴.

Na jarenlang intensief onderzoek zijn de gezondheidseffecten van roet en ultrafijnstof een beetje uiteengerfeld. Fijnstof bestaat uit een palet aan verschillende soorten deeltjes. De ene fijnstoffractie is per microgram veel schadelijker dan de andere. De grootte van de deeltjes en de chemische samenstelling is bepalend. Al lang is duidelijk dat dieselroet, slechts een fractie van de massa PM₁₀ in de lucht, erg schadelijk is. Een hoeveelheid van 0,1 µg (microgram) roet is net zo schadelijk als een microgram PM_{2,5}⁵. Onduidelijk is echter nog of het erom gaat dat het roet is of dat de roetdeeltjes zo klein zijn. Hieronder wordt op de verschillende fracties van fijnstof ingegaan.

Fijnstof

Fijnstof (PM₁₀, PM_{2,5}) is vanaf de eerste µg/m³ lucht gevaarlijk voor de gezondheid: Hoe meer, des te schadelijker. Er is strikt genomen geen veilig niveau. De Europese normen voor PM₁₀ en PM_{2,5} zouden volgens de Wereldgezondheidsorganisatie WHO gehalveerd moeten worden. Voor PM_{2,5} komt dit overeen met 10 µg / m³ lucht⁶. En dan nog moet het streven zijn daar zover mogelijk onder te komen en te blijven. Vorig jaar kwamen op flinke schaal overschrijdingen

van de EU-norm voor. PM₁₀ varieert maar een beetje met de verkeersintensiteit en met de afstand tot een drukke weg, PM_{2,5} nog minder⁷.

Roet

Roet (black carbon BC; elementair koolstof EC) is een bijna gewichtloze fractie van PM₁₀ en PM_{2,5} en ontstaat vooral bij verbranding in motoren. De hoeveelheid roet in de woonomgeving blijkt goed te correleren met gezondheidseffecten als long-, hart- en vaatziekten⁸. Roet correleert ook sterk met de nabijheid en omvang van het verkeer. Op korte afstand van een drukke (snel)weg blijkt er twee à drie maal zoveel roet in de lucht te zitten als op grote afstand⁹. Roet is daarmee ook een goede indicator voor de effectiviteit van verkeersmaatregelen. Dit hoeft echter niet te gelden voor de effectiviteit van maatregelen aan de auto zelf. Als het aantal grammen roet afneemt (minder grote roetdeeltjes in de lucht) maar het aantal ultrafijne deeltjes niet, is er gezondheidskundig mogelijk niet veel bereikt.

Ultrafijnstof

Ultrafijnstof (UFP), in hoofdzaak bestaande uit roetdeeltjes uit verbrandingsmotoren en slijpsel van de remmen, is naar huidig inzicht de gezondheidsgevaarlijkste fractie van fijnstof in de stad. Deze fractie legt echter in het PM_{2,5}-gewicht geen enkel gewicht in de schaal (zie kader). Gezondheidskundig is het aantal deeltjes in de lucht (number of particles PN) belangrijker dan het gewicht ervan¹¹. Ultrafines zijn van een ander kaliber, omdat ze anders in het lichaam reageren (het zijn nanodeeltjes) en door de celwand van de longblaasjes heen gaan (zie kader). Daardoor kunnen ze in de bloedbaan komen en in de bloedvaten ontstekingen veroorzaken. Ultrafijnstof leidt dan ook niet alleen tot astma en COPD, maar ook tot hart- en vaatziekten⁴.

Het aantal ultrafijne deeltjes varieert sterk met de verkeersintensiteit en het type verbrandingsmotor van voertuig of schip. Uit indicatieve metingen blijkt dat het aantal deeltjes in de lucht langs drukke stadswegen en op 50 m van een snelweg een factor 3 hoger is dan in een park. Dicht langs een snelweg is dit een factor 4 à 10. Uitschieters tot een factor 10 à 30 hoger dan de achtergrondconcentra-



ties komen voor bij optrekend verkeer, een passerende vrachtwagen, scooter of oude bestelbus en bij een graafmachine¹⁰. Voor het aantal deeltjes (PN) is de achtergrondconcentratie dus veel minder bepalend dan voor PM₁₀. De variatie met de afstand is ook groter dan voor roet.

