

ULTRAFIJNSTOF TER GELEGENHEID VAN HET NIEUWE JAAR?

DE JAARWISSELING GAAT ELK JAAR GEPAARD MET EEN FLINKE PIEK FIJN STOF, HOE KLEIN ZIJN DIE DEELTJES EIGENLIJK?

Elk jaar met oud en nieuw wordt er door het afsteken van vuurwerk een flinke hoeveelheid fijn stof geproduceerd die tot een piek van de PM_{10} -concentraties leidt in het eerste uur van het nieuwe jaar. Sinds een paar jaar neemt de aandacht voor ultrafijnstof toe en wordt dit mondjasmaat gemeten in Nederland. Dat biedt de mogelijkheid om te kijken of vuurwerk nu vooral verantwoordelijk is voor het 'gewone' fijn stof of dat daarbij ook zeer kleine deeltjes ontstaan. Ultrafijnstof (ook wel ultrafine particles – UFP) wordt in Nederland vooral in projecten gemeten en niet als onderdeel van reguliere meetnetten. Zo worden door GGD Amsterdam, ECN en het RIVM momenteel metingen rond Schiphol gedaan naar de invloed van vliegvelden op ultrafijnstof. ECN meet ook onder andere bij het Airas project in Eindhoven, provincie Limburg heeft ultrafijnstof gemeten als onderdeel van het PMLab project en TNO doet af en toe onderzoek naar UFP. Sinds vorig jaar wordt door DCMR in het Rijnmondgebied in korte campagnes ultrafijnstof gemeten (bij het vliegveld, de industrie, het verkeer en in de stadsachtergrond).

SEF VAN DEN ELSHOUT, PETER VAN BREUGEL, DANIELLE VAN DINTHER EN ARJAN HENSEN*

Een paar begrippen: fijn stof wordt aangeduid met de maximale aerodynamische diameter van de afgevangen deeltjes zoals PM_{10} voor alle deeltjes kleiner dan 10 micrometer en $PM_{2.5}$ voor deeltjes tot 2,5 micrometer. PM_{10} komt een enkele keer voor en $PM_{0.1}$ (dit zijn deeltjes tot 100 nanometer) werd voorheen nog wel een enkele keer gemeten op vergelijkbare wijze als PM_{10} en $PM_{2.5}$

maar dat was betrekkelijk zeldzaam. De maat waarin fijn stof gemeten wordt, is de massaconcentratie, microgram/ m^3 . Deeltjes kleiner dan 100 nanometer hebben echter amper massa en dat is dan ook niet de beste manier om deze kleine deeltjes te karakteriseren. $PM_{0.1}$ staat tegenwoordig bekend als ultrafijnstof en wordt gemeten door de hoeveelheid te tellen: aantal deeltjes/ cm^3 lucht.

Bij fijn stof wordt er naast de massa soms ook naar de aard van het fijn stof gekeken: bijvoorbeeld het zeezout- of

het roetdeel van fijn stof. Voor ultrafijnstof geldt iets vergelijkbaars: naast het totale aantal deeltjes wordt soms naar de deeltjesgrootteverdeling gekeken. De grootteverdeling kan een aanwijzing voor de bronsoort zijn. Bijvoorbeeld een grootteverdeling met een uitschieter rond 20 nanometer (zeer kleine deeltjes) lijkt typisch voor processen met vrij veel zwavel (onder andere kerosine bij vliegtuigen en sommige industriële processen). Verkeer bijvoorbeeld heeft een grootteverdeling met een maximum rond de 70 nano-

meter (Bezemer e.a., 2015). De deeltjesgrootteverdeling is niet met elk meetinstrument te bepalen dus die laatste soort informatie is schaars.

Bij ons bekende gegevens over vuurwerk bij de afgelopen jaarwisseling zijn beschikbaar voor Eindhoven en Rotterdam. Meetapparatuur van RIVM, GGD Amsterdam en ECN is betrokken bij het al genoemde Schiphol-onderzoek en staat momenteel niet op plaatsen waar veel vuurwerk wordt afgestoken. Uit Eindhoven zijn metingen van deeltjes aantallen beschikbaar, en voor Rotterdam aantallen en grootteverdeling.

