



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

Voorstel voor het meten en modelleren van **ultrafijnstof** in Nederland

Colofon

© RIVM 2023

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.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2023-0098

E.P. Weijers (auteur), RIVM
J. Wesseling (auteur), (RIVM)
T. van der Duim (auteur), (RIVM)
G. Stefess (auteur), (RIVM)
G. Velders (auteur), (RIVM)
D. Wever (auteur), (RIVM)

Contact:
Ernie Weijers
Metingen Milieukwaliteit
ernie.weijers@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat in het kader van het project 'Voorbereiden meten en modelleren UFP'.

Dit is een uitgave van:
**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Voorstel voor het meten en modelleren van ultrafijnstof in Nederland

In 2021 concludeerde de Gezondheidsraad dat er nog weinig bekend is over de risico's voor de gezondheid van de kleinste deeltjes fijnstof (ultrafijnstof, UFP) in de buitenlucht. De raad adviseerde ultrafijnstof structureel te gaan meten en modelleren. Daarmee kan worden bepaald hoeveel ultrafijnstof de Nederlandse bevolking via de lucht inademt.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft het RIVM gevraagd of het mogelijk is om metingen van ultrafijnstof in het landelijk meetnet voor luchtkwaliteit op te nemen. Het RIVM denkt dat het kan en gaat meetstations inrichten om er ervaring mee op te doen. Het is nog wel te vroeg om een groot meetnet met veel meetpunten op te zetten. Dat komt omdat er nog veel kennis over UFP ontbreekt.

Ultrafijnstof is een mengsel van extreem kleine deeltjes (kleiner dan 0,1 micrometer) die verschillen in grootte, van verschillende bronnen komen en verschillende stoffen bevat. Daardoor kan de concentratie niet zoals fijnstof worden gemeten, maar moeten de deeltjes worden geteld. Het RIVM stelt voor om op (minimaal) zeven vaste stations de aantallen ultrafijne deeltjes te meten en op enkele stations ook de grootte van de deeltjes. Kennis over de grootte van de deeltjes is nodig om meer inzicht in gezondheidseffecten te krijgen. Daar is nog weinig over bekend.

Om een beeld van de blootstelling aan UFP in heel Nederland te krijgen, wordt deze naast de metingen berekend met rekenmodellen. Het is namelijk te duur om veel meetpunten te plaatsen. Met genoeg meetgegevens is het mogelijk om in Nederland verschillen in de concentraties te berekenen en op kaarten aan te geven.

Voor dit onderzoek heeft het RIVM gesproken met experts in België en Groot-Brittannië en deskundigen van de regionale meetnetten over instrumenten en toekomstige plannen. Daarnaast is gezondheidsdeskundigen in Nederland gevraagd wat hun wensen zijn over het meten en modelleren van UFP. Op verzoek van het RIVM heeft TNO beschreven wat nodig is om kenmerken van de uitstoot op te nemen in de Emissieregistratie.

Kernwoorden: ultrafijnstof, UFP, meten, modelleren, emissies, blootstelling

Synopsis

Proposal for the modelling and measurement of ultrafine particles in the Netherlands

In 2021, the Health Council of the Netherlands found that much remains unknown about the health risks associated with airborne ultrafine particles (UFP). The Health Council recommended the systematic measuring and modelling of ultrafine particles. This will make it possible to determine the amount of airborne ultrafine particles inhaled by the Dutch population.

The Ministry of Infrastructure and Water Management has asked RIVM whether it is possible to have these ultrafine particle measurements conducted by the National Air Quality Monitoring Network. RIVM believes this can be done and will set up monitoring stations in order to gain the necessary experience. Because of the scant knowledge regarding UFP, it is too early to set up a large-scale monitoring network with a high number of monitoring stations.

The term 'ultrafine particles' refers to a mixture of extremely small particles (smaller than 0.1 micrometre) that vary in size, origin and composition. This makes it impossible to measure their concentration in the air, as can be done for fine particles. Instead, the *number of ultrafine particles* must be measured. RIVM proposes to set up (at least) seven fixed monitoring stations to measure the number of ultrafine particles and a few mobile stations to measure their size. Knowledge about the size of the particles is required to gain further insight into their health effects. That knowledge is currently largely absent. The mobile monitoring stations will also detect the provenance of UFP emissions.

To get a clear picture of the exposure of the Dutch population to UFP, the measurements will be supplemented with calculations derived from computer modelling. The reason for using this approach is that it is too expensive to set up a large number of monitoring stations. Given sufficient measurement data, it will be possible to estimate the number of ultrafine particles over the Netherlands and indicate these on a map.

To prepare for this investigation, RIVM held discussions with experts in Belgium and the UK as well as specialists at the regional monitoring networks about instruments and future plans. In addition, it asked Dutch health experts about their wishes regarding the measuring and modelling of UFP. At the request of RIVM, TNO outlined the requirements for including characteristics of UFP emissions in the Netherlands Pollutant Release and Transfer Register.

Keywords: ultrafine particles, UFP, measuring, modelling, emissions, exposure

Inhoudsopgave

1	Managementsamenvatting — 9
1.1	Achtergrondinformatie — 9
1.2	Raadpleging gezondheidsexperts — 10
1.3	Stand van zaken in België en Groot-Brittannië — 10
1.4	Voorstel meet- en modelstrategie — 11
1.4.1	Meetstrategie — 11
1.4.2	Modelstrategie — 11
1.5	Emissies ultrafijnstof — 12
1.6	Meetapparatuur UFP — 12
2	Inventarisaties — 13
2.1	Inleiding — 13
2.2	Meetapparatuur — 14
2.3	Raadpleging gezondheidsexperts — 16
2.4	Raadpleging buitenlandse meetnetten — 17
2.5	Slotopmerkingen — 18
3	Meet- en modelstrategie UFP — 20
3.1	Inleiding — 20
3.2	Doel van de meetstrategie ultrafijnstof — 20
3.3	Opties meetstrategie ultrafijnstof — 27
3.4	Schets modelstrategie ultrafijnstof — 29
3.5	Aandachtspunten — 33
	Referenties — 35

1 Managementsamenvatting

In 2021 publiceerde de Gezondheidsraad het rapport [Risico's van ultrafijnstof in de buitenlucht](#). De raad concludeerde daarin dat de kennis over de blootstelling aan ultrafijnstof nog steeds beperkt is ten opzichte van die over fijnstof en NO₂. Ultrafijnstof, verder aangeduid met de internationaal gangbare afkorting UFP (*ultrafine particles*) is een mengsel van zeer kleine deeltjes (kleiner dan 0,1 micrometer) van verschillende herkomst, samenstelling en grootte.

De Gezondheidsraad adviseerde om UFP structureel te gaan meten in het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML), om de blootstelling aan UFP van de Nederlandse bevolking te monitoren en om de landelijke UFP-emissies te registreren. Daarvoor zijn structurele en valide metingen en modelberekeningen nodig, net zoals die er zijn voor fijnstof, NO₂ en diverse andere componenten van luchtverontreiniging.

Het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft daarop het RIVM gevraagd een inventariserende studie uit te voeren om vast te stellen wat er nodig is om het meten van UFP in het LML op te nemen en welke opties er zijn voor een te ontwikkelen meet- en modelstrategie. De doelstelling is om meer inzicht te verkrijgen in de verdeling en de aard van ultrafijnstof in Nederland om zo de (blootstelling aan) concentraties ultrafijnstof in Nederland structureel in kaart te brengen.

Als onderbouwing is vooraf geschikte en beschikbare meetapparatuur geïnventariseerd en heeft er afstemming plaatsgevonden met meetdeskundigen van de Nederlandse regionale meetnetten. Verder is overleg geweest met gezondheidsexperts in Nederland en is er contact gelegd met de verantwoordelijken van de meetnetten in België en Groot-Brittannië. De resultaten hiervan zijn in meer detail terug te vinden in hoofdstuk 2; de voorgestelde strategie is uitgewerkt in hoofdstuk 3.

1.1 Achtergrondinformatie

Op dit moment zijn landen volgens de EU-regelgeving niet verplicht om UFP te meten. Er is echter een nieuwe richtlijn (*Air Quality Directive*) in ontwikkeling waarin UFP wordt meegenomen. UFP wordt daarbij aangeduid als "*one of the unregulated air pollutants of emerging concern*". Het voorstel in de concept richtlijn is om UFP te gaan meten op enkele zogenaamde *supersites* - waar mogelijk in afstemming met EMEP (het Europese Monitoring en Evaluatie Programma) en ACTRIS (Aerosol, Clouds and Trace Gases Research Infrastructure; een pan-Europese onderzoeksinfrastructuur). Het besluit over de nieuwe richtlijn wordt in 2024 verwacht.

Het meten van UFP kan niet met dezelfde methode als waarmee fijnstof (PM₁₀ en PM_{2.5}) wordt gemeten. De hoeveelheid fijnstof in de lucht wordt gemeten aan de hand van het gewicht (microgram per m³) ook wel massaconcentratie geheten. UFP-deeltjes wegen vrijwel niets en daarom is deze meetmethode voor UFP niet geschikt. Voor UFP wordt

daarom het aantal deeltjes per cm^3 geteld. Een methode daarvoor is de condensatiedeeltjesteller of *condensation particle counter* (CPC). Een andere methode is te kijken naar zowel de aantallen als de grootteverdeling van de deeltjes met de *scanning mobility particle sizer* (SMPS).

1.2 Raadpleging gezondheidsexperts

Gezondheidsexperts van het IRAS (Institute for Risk Assessment Sciences, Universiteit Utrecht), de GGD Amsterdam en het RIVM zijn gevraagd naar hun visie op een op te zetten UFP-monitoringprogramma en hun wensen daarvoor. Enkele relevante bevindingen zijn:

- Voor het vaststellen van humane blootstelling is het nodig UFP-meetgegevens te hebben van de plekken waar mensen verblijven. Metingen in de buurt van specifieke UFP-bronnen hebben geen prioriteit.
- Voor het vaststellen van een relatie tussen de blootstelling aan UFP en gerelateerde gezondheidseffecten is een landelijk dekkende UFP-kaart op jaarbasis nodig. Een ruimtelijke resolutie van minder dan $1 \times 1 \text{ km}^2$ is hierbij een voorwaarde, omdat het gedrag van UFP-deeltjes al over korte afstanden sterk kan variëren. De mogelijke correlatie met gezondheidseffecten veroorzaakt door andere componenten, zoals fijnstof en NO_x , verdient hierbij speciale aandacht.
- Instrumentatie moet minimaal deeltjes met een afmeting van 0,01 micrometer (oftewel 10 nanometer (nm)) kunnen registreren.
- Inzicht in de langjarige trends in UFP-niveaus is van belang voor gezondheidsonderzoek.
- De monitoring van UFP zou (in de beginfase) gericht moeten zijn op het uitvoeren van kwalitatief goede metingen van de aantallen deeltjes als basis voor het opmaken van een jaargemiddelde kaart.

Deze bevindingen zijn meegenomen in de meet- en modelstrategie.

