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

Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol

RIVM Rapport 2015-0110

A. Bezemer et al.

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

Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol

RIVM Rapport 2015-0110

Colofon

© RIVM 2015
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.

A. Bezemer (RIVM)
J. Wesseling (RIVM)
F. Cassee (RIVM)
P. Fischer (RIVM)
P. Fokkens (RIVM)
D. Houthuijs (RIVM)
B. Jimmink (RIVM)
F. de Leeuw (RIVM)
G. Kos (ECN)
E. Weijers (ECN)
M. Keuken (TNO)
H. Erbrink (ESC)

Contact:
Aad Bezemer
Centrum voor Milieukwaliteit
Aad.Bezemer@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Ministerie van Infrastructuur en Milieu, in het kader van het project Onderzoek ultrafijnstof Schiphol

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

Publiekssamenvatting

Nader verkennend onderzoek ultrafijnstof rond Schiphol

Rond Schiphol zijn de concentraties ultrafijnstof verhoogd als gevolg van de luchtvaart. Direct buiten het luchthaventerrein is de gemiddelde bijdrage van luchtvaartactiviteiten vergelijkbaar met de bijdrage van wegverkeer in straten in binnenstedelijk gebied. Naarmate de afstand tot het luchthaventerrein toeneemt, neemt de concentratie ultrafijnstof af: op zo'n vijftien kilometer van de luchthaven is de bijdrage van de luchtvaart nog circa 20 procent van de bijdrage direct naast het luchthaventerrein.

Ultrafijnstof is het bestanddeel van fijnstof met de allerkleinste afmeting: kleiner dan 0,1 micrometer. In het algemeen wordt aangenomen dat ultrafijnstof schadelijk is. De wetenschappelijke kennis hierover is nog beperkt. Of, en zo ja in welke mate, in de omgeving van Schiphol sprake is van extra gezondheidseffecten als gevolg van de blootstelling aan ultrafijnstof kan op basis van de huidige inzichten niet worden bepaald. Dit blijkt uit verkennend onderzoek dat in opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu is uitgevoerd.

Ultrafijnstof komt zowel van nature in de lucht als door menselijk handelen voor. Vooral door het stoken van hout, verbranden van afval en het gebruik van fossiele brandstoffen in voertuigen voegt de mens ultrafijnstof toe. In het voorjaar van 2015 is voor dit onderzoek de hoeveelheid ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol gemeten door een samenwerkingsverband van vier kennisorganisaties. Ultrafijnstof is in dat gebied voornamelijk afkomstig van wegverkeer, vliegtuigen en overige voertuigen op en rond het luchthaventerrein. Uit de beperkte gegevens die in de wetenschappelijke literatuur beschikbaar zijn, blijken de hoeveelheden ultrafijnstof rond Schiphol vergelijkbaar met die bij andere internationale luchthavens.

De meetresultaten zijn met behulp van modelberekeningen vertaald naar een kaart van een groter gebied om Schiphol heen (circa twintig bij dertig kilometer). In het grootste deel van dit gebied zijn andere bronnen van fijnstof dan de luchtvaart, vooral wegverkeer, bepalend voor de totale hoeveelheid ultrafijnstof in de lucht. De meetgegevens laten zien dat er een extra bijdrage is, afkomstig van het vliegverkeer rond Schiphol en de activiteiten op de luchthaven.

Kernwoorden: luchtkwaliteit, ultrafijnstof, gezondheid, Schiphol

Synopsis

Further exploratory study of ultrafine particulate material around Schiphol

In the vicinity of Amsterdam's Schiphol Airport, concentrations of ultrafine particles (UFPs) are elevated due to aircraft traffic. Immediately beyond the airport perimeter, the average contribution of aviation to the local UFP concentration is comparable to the contribution that road traffic makes to inner-city street UFP levels. As distance from the airport site increases, the UFP concentration diminishes: about fifteen kilometres from the airport, aviation's contribution to the concentration is roughly 20 per cent of what it is immediately outside the airport.

Ultrafine particulate material is the finest fraction of particulate material, made up of particles measuring less than 0.1 micrometre in diameter. Although it is generally accepted that ultrafine particulate material is hazardous, relatively little is known about it. Consequently, it is not currently possible to ascertain whether and, if so, to what extent people living and working near to Schiphol experience adverse health effects as a result of exposure to ultrafine particulate material. Those are the central findings of an exploratory study undertaken for the Ministry of Infrastructure and the Environment.

Both natural processes and human activity contribute to the presence of ultrafine particulate material in the atmosphere. The main contributory human activities are the combustion of wood, the incineration of waste, and the use of fossil fuels in transport. In the spring of 2015, the concentrations of ultrafine particulate material in the atmosphere near to Schiphol Airport were measured by a consortium of four knowledge centres. The ultrafine particulate material in the area originates mainly from road traffic, aviation, and other vehicular traffic on and around the airport site. The limited data available in the scientific literature suggest that the levels measured around Schiphol are similar to those in the vicinity of other international airports.

By means of computer modelling, the measured data were used to generate a map of an area surrounding Schiphol measuring roughly twenty kilometres by thirty. In most parts of the area, the total airborne UFP concentration was attributable mainly to sources other than aviation, with road traffic being the biggest contributor. The measured data show that air traffic around Schiphol and activities on the airport itself do contribute to UFP levels.

Keywords: Air quality; Ultrafine particulate material; UFP; Health; Schiphol Airport

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave—7

Bijlagen—7

Samenvatting—9

1 Inleiding—15

2 Luchtverontreiniging rond luchthavens, emissies en concentraties—17
2.1 Emissies—17
2.2 Concentraties—20
2.3 Conclusies—24
2.4 Referenties—24

3 Metingen, berekeningen en een beschouwing van de resultaten—27
3.1 Inleiding—27
3.2 Aanpak berekeningen—27
3.3 Uitwerking in stappen—29
3.4 Vergelijking van de resultaten met die van andere analyses—40
3.5 Samenstelling van het gemeten ultrafijnstof—41
3.6 Aandachtspunten en onzekerheden—41
3.7 Referenties—42

4 Ultrafijnstof afkomstig van Schiphol en omgeving en mogelijke implicaties voor gezondheid—43
4.1 Inleiding—43
4.2 Gezondheidseffecten gemeten op en rondom luchthavens—43
4.3 Relatie met eerdere bevindingen uit onderzoeken rondom Schiphol—50
4.4 Betekenis van de gemeten ultrafijnstof niveaus voor de blootstelling en gezondheid—51
4.5 Slotbeschouwing—52
4.6 Te overwegen aanbevelingen voor gezondheidskundig onderzoek—53
4.7 Referenties—56

5 Conclusies en aanbevelingen—58

6 Dankwoord—61

Bijlagen
A. Metingen aan ultrafijnstof rondom Schiphol, juli 2015, ECN-E—15-038
B. Ultrafijnstof rondom Schiphol – mei 2015, TNO 2015 R10822
C. Modelberekeningen aan ultra fine particles rond Schiphol, ESC 2015R001
D. Samenvatting GES en Luchtonderzoek, RIVM

Samenvatting

De staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu heeft de Tweede Kamer een nader onderzoek toegezegd naar de aanwezigheid van ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol en de mogelijke gevolgen voor de gezondheid van omwonenden. Deze toezegging is door staatssecretaris gedaan naar aanleiding van de signalen uit metingen van TNO dat het luchtverkeer op Schiphol in de omgeving leidt tot verhoogde concentraties ultrafijnstof.

Als invulling van deze toezegging heeft het Ministerie van Infrastructuur en Milieu aan het RIVM opdracht gegeven voor een nader, verkennend onderzoek, gericht op een inventarisatie van bestaande kennis op basis van internationaal onderzoek voor wat betreft ultrafijnstof rond luchthavens en de daaraan verbonden gezondheidsrisico's. Hierbij is bovendien opdracht gegeven om metingen van ultrafijnstof te doen die gericht zijn op een beter inzicht in zowel de absolute niveaus van ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol, als in de variatie daarvan in ruimte en tijd.

Deze opdracht is door het RIVM in vier onderdelen uitgewerkt:
1. literatuuronderzoek naar internationaal beschikbare gegevens over emissies, verspreiding en concentratieverdeling van ultrafijnstof in de omgeving van luchthavens;
2. nieuwe, verkennende metingen van ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol;
3. generalisatie van de meetresultaten om een jaargemiddelde-concentratieverdeling van ultrafijnstof voor het gebied rondom Schiphol te kunnen opstellen;
4. literatuuronderzoek naar internationaal beschikbare kennis op het gebied van potentieel schadelijke effecten van ultrafijnstof in de buitenlucht rondom luchthavens in relatie tot gezondheidseffecten van bewoners in die omgeving.

De resultaten van deze deelonderzoeken worden achtereenvolgens in dit rapport besproken. Als afsluiting volgen een samenvattende conclusie en enkele aanbevelingen voor mogelijk vervolgonderzoek.

Literatuuronderzoek emissies en concentraties
Deeltjes in de lucht die kleiner zijn dan 0,1 micrometer of wel 100 nanometer(nm[1]) worden ultrafijnstof genoemd. Ultrafijnstof komt vrij bij verbrandingsprocessen zoals bij het stoken van hout, het verbranden van afvalstoffen, het rijden van auto's en het opstijgen en landen van een vliegtuig. De belangrijkste bronnen van ultrafijnstof in de Europese Unie (EU) zijn huishoudens, scheepvaart en wegverkeer. In 2010 zijn deze bronnen verantwoordelijk voor meer dan 90% van de deeltjesaantallen emissies in de lidstaten van de EU. Overige typen verkeer (waaronder vliegverkeer) dragen minder dan 5% bij aan het totaal.

[1] Een nanometer (nm) is een miljardste van een meter.

Er is een duidelijk verschil in de grootte van deeltjes die afkomstig zijn van wegverkeer en van vliegverkeer. De deeltjesgrootte bij wegverkeer ligt rond de 70 nanometer en bij vliegverkeer (dicht bij de bron) rond 20 nanometer. Deze verschillen in emissiekarakteristiek maken het mogelijk bijdragen van deze verschillende bronnen van elkaar te onderscheiden.

Emissies van vliegtuigen zijn het grootst bij opstijgen en landen. Emissies bij taxiën en stationair draaien bij de gate zijn, voor zover bekend, minder groot. Er is wel enige informatie bekend over emissies van ultrafijnstof van stijgende, landende en stationair draaiende vliegtuigen, maar dat beeld is niet erg eenduidig.
Hoewel het aandeel van het vliegverkeer in de totale emissie van ultrafijnstof relatief gering is, vindt die emissie op zeer lokale schaal plaats en kan op korte afstanden van een luchthaven aanzienlijk bijdragen aan de concentraties in de buitenlucht.
Het aantal onderzoeken rond luchthavens is zeer beperkt. Metingen bij Los Angeles International Airport laten zien dat tot een afstand van 900 meter de invloed van stijgende/landende vliegtuigen duidelijk waarneembaar is. Op een afstand van 500 meter wordt een piekconcentratie gemeten van 72.000 deeltjes per cm^3 en een jaargemiddelde-concentratie van 17.000 per cm^3. Bij Warwick (Green International Airport) bedraagt de concentratie op twee kilometer van de startbaan 15.000 deeltjes per cm^3. Voor afstanden groter dan twee kilometer is het voor die situatie gerapporteerde beeld minder duidelijk.
In Europa komen de hoogste gerapporteerde deeltjesaantallen voor in stedelijke, verkeersbelaste situaties. De variatie in gerapporteerde concentraties ultrafijnstof is groot en onderling vaak moeilijk vergelijkbaar omdat de onderzoeksopzet veelal verschilt en niet altijd goed is gedocumenteerd. Een vergelijking van een aantal Europese steden laat op verkeersbelaste situaties ultrafijnstofconcentraties zien variërend van 12.000 per cm^3 (Praag) tot 80.000 per cm^3 (Zürich). In Amsterdam, Rotterdam en Utrecht zijn aantallen gevonden van circa 40.000 per cm^3. Stedelijke achtergrondconcentraties zijn duidelijk lager en variëren in Nederland van 8.000 tot 22.000 per cm^3. Aan deze cijfers moet geen al te absolute waarde worden toegekend, ze geven wel een *indicatie* van de ordegrootte. Nederlandse steden lijken in dit opzicht niet af te wijken van andere Europese steden.

Metingen rondom Schiphol
Tijdens de eerste fase van de metingen is vastgesteld welke concentratieniveaus rondom Schiphol voorkomen en hoe de ruimtelijke verdeling grofweg is. Mede op basis van deze informatie zijn gedurende de tweede fase op tien locaties in de omgeving van Schiphol gedurende 4-6 weken ultrafijnstofmetingen uitgevoerd.
De metingen van de eerste fase met mobiele apparatuur op verschillende locaties rond Schiphol laten verhoogde concentraties zien van ultrafijnstof. De hoogste concentraties zijn te zien naast de start- en landingsbanen. Gemeten piekwaarden (gemiddeld over 10 seconden) bedragen 200.000 tot 300.000 deeltjes per cm^3. Bij toenemende afstand neemt de deeltjesconcentratie sterk af. In het gebied dat grofweg wordt afgebakend door de A9, N232, N201 en N205 komen jaargemiddelde-concentraties ultrafijnstof voor van ca 15.000 deeltjes per cm^3. De metingen laten zien dat het vooral om deeltjes kleiner dan 30 nanometer

gaat. De metingen tijdens de eerste fase zijn uitgevoerd met de beperkt beschikbare hoogwaardige apparatuur. Om in de tweede fase, met vaste meetpunten, op zo veel mogelijk locaties te kunnen meten, is in deze fase ook met eenvoudigere (hand)apparatuur gemeten. Deze apparaten zijn op locaties in woongebieden rond Schiphol geplaatst om ook daar een indicatie te krijgen van optredende concentraties ultrafijnstof. Er is door een kalibratie voor gezorgd dat de uitkomsten van de verschillende apparaten wel onderling vergelijkbaar zijn.
De resultaten van de metingen in de tweede fase bevestigen het beeld van de eerste fase: een duidelijke verhoging ten gevolge van het vliegverkeer die afneemt met toenemende afstand. De meetresultaten laten eveneens zien dat waar sprake is van een verhoogde bijdrage, de toename vooral wordt veroorzaakt door deeltjes met een grootte van 10-20 nanometer. De resultaten sluiten aan bij het beeld dat uit het literatuuronderzoek naar voren komt.

Berekende jaargemiddelde-concentratieverdeling
Omdat er geen gedetailleerde emissiegegevens voor ultrafijnstof van vliegtuigen bekend zijn, is een methodiek ontwikkeld waarmee het mogelijk is om toch een concentratieverdeling voor een gebied rondom Schiphol te kunnen berekenen. Hierbij is gebruik gemaakt van door het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) geleverde detailinformatie over de vliegbewegingen tijdens de uitgevoerde metingen. Dit heeft geresulteerd in een berekende concentratieverdeling voor een gebied van twintig bij dertig kilometer rondom Schiphol. Omdat er bij de berekening verschillende aannames zijn gedaan, is het belangrijk te beseffen dat de berekende concentraties een grote onzekerheid (tot een factor twee) kennen. Uit de berekeningen kan worden afgeleid dat een bijdrage aan de concentraties ultrafijnstof van circa 3.000 deeltjes per cm^3 tot op een afstand van vijftien kilometer van Schiphol mogelijk is. Bij woonlocaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen kan de jaargemiddelde-bijdrage oplopen tot circa 15.000 per cm^3. Dit is vergelijkbaar met die van wegverkeer in verkeersbelaste straten in binnenstedelijk gebied. Over een geheel jaar genomen is in 5% van de tijd een bijdrage van meer dan 50.000 deeltjes per cm^3 mogelijk.

Gezondheidseffecten van ultrafijnstof
In dit deel van het onderzoek is in de wetenschappelijke literatuur gezocht naar studies op het gebied van potentieel schadelijke effecten voor de mens van ultrafijnstof in de buitenlucht.
Er zijn geen studies gevonden die betrekking hebben op de gezondheidseffecten van blootstelling aan ultrafijnstof in relatie tot het wonen rondom een luchthaven. Evenmin zijn er studies gepubliceerd over gezondheidseffecten van lange termijn blootstelling aan ultrafijnstof afkomstig van andere bronnen dan luchthavens. Er is wel literatuur gepubliceerd over klinisch onderzoek waarbij vrijwilligers bijvoorbeeld kortdurend (twee uur) werden blootgesteld aan zeer hoge hoeveelheden ultrafijnstof. Daarbij bleken tijdelijke effecten op te treden op het systeem van hart en bloedvaten en het ademhalingssysteem. Uit deze literatuur komt echter geen eenduidig beeld naar voren voor wat betreft de relatie tussen blootstelling aan ultrafijnstof en het optreden van gezondheidseffecten. Wel kan worden vastgesteld dat ultrafijnstofdeeltjes zo klein zijn dat ze ook via de longen in de

bloedbaan kunnen doordringen en zo andere organen kunnen bereiken. Daarom wordt er vanuit gegaan dat een langdurige blootstelling kan leiden tot chronische gezondheidseffecten. Maar op basis van deze literatuur kunnen acute veranderingen in gezondheidsmaten bij de in de buitenlucht voorkomende uurniveaus rondom Schiphol niet worden uitgesloten. Het gaat dan bijvoorbeeld om effecten op het hart- en vaatstelsel en het ademhalingssysteem.
Een complicerende factor bij dit soort onderzoek is dat ultrafijnstof sterk gecorreleerd kan zijn aan andere verbrandingsproducten, waardoor een onafhankelijk ultrafijnstofeffect moeilijk is vast te stellen.

De Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) is in het kader van deze studie opnieuw bekeken. De evaluatie startte in het begin van de jaren negentig van de vorige eeuw. In de GES is de blootstelling aan luchtverontreiniging gerelateerd aan mogelijke effecten op luchtwegaandoeningen, en niet aan mogelijke effecten op aandoeningen van het hart- en vaatstelsel. Deze laatste aandoeningen werden alleen in relatie tot blootstelling aan vlieggeluid onderzocht. In het licht van de huidige kennis zou het zinvol zijn geweest om ook naar mogelijke effecten van luchtverontreiniging op het hart- en vaatstelsel te kijken. Maar ook dan zou de zeggingskracht maar beperkt zijn geweest, gezien de tekortkomingen in de blootstellingskarakterisering. De blootstelling nu is anders dan tijdens de GES, onder andere door de ingebruikname van de Polderbaan. Opnieuw interpreteren van de gegevens van de GES zal daarom nu geen zinvolle resultaten meer opleveren.

Conclusies en aanbevelingen
Direct buiten het luchthaventerrein is de gemiddelde-bijdrage aan de concentraties ultrafijnstof van luchtvaartactiviteiten vergelijkbaar met die van wegverkeer in straten in binnenstedelijk gebieden. Op zo'n vijftien kilometer van de luchthaven bedraagt de bijdrage van de luchtvaart nog circa 20% van de bijdrage naast het luchthaventerrein. Dit wijkt niet af van het beeld dat rondom andere luchthavens wordt gevonden.

Een vergelijking met resultaten van andere studies kan alleen globaal zijn omdat de onderzoeken verschillen voor wat betreft de toepaste meetmethode, de heersende weersomstandigheden en de aard en intensiteit van het vliegverkeer.

Op basis van de beschikbare literatuur kunnen acute veranderingen in gezondheidsmaten (gerelateerd aan het functioneren van het hart- en vaatsysteem en het ademhalingssysteem) bij de in de buitenlucht tijdelijk voorkomende uurniveaus rondom Schiphol niet worden uitgesloten.

Bij gebrek aan studies over de gezondheidseffecten van ultrafijnstof bij zowel omwonenden van vliegvelden als andere blootstellingssituaties, is het niet mogelijk om aan te geven of, en zo ja in welke mate, een langetermijnblootstelling aan deze bijdrage van ultrafijnstof nadelige effecten zal hebben op de gezondheid van omwonenden.

De mate waarin effecten op de gezondheid van omwonenden eventueel optreden, kan alleen via nader onderzoek worden vastgesteld. Het wordt

aanbevolen nader onderzoek uit te laten voeren die gericht is op de mogelijke acute en langetermijngezondheidseffecten van ultrafijn stof afkomstig van luchthavens.

Het effect van kortetermijnblootstelling kan worden onderzocht door bijvoorbeeld gezondheidsparameters, enkele malen herhaald, bij een beperkte groep mensen die aan relatief hoge niveaus kunnen worden blootgesteld (bijvoorbeeld dicht bij een in gebruik zijnde baan) te meten.

Het effect van langetermijnblootstelling kan worden onderzocht door bijvoorbeeld sterftestatistieken of medicatiegebruik (als maat voor specifieke aandoeningen) in de regio Schiphol te koppelen aan de berekende ultrafijnstofbijdrage op adresniveau.

Wij achten het zinvol om een vervolgonderzoek in samenspraak met (inter)nationale collega's te formuleren om zoveel mogelijk gebruik te maken van kennis die nu in ontwikkeling is. In een (inter)nationale workshop (met Los Angeles, betrokken GGD'en en Nederlandse en internationale universiteiten en kennisinstellingen) wordt samenwerking en afstemming gezocht om zo efficiënt en effectief mogelijk tot een gedragen voorstel te komen.

1 Inleiding

Eind 2014 is door TNO[2] een artikel gepubliceerd waarin verslag wordt gedaan van een onderzoek naar ultrafijnstof rondom Schiphol. De belangrijkste conclusie van het onderzoek was dat Schiphol een bron is van ultrafijne deeltjes, waarvan de verspreiding leidt tot verhoogde concentraties van die deeltjes. Deze publicatie heeft geleid tot vragen in de Tweede Kamer aan de staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu. Hierop heeft de staatssecretaris toegezegd een nader, verkennend onderzoek te laten uitvoeren om beter zicht te krijgen op de urgentie van het probleem.
Dit nader, verkennend onderzoek is vervolgens door de directie Klimaat, Lucht en Geluid van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu aan het RIVM opgedragen en omschreven als:

- een inventarisatie van bestaande kennis op basis van internationaal gepubliceerd en lopend onderzoek aangaande de luchtkwaliteit voor wat betreft ultrafijnstof rond luchthavens (zoals verspreiding, concentraties en samenstelling), alsmede als referentiekader een samenvatting van de huidige kennis omtrent de gezondheidsrisico's van ultrafijnstof die afkomstig is van andere bronnen, zoals wegverkeer;
- metingen van ultrafijnstof – in aanvulling op die van TNO – gericht op beter inzicht in zowel de absolute niveaus van ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol, als in de variatie daarvan in ruimte en tijd.

Voorts is gevraagd om op basis van de bevindingen advies te geven over de vraag of nader gezondheidskundig onderzoek zinvol en haalbaar is.

Deze opdracht is door het RIVM in de volgende deelonderzoeken uitgewerkt:

- Inventarisatie van resultaten van in de internationale literatuur beschikbare metingen.
  Bestaande literatuur wordt geanalyseerd voor wat betreft gegevens over emissies, verspreiding en concentratieverdeling van ultrafijnstof rondom luchthavens. Deze inventaristie kan een referentie geven voor de situatie rondom Schiphol.
- Nieuwe, verkennende metingen van ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol.
  De eerdere metingen van TNO worden gedurende een periode van twee maanden op één vaste plaats uitgevoerd. Een uitgebreider meetprogramma moet leiden tot een beter onderbouwde conclusie met betrekking tot de niveaus en verdeling van de voorkomende concentraties ultrafijnstof in de omgeving van Schiphol.
- Generalisatie meetresultaten.
  Op basis van een modelmatige generalisatie van de beschikbare meetresultaten zal een jaargemiddelde-concentratieverdeling voor het gebied rondom rond Schiphol worden opgesteld. Dit geeft een indicatie van de mate van blootstelling van bewoners in dit gebied.

[2] Keuken M, Moerman M, Zandveld P, Henzing B, Brunekreef B, Hoek G. Ultrafijn stof rondom Schiphol. Tijdschrift Lucht 2014, nr. 6.

- Huidige kennis van gezondheidsrisico's.
  Er wordt een literatuurstudie uitgevoerd naar de beschikbare kennis op het gebied van de potentieel schadelijke effecten van ultrafijnstof in de buitenlucht op en rondom luchthavens in relatie tot gezondheidseffecten van de bewoners rondom de vliegvelden.
- In aanvulling op de literatuurstudie zal worden gekeken naar de relatie met eerdere bevindingen uit de rond het jaar 2000 uitgevoerde onderzoeken in de regio in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol.