Het aantal ultrafijne deeltjes PN is wellicht de beste indicator voor de invloed van het verkeer op de luchtkwaliteit. Immers, ook gezondheidskundig zou het aantal deeltjes PN een betere maat kunnen zijn dan het aantal microgrammen roet¹¹. Het EFCA-forum werpt nadrukkelijk de vraag op of het aantal deeltjes per cm³ voor de gezondheidseffecten niet een betere indicator is dan de massa roet, maar constateert dat de gegevensbasis voorlopig te beperkt is om nu al op dit punt een besluit te nemen. Een extra probleem is dat het aantal deeltjes moeilijker te meten is dan roet. Doelmatige roetfilters moeten dus niet alleen de massa roet maar ook de hoeveelheid deeltjes flink reduceren.

Gezondheidseffecten van geluid in de woonomgeving

Geluid leidt niet alleen massaal tot hinder en ernstige hinder, maar ook tot fysieke gezondheidseffecten. Dit laatste is al het geval bij veel voorkomende geluidsniveaus: 60 dB wegverkeerslawaai voor verhoogde kans op hartaanval en 55 dB wegverkeerslawaai voor hogere bloeddruk en hart/vaatziekten. Verhoogd medicijngebruik is al bij nog lagere niveaus aan de orde. De stress door verkeerslawaai speelt daarbij een hoofdrol. In Nederland veroorzaakt de milieustressor lawaai, na fijnstof, de grootste sterfte en ziektebelasting: 12.600 DALYs³.

Bronnen van stedelijke luchtvervuiling en hun aard

De belangrijkste bron van luchtvervuiling in de steden is het verkeer en vervoer. Drukke scheepsroutes voegen daar in een

aantal stadsdelen nog een flinke dot aan toe. De emissies van het verkeer zijn als gezegd sterk van karakter veranderd sinds de 70-er jaren. Het aandeel NO₂ is sterk verhoogd in de uitlaatgassen en de emissie van ultrakleine deeltjes lijkt veel minder afgenomen dan de fijnstofemissie.

Benzine en dieselmotoren

Gezondheidsdeskundigen hebben veel zorg over de effectiviteit van de nieuwe technologie voor de kwaliteit van de lucht, met name vanwege de grote aantallen ultrafijne deeltjes die nu worden gemeten. Die aantallen zouden kunnen toenemen. Zuiniger benzinemotoren lijken bijvoorbeeld steeds meer op dieselmotoren. Onderzoek in de VS en Canada laat zien dat benzineauto's 2 – 9 maal zoveel roet uitstoten als tot nog toe werd gedacht. Het gaat vooral om roetdeeltjes kleiner dan 80 nanometer (nm), waarvan de massa steil – en dus de aantallen uiterst steil – oplopen met afnemende deeltjesgrootte¹². Moderne dieselauto's (euro V) hebben een roetfilter en speciale motorafstelling om aan de emissienormen voor fijnstof en NO_x te kunnen voldoen. Dit leidt echter niet automatisch tot een lage ultrafijnstofuitstoot¹³. Daarom geldt sinds kort voor 'euro VI'-auto's naast een PM₁₀ norm ook een norm voor het maximum aantal deeltjes (soepel in vergelijking tot de feitelijke PN-emissie van een moderne afvalverbrander¹⁴). De verwachting is gerechtvaardigd dat die norm de UFP-emissie niet gaat beperken, maar vooral bedoeld is om te voorkomen dat nieuwe roetreducerende technieken voor auto's leiden tot een groter aantal roetdeeltjes.