Vuurwerk

De hoogte van de vuurwerkpiek in het eerste uur van het nieuwe jaar verschilt van plaats tot plaats en van jaar tot jaar. Meetpunten met normaalgesproken hoge concentraties bijvoorbeeld langs een snelweg of belast door de industrie zullen vaak geen of kleine verhogingen laten zien, terwijl achtergrondstations in woonwijken, met normaal gesproken lage concentraties er juist dan kunnen uitspringen. De varia-

tie door het weer heeft vooral te maken met de windsnelheid en eventuele neerslag of mist. Afgelopen jaarwisseling waaide het flink en de piekhoogte in PM_{10} was dan ook veel lager dan bij de jaarwisseling 2016/17. Ook in de dagen voor en na oud en nieuw waren de concentraties afgelopen jaarwisseling wat lager dan het jaar ervoor (zie figuur 1).

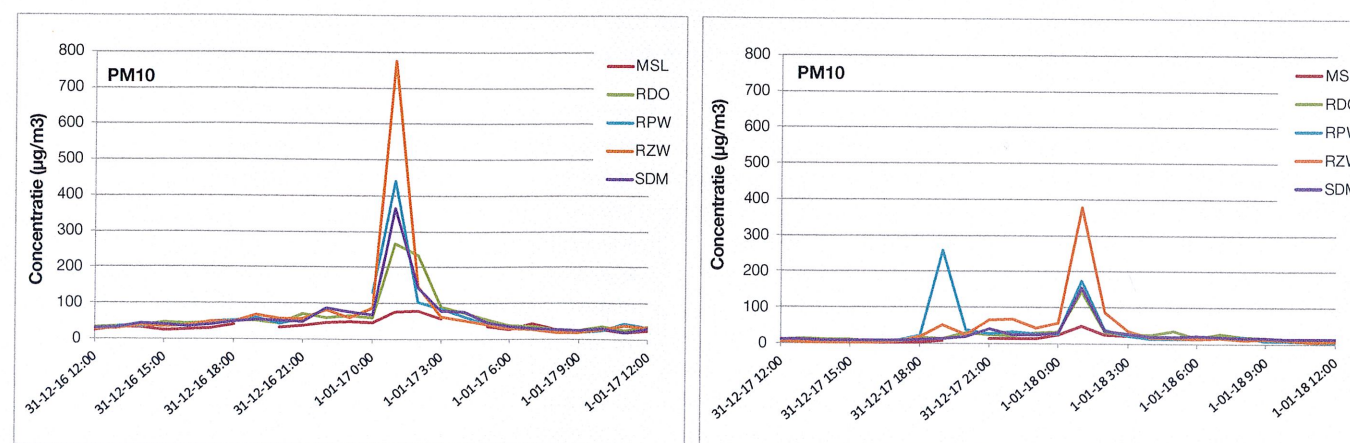
De vuurwerkpieken zijn erg lokaal en kortdurend. Zodra het vuurwerk stopt en iedereen weer naar binnen is, dalen de concentraties snel. Het eerste is te zien aan de variatie tussen de meetpunten. Uit figuur 1 blijkt dat de piekhoogte sterk uiteenloopt op de verschillende meetpunten. Normaal gesproken wordt bij smog door fijn stof op alle meetpunten ongeveer dezelfde verhoogde concentratie gemeten (de bekende 'fijn stof deken' over het land), maar nu zijn er lokaal flinke verschillen. De reden is waarschijnlijk dat stof van knalvuurwerk maar zeer beperkt in de lucht mengt (een paar meter hoog) en daardoor amper ruimtelijk verspreid wordt. De stofdeeltjes van vuurpijlen komen wel hoog maar vormen conden-

satiekernen voor de luchtvochtigheid waardoor druppeltjes ontstaan. De omvang van het deeltje/druppeltje neemt dan toe en daarmee ook de snelheid waarmee ze weer op de grond terecht komen.

De concentratiepieken kennen een typisch verloop. Meestal is er gedurende de dag al sprake van enige fijnstofverhoging en vroeg in de avond is er soms een piekje. Vermoedelijk zijn dit ouders die met kinderen die vroeg naar bed moeten alvast wat vuurwerk afsteken. In 2017/2018 is dat goed te zien op de twee meetpunten in Rotterdam-Zuid (RPW en RZW). De vooravondpiek op RPW is zelfs hoger dan de middernachtpiek, iets dat we dit jaar voor het eerst zien. Vlak voor oud en nieuw komt het vuurwerk mondjasmaat op gang en circa 10 minuten na middernacht (na de toost en de zoenen) brandt het goed los. In het tweede uur van het jaar zijn de concentraties al weer flink gedaald.