Leeswijzer
Na deze algemene inleiding volgen de inhoudelijke hoofdstukken. De hiervoor genoemde deelonderzoeken zijn door verschillende partijen uitgevoerd en gerapporteerd. De rapportages van de literatuurstudies (uitgevoerd door het RIVM) zijn als hoofdstukken compleet in dit rapport opgenomen. De resultaten van de metingen (uitgevoerd door ECN en TNO) en de daarop gebaseerde berekeningen (uitgevoerd door ESC) zijn in een apart hoofdstuk samengevat. De onderliggende rapportages zijn als bijlagen in dit rapport opgenomen. Deze aanpak heeft geleid tot de volgende indeling.
Hoofdstuk 2 geeft de resultaten van het uitgevoerde literatuuronderzoek naar voorkomende emissies en concentraties van ultrafijnstof in de buitenlucht. Het daarop volgende hoofdstuk 3 beschrijft hoe op basis van de metingen berekeningen zijn uitgevoerd om uiteindelijk tot een schatting van de jaargemiddelde-concentratieniveaus te komen in het gebied rondom Schiphol. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten weer van de literatuurstudie naar gezondheidseffecten van blootstelling aan ultrafijnstof. In hoofdstuk 5 zijn de conclusies van de verschillende deelonderzoeken kort samengevat en worden aanbevelingen gedaan voor mogelijk vervolgonderzoek. Afsluitend volgen de verschillende bijlagen.

Wat wordt bedoeld met ultrafijnstof?

Stof in de lucht bestaat uit deeltjes van uiteenlopende groottes. De term 'fijnstof' wordt vaak gebruikt om deze deeltjes aan te duiden, afgekort tot PM10. Met PM10 worden deeltjes met een afmeting kleiner dan 10 micrometer bedoeld. Binnen PM10 onderscheiden we nog kleinere deeltjes, namelijk deeltjes die kleiner zijn dan 2,5 micrometer (PM2,5). Ultrafijnstof is het bestanddeel van fijnstof met de allerkleinste afmeting: kleiner dan 0,1 micrometer ofwel 100 nanometer.

De RIVM-brochure *Ultrafijnstof en gezondheid* (RIVM 2013) geeft een uitgebreidere beschrijving van wat fijnstof is en gaat uitgebreider in op de gezondheidseffecten van fijnstof.

2 Luchtverontreiniging rond luchthavens, emissies en concentraties

Het is bekend dat op luchthavens emissies van vliegtuigmotoren samen met emissies van grondmaterieel significant bijdragen aan hoge concentraties luchtverontreiniging waaraan grondpersoneel wordt blootgesteld (Ellermann et al., 2011; Kurniawan en Khardi, 2011). Blootstelling aan luchtverontreiniging in de omgeving van luchthavens kan de gezondheid van omwonenden schaden. De focus van de literatuur die beschreven wordt in dit hoofdstuk, ligt op (bronnen van) ultrafijne deeltjes op en rond luchthavens, zoals Schiphol. De ultrafijne fractie is het deel van fijn stof met deeltjesgrootten kleiner dan 100 nanometer (nm). Ultrafijnstof heeft qua massa geen significant aandeel aan de fijnstofconcentratie, maar bepaalt wel het grootste deel van de deeltjesaantallen. Ultrafijne deeltjes die worden gevormd in vliegtuig- en dieselmotoren door onvolledige verbranding, bestaan voor een groot deel uit organische koolstofverbindingen (condensaten). Vliegtuigmotoren worden verondersteld ook een belangrijke bron van anorganische sulfaatdeeltjes te zijn, als gevolg van het hoge zwavelgehalte in vliegtuigbrandstof. Deze deeltjes spelen daarom ook een belangrijke rol bij de vorming van ultrafijnstof.

Om een vergelijking te kunnen maken tussen de situatie bij Schiphol en bij andere (internationale) luchthavens is een inventariserend literatuuronderzoek uitgevoerd naar ultrafijnstofgegevens bij andere luchthavens. Gebleken is dat het aantal artikelen met betrekking tot metingen van emissies, verspreiding en concentratieverdeling van ultrafijnstof rondom luchthavens beperkt is.

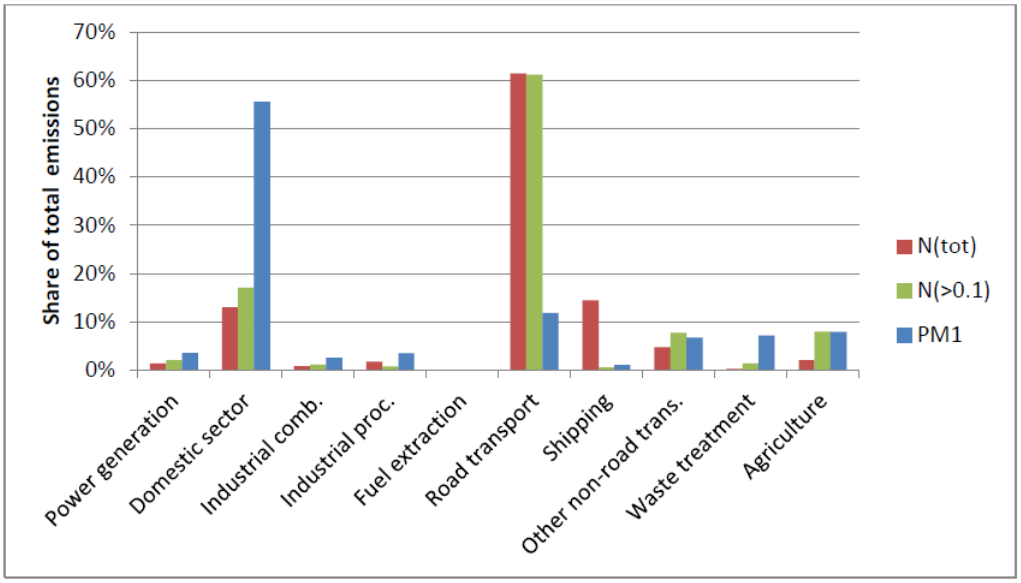
De bijdrage van het vliegverkeer aan de voorkomende concentraties hangt af van de uitgestoten hoeveelheid (emissie) ultrafijnstof, de verspreiding daarvan in de omgeving en eventuele andere bronnen, zoals snelwegen.

2.1 Emissies

Het aandeel van niet-wegverkeer aan de totale emissie van ultrafijnstof in de 28 lidstaten van de Europese Unie (EU28) is gering, hoewel lokale piekbelasting mogelijk substantieel bijdraagt aan blootstelling.
In 2010 zijn wegverkeer, scheepvaart en huishoudens verantwoordelijk voor meer dan 90% van de deeltjesaantallen emissies in de EU28 (Paasonen et al., 2013). De bijdrage van wegverkeer is 65% en van het overig verkeer (niet-wegverkeer en niet-scheepvaart), minder dan 5% van de totale deeltjes emissie.
Het aandeel van de Nederlandse emissies aan het totaal van de EU28 is 2,4%. Paasonen et al. (2013) schatten dat de emissies in 2020 circa 50% lager liggen dan in 2010; de verwachting is dat deze daling grotendeels wordt bereikt door een reductie in emissies van het wegverkeer. Voor Nederland wordt voor de periode 2010-2020 de verwachte afname in totale emissie op 70% geschat.

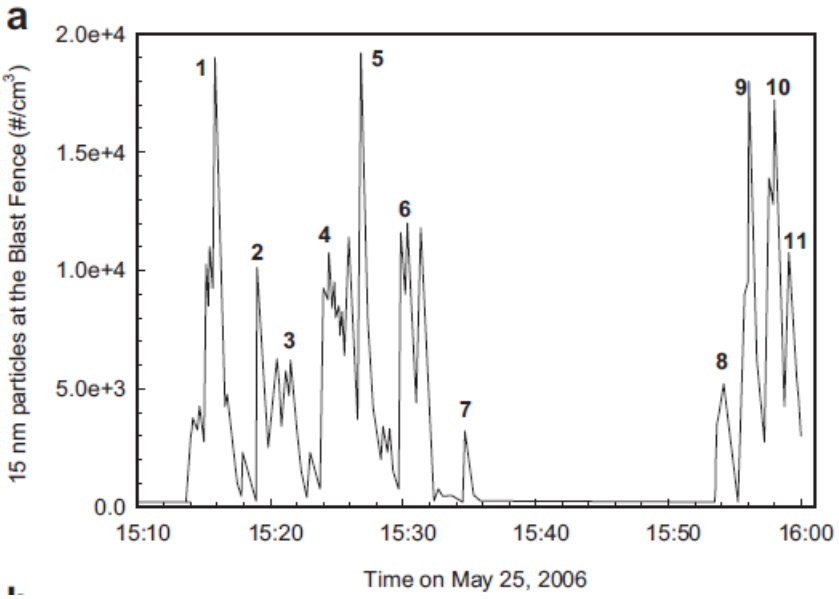
Tabel 1. Emissies van ultrafijnstof in EU28 en voor Nederland in 2010 en 2020 (Paasonen et al, 2013).

Emissies (x10^{23} deeltjes)		
(Dp<100nm)	**2010**	**2020**
EU28-totaal	10.572	5.360
wegverkeer	6.498	1.603
scheepvaart	1.812	1.766
huishoudens	1.292	1.179
overig verkeer	440	309
Nederland	260	73



Figuur 1. Procentuele verdeling van emissie van het aantal deeltjes (totaal aantal deeltjes N_{tot} en deeltjes groter dan 0.1 nm $N_{>0.1}$) en van de PM1 (massa) voor verschillende sectoren in EU28 voor het jaar 2010. Huishoudens, scheepvaart en wegverkeer zijn de belangrijkste bronnen van ultrafijne deeltjes. (bron: Paasonen et al., 2013)

Onderzoek rondom vliegvelden (Westerdahl et al., 2008) en in de directe uitlaat van de motoren (Kinsey et al., 2010) tonen aan dat de hoogste emissie plaatsvindt tijdens opstijgen en landen (motoren vol gas, zie Figuur 2). Onder deze omstandigheden verbruiken vliegtuigen verhoudingsgewijs de meeste brandstof. Emissies tijdens taxiën en van stationair draaien bij de gate zijn minder groot, al worden de hoogste emissiefactoren per kg brandstof wel gemeten bij taxiën en stationair draaien. Emissiefactoren (uitgedrukt in aantal deeltjes per kg brandstof) zijn bekend voor een aantal vliegtuigtypen/-motoren en variëren van 10^{15}-10^{17} deeltjes per kg brandstof (Kinsey et al., 2010; Masiol en Harrison, 2014; Mazaheri et al., 2009; Zhu et al., 2011). Preciezere getalen en verwijzingen betreffende vliegtuigemissies zijn in Tabel 2 te vinden.



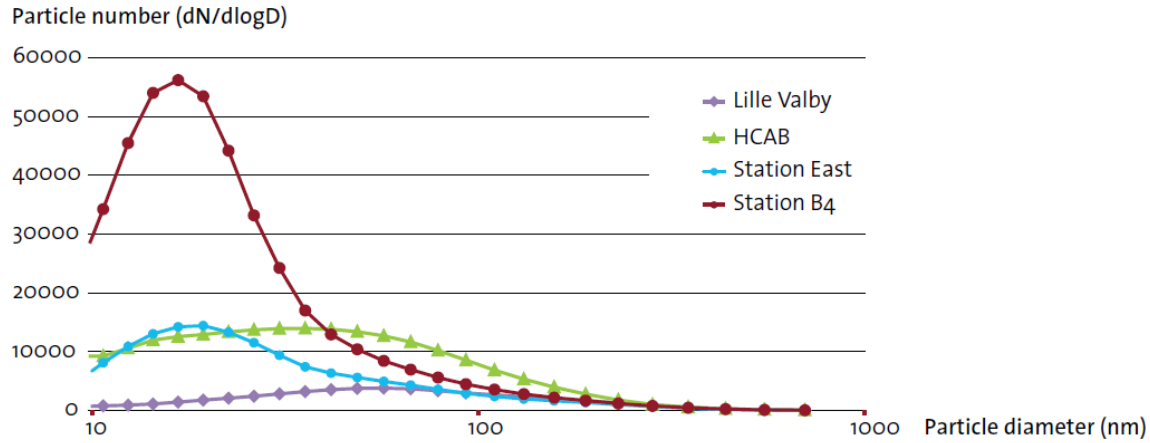
Figuur 2. Deeltjesconcentraties (15 nm) direct bij het begin van de startbaan (Los Angeles, LAX). De cijfers corresponderen met het vertrek van een vliegtuig. Bron: Zhu et al., 2011.

Tabel 2. Emissiefactoren van ultrafijne deeltjes ten gevolge van vliegbewegingen. (Kumar et al., 2013)

Deeltjes aantallen emissiefactor (# kg–1 brandstof)	**Grootte (nm)**	**Opmerking**	**Auteurs (jaar)**
4.2–54×1015 kg-1	4-710	Diverse modes van land-/ opstijgcyclus	Mazaheri et al. (2009)
3–50×1015 kg–1	>7	Pluimen bij stationair draaien en opstijgen	Herndon et al. (2008)
1-100x1015 kg–1	5.6- 560	Pluimen bij stationair draaien en opstijgen	Kinsey et al. (2010)
34×1015 kg-1	7-320	Pluimen bij opstijgen	Zhu et al. (2011)

Brandstofeigenschappen, met name het zwavelgehalte, hebben een significante invloed op de emissies. Vliegtuigbrandstof heeft nog een veel hoger zwavelgehalte, bijoorbeeld 900 ppm (Ellermann et al., 2011) of 50-1270 ppm (Petzold et al., 2003), vergeleken met brandstof ten behoeve van wegverkeer. Dat leidt dus tot hoge SO_x-emissies die via nucleatie van zwavelzuur veel nanodeeltjes kunnen vormen. Voor brandstoffen met een hoog zwavelgehalte constateerden Petzold et al. (2003) de vorming van hoge deeltjesaantallen (<10 nm). De deeltjesaantallen-emissiefactor nam van laagzwavelige naar hoogzwavelige brandstof toe met een factor 2-3. Kinsey et al. (2010) hebben bij toenemend zwavelgehalte een exponentiële en lineaire toename gemeten in emissies, respectievelijk van deeltjesaantallen en van massa. Rapportages van dit verband zijn in de literatuur consistent (Agrawal et al., 2008a; Schröder et al., 1998). Dit komt vooral door het waarschijnlijke verband tussen zwavelzuurvorming en het zwavelgehalte in de brandstof door processen van nucleatie en condensatie (Jones et al., 2012; Wåhlin, 2009).

Kleine deeltjes met diameters van 10-40 nm domineren de gemeten deeltjesgrootteverdeling van vliegtuigemissies, zie Figuur 3 (Buonanno et al., 2012b; Kinsey et al., 2010; Mazaheri et al., 2009; Rogers et al., 2005; Zhu et al., 2011). Herndon et al. (2008) constateerden een mode rond ongeveer 65 nm gerelateerd aan pluimen tijdens opstijgen en een kleinere mode (rond 25 nm) voor pluimen van stationair draaiende motoren.



Figuur 3. Deeltjes geëmitteerd door het vliegverkeer worden gekenmerkt door een grootte van 10-40 nm. De deeltjesgrootteverdelingen Station East en Station B4 zijn gemeten op de luchthaven van Kopenhagen; HCAB is een meetpunt aan een (zeer) drukke weg in Kopenhagen, Lille Valby is een achtergrondlocatie.(Bron: Danish Ecocouncil, 2012)

Mazaheri et al. (2011) berekenen een jaartotaalaantal deeltjes van luchthaven Brisbane van 1.98×10^{24}. Winther et al. (2015) hebben een zeer gedetailleerde emissie-inventarisatie gemaakt van vliegveld Kopenhagen. 95% van de ultrafijnstofemissies is afkomstig van de motoren, de overige 5% van handling, et cetera. Omgerekend naar het jaartotaal heeft vliegveld Kopenhagen een deeltjesemissie van 2.04×10^{24}. De vliegbewegingen in 2014 op luchthaven Brisbane en Kopenhagen waren respectievelijk 226.000 en 251.000.

2.2 Concentraties

Hoewel het aandeel van vliegverkeer relatief gering is, vindt de uitstoot zeer lokaal (op en rond vliegvelden) plaats en kan op korte afstanden van de luchthaven aanzienlijk bijdragen aan de buitenluchtconcentraties. Bij overwegend voorkomende windrichting(en) kan een dichter bevolkt gebied worden blootgesteld dan bij overige windrichtingen. Vliegvelden maken het meest gebruik van de landings- en startbanen die zijn aangelegd in de richting van de overheersende windrichting.

Concentraties in steden

De variabiliteit van gerapporteerde ultrafijnstofconcentraties in steden is groot. Een directe vergelijking van gepubliceerde meetresultaten is lastig omdat niet in alle gevallen duidelijk is welke indicator wordt gegeven (mediaan, gemiddelde), de meetperiode sterk verschillend kan zijn (campagnes versus lange termijn) en meettechnische verschillen (bijvoorbeeld de bemonsterde deeltjesgrootten, het wel of niet drogen

van de bemonsterde lucht) een onderlinge vergelijking bemoeilijken. De locatie van het meetpunt, in het bijzonder de afstand tot het verkeer, is niet altijd voldoende gedocumenteerd.

Tabel 3. Deelverzameling van meetstudies aan ultrafijne deeltjesaantallen in Europese steden. Meetstudies zijn uitgevoerd in verkeersbelaste situaties op een afstand van maximaal tien meter naast de weg om representatief voor piekblootstellingen te zijn (Kumar et al., 2014).

Studie*	**deeltjes-grootte interval (nm)**	**stad (land)**	**deeltjes-aantal (# cm^3)**	**meetjaar/-jaren**
Ondrácek et al. (2011)	25-25.000	Praag (Tsjechië)	11.600	2009
Von Bismarck-Osten et al. (2013)	19,2-800	Londen (GB)	22.941	2008-2010
Putaud et al. (2010)	10+	Londen (GB)	78.400	2001-2004
Reche et al. (2011)	7-10.000	Londen (GB)	22.156	2001
Kumar et al. (2008)	10-2.500	Cambridge (GB)	30.200	2007
Longley et al. (2003)	4-100	Manchester (GB)	27.000	2001
Agus et al. (2007)	5-1.000	Leicester (GB)	64.200	2005
Puustinen et al. (2007)	7-3.000	Birmingham (GB)	20.000	2002-2004
Birmili et al. (2013)	3-800	Dresden (Duitsland)	36.685	2010-2011
Can et al. (2011)	20-500	Antwerpen (België)	12.367	2009
Weber (2009)	20-750	Essen (Duitsland)	16.789	2008
Voigtlander et al. (2006)	3-800	Leipzig (Duitsland)	17.119	2003-2004
Birmili et al. (2009)	10-500	Berlijn (Duitsland)	28.000	2005
Vakeva et al. (1999)	6-300	Lahti (Finland)	39.000	1995
Pirjola et al. (2006)	3-10.000	Helsinki (Finland)	67.000	2003-2004
Puustinen et al. (2007)	7-3.000	Helsinki (Finland)	14.000	2002-2004
Putaud et al. (2010)	10-10.000	Helsinki (Finland)	19.576	1996-1997
Puustinen et al. (2007)	7-3.000	Athene (Griekenland)	24.000	2002-2004
Puustinen et al. (2007)	**7-3.000**	**Amsterdam (Nederland)**	**31.000**	**2002-2004**
Boogaard et al. (2010)	**10+**	**Utrecht (Nederland)**	**38.635**	**2008**
Paatero et al. (2005)	10+	Barcelona (Spanje)	59.270	2001
Paatero et al. (2005)	10+	Rome (Italië)	46.799	2001
Wåhlin (2009)	6-700	Kopenhagen (Denemarken)	19.224	2007
Ondrácek et al. (2011)	25-2500	Praag (Tsjechië)	35.900	2008
Gomiscek et al. (2004)	7+	Wenen (Oostenrijk)	26.200	2002-2003
Gomiscek et al. (2004)	7+	Linz (Oostenrijk)	23.400	2002-2003
Gomiscek et al. (2004)	7+	Graz (Oostenrijk)	22.500	2002-2003
Morawska et al. (2004)	13-830	Salzburg (Oostenrijk)	30.000	1998
Bukowiecki et al. (2003)	3+	Zürich (Zwitzerland)	80.000	2001-2002
Reche et al. (2011)	7-1.000	Bern (Zwitserland)	28.032	2009
Putaud et al. (2010)	10+	Bern (Zwitserland)	30.839	2005-2008

* Verwijzingen naar de studies zijn te vinden in Kumar et al (2014).

De grootste bijdrage aan deeltjesaantallen is afkomstig van wegverkeer. De hoogste deeltjesaantallen worden dan ook gevonden in verkeerssituaties. Kumar et al. (2014) vergelijken de situatie in een aantal steden in Europa.
Volgens Kumar et al. (2014) zijn de deeltjesaantallen op verkeersbelaste locaties in Amsterdam (gemiddelde bij 22 woningen) en Utrecht (Weerdsingel) respectievelijk 31.000 en 38.635 per cm^3; dit ligt rond het Europees gemiddelde van 31.500±16.000 per cm^3. In overeenstemming hiermee rapporteren Reche et al. (2011) concentraties van 28.000 cm^3 (Bern) en 22.000 per cm^3 (Londen). Nederlandse studies geven in Rotterdam (Keuken et al., 2012) en Amsterdam (Hoek et al., 2011) concentraties van circa 40.000 per cm^3.

De in Nederland gemeten deeltjesconcentratie in verkeerssituaties wijkt niet af van die gemeten in andere Europese steden.

Tabel 4. Stedelijke achtergrondconcentraties van deeltjesaantallen.

Studie*	**stad (land)**	**deeltjesaantal (# cm^3)**
Borsos et al. (2012)	Boedapest (Hongarije)	10.600
	Praag (Tsjechië)	7.300
	Wenen (Oostenrijk)	8.000
Reche et al. (2011)	Barcelona (Spanje)	17.000
	Lugano (Italië)	15.000
	Londen (GB)	12.000
Keuken et al. (2012)	**Rotterdam (Nederland)**	**8.000**
Hoek et al. (2011)	**Amsterdam (Nederland)**	**22.000**
JOAQUIN (2015)	**Amsterdam**	**9500**
	Antwerpen	13000
	Leicester	8500
	Londen	8500

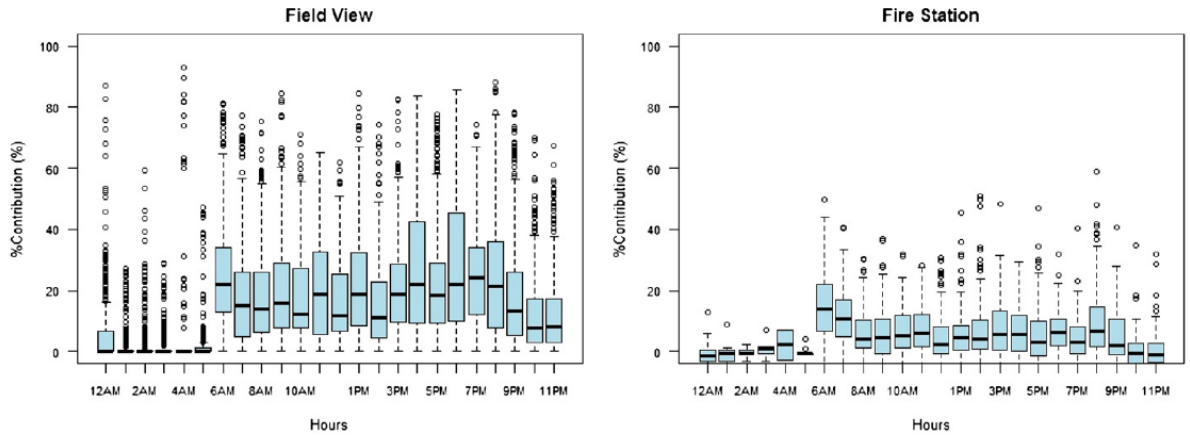
Stedelijke achtergrondconcentraties zijn lager. De mediaanwaarden-deeltjesaantallen zijn in Budapest, Praag en Wenen respectievelijk 10.600, 7.300, 8.000 per cm^3. 74-80% hiervan is ultrafijn (< 100 nm). In Barcelona, Lugano en Londen bedragen de achtergrondconcentraties 17.000, 15.000, 12.000 per cm^3. In Rotterdam ligt de jaargemiddelde-ultrafijnstofachtergrondconcentratie (< 100 nm) rond 8.000 per cm^3. In Amsterdam zou de mediaanwaarde aanzienlijk hoger zijn: 22.000 cm^3. Deze relatief hoge waarde kan samenhangen met de toegepaste berekeningsmethode (land use regression). Recente metingen, uitgevoerd in het kader van het JOAQUIN-project (Joint Air Quality Initiative, Joaquin, 2015), resulteren voor Amsterdam een lagere jaargemiddelde-stadsachtergrondconcentratie (rond de 9.500 per cm^3) die vergelijkbaar is met de concentratie in andere JOAQUIN-steden.

Voor de stadsachtergrond laten de schaarse metingen relatief grote verschillen zien tussen steden. De waargenomen ultrafijnstofachtergrondconcentratie in Nederlandse steden is van dezelfde orde van grootte als die in andere Europese steden.