Roetfilters

Roetfilters zijn een succes. De roetemissie van moderne dieselmotoren is aanzienlijk verminderd. Wat betreft het aantal deeltjes bestaat over de effectiviteit echter onzekerheid. Daar moet een gerichte aanpak voor komen. Roetfilters verzamelen roet en moeten dit verbranden om te voorkomen dat het filter verstopt raakt en de motor niet meer goed loopt. Bij dat afbranden blijken grote aantallen nanodeeltjes gevormd te kunnen worden¹⁵. De emissie van deze deeltjes kan bij oudere filters op gaan lopen. Bovendien moeten de roetfilters na verloop van tijd gereinigd worden door een speciaal

bedrijf. Op dit punt zijn er veel ongewisse factoren zoals de emissie van roetfilters inclusief hun regeneratiefase, de veroudering van motor en filter, het vollopen van de filters na enige jaren en de kwaliteit van de dan noodzakelijke reiniging van het filter. Bijkomend probleem is dat een deel van de filters simpelweg uit de auto's wordt gesloopt, zo blijkt uit de advertenties van verschillende bedrijven. De schaal waarop dit gebeurt is nog niet bekend¹⁵. Naast gedegen onderzoek hiernaar moet er snel een strenge norm voor PN komen die ook goed wordt gecontroleerd, bijvoorbeeld bij de APK.

Aardgas

Hoewel bij verbranding van aardgas in principe weinig roetdeeltjes worden gevormd, kunnen ook aardgasbussen ultrafijnstof emitteren, bijvoorbeeld bij een oudere motor die smeerolie gebruikt¹⁶. Ook voor aardgasbussen is een PN-norm en controle op een blijvend lage emissie dus van belang.

Elektrisch vervoer

Elektrisch vervoer heeft geen motoremissies in de stad – elektriciteitscentrales staan

ver weg en zijn veel schoner. Bovendien is de hoeveelheid ultrafijn remstof van voertuigen die de remenergie terugwinnen kleiner. Voor de luchtkwaliteit is een lightrailnetwerk in de stedelijke regio's, aangevuld met elektrische en hybride bussen dus effectief.

Hybride bussen die hun remenergie gebruiken om bij een halte weer op te trekken lijken nu commercieel beschikbaar, plug-in hybride bussen met voldoende accucapaciteit voor een volledig elektrisch gemaakte rit in de stad komen eraan. Ook een goed fietsnetwerk, inclusief snelfietspaden past hierbij. De combinatie lightrailnetwerk met aantakend bus- en fietsnetwerk kan veel autoverkeer vervangen.

Elektrische (bestel)auto's en voertuigen voor de distributie van goederen in de stad kunnen op termijn ook een bijdrage gaan geven aan een schonere lucht in de stad. De eisen voor OV-, taxi- en stedelijke distributieconcessies luisteren in dit verband nauw. Vanuit gezondheidsoverwegingen zouden die niet simpel moeten mikken op EURO VI en het halen van de luchtkwaliteitsnormen voor

Ultrafijnstof versus longcel

Ultrafijne stofdeeltjes (UFP) zijn onvoorstelbaar licht en klein. Bij metingen van PM₁₀ of PM_{2,5} spelen ze geen enkele rol; zelfs met een miljoen UFP's per cm³ naast wat grotere deeltjes leggen ze geen enkel gewicht in de schaal. Ze zijn op gewichtsbasis onmeetbaar. Alleen met een deeltjesteller worden die UFP-deeltjes zichtbaar. Een medicijn-aerosol van 2 µm groot kan miljoenen moleculen afleveren in het bloedvatje achter de

type 1 cel. De type 1 cel heeft een grootte van zo'n 250 µm en een dikte van 0,1-0,2 µm. De moleculen uit de aerosoldruppel gaan door de dunne cel heen, niet door de druppel als geheel.

Een deeltje van PM₁₀, mocht deze ooit in een longcel komen, kan nooit door de cel heen in de bloedbaan komen. Deeltjes van PM_{0,1} (bovengrens UFP) kunnen wel door de type 1 cel heen en in het bloedvatje erachter komen (zie de tabel).

Grof stof (verwaaiend erts-/kolenopslag) 0,1 mm	100 µm	2 µg (microgram)	2000 ng (nanogram)
PM ₁₀ -deeltje (bovengrens fijnstof) 0,01 mm	10 µm	0,002 µg	2 ng
PM _{0,1} -deeltje (bovengrens UFP)	0,1 µm	0,000000002 µg	2. 10 ⁻⁶ ng
PM _{0,02} -deeltje (deeltjes regenererend roetfilter)	0,02 µm	0,0000000002 µg	2. 10 ⁻⁸ ng

Het gewicht van een groot PM₁₀-deeltje is gelijk aan een miljoen grote UFP-deeltjes en gelijk aan honderd miljoen UFP-deeltjes met een grootte van 0,02 µm. Omdat het aantal deeltjes in hoge mate bepaalt hoe ongezond de lucht is, zegt het PM₁₀- of PM_{2,5}-gewicht maar weinig over de schadelijkheid van de lucht. Het gaat, afgezien van de chemische samenstelling, om het aantal deeltjes per volume-eenheid lucht: het particle number PN.