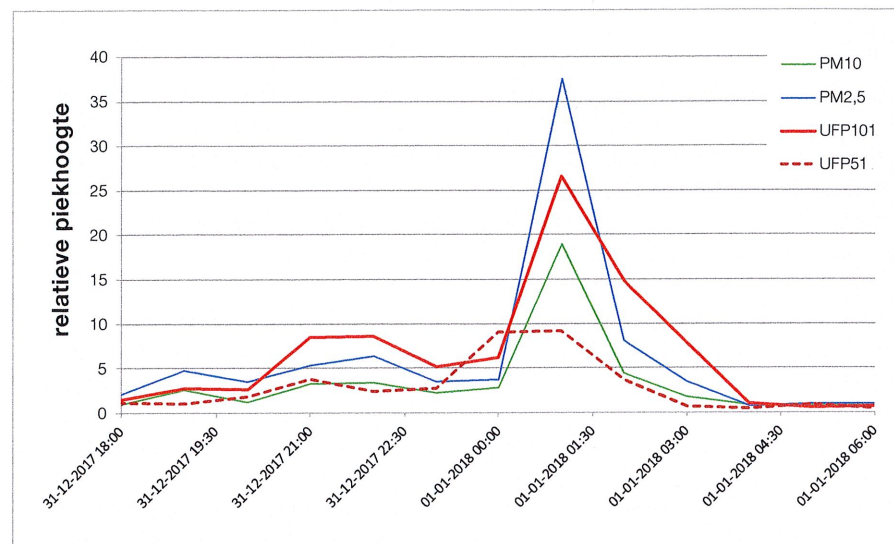
Pieken voor verschillende deeltjesgrootte

Om te zien hoe de verschillende groottefracties zich gedragen zijn grafieken



Figuur 1: Uurgemiddelde PM_{10} pieken in 2016/17 (links) en 2017/18 (rechts) op vijf meetpunten in de Rijnmond.

1. NB: in de figuur heeft PM_{10} en $PM_{2.5}$ de gebruikelijke definitie. UFP101 en UFP51 echter zijn de deeltjes met een diameter rondom 101 en 51 nanometer en dus niet van 101 en 51 nanometer en kleiner.



Figuur 2: Relatieve hoogte van de vuurwerkpiek in Rotterdam (meetpunt RZW) voor PM_{10} , $PM_{2,5}$, UFP101 en UFP51 gemiddeld over één uur.¹

met een relatieve vuurwerkpiek gemaakt. Dat wil zeggen dat de gemiddelde concentratie op het meetpunt in de periode voor de jaarwisseling (29-12, 0.00 uur t/m 31-12, 8.00 uur) als referentie op 1 is gezet en alle concentraties vervolgens zijn uitgerekend tegen die referentie. Dat stelt ons in staat de verandering van zowel PM_{10} , $PM_{2,5}$ als het ultrafijnstof (deeltjes aantallen) in één figuur weer te geven, zie figuur 2.

De sterkste relatieve verhoging treedt op voor $PM_{2,5}$ en voor ultrafijnstof met een diameter rond 101 nanometer.

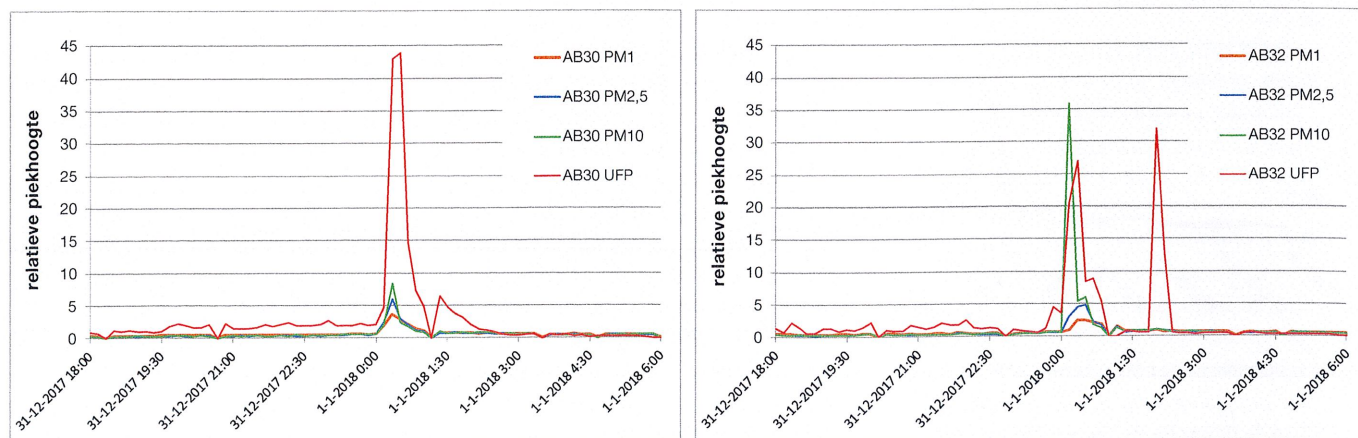
PM_{10} en de andere ultrafijnfracties (zie bijvoorbeeld de fractie met een diameter rond 51 nanometer) vertonen een minder sterke relatieve verhoging. De uurgemiddelde concentratie stijgt op deze locatie kortstondig met een factor 20 tot 35 voor PM_{10} respectievelijk $PM_{2,5}$.

De twee meetpunten in Eindhoven die tijdens de jaarwisseling data hadden laten zien dat de variatie per locatie best groot is. Op locatie 30 is er amper verhoging van de traditionele fijnstofcomponenten maar een zeer duidelijke ultrafijnstof piek (ruim 40x de waarde

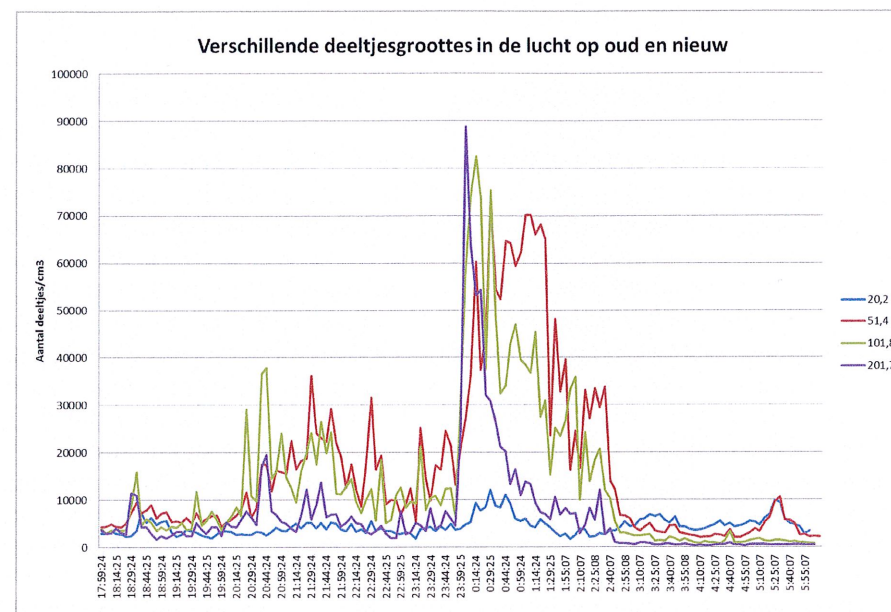
van het gemiddelde van de dagen ervoor). Op locatie 32 is de PM_{10} -piek nog net iets hoger dan die van ultrafijnstof: een verhoging met een factor 35, vergelijkbaar met Rotterdam. $PM_{2,5}$ laat hier echter weer amper een verhoging zien, dit kan deels door 'overspraak' komen. De sensor wordt als het ware vervuild met het grovere fijn stof, waardoor het fijne fijn stof deels gemist wordt. De resultaten uit Rotterdam en Eindhoven zijn niet rechtstreeks vergelijkbaar omdat Rotterdam uurgemiddelden betreft en Eindhoven 10-minuten gemiddelden. Wel valt te concluderen dat welke fractie nu verhoogd is kennelijk sterk van de locatie afhangt.

Deeltjesgrootte verschuiving binnen de ultrafijnstof fractie

Kijkend naar de fractie ultrafijnstof valt te zien dat vooral de grotere deeltjes binnen UFP toenemen tijdens het afsteken van het vuurwerk. Figuur 4 laat voor vier grootteklassen het verloop rond oud en nieuw zien als kwartier gemiddelde waarde. De kleinste fractie (deeltjes met een diameter rond de 20 nm) toont weliswaar een kleine verhoging net na middernacht, maar dat is op deze locatie binnen de normale variatie. De fractie van gemiddeld circa 200 nm (dit is strikt genomen geen ultra-



Figuur 3: Relatieve piekhoogte voor drie PM fracties en ultrafijnstof op twee locaties in Eindhoven gemiddeld over 10 minuten.



Figuur 4: Verloop van de aantallen deeltjes in vier grootteklassen (rond 20, 51, 102 en 202 nanometer) rond oud en nieuw in Rotterdam (meetpunt RZW, kwartiergemiddelde waarden).

fijnstof) piekt exact in het eerste kwartier van het nieuwe jaar en valt daarna ook weer snel terug. De twee tussenliggende fracties (rond 50 en 100 nanometer) laten zien dat men tot een uur of twee met vuurwerk bezig is, maar om drie uur zit het er wel op en zijn de concentraties terug op hun oude niveaus.

De PM_{10} -concentraties op deze locatie laten eenzelfde verloop zien, met wat verhoging in de vooravond en een piek in de eerste drie uren van het nieuwe jaar (zie figuur 1, rechterhelft). In dit jaar en op dit meetpunt kunnen we concluderen dat ultrafijnstof en fijn stof zich rond de jaarwisseling vrijwel hetzelfde gedraagt en dat vuurwerk, voor zover er sprake is van ultrafijnstof, vooral grotere deeltjes (50-200 nanometer) veroorzaakt op deze locatie.

Absolute aantallen

Het vergelijken van absolute aantallen deeltjes is niet eenvoudig (Bezemer e.a., 2015). Metingen variëren sterk en de uitkomst wordt beïnvloed door de metingstijd van de metingen. De totale hoeveelheid deeltjes tijdens het vuurwerk loopt kort op (afhankelijk van de locatie) tot circa 200.000 deeltjes/cm³. Dit is vergelijkbaar met de concentraties die in de omgeving van de startbaan van een druk vliegveld worden gemeten. Bezemer en anderen (2015) presenteren ter referentie een concentratieoverzicht gebaseerd op verschillende bronnen, zie tabel 1.

Locatie en bron	Typische deeltjes-aantallen (#/cm³)
Schone berglucht	<1.000
Schoon kantoor	2.000-4.000
Stedelijke buitenlucht achtergrond NL	8.000 (R'dam)
	9.500/22.000 (A'dam)
Stedelijke buitenlucht achtergrond Europa	7.300-11.000
Stedelijke buitenlucht verkeer, NL	30.000-40.000
Stedelijke buitenlucht verkeer, Europa	31.500 ± 16.000
Vervuilde buitenlucht (smog)	>50.000
Vliegveld, bij gate	40.000
Vliegveld, einde startbaan (LAX)	150.000
Industriële werkplaats (gieterij, smelterij)	200.000-2.700.000

Tabel 1: Indicatieve deeltjes aantallen in verschillende situaties.

Samenvattend

Het afsteken van vuurwerk leidt kortstondig tot hoge concentraties van zowel fijn stof als ultrafijnstof. Het ultrafijnstof veroorzaakt door vuurwerk betreft duidelijk grotere deeltjes dan zoals die gevonden worden bij bijvoorbeeld vliegvelden. In tegendeel in het eerste uur van het nieuwe jaar is de diameter van het ultrafijnstof gemiddeld groter dan in de dagen ervoor en erna. Hoe sterk de verschillende fracties (UFP, $PM_{2,5}$, PM_{10}) verhoogd zijn, verschilt absoluut en relatief. Vuurwerk is een zeer heterogeen verschijnsel, doordat de bronnen zeer lokaal zijn en de uitgestoten (ultra) fijnstofdeeltjes zich klaarblijkelijk niet over grotere afstand verspreiden. De jaarwisseling 2017/18 was uitzonderlijk (harde wind, waardoor relatief lage fijnstofpieken) en over de deeltjesgrootte is slechts informatie op een locatie.

Vergelijk alle PM_{10} en $PM_{2,5}$ pieken op www.luchtmeetnet.nl. (Selecteer een van de stofcomponenten en kijk terug naar week 1)

Literatuur

Bezemer en anderen (2015). *Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol*. RIVM Rapport 2015-0110. www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2015-0110.pdf

* Sef van den Elshout en Peter van Breugel zijn beiden werkzaam bij DCMR. Danielle van Dinther en Arjan Hensen zijn beiden werkzaam bij ECN.