Bijdragen van vliegvelden

Metingen rondom Los Angeles International Airport (LAX) zijn in een viertal publicaties gerapporteerd. Dicht bij de startbaan tot op een afstand van 900 meter is de invloed van opstijgende/landende vliegtuigen duidelijk waarneembaar. Op 500 m bedraagt de concentratie 17.000 per cm^3 (mediaan, met pieken tot 72.000 per cm^3). Bij een kleiner vliegveld in Los Angeles (Santa Monica) werden in vergelijking tot een bovenwinds meetpunt verhoogde ultrafijnstofconcentraties (factor 4-7, afhankelijk van de meetperiode) gevonden in woonwijken op 80-400 meter benedenwinds van de startbaan. Eveneens in de Verenigde Staten, bij Warwick (Green International Airport), bedraagt de concentratie op circa twee kilometer van de startbaan 15.000 per cm^3. Bij metingen in Denemarken bij de gate op de luchthaven van Kopenhagen is het aantal ultrafijnstofdeeltjes twee tot drie keer hoger dan in een drukke straat in Kopenhagen (Danish Ecocouncil, 2012).

Voor grotere afstanden tot het vliegveld is het beeld nog minder duidelijk. Hudda et al. (2014) meten op een afstand van 8-10 kilometer een toename met een factor 4 (ten opzichte van de stedelijke achtergrond) ten gevolge van emissies op Los Angeles International Airport (LAX). Het valt niet uit te sluiten dat deze verhoging het gevolg is van emissies tijdens het aanvliegen. Wanneer een landend vliegtuig zo ver is gedaald dat het binnen de menglaag zit, kunnen emissies zich verspreiden naar leefniveau. Op grotere afstand van LAX (18 kilometer) wordt de concentratie gedomineerd door het wegverkeer (‘high emitting vehicles, HEV); het vliegveld wordt niet vermeld als belangrijke bron. In Brisbane is bij een windroosanalyse de invloed van een op 12-18 kilometer afstand gelegen complex van haven, olieraffinaderij en vliegveld ‘waarneembaar’. De bijdrage van het complex bedraagt 9-14% maar onderscheid naar specifieke bronnen is niet vermeld.



Figuur 4. De berekende relatieve bijdrage van landen/opstijgen aan de totale deeltjesconcentraties voor twee meetpunten in de omgeving van TF Green Airport (Warwick). Field View ligt op korte afstand (160 m) tot de belangrijkste taxi- en startbaan; Fire Station ligt op 900 m van de terminal. (Bron: Hsu et al., 2012)

Figuur 4 laat op een tijdas de verschillen zien tussen een locatie op 160 meter en op 900 meter van een start- en landingsbaan van de berekende procentuele bijdrage aan de totale deeltjesconcentratie.

2.3 Conclusies

- Luchtvaart vormt alleen lokaal een belangrijke bron van ultrafijnstofemissies (opstijgen, dalen). Vliegtuigemissies zijn laag in vergelijking met de uitstoot van wegverkeer, huishoudens en scheepvaart.
- De ultrafijnstofconcentratie die gemeten is in Nederlandse steden (achtergrond en op verkeerspunten), wijkt niet af van de concentratie in andere Europese steden.
- Uit de geraadpleegde literatuur blijkt dat de invloed van vliegtuigemissies duidelijk waarneembaar is tot op afstanden van circa één kilometer.

Een overzicht van de waargenomen concentraties in verschillende omgevingen is gegeven in Tabel 5.

Tabel 5. Typische ultrafijne deeltjesaantallen rond locaties (met bekende bronnen)

Locatie en bron	Typische deeltjesaantallen (#/cm^3)
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

2.4 Referenties

ACI EUROPE (2012), Ultrafine particles at Airports: Discussion and assessment of ultrafine particles in aviation and at airports in 2012, ACI EUROPE Environmental Strategy Committee.

Agrawal, H., A.A. Sawant, K. Jansen, J. Wayne Miller, D.R. Cocker III, (2008a) Characterization of chemical and particulate emissions from aircraft engines. Atmospheric Environment 42, 4380-4392.

Borsos, Tt, D. Rimnacova, V. Sdimal, J. Smolik,Z. Wagner , T. Weisinger et al.(2012) Comparison of particulate number concentrations in three Central European capital cities. Sci Tot Environ 433, 418-426.

Buonanno, G., M. Bernabei, P. Avino, L. Stabile,L (2012) Occupational exposure to airborne particles and other pollutants in an aviation base. Environmental Pollution 170, 78-87.

Danish Ecocouncil (2012) Air Pollution in Airports: Ultrafine particles, solutions and successful cooperation,, ISBN 978-87-92044-37-2, Copenhagen.

Ellermann, T., A. Massling, P. Løfstrøm, M. Winther, J.K. Nøjgaard, M. Ketzel, 2011. Investigation of Air Pollution at the Apron at Copenhagen Airport in Relation to Working Environment (Danish

with English summary). DCE e Danish Centre for Environment and Energy, Aarhus University, p. 148. DCE report no. 5. www.dmu.dk/Pub/TR5.pdf.

Herndon, S.C., J.T. Jayne, P. Lobo, T.B. Onasch, G.Fleming, D.E. Hagen et al. 2008. Commercial aircraft engine emissions characterization of in-use aircraft at Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport. Environmental Science & Technology 42, 1877-1883.

Hoek, G., R. Belen, G. Kos, M. Dijkema, S.C. van der Zee, P.H. Fischer et al. (2011) Land use regression model for Ultrafine particles in Amsterdam. Environ Sci Technol 45, 622-628.

Hsu, H.-H., G. Adamkiewicz, E.A. Houseman, D. Zarubiak, J.D. Spengler, J.I. Levy (2013) Contributions of aircraft arrivals and departures to ultrafine particle counts near Los Angeles International Airport, Sci Tot Environ 444, 347-355.

Hudda, N., T. Gould, K. Hartin, T.V. Larson, S. Fruin, S (2014) Emissions from an International Airport increase particle number concentrations 4-fold at 10 km downwind. Environmental Science & Technology, 48 (12), 6628–6635.

JOAQUIN (2015) – Joint Air Quality Initiative, interim report, WP1A1, results, March 2015

Jones, A.M., R.M.Harrison, B. Barratt, G. Fuller, 2012. A large reduction in airborne particle number concentrations at the time of the introduction of 'sulphur free' diesel and the London Low Emission Zone. Atmospheric Environment 50, 129-138.

Keuken, M.P., J.S. Henzing, P. Zandveld, K.M. van den Elshout (2012) Dispersion of particle number and elemental carbon from road traffic, a harbor and an airstrip in the Netherlands. Atmospheric Environment 54, 320-327.

Kinsey, J.S., Y. Dong, D.C. Williams, R. Logan (2010) Physical characterization of the fine particle emissions from commercial aircraft engines during the Aircraft Emissions EXperiment (APEX) 1-3, Atmospheric Environment, 44, 2147-2156.

Kurniawan, J.S., S. Khardi (2011) Comparison of methodologies estimating emissions of aircraft pollutants, environmental impact assessment around airports. Environmental Impact Assessment Review 31 (2011) 240-252.

Kumar, P., L. Maropwska, W. Birmili, P. Paasonen, M. Hu, M. Kulmala et al. (2014) Ultrafine particles in cities . Environ International 66, 1-10.

Kumar, P., L. Pirjola, M. Ketzel, R.M. Harrison (2013). Nanoparticle emissions from 11 non-vehicle exhaust sources – a review, Atmospheric Environment 67, 252–277.

Masiol, M., R.M.Harrison (2014) Aircraft engine exhaust emissions and other airport related contributions to ambient air pollution: a review. Atmospheric Environment, 95, 409-455.

Mazaheri, M., G.R. Johnsen, L. Morowska (2009), Particle and Gaseous Emissions from Commercial Aircraft at Each Stage of the Landing and Takeoff Cycle. Environ Sci Technol 43, 441-446.

Mazaheri, M., G.R. Johnson, L. Morawska, 2011. An inventory of particle and gaseous emissions from large aircraft thrust engine operations at an airport. Atmospheric Environment 45, 3500-3507.

Paasonen, P., S. Visschedjik, K. Kupiainen, Z. Klimont, H. Denier van der Gon (2013) Aerosol Particle Number Emissions and Size

Distributions: Implementation in the GAINS Model and Initial Results, IIASA Interim Report IR-13-020.
Petzold, A., C. Stein, S. Nyeki, M. Gysel, E. Weingartner, U. Baltensperger et al. (2003). Properties of jet engine combustion particles during the PartEmis experiment: microphysics and chemistry. Geophys. Res. Lett. 30, 1719.
Reche et al. (2011) New cionsiderations for PM, Black Carbon and particle number concentrations for air qualiity monitoring across different European cities. Atmos ChemPhys 11, 6207-6227.
Rogers, F., P. Arnott, B. Zielinska, J. Sagebiel, K.E. Kelly, D. Wagner et al., 2005. Real-time measurements of jet aircraft engine exhaust. Journal of Air & Waste Management Association 55, 583-593.
Schröder, F., A. Petzold, B. Kärcher, 1998. Ultra fine particulate jet aircraft emissions depending on fuel sulfur content and contrail proce ssing. Journal of Aerosol Science 29, S561-S562.
Wåhlin, P., 2009. Measured reduction of kerbside ultrafine particle number concentrations in Copenhagen. Atmospheric Environment 43, 3645-3647.
Westerdahl, D., S.A. Fruin, P.L. Fine, C. Sioutas, C (2008) The Los Angeles International Airport as a source of ultrafine particles and other pollutants to nearby communities, Atmospheric Environment, 42, 3143-3155.
Winther, M., U. Kousgaard, T. Ellerman, A. Massling, J.K. Nøjgaard, M. Ketzel (2015) Emissions of NOx, particle mass and particle numbers from aircraft main engines, APU's and handling equipment at Copenhagen Airport, Atmospheric Environment, 100, 218-229.
Zhu, Y., E. Fanning, R.C. Yu, Q. Zhang, J.R. Froines (2011) Aircraft emissions and local air quality impacts from take-off activities at a large international airport. Atmospheric Environment 45, 6526-6533.

3 Metingen, berekeningen en een beschouwing van de resultaten

3.1 Inleiding

Om een epidemiologische beoordeling van de blootstelling aan ultrafijnstof te kunnen uitvoeren, is informatie over de ultrafijnstofconcentraties in de (ruime) omgeving van Schiphol noodzakelijk. Gezien de vele onbekendheden ten aanzien van de emissies (Middel, 2015a) en verspreiding van ultrafijnstof is het niet mogelijk om concentratieberekeningen, analoog aan bijvoorbeeld het NSL, uit te voeren op basis van bestaande kennis van brongegevens, emissiekentallen en verspreiding van ultrafijnstof. Daarom is een getrapte benadering gebruikt. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de metingen van ultrafijnstof en de daaropvolgende berekeningen zijn opgezet en uitgevoerd en wat de uiteindelijke, geschatte concentratieniveaus zijn. Vervolgens wordt een nadere beschouwing van deze resultaten gepresenteerd.

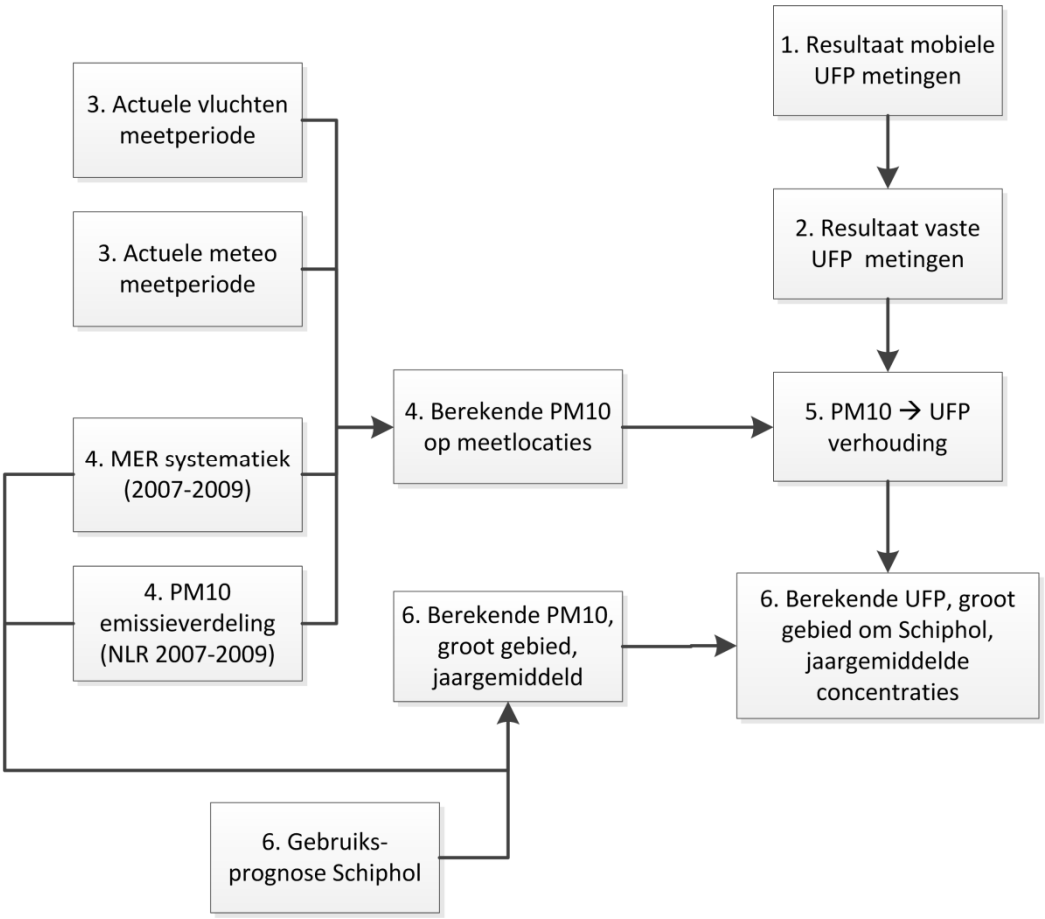
3.2 Aanpak berekeningen

Om tot een schatting van de concentratieniveaus te komen zijn de volgende stappen doorlopen.

1. Oriënterende metingen.
   Eerst is met behulp van oriënterende, mobiele metingen vastgesteld welke concentratieniveaus rondom Schiphol voorkomen en hoe de ruimtelijke verdeling grofweg is.
2. Metingen op vaste locaties.
   Met behulp van, onder andere, deze informatie zijn locaties gekozen waar vervolgens gedurende 4-6 weken de ultrafijnstof-deeltjesaantallen en gemiddelde grootten zijn gemeten.
3. Uurlijkse dataset maken.
   De metingen op de vaste locaties zijn niet allemaal op dezelfde dag begonnen en geëindigd, en verschillende meetapparaten zijn gedurende de meetperiode vervangen. Alle meetresultaten, meteo van Schiphol en aantallen vliegbewegingen zijn in één bestand gecombineerd.
4. Berekening bijdragen fijn stof (PM10-bijdragen).
   Voor ultrafijne deeltjes zijn geen emissiefactoren van luchtvaart bekend. Op basis van fijnstofemissies (PM10) van luchtvaart en vliegschema's die in 2008 door het NLR voor een MER-studie zijn geleverd, zijn op alle meetlocaties de hoeveelheden fijnstof gedurende de meetperiode berekend. Voor elk uur in de meetperiode is uitgegaan van de actuele aantallen vliegtuigen in dat uur, voor de gehele meetperiode geleverd door het NLR.
5. Verhouding PM10- en ultrafijnstofconcentraties.
   Door de in de meetperiode berekende fijnstofbijdragen met de geschatte gemeten ultrafijnstofbijdragen te vergelijken is de verhouding tussen beide bepaald.
6. Jaargemiddelde-ultrafijnstofconcentraties.
   Met behulp van de nu uit metingen bepaalde verhoudingen tussen de

ultrafijnstofbijdragen van de luchtvaart en de berekende PM10-bijdragen is vervolgens een schatting gemaakt van de jaargemiddelde-ultrafijnstofconcentraties op en in een ruim gebied om Schiphol heen.

Voor de overzichtelijkheid zijn de benodigde stappen om de analyse uit te voeren ook in onderstaand schema weergegeven (Figuur 5). Met het schema is de samenhang en logica van de verschillende stappen verduidelijkt.



Figuur 5. Stappen in de analyse en berekeningen. De nummers verwijzen naar de onderdelen in het hierboven beschreven stappenplan (UFP=ultrafijnstof).

De verschillende stappen en de resultaten van Figuur 5 worden hieronder nader toegelicht.

In dit hoofdstuk wordt op verschillende punten gebruik gemaakt van samenvattingen en/of delen uit de onderliggende rapportages van ECN (Weijers, 2015), TNO (Keuken, 2015) en Erbrink STACKS Consultancy (Erbrink, 2015).
De betreffende rapportages zijn als bijlagen bij dit hoofdrapport gevoegd.

3.3 Uitwerking in stappen

Stap 1. Oriënterende mobiele metingen
Gedurende elf dagen (in april 2015) zijn door het ECN nabij Schiphol metingen uitgevoerd met twee mobiele opstellingen. Dit gebeurde:

- naast een start- en landingsbaan (Polderbaan) waarbij variaties in gemeten concentraties zijn gekoppeld aan vliegbewegingen; en
- op wisselende posities (afhankelijk van de windrichting) zodat een (globaal) beeld van de bijdrage van het vliegverkeer aan ultrafijnstof wordt verkregen.

De bevindingen van deze 'mobiele' campagne zijn uitgebreid beschreven in de rapportage van het ECN. Enkele conclusies van deze metingen zijn:

- De mobiele metingen laten verhoogde concentraties ultrafijne deeltjes zien rondom Schiphol. De hoogste bijdragen zijn (zoals verwacht) te zien naast de start- en landingsbanen. Als elke seconde een meting wordt verricht kunnen de aantallen oplopen tot boven één miljoen deeltjes per kubieke centimeter (cm^3). Bij middeling van de metingen over tien seconden bedragen de gemeten aantallen deeltjes circa 200.000 à 300.000 per cm^3.
- Bij toenemende afstand tot de landingsbaan (windafwaarts) nemen de deeltjesconcentraties sterk af. In één geval is een afname gemeten van 50.000 per cm^3 (naast de baan) tot ca. 13.000 per cm^3 op een (loodrechte) afstand van 1.200 meter (gemiddeld over een halfuur per locatie). De metingen laten zien dat de bijdrage vooral het gevolg is van de aanwezigheid van deeltjes met een grootte kleiner dan 30 nm.

Stap 2. Metingen op vaste locaties en ijking apparatuur
Om een zo goed mogelijk beeld voor de omgeving van Schiphol te krijgen zijn vervolgens door het ECN, VITO, TNO en RIVM metingen op vaste locaties uitgevoerd voor de periode van ongeveer één maand. Deze locaties zijn in overleg tussen ECN en RIVM bepaald en zijn deels gedaan met hoogwaardige instrumenten, locaties Polderbaan, Oude Meer, Spaarnwoude, Nieuwe Meer/Schiphol Noord en Amsterdamse Bos. Dit geeft een goed beeld van de variatie van ultrafijnstofconcentraties in de tijd en in de ruimte. Voor een uitgebreide beschrijving van de gebruikte apparatuur wordt verwezen naar de rapportage van het ECN.

Aanvullend is op een vijftal plaatsen met eenvoudiger (hand)apparatuur (miniDiSC en Aerasense) gemeten op grotere afstand van Schiphol, op de locaties Hoofddorp, Amstelveen, Badhoevedorp, Vijfhuizen en Rozenburg (ten zuiden van Schiphol). De uitkomsten hiervan geven een indicatie van de ultrafijnstofniveaus in woongebieden op iets grotere afstand van de luchthaven. Voorafgaand aan de vaste metingen zijn gedurende een dag alle meetapparaten op een enkele locatie met elkaar vergeleken. Bij deze vergelijking is gebleken dat de resultaten van de miniDiSC en Aerasense, afhankelijk van de concentratieniveaus, iets afweken van die van de hoogwaardigere instrumenten. Door het ECN zijn relaties bepaald om voor de gevonden verschillen te corrigeren.

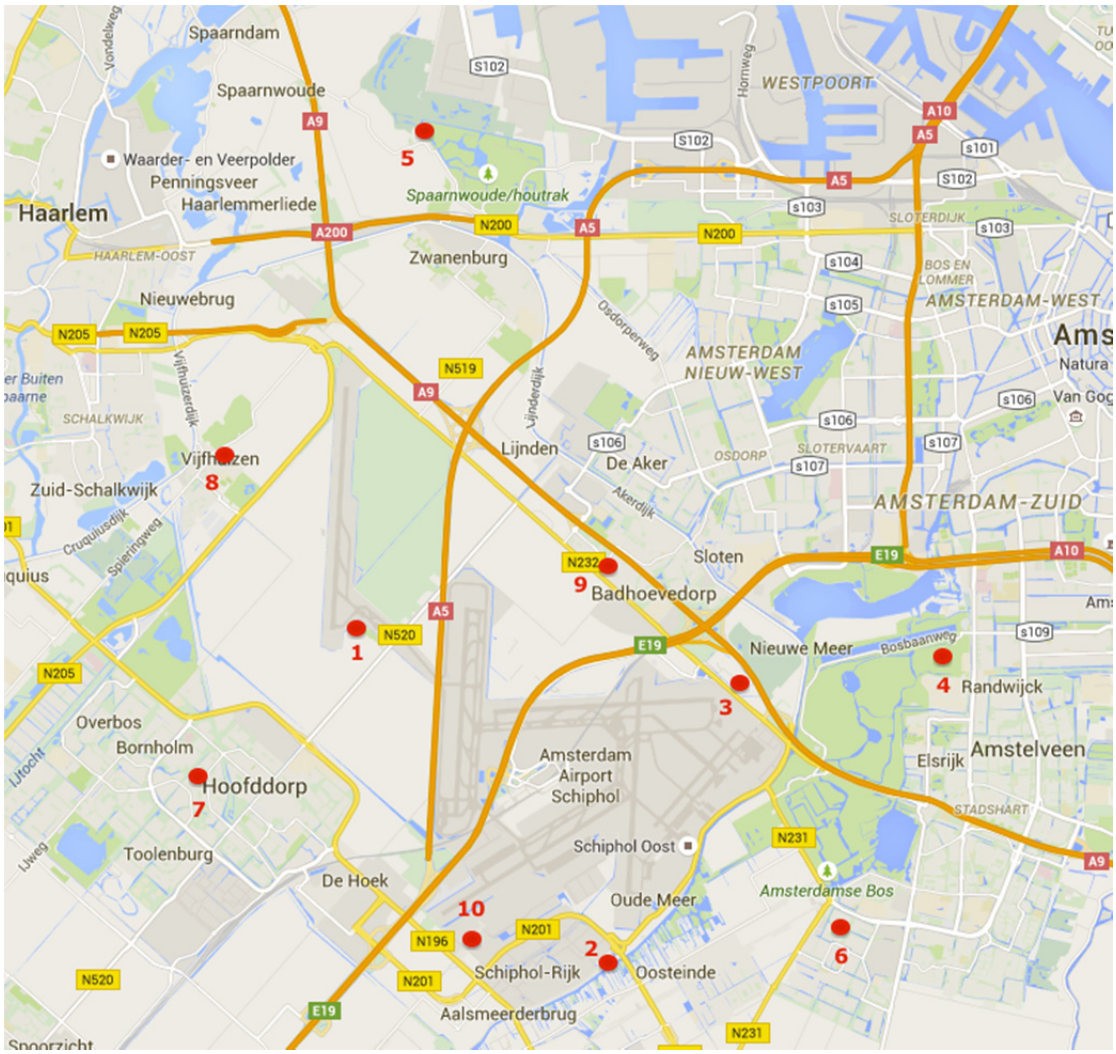
De verschillende apparaten, eigenaren, meetlocaties en –perioden worden in onderstaande Tabel 6 getoond. De tabel toont in de laatste

kolom de gemeten aantallen deeltjes, gemiddeld over de uren dat er is gemeten. Let op: het aantal meeturen in een gelijke meetperiode is per apparaat verschillend.

Tabel 6. Meetlocaties, meetapparaat en eigenaar, meetperiode, aantal meeturen en gemeten deeltjesaantallen ultrafijnstof.