1.3 Stand van zaken in België en Groot-Brittannië

- In Vlaanderen zijn recent nieuwe meetinstrumenten voor UFP geïnstalleerd in Antwerpen (verkeersstation) en bij luchthaven Zaventem (naar aanleiding van politieke vragen). Er zijn, volgens de geïnterviewden, geen plannen voor een uitbreiding op de korte termijn.
- In Wallonië is er een achtergrondstation in de Ardennen en zijn er drie mobiele opstellingen. In alle gevallen gaat het om meetdata voor wetenschappelijk onderzoek. Uitbreiding naar andere locaties is, voor zover bekend, niet voorzien.
- In Groot-Brittannië wordt sinds 2008 UFP gemeten, in en nabij Londen op drie stations. Een advies uit 2018 om op meer stations verspreid over het land UFP te gaan meten heeft nog geen concreet vervolg gehad.

De voornaamste constatering is dat in België en Groot-Brittannië op één of enkele stations (langdurig) UFP wordt gemeten en dat het vooralsnog hierbij zal blijven. Waarschijnlijk verandert dit met de komst van de genoemde nieuwe EU-luchtkwaliteitsrichtlijn waarin ook het meten van UFP is opgenomen.

1.4 Voorstel meet- en modelstrategie

De hoofddoelstelling van de meet- en modelstrategie is om tot meer inzicht te komen in de verdeling en aard van ultrafijnstof in Nederland. De verzamelde kennis moet bijdragen aan het structureel in kaart brengen van de (blootstelling aan) concentraties ultrafijnstof in Nederland met metingen en modellen.

1.4.1 Meetstrategie

Voor het opzetten van een meetstrategie zijn drie opties uitgewerkt: vaste metingen, mobiele metingen en een combinatie van beide. Zowel vaste als mobiele metingen hebben voor- en nadelen. Omdat er nog te weinig bekend is over UFP in Nederland, bijvoorbeeld de niveaus en de samenstelling, is de uitrol van een volledig vast meetnet in de huidige fase niet verstandig. Mobiele metingen maken het mogelijk te zoeken naar die locaties die de meeste wetenschappelijke waarde opleveren, zoals waar de samenhang tussen UFP en andere stoffen wat minder duidelijk is. Kennis van dit soort locaties is juist belangrijk voor gezondheidsonderzoek. Echter, het alleen uitvoeren van mobiele metingen, zonder verankering in strategisch gekozen vaste meetpunten, zal de bouw van een coherent nationaal beeld van UFP in Nederland en het onderzoek van trends niet direct mogelijk maken.

Alles overwegende zijn er goede argumenten om voor een combinatie van vaste en mobiele metingen te kiezen. Over geheel Nederland worden in het voorstel meetpunten voor UFP gecombineerd met bestaande metingen van het LML. Daarnaast worden er drie mobiele meetopstellingen ingericht waarmee bij relevante UFP-bronnen metingen worden gedaan om de emissies en emissiekenmerken in kaart te brengen. Hiervoor zijn verschillende combinaties van apparatuur nodig: er zijn nu 10 CPC's en 4 SMPS'en voorzien. Bestaande metingen aan UFP door de meetnetpartners van het RIVM en mogelijk ook anderen zullen in de strategie worden meegenomen.

1.4.2 Modelstrategie

Om tot een landelijk dekkend beeld van UFP te komen - noodzakelijk voor het bepalen van de blootstelling van de Nederlandse bevolking - is naast de metingen ook een inventarisatie van de UFP-emissies en modelberekeningen nodig. Verschillende modelleringstechnieken zijn - bij voldoende meet- en emissiegegevens - goed bruikbaar om kaarten van concentratieverdelingen te maken.

Er zijn ook methoden die de verspreiding van UFP in het milieu kunnen berekenen vanuit de kennis van emissies van stoffen en de dynamiek van ultrafijnstofdeeltjes. Voor de modelstrategie zal breed gebruik worden gemaakt van de beschikbare kennis binnen Nederland en Europa.

1.5 Emissies ultrafijnstof

Als onderdeel van deze studie heeft TNO een notitie gesteld die de belangrijkste aspecten beschrijft om tot een inventarisatie van UFP-emissies in de Emissieregistratie te komen. Deze notitie (bijlage 3) beschrijft zowel het wetenschappelijk perspectief als ook de procesmatige en praktische aspecten. Daarnaast worden aanbevelingen gedaan hoe UFP-emissies te monitoren in de komende jaren, resulterend in een plan van aanpak. De notitie is te vinden op: <https://publications.tno.nl/publication/34640553/3jcCEh/kuenen-2023-ultrafijne.pdf>

1.6 Meetapparatuur UFP

Voor het integreren van UFP-metingen in de (langdurige) monitoring van het LML spelen er verschillende aspecten een rol. Dit zijn onder meer:

- **Aanbod:**
Het aantal fabrikanten/leveranciers van apparatuur is beperkt (vergeleken met die voor andere componenten). Er is sprake van lange tot zeer lange levertijden (tot wel 12 maanden).
- **Techniek:**
Er bestaat apparatuur waarmee voldaan wordt aan wensen vanuit het gezondheidsonderzoek. De nauwkeurigheid van deze instrumenten is voldoende voor de voorziene opzet.
- **Inpassing in LML:**
Geclaimd wordt dat bepaalde instrumenten geschikt zijn voor langdurige monitoring. De bedrijfszekerheid hiervan op de lange termijn moet echter nog vastgesteld worden.
- **Standaardisatie:**
Er is (nog) geen (bindende) norm voor het meten van UFP in de buitenlucht. De verwachting is wel dat deze er binnen enkele jaren zal zijn. De aan te schaffen apparatuur zal zoveel mogelijk in overeenstemming zijn met deze norm.

Rekening houdend met deze (en andere overwegingen) zal in 2023 begonnen worden met de aanschaf van apparatuur en plaatsing op meetstations. In 2023 zullen ook enkele mobiele meetopstellingen worden gerealiseerd voor inzet in specifieke meetcampagnes.

2 Inventarisaties

2.1 Inleiding

In het rapport van de Gezondheidsraad (2021) is geadviseerd metingen aan ultrafijnstof (UFP) op te nemen in de landelijke monitoring vanuit het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit (LML). Op verzoek van het ministerie is door RIVM daartoe een inventariserende studie uitgevoerd om de mogelijkheden betreffende metingen en modellering van UFP in kaart te brengen en opties voor een meet- en modelstrategie aan te geven. De doelstelling is om meer inzicht te verkrijgen in de verdeling en de aard van ultrafijnstof in Nederland om zo de (blootstelling aan) concentraties ultrafijnstof in Nederland structureel in kaart te brengen.

Voor UFP is nog geen grenswaarde opgenomen in de huidige EU-regelgeving. Tot nu toe zijn metingen van ultrafijnstof (UFP) dan ook niet standaard onderdeel van de landelijke monitoring vanuit het LML. In de actuele concepttekst voor de nieuwe 'Air Quality Directive' (2022) wordt UFP wel als one of the unregulated air pollutants of emerging concern aangeduid. Er wordt voorgesteld om UFP te gaan meten op zgn. 'supersites' en de aanpak af te stemmen met monitoring programma's als EMEP en ACTRIS ("where appropriate"). Een besluit hierover wordt in 2024 verwacht.

PM₁₀ en PM_{2.5} worden doorgaans gemeten als de massaconcentratie van zwevende stofdeeltjes na verwijdering van de deeltjes die groter zijn dan de gewenste diameter (10 of 2.5 µm). De massa van UFP-deeltjes is echter te klein om accuraat te kunnen meten met de gebruikelijke PM-meettechnieken. De aanwezigheid van UFP in de lucht wordt daarom vastgesteld als aantallen deeltjes (per eenheid van volume, vaak cm³).

Om deeltjesaantallen te meten bestaan zgn. 'tellers' (verder aangeduid als CPC's). Ook wordt UFP gekarakteriseerd door de grootte van de deeltjes; het meten hiervan gebeurt met een zgn. 'sizer' (hier kortweg SMPS). Dit systeem is aanzienlijk ingewikkelder dan een CPC. De meettechnieken worden in meer detail beschreven in hoofdstuk 2.

Naast het opzetten van een meet- en modelstrategie is onderzocht welke UFP-meetapparatuur het meest geschikt zou zijn voor inzet in het landelijke meetnet. Daarnaast is de mening gevraagd van gezondheidsdeskundigen in Nederland over verwachtingen en wensen m.b.t. het meten en modelleren van UFP ten behoeve van het vaststellen van de blootstelling. Betrokkenen van de reguliere meetnetten in België en Groot-Brittannië zijn benaderd over de stand van zaken en ervaringen met het meten van UFP. In deze studie is afstemming geweest met meetdeskundigen van de regionale meetnetten in Nederland.

In een aparte studie heeft TNO een eerste schatting van UFP-emissies uit de belangrijkste bronnen gemaakt (op basis van werk uit een eerdere Europese studie). Ook is onderzocht wat nodig is om gegevens

over UFP-emissies op te nemen in de Emissieregistratie. Onderdeel daarvan zijn aandachtspunten zoals het opsplitsen van UFP emissiedata in verschillende grootteklassen, het sectorniveau, activiteitsdata, e.d.. Dit dient als basis voor het vervolgwerk in 2023 (en daarna).

2.2 Meetapparatuur

Bij de keuze van instrumenten voor het langdurig monitoren van UFP in een meetnet als het LML zijn verschillende overwegingen van belang. Deze komen hieronder aan bod.

Aanbod en kosten

Vooraf is de 'markt' verkend naar aanbod en beschikbaarheid van apparatuur. Dit liet zien dat het aantal fabrikanten c.q. leveranciers van UFP-apparatuur betrekkelijk beperkt is in vergelijking met die voor meetapparatuur voor andere luchtkwaliteitscomponenten. Slechts enkele fabrikanten leveren apparatuur waarvan aannemelijk is dat deze de technische kwaliteit en bedrijfszekerheid bezit voor langdurige monitoring en wetenschappelijk onderzoek. De apparatuur is de afgelopen tientallen jaren verder verbeterd en deze ontwikkeling zet nog door. Er zijn enkele instrumenten geïdentificeerd die op voorhand geschikt lijken voor de opname in een meetnet. Een eerste-orde kostenschatting voor aanschaf (prijsniveau eind 2022) komt neer op ca. 40-50k€ (CPC) en ca. 80-100k€ (SMPS) waarbij bedacht moet worden dat er in de huidige markt sprake is van lange tot zeer lange levertijden (6 maanden of meer).

Technische eigenschappen

Hoewel het technische meetprincipe in de basis niet verandert, variëren wel de specificaties (technische eigenschappen) per type instrument. Een van de belangrijkste eigenschappen van UFP-meetapparatuur is de grootte van het kleinste deeltje dat nog gemeten kan worden. Een lagere ondergrens wordt doorgaans geassocieerd met hogere eisen aan het instrument. Vanwege het belang voor gezondheidsonderzoek is deze vraag voorgelegd aan enkele gezondheidsexperts (hoofdstuk 2).