NO₂ en PM₁₀, maar vooral een lage emissie van ultrafijnstof moeten belonen. Dat heeft het meeste betekenis voor gezondere lucht in de stad.

Bronnen van geluid in de stad

Wegverkeerslawaaï van drukke stadsroutes en langslappende snelwegen is veruit de grootschaligste bron van geluidsoverlast en gezondheidseffecten door geluid. De geluidemissie van auto's is de afgelopen decennia in de praktijk niet gedaald¹⁷. Alleen zwaardere voertuigen zijn minder lawaaiig geworden op wegen tot 80 km/uur. De nieuwe, meer integrale EU-normstelling voor auto's in combinatie met de normen voor bandenlawaaï, kan op termijn tot enige daling van geluidsemisatie te gaan leiden.

Elektrische voertuigen zullen maar weinig effect hebben op geluid omdat het bandenlawaaï domineert. Alleen beneden 40 km per uur (auto's) en bij het wegrijden en tot 50 km per uur (bussen) maakt elektrisch veel verschil voor de geluidproductie. Elektrische bussen zijn voor drukke busroutes dus niet alleen voor fijnstof en NO₂, maar ook voor lawaaï een uitkomst. Voor het overige zal elektrisch vervoer op zijn best over een decennium een merkbare geluidsverbetering gaan geven, en dan nog alleen op wegen met een lage gemiddelde snelheid.

Conclusies

De gezondheidseffecten van het verkeer in de steden als gevolg van luchtvervuiling en lawaaï zijn nog steeds groot. Deze variëren van longziekten waaronder extra astma bij kinderen, tot extra hart- en vaatziekten en beroertes. Dit kost de maatschappij veel geld. De aard van het luchtvervuilingsprobleem van het verkeer is de afgelopen decennia sterk gewijzigd. Voor de gezondheid van bewoners van stedelijke gebieden is nu de hoeveelheid ultrafijnstof – waaronder de rotemissie van motoren – het grootste probleem. Effectieve emissie- en luchtkwaliteitsnormen, met name voor ultrafijnstof, en goede handhaving ervan, zijn cruciaal voor de technologische ontwikkeling en de toepassing ervan. Ook de aard van het geluidprobleem is veranderd. De rijsnelheid is bepalender geworden voor het lawaaï. Het motorgeluid is nu veelal ondergeschikt aan het rolgeluid (bandenlawaaï). Technische ontwikkelingen aan

voertuig en wegdek kunnen het geluidniveau langzamerhand – zij het beperkt – gaan verminderen, mits het verkeer niet verder groeit.

Overstap op elektrisch vervoer kan vooral voor de luchtkwaliteit een stevige bijdrage leveren. Elektrisch OV heeft bovendien de potentie om het vervoer per auto minder massaal te maken in de stedelijke regio's en daarmee de luchtvervuiling en geluidemissie. Concessies voor openbaar vervoer met een weloverwogen pakket milieuaspecten kunnen het verschil maken.

Beleidsaanbevelingen

Vermindering van de verkeersstromen in en langs de stedelijke gebieden, evenals snelheidsverlaging op die wegen, is erg effectief om de luchtvervuiling en het verkeerslawaaï te beperken. Voor de geluidsbelasting zijn dit het komende decennium zelfs de enige maatregelen die echt hout snijden.

Wat betreft het OV, taxi's en goederendistributie is het belangrijk dat het programma van eisen voor concessies en de overheidsbijdrage in de kosten van met name OV een lage ultrafijnstofemissie en minder lawaaï belonen. Met een goede aanbesteding van de concessie kan het beste en innovatiefste uit de markt worden gehaald, ook wat betreft omgevingskwaliteit.

Aandrag op de Europese Commissie is van belang om forse stappen te zetten met de PN-normstelling voor ultrafijnstof, inclusief normen voor de gehele levensduur van een voertuig. Uitbreiding van de controle hierop (APK) kan voorkomen dat auto's op latere leeftijd alsnog veel ultrafijnstof gaan uitstoten. Wat betreft geluid is zowel voor de geluideisen van auto's als van banden een extra stap in de normstelling nodig.

Het verkeersbeleid van rijk, provincies en gemeenten zal gericht moeten zijn op een groter aandeel van de relatief schone en minder lawaaiige – en niet geheel toevallig ook klimaatvriendelijker – vervoersmodi OV en fiets en in het bijzonder op meer elektrisch vervoer. Een effectieve beleidsrichting is een goed lightrailnetwerk in de stedelijke regio's, aangevuld met elektrische en hybride bussen en een goed fietsnet. De noodzaak hiertoe is extra groot door de beoogde verdichting van de steden.

Referenties

1. *Traffic related air pollution: spatial variation, health effects and mitigation measures*, Marieke Dijkema, GGD, proefschrift Universiteit Utrecht, 20 dec 2011
2. *Brief GGD aan Minister I&M*, 22 dec 2011, als reactie op brief van 28 nov 2011 aan de Tweede Kamer over de maximum snelheidsverhoging.
3. *European Perspectives on Environmental Burden of Disease*, Hänninen, Knol, EBoDE WG, 2011
4. *PPT presentatie Renee van Snippenburg, Diaconessenhuis Utrecht, Adviesgroep schone lucht aan de wethouders Utrecht 23 mei 2012, 'Luchtvervuiling en gezondheidsrisico's: de medische achtergrond'*
5. *Nicole Jansen (RIVM), Gerard Hoek (IRAS), Roetconferentie DCMR, I&M e.a.*, 5 okt 2011
6. *HEAL 3/2011: 25 big Eur cities: reduction to 10 µg PM_{2.5} means 22 months extra life expectancy and 31,5 miljard euro gezondheidswinst*
7. *Invloed van de afstand tot een drukke verkeersweg op de lokale luchtkwaliteit*, Fischer e.a., 2007
8. *Health effects of black carbon*, Task Force on Health Aspects of Air Pollution van LRTAP, WHO, 2012.
9. *PPT 18 april '12 Sev van den Elshout, Menno Keuken TNO/DCMR: Roet/EC gaat gelijk op met verkeersintensiteit: variatie over het etmaal: Roet (BC, EC) factor 10; PM₁₀: 2,5; PM_{2.5}: factor 1,5*
10. *Verslag meetactie Run4Air, N&M en de Milieucentra G4 met CPC-meter*, juli 2011.
11. *European Federation of Clean Air and Environmental Protection Associations: EFCA Newsletter*, pag. 1,5,6, maart 2012
12. *Are emissions of Black Carbon from gasoline vehicles underestimated? Near on-road measurements*, John Leggio, e.a., *Env. Science and Technology*, 9 febr 2012 (p.23)
13. *Metingen Andreas Mayer aan gesloten roetfilter: 99,9 % reductie, maar oplopend aantal deeltjes gaande van van 25 naar 18 nm. Hoe zou het bij UFP van 1 – 10 nm zijn?*
14. *Chemical, dimensional and morphological ultrafine particle characterization from a waste-to-energy plant*, *Waste management 2011*; meting vanaf 3 nm; bij 10 – 20 nm veel slechtere verwijdering van deeltjes dan bij 100 nm; het aantal deeltjes in de schoorsteen was 2000/cm³.
15. *PPT Harry Dwyer cs. (California Air Resource Board, Research Division, Sacramento) about emissions of a DPF soot filter on cars, focussed on Particle Number: in de regeneratiefase bij 20 – 40 nm grotere aantallen deeltjes dan zonder roetfilter (dan vooral bij 100 nm)*. PPT presentatie 2012 Roetfilter reinigingsbedrijf: *Gereinigde roetfilters soms nog vol roet en as, danwel gebarsten*.
16. *Emissiegegevens PON (Brief aan I&M 28/2/12: Fijnstofemissie bij CNG 1/3 van B en 1/20 van D)*.
17. *Blokland en De Graaf, M+P, Measures on road traffic noise in the EU, 2012, fig 8*.