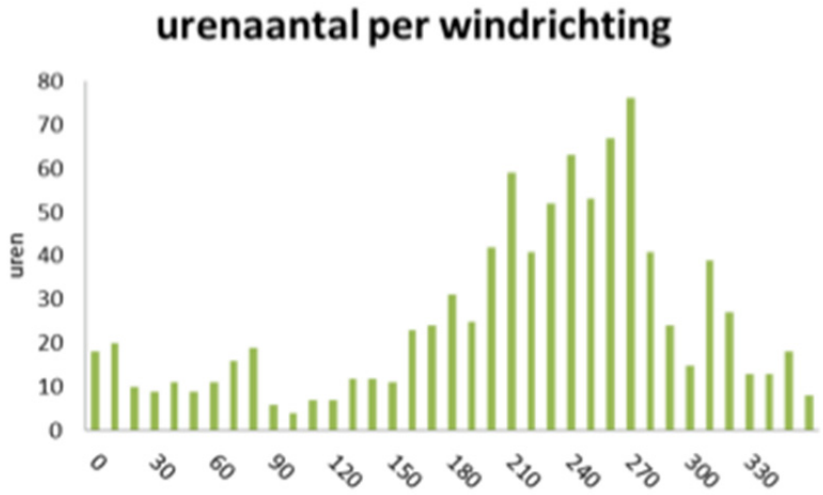
Vaste metingen		**instrument**		**start**	**eind**	**uren**	**UFP X1000**
1.	Polderbaan Zuid (NH1)	UFP-3031	VITO	30-Apr	11-Jun	989	27,8
1.	Polderbaan Zuid (NH1)	EPC-3783	VITO	30-Apr	11-Jun	1005	31,3
2.	Oude Meer (NH2)	SMPS-TSI	ECN	7-May	8-Jun	725	31,7
3.	Nieuwe Meer/ Schiphol Noord	SMPS GRIMM	ECN	30-Apr	8-Jun	935	46,5
3.	Nieuwe Meer/ Schiphol Noord	EPC-3783	ECN	30-Apr	8-Jun	885	30,0
4.	Amsterdamse Bos	SMPS	TNO	28-Apr	28-May	427	22,5
4.	Amsterdamse Bos	CPC-3775	TNO	28-Apr	28-May	696	28,3
5.	Spaarnwoude	CPC-3022 (extra)	ECN	21-May	8-Jun	408	17,1
5.	Spaarnwoude (op deze locatie zijn 2 apparaten gebruikt)	MiniDiSC	VITO/ ECN	7-May	8-Jun	507	20,3
6.	Amstelveen	MiniDiSC	RIVM	13-Apr	11-May	707	11,9
7.	Hoofddorp	MiniDiSC	RIVM	13-Apr	31-May	1146	15,3
8.	Vijfhuizen	MiniDiSC	RIVM	4-May	31-May	651	14,9
9.	Badhoevedorp	Aerasense	RIVM	13-Apr	2-Jun	1192	30,6
10.	Rozenburg/ Schiphol Zuid	Aerasense	VITO/ ECN	12-May	5-Jun	290	29,9

De locaties van de metingen staan op de volgende pagina in Figuur 6 getoond.



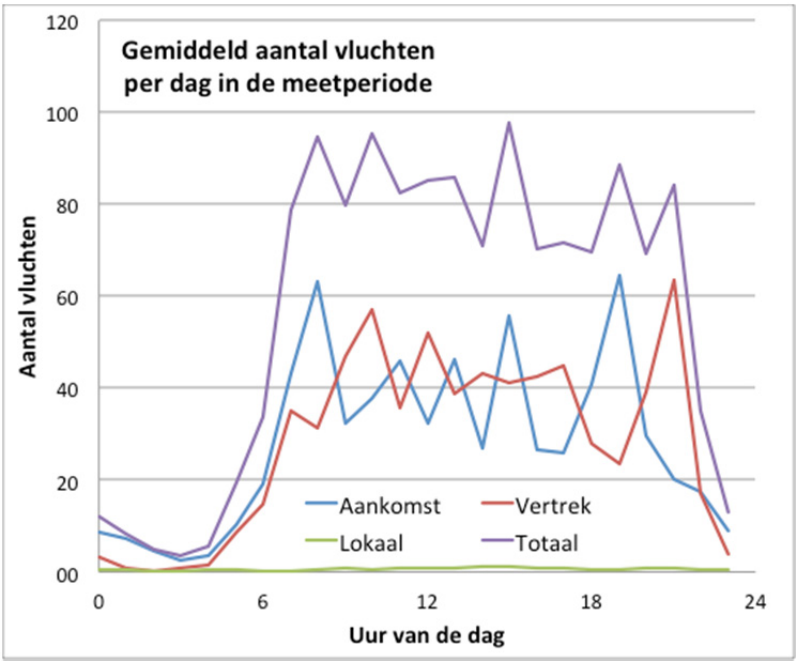
Figuur 6. Locaties van de vaste meetpunten.

Gedurende de vaste metingen kwam de wind hoofzakelijk uit het zuidwesten (Figuur 7).



Figuur 7. Windrichting tijdens de vaste metingen.

Stap 3. Uurlijkse meetresultaten, meteo en vliegbewegingen
Door het NLR zijn voor elk van de uren in de meetperiode de FANOMOS-data (Radar gegevens van het luchtruim rondom Schiphol) voor de luchthaven Schiphol geleverd, geaggregeerd tot aantallen starts en landingen, per baan, per vliegtuigtype (Middel, 2015b). FANOMOS-data zijn snel beschikbaar bij het NLR en geven een compleet inzicht in de vliegbewegingen, maar ontberen (positie en duur van de) taxibewegingen. Het gemiddeld aantal vluchten per uur van de dag gedurende de meetperiode worden in Figuur 8 getoond, uitgesplitst naar vertrekkende, aankomende en overige lokale vluchten van kleine toestellen en helikopters.



Figuur 8. Gemiddelde aantallen vluchten per uur van de dag gedurende de meetperiode.

Voor de meteorologie, nodig voor zowel de directe interpretatie van de metingen als voor de berekeningen, is zowel gebruikgemaakt van de gegevens van het KNMI voor de locatie-Schiphol als van door ECN gemeten meteorologie.

De ultrafijnstofmetingen van de verschillende partijen op de vaste locaties zijn niet allemaal op dezelfde dag begonnen en geëindigd en enkele meetapparaten zijn gedurende de meetperiode vervangen. De apparaten hebben niet allemaal hetzelfde aantal metingen per uur verricht. Zo hebben de Aerasense-apparaten om de paar minuten een meting gedaan, terwijl andere apparaten elke seconde metingen hebben verricht. Daarom is voor elk van de uren in de meetperiode voor elk apparaat de uurgemiddelde-concentratie van ultrafijnstof bepaald. Hierbij is voor de simpelere apparaten tevens de eerder door het ECN bepaalde correctie ten opzichte van de hoogwaardige apparatuur doorgevoerd. Alle meetresultaten, meteo van Schiphol en aantallen vliegbewegingen zijn per uur in een bestand gecombineerd. Bij de combinatie zijn alle verschillende tijdsbases (universal time, Europese (zomer)tijd) omgezet naar Europese zomertijd. Het resulterende

bestand is als invoer voor de vergelijking van metingen en berekeningen gebruikt.

Stap 4. Berekening van PM10-bijdragen
Voor de berekeningen is als basis de aanpak overgenomen zoals die gebruikt is in recente MER-studies, zoals de MER Middellange Termijn (MLT) (2008), en studies voor het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL), Hoolhorst (2007), Kokmeijer (2009a en 2009b). Voor die studies heeft het NLR de emissies van vliegtuigen geleverd, verdeeld over de bekende vliegpaden. De informatie is door het NLR in zogenaamde LEASiT-bestanden aangeleverd. Hieruit kunnen de specifieke PM10-emissies per vluchtmodus (starten, landen) en per startbaan worden afgeleid, tezamen met data over snelheid, stijg- en daalhoogte, en warmte-emissie.

De door het NLR geleverde aantallen actuele vliegbewegingen gedurende de meetperiode zijn gecombineerd met uit eerdere MER-studies beschikbare generieke kentallen ten aanzien van warmte-emissie, PM10-emissie en vliegtrajecten, zo mogelijk per vliegmodus (landingen of starten). Er is in dit onderzoek geen onderscheid gemaakt in vliegtuigtype. Onder de aanname dat de gebruikte kentallen nog steeds (voldoende) geldig zijn voor vluchten van en naar Schiphol, zijn de gegevens gebruikt om voor de specifieke meetdagen (en uren) in de meetperiode de verwachtte PM10-concentratiebijdragen te berekenen voor alle (vaste) ultrafijnstofmeetlocaties.

Voor de berekeningen is het rekenmodel STACKS+ ingezet, dat in het verleden ook is toegepast voor luchtkwaliteitsberekeningen ten behoeve van verschillende MER-studies over zowel de luchthaven Schiphol als aan ander luchthavens. Het STACKS+-rekenhart is zodanig aangepast dat voor de berekeningen de lokale meteorologie kan worden gelezen en dat de vliegtuigdata van het NLR worden gelezen en vertaald naar PM10-emissies. Met deze informatie zijn uurgemiddelde-PM10-concentratiebijdragen berekend op de locaties van de ultrafijnstofmeetpunten en vergeleken met gemeten ultrafijnstofconcentraties.

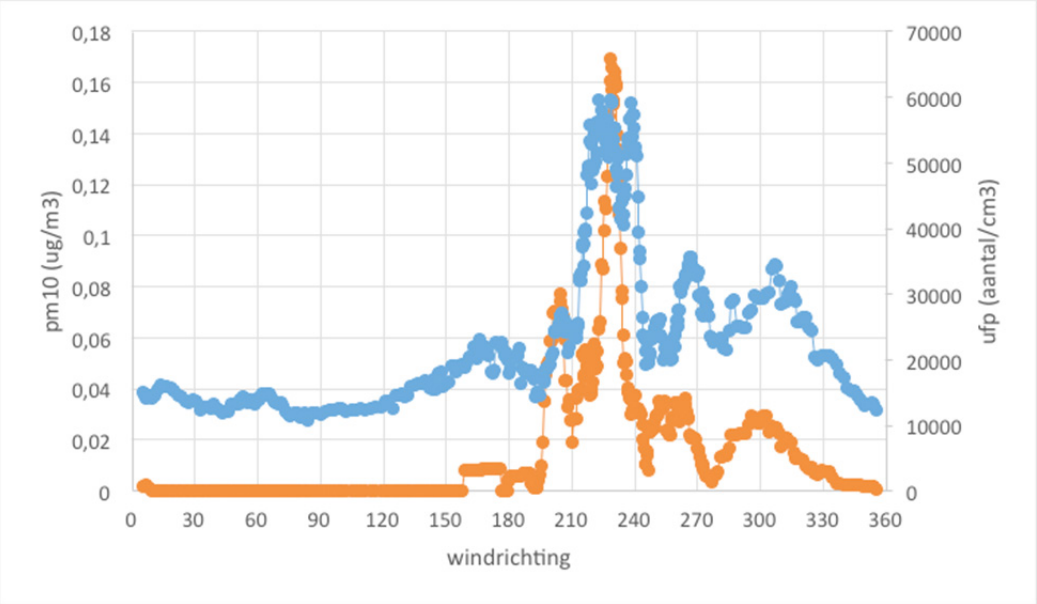
Stap 5. Verhouding PM10-bijdrage en ultrafijnstofbijdrage aan de concentraties
Voor de huidige analyse wordt ervan uitgegaan dat de verspreiding van ultrafijnstof op dezelfde manier verloopt als gewoon fijnstof. Dit is een benadering want het is bekend dat er ook nog andere processen een rol spelen. Zo weten we dat direct na emissie uit een motor bijzonder hoge aantallen zeer kleine deeltjes voorkomen die onder andere door onderlinge botsingen, in grootte groeien en daarmee in aantal afnemen. Op iets grotere afstand van het emissiepunt, waar de aantallen ultrafijne deeltjes kleiner zijn, spelen deze processen naar verwachting nog maar een beperkte rol en veranderen de deeltjesgroottes niet veel meer.
Bij metingen langs wegen is een relatief sterke correlatie gevonden tussen NO_x- en ultrafijnstofbijdragen (totaal aantal deeltjes) (Kwasny, 2010). Dit impliceert dat de deeltjesaantallen grofweg verdunnen alsof het een relatief inert gas is. De bijdragen van direct gegenereerde

ultrafijne deeltjes (aerosol) uit mobiele bronnen aan de totale PM10-*massa*concentraties zijn zeer beperkt[3]. Deze zeer kleine bijdragen kunnen nauwelijks of niet significant worden gemeten. Dat verklaart waarom er in de literatuur geen correlatie tussen PM10- en ultrafijnstofconcentraties wordt gevonden. Het is dan ook niet zinvol om een vergelijking te maken tussen gemeten PM10- en gemeten ultrafijnstofconcentraties. Indien de PM10-bijdragen echter *berekend* worden, dan is het wel mogelijk om, onder verschillende aannames, een zinvolle vergelijking te maken. Uit deze vergelijking moet duidelijk worden hoe representatief de berekende PM10-bijdragen zijn voor de gemeten ultrafijnstofbijdragen.

De berekende PM10-concentratiebijdragen zijn gesorteerd en grafisch vergeleken met (eveneens gesorteerde) metingen. De helling van de lijn die ontstaat uit de combinatie van berekende concentratiebijdragen en gemeten ultrafijnstofconcentraties (met andere woorden totale deeltjesaantallen, ongeachte de grootte) is gelijk aan de gemiddelde schaalfactor tussen de PM10- en ultrafijnstofconcentraties. Deze vergelijking is generiek uitgevoerd, dus over alle uren en alle vliegtuigen. Eventueel zou de analyse nog uitgesplitst kunnen worden naar vliegmodus (starten en landen) aangezien de schaalfactor per modus kan verschillen. Echter, in de gemeten ultrafijnstofconcentraties kan geen onderscheid gemaakt worden naar de oorsprong van de concentraties. Per uur zijn er immers altijd zowel stijgende als dalende vliegtuigen. De meetpunten liggen zodanig rond de luchthaven dat dit onderscheid niet serieus mogelijk is. Uitsplitsing per vliegtuigtype is niet mogelijk omdat de emissies van ultrafijnstof per vliegtuigtype niet bekend zijn.

Het is belangrijk om na te gaan of de aldus bepaalde verhouding echt wel voor de ultrafijnstof ten gevolge van vliegtuigemissies geldt. Immers; er zijn tal van bronnen in de omgeving van de metingen, niet alleen de vliegtuigen. Daarom is de volgende check uitgevoerd: voor elk meetpunt is een windroos gemaakt van berekende uurgemiddelde-PM10-concentraties en gemeten ultrafijnstofconcentraties. Afgezien van de ultrafijnstofachtergrond, die niet in de berekening van de vliegtuigbijdragen zit, moeten de berekende PM10-concentraties en de ultrafijnstofmetingen sterk op elkaar lijken. Dat dit inderdaad zo is, wordt in onderstaande Figuur 9 gedemonstreerd.

[3] De bijdrage van mobiele bronnen voor primair aerosol is gering, maar voor secondair gevormd aerosol (nitraten en sulfaten) is de bijdrage wel groot. Echter, dit aerosol wordt pas op grotere afstand gevormd (tientallen kilometers verderop) en kent daarom een diffuse (interregionale) verspreiding.



Figuur 9. Gemeten ultrafijnstof- (blauw) en berekende PM10-concentraties (oranje) op de locatie Nieuwe Meer/Schiphol Noord.

De op de locatie Nieuwe Meer/Schiphol Noord gemeten ultrafijnstof- en berekende PM10-concentraties tonen bij windrichtingen tussen circa 180 en 330 graden (richting Schiphol en de Polder/Zwanenburgbanen) een sterk gelijkend karakter. Gelijksoortige overeenkomsten worden op de andere meetlocaties gevonden. Daaruit is de conclusie te trekken dat de gemeten ultrafijnstof-concentraties (deeltjesaantallen) voor een belangrijk deel veroorzaakt worden door de vliegtuigemissies. Uit de figuren kan, onder verschillende aannames, voor elke locatie worden geschat wat de ultrafijnstofachtergrond is en hoe groot de verhouding tussen de PM10- en ultrafijnstofconcentratiebijdragen van de luchtvaart is. De verhoudingen worden getoond in Figuur 10. Met de resultaten is nagegaan of de schaalfactor (de verhouding tussen PM10 en ultrafijnstof) van de afstand tot de bronnen afhangt.

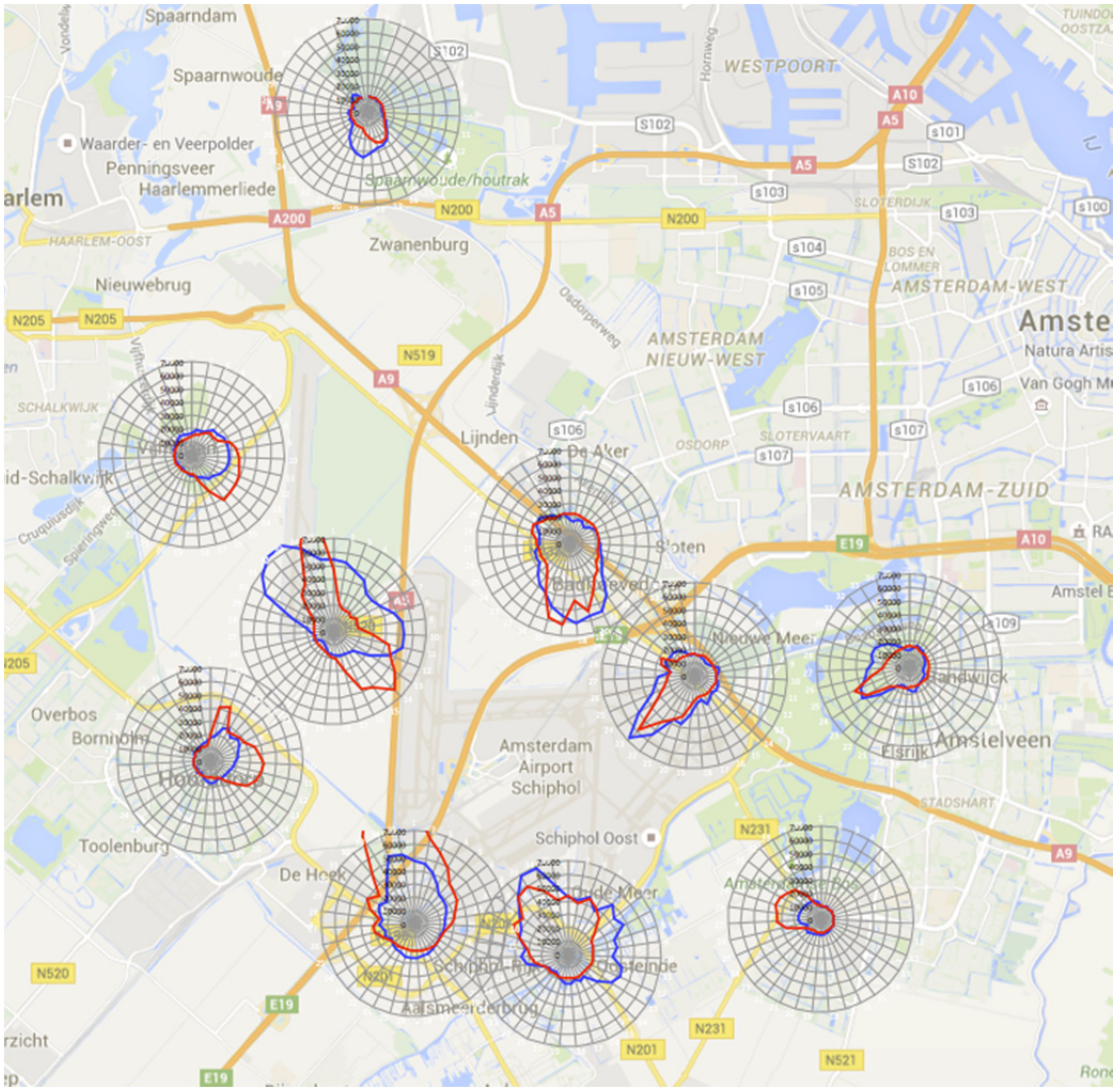


Figuur 10. Verhoudingen tussen de uiteindelijk geschatte ultrafijnstofbijdragen en berekende PM10-bijdragen van vliegtuigen.

De schaalfactor, de verhouding tussen PM10- en ultrafijnstofconcentraties, lijkt niet duidelijk van de afstand tot de bronnen af te hangen. Op verschillende locaties op wat grotere afstanden, zoals Spaarnwoude en Amsterdamse Bos, is de verhouding vergelijkbaar met die op kleinere afstanden. Drie locaties waar met een miniDiSC is gemeten, Vijfhuizen, Hoofddorp en Amstelveen, geven een lagere verhouding dan op andere locaties is gevonden. Op de locatie Spaarnwoude is echter ook een miniDiSC gebruikt en de verhouding is daar aanzienlijk hoger dan in Hoofddorp. Omdat de miniDiSC's aan de hoogwaardige apparatuur zijn geijkt, ligt het verschil vermoedelijk niet aan de apparatuur. Gegeven het bovenstaande resultaat en de andere analyses, zoals beschreven in het rapport van ESC, is uiteindelijk een vaste verhouding van een factor 400.000 tussen de PM10- en ultrafijnstofbijdragen aangenomen.

De windrozen met daarin de gemeten en berekende ultrafijnstofconcentraties worden in Figuur 11 getoond. Voor een

optimale vergelijking met de rekenresultaten zijn de gemeten uren eerst op windrichting gesorteerd en voortschrijdend gemiddeld. Vervolgens zijn windrozen gemaakt met stapjes van tien graden. De windrozen in Figuur 11 zijn daarom iets gladder dan de ruwe data in het rapport van het ECN.



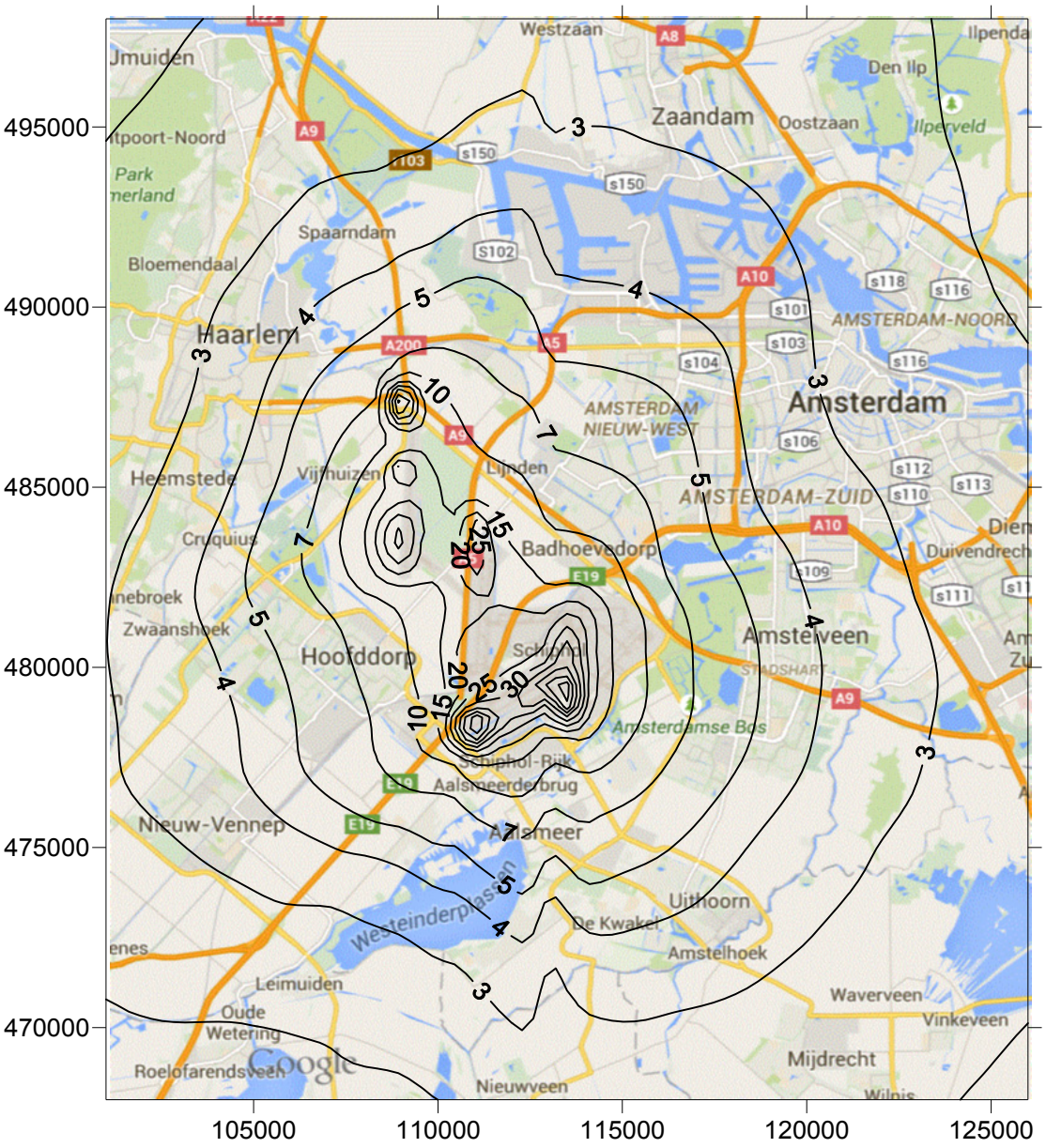
Figuur 11. Gemeten en berekende ultrafijnstofconcentraties (totale deeltjesaantallen) op de meetlocaties. De blauwe lijnen zijn gemeten en de rode zijn de berekende ultrafijnstofconcentraties gedurende de meetperiode. De schaal van de windrozen loopt in alle gevallen tot 70.000 deeltjes per kubieke centimeter.