De nauwkeurigheid waarmee gemeten wordt, ligt doorgaans binnen $\pm 20\%$ voor de meeste instrumenten; dit wordt voor de voorziene opzet voldoende geacht.

Een andere eigenschap van belang is het maximum aantal deeltjes dat een systeem kan meten. De meetnauwkeurigheid neemt namelijk af als er zich veel UFP-deeltjes in de lucht bevinden, bijvoorbeeld als gemeten wordt dichtbij een snelweg. Fabrikanten passen bij hoge concentraties dan softwarematig een correctie toe. Dit leidt tot meetverschillen tussen instrumenten in termen van aantallen deeltjes.

Inpassing in de LML infrastructuur

De apparatuur zal worden geplaatst op bestaande (LML-)stations (regionaal, stadsachtergrond, straat). Van belang is dat de nieuwe apparatuur voldoende bedrijfszekerheid kent voor het uitvoeren van een langdurige monitoring. Deze is echter maar deels bekend en zal in de praktijk nog moeten blijken. Verder dienen lopende metingen uiteraard niet beïnvloed te worden. Van sommige CPC's is bijvoorbeeld bekend dat deze invloed kunnen hebben op het meten van VOC (door het gebruik van butanol als werkvloeistof). Hiervoor moet dan een aparte

voorziening getroffen worden. Daarnaast kan butanol de kwaliteit van de lucht in de cabine nadelig beïnvloeden.

Standaardisatie meetmethode

Verschillende onderzoeksgroepen in Europa hebben zich de afgelopen jaren beziggehouden met het uniformeren van het UFP meetproces; dit betreft dan zowel de apparatuur als meetprotocol. De standaardisatie voor gereguleerde luchtverontreinigende stoffen wordt in de EU ontwikkeld door CEN (Europees Comité voor Normalisatie). In het geval van de (niet-gereguleerde) UFP is dit opgepakt door CEN Werkgroep 32 met input vanuit ACTRIS. Deze groep heeft inmiddels een Technische Specificatie opgesteld (TS16976; laatste versie in februari 2023) voor het meten van de aantallen deeltjes in de buitenlucht. Met betrekking tot de technische uitvoering wordt butanol als werkvloeistof en een ondergrens van 10 nm voorgeschreven. De verwachting is dat TS16976 binnen enkele jaren de norm zal worden (met de kanttekening dat de wetenschappelijk discussie nog iet is afgerond). Daarnaast is er door de werkgroep een Technische Specificatie opgesteld voor het meten van de grootteverdeling van UFP (TS17434). De meest recente versie dateert uit 2020 en is gericht op één specifiek instrument. Het is niet bekend wanneer deze zal worden omgezet in een norm. Strikt genomen is een CEN-norm voor apparatuur niet dwingend als het om een niet-gereguleerde component (zoals UFP) gaat. In het ontwerp van de Air Quality Directive wordt opgeroepen om op de supersites zoveel mogelijk te meten in lijn met de hierboven genoemde technische specificaties.

Lopende metingen

Aantallen deeltjes worden momenteel op enkele stations in Nederland gemeten met één bepaald type deeltjesteller: Amsterdam (1 station, ca. 5 jaar) en Utrecht (3 stations, ca. 2 jaar). De vier identieke instrumenten voldoen niet aan de eerder genoemde TS16976 (omdat deze water als werkvloeistof gebruiken en werken met een ondergrens van 7 nm).

Mobiele metingen

In aanvulling op de vaste metingen zijn ook meerdere mobiele meetopstellingen voorzien. Een reden is het kunnen identificeren en karakteriseren (aantallen, grootteverdeling) van al dan niet bekende bronnen. Het is de verwachting dat mobiele metingen ook wezenlijke informatie zullen opleveren voor de selectie van geschikte vaste meetpunten in bronbelaste gebieden. Een derde toepassing is het kunnen vergelijken tussen instrumenten: het biedt de mogelijkheid voor een 'rondreizend referentie-instrument' dat vergeleken wordt met de apparatuur op de vaste stations.

Uit ervaringen met eerdere metingen blijkt dat het plaatsen van apparatuur voor UFP metingen in een mobiele opstelling bewerkelijk is, met name als het instrumenten betreft die eigenlijk bestemd zijn voor een stationaire toepassing. Om die reden hebben enkele fabrikanten kleinere en robuustere apparatuur ontwikkeld die geschikter is voor een dergelijke opzet. De technische eigenschappen zijn deels anders dan die van apparatuur voor een vaste opstelling. Voor de vergelijkbaarheid van de meetresultaten is daarom een co-locatie experiment (voor- en achteraf) hier raadzaam.

Rekening houdend met deze (en andere overwegingen) zal in 2023 begonnen worden met de aanschaf van apparatuur en plaatsing op meetstations. In 2023 zullen ook enkele mobiele meetopstellingen worden gerealiseerd voor inzet in specifieke meetcampagnes.

2.3 Raadpleging gezondheidsexperts

Op 17-10-2022 heeft het RIVM een overleg georganiseerd met enkele gezondheidsexperts in Nederland¹. Hierin is gevraagd naar ideeën én wensen met betrekking tot een meet- en modelstrategie met als doel het bepalen van de blootstelling. De discussie vond plaats aan de hand van vooraf opgestuurde vragen. Deze hadden o.a. betrekking op eisen aan meetapparatuur, type stations, resolutie in tijd en ruimte voor metingen en modellering.

De belangrijkste conclusies en aanbevelingen zijn:

- Kennis over UFP, blootstelling en effecten is (nog) beperkt zeker in vergelijking met andere componenten van luchtverontreiniging. Een op te zetten monitoring wordt breed ondersteund en moet daarbij gericht zijn op het kunnen vaststellen van gezondheidseffecten als gevolg van een lange-termijn blootstelling aan UFP.
- Voor het vaststellen van de relatie tussen blootstelling en gezondheidseffecten is een landsdekkende UFP-kaart op jaarbasis nodig (in analogie met GCN-kaarten). Omdat UFP sterk fluctueert over korte afstanden is wel een ruimtelijke resolutie van minder dan 1x1km² wenselijk. Verder werd de kanttekening gemaakt dat in het geval van sterke ruimtelijke correlaties met andere stoffen (PM, NO_x), het moeilijk vast te stellen kan zijn in hoeverre eventuele gezondheidseffecten door UFP dan wel door die andere stoffen worden veroorzaakt. Dit verdient speciale aandacht.
- Relevant voor de blootstelling (epidemiologisch gezien) zijn gegevens over de aantallen deeltjes daar waar mensen verblijven. Met het meten van de grootteverdeling van UFP=deeltjes kan in een later stadium begonnen worden. Metingen gericht op emissies afkomstig van specifieke bronnen hebben voor het gezondheidsonderzoek geen prioriteit.
- Ook inzicht in langjarige trends in de UFP-niveaus zijn van gezondheidskundig belang. Deze informatie ontbreekt op dit moment (en niet alleen in Nederland). Het langdurig meten wordt geadviseerd in stedelijke en landelijke gebieden, bij industrie en in de omgeving van vliegvelden. Het meten aan UFP nabij scheepvaart, in gebieden met houtstook dan wel in de omgeving van biomassacentrales kan campagnegewijs (met een mobiele meetopstelling) uitgevoerd worden.
- M.b.t. meetapparatuur is met name de ondergrens (minimaal meetbare diameter) besproken. Aangegeven is dat een ondergrens van 10 nm acceptabel is. Lager (7 nm) kan ook, maar niet hoger. Het is verder van belang uiteindelijk met één

¹ Bij dit overleg waren aanwezig: Gerard Hoek (IRAS), Saskia van der Zee (GGD Amsterdam), Miriam Gerlofs-Nijland (RIVM) en Nicole Janssen (RIVM). Vanuit de samenwerkende meetnetten namen deel: Maurice Hermans (RUDZL), Peter van Breugel (DCMR), Timothy van der Duim (RIVM), Sef van den Elshout (DCMR) en Ernie Weijers (RIVM).

type instrument te meten vanwege de vergelijkbaarheid van resultaten.

- Gegeven de hoge ruimtelijke variatie in UFP-aantallen, zouden mobiele metingen de metingen op vaste stations goed kunnen aanvullen en ingezet kunnen worden als kwaliteitsborging van de meetapparatuur.
- Een algemene observatie is dat het opzetten van een langdurige monitoring (metingen en modellering) van UFP en ook het vaststellen van emissiefactoren ambitieus en veeleisend is. Geadviseerd wordt zich in eerste instantie te richten op het uitvoeren van robuuste en kwalitatief goede metingen van de aantallen deeltjes als basis voor het opmaken van een jaargemiddelde kaart.

Deze bevindingen zijn zoveel mogelijk meegenomen in de meet- en modelstrategie.

2.4 Raadpleging buitenlandse meetnetten

Aan enkele buitenlandse meetexperts betrokken bij de (langdurige) monitoring van luchtkwaliteit in België en Groot-Brittannië² is gevraagd wat bij hun de status is van UFP metingen, hoe zij aankijken tegen het opnemen van UFP metingen in een regulier meetnet en in welke mate dat al gebeurt. Hieronder volgt een samenvatting (uitgebreidere verslagen zijn op verzoek beschikbaar).

- Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM, Vlaanderen)
Vlak voor de zomer van 2022 zijn twee nieuw aangekochte SMPS'en geïnstalleerd (in Antwerpen langs een drukke de invalsweg en nabij het vliegveld van Zaventem, in een woongebied). Beide zijn een continuering van eerdere metingen (deels campagne-gewijs). De apparatuur is niet (geheel) conform de (eerder genoemde) Technische Specificaties. Vanwege parlementaire vragen rond de impact van vliegverkeer op de bewoners rond de luchthaven, werd beslist in Zaventem een vast meetstation in te richten. Het voornemen is deze instrumenten de komende 10 jaar op hun respectievelijke locaties te laten staan. Een landelijke meetstation om de achtergrondconcentraties te monitoren evenals een locatie in de haven van Antwerpen wordt als wenselijk gezien. Er zijn echter geen concrete plannen voor uitbreiding in de nabije toekomst.
- Scientific Institute for Public Service (ISSEP, Wallonië)
Langdurige monitoring van UFP vindt plaats op één meetlocatie (Vielsalm, Ardennen; achtergrondstation); deze is bedoeld voor het bepalen van lange-termijn trends (start in 2010). Daarnaast zijn drie mobiele opstellingen beschikbaar voor speciale campagnes (in de orde van maanden). Het doel is dan louter wetenschappelijk; er zijn geen plannen deze opzet in de nabije toekomst te veranderen. Er wordt zoveel mogelijk gemeten conform de eerder genoemde Technische Specificaties. Een grenswaarde voor UFP wordt niet voorzien in de nabije toekomst. Eigenlijk wordt dit niet als haalbaar beschouwd. De

² Er is contact geweest met Freja Dreesen (VMM), Benjamin Bergmans (ISSEP) en Andrew Brown (NPL).

snelle veranderingen in de aantallen deeltjes, vooral in de buurt van bronnen, zijn de voornaamste redenen.

- National Physical Laboratory (NPL, Groot-Brittannië)
Deeltjesaantallen en deeltjesgrootteverdeling worden in en nabij Londen op drie locaties gemeten: straatstation, stadsachtergrondstation en op een landelijke locatie niet ver van Londen. Deze metingen lopen al vanaf 2008 met als doel het opbouwen van lange tijdreeksen. Op elk station wordt gemeten met identieke instrumenten. De instrumenten zijn relatief gedateerd; verwacht wordt dat vervanging plaatsvindt wanneer CPC's op de markt komen die voldoen aan een nieuwe norm voor instrumentatie.
In 2018 (Air Quality Expert Group) is geadviseerd de lopende metingen uit te breiden naar andere regio's en te beginnen met het monitoren van deeltjesaantallen, in een latere fase gevolgd met metingen van de grootteverdeling. Dit heeft nog geen concreet vervolg gehad.

2.5 Slotopmerkingen

Naar aanleiding van het rapport van de Gezondheidsraad zijn de mogelijkheden nagegaan voor het opnemen van UFP-apparatuur in het landelijk meetnet. Uit een raadpleging met Nederlandse gezondheidsexperts blijkt dat voor onderzoek naar de relatie gezondheid-blootstelling aan UFP het opmaken van een jaarlijkse kaart voor de aantallen deeltjes per cm^3 het meest relevant is.

Met betrekking tot het meten van UFP op vaste (LML-)stations wordt in 2023 de aanschaf en een geleidelijke plaatsing van apparatuur voorzien, te beginnen met apparatuur bestemd voor het meten van aantallen deeltjes op een beperkt aantal stations; dit is afhankelijk van de beschikbaarheid van meetsystemen. Deze benadering geeft de mogelijkheid om meer ervaring op te doen met apparatuur en het beoordelen van het gedrag van deze nieuwe meetsystemen op de langere termijn. Met het uitvoeren van de mobiele metingen wordt in 2023 een start gemaakt op nog te kiezen locaties. In een later stadium (na 2023) zal dit gevolgd worden door de inzet van apparatuur gericht op het meten van de deeltjesgrootteverdeling op geselecteerde stations.

De lopende CPC-metingen in Utrecht (drie stations) worden vooralsnog gecontinueerd. In Amsterdam wordt op één station eveneens gemeten. Een technische aanpassing is mogelijk met een zgn. 'CEN/ACTRIS compliant inlet' zodat bemonstering en conditionering in overeenstemming zijn met de eerder genoemde ontwikkelde Technische Specificatie (TS6976); het voordeel van water als werkvloeistof blijft dan behouden. Dit wordt nog besproken met de betrokken meetnetpartners. Een vergelijkingsonderzoek tussen de 'oude' en de 'nieuwe' configuratie is dan noodzakelijk zodat de bestaande meetreeksen vergeleken kunnen worden met de nieuwe data. Kosten bedragen ca. 20k€ per meetsysteem.

Voor het opstarten van UFP-metingen op andere meetstations (regionaal, stadsachtergrond, verkeersbelast) is als instrument een

nieuwer type deeltjesteller voorzien. Er zijn dan twee varianten mogelijk:

- metingen in gedeeltelijke overeenstemming met de TS16976 (waterbasis; 10 nm).
- Het is ook mogelijk een meetinstrument in te zetten dat geheel voldoet aan de TS16976. De discussie met de meetnetpartners hierover loopt nog. Kosten van aanschaf bedragen ca. 40-45k€ per instrument.

Op enkele stations zal de deeltjesgrootteverdeling gemeten worden. In het concept van de nieuwe Air Quality Directive worden dergelijke metingen op twee of drie zgn. "supersites" voorzien. Er is nu nog geen keuze gemaakt voor een systeem. Kosten van dergelijke apparatuur is ca. 100k€ per instrument.

Voor het uitvoeren van indicatieve metingen zullen twee à drie mobiele opstellingen worden gebouwd. Een dergelijke configuratie maakt het mogelijk in een relatief kort tijdbestek op verschillende plekken te meten, bijvoorbeeld in de omgeving van (vermoedelijke) bronnen. In de opstelling bevindt zich apparatuur voor het meten van aantallen (CPC) en grootteverdeling (SMPS). Hiervoor zal gebruik worden gemaakt van bestaande mobiele meetwagens van het RIVM dan wel van andere instituten. Het heeft de voorkeur dezelfde apparatuur in te zetten als die op de vaste stations. De haalbaarheid hiervan zal nog moeten blijken. Zo nodig kan instrumentatie ingezet worden die geschikter voor het doen van dergelijke mobiele metingen. Kosten per opstelling zijn 60k-120k€.

Bovengenoemde bedragen hebben alleen betrekking op de investeringskosten van de apparatuur. Hier zijn dus niet vermeld de kosten van werkzaamheden als plaatsing op meetstations, kalibraties, controle werking, onderhoud apparatuur, overleg fabrikant, afstemming met derden, dataverwerking, rapportage, e.d..

3 Meet- en modelstrategie UFP

3.1 Inleiding

In deze bijlage worden overwegingen gegeven bij het selecteren van vaste meetlocaties en bij de mogelijke inzet van mobiele meetpunten. Informatie over de in te zetten apparatuur en alles wat daarbij aan de orde komt, is te vinden in hoofdstuk 2.

Delen van deze tekst zijn, wegens de overeenkomsten in de doelstelling en opzet, deels overgenomen of gebaseerd op de meetstrategie voor roet, die het RIVM in 2014 heeft opgesteld (Beijk, 2014).

3.2 Doel van de meetstrategie ultrafijnstof

Ultrafijnstof (UFP) wordt steeds meer gezien als een belangrijke indicator voor de effecten van luchtverontreiniging op de gezondheid. Het specifiek meten van de zeer kleine deeltjes die ultrafijnstof vormen, kan de schadelijke effecten van luchtverontreiniging duidelijker zichtbaar maken dan wanneer alleen naar de totale hoeveelheid fijn stof wordt gekeken.

Het beoogde meetnet moet zodanig worden opgezet dat de blootstelling van de bevolking aan ultrafijnstof voldoende nauwkeurig kan worden bepaald, dat het "fit for purpose" is. Wat hierbij voldoende is, moet in overleg met deskundigen op het gebied van de gezondheidseffecten van UFP, nog worden bepaald. De metingen moeten zodanig worden ingericht dat ze kunnen worden gekoppeld aan rekenmodellen voor een goed beeld van de blootstelling aan concentraties/aantallen ultrafijnstof in geheel Nederland.

Veel is nog onbekend omtrent de emissies en evolutie in de atmosfeer van ultrafijnstofdeeltjes. Het structureel monitoren en modelleren van ultrafijnstof staat momenteel nog in de kinderschoenen en op zowel nationaal als internationaal vlak is er nog geen eenduidige lijn in hoe ultrafijnstof gemeten en berekend wordt. Het opzetten van een meetstrategie voor ultrafijnstof heeft derhalve een iets ander karakter dan voor andere stoffen zoals PM_{2.5}, PM₁₀ of NO_x waar uit eerder opgedane ervaringen en kennis geput kan worden. Ook over de vergelijkbaarheid van de meetresultaten van apparatuur is minder bekend dan bij de genoemde stoffen (hoofdstuk 2). De focus ligt bij ultrafijnstof deels nog bij het opvullen van hiaten in de huidige kennis, en een eerste meetstrategie moet dus ook worden gezien als exploratief. Gaandeweg, naarmate er meer bekend wordt over de emissies en evolutie van ultrafijnstof, zal de strategie verder naar inzicht verrijkt kunnen worden.

Evaluatie en ijking van de GCN-kaarten

De landsdekkende grootschalige luchtkwaliteit kaarten worden gemaakt van verschillende stoffen aan de hand van onder andere emissiebronnen uit de emissieregistratie. Voor het borgen van de kwaliteit van deze kaarten worden ter vergelijking en ter ijking de meetresultaten uit het LML gebruikt. Voor ultrafijnstof wordt de modelering van landsdekkende

kaarten door het RIVM voorzien, net als voor de andere stoffen. Voor dit doel wordt in deze meetstrategie als criteria gehanteerd dat er afdoende geschikte meetlocaties zijn voor de ijking van GCN-kaarten met inachtneming van een ruimtelijke dekking van Nederland. Naast de Randstad gaat het dan om afdoende dekking in Noord, Midden/Oost en Zuid, zowel voor de regionale achtergrond als stedelijke achtergrond.

Evaluatie en ijking van (lokale) modelberekeningen

Waar de GCN-kaarten een algemeen beeld over Nederland geven, kunnen lokale modelberekeningen meer inzicht geven in piekconcentraties nabij relevante bronnen, zoals verkeer. Ook hier zijn lokale metingen nodig ter ondersteuning van modelberekeningen. Verder geldt dat hoe beter de verkeersbijdragen (die lokaal een belangrijk deel van de totale concentraties vormen) geschat kunnen worden, hoe meer inzicht er automatisch komt in de bijdragen van andere bronnen. Het verschil bestaat immers uit andere bronnen en de globale achtergrond van ultrafijnstof. Om de dynamiek en verspreiding van ultrafijnstof beter te gaan snappen kan het goed zijn om met lokaal hoog-belaste maar verder overzichtelijk situaties te beginnen.

Er wordt aangenomen dat ten behoeve van lokale modelberekeningen zogeheten koppellocaties wenselijk zijn (een combinatie van een straatlocatie en een locatie in de stadsachtergrond). Deze worden gebruikt om de modellen die gebruikt worden om de lokale (verkeers)bijdragen te berekenen te verifiëren en te ijken. Uiteraard is een dergelijk koppel van metingen ook van belang bij andere grote bronnen van ultrafijnstof. Met name in complexe situaties (meerdere lokale bronnen) kan het nodig zijn om aanvullende mobiele metingen uit te voeren.

Trendanalyses

Het opzetten van (langere) tijdreeksen maakt het mogelijk om trendanalyses uit te voeren, aan de hand waarvan de effectiviteit van beleid kan worden geëvalueerd. Hiervoor zijn meerdere geschikte meetlocaties per locatietype (regio, stad, straat) nodig. Dit kunnen in principe dezelfde locaties zijn als die voor andere doelen noodzakelijk zijn.

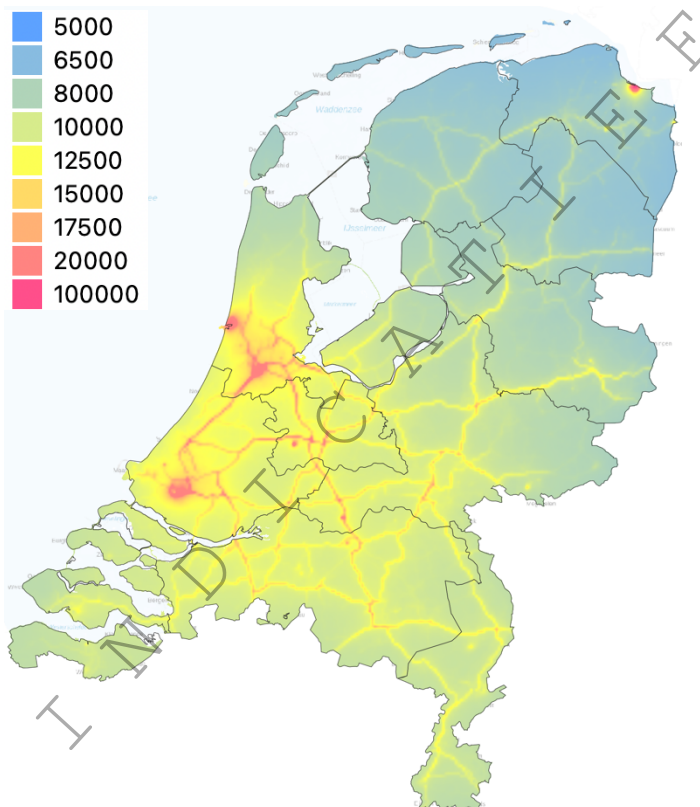
Blootstelling aan ultrafijnstof en lokale maatregelen

Een belangrijke reden om ultrafijnstof te meten is de gezondheidskundige relevantie ervan voor de volksgezondheid. Representatieve informatie over de niveaus waaraan burgers worden blootgesteld is daarom een belangrijke doelstelling voor deze strategie. Gemodelleerde lokale blootstellingsinformatie creëert de mogelijkheid om beleidsmatig te sturen op gezondheidskundige winst. Hierbij opgemerkt dat een meting daar in directe zin door de grote gradiënten maar een beperkte geschiktheid voor heeft en primair dient ter ijking en verificatie van de blootstellingsmodellen.

Gebiedsdekking

Er is momenteel weinig informatie beschikbaar over de niveaus van ultrafijnstof in geheel Nederland. Er was als eerste een kaart van IRAS, die is gebaseerd op een serie van kortdurende metingen op achtergrondlocaties en de toepassing van een LUR-model. De kaart laat

weinig structuur zien, zo zijn er bij bekende grotere bronnen als Schiphol en haven/industriegebieden geen wezenlijke verhogingen in de kaart, die wel in losse studies zijn gevonden (Bezemer, 2015) (Voogt, 2022) (Weijers, 2020) (Keuken, 2015). De resultaten van de verschillende recente studies zijn door het RIVM gecombineerd in een enkele zeer **indicatieve** kaart van Nederland (Wesseling, 2022), (Van der Duim, 2022) in Figuur 1. Het doel van de kaart is vooral richtinggevend voor het plannen van de aankomende metingen en modellering van ultrafijnstof in Nederland.



Figuur 1 Indicatieve ultrafijnstof kaart voor Nederland voor de periode 2018-2019, eenheid deeltjes/cm³.

Aanvullende afwegingen

Naast de subdoelstellingen zoals deze in voorgaande alinea zijn geformuleerd zijn er nog aanvullende overwegingen die gebruikt worden om de keuze te maken waar en op hoeveel plekken metingen uit te voeren. Deze worden hier kort op een rij gezet:

- Samenwerking met partner meetnetten
Zowel de DCMR als GGD Amsterdam beheren in Nederland meetnetten waarin (projectmatig) ultrafijnstof metingen worden verricht. In Zeeland staat ook een CPC voor meting van ultrafijnstof. In het kader van de samenwerking en omwille van efficiëntie zijn de volgende twee overwegingen van belang:
 - Optimaal gebruik maken van bestaande partner meetlocaties;
 - Consistentie in meetmethoden tussen partner meetnetten, ook ten behoeve van validatie meetapparatuur.
- Consistentie met meetnetten van aangrenzende landen

Meetresultaten van ultrafijnstof metingen in België en Duitsland die worden verricht in de buurt van de grens kunnen mogelijk gebruikt worden voor vergelijkbaarheid en verdere kalibratie van de GCN-kaart voor ultrafijnstof. Hierbij is het van belang dat de meettechnieken voldoende vergelijkbare resultaten opleveren.

- Inpassing bestaande (projectmatige) ultrafijnstof-metingen Omwille van trendanalyse kan het nuttig zijn om, indien mogelijk, eerdere projectmatige metingen bij de analyses van trends te betrekken.

Schets meetstrategie ultrafijnstof

Er zijn verschillende overwegingen bij de keuze van de potentiële meetlocaties. De overwegingen en aantallen zijn indicatief.

Vaste meetpunten

Voor het uiteindelijk kunnen berekenen van de blootstelling aan ultrafijnstof moet duidelijk worden in hoeverre er in bepaalde gebieden sprake is van verhoogde concentraties, bovenop een nationale achtergrond. Verder is het belangrijk om dergelijke metingen gedurende minstens enkele jaren op dezelfde locaties te verrichten om een beeld te krijgen van eventuele trendmatige ontwikkelingen in de niveaus. Hiervoor kunnen metingen aan ultrafijnstof worden verricht op verschillende bestaande stations van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit van het RIVM en stations van meetpartners.

De voor bepaling van blootstelling op een locatie benodigde concentraties bestaan deels uit lokale bijdragen en deels uit bijdragen van verder weg gelegen bronnen, de zogenaamde achtergrondconcentraties. Deze achtergrondconcentraties worden door het RIVM berekend aan de hand van bekende (centraal geregistreerde) emissies. IJking van deze kaart is afhankelijk van metingen op (minimaal) regionale en stedelijke achtergrondlocaties. Omwille van de landsdekkendheid wordt op basis van 'expert judgement' en ervaring met eerdere meetstrategieën aanbevolen om ten minste één rurale achtergrondlocatie in het westen, zuiden, midden, oosten en één in het noorden van Nederland te plaatsen. Dus 5 regionale locaties in totaal. De bestaande locatie in Cabauw is een voor de hand liggende locatie in het midden van het land, waar ultrafijnstof sinds eind 2020 al op structurele basis gemeten wordt. In het noorden is Kollumerwaard, een regionale achtergrondlocatie waar diverse stoffen waaronder SO₂ gemeten worden, een voor de hand liggende locatie.

Eenzelfde redenering gaat op voor metingen van de stadsachtergrond, in zowel enkele grotere als iets minder grote steden. Ten behoeve van efficiency worden de locaties voor de stadsachtergrond ook (voor zover mogelijk) gebruikt ten behoeve van de koppelstations. Een voor de hand liggend paar (koppel)stations is dan ook Kardinaal de Jongweg en Griftpark, zeker omdat er op Griftpark ook veel VOC's worden gemeten.

Tezamen dus minstens 10 meetlocaties. Net als voor de regionale achtergrondlocaties geldt voor de gehele set aan meetlocaties dat een landsdekkende spreiding van meetlocaties wenselijk is, maar ook dat een zo groot mogelijk deel van de ruimtelijke variabiliteit aan

ultrafijnstof concentraties gevangen wordt door de meetpunten. Dit ten behoeve van de modelijking.

Waar vaste meetpunten goed gebruikt kunnen worden voor een globaal beeld van de concentraties en de trendmatige ontwikkelingen daarin, liggen deze meetpunten hiermee voor minstens enkele jaren vast. Projectmatige inzet is niet mogelijk.

Mobiele metingen

Voor ultrafijnstof zijn de emissies van veel bronnen nog slecht bekend. Hierbij gaat het niet alleen om de aantallen deeltjes maar ook om de grootteverdeling en de mate waarin die verdeling kort na de emissie evolueert. Het is dan ook belangrijk om de grotere bronnen in Nederland vast te stellen en de emissies en karakteristieken te bepalen. Bij de opzet van metingen aan ultrafijnstof rond Schiphol zijn oriënterende metingen verricht in de omgeving van de luchthaven (ECN, 2015). Een soortgelijke aanpak, op nationale schaal, is denkbaar om relatief snel een indicatief beeld te krijgen van de belangrijkste bronnen van ultrafijnstof in Nederland. Het is hierbij wenselijk om niet alleen de aantallen deeltjes te meten maar ook de deeltjesgrootteverdelingen, waarbij de afstand tussen de bron en de meetapparatuur als belangrijke factor moet worden meegenomen. Een mobiele meetconfiguratie leent zich daarvoor, omdat de afstand tot de bron makkelijker en sneller kan worden aangepast. Het past daarmee ook in het vooralsnog exploratieve karakter van deze meetstrategie. Bij de inzet van mobiele metingen kan gezocht worden naar locaties waar de samenhang tussen ultrafijnstof en andere stoffen wat minder duidelijk is. Dergelijke locaties kunnen belangrijk zijn om de effecten van specifiek ultrafijnstof op de gezondheid te onderzoeken. Afhankelijk van de behoeften en mogelijkheden kunnen op dergelijke locaties meer permanente metingen worden ingezet.

Een algemeen nadeel van mobiele metingen is dat de uitvoering, interpretatie en generalisatie van dergelijke metingen lastig is, net als het vaststellen van zinvolle trends. Een voordeel van mobiele metingen is dat deze als een rondreizende standaard kunnen dienen om de ijking van verschillende apparaten te controleren. Bij ultrafijnstof is absolute kalibratie minder eenvoudig dan bij andere stoffen in het luchtkwaliteit-dossier.

Bijdragen van (lokale) grote bronnen

Grote lokale bronnen van ultrafijnstof komen voornamelijk voort uit de scheep- en luchtvaartsector, wegverkeer en industrie. Aangezien menselijke aanwezigheid in de nabijheid van deze bronnen de meeste gezondheidsschade teweeg kan brengen, is het van belang om deze potentiële ultrafijnstof hotspots mee te nemen bij de selectie van meetlocaties. Concreet betekent dit dat het gewenst is voor ieder brontype tenminste één meetpunt te hebben nabij de bron, en bij voorkeur een tweede meetpunt verder weggelegen dat dient als achtergrondlocatie. Dit kan ook door middel van mobiele meetopstellingen gerealiseerd worden.

Wegverkeer vormt, op basis van de beschikbare informatie, een belangrijke lokale bron van ultrafijnstof. Omdat er maar op enkele

plaatsen aan wegverkeer gemeten kan worden, is het belangrijk om modelberekeningen te ijken aan de beschikbare metingen. Die modellen kunnen vervolgens worden gebruikt om in de rest van Nederland de ultrafijnstof concentraties te berekenen. De combinatie van twee voldoende dicht bij elkaar liggende meetlocaties, waarvan één in de stedelijke achtergrond en de ander langs een drukke straat ligt, is nodig om deze modellen te kalibreren/verifiëren. Er zijn reeds verschillende locaties in de randstad bij de DCMR en GGD Amsterdam die kunnen dienen als koppelstations. Aanvullend zijn meerdere straatlocaties buiten de randstad inclusief een naburige (stads)achtergrond noodzakelijk. Een dergelijk koppel is ook noodzakelijk rondom een snelweg in verband met de bijdrage van buiten-stedelijke (snel)wegen.

Mogelijkheden voor koppelstations buiten de randstad zijn bijvoorbeeld rondom Utrecht (midden), Eindhoven (zuid), Maastricht (zuid), Nijmegen (oost). De locatie Breukelen is een voorbeeld van een serieus belast verkeersstation dat goed gecombineerd kan worden met mobiele metingen.

Een alternatief voor gebruik van enkel vaste meetopstellingen voor de bepaling van wegverkeerbijdragen is de inzet van enkel mobiele meetopstellingen of combinaties van vaste en mobiele metingen. Hierbij kan dan een mobiele opstelling worden gecombineerd met een vaste opstelling. Als alternatief kunnen twee mobiele opstellingen worden gebruikt, al dan niet in combinatie met een vaste opstelling. Met combinaties van vaste en mobiele metingen kunnen de voordelen van beide methoden in verschillende gevallen worden geoptimaliseerd.

Om goed inzicht te krijgen in de verdelingen en karakteristieken van ultrafijnstof bij/rond grotere bronnen is het wenselijk om niet alleen de aantallen deeltjes te meten maar ook de deeltjesgrootteverdelingen. Teneinde op een redelijke termijn metingen aan voldoende grotere bronnen te kunnen uitvoeren lijken 2-3 mobiele opstellingen nodig. Ook hier geldt dat inzet van mobiele metingen het bepalen van trends over langere perioden lastig maakt.

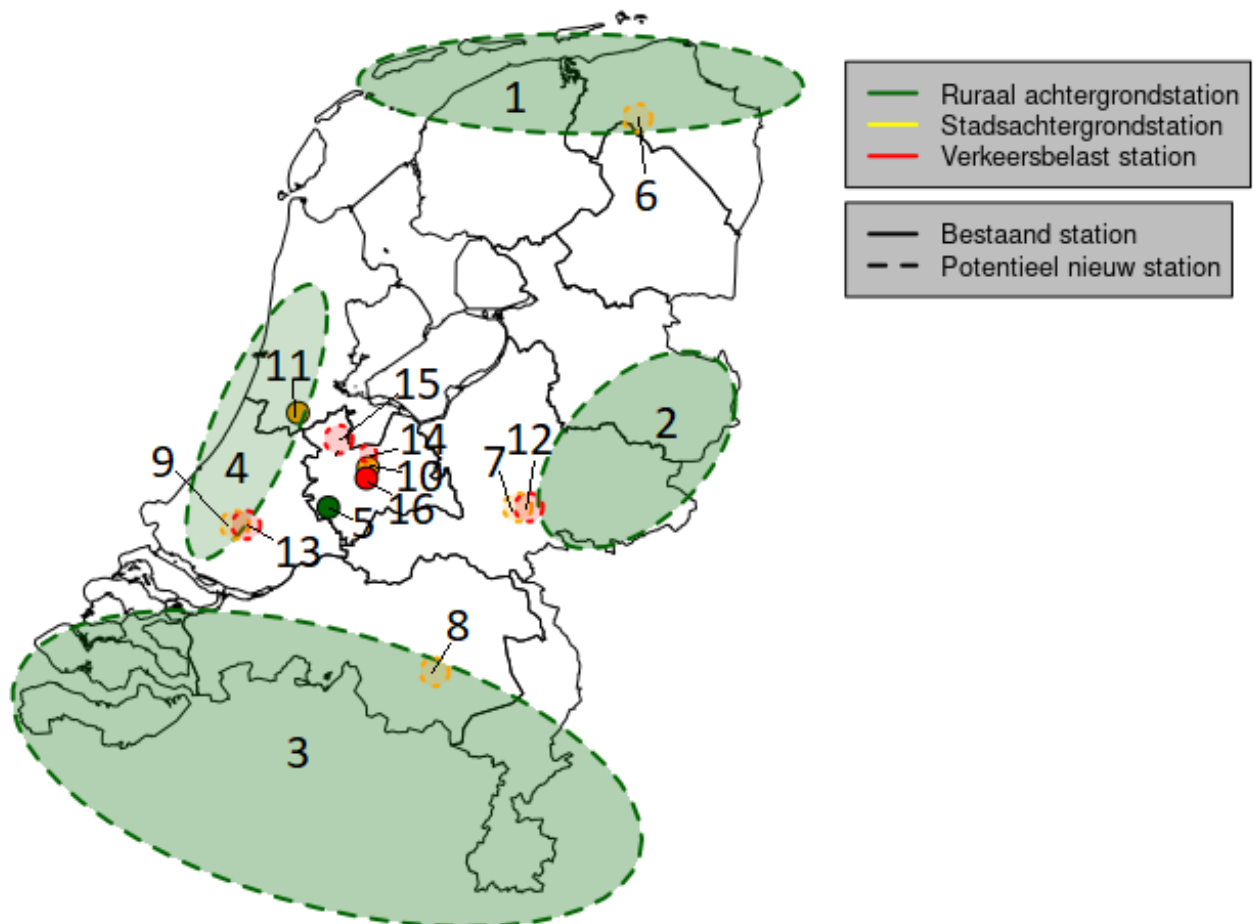
Rotterdam is een voorbeeld waar veel grote lokale bronnen samenkomen, denk daarbij aan scheepvaart, luchtvaart, zware industrie en veel wegverkeer. Op verschillende plekken in Rotterdam wordt door de DCMR de luchtkwaliteit gemeten, waaronder bv. SO₂. Het is dan een overweging om in het kader van verdere kennisvergaring, waarbij gebruik wordt gemaakt van bestaande meetnetten, één of twee ultrafijnstof meetpunten in Rotterdam te plaatsen.

Metten in bevolkingsdicht gebied

Vanuit het perspectief van gezondheidsstudies zijn vooral de concentratiegradiënten interessant op locaties waar (veel) mensen wonen en relevante ultrafijnstof concentraties te verwachten zijn. De interesse ligt hier vooral op stedelijk gebied (stedelijke achtergrond) met hogere verkeersintensiteiten. Daarmee moet ook naar de grotere steden buiten de Randstad worden gekeken, zoals Eindhoven, regio Arnhem-Nijmegen en Groningen. Eerste indicaties suggereren dat ultrafijnstof emissies van snelwegverkeer aanmerkelijk hoger liggen dan emissies afkomstig van binnenstedelijk verkeer. Om dit verder in kaart

te brengen en piekconcentraties in stedelijk gebied te kunnen verifiëren, kan er worden gekozen voor ten minste één snelwegbelaste meetlocatie in stedelijk gebied, tezamen met een vergelijkbare meetlocatie zonder snelwegbelasting. Inzet van mobiele metingen is uiteraard een optie.

Rekening houdende met al het bovenstaande, geeft onderstaande figuur 2 een indicatief generiek beeld van hoe de ultrafijnstof meetpunten over het land verdeeld kunnen worden. Het gaat in dit voorbeeld om een ultrafijnstof meetnet van maximaal 16 meetpunten, waarvan 4 bestaande en 12 nieuwe meetpunten voor ultrafijnstof. Alle locaties zijn bestaande meetpunten in het LML. Afhankelijk van de eerste doelen en inzet van de meetstrategie, zie de volgende sectie, zullen meer of minder meetpunten in de verschillende gebieden in figuur 2 worden geplaatst.



Figuur 2 Ruwe schets van de mogelijke meetstrategie.

1. Noordelijk ruraal achtergrondstation, bijvoorbeeld Kollumerwaard;
2. Oostelijk ruraal achtergrondstation, bijvoorbeeld Eibergen;
3. Zuidelijk ruraal achtergrondstation, bijvoorbeeld Wijnandsrade of Philippine-Stelleweg;
4. Westelijk ruraal achtergrondstation, bijvoorbeeld De Zilk;
5. Centraal ruraal achtergrondstation Cabauw, bestaand ultrafijnstofstation;

- 6-11. Stadsachtergrondstations Groningen stad, Arnhem/Nijmegen, Eindhoven;
 Stadsachtergrondstation Rotterdam;
 Stadsachtergrondstation Griftpark, bestaand ultrafijnstof-station;
 Stadsachtergrondstation Ookmeer, bestaand ultrafijnstof-station;
- 12-15. Verkeersbelaste stations Arnhem (kan ook Nijmegen/Eindhoven/Groningen zijn), Rotterdam, Kardinaal de Jongweg (Utrecht), koppelstation met Griftpark, Breukelen, Constant Erzeijstraat Utrecht.

3.3 Opties meetstrategie ultrafijnstof

In veel gevallen resulteert een nieuwe meetstrategie voor een stof in een aanbeveling om op een zeker aantal punten vaste meetpunten voor die stof in te richten. Zoals hierboven aangegeven, zijn er nog de nodige vragen omtrent de bronnen van ultrafijnstof en de ontwikkeling van de deeltjesgrootte op korte afstanden (of tijdschalen) van de emissies. Als gevolg stellen we enkele opties voor om een meetstrategie uit te rollen. De opties worden hieronder kort beschreven. Bedacht moet worden dat verschillende meetnetpartners, vooral DCMR en GGD Amsterdam, ook al enkele metingen van ultrafijnstof verrichten.

Optie 1 Enkel mobiele metingen voor onderzoek bronnen

In deze optie wordt gedurende een periode van een à twee jaar alleen mobiel gemeten. Dit kan door een verplaatsbare meetopstelling een periode op een locatie nabij een vermoedelijke belangrijke bron te laten staan. Het is ook mogelijk om met meetapparatuur rond te rijden en gedurende het rijden metingen te verrichten. De uitvoering en interpretatie van dergelijke volledig mobiele metingen is ingewikkelder dan bij metingen op vaste meetpunten. Om de bijdragen van bronnen te bepalen zijn twee meetpunten rond die bron nodig, een bovenwinds en een benedenwinds van de bron. Voor alle tijdelijke metingen geldt dat de vertaling van resultaten in een periode van dagen/weken lastig is te vertalen naar geschatte resultaten op jaarbasis.

Voordelen: er kunnen in een relatieve korte tijd bij veel bronnen metingen worden verricht.

Nadelen: de uitvoering, interpretatie en generalisatie van dergelijke metingen is lastig, net als het vaststellen van zinvolle trends, die juist belangrijk zijn.

Aanbevolen opzet: minstens drie mobiele meetopstellingen, elk (minstens) voorzien van een CPC en minstens twee opstellingen ook voorzien van een SMPS.

Optie 2 Inzet op een ruim aantal vaste meetpunten

Het is uiteraard ook mogelijk om direct in te zetten op de inrichting van voldoende vaste meetpunten om een afdoende beeld van de ultrafijnstof concentraties in Nederland te geven. Gegeven alle hierboven genoemde overwegingen adviseren wij om deze optie pas te gebruiken nadat er inzicht in de bronnen en niveaus van ultrafijnstof is verkregen om te bepalen welke opzet van de metingen en modellering nodig gaat zijn om een voldoende goed beeld van de blootstelling in Nederland te geven.

Voordelen: de inrichting van vaste meetpunten is makkelijker en de resultaten zijn makkelijker in modellen te gebruiken.

Nadelen: het is a-priori niet duidelijk wat de beste vaste meetlocaties zijn met voldoende ruimte voor extra apparatuur en er is geen flexibiliteit om projectmatige metingen te doen.

Aanbevolen opzet: Bij deze optie wordt geadviseerd om (zie figuur 3) in ieder geval op de locaties 1 t/m 4 meetpunten voor ultrafijnstof in te richten en de bestaande metingen in locatie 5 (Cabauw) structureel te maken. Verder wordt geadviseerd om op (minstens) 4 stadsachtergronden en (minstens) 3 verkeersbelaste locaties meetpunten in te richten.

Voor alle vaste meetlocaties adviseren we om die elk (minstens) te voorzien van CPC's. Voor 3 vaste meetlocaties adviseren we om die elk (minstens) aanvullend te voorzien van een SMPS.

Optie 3 Mobiele metingen voor onderzoek bronnen en enkele vaste meetpunten

Optie 3 is een tussenweg tussen opties 1 en 2, in ieder geval inzet van mobiele metingen om emissies van verschillende soorten bronnen beter vast te leggen, gecombineerd met ultrafijnstof metingen op enkele vaste meetpunten.

Voordelen: er kunnen in een relatieve korte tijd bij veel bronnen metingen worden verricht. De vaste metingen bieden tegelijk ijkpunten voor verbetering van een ultrafijnstof-kaart voor geheel Nederland. De nadelen van mobiele metingen kunnen in een gecombineerde aanpak door de aanwezigheid van de vaste meetpunten grotendeels worden gecompenseerd.

Aanbevolen opzet: Bij deze optie wordt geadviseerd om (zie figuur 3) in ieder geval op de locaties 1 (Kollumerwaard) en 2 (Eibergen) meetpunten voor ultrafijnstof in te richten en de bestaande metingen in locatie 5 (Cabauw) structureel te maken. Verder wordt geadviseerd om op (minstens) 2 stadsachtergronden en (minstens) 2 verkeersbelaste locaties meetpunten in te richten.

Voor alle vaste meetlocaties adviseren we om die elk (minstens) te voorzien van CPC's. Voor 2 vaste meetlocaties adviseren we om die elk (minstens) te voorzien van een SMPS.

Minstens drie mobiele meetopstellingen, elk (minstens) voorzien van een CPC en minstens twee opstellingen ook voorzien van een SMPS.

Elk van de geschetste opties zal naar verwachting op termijn, als meer kennis over ultrafijnstof in Nederland beschikbaar komt, leiden tot een meetnet configuratie waarvan een globaal en indicatief voorbeeld is gegeven in figuur 2. De snelheid waarmee een dergelijk meetnet wordt verwezenlijkt hangt af van de gekozen optie en de opgedane kennis.

Gegeven de huidige onzekerheden omtrent ultrafijnstof is uitrol van een volledig vast meetnet in de huidige fase af te raden. Aan de andere kant zal het slechts uitvoeren van mobiele metingen, zonder verankering in

strategisch gekozen nieuwe meetpunten, de bouw van een coherent nationaal beeld van ultrafijnstof in Nederland niet direct mogelijk maken. Dat alles overwegende zijn er goede argumenten om voor (een vorm van) optie 3 te gaan.

Geschatte kosten apparatuur

Meer informatie over de voorgestelde apparatuur en bijbehorende kosten is in hoofdstuk 2 gegeven. Een indicatie van de totale instrumentatiekosten per optie staat in onderstaande tabel.

	Type	CPC	SMPS	Kosten	Totaal per optie EXCLUSIEF beheer/onderhoud/analyse
	kosten (kE)	45	90		
Optie					
1		3	2	315	315
2		12	3	810	810
3	vast deel	7	2	495	810
	mobiel deel	3	2	315	

De apparatuur zal uiteraard moeten worden besteld, getest, geïnstalleerd (zowel vast als mobiel) en er zal "meetervaring" moeten worden opgedaan. De hiermee samenhangende personele kosten zijn hier niet in meegenomen. In 2023 zal worden begonnen met het plaatsen van apparatuur.

3.4 Schets modelstrategie ultrafijnstof

Met de voorgenomen metingen van ultrafijnstof in Nederland komt meer inzicht in de niveaus en samenstelling van ultrafijnstof in Nederland. Om tot een landsdekkend beeld te komen, noodzakelijk voor het bepalen van de blootstelling van de bevolking, zijn vervolgens modelberekeningen nodig.

In het voorliggende document wordt een eerste schets gegeven die later verder zal worden uitgewerkt. Hier wordt vanuit een literatuurstudie en eigen opgedane ervaringen een overzicht gegeven van ultrafijnstof modelleer-strategieën die de komende jaren als leidraad kunnen dienen voor het in kaart brengen van ultrafijnstof. Hierbij komen zowel statistische (Land Use Regression en Proxy-methode) als meer deterministische (verspreidingsmodellen) modellen aan de orde.

Land Use Regression

Uit literatuuronderzoek blijkt dat het ultrafijnstof concentraties tot op heden voornamelijk met behulp van statistische modellen zijn gemodelleerd. Met name Land Use Regression (LUR) modellen, bekend vanwege hun toepasbaarheid op luchtkwaliteitsmodellering bij stoffen met een hoge variabiliteit in tijd en ruimte, zijn populair [Kerckhoffs et al., 2017]. Hierbij wordt een regressiemodel gebouwd dat ultrafijnstof concentraties voorspelt aan de hand van diverse input parameters. Dit zijn in de basis parameters die betrekking hebben op landgebruik,

bijvoorbeeld de aanwezigheid van nabije wegen, een (lucht)haven of de bevolkingsdichtheid binnen een gedefinieerde straal. Deze parameters worden in de praktijk vaak aangevuld met bijvoorbeeld meteorologische variabelen of concentratiemetingen van andere stoffen, zoals in Simon et. al. [2020].

Een voordeel van deze methode is dat het weinig kennis vereist van de chemisch-fysische principes die plaatsvinden na emissie van ultrafijnstof. Zolang de gekozen parameters, of een combinatie in deze, sterk relateren aan ultrafijnstof concentraties, kan dit model haar functie dienen. Nadeel is dat deze LUR-modellen vaak gebouwd zijn op basis van relatief korte meetcampagnes, en dat alle gewenste voorspellende variabelen niet altijd op de gewenste resolutie voorhanden zijn, op dezelfde plek en in dezelfde tijdperiode waarin de metingen zijn verricht. Een bijkomend nadeel is de rekenkracht die het kost om aan de hand van de vele inputvariabelen, een groot gebied op deze manier te modelleren. Ook valt het generaliseerbaarheid van een LUR-model in sommige gevallen te betwisten, zeker wanneer enkel wordt gebouwd op basis van een beperkte periode in het jaar, in een beperkt gebied.

Tot op heden zijn de meeste LUR-modellen in het kader van ultrafijnstof modellering gebouwd op basis van lineaire regressie. Hoewel deze modellen simpel zijn, en de resultaten hieruit makkelijk interpreteerbaar, hebben ze ook zekere beperkingen. Zo gaat het voorbij aan de potentiële non-lineairiteit van en interacties tussen variabelen [James et. al., 2020]. Ook kan het probleem van collineariteit optreden, waarbij meerdere voorspellende variabelen zodanig met elkaar correleren dat de valse illusie gewekt kan worden dat de variabelen afzonderlijk goed de ultrafijnstof concentraties kunnen voorspellen.

Er is hedendaags een groot scala aan alternatieven om benoemde beperkingen te omzeilen, zoals gegeneraliseerde additieve modellen (GAMs) die de toevoeging van non-lineaire termen aan het voorspellende model toestaan [Clifford et. al., 2011]. Ook Machine Learning (ML) technieken zoals random forest of neurale netwerken kunnen hier een uitkomst bieden, omdat geen voorafgaande aannames worden gedaan over de relaties tussen voorspellende variabelen en ultrafijnstof concentraties. In Kerckhoffs et. al. [2019] zijn verschillende (non-)lineaire en ML technieken toegepast in een LUR-model op verschillende ultrafijnstof datasets. Hieruit volgde louter dat de beste methode afhangt van de soort data waar het model op getraind of gevalideerd is.

Proxy methode

Een andere methodiek om ultrafijnstof concentraties op grote schaal te modelleren, berust op het vinden van sectorspecifieke schaalfactoren tussen ultrafijnstof bijdragen en bijdragen van andere stoffen aan de totale concentraties. Deze verbanden kunnen vervolgens op nationale schaal worden toegepast om sectorspecifieke ultrafijnstof concentraties te verkrijgen. Hier wordt dus gebruik gemaakt van al bestaande landsdekkende rekenmodellen voor de zogenoemde indicatorstoffen. De grootste verschillen met LUR-modellering, zoals momenteel voorzien, zijn:

- expliciete sectorale opsplitsing van ultrafijnstof bijdragen aan het totaal;
- de noodzaak om sectorale bijdragen van zowel ultrafijnstof als indicatorstoffen te scheiden van de achtergrondconcentratie;
- gebruik van enkel concentraties van stoffen in de lucht, dus geen meteorologische of landgebruik variabelen.

Deze methode introduceert extra onzekerheden in de vorm van onzekere achtergrondschattingen en een beperkte mogelijkheid om lokale bronbijdragen van elkaar te scheiden. Daarnaast kan er binnen sectoren ook een verschil bestaan in ultrafijnstof emissiekenmerken, voor wegverkeer bijvoorbeeld door verschil in samenstelling van voertuigtypes (snelweg vs. binnenstedelijk). Ook gaat dit model voorbij aan de fysische processen die de evolutie van ultrafijnstof concentraties kunnen domineren, en dat deze processen anders zijn dan voor de indicatorstoffen waarmee ultrafijnstof wordt vergeleken. Met andere woorden, het feit dat de verhouding binnen een specifieke sector tussen ultrafijnstof en indicatorstofconcentraties kan veranderen als functie van afstand tot de bron, wordt niet meegenomen. Desalniettemin is het een overzichtelijke methode waaruit sectorspecifieke kennis over ultrafijnstof emissies kan worden afgeleid, en waaruit op grote schaal een indicatief beeld van ultrafijnstof concentraties kan worden opgebouwd zonder te moeten leunen op moeilijk handelbare data voor landgebruik.

Vanuit de literatuur zijn er sterke indicaties dat er significante correlaties bestaan tussen ultrafijnstof concentraties en die van andere stoffen, maar dat deze afhangen van de emissiebron/sector, gebied en meteorologische omstandigheden (AQEG, 2018; Morawska, 2019). González et. al. (2011) laat bijvoorbeeld zien dat CO en NO_x bijdragen van wegvoertuigen sterk correleren met ultrafijnstof concentraties afkomstig van wegvoertuigen, maar dat ultrafijnstof bij aanlandige wind voornamelijk te herleiden is tot SO₂ afkomstig uit het havengebied. Het algemene beeld is dat ultrafijnstof zwak correleert met PM_{2.5} en PM₁₀, en er in sommige gevallen zelfs een inverse correlatie bestaat met als mogelijke uitleg dat door coagulatie en condensatie ultrafijnstof deeltjes transformeren naar grotere deeltjes die niet langer onder de ultrafijnstof noemer vallen (Gong et. al., 2014). NO₂, NO_x, zwarte koolstof (BC), CO en SO₂ worden daarentegen veelvuldig genoemd als potentiële surrogaten voor sectorspecifieke ultrafijnstof bijdragen. Of stoffen als CO en SO₂ in Nederland ook algemeen bruikbaar zijn als surrogaten valt te betwijfelen. De betreffende concentraties zijn tegenwoordig bijzonder laag en dat maakt het meten daarvan al lastig.