De blauwe (gemeten) en rode (berekende concentraties) lijnen vallen goed samen. Er is dan ook gemiddeld gezien sprake van een goede overeenkomst tussen de gemeten en berekende ultrafijnstofconcentraties op de meetlocaties. Dit onderbouwt de aanname dat de gekozen aanpak een consistent beeld van de ultrafijnstofconcentraties in het studiegebied geeft.

De figuur laat ook zien dat Schiphol een bron is van ultrafijnstof: tijdens de uren met windrichting vanaf Schiphol is er sprake van een duidelijke toename in de ultrafijnstofconcentraties.

Stap 6. Jaargemiddelde-ultrafijnstofconcentraties
Met de gevonden relatie tussen PM10- en ultrafijnstofconcentraties is uiteindelijk over een periode van tien jaar berekend wat de ruimtelijke verdeling is van de ultrafijnstofconcentraties in een gebied van 25 bij 30 kilometer rondom Schiphol, onder de aanname van 440.000 vliegbewegingen per jaar. De gebruiksprognose voor Schiphol voor 2015 gaat uit van circa 450.000 vliegbewegingen per jaar (Schiphol, 2015). De concentratiebijdragen in Figuur 12 kunnen worden geschaald naar een ander aantal vliegbewegingen.

Bij de resultaten van Figuur 12 moet worden bedacht dat deze vooral gelden voor het gebied waar de metingen en berekeningen met elkaar konden worden vergeleken. In het direct naastliggende gebied zullen de berekenende ultrafijnstofconcentraties naar verwachting ook nog een representatief beeld van de situatie geven. Op (veel) grotere afstanden zullen verschillende processen die zich in de lucht tussen de ultrafijne deeltjes afspelen, ertoe leiden dat de hier aangenomen relatie tussen PM10-bijdragen en ultrafijnstofbijdragen niet meer (geheel) geldig is.



Figuur 12. Jaargemiddelde ultrafijnstof-concentraties (1.000-tallen) bijdrage van vliegtuigen bij 440.000 vliegbewegingen per jaar.

Uit de resultaten van de langetermijnberekeningen, onder de aanname dat PM10- en ultrafijnstofconcentraties op de hierboven beschreven wijze met elkaar correleren, kan worden afgeleid dat een bijdrage aan ultrafijnstofconcentraties (totale deeltjesaantallen) van meer dan 3.000 cm^{-3} tot op afstanden van vijftien kilometer van Schiphol mogelijk is. Bij woonlocaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen, kan de jaargemiddelde-bijdrage oplopen tot 15.000 cm^{-3}. In 5% van de tijd in een jaar kan deze bijdrage 50.000 cm^{-3} bedragen. Het gaat dan om weersomstandigheden waarbij er sprake is van een slechte verspreiding van de ultrafijnstofdeeltjes.

Een uitgebreide toelichting op de berekeningen en de resultaten wordt in het rapport van ESC gegeven.

3.4 Vergelijking van de resultaten met die van andere analyses

Voor dit onderzoek zijn gedurende circa drie maanden ultrafijnstofmetingen uitgevoerd. Het is gebruikelijk om concentraties als een jaargemiddelde-waarde te presenteren. Uitgaande van het in het JOAQUIN-project gemeten jaarverloop in Amsterdam (JOAQUIN, 2015) is de verhouding van het gemiddelde van de in de maanden april-mei-juni uitgevoerde ultrafijnstofmetingen versus het gemiddelde over een geheel jaar grofweg één (1,0). Dit wijst erop dat de metingen in de periode april-juni representatief zijn voor een heel jaar. Aannemende dat deze verhouding ook op de meetlocaties rond Schiphol geldt, liggen de geschatte jaargemiddelde-concentraties (zie Tabel 6) op de meetlocaties tussen circa 12.000 en 47.000 deeltjes per kubieke centimeter, afhankelijk van de locatie.

Globaal is er gedurende de metingen op de locaties Hoofddorp, Amstelveen, Vijfhuizen en Amsterdamse Bos sprake van (achtergrond)concentraties van 10.000–15.000 deeltjes per kubieke centimeter als de wind niet uit de richting van luchtvaartactiviteiten komt. Deze niveaus zijn vergelijkbaar met de stedelijke buitenluchtniveaus in Nederland en de rest van Europa, zie Tabellen 4 en 5. Op de locaties Nieuwe Meer en Oude Meer, Rozenburg, Spaarnwoude en Badhoevedorp zijn de concentraties uit niet-luchtvaartrichtingen met 15.000-22.000 deeltjes iets hoger, vermoedelijk vanwege de nabijgelegen snelwegen. Deze niveaus liggen tussen algemene stedelijke achtergrondconcentraties en concentraties nabij wegen in.

De bijdrage van activiteiten in de richtingen van Schiphol en de verschillende banen kon goed worden gemeten. De deeltjesgrootte van Schiphol-gerelateerd ultrafijnstof wordt gedomineerd door deeltjes kleiner dan 30 nm. Op de drie meetlocaties met hoogwaardige apparatuur (Nieuwe Meer, Oude Meer, Amsterdamse Bos) zijn in de meetperiode concentratiebijdragen van ultrafijnstof uit de richtingen van luchtvaartactiviteiten gemeten van gemiddeld 8.000–11.000 deeltjes per kubieke centimeter.

De gemeten pieken ultrafijnstof dicht bij de start- en landingsbanen zijn deels vergelijkbaar en deels hoger dan in de beschikbare literatuur is gerapporteerd. De relatieve positie van de meetlocaties ten opzichte van de vliegbewegingen en de overheersende windrichtingen is van groot belang bij de vergelijking van meetresultaten. De gemiddelde bijdrage op enkele kilometers afstand van Schiphol is grofweg vergelijkbaar met de 15.000 deeltjes per kubieke centimeter die in Warwick (USA) is gemeten.

Om de huidige resultaten te kunnen vergelijken met die van TNO in 2014 heeft TNO op dezelfde locatie weer metingen naar ultrafijnstof gedaan. De nieuwe metingen van TNO laten een grofweg vergelijkbaar beeld zien met het beeld uit 2014. Er zijn enkele verschillen in de verdeling van de deeltjesaantallen over de windrichtingen, maar die zijn vermoedelijk het gevolg van verschillen in meteo en baangebruik.

De met behulp van berekeningen geschatte ultrafijnstofconcentraties in een groter gebied rond Schiphol laten ultrafijnstofconcentraties zien die consistent zijn met wat er in de beperkt beschikbare literatuur is gerapporteerd. Er zijn geen andere studies bekend die de langetermijnluchtvaartbijdragen op deze schaal in kaart hebben gebracht. De berekening laat op de JOAQUIN-meetlocatie in het Vondelpark in Amsterdam een jaargemiddelde-ultrafijnstofbijdrage ten gevolge van luchtvaart zien van circa 3.000 deeltjes per kubieke centimeter. Dit betekent dat de metingen daar een duidelijke piek moeten tonen in de richting van Schiphol en de start- en landingsbanen. Een dergelijke piek is inderdaad ook gerapporteerd (JOAQUIN, 2015; Hofman, 2015).

3.5 Samenstelling van het gemeten ultrafijnstof

Er is in de huidige, verkennende studie beperkt onderzoek gedaan naar de chemische samenstelling van het vliegtuigaerosol. TNO heeft op de locatie Nieuwe Meer zwaveldioxideconcentraties gemeten als mogelijke tracer van vliegtuigemissies. Daarnaast werd ultrafijnstof bemonsterd voor chemische analyse[4]. Vliegtuigbrandstof bevat 400 ppm zwavel. Op grond hiervan, en van emissiemetingen bij vliegtuigmotoren, kan niet worden uitgesloten dat ultrafijnstof van vliegtuigen niet alleen uit organische verbindingen bestaat, maar ook zwavelzuur bevat. In de metingen van TNO is het voorkomen van zwaveldioxide in de lucht ook bepaald. Licht verhoogde concentraties van zwaveldioxide worden zowel in de richting van Schiphol, als in andere richtingen met substantiële hoeveelheden wegverkeer gemeten. Hierbij wordt geconcludeerd dat 'de resultaten van de zwaveldioxide concentraties laten zien dat SO2 geen gevoelige indicator is van vliegtuigemissies'.

Het voorkomen van zwavelzuur in het ultrafijnstof is onderzocht door bemonstering van buitenlucht in 13 grootte klassen van de (ultra)fijne deeltjes, tussen 30 nm en 10 μm. Chemische analyses van het ultrafijnstof laten zien dat de samenstelling '... werd gedomineerd door koolstof en zuurstof. Dit duidt op elementair koolstof samen met organische verbindingen. Daarnaast is er stikstof en zwavel gemeten wat duidt op secondaire deeltjes (ammoniumsulfaat).' TNO geeft als mogelijke verklaring voor de beperkte hoeveelheid zwavelzuur dat deze wellicht wordt geneutraliseerd door ammoniak in de buitenlucht. Ook op dit punt is meer dan alleen verkennend onderzoek nodig om de mogelijke hoeveelheden en impact met meer zekerheden te bepalen.

3.6 Aandachtspunten en onzekerheden

De hier gepresenteerde analyse kent veel onzekerheden.

Een belangrijke aanname is dat de berekende fijnstofbijdragen (PM10) van startende en landende vliegtuigen (omgerekend) een goede benadering vormen voor de bijdragen aan de hoeveelheden van ultrafijnstof afkomstig van Schiphol. Daarnaast wordt aangenomen dat de verhouding tussen bijdragen van fijnstof en ultrafijnstof die van

[4] Dit onderzoek is afgestemd met het ECN en het RIVM, maar de kosten van dit deel van het onderzoek waren ten laste van TNO.

Schiphol komen, grofweg constant is. De vergelijking tussen gemeten en berekende ultrafijnstofconcentraties (zie Figuur 10) laat zien dat gebruik van fijnstof als benadering redelijk goed uitpakt. Echter, de variatie in de verhouding tussen fijnstof en ultrafijnstof per meetlocatie is een indicatie van de onzekerheid waarmee de relatie tussen PM10- en ultrafijnstofconcentraties kan worden geschat. Een variatie van een factor twee tot bijna vier kan hierbij niet worden uitgesloten.

Verder is alle ultrafijnstof die van Schiphol afkomstig is, behandeld alsof het door de vliegtuigstarts en –landingen is gegenereerd. Enerzijds is voor de huidige verkennende studie gebruikgemaakt van FANOMOS-data, waarin taxibewegingen niet meegerekend werden, en anderzijds zijn er weinig gegevens bekend ten aanzien van emissies gedurende taxiën en emissies van hulpturbines. Voor de totale hoeveelheid ultrafijnstof maakt dit niet veel uit omdat de berekeningen aan de metingen zijn geijkt. Voor de verdeling van de ultrafijnstofbijdragen in de directe omgeving van Schiphol kan dit echter van belang zijn. Om hier nader inzicht in te verkrijgen is meer onderzoek nodig.

3.7 Referenties

Hofman, J., J. Staelens, Chr. Stroobants, S. Hama, K. Wyche, G. Kos et al., 'Ultrafine particles in Joaquin cities', presentatie op de Cleaner Air, Better Health conferentie, Amsterdam, 2015

Hoolhorst, A., J.J. Erbrink en R.D.A. Scholten, 'Luchtkwaliteit rond luchthaven Schiphol, Voor het MER korte termijn "'Verder werken aan de toekomst van Schiphol en de regio"', NLR-CR-2007-361, 2007.

Keuken, M., M. Moerman en P. Tromp 'Ultrafijnstof rondom Schiphol – mei 2015', TNO 2015 R10822.

Kokmeijer, E., J.J. Erbrink, 'Bepaling bijdragen luchtvaartverkeer in het studiegebied Schiphol en omstreken ten behoeve van de saneringstool ST3'", KEMA, 50964126-TOS/ECC 09-5392, 2009a.

Kokmeijer, E., 'Effect elektrificatie Vliegtuig opstelplaatsen op de jaargemiddelde concentratie NO2 voor de autonome situatie 2010', KEMA, 50964127-TOS/ECC 09-4287, 2009b.

Erbrink, H., 'Model berekeningen aan ultra fine particles; Op basis van de analyse van metingen', ESC Rapport 2015R001, 24 juni 2015.

Weijers, E.P., G.P.A Kos,.M.J. Blom (ECN), J. van Laer, P. Berghmans (VITO), M, Moerman, M. Keuken (TNO), P. Fokkens, J. Wesseling, A. Bezemer (RIVM), 'Metingen aan ultrafijnstof rondom Schiphol', ECN, ECN-E--15-0, juni 2015.

Middel, J., NLR, emails 1 en 4 juni 2015a.

Middel, J., R.H. Hogenhuis, H.W. Veerbeek, NLR, emails 21 mei en 10 juni 2015b.

Kwasny, F., P. Madl en W. Hofmann, 'Correlation of Air Quality Data to Ultrafine Particles (UFP) Concentration and Size Distribution in Ambient Air', Atmosphere 2010, 1, 3-14; doi:10.3390/atmos1010003, 2010.

Gebruiksprognose Amsterdam Airport Schiphol, 1 november 2014 t/m 31 oktober 2015, Schiphol Group

4 Ultrafijnstof afkomstig van Schiphol en omgeving en mogelijke implicaties voor gezondheid

4.1 Inleiding

In deze literatuurstudie wordt de kennis op het gebied van de potentieel schadelijke effecten voor de mens van ultrafijnstof in de buitenlucht samengevat. Daarbij lag primair de focus op ultrafijnstof rondom (en afkomstig van) luchthavens in relatie tot gezondheidseffecten van de bewoners van gebieden nabij vliegvelden. Ook is gekeken naar de actuele kennis over de toxiciteit van ultrafijnstof vanuit experimenteel en klinisch onderzoek en epidemiologische studies naar andere bronnen dan vliegvelden.

Voorts is geïnformeerd bij onderzoeksinstituten en -instanties die betrokken zijn bij onderzoek rondom luchthavens in het buitenland over lopend onderzoek naar de gezondheidseffecten van blootstelling aan ultrafijnstof rondom luchthavens. Een voorstudie rondom de internationale luchthaven van Los Angeles zal in dit kader verderop in het document worden beschreven, evenals twee studies onder luchthavenpersoneel.

In aanvulling op de literatuurstudie wordt op basis van de ultrafijnstofmeetcampagne rondom Schiphol, een interpretatie gegeven van de conclusies van de in de vorige en begin deze eeuw uitgevoerde onderzoeken in de regio in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol.

Tot slot worden er aanbevelingen gedaan voor mogelijk vervolgonderzoek om de inzichten over de relatie tussen ultrafijnstof afkomstig van Schiphol en mogelijke nadelige effecten op de gezondheid van omwonenden te vergroten.

4.2 Gezondheidseffecten gemeten op en rondom luchthavens

Gezondheidseffecten gemeten op luchthavens

In 1999 is op de internationale luchthaven van Birmingham onderzocht wat het effect van beroepsmatige blootstelling aan de uitstoot van vliegtuigen op longfunctie en luchtwegklachten kan zijn (Tunnicliffe et al., 1999). De onderzoekers concludeerden dat er een verband was tussen hoge blootstelling aan de motoruitstoot en luchtwegsymptomen (loopneus en hoest met slijm), wat dan weer in overeenstemming is met de aanwezigheid van irriterende stoffen (niet noodzakelijkerwijs ultrafijnstof). Er werd geen duidelijk verband gevonden tussen de blootstelling en de aanwezigheid van kortademigheid, piepende ademhaling of de luchtwegfunctie. Deze studie heeft als nadeel dat er geen kwantitatieve gegevens zijn geregistreerd over blootstelling en de afwezigheid van een controle groep (niet aan vliegtuigmotoruitstoot blootgestelden).
Recent heeft een Frans consortium van onder andere Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), de Universiteit van Marseille en de arbodienst van AirFrance, 500 medewerkers

gevolgd. De helft van deze medewerkers werkte rondom de vliegtuigen en de andere helft in kantoren. Er was een duidelijk contrast in blootstelling aan ultrafijnstof. Uit de eerste analyse in de betreffende studie bleek vooralsnog geen invloed van de blootstelling aan ultrafijnstof op respiratoire klachten en aandoeningen. De uitwerking van dit onderzoek is nog in volle gang en daarom zijn de definitieve resultaten ook nog niet beschikbaar.
Ook bij andere vliegvelden is onderzoek gedaan naar de concentraties ultrafijnstof, maar daarbij is niet de invloed op de gezondheid van werknemers of omwonenden bekeken.

Gezondheidseffecten rondom luchthavens
In eerste instantie is in de literatuur gezocht naar studies met ultrafijnstof en gezondheid rondom luchthavens. Er zijn in de literatuur geen studies gevonden die hierover bevindingen rapporteren; in de VS wordt momenteel een voorstudie rondom de luchthaven van Los Angeles gestart (zie later). Ook bestaan er geen studies waarin onderzocht is of het langdurig verblijven/wonen in een gebied met relatieve hoge ultrafijnstofniveaus een risico voor de gezondheid kan vormen. Er is wel onderzoek verricht naar de relatie tussen veranderingen in uurlijkse of dagelijkse blootstelling aan ultrafijnstof in de buitenlucht en acute veranderingen in verschillende gezondheidsmaten (vooral die betrekking hebben op het functioneren van de luchtwegen en van het hart en bloedvatenstelsel).

Toxicologisch onderzoek
In dierstudies zijn schadelijke effecten van ultrafijnstof geconstateerd, zoals ontstekingen in de longen en effecten op het cardiovasculair systeem. Vergelijkbare effecten zijn gevonden bij onderzoek met vrijwilligers. In dieren zijn ook effecten op het centrale zenuwstelsel aangetoond, zoals ontstekingen in de hersenen. Er is nog geen bewijs dat ultrafijnstof daadwerkelijk betrokken is bij het ontstaan van neurologische aandoeningen, zoals Parkinson of Alzheimer. Wel zijn er aanwijzingen dat ultrafijne stofdeeltjes in de hersenen terechtkomen (Oberdorster et al., 2002). Experimenten met ultrafijne koolstofdeeltjes waarbij grote hoeveelheden ($>10^5$ per cm^3) zijn gehanteerd, hebben subtiele veranderingen op het hartritme en het centraal zenuwstelsel aangetoond.

In dierstudies zijn meestal hoeveelheden ultrafijnstof gehanteerd die ruim (factor 10-100, soms meer) liggen boven wat in de buitenlucht wordt gemeten. Het doel is om te kunnen onderzoeken wanneer er toxiciteit in het lichaam optreedt en op deze wijze kunnen aanwijzingen worden verkregen over de schadelijke werking van ultrafijne deeltjes. Hierdoor kan gerichter gezocht worden naar effecten in studies met mensen. De blootstelling bestaat soms wel uit miljoenen aantallen deeltjes per kubieke centimeter. De aantallen (miljoenen) liggen veel hoger dan de uur-, dag- of jaargemiddelde-aantallen deeltjes (duizenden) in de buitenlucht, maar kunnen gelijk zijn aan piekbelastingen nabij een bron. Het is lastig om deze effecten bij hoge concentraties te vertalen naar effecten bij de mens. De mens wordt niet continu blootgesteld aan pieken met hoge aantallen ultrafijnstof. Voor sluitend bewijs is een combinatie van gegevens gewenst uit studies met

vrijwilligers en bevolkingsonderzoek met lagere concentraties ultrafijnstof, zoals die voorkomen in de buitenlucht.

Inademen van ultrafijne elementair koolstofdeeltjes (38 nm, 180 $\mu g/m^3$, ca 3.000.000 deeltjes per cm^3, gedurende een periode van 24 uur), veroorzaakt verhoogde hartslag en verlaagde hartslagvariabiliteit (HRV) in ratten, zonder ontstekingsreacties in de longen of indicatoren voor trombose (Harder et al., 2005). Bij ratten die van nature een hoge bloeddruk hebben werd met soortgelijke ultrafijne koolstofdeeltjes (172 $\mu g/m^3$ gedurende 24 uur) een extra verhoging van de bloeddruk en een verhoogde hartslag gemeten na één tot drie dagen na deze blootstelling en geen indicaties voor longontstekingen (Upadhyay et al., 2008).
Er zijn wel veel studies uitgevoerd waarbij de effecten van dieselmotoremissies is bestudeerd. Dit type emissies bevat hoge aantallen ultrafijnstof. Daar worden zowel acute effecten na kortdurende blootstelling, als effecten als gevolg van langdurige blootstelling gevonden bij concentraties die ruim boven de niveaus liggen die in de buitenlucht voorkomen. De gemeten toxiciteit omvat verminderde fagocytose (opnemen van deeltjes in cellen die deze dan weer onschadelijk moeten maken) en aantasting van afweermechanisme, schade aan cellen, ontstekingen en schade aan eiwitten en DNA. Dergelijke effecten treden ook op als gevolg van blootstelling aan PM2,5 en PM10 (Bakand et al., 2012). Onoplosbare delen ultrafijnstof worden na inademen meer verspreid door het lichaam dan PM2,5 en PM10. Tevens lijken ultrafijne stofdeeltjes minder goed door natuurlijke verdedigingsmechanismen (zoals fagocytose) te worden herkend. Dit leidt tot de aanname dat de ernst en omvang van de effecten door blootstelling aan ultrafijnstof niet kan worden geschat op basis van de kennis over PM2,5 en PM10.

Luchtverontreiniging op en rond een luchthaven omvat naast de emissies van vliegtuigen ook emissies van andere bronnen zoals wegverkeer en verkeer op platforms. Met de huidige stand van kennis is niet te bepalen of de uitstoot van ultrafijnstof door vliegtuigen een ander toxicologisch profiel heeft dan van bijvoorbeeld dieselmotoren.

Klinisch onderzoek
Bij inademing van ultrafijnstof komt een deel bovenin de longen terecht. Een klein deel daarvan wordt meteen weer uitgeademd. Veruit het grootste gedeelte komt diep in de longen terecht en slaat neer in het gebied waar de ademhaling (gaswisseling) plaatsvindt. In vergelijking met grotere stofdeeltjes wordt ultrafijnstof minder snel opgeruimd door het lichaam en kan het zich langere tijd in de long bevinden. Ultrafijne stofdeeltjes zijn zo klein dat ze ook via de longen in de bloedbaan kunnen doordringen en zo andere organen kunnen bereiken. Daarom wordt ervan uitgegaan dat een langdurige blootstelling bij de mens kan leiden tot chronische gezondheidseffecten.
In studies met vrijwilligers worden vaak hogere concentraties gebruikt dan waar de mens in de buitenlucht aan wordt blootgesteld. De effecten die dan worden gevonden op de longen zijn ontstekingen en verergering van astmatische klachten. Daarnaast worden er effecten op het cardiovasculaire systeem (hart en bloedvaten) gevonden, zoals een verhoging van de bloeddruk en verstoring van de hartfunctie. In deze

klinische studies worden vrijwilligers (gezonde, oude en jong volwassenen, patiënten met hartproblemen en aderverkalking) blootgesteld aan zeer hoge hoeveelheden ultrafijnstof: 1-4 miljoen deeltjes per kubieke centimeter gedurende 2twee uur met inspanningsoefeningen. Dit is dus vele malen hoger dan in de buitenlucht over een dergelijk interval wordt gemeten. Hoewel er wel degelijk een nadelige invloed op voornamelijk hart, bloed en bloedvaten wordt gemeten zijn deze effecten na 24 uur ook weer verdwenen. Wel lijkt het aannemelijk dat de deeltjes die in het lichaam achterblijven zich ook door het hele lichaam kunnen verspreiden. Het gaat hierbij om minder dan een procent van de hoeveelheid die in de longen achterblijft. Het opruimen van de ultrafijne deeltjes lijkt ook minder snel te gebeuren dan voor fijn stof geldt.

Bij gezonde proefpersonen, die gedurende twee uur werden blootgesteld aan ultrafijn elementair koolstof (10 $\mu g/m^3$ en 25 $\mu g/m^3$), bleek in rust 66% van de ingeademde deeltjes in de luchtwegen en longen achter te blijven en dat deze hoeveelheid tot 83% toenam met lichaamsbeweging (Frampton, 2001). Deze percentages zijn daarmee hoger dan voor PM2,5 en PM10 wordt bepaald.

Voor astmatische patiënten zijn deze percentages nog weer wat hoger (Frampton et al., 2004). In beide studies werden nadelige veranderingen in hartslagfunctie gemeten en geen ontstekingsreacties of toename van de bloedstolling. In een recente studie bij vrijwilligers, die gedurende twee uur aan tot 70 $\mu g/m^3$ ultrafijne elementair koolstofdeeltjes waren blootgesteld (4.000.000 per cm^3), werd vastgesteld dat er geen nadelige effecten op bloedvaten of toename van de bloedstolling optraden (Mills et al., 2011). In hetzelfde onderzoek en in Lucking et al. (2011) werd gedemonstreerd dat verdunde dieselmotoruitstoot (met circa 1.000.000 deeltjes per cm^3) een reeks nadelige effecten op het hart en de bloedvaten kon veroorzaken (meer dan met koolstof). Deze effecten konden door het wegfilteren van de ultrafijne deeltjes worden voorkomen. Overigens geven alle genoemde studies aan dat de gemeten nadelige effecten de dag na de verhoogde blootstelling niet meer meetbaar zijn. De verschillen tussen effecten van verdunde dieselmotoruitstoot en de koolstofdeeltjes (roet) wordt verklaard door de aanwezigheid van (semi) vluchtige organische deeltjes en metaal in dieselmotoruitstoot.
Vora et al. (2014) concludeerden op basis van hun studie dat het inademen van elementaire koolstof ultrafijne deeltjes (circa 10.000.000 per cm^3, circa 50 $\mu g/m^3$, count median diameter 32 nm) de hartslag en hartslagvariabiliteit bij mensen met type 2 diabetes nadelig beïnvloedt. Zij stellen dat deze effecten nog uren aan kunnen houden na een eenmalige blootstelling van 2 uur. Ook hier zijn de hoeveelheden ultrafijnstof vele malen hoger dan je in een gebied rondom Schiphol kan aantreffen.

Andere overzichtsstudies
Sinds 2009 zijn er vier literatuurreviews verschenen waarin een overzicht en duiding wordt gegeven over de causaliteit van het optreden van gezondheidseffecten van ultrafijnstof. De eerste review betrof de US EPA Integrated Science Assessment (EPA, 2009) waarin alle studies

tussen 2000 en 2009 zijn beschreven en geëvalueerd. De EPA concludeerde op basis van de toen beschikbare literatuur dat er weliswaar in sommige epidemiologische onderzoeken associaties waren gevonden tussen ultrafijnstofniveaus in de buitenlucht en acute luchtwegklachten bij kinderen en bij volwassen astmapatiënten, en (spoed)ziekenhuisopnames voor astma-aanvallen en longontsteking, maar dat dit zeker niet in alle studies die naar deze effecten hadden gekeken, was gevonden. Hetzelfde kon worden geconcludeerd over het beperkt aantal studies, dat naar cardiovasculaire effecten had gekeken. De EPA duidde op basis van de toentertijd beschikbare literatuur dat er 'suggestive evidence' was dat kortetermijnblootstelling aan ultrafijnstof in de buitenlucht causaal gerelateerd kon worden aan respiratoire en cardiovasculaire aandoeningen. Voor alle andere gezondheidsmaten (sterfte, aandoeningen aan het centrale zenuwstelsel, chronische gezondheidseffecten, kanker etc.) was er 'inadequate' bewijslast.

In 2009 heeft het RIVM, samen met het IRAS (Universiteit Utrecht), een workshop georganiseerd met deskundigen op het gebied van ultrafijne deeltjes (epidemiologen, toxicologen en clinici), waarin deze een 'expert-judgement' moesten geven over hoe waarschijnlijk zij een causale relatie tussen ultrafijnstof en gezondheidseffecten achtten (Knol et al., 2009). De deelnemers aan deze workshop oordeelden dat het waarschijnlijk is dat er een onafhankelijke causale relatie bestaat tussen kortdurende verhoogde blootstelling aan ultrafijnstof en een toename in dagelijkse sterfte, aantal ziekenhuisopnames voor hart- en vaatziekten, en luchtwegaandoeningen, verergering van astmatische klachten en tijdelijke longfunctiedalingen. De waarschijnlijkheid dat chronische blootstelling aan ultrafijnstof oorzakelijk kon worden gerelateerd aan sterfte, cardiovasculaire en respiratoire gezondheidseffecten en long kanker werd lager gewaardeerd, meestal 'medium'.

In januari 2013 verscheen het rapport van het Health Effects Institute (HEI) review panel on ultrafine particles. Dit rapport beschrijft de literatuur die na de EPA-review is verschenen tot 1 januari 2012, alsmede literatuur die door de EPA niet was meegenomen, en probeert op basis van toxicologische en epidemiologische literatuur een duiding te geven over de causaliteit van ultrafijnstof in de buitenlucht en het optreden van gezondheidseffecten. Ook in deze review zijn geen studies geïdentificeerd waarin is onderzocht of er een relatie is tussen chronische blootstelling aan ultrafijnstof (dus het wonen op locaties met relatief veel ultrafijnstof) en (het ontstaan van) gezondheidseffecten. Er is ook na die tijd nog geen studie verschenen die in een cohort de relatie tussen chronische blootstelling aan ultrafijnstof en gezondheid heeft onderzocht. Wel zijn er sinds 2009 drie dwarsdoorsnedestudies uitgevoerd, waarbij op enig moment in de tijd de relatie tussen gezondheid en de ultrafijnstofconcentratie is onderzocht. De zeggingskracht van deze studies is gering. Cahill et al. (2011) leggen weliswaar een relatie tussen overlijden aan hartfalen en ultrafijnstof, maar de data-analyse en bewijsvoering kan als beperkt gekwalificeerd worden. Kim et al. (2011) vonden een relatie tussen ultrafijnstof in de buitenlucht en het voorkomen van zelf gerapporteerde astma bij Koreaanse schoolkinderen, maar geen relatie tussen ultrafijnstof in de schoollokalen en door de huisarts gediagnostiseerd astma. Lwebuga-Mukasa et al. (2005) vonden een associatie tussen ultrafijnstof en astma

in de buurt van een drukke verkeersbrug in Buffalo (VS). Het statistische model dat is gebruikt, lijkt echter onvoldoende rekening te houden met mogelijke verstoorders waardoor deze studie moeilijk te interpreteren is. Over de interpretatie van een veelvoud aan studies (75) die hebben gekeken naar de gezondheidseffecten van kortdurende blootstelling (uren of daggemiddelden) aan ultrafijnstof, is het review panel pessimistisch met betrekking tot de bewijslast voor een causaal effect van ultrafijnstof. De resultaten van studies die hebben gekeken naar dagelijkse sterfte en ultrafijnstof in de buitenlucht vindt het panel 'not consistently observed', studies die hebben gekeken naar ziekenhuisopnames of huisartsenbezoek in relatie tot dagelijkse blootstelling aan ultrafijnstof vinden zij 'difficult to assess consistency across studies', terwijl ook vaak andere luchtverontreinigingscomponenten met deze uitkomstmaten gerelateerd waren, waardoor volgens het panel niet kan worden hardgemaakt dat ultrafijnstof het causale agens is. Ook de gepubliceerde studies naar luchtwegklachten en longfunctie in relatie tot dagelijkse blootstelling aan fijnstof, alsmede de studies naar cardiovasculaire uitkomstmaten (hatritmevariabiliteit, bloeddruk et cetera) duidt het panel als 'inconsistent'. Het panel wijst nadrukkelijk op de mogelijkheid dat doordat ultrafijnstof sterk met andere verbrandingsproducten gecorreleerd kan zijn, het onafhankelijk ultrafijnstofeffect moeilijk te achterhalen is.

In de overall conclusie schrijft het panel (vertaling; zie review pagina 4 voor oorspronkelijke Engelstalige tekst): 'Verscheidene factoren – de unieke fysische eigenschappen van ultrafijnstof, de interacties met weefsels en cellen, de potentie om ook verder in het lichaam door te dringen dan in de longen – hebben ertoe geleid dat wetenschappers verwachten dat ultrafijnstof een specifieke of een sterkere toxiciteit heeft dan andere deeltjesfracties en dat het ook aan effecten in andere delen van het lichaam dan alleen de longen kan bijdragen. Echter, de aanzienlijke hoeveelheid onderzoek die hiernaar is gedaan, heeft hierop geen definitief antwoord gegeven. Dierexperimenteel onderzoek, humaan-klinisch onderzoek en epidemiologisch onderzoek hebben tot op heden geen consistente resultaten laten zien over de effecten van blootstelling aan ultrafijnstof bij niveaus zoals zij optreden in de buitenlucht, met name bij de bevolking. De huidige bewijslast ondersteunt niet de conclusie dat blootstelling aan ultrafijnstof in een belangrijke mate bijdraagt aan de gevonden gezondheidseffecten zoals die door luchtverontreiniging van andere componenten zoals PM2,5 zijn gevonden. Het feit dat de experimentele en epidemiologische studies geen sterke en consistente bevindingen laten zien voor onafhankelijke gezondheidseffecten van ultrafijnstof, betekent echter ook niet dat deze effecten, als onderdeel van de effecten van deeltjesvormige luchtverontreiniging als geheel, volledig kunnen worden uitgesloten.'

Eveneens in 2013 verscheen een review van de WHO over de evidentie van gezondheidseffecten door verschillende luchtverontreinigingscomponenten, waaronder ultrafijnstof. Het review committee concludeerde dat 'based on epidemiological studies, there is still limited evidence on the effects on health of ultrafine particles, although the potential for such effects was considered to be large in a recent synthesis of opinions of experts. Compared with the assessment

in the 2005 global update of the WHO air quality guidelines, links were observed between daily changes in ultrafine particles and cardiovascular disease hospital admissions, as well as cardiovascular disease mortality.'(WHO, 2013) De review beschrijft dat de relatie tussen ultrafijne deeltjes of deeltjesaantallen in de buitenlucht en ziekenhuisopnames voor hart- en vaatziekten zekerder is geworden door een toename van het aantal studies, maar dat de relatie met ziekenhuisopnames voor luchtwegaandoeningen onduidelijk blijft. Ook neemt, volgens de auteurs, de bewijslast voor een relatie tussen ultrafijnstof of deeltjesaantallen en dagelijkse sterfte toe. Ook studies die specifiek naar (bloed)markers voor hartfunctioneren, ontstekingsreacties en bloedcoagulatie hebben gekeken laten relaties met ultrafijnstof zien, alhoewel er ook negatieve studies gerapporteerd zijn en ook nu nog geen duidelijk beeld is te geven.

Recent epidemiologisch onderzoek

Recent zijn er in België en Duitsland twee ultrafijnstofstudies gepubliceerd. Pieters en collega's onderzochten de relatie tussen ultrafijnstof, PM2.5, PM10 en grofstof en bloeddruk bij schoolgaande kinderen in de omgeving Antwerpen (Pieters et al., 2015). De twee uurgemiddelde-ultrafijnstofniveaus varieerden tussen de 5.000 en 20.000 per cm^3, de concentraties PM2,5 en PM10 waren vergelijkbaar met stedelijke niveaus.
Er werden alleen relaties gevonden tussen systolische bloeddruk (bovendruk) en ultrafijnstof, en hoe kleiner de ultrafijnstoffractie, hoe sterker de verbanden. De grootte van de gevonden effecten varieerden over de middelste 50% van de meetwaarden (de Inter Quartiel Range) van 6% in de kleinste (20-30 nm) fractie tot 1% verhoging voor de grotere 70-100 nm) ultrafijnstof fractie. Omdat bloeddruk op jeugdige leeftijd bepalend kan zijn voor verhoogde bloeddruk op latere leeftijd vinden de onderzoekers dit een belangwekkende bevinding. Voor PM2,5 en PM10 en grofstof werden geen associaties gevonden en ook geen relaties met diastolische bloeddruk (onderdruk) voor alle onderzochte stoffracties.

In het Duitse Augsburg is recent de relatie tussen ultrafijnstof en acute veranderingen (tot 15 minuten na blootstelling) in hartritmevariabiliteit (HRV) onder volwassenen met bestaand diabetes onderzocht (Peters et al., 2015). Een verlaging van de HRV wordt als negatief gezondheidseffect beschouwd omdat hierdoor het lichaam minder in staat is om adequaat op externe prikkels te reageren. Zij ziet al vrij snel na blootstelling (enkele minuten) een verandering in hartritme en HRV in relatie tot ultrafijnstof. De blootstellingsniveaus in deze studie varieerden voor ultrafijnstof tussen de 900 en 81.000 cm^3.
In Peking is een soortgelijk onderzoek uitgevoerd (Sun et al., 2015), waarbij ook gassen zijn gemeten. Helaas is er, behalve roet en ultrafijnstof, geen andere PM-massafractie gemeten en is er niet gekeken naar onmiddellijke reacties, maar is er gerekend met de vier uur gemiddelde blootstellingen voorafgaand aan de meting. Ook nu weer blijkt de kleinste ultrafijnstoffractie het beste te correleren met een maat (Standard Deviation of Normal to Normal – SDNN) voor hartritmevariabiliteit.
Tijdens de jaarlijkse bijeenkomst van het Health Effect Institute in 2015 is door het RIVM contact gezocht met Dr. Ed Avols en Dr. Neelakshi

Hudda, beiden betrokken bij onderzoek rondom Los Angeles Airport. Zij waren bezig met voorbereidingen van een pilotstudy rondom de luchthaven waarvan de start in de loop van 2015 was voorzien. De pilotstudy betreft een onderzoek onder 22 niet-rokende, volwassen astmapatiënten die op twee verschillende locaties (waarvan één gelegen is onder de aanvliegroutes en één buiten de aanvliegroutes ligt) gedurende twee uur wandelen volgens een voorop vastgelegde route en waarbij tegelijkertijd de ultrafijnstofblootstelling wordt gemeten. Na twee uur worden longfunctie, uitgeademd NO (ontstekingsmarker) bepaald en bloed afgenomen. Opvallend is dat er geen cardiovasculaire uitkomstmaten zijn meegenomen in het ontwerp, terwijl op basis van gepubliceerd onderzoek duidelijk is dat er bij afwezigheid van nadelige effecten in de longen of luchtwegen er wel nadelige (zij het reversibel) effecten op hart en bloedvaten zijn vastgesteld.

4.3 Relatie met eerdere bevindingen uit onderzoeken rondom Schiphol

De Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) startte begin jaren ’90 in het kader van de integrale Milieu Effect Rapportage Schiphol in opdracht van de Ministeries van VenW, VROM en VWS. Destijds werd gesignaleerd dat luchtwegaandoeningen een onderwerp van zorg onder de bevolking vormden (Staatsen et al., 1993). Anderzijds waren er toen geen redenen om te veronderstellen dat de emissies van het vliegverkeer nadelige gezondheidseffecten op de luchtwegen zou kunnen veroorzaken. Deze conclusie was gebaseerd op de uitkomsten van literatuuronderzoek en op basis van informatie over de bijdrage van de luchtvaart aan de luchtverontreiniging in de directe omgeving van de luchthaven. Kanttekening hierbij is dat toen voor deeltjesvormige luchtverontreiniging alleen informatie over de concentraties zwarte rook en PAK in de omgeving van Schiphol beschikbaar was. Over de concentraties PM10, PM2,5 of ultrafijnstof die afkomstig was van vliegtuigen was destijds geen informatie bekend.

Naar aanleiding van publiciteit over mogelijk nadelige effecten van vliegverkeer op de luchtwegen en daaropvolgende Kamervragen is in 1997 in opdracht van de Minister van VWS een aanvullend gezondheidskundig onderzoek onder basisschoolkinderen uitgevoerd (Van Vliet et al., 1999). Vanwege terugkerende bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten door luchtverontreiniging is er ook voor gekozen luchtwegaandoeningen als indicator in het monitoringprogramma van GES op te nemen. Met het monitoringsprogramma GES werd de ontwikkeling in kaart gebracht van de milieubelasting en indicatoren van gezondheid en beleving van omwonenden in de regio Schiphol in de periode 1995-2005 (Houthuijs en van Wiechen, 2006).

De belangrijkste bevindingen uit het onderzoek naar de effecten van luchtverontreiniging rond Schiphol zijn beschreven in bijlage 1. In een overzicht over de resultaten van de GES werd geconcludeerd dat de verschillende deelonderzoeken (onderzoek onder basisschoolkinderen in 1998, vragenlijstonderzoeken in 2002 en 2005, onderzoek met bestaande gezondheidsregistraties, zoals apotheekgegevens over 2000-2004 en ziekenhuisopnamen uit de periode 1995-2004) geen

aanwijzingen voor een relatie tussen luchtverontreiniging van vliegverkeer en luchtwegaandoeningen opleverden (Houthuijs en van Wiechen, 2006). De bijdrage van het vliegverkeer en -activiteiten op Schiphol aan de lokale luchtverontreiniging leek destijds te gering (maximaal enkele procenten) om het risico op luchtwegaandoeningen zodanig te verhogen dat dit verhoogd risico kon worden gedetecteerd. Deze conclusies uit 2006 waren indertijd in lijn met de conclusies die de Gezondheidsraad al in 1999 over de luchtverontreiniging rond grote luchthavens formuleerde. De niveaus van luchtverontreiniging rond grote luchthavens komen overeen met die van stedelijke gebieden en vinden hun oorzaak vooral in de uitstoot door het wegverkeer. Bij dergelijke concentraties zijn effecten op de gezondheid te verwachten, ook wanneer de concentraties onder de officiële richtwaarden blijven. Er werden in het onderzoek van de Gezondheidsraad destijds geen aanwijzingen gevonden dat, vergeleken met andere stedelijke gebieden, de luchtverontreiniging in de omgeving van een luchthaven een extra gezondheidsrisico met zich meebrengt.

Aan de blootstelling aan ultrafijne deeltjes is in de GES nooit aandacht geschonken, omdat mogelijke gezondheidsrisico's van ultrafijne deeltjes in relatie tot vliegverkeer ten tijde van dit programma nog onbekend waren.
Kwantitatieve gegevens over de luchtkwaliteit (PM10, NO_2) in een groter gebied rond Schiphol waren indertijd op adresniveau ook nauwelijks voorhanden. Destijds zijn daarom in de gezondheidsonderzoeken andere blootstellingsindicatoren, zoals afstand tot de luchthaven, gebruikt. Hierbij kon niet voor de (grotere) blootstelling aan luchtverontreiniging die afkomstig was van het wegverkeer worden gecorrigeerd, waardoor de bevindingen over de gevolgen van de luchtverontreinigingsbijdrage van vliegverkeer, in het licht van de huidige kennis, een beperkte zeggingskracht hebben. Een uitzondering hierop was het onderzoek bij basisschoolkinderen (Van Vliet et al., 1999). Hierin werd in zijn algemeen geen verband tussen de verschillende blootstellingsmaten (gemeten en gemodelleerde luchtverontreiniging in en nabij de scholen, het woonadres van het kind, of de afstand van de school of het woonadres tot Schiphol) en gemeten gezondheidsindicatoren gevonden.

In de GES is de blootstelling aan luchtverontreiniging gerelateerd aan mogelijke effecten op luchtwegaandoeningen en niet aan mogelijke effecten op aandoeningen van het hart- en vaatstelsel. Deze laatste aandoeningen werden in het programma alleen in relatie tot de blootstelling aan vliegtuiggeluid onderzocht. In het licht van de huidige kennis over de mogelijke effecten van (ultra)fijnstof zou het in het kader van de GES zinvol zijn geweest om ook naar mogelijke effecten van luchtverontreiniging op het hart- en vaatstelsel te kijken. Maar ook dan zou de zeggingskracht maar beperkt zijn geweest gezien de tekortkomingen in de blootstellingskarakterisering.

4.4 Betekenis van de gemeten ultrafijnstof niveaus voor de blootstelling en gezondheid

In hoofdstuk 3 van dit rapport is beschreven hoe op basis van de uitgevoerde metingen en de modelberekeningen een indruk is verkregen van de blootstelling aan ultrafijnstof rondom de luchthaven. Op basis

van de windroosgegevens en de wetenschappelijke literatuur op het gebied van gezondheidseffecten door kortdurende, verhoogde blootstelling kan niet worden uitgesloten dat ook rondom Schiphol sprake kan zijn van nadelige gezondheidseffecten door emissies afkomstig van Schiphol. De omvang (dan wel de afwezigheid) van deze gezondheidseffecten valt nu echter niet te bepalen omdat de literatuur op het gebied van acute effecten nog onvoldoende eenduidig is.

Op basis van de modelberekeningen kan eveneens niet worden uitgesloten dat de bijdrage van de luchthaven aan de jaargemiddelde-hoeveelheden ultrafijnstof leidt tot gezondheidseffecten. De Gezondheidsraad concludeerde in 1999 dat de niveaus van luchtverontreiniging rond grote luchthavens overeen komen met die van stedelijke gebieden en dat bij dergelijke concentraties effecten op de gezondheid zijn te verwachten. Over de totale hoeveelheden ultrafijnstof in de woonkernen rondom Schiphol is nu weinig informatie beschikbaar, alleen over de gemodelleerde bijdrage door Schiphol. Dit maakt een vergelijking van de niveaus rondom Schiphol met andere, verstedelijkte, gebieden lastig. In hoeverre de bijdrage van ultrafijnstof van de luchthaven hierin een extra risico vormt, kan op basis van de literatuur niet worden aangegeven; er zijn immers geen studies beschikbaar die de situatie rondom een luchthaven hebben onderzocht. In tegenstelling tot eerdere bevindingen, namelijk dat vooral de aan wegverkeer gerelateerde componenten verhoogd waren en dat de bijdrage van Schiphol zich beperkte tot enkele procenten (zie Bijlage 4), lijkt er op basis van de modelberekeningen voor ultrafijnstof een bijdrage te zijn van enkele tientallen procenten op de achtergrondniveaus. Dit is een wezenlijk ander beeld dan eerder over de luchtkwaliteit rondom Schiphol is beschreven. Of er sprake is van een relatie met gezondheid kan slechts met nieuw onderzoek beantwoord worden.

4.5 Slotbeschouwing

Op basis van de wetenschappelijke literatuur kunnen nadelige gezondheidseffecten door ultrafijnstof na kortdurende, verhoogde, dan wel langdurige blootstelling niet worden uitgesloten gezien de gemeten concentraties en de geschatte bijdragen in de omgeving van Schiphol. Literatuur over de mogelijke nadelige effecten door langdurige blootstelling aan ultrafijne deeltjes is nagenoeg afwezig (en absent als het gaat om ultrafijnstof van vliegvelden dan wel vliegtuigen). Het is daarom niet mogelijk de invloed op de gezondheid van omwonenden betrouwbaar te kwantificeren.
Milieudefensie heeft in 2014 wel een schatting gemaakt van het aantal maanden levensverlies door ultrafijnstof die afkomstige was van Schiphol op basis van een meetcampagne van TNO (Milieudefensie, 2014; Keuken et al., 2014). Daarbij is gebruikgemaakt van een concentratie-responsfunctie die is opgesteld door een panel van deskundigen. Het betreft hier geen empirisch vastgestelde relatie, maar een schatting op basis van verwachtingen van deze deskundigen. Daarmee is de basis voor deze concentratie-responsfunctie met grote onzekerheden omgeven. Milieudefensie schatte in dat, op basis van gemodelleerde niveaus ultrafijnstof, de levensduur in gebieden benedenwinds van Schiphol tot meer dan één jaar verkort kon worden. De betekenis van deze berekening is beperkt, vooral vanwege het

ontbreken van de wetenschappelijke basis van de gehanteerde concentratie-responsfunctie en het niet corrigeren voor de invloed van andere luchtverontreinigende stoffen.

4.6 Te overwegen aanbevelingen voor gezondheidskundig onderzoek

Voor nieuw gezondheidsonderzoek naar zowel de effecten van kortdurende toename van ultrafijnstof (pieken) als van de effecten van langdurige blootstelling aan verhoogde hoeveelheden ultrafijnstof is een aantal zinvolle en haalbare mogelijkheden te overwegen.

- **Onderzoeken naar gezondheidseffecten na kortdurende verhogingen in de uur- of dagniveaus ultrafijnstof**

1. Onderzoek waarbij een beperkte groep vrijwilligers gedurende korte tijd (één tot enkele uren) benedenwinds van de gebruikte baan verblijft. Bij deze personen worden vervolgens gezondheidsmetingen verricht (longfunctie, hartritmevariabiliteit, uitgeademd NO als indicator voor ontsteking) en bloed afgenomen. Dit onderzoek kan inzicht geven in de 'worst case'-effecten van kortdurende blootstelling aan relatief hoge niveaus. Het kan ondersteunend zijn bij de opzet van een grootschaliger gezondheidsonderzoek onder omwonenden en daarmee worden directe relaties gelegd met studies waarbij vrijwilligers zijn blootgesteld aan bijvoorbeeld dieselmotoruitstoot of aan luchtverontreiniging op andere locaties in Nederlands zoals langs drukke snelwegen.
2. Het op dagbasis volgen van de sterfte en/of ziekenhuisopnames en de ultrafijnstofniveaus (tijdserie-onderzoek). Beide typen onderzoek zijn al voor geheel Nederland uitgevoerd op basis van bestaande sterfte- en ziekenhuisregistraties. Voorwaarde is dat de ultrafijnstofniveaus op uur- of dagbasis retrospectief beschikbaar zijn. Dit onderzoek kan leiden tot een duiding van de situatie omdat de uitkomsten naast andere internationale studies kunnen worden gelegd.
3. Met klachtendagboekjes (of een meer moderne variant hiervan zoals een hiervoor ontwikkelde app) , eventueel aangevuld met eenvoudige longfunctiemetertjes, gedurende enkele maanden volgen van kleinere groepen kinderen, volwassenen of ouderen (panelstudie). Ook dit onderzoek is in het verleden in Nederland regelmatig toegepast. Het studie-design kan worden uitgebreid met additionele persoonlijke metingen van hartfunctie. Het onderzoek geeft inzicht in de daadwerkelijke relatie tussen het optreden van (luchtweg)klachten en dagelijkse schommelingen in de ultrafijnstof concentraties.
4. Toxicologisch onderzoek met verzameld ultrafijnstof (toxstudie) dan wel direct op locaties rondom Schiphol verrichten van experimenteel onderzoek, gekoppeld aan een uitvoerige chemische en fysische analyses om de bijdragen van vliegtuigemissies vast te stellen. Hiermee kan ook het verschil in schadelijkheid van ultrafijnstof dat afkomstig is van vliegverkeer en dat afkomstig is van wegverkeer inzichtelijk worden gemaakt.