Verspreidingsmodellen

Proxy-methoden en LUR-modellen zijn goed bruikbaar om beelden van concentratie-verdelingen op te stellen indien er voldoende meetgegevens beschikbaar zijn. Ze kunnen bestaande metingen vaak op een verdedigbare wijze interpoleren. Indien er geen of slechts weinig metingen beschikbaar zijn, dan zijn andere methoden nodig, die vanuit kennis van emissies van stoffen de verspreiding daarvan in het milieu kunnen berekenen.

Verspreidingsmodellen zijn de hedendaagse norm bij het modelleren van luchtverontreinigende stoffen waarvoor emissiesets beschikbaar zijn. Deze modellen werken op basis van aannamen in verspreidingsgedrag en opgegeven meteorologische condities. Dergelijke modellering van ultrafijnstof is onder andere gedaan door Voogt et. al. [2019] voor luchtvaartbijdragen ultrafijnstof rondom Schiphol, gebruikmakend van het Gaussisch pluimmodel Stacks+. De eerder beschreven dynamiek van ultrafijnstof na emissie, waaronder het coagulatieproces, is hierin genegeerd door ultrafijnstof als inert te beschouwen. Veranderingen in concentraties vinden onder die aanname hoofdzakelijk plaats door verdunning (hoe verder van de bron hoe sterker verdund). Op grotere afstanden van de bronnen spelen de coagulatie-processen steeds minder een rol en hoeven deze dus minder in rekening te worden gebracht. De gemodelleerde concentraties zijn in de Schipholstudie door metingen gevalideerd en voldoende robuust gebleken voor toepassing in het gekoppelde gezondheidsonderzoek, behalve op zeer korte afstand tot de luchthaven waar gemeten concentraties aanmerkelijk hoger lagen dan gemodelleerde concentraties.

Een ander voorbeeld waar verspreidingsmodellen zijn ingezet om ultrafijnstof concentraties te modelleren, is in een studie van Ketzal et. al. (2021). Wederom onder de aanname van inert gedrag, zijn gemodelleerde ultrafijnstof concentraties vergeleken met langdurige metingen op drie verschillende type stations; verkeersbelast, stadsachtergrond, en rurale achtergrond. Van alle stations bleken model en meting op het verkeersbelaste station het sterkst met elkaar overeen te komen en te correleren. Grotere afwijkingen tussen model en meting op verdere afstand van emissiebronnen, waarbij het model de metingen overschat, lijken erop te duiden dat fysische processen niet goed genoeg in het gebruikte model worden meegenomen.

De rode draad is dat de modellering van ultrafijnstof complex is. De aanname dat ultrafijnstof zich gedraagt als inerte stof, lijkt verdedigbaar vanaf een bepaalde afstand tot een bron. Wat binnen die afstand gebeurt en hoe zeer dit afhangt van het brontype en de deeltjesgrootteverdeling, moet nader onderzocht worden. Dit is vooral van groot belang in gebieden waarin zich (grote) emissiebronnen bevinden in combinatie met een hoge bevolkingsdichtheid. Voldoende nauwkeurige modellering van blootstelling binnen beperkte afstand tot de bron is hier essentieel. In beide studies wordt het niet of voldoende modelleren van ultrafijnstof pluimdynamiek genoemd als een mogelijke verklaring voor geobserveerde verschillen tussen model en meting. Deze pluimdynamiek moet samen met de nucleatieprocessen, coagulatie, evaporatie en depositie (neerslag) beter begrepen worden om ruimtelijke gradiënten in ultrafijnstof concentraties beter te kunnen modelleren. Het Nederlandse model LOTO-EUROS, in beheer bij TNO, is een van de modellen die aan ultrafijnstof rekent. Met name voor de grotere schaal, denk aan Europees, kan het model mogelijk een onderbouwde schatting van de bijdragen van buiten Nederland geven (Kukkonen, 2016). Voor berekening van processen dicht bij de bron wordt vaak (ook door TNO) gebruik gemaakt van de SALSA module als box model om de effecten van de snelle deeltjes-processen af te schatten (Kokkola, 2008), (Kokkola, 2018). Voor de modelstrategie

wordt dan ook uitgegaan van gebruik maken van de kennis van TNO en andere partijen met soortgelijke kennis.

Emissies

Met het oog op routinematige, nationale modellering van UFP als onderdeel van de nationale monitoring van de luchtkwaliteit, is het op termijn wenselijk om vanuit het beschikbare model OPS (of mogelijk een ander model) jaarlijks gemiddelde UFP concentraties door te kunnen rekenen vanuit de beschikbare emissies. Hierbij is het belangrijk om, los van het totaal aantal deeltjes, de deeltjesgrootteverdeling en andere relevante informatie in de beschikbare informatie over emissies op te nemen, aangezien dit mede het evolutiegedrag van het uitgestoten ultrafijnstof bepaalt.

De DCMR heeft in 2022 door TNO een inventarisatie (Visschedijk, 2022) laten maken van de emissies van ultrafijnstof in de Rijnmond. De emissies zijn vervolgens door de DCMR doorgerekend met behulp van het OPS-model (Elshout, 2022) en vergeleken met de beperkt aanwezige metingen. Voor het uitvoeren van dergelijke berekeningen in geheel Nederland zijn de onderliggende emissiegegevens voor alle relevante bronnen in het hele land noodzakelijk. Dit vereist een nationale emissieregistratie ultrafijnstof, bij voorkeur in verschillende relevante deeltjesgrootteklassen. Om dit te bereiken heeft het RIVM TNO opdracht gegeven te werken aan een manier om data voor ultrafijnstof in de nationale Emissieregistratie (ER) op te nemen. In voorbereiding hierop heeft TNO een notitie geschreven hierover, deze is te vinden in [Bijlage 3](#).

De kostenschatting van de verdere modelontwikkeling en het opnemen van UFP-emissies in ER zal in 2023 worden opgesteld.

3.5 Aandachtspunten

Samenwerking

Op het gebied zowel het meten als het modelleren van ultrafijnstof zal gebruik worden gemaakt van de kennis die bij verschillende partijen in binnen- en buitenland beschikbaar is.

Voor ijking van globale kaarten van ultrafijnstof en modelontwikkeling zal zo veel mogelijk gebruik worden gemaakt van bestaande metingen langs de grenzen van Nederland.

Evaluatie

Het ligt voor de hand de eerste jaren ervaring met meten en modelleren van ultrafijnstof op te doen en zo nieuwe informatie te verzamelen over bronnen en (model)processen. Meetstrategieën waarin ook mobiele metingen voorkomen lenen zich daar het makkelijkste voor. Hierbij zou ook de verhouding van mobiele metingen (relatief veel in de beginfase) en vaste metingen (relatief veel na verloop van tijd) kunnen veranderen.

Referenties

Defra, AIR QUALITY EXPERT GROUP, Ultrafine Particles (UFP) in the UK, 2018.

Beijk, R., et al., Meetstrategie Roet, RIVM Briefrapport 680704025/2014.

ECN, Metingen aan ultrafijnstof rondom Schiphol, ECN rapport E--15-038, 2015.

Bezemer, A., et al., Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol, RIVM Rapport 2015-0110.

Clifford, S., et al., Using the Generalised Additive Model to model the particle number count of ultrafine particles. *Atmospheric Environment* 45: 5934-5945 2011. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.05.004>.

Elshout, S., van den et al., Ultrafijnstof in de Rijnmond; Emissies, modellen en metingen – samenhang met andere luchtvervuiling, DCMR document 22341801, 2022.

Gong, J., et al., Comparisons of ultrafine and fine particles in their associations with biomarkers reflecting physiological pathways, *Environ Sci Technol.* 48: 5264-5273 2014. <https://doi.org/10.1021/es5006016>.

González, Y., et al., Ultrafine particles pollution in urban coastal air due to ship emissions, *Atmospheric Environment* 45: 4907-4914 2011. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.002>.

Hoogerbrugge, R. et al., Grootschalige concentratie-en depositiekaarten Nederland, RIVM Rapport 2021-0068.

James, G., et al., *An Introduction to Statistical Learning*, 2000. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-7138-7>.

Kerckhoffs, J., et al., Robustness of Intra Urban Land-Use Regression Models for Ultrafine Particles and Black Carbon Based on Mobile Monitoring, *Environ. Res.* 159: 500–508 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.040>.

Kerckhoffs, J., et al., Performance of Prediction Algorithms for Modeling Outdoor Air Pollution Spatial Surfaces, *Environ. Sci. Technol.* 53: 1413–1421 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b06038>.

Ketzel, M., et al., Modelling ultrafine particle number concentrations at address resolution in Denmark from 1979 to 2018 - Part 2: Local and street scale modelling and evaluation, *Atmospheric Environment* 264: 1352-2310 2021. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118633>.

Keuken, M.P., et al., Total and size- resolved particle number and black carbon concentrations near an industrial area, *Atmospheric Environment* 122: 196-205 2015.

Kokkola, H., et al., SALSA—a sectional aerosol module for large scale applications. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(9), 2469-2483, 2008.

Kokkola, H., et al., SALSA2. 0: The sectional aerosol module of the aerosol–chemistry–climate model ECHAM6. 3.0-HAM2. 3-MOZ1. 0. *Geoscientific model development*, 11(9), 3833-3863, 2018.

Kukkonen, J., et al., Modelling the dispersion of particle numbers in five European cities, *Geoscientific Model Development* 9, 451--478, 2016, DOI 10.5194/gmd-9-451-2016

Morawska, L., et al., (2019). Ambient ultrafine particles: evidence for policy makers. A report prepared by the 'Thinking outside the box' team.

Simon, M.C., et al., Ultrafine Particle Number Concentration Model for Estimating Retrospective and Prospective Long-Term Ambient Exposures in Urban Neighborhoods. *Environ. Sci. Technol.* 2020 54 (3), 1677-1686. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b03369>.

Duim, T. van der, et al., (RIVM) Presentatie op GTL Congres, 8-9 november 2022.

Visschedijk, A., et al., "UFP emissie in de Rijnmond regio in 2019", TNO 2022 R10616, 2022.

Voogt, M., et al., RIVM. Metingen en berekeningen van ultrafijnstof van vliegverkeer rond Schiphol. Bilthoven, 2019; 2019-0074.

Wesseling, J., et al., Presentatie op de "Deelnemersbijeenkomst Schone Lucht Akkoord", 3 november 2022.

Weijers, E., et al., RIVM. Verkennende metingen aan ultrafijnstof in het IJmondgebied. Bilthoven, 2020; 2020-0095.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

www.rivm.nl

maart 2023

De zorg voor morgen
begint vandaag