- **Onderzoeken naar gezondheidseffecten door langdurige blootstelling aan ultrafijnstof**

1. Vragenlijstonderzoek onder omwonenden van Schiphol. In de vragenlijst worden vragen gesteld over de gezondheid van de

deelnemer. Deze informatie kan gerelateerd worden aan de langetermijnmodellering van de Schiphol-bijdrage. Aanname is hierbij dat de verdeling in 2015 van de bijdrage representatief is voor een langere periode in het verleden. Punt van aandacht is dat in 2016 de GGD-Gezondheidsmonitor voor volwassenen en ouderen wordt uitgezet; bezien zou kunnen worden of er bij de steekproeftrekking rekening kan worden gehouden met de ultrafijnstofcontouren.
2. CBS-sterftestatistieken koppelen aan de ultrafijnstofbijdrage. Voor geheel Nederland is dat recent gedaan voor PM10 en NO_2. Hierbij worden sterftegegevens uit bestaande registraties van het CBS op adresniveau gekoppeld aan gemodelleerde luchtverontreiniging op het adres. Hiermee kan achterhaald worden of de kans op vroegtijdig overlijden verhoogd is in omgevingen met relatief hogere luchtverontreinigingsniveaus. De methodiek zou ook apart voor de regio-Schiphol kunnen worden gedaan in relatie tot ultrafijnstof. Ook hiervoor geldt de aanname dat de huidige contouren representatief zijn voor een langere periode.
3. Momenteel worden de mogelijkheden geëvalueerd om ditzelfde ontwerp ook voor medicijngebruik en geboortegewicht te kunnen doen, waarbij gebruik wordt gemaakt van registratiesystemen van ziekenhuisopnames en geboortegewichten op basis van het woonadres.
4. Gebruikmaken van gegevens die in lopende studies worden verzameld. Van de deelnemers aan deze studies is meestal het woonadres of postcode bij de onderzoekers bekend. Koppeling met ultrafijnstofbijdrage op het woonadres kan dan mogelijke invloeden van deze bijdrage op gezondheidsuitkomsten aan het licht brengen. Geïnventariseerd zou moeten worden of er voldoende deelnemers aan reeds lopende studies in het gebied woonachtig zijn om zinvol gebruik te kunnen maken van gezondheidsdata om een relatie met ultrafijnstof te onderzoeken.
5. Het wordt niet zinvol geacht om met onderzoek dat in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol eerder rond Schiphol is uitgevoerd nieuwe statistische analyse met blootstellinggegevens over ultrafijnstof uit 2015 uit te voeren.

NB. Allereerst heeft de opening van de Polderbaan in 2003 geleid tot een verandering van het ruimtelijk patroon van ultrafijnstofblootstelling. Daarnaast is het aannemelijk dat de emissies van vliegtuigen in de loop van de tijd zijn veranderd. Recente informatie over de blootstelling aan ultrafijnstof is daarmee naar allerwaarschijnlijkheid niet representatief voor de blootstelling ten tijde van de eerder uitgevoerde studies die vijftien tot twintig jaar geleden zijn uitgevoerd. Daarnaast geldt dat de onderzoeken in het kader van het GES-monitoringsprogramma zich primair op de blootstelling op vliegtuiggeluid richtten. De onderzoeken op basis van bestaande gezondheidsregistraties (ziekenhuisopnamen en medicatiegebruik) maakten gebruik van informatie per 4-positiepost-codegebied. Voor vliegtuiggeluid is deze benadering geschikt. Echter, met deze onderzoeksopzet kan maar in beperkte mate gebruik worden gemaakt van de variatie in blootstelling aan ultrafijnstof rond Schiphol, omdat geen rekening kan worden gehouden met de variatie van blootstelling binnen postcodegebieden. Onderzoek waarmee de relatie tussen blootstelling aan ultrafijnstof en gezondheid op woonadres in plaats van op postcodeniveau kan worden onderzocht, heeft meer

zeggingskracht. Inmiddels is het mogelijk met een aantal gezondheidsregistraties (zoals sterfte, medicatiegebruik) – onder strikte voorwaarden – onderzoek te verrichten waarbij koppeling op woonadres van blootstelling en (niet tot persoon herleidbare) informatie over gezondheid mogelijk is. Deze nieuwere onderzoekmethodiek verdient de voorkeur boven het opnieuw analyseren van eerder verzamelde gegevens uit gezondheidsregistratiesystemen, uit oogpunt van zowel de zeggingskracht van de gehanteerde onderzoeksopzet als de representativiteit van de recente informatie over de blootstelling aan ultrafijnstof voor in het verleden verzamelde gegevens.

Verbetering blootstellingsgegevens
Ten behoeve van alle onderzoekopzetten zouden de huidige ultrafijnmetingen moeten worden geïntensiveerd. Vanwege het tijdelijke en ruimtelijke patroon van ultrafijnstof (afwijkend van PM10, PM2,5 en NO_2) is het van essentieel belang dat er fijnmaziger gemeten zal worden. Enerzijds is dit van belang om de huidige modelberekeningen te valideren en daarmee ook de retrospectieve blootstellingen te verbeteren, anderzijds zullen de studies naar acute effecten gepaard moeten gaan met daadwerkelijke uur- of dagwaarden ultrafijnstof.

Voor de situatie rond Schiphol zien we de volgende twee verdiepende onderzoeken als het meest wenselijk:

- Onderzoek naar acute gezondheidseffecten na kortdurende blootstelling.
  Dit kan een relatief eenvoudig onderzoek zijn waarbij bijvoorbeeld een beperkte groep mensen meerdere malen gedurende korte tijd (één tot enkele uren) benedenwinds van een in gebruik zijnde baan wordt blootgesteld en simultaan verschillende gezondheidsparameters worden gemonitord (een vergelijkbare studie vindt momenteel plaats rondom de luchthaven van Los Angeles).
- Onderzoek naar gezondheidseffecten door langdurige blootstelling.
  Dit kan bijvoorbeeld door sterftestatistieken en informatie over medicijngebruik van het CBS te koppelen aan de ultrafijnstofbijdrage op adresniveau (een soortgelijke studie, maar dan voor fijnstof en stikstofdioxide, is in 2015 door het RIVM gerapporteerd, dit betrof meer dan 3.000.000 adressen in heel Nederland).
  Voorwaarde is dat de blootstellingscontouren representatief moeten zijn voor een langere periode. Daar is een aanvullend ultrafijnstofmeetprogramma voor nodig. De hiermee verkregen meetgegevens kunnen tevens worden benut om het nu gebruikte model te valideren en zo nodig te verbeteren.

De doorlooptijd die verbonden is aan deze onderzoeken wordt op tenminste twee jaar per onderwerp geschat.

Wij achten het zinvol om een vervolgonderzoek in samenspraak met (inter)nationale collega's te formuleren om zoveel mogelijk gebruik te maken van kennis die nu in ontwikkeling is. In een (inter)nationale workshop (met Los Angeles, betrokken GGD'en, en Nederlandse en internationale universiteiten en kennisinstellingen) wordt samenwerking en afstemming gezocht om zo efficiënt en effectief mogelijk tot een gedragen voorstel te komen.

4.7 Referenties

Bakand, S., A. Hayes F. Dechsakulthorn, Nanoparticles: a review of particle toxicology following inhalation exposure. Inhal Toxicol. 2012;24(2):125-35.

Cahill, T.A., D.E. Barnes, N.J. Spada, J.A. Lawton, T.M. Cahill. 2011. Very fine and ultrafine metals and ischemic heart disease in the California Central Valley 1: 2003–2007. Aerosol Sci Technol 45:1123–1134.

U.S. EPA. Integrated Science Assessment for Particulate Matter (Final Report). U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/139F, 2009.

Frampton, M.W., M.J. Utell, W. Zareba, G. Oberdörster, C. Cox, L.S. Huang.et al. Effects of exposure to ultrafine carbon particles in healthy subjects and subjects with asthma. Res Rep Health Eff Inst. 2004 Dec;(126):1-47.

Frampton, M.W. Systemic and cardiovascular effects of airway injury and inflammation: ultrafine particle exposure in humans. Environ Health Perspect. 2001 Aug;109 Suppl 4:529-32

Gezondheidsraad. Grote luchthavens en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad. 1999. Rapport 1999/14.

Houthuijs, D.J.M. en C.M.A.G. van Wiechen. Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol. Bilthoven: RIVM. 2006. Rapport 630100003.

Harder, V., P. Gilmour, B. Lentner, . Karg, S. Takenaka, A. Ziesenis et al. Cardiovascular responses in unrestrained WKY rats to inhaled ultrafine carbon particles. Inhal Toxicol. 2005 Jan;17(1):29-42.

HEI Review Panel on Ultrafine Particles. 2013. Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles. HEI Perspectives 3. Health Effects Institute, Boston, MA.

Keuken, M., M. Moerman, P. Zandveld, B. Henzing, B. Brunekreef, G. Hoek. Ultrafijnstof rondom Schiphol. Tijdschrift Lucht 2014, nr. 6.

Kim, J.L., L. Elfman, G. Wieslander, M. Ferm, K. Toren, D. Norback. 2011. Respiratory health among Korean pupils in relation to home, school and outdoor environment. J Korean Med Sci 26:166–173.

Knol, A.B., J.J. de Hartog, H. Boogaard, P. Slottje, J.P. van der Sluijs, E. Lebret et al. 2009. Expert elicitation on ultrafine particles: Likelihood of health effects and causal pathways. Particle and fibre toxicology 6:19.

Langrish, J.P., N.L. Mills, J.K. Chan, D.L. Leseman, R.J Aitken, P.H. Fokkens et al. Beneficial cardiovascular effects of reducing exposure to particulate air pollution with a simple facemask.Part Fibre Toxicol. 2009 Mar 13;6:8. doi: 10.1186/1743-8977-6-8.

Lucking, A.J., M. Lundbäck, S.L. Barath, N.L. Mills, M.K. Sidhu, J.P. Langrish et al. Particle traps prevent adverse vascular and prothrombotic effects of diesel engine exhaust inhalation in men. Circulation. 2011 Apr 26;123(16):1721-8.

Lwebuga-Mukasa, J.S., T.J. Oyana, C. Johnson C. 2005. Local ecological factors, ultrafine particulate concentrations, and asthma prevalence rates in Buffalo, New York, neighborhoods. J Asthma 42:337–348.

Milieudefensie: https://milieudefensie.nl/publicaties/factsheets/factsheet-ultrafijnstof-door-schiphol

Mills, N.L., M.R. MillerR, A.J. Lucking, J. Beveridge, L. Flint, A.J. Boere et al. Combustion-derived nanoparticulate induces the adverse vascular effects of diesel exhaust inhalation. Eur Heart J. 2011 Nov;32(21):2660-71.

Oberdörster, G., Z. Sharp, V. Atudorei et al., 'Extrapulmonary translocation of ultrafine carbon particles following wholebody inhalation exposure of rats,' Journal of Toxicology and Environmental Health A, vol. 65, no. 20, pp. 1531–1543, 2002.

Peters, A., R. Hampel, J. Cyrys, S. Breitner, U. Geruschkat, U. Kraus et al. 2015. Elevated particle number concentrations induce immediate changes in heart rate variability: A panel study in individuals with impaired glucose metabolism or diabetes. Particle and fibre toxicology 12:7.

Pieters, Nn, G. Koppen, M. van Poppel, S. de Prins, B. Cox, E. Dons et al. 2015. Blood pressure and same-day exposure to air pollution at school: Associations with nano-sized to coarse pm in children. Environmental health perspectives. http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408121

Staatsen, B.A.M., E.A.M. Franssen, G. Doornbos, F. Abbink, A.A. van der Veen, S.H. Heisterkamp et al. Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. Bilthoven: RIVM. 1993. Rapport 441520001.

Sun, Y., X. Song, Y. Han, Y. Ji, S. Gao, Y. ShangY et al. Size-fractioned ultrafine particles and black carbon associated with autonomic dysfunction in subjects with diabetes or impaired glucose tolerance in Shanghai, China. Part Fibre Toxicol. 2015 Mar 25;12(1):8.

Tunnicliffe, W.S., S.P. O'Hickey, T.J. Fletcher, J.F. Miles, P.S. Burge, J.G. Ayres. Pulmonary function and respiratory symptoms in a population of airport workers. Occup Environ Med1999;56:118-123.

Upadhyay, S., T. Stoeger, V. Harder, R.F. Thomas, M.C. Schladweiler, M. Semmler-Behnke et al. Exposure to ultrafine carbon particles at levels below detectable pulmonary inflammation affects cardiovascular performance in spontaneously hypertensive rats. Part Fibre Toxicol. 2008 Dec 4;5:19.

Vliet, P.H.N. van, F.J.H. Aarts, N.A.H. Janssen, B. Brunekreef, P.H. Fischer, C.M.A.G. van Wiechen. Luchtwegaandoeningen bij kinderen in de omgeving van de luchthaven Schiphol. Bilthoven: RIVM. 1999. Rapport 441520014.

Vora, R., W. Zareba, M.J. Utell, A.P. Pietropaoli, D. Chalupa, E.L. Little et al. Inhalation of ultrafine carbon particles alters heart rate and heart rate variability in people with type 2 diabetes.Part Fibre Toxicol. 2014 Jul 16;11:31.

Weichenthal, S., M. Hatzopoulou, M.S. Goldberg. Exposure to traffic-related air pollution during physical activity and acute changes in blood pressure, autonomic and micro-vascular function in women: a cross-over study.Part Fibre Toxicol. 2014 Dec 9;11(1):70.

WHO. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP project: final technical report. World Health Organization Regional Office for Europe, Copenhagen; 2013

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit het onderzoek samengevat.

Luchtverontreiniging rond luchthavens, emissies en concentraties (hoofdstuk 2):

- Luchtvaart vormt lokaal een belangrijke bron van ultrafijnstofemissies (opstijgen, dalen). Vliegtuigemissies zijn op het totaal aan ultrafijnstofemissies in Nederland laag in vergelijking met de uitstoot van wegverkeer, huishoudens en scheepvaart.
- De ultrafijnstofconcentratie die gemeten is in Nederlandse steden (achtergrond en op verkeerspunten) wijkt niet af van de concentratie in andere Europese steden
- Uit verschillende internationale studies blijkt dat de invloed van vliegtuigemissies duidelijk waarneembaar is op afstanden tot circa één km; de bijdrage van vliegverkeer aan ultrafijnstof op grotere afstanden is onzeker.

Metingen en berekeningen van ultrafijnstof rond Schiphol (hoofdstuk 3):

- De metingen op verschillende locaties rond Schiphol laten verhoogde concentraties zien van ultrafijnstof. De hoogste concentraties zijn te zien naast de start- en landingsbanen. Gemeten piekwaarden (gemiddeld over 10 seconden) bedragen 200.000 tot 300.000 deeltjes per cm3. Bij toenemende afstand neemt de deeltjesconcentratie sterk af. In het gebied dat grofweg wordt afgebakend door de A9, N232, N201 en N205 komen jaargemiddelde-concentraties ultrafijnstof voor van ca 15.000 deeltjes per cm3.
- De meetresultaten laten eveneens zien dat waar sprake is van een verhoogde bijdrage, de toename vooral wordt veroorzaakt door deeltjes met een grootte van 10-20 nanometer.
- Uit de generalisatie van de metingen met behulp van berekeningen kan worden afgeleid dat een bijdrage aan de concentraties ultrafijnstof door luchtvaart van circa 3.000 deeltjes per cm3 tot op een afstand van vijftien kilometer van Schiphol mogelijk is. Bij woonlocaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen kan de jaargemiddelde-bijdrage oplopen tot circa 15.000 per cm3.

Ultrafijnstof en mogelijke implicaties voor gezondheid (hoofdstuk 4):

- Er zijn geen studies gepubliceerd over de gezondheidseffecten van blootstelling aan ultrafijnstof in relatie tot het wonen rondom een luchthaven.
- Er zijn ook geen studies gepubliceerd over gezondheidseffecten van langetermijnblootstelling aan ultrafijnstof afkomstig van andere bronnen dan vliegverkeer.
- Er is wel literatuur gepubliceerd over veranderingen in de mate van gezondheid na een kortdurende, hoge blootstelling aan ultrafijnstof. Deze literatuur is niet consistent met betrekking tot de duiding van de oorzakelijkheid van ultrafijnstof voor het optreden van gezondheidseffecten.

- Op basis van de literatuur kunnen acute veranderingen in de mate van gezondheid bij de in de buitenlucht voorkomende uurniveaus rondom Schiphol niet worden uitgesloten.
- De bijdrage aan de ultrafijnstofniveaus door Schiphol kan, afhankelijk van de afstand ten opzichte van Schiphol, oplopen tot enkele tientallen procenten. Bij gebrek aan studies over de gezondheidseffecten door ultrafijnstof bij zowel omwonenden van vliegvelden als andere blootstellingssituaties, is het niet mogelijk om aan te geven of, en zo ja in welke mate, een langetermijnblootstelling aan deze bijdrage van ultrafijnstofnadelige effecten zal hebben op de gezondheid van omwonenden.

De mate waarin effecten op de gezondheid van omwonenden eventueel optreden kan alleen via nader onderzoek worden vastgesteld:
- Het is niet zinvol om met onderzoek dat in het kader van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) is uitgevoerd een nieuwe statistische analyse uit te voeren met de nu verkregen blootstellingsgegevens voor ultrafijnstof. Het is namelijk aannemelijk dat de huidige blootstelling teveel afwijkt van die ten tijde van het GES-monitoringsprogramma (bijvoorbeeld door ingebruikname van de Polderbaan).

Aanbevelingen voor mogelijk nader onderzoek:

Het wordt aanbevolen nader onderzoek uit te laten voeren die gericht is op de mogelijke acute en langetermijngezondheidseffecten van ultrafijnstof die afkomstig is van luchthavens.

- Het effect van kortetermijnblootstelling kan worden onderzocht door bijvoorbeeld gezondheidsparameters enkele malen herhaald bij een beperkte groep mensen die aan relatief hoge niveaus kunnen worden blootgesteld (bijvoorbeeld dicht bij een in gebruikzijnde baan) te meten.

- Het effect van langetermijnblootstelling kan worden onderzocht door bijvoorbeeld sterftestatistieken of medicatiegebruik (als maat voor specifieke aandoeningen) in de regio-Schiphol te koppelen aan de berekende ultrafijnstofbijdrage op adresniveau.

6 Dankwoord

Voor het uitvoeren van de metingen is naast apparatuur van de direct betrokken onderzoeksinstituten ook gebruik gemaakt van meetapparatuur van VITO (België) en van IUTA (Duitsland). Hierdoor was het mogelijk om op een groter aantal locaties metingen te doen.

De meetlocaties Amstelveen, Hoofddorp, Vijfhuizen en Badhoevedorp bevonden zich in tuinen en op balkons bij bevriende relaties. De meetlocaties Polderbaan Zuid (NH1) en Oude Meer (NH2) zijn beschikbaar gesteld door de provincie Noord-Holland met medewerking van de GGD Amsterdam. Ook Kwekerij Pruissen VOF, de Firma Gomes en Connexxion Taxi Services B.V. hebben hun terrein voor de metingen beschikbaar gesteld.

We bedanken graag al deze partijen hartelijk voor de geboden mogelijkheden en medewerking.

Bijlagen

Bijlage A. Metingen aan ultrafijn stof rondom Schiphol, Juli 2015, rapport ECN-E—15-038

Voor deze bijlage wordt verwezen naar de apart bijgeleverde pdf-file.

Bijlage B. Ultrafijn stof rondom Schiphol – mei 2015, rapport TNO 2015 R10822

Voor deze bijlage wordt verwezen naar de apart bijgeleverde pdf-file.

Bijlage C. Modelberekeningen aan ultra fine particles rond Schiphol, rapport ESC 2015R001

Voor deze bijlage wordt verwezen naar de apart bijgeleverde pdf-file.

Bijlage D. Samenvatting GES en Luchtonderzoek, rapport RIVM, D. Houthuijs, P. Fischer

1 Inleiding

De Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) startte begin jaren '90 in het kader van de integrale Milieu Effect Rapportage Schiphol in opdracht van de Ministeries van VenW, VROM en VWS. Destijds werd gesignaleerd dat luchtwegaandoeningen een onderwerp van zorg onder de bevolking vormden (Staatsen et al., 1993). Anderzijds waren er toen geen redenen om te veronderstellen dat het vliegverkeer effecten op de luchtwegen zou kunnen veroorzaken. Deze conclusie was gebaseerd op de uitkomsten van literatuuronderzoek en op basis van informatie over de bijdrage van de luchtvaart aan de luchtverontreiniging in de directe omgeving van de luchthaven. Kanttekening daarbij is dat toen over PM10, PM2,5 geen informatie beschikbaar was.
Naar aanleiding van publiciteit over mogelijk nadelige effecten van vliegverkeer op de luchtwegen, en daaropvolgende Kamervragen is in 1997 in opdracht van de Minister van VWS een aanvullend gezondheidskundig onderzoek onder basisschoolkinderen uitgevoerd (Van Vliet et al., 1999). Vanwege terugkerende bezorgdheid over de mogelijke gezondheidseffecten door luchtverontreiniging is er ook voor gekozen luchtwegaandoeningen als indicator in het monitoringprogramma van GES op te nemen. Met het monitoringsprogramma GES werd de ontwikkeling in kaart gebracht van de milieubelasting en indicatoren van gezondheid en beleving van omwonenden in de regio Schiphol in de periode 1995-2005 (Houthuijs en van Wiechen, 2006).
Hieronder gaan we in op de belangrijkste bevindingen uit het onderzoek naar luchtwegaandoeningen rond Schiphol. Aan de blootstelling aan ultrafine deeltjes is in de GES nooit aandacht geschonken, omdat mogelijke gezondheidsrisico's van ultrafine deeltjes in relatie tot vliegverkeer ten tijde van dit programma nog onbekend waren. Destijds zijn daarom andere blootstellingsindicatoren gebruikt.

2 Onderzoek onder basisschoolkinderen in 1997 en 1998

Het onderzoek onder basisschoolkinderen (Van Vliet et al., 1999) kende drie doelen: 1) zijn er tussen woonkernen binnen de regio Schiphol verschillen in luchtwegklachten of aandoeningen onder schoolkinderen, 2) is er in woonkernen dichtbij Schiphol een hogere blootstelling aan binnen- en buitenluchtverontreiniging door vlieg- respectievelijk wegverkeer dan in verder afgelegen woonkernen, en 3) is er sprake is van een verhoogd risico op effecten op luchtwegaandoeningen door blootstelling aan verhoogde (binnen)luchtverontreiniging door de luchtvaart of het wegverkeer?
Aanleiding voor het onderzoek waren de resultaten van een onderzoek door de GGD Amstelland-de Meerlanden (1995) naar de frequentie van huisartsconsultaties voor luchtwegaandoeningen waaruit aanwijzingen naar voren kwamen dat in sommige woonkernen nabij Schiphol huisartsen vaker kinderen met luchtwegaandoeningen registreerden dan in woonkernen verder weg. Daarnaast bleek uit een onderzoek onder apothekers dat er sprake was van een verhoogde uitgifte van luchtwegmedicatie in de nabijheid van Schiphol (van Willigenburg,

1996). In beide gevallen betrof het onderzoek op basis van groepsgegevens waarbij niet of in beperkte mate kon worden gecorrigeerd voor mogelijk verstorende variabelen (bijv. leeftijd, rookgewoonten, etc.).
Het onderzoek onder basisschoolkinderen werd uitgevoerd bij ca. 2.500 kinderen woonachtig op 30 basisscholen in de omgeving van Schiphol (Aalsmeer, Amstelveen, Amsterdam, Badhoevedorp, Hoofddorp, Nieuw-Vennep en Zwanenburg). Het gezondheidsonderzoek omvatte een vragenlijst over luchtwegsymptomen en allergie; een longfunctietest, een bloedtest en een huidpriktest. De blootstelling aan luchtverontreiniging werd in beeld gebracht aan de hand van metingen (PM2,5, roet, vluchtige organische verbindingen, NO2 en in beperkte mate naar PM10 en Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen), modellen (PM10, NO2, benzeen en Benzo(a)Pyreen) en informatie uit GIS (afstand tot centrum en tot hek van Schiphol, afstand tot (snel)weg).
Het onderzoek liet ziet dat in de regio Schiphol ongeveer evenveel luchtwegsymptomen worden gerapporteerd als onder kinderen wonend nabij drukke snelwegen, en iets vaker symptomen worden gerapporteerd dan bij kinderen die noch in de Schiphol regio, noch bij drukke snelwegen wonen. Er bestonden tussen de woonkernen verschillen in prevalentie van luchtwegsymptomen, verlaagde longfunctie en de hoeveelheid antilichamen (IgE) in het bloed. De prevalenties zijn echter niet groter in woonkernen die dicht bij Schiphol liggen, in vergelijking met woonkernen die verder weg liggen.
De niveaus van de componenten NO2, roet en benzeen namen af met toenemende afstand tot de Schiphol; voor PM2.5 en hogere alkanen was dit niet het geval. Dit verband werd gevonden na correctie voor adressendichtheid. De componenten, waarvoor de relatie met afstand werd gevonden, hingen meer samen met de bron wegverkeer dan met de bron vliegverkeer.
Er was in zijn algemeen geen verband tussen de verschillende blootstellingsmaten (gemeten en gemodelleerde luchtverontreiniging in en nabij de scholen, het woonadres van het kind, of de afstand van de school of het woonadres tot Schiphol) en gemeten gezondheidsindicatoren. Het enige luchtwegsymptoom dat een statistisch significant verband met de (in dit geval gemodelleerde) luchtverontreiniging liet zien was droge hoest. Voor de prevalentie van de overige symptomen, een verlaagde longfunctie of een verhoogde concentratie antilichamen tegen allergenen in het bloed werd geen verband gevonden. Gezien het grote aantal uitgevoerde berekeningen, werd in het onderzoek aan de bevinding voor droge hoest geen grote betekenis toegekend.
De conclusie was dat met het onderzoek geen relatie aangetoond is tussen luchtverontreiniging nabij Schiphol en de onderzochte gezondheidsvariabelen bij de deelnemende kinderen (Van Vliet et al., 1999).

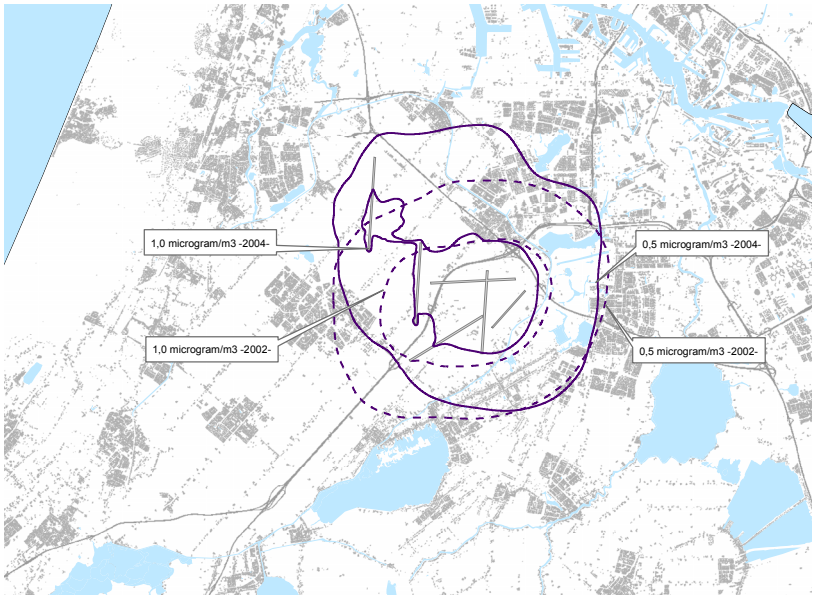
3 Gezondheidsmonitoring 1996-2005

3.1 Inleiding

In 2006 is gerapporteerd over de resultaten van het monitoringprogramma van de Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol (GES) en is een overzicht gegeven van de bevindingen uit eerdere gezondheidsonderzoeken rond Schiphol (Houthuijs en van Wiechen,

2006). Doel van deze milieu- en gezondheidsmonitoring was het vaststellen van eventuele veranderingen in de milieukwaliteit en de (lange termijn) effecten daarvan op de gezondheid en de beleving. We gaan hieronder kort in op de bevindingen uit deze rapportage over de bijdrage van vliegverkeer aan de lokale luchtverontreiniging en op de resultaten van onderzoek naar luchtwegaandoeningen (luchtwegsymptomen, medicatiegebruik en ziekenhuisopnamen).

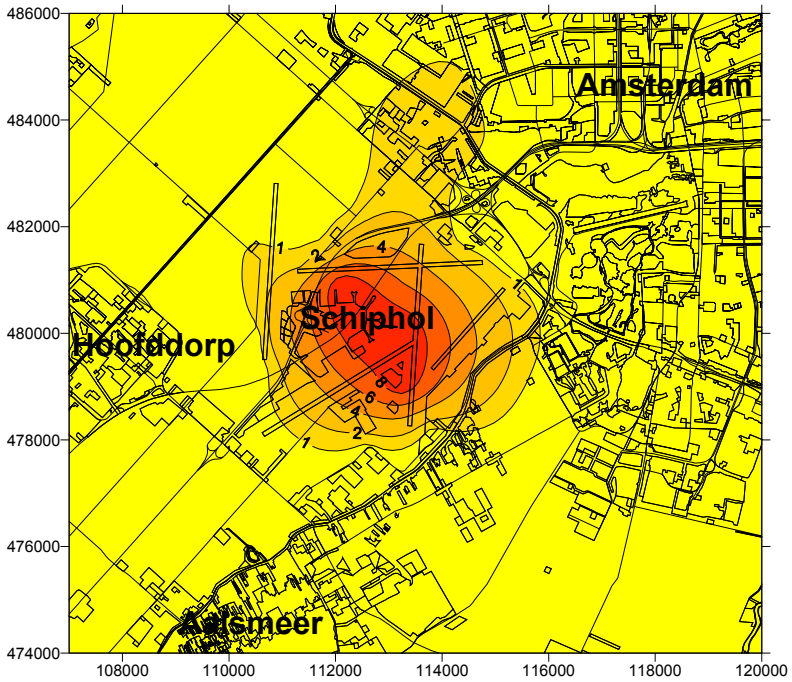
3.2 De bijdrage van vliegverkeer aan de luchtverontreiniging
Thijsse en van Loon (2001) concludeerden op basis van meetgegevens van NO2, fijnstof en CO uit 1998 en 1999 dat de bijdrage van het vliegverkeer aan de NO2 concentraties op leefniveau procentueel het grootst is. De grootste procentuele bijdragen voor NO2 zijn gevonden in Oude Meer (5,7% van de gemiddelde concentratie, destijds circa 40 µg/m3), in Badhoevedorp 3,8 % en in Hoofddorp 1,4%. In absolute zin is de grootste bijdrage circa 2,5 µg/m3 (Oude Meer). Ook voor fijnstof en CO is de bijdrage in Oude Meer het grootst (2% van de gemiddelde concentratie). Verschillende modelberekeningen bevestigen de (grootteorde van de) bijdrage van vliegverkeer aan de lokale luchtverontreiniging (Den Boeft, 1999; ADECS Airinfra, 2005; Dassen et al., 2006).
Een voorbeeld van een gemodelleerde ruimtelijk patroon van de bijdrage van vliegverkeer aan de luchtverontreinigingsconcentraties op leefniveau is weergegeven in Figuur 1. Het betreft de NO2 concentratie in 2002 (4-banenstelsel) en in 2004 (5-banenstelsel).



Figuur 1. Iso-concentratiecontouren van de gemodelleerde bijdrage van vliegverkeer aan de jaargemiddelde NO2-concentratie (µg/m3) in 2002 en in 2004 (bron: ADECS Airinfra, 2005)

De opening van de Polderbaan vond plaats in het voorjaar van 2003; verschillen tussen 2002 en 2003 in Figuur 1 zijn mede het gevolg van een veranderd vliegpatroon door de overgang naar het 5-banenstelsel. Uit het figuur blijkt dat de bijdrage van het vliegverkeer aan de NO2-concentratie afneemt met toenemende afstand tot de luchthaven. Ten opzichte van 2002 is de gemodelleerde bijdrage in 2004 in

zuidwestelijke richting iets afgenomen en in noord-noordwestelijke richting toegenomen.
Een vergelijkbaar verspreidingspatroon is in het verleden ook voor andere luchtverontreinigingscomponenten en voor geur afkomstig van vliegverkeer geconstateerd. Hierboven is al beschreven dat in het onderzoek naar luchtwegaandoeningen bij basisschoolkinderen de concentraties roet, NO2 en benzeen daalden met toenemende afstand tot Schiphol (Van Vliet et al., 1999).
In Figuur 2 is de bijdrage van het vliegverkeer (zowel de verbrandingsemissies als de op- en overslag van kerosine) in 2000/2001 (4-banenstelsel) aan de som van gemeten vluchtige koolwaterstoffen in de omgeving van Schiphol weergegeven (Thijsse en Van Loon, 2001). Ook voor de vluchtige koolwaterstoffen geldt dat de bijdrage van het vliegverkeer aan de concentratie in de leefomgeving afneemt bij toenemende afstand tot de luchthaven.



Figuur 2. Iso-concentratiecontouren van de bijdrage van vliegverkeer (verbrandingsemissies en op- en overslag van kerosine) in 2000/2001 aan de som van 33 vluchtige koolwaterstoffen in µg/m3 (bron: Thijsse en Van Loon, 2001)

De emissie van vluchtige koolwaterstoffen is in de MER Schiphol 2003 gebruikt als indicator voor de geuremissie (Buro Blauw, 2001). In een Telefonisch Leefsituatie onderzoek in 2000 bleek dat de geurhinder duidelijk samenhangt met de afstand tot het centrum van Schiphol, de afstand tot de dichtstbijzijnde start- of landingsbaan en met de geurconcentratie (Van Arkel, 2001). Afstand en geurconcentratie zijn onderling aan elkaar gerelateerd.
In een onderzoek naar de beleving van omwonenden rond Schiphol bleek in 2005 dat in de directe nabijheid van de luchthaven (tot 5 kilometer van het centrum van Schiphol) 20% van de omwonenden ernstig gehinderd was door geur door de luchthaven (RIGO en RIVM, 2005). Dit percentage daalde met de afstand. Op grotere afstand (vanaf

ca. 10 km vanaf het centrum van de luchthaven) veroorzaakt de kerosine lucht geen ernstige hinder. Ernstige geurhinder door vliegtuigen bleek met de geluidbelasting (Lden) samen te hangen. Destijds (Houthuijs en van Wiechen, 2006) werd geconcludeerd dat de bijdrage van het vliegverkeer aan de lokale luchtverontreiniging beperkt is en voor de verschillende luchtverontreinigingscomponenten maximaal enkele procenten bedraagt. Vliegverkeer draagt relatief gezien het meeste bij aan de NO2-concentraties (gemiddeld 1,6%). De bijdrage van het wegverkeer aan de NO2-concentraties op leefniveau is aanmerkelijk groter (gemiddeld 21%). Voor de bijdrage van het vliegverkeer aan de lokale luchtverontreiniging geldt dat deze daalt met toenemende afstand tot Schiphol.

3.3 Onderzoek naar luchtwegaandoeningen in het kader van gezondheidsmonitoring

3.3.1 Inleiding

Zoals in de inleiding aangegeven is primair vanwege de terugkerende bezorgdheid over luchtverontreiniging door vliegverkeer ervoor gekozen luchteraandoeningen als indicator in het monitoringprogramma op te nemen. In het monitoringsonderzoek is in 1996, 2002 en 2005 een vragenlijstonderzoek onder volwassenen in een straal van 25 kilometer rond de luchthaven uitgevoerd. Daarnaast is informatie over medicatiegebruik en over ziekenhuisopnamen door luchtwegaandoeningen verzameld in een modelleergebied voor vliegtuiggeluid (55 bij 71 km). Afstand van het woonadres tot de luchthaven is in deze onderzoeken gebruikt als indicator voor de luchtverontreiniging afkomstig van de luchtvaart, bij gebrek aan kwantitatieve blootstellinggegevens over luchtverontreiniging van vliegverkeer in de betreffende onderzoeksgebieden. Destijds is om de zelfde reden ook niet gecorrigeerd voor luchtverontreinigingscomponenten van andere bronnen, zoals het wegverkeer.

3.3.2 Vragenlijstonderzoeken 1996, 2002 en 2005

Deze vragenlijstonderzoeken zijn zogenaamde dwarsdoorsnede-onderzoeken, waarbij gebruik is gemaakt van een schriftelijke vragenlijst. Hierin is gevraagd naar zowel kenmerken van gezondheid (waaronder luchtwegsymptomen, luchtwegaandoeningen en medicijngebruik voor astma) en als mogelijke determinanten van gezondheid, zoals leeftijd, geslacht, rookgedrag en dergelijke. De onderzoeken zijn een actualisering van de gezondheidstoestand zoals gerapporteerd door omwonenden in de regio Schiphol, in 1996 (n=11.812) en een jaar vóór (n=5.873) en twee jaar ná de in gebruik name van de Polderbaan in februari 2003 (n=6.091) . Voor verdere details over de methodiek van deze onderzoeken wordt verwezen naar TNO en RIVM (1998), Franssen et al. (2004), Breugelmans et al. (2004) en Rigo en RIVM (2005).
Tussen 2002 en 2005 waren er weinig verschillen in de prevalenties van luchtwegaandoeningen in een straal van 25 km rond de luchthaven. In de periode 1996 - 2002 was er in dit gebied nog sprake van een toename bij alle zelf-gerapporteerde luchtwegklachten en –aandoeningen.
De prevalenties luchtwegaandoeningen in 2002 en 2005 hingen niet statistisch significant samen met de afstand tot Schiphol na correctie

voor leeftijd, geslacht, etniciteit, sociaaleconomische status, rookgewoonte, vocht en/of schimmel en stedelijkheidsgraad. Uitzondering was het symptoom "kortademigheid bij inspanning" waarvan de prevalentie in het onderzoek van 2002 daalde met de afstand. In 2005 werd geen relatie met afstand gevonden.
In 1996 rapporteerden binnen straal van 10 km rond de luchthaven relatief meer mensen één of meer luchtwegklachten, "chronisch hoesten, slijm opgeven en bronchitis" en allergie dan op grotere afstand van de luchthaven, na correctie voor mogelijk verstorende variabelen. Het gebruik van medicijnen tegen allergie en astma hing met de afstand van het woonadres tot Schiphol samen; op grotere afstand was de prevalentie lager.

3.3.3 Onderzoek met gegevens over ziekenhuisopnamen voor luchtwegaandoeningen

Dit onderzoek uitgevoerd met registratiegegevens is een zogeheten 'small area health' onderzoek. Analyses gebeuren hierbij op gebiedsniveau in plaats van op individueel niveau zoals bij het vragenlijstonderzoek omdat informatie over het exacte adres in de registraties ontbreekt of uit privacy oogpunt niet beschikbaar is. Op postcodeniveau (4-positie postcodegebieden) werd in ruimte en tijd het risico op ziekte in kaart gebracht. Voor de methodiek wordt verwezen naar Heisterkamp et al. (2000).
Het aantal ziekenhuisopnamen voor een bepaalde luchtwegaandoening werd over de 10-jaarsperiode 1995-2004 in een gebied van 55 bij 71 km rond de luchthaven (ca. 3,2 miljoen inwoners) geanalyseerd, met gebruik van gegevens van de Landelijke Medische Registratie. Hierbij werden zes diagnosegroepen geanalyseerd geselecteerd overeenkomstig eerder GES-onderzoek (Staatsen et al., 1998) en luchtverontreinigingsonderzoek (Vonk en Schouten, 2002).
n 2004 waren er in het gehele onderzoeksgebied 63 ziekenhuisopnamen per 10.000 inwoners voor alle luchtwegaandoeningen samen. In heel Nederland waren dit er 67. De ontwikkeling in de tijd van het aantal ziekenhuisopnamen voor luchtwegaandoeningen rond Schiphol kwam goed overeen met de landelijke trend: een daling van het aantal ziekenhuisopnamen voor COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), maar een stijging voor de infecties van onderste en bovenste luchtwegen vanaf 2000/2001.
Er werd geen relatie gevonden tussen de afstand tot Schiphol en het risico op ziekenhuisopnamen voor de verschillende diagnosegroepen, na correctie voor leeftijd en geslacht (op individueel niveau) en sociaal economische status, land van herkomst, stedelijkheidsgraad, en geluid afkomstig van wegverkeer (als indicator voor de luchtverontreiniging afkomstig van wegverkeer) als kenmerken van postcodegebied. Uitzondering was de diagnosegroep 'acute infecties van bovenste luchtwegen'. Bij een verdubbeling van de afstand tot de luchthaven nam de kans op deze infecties met 6% af. Ruimtelijk bleek deze diagnosegroep niet duidelijk rondom Schiphol te zijn geclusterd. Nadere statistische analyses wezen uit dat deze samenhang niet binnen de eerste 25 kilometer rond de luchthaven optrad. Hierdoor werd het niet aannemelijk geacht dat deze bevinding een directe relatie met luchtverontreiniging door vliegverkeer had.

3.3.4 Onderzoek met gegevens over medicatiegebruik voor luchtwegaandoeningen

Het medicijngebruik voor luchtwegaandoeningen werd in tijd en ruimte geanalyseerd over een periode van vijf jaar (2000-2004) in een gebied van 55 bij 71 km rond de luchthaven, met gebruik van gegevens van 299 apothekers over de uitgifte van door een arts voorgeschreven geneesmiddelen, zoals geregistreerd bij de SFK (Stichting Farmaceutische Kengetallen). Op basis van de ATC-code (Anatomisch Therapeutisch Chemisch Classificatie) van de verstrekte medicijnen werd het gebruik van medicatie voor luchtwegaandoeningen(ATC codes R03A, R03B en RO3D) in beeld gebracht. Van de gebruikers van medicijnen is niet het volledige adres maar wel de 4-positie postcode bekend, zodat de statistische analyses op geaggregeerd niveau zijn uitgevoerd, analoog aan de analyse voor ziekenhuisopnamen.
De kans op het gebruik van de medicatie voor luchtwegaandoeningen bleek niet statistisch significant gerelateerd te zijn aan de afstand tot Schiphol, na correctie voor leeftijd, geslacht, sociaaleconomische status, land van herkomst, stedelijkheidsgraad, en geluid van wegverkeer.

3.4 Conclusie uit gezondheidsmonitoring

Destijds (Houthuijs en van Wiechen, 2006) werd geconcludeerd dat de resultaten uit de gezondheidsmonitoringprogramma (vragenlijstonderzoeken in 2002 en 2005, het onderzoek met apotheekgegevens over 2000-2004 en de ziekenhuisopnamen uit de periode 1995-2004) geen aanwijzingen voor een relatie tussen luchtverontreiniging van vliegverkeer en luchtwegaandoeningen opleverden. De bijdrage van het vliegverkeer en activiteiten op Schiphol aan de lokale luchtverontreiniging leek destijds te gering om het risico op luchtwegaandoeningen zodanig te verhogen dat dit verhoogd risico in het ontworpen gezondheidsmonitoringsprogramma kon worden gedetecteerd.
Deze conclusies waren indertijd in lijn met de conclusies die de Gezondheidsraad al in 1999 over de luchtverontreiniging rond grote luchthavens formuleerde. De niveaus van luchtverontreiniging rond grote luchthavens komen overeen met die stedelijke gebieden en vinden hun oorzaak vooral in de uitstoot door wegverkeer. Bij dergelijke concentraties zijn effecten op de gezondheid te verwachten, ook wanneer de concentraties onder de officiële richtwaarden blijven. Er werden in het onderzoek van de Gezondheidsraad destijds geen aanwijzingen gevonden dat, vergeleken met andere stedelijke gebieden, de luchtverontreiniging in de omgeving van een luchthaven een extra gezondheidsrisico met zich meebrengt.

4 Referenties

ADECS Airinfra. Evaluatie Schipholbeleid. Schonere lucht, schonere vliegtuigen, meer uitstoot luchtverkeer. Beoordeling beleid uitstoot vervuilende stoffen luchtverkeer en luchtkwaliteit omgeving Schiphol. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Den Haag, 2005.

Arkel F van. Telefonisch leefsituatieonderzoek rondom luchthaven Schiphol. Wageningen: Bureau Blauw. 2001. Rapport BL2000.1815.01.
Boeft, J den. Evaluatie luchtkwaliteit in de regio Schiphol. Apeldoorn: TNO-MEP. 1999. TNO-rapport R99/350.

Breugelmans ORP, Wiechen van CMAG, Kamp van I, Heisterkamp SH, Houthuijs DJM. Gezondheid en beleving van de omgevingskwaliteit in de regio Schiphol: 2002 – Tussenrapportage Monitoring Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. Bilthoven: RIVM. 2004. Rapport 630100001.

Buro Blauw. Geurberekeningen ten behoeve van MER Schiphol 2003. Wageningen: Bureau Blauw. 2001. Rapport BL2001.1924.01.

Dassen AGM (red.), Aben JMM, Beck JP, Blom WF, Diederen HSMA, Folkert RJM, Hoen A, Jaarsveld JA van, Velze K van. De luchtkwaliteit rond Schiphol. MNP-bevindingen over het onderzoek naar de uitstoot van het vliegverkeer en de luchtkwaliteit rond Schiphol door ADECS Airinfra BV in het kader van de Evaluatie Schipholbeleid. Bilthoven 2006. MNP-publicatienummer 500133001.

Franssen EAM, Wiechen CMAG van, Nagelkerke NJD, Lebret E. Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use. Occupational and Environmental Medicine 2004; 61:405-413.

Gezondheidsraad. Grote luchthavens en gezondheid. Den Haag: Gezondheidsraad. 1999. Rapport 1999/14.

GGD Amstelland – de Meerlanden. Luchtwegaandoeningen. Deelrapportage Huisartsenpeilstation Amstelland – de Meerlanden, registratiejaar 1993-1994. Amstelveen: GGD Amstelland – de Meerlanden. 1995.

Heisterkamp SH, Doornbos G, Nagelkerke NJD. Assessing health impacts of environmental pollution sources using space-time models. Statistics in Medicine. 2000; 19: 2569-2578.

Houthuijs DJM, Wiechen CMAG van. Monitoring van gezondheid en beleving rondom de luchthaven Schiphol. Bilthoven: RIVM. 2006. Rapport 630100003.
RIGO en RIVM. Evaluatie Schipholbeleid. Schiphol beleefd door omwonenden. Ministerie van Verkeer en Waterstaat. 2005.

Staatsen BAM, Franssen EAM, Doornbos G, Abbink F, Veen AA van der, Heisterkamp SH et al. Gezondheidskundige Evaluatie Schiphol. Bilthoven: RIVM. 1993. Rapport 441520001.

Staatsen BAM, Doornbos G, Franssen EAM, Heisterkamp SH, Ameling CB, Lebret E. Gebruik van ziekenhuisgegevens voor het beschrijven van ruimtelijke patronen in ziekte rondom Schiphol. Bilthoven: RIVM. 1998. Rapport 441520009.

Thijsse ThR, Loon M van. Nader onderzoek naar de luchtkwaliteit in de omgeving van Schiphol en de bijdrage van te onderscheiden bronnen. Apeldoorn: TNO-MEP. 2001. TNO-rapport R2001/382.

TNO-PG, RIVM. Hinder, slaapverstoring, gezondheids- en belevingsaspecten in de regio Schiphol, resultaten van een

vragenlijstonderzoek. Bilthoven/Leiden: RIVM/TNO-PG. 1998. RIVM rapport 441520010; TNO rapport 98.039.

Vliet PHN van, Aarts FJH, Janssen NAH, Brunekreef B, Fischer PH, Wiechen CMAG van. Luchtwegaandoeningen bij kinderen in de omgeving van de luchthaven Schiphol. Bilthoven: RIVM. 1999. Rapport 441520014.

Vonk JM, Schouten JP. Daily emergency hospital admissions and air pollution in The Netherlands 1992-1999. Groningen: Rijksuniversiteit Groningen. 2002.
Willigenburg APP van, Franssen EAM, Lebret E, Herings RMC.

Geneesmiddelengebruik als indicator voor de effecten van milieuverontreiniging; een studie in de regio Schiphol. Bilthoven/Utrecht: RIVM/Universiteit Utrecht. 1996 Rapport 441520006.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag