

# Flughafenanrainer belastet durch Ultrafeinstaub

## *Gesundheitsgefährdende Erhöhungen der Ultrafeinstaubkonzentration in Wohngebieten in der Umgebung des Amsterdamer Flughafens*

Originaltext (NL): ULTRAFIJN STOF RONDOM SCHIPHOL Tijdschrift Lucht, no 6, 2014, SDU, Den Haag, Niederlande, [https://www.tno.nl/media/4483/lucht\\_onderzoek\\_schiphol\\_tijdschrift\\_lucht\\_6\\_2014\\_pag\\_8\\_11.pdf](https://www.tno.nl/media/4483/lucht_onderzoek_schiphol_tijdschrift_lucht_6_2014_pag_8_11.pdf).  
Übersetzung: Diana Ries (Fluglärm-Bürgerinitiative Mainz-Bretzenheim), Fabienne Pradella und Rupert Röder (VCD Rheinhessen, <http://www.vcd.org/rheinessen>).

### 1 Annäherung an einen Untersuchungsgegenstand

Gängige Auffassung bisher war, dass der Luftverkehr sich nur begrenzt auf die Luftqualität in der Umgebung der Flughäfen auswirkt. Die in der Umgebung beobachteten, leicht erhöhten Konzentrationen von Stickstoff (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub (PM<sub>10</sub>, Partikeldurchmesser bis 10 Mikrometer) werden dabei üblicherweise auf das erhöhte Straßenverkehrsaufkommen im Flughafenumland zurückgeführt. Kürzlich veröffentlichte internationale Studien zeigen jedoch, dass durch Flugzeugtriebwerke auch massiv sogenannte ultrafeine Partikel emittiert werden<sup>1</sup>. Ultrafeine Partikel (UFP) sind Teilchen mit einem Durchmesser von weniger als 100 Nanometer (oder 0,1 Mikrometer). Aufgrund ihrer hohen Lungengängigkeit stellen sie, worauf auch das niederländische Umweltministerium hinweist, in besonderem Maß ein gesundheitliches Risiko dar<sup>2</sup>. Beim Start eines Flugzeugs werden beispielsweise durch einen Airbus 330 oder eine Boeing 767 circa 10<sup>17</sup> Partikel pro Sekunde ausgestoßen. Die Emissionen sind beim Abflug 50-mal höher als bei der Landung und 100-mal höher als beim „Taxiing“, dem Rollen eines Flugzeuges auf dem Bahnsystem des Flughafens. Auf der Startbahn entlässt ein Flugzeug circa 20 Sekunden lang ultrafeine Partikel in die Bodenluft, danach weitere circa 10 Sekunden lang in die Luftschicht bis zur Höhe von einigen hundert Metern. Lange wurde angenommen, dass der Beitrag des Flugverkehrs zum Ultrafeinstaubgehalt der Luft in der weiteren Umgebung eines Flughafens vernachlässigbar ist. Messungen zeigen jedoch, dass die Ultrafeinstaubkonzentrationen bei Wind aus Richtung des Flughafens deutlich erhöht sind, bis zum Faktor 4 noch in einem Abstand von 10 Kilometern<sup>3</sup>. Diese Studien sowie eine zuvor durchgeführte Untersuchung entlang einer Startbahn des Flughafens Amsterdam-Schiphol<sup>4</sup> gaben den Anstoß für die genauere Untersuchung der Ultrafeinstaubbelastung rund um Schiphol im Jahre 2014 durch die TNO,

---

\*Menno Keuken, Marcel Moerman, Peter Zandveld und Bas Henzing sind Mitarbeiter bei der TNO, Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, Bert Brunekreef und Gerard Hoek bei IRAS, dem Institute for Risk Assessment Science der Universität Utrecht.

<sup>1</sup>Masiol, M., Harrison, R.M. (2014). ‘Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review’. *Atmospheric Environment* 95, p. 409-455.

<sup>2</sup>RIVM (2013). Ultrafijn stof en gezondheid. [http://www.rivm.nl/Documenten\\_en\\_publicaties/Algemeen\\_Actueel/Brochures/Milieu\\_Leefomgeving/Ultrafijn\\_stof\\_en\\_gezondheid](http://www.rivm.nl/Documenten_en_publicaties/Algemeen_Actueel/Brochures/Milieu_Leefomgeving/Ultrafijn_stof_en_gezondheid).

<sup>3</sup>Hudda, N., Gould, T., Hartin, K., Larson, T.V., Fruin, S., 2014. ‘Emissions from an International Airport increase particle number concentrations 4-fold at 10 km downwind’. *Environmental Science & Technology*, dx.doi.org/10.1021/es5001566.

<sup>4</sup>Keuken, M.P., Henzing, J.S., Zandveld, P., Elshout, S. van den, Karl, M. (2012). ‘Dispersion of particle numbers and elemental carbon from road traffic, a harbor and an airstrip in the Netherlands’. *Atmospheric Environment* 54, p. 320-327.

die Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (the Netherlands Organisation for Applied Scientific Research)<sup>4a</sup>. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Folgenden zusammengefasst.

## 2 Der Luftverkehr in Amsterdam-Schiphol

Schiphol war 2012 mit 52 Millionen Passagieren sowie 220 000 Landungen und Starts der viertgrößte Flughafen Europas<sup>5</sup>. Diese Zahl bedeutet, dass während der 17 Stunden Flugverkehr pro Tag ungefähr alle zwei Minuten ein Flugzeug landet oder startet. Abbildung 1 stellt die verschiedenen Start- und Landebahnen (Niederländisch: baan), die Windrichtungsverteilung im Jahr 2012 und die Nutzung der einzelnen Start- und Landebahnen dar. Man erkennt, dass die meisten Flugzeuge auf der „Polderbaan“ in südlicher Richtung landen und die meisten Starts von der „Kaagbaan“ in südwestliche Richtung ausgehen. Bei den Starts an zweiter Stelle stehen die „Polderbaan“ in nördliche Richtung und die „Aalsmeerbaan“ in südliche Richtung. Der größte Teil des Flugverkehrs findet während der Tagflugstunden zwischen sechs Uhr morgens und 23 Uhr abends statt, etwa fünf Prozent aller Flüge in den übrigen Stunden zur Nachtzeit.

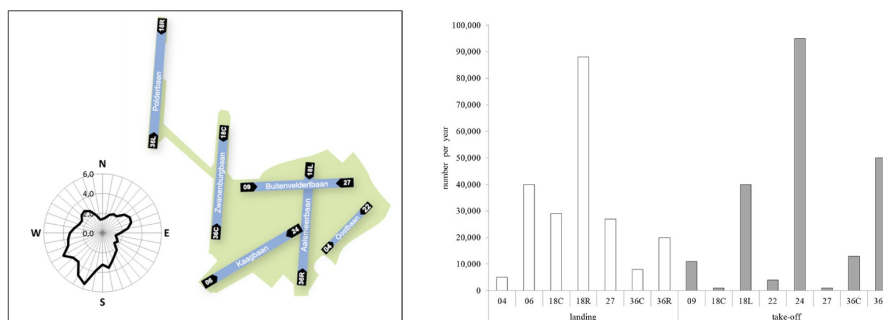


Abbildung 1: Links: Die Start- und Landebahnen mit zugehöriger Bezeichnung sowie die Windrichtungsverteilung (in Prozent) im Jahr 2012. Rechts: Die Anzahl landender und startender Flugzeuge pro Start- und Landebahn auf Schiphol im Jahr 2012.

## 3 Methodik der Untersuchung

Von März bis Mai 2014 wurde die Luftqualität an einer circa 7 Kilometer östlich von Schiphol im Waldpark von Amsterdam (Amsterdamse Bos) gelegenen Messstation erhoben. Darüber hinaus wurden Messungen der Station Cabauw aus dem Jahr 2012 neu ausgewertet. Cabauw liegt hinreichend weit entfernt von Schiphol (circa 40 km südlich in der Nähe von Lopik), so dass die Station als Referenzstelle für die Bestimmung der Hintergrundbelastung dienen kann.

An beiden Messstationen wurden kontinuierlich die Partikelanzahl je Luftvolumeneinheit (*particle number concentration*, PNC) sowie die Größenverteilung der Partikel ermittelt. Zugleich wurde die Rußmasse (Masse des nicht verbrannten Treibstoffs) als elementarer Kohlenstoff (*elementary carbon*, EC) bestimmt.

Mit den Stundenmittelwerten von PNC und EC wurden sogenannte Kompassrosen konstruiert, das heißt in ein Kreisdiagramm wurden für jede (Wind-) Richtung die durchschnittlichen Werte

<sup>4a</sup>Keuken, M.P., Moerman, M., Zandveld, P., Henzing, J.S., Hoek, G. (2015). 'Total and size-resolved particle number and black carbon concentrations in urban areas near Schiphol airport (the Netherlands)'. Atmospheric Environment 104, p. 132-142. <http://cleanair.london/wp-content/uploads/CAL-307-Keuken-et-al-PNC-near-Schiphol-airport-AE2015.pdf>. [Angabe ergänzt durch Übersetzung]

<sup>5</sup>Schiphol, 2013. 'Jaarrapport' [www.bezoekbas.nl](http://www.bezoekbas.nl).

eingetragen. Die Richtungen mit hohen Werten verweisen auf die Quellen von Ultrafeinstaub beziehungsweise Rußpartikeln, deren Emission durch den Wind zur Messstation getragen wird.

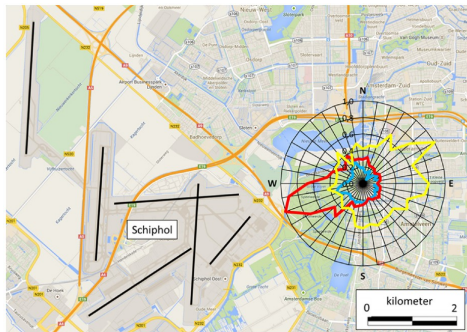


Abbildung 2: Standardisierte stündliche Mittelwerte von PNC und EC im Amsterdamer Bos bei verschiedenen Windrichtungen: für EC in Gelb für alle Stunden der Messperiode (n=1 486), für PNC in Blau für Nachtstunden (n= 460) und in Rot für Stunden zur Tageszeit (n= 1 112).

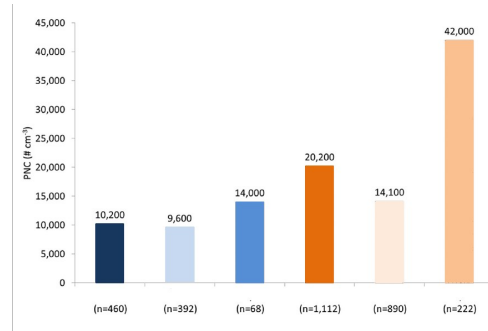


Abbildung 3: Stündliche Durchschnittswerte für PNC im Amsterdamer Bos von März bis Mai 2014 in den Nacht- und Tagstunden, jeweils gemittelt über alle Windrichtungen/ andere Windrichtungen als von Schiphol/ Wind aus Schiphol.

Aus der Größenverteilung der Feinstaubpartikel können Rückschlüsse auf ihre Herkunft gezogen werden.

Die Partikelkonzentrationen wurden für das Jahr 2012 in einem Standardmodell für die Stoffausbreitung je Stunde abgebildet und damit die von Schiphol ausgehende Feinstaubbelastung in Wohngebieten im Nordosten des Flughafens ermittelt.

#### 4 Die Ergebnisse für PNC und EC im Waldpark von Amsterdam

Die durchschnittlichen PNC- und EC-Werte im Messzeitraum vom 12. März bis 19. Mai 2014 im Amsterdamer Bos betragen 17 300 Partikel pro Kubikzentimeter beziehungsweise 0,7 Mikrogramm EC pro Kubikmeter. Die Werte für Cabauw im Jahr 2012 lagen für PNC bei 9 600 Partikeln pro Kubikmeter und für EC bei 0,5 Mikrogramm pro Kubikmeter. Abbildung 2 zeigt die Kompassrose mit den stündlichen Durchschnittswerten für PNC und EC für den Amsterdamer Bos.

Aus Abbildung 2 wird ersichtlich, dass die Rußkonzentration im Amsterdamer Bos vor allem bei Wind aus Richtung Amsterdam und Amstelveen erhöht ist. Dies kann auf Emissionen des Straßenverkehrs zurückgeführt werden. Bei Wind aus Richtung Schiphol ist der EC-Wert kaum erhöht. Demgegenüber ist die Feinstaubkonzentration vor allem tagsüber (in geringerem Ausmaß auch nachts) bei Wind aus Richtung Schiphol (240-270°) deutlich erhöht. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich daher auf die Partikelimmissionen.

Der Abbildung 3 sind die Durchschnittswerte von PNC zur Tages- und Nachtzeit für Wind aus Richtung Schiphol und aus den übrigen Richtungen zu entnehmen. Gemäß der Messergebnisse liegt der durchschnittliche PNC-Wert bei Stunden mit Wind aus den „übrigen Richtungen“ (ohne Schiphol) bei 12 700 Partikeln pro Kubikmeter (n=1 282). Der Durchschnittswert für alle Stunden betrug 17 300 Partikel pro Kubikmeter (n=1 572). Durchschnittlich war der Wert von PNC im Amsterdamer Bos während der Messperiode daher um 4 600 Partikel pro Kubikmeter erhöht. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, waren die Werte in den Tagstunden bei Wind aus Richtung Schiphol dreimal so hoch

wie die Werte bei Wind aus den übrigen Windrichtungen: 42 000 Partikel/cm<sup>3</sup> gegenüber 14 100 Partikel/cm<sup>3</sup>. Wind aus Richtung Schiphol (240-270°) herrschte bei 14% der Stunden der Messperiode.

## 5 Der Zusammenhang zwischen den erhöhten PNC-Konzentrationen im Waldpark von Amsterdam und dem Flugbetrieb von Schiphol

Die stündlichen mittleren Anteile der Ultrafeinstaubkonzentration im Amsterdamse Bos, die auf Emissionen des Flughafens Schiphol zurückzuführen sind, wurden berechnet durch die Messungen des PNC-Wertes, korrigiert durch die Hintergrundkonzentrationen zur Nachtzeit (9 600 Partikel/cm<sup>3</sup>) bzw Tagzeit (14 100 Partikel/cm<sup>3</sup>). Die erhöhten PNC-Werte im Amsterdamse Bos bei Wind aus Richtung Schiphol sind in Abbildung 4 gemeinsam mit der Flugverkehrsichte dargestellt (Durchschnittswerte aus dem Jahr 2012).

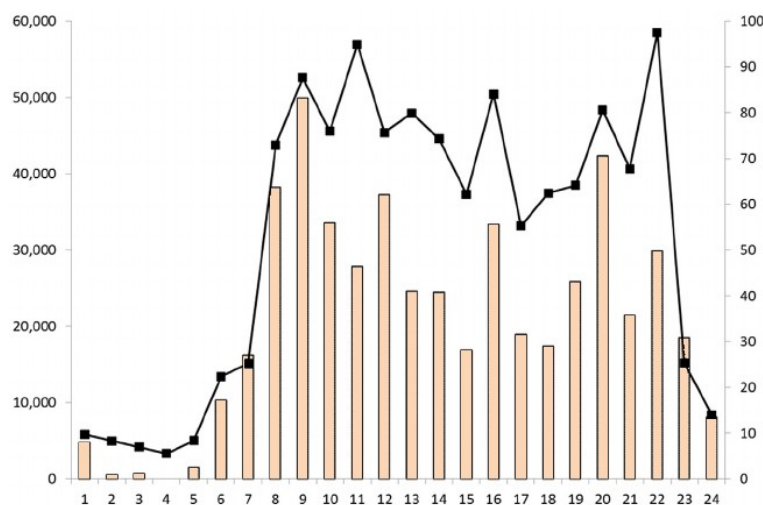


Abbildung 4: Stündliche Durchschnittswerte des Beitrags PNC (linke Y-Achse) im Amsterdamse Bos von März bis Mai 2014 während Stunden mit Wind aus Richtung Schiphol und die Anzahl der Flugbewegungen pro Stunde im Jahr 2012 (rechte Y-Achse) (X-Achse: Stunde am Tag;  $R^2 = 0,77$ )

Die Stundenmittelwerte für die erhöhten PNC-Konzentrationen im Amsterdamse Bos bei Wind aus Richtung Schiphol stimmen gut mit den durchschnittlichen Flugbewegungen pro Stunde in Schiphol aus dem Jahr 2012 überein (statistisches Abhängigkeitsmaß  $R^2 = 0,77$ ). Die durch den Flugverkehr produzierten Ultrafeinstäube führen bei Wind in Richtung der Messstation im Amsterdamse Bos dort zu erhöhten PNC-Werten.

## 6 Die Partikelgrößenverteilung im Waldpark von Amsterdam sowie in Cabauw

Ein weiterer Teil der Untersuchung befasst sich mit der Größenverteilung von aus Schiphol stammenden Ultrafeinstaubpartikeln. Dazu wurde die Partikelgrößenverteilung erfasst und mit den Werten aus den restlichen Windrichtungen im Amsterdamse Bos (2014) und bei der Hintergrundmessstelle Cabauw (2012) verglichen. Die Partikelgrößenverteilung des Ultrafeinstaubs wird durch die Verteilung auf Größenklassen (von 10 bis 500 Nanometer) bestimmt. Bei den Messungen in Cabauw wurde jeweils für die Windrichtungen aus Schiphol (340-350°) und die übrigen Windrichtungen ein Durchschnittswert ermittelt. Im Amsterdamse Bos wurde für die Erstellung der Partikelgrößenverteilung zur Tagzeit ebenfalls zwischen Wind aus Richtung Schiphol und den übrigen Windrichtungen unterschieden. Zur Nachtzeit wurde hier nicht zwischen den Windrichtungen unterschieden. Diese fünf Partikelgrößenverteilungen sind in Abbildung 5 dargestellt.

Aus Abbildung 5 wird ersichtlich, dass sich die Größenverteilung der PNC im Amsterdamse Bos bei Wind aus Richtung Schiphol durch einen relativ hohen Anteil von Partikeln mit einer Größe zwischen 10 und 20 Nanometern auszeichnet. Hierbei ist anzumerken, dass es genau diese Partikel bis zu einer Größe von 50 Nanometern sind, die tief in die Lungen eindringen. Da Cabauw vom Flughafen sich in größerer Entfernung als Schiphol befindet, kommen dort von den in Schiphol emittierten Partikel eher die größeren an, die Größenverteilung ist entsprechend verschoben.

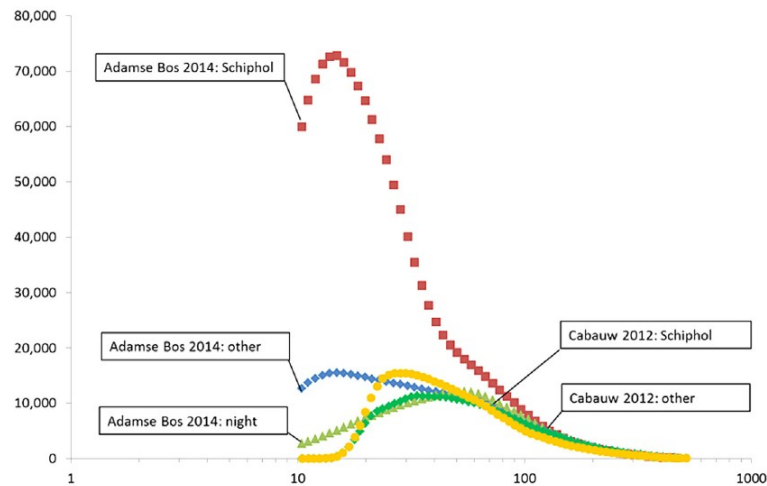


Abbildung 5: Die Teilchengrößenverteilung im Feinstaub in Cabauw und im Amsterdamse Bos.  
X-Achse: Teilchendurchmesser  $dP$  [nm], Y-Achse: Normalisierte Konzentration  $dN/d\log(dP)$

Die Partikelgrößenverteilung bei Wind aus Richtung Schiphol ist typisch für Emissionen, die bei der Verbrennung von Benzin, Diesel und Kerosin entstehen. Kerosin hat einen mittleren Schwefelgehalt von 400 mg/kg Brennstoff. Daher bestehen die ultrafeinen Partikel in den Emissionen der Flugzeuge zu einem großen Teil aus Schwefelsäure, gemischt mit Kohlenstoffteilchen und organischen Verbindungen. Ultrafeinstaub in den Emissionen des Straßenverkehrs besteht vor allem aus Motoröl, Kohlenstoffteilchen und organischen Verbindungen. Hier ist aufgrund des geringeren Schwefelgehalts von Benzin und Diesel (weniger als zehn Milligramm pro Kilogramm Diesel oder Benzin) relativ wenig Schwefelsäure enthalten. Darüber hinaus ist die Partikelgrößenverteilung des Feinstaubes in der Umgebung einer vielbefahrenen Straße schon bei einigen hundert Metern Abstand mit den allgemeinen Hintergrundkonzentrationen vergleichbar. Demgegenüber wird bei Schiphol selbst in einem Abstand von sieben Kilometern die Partikelgrößenverteilung im Amsterdamse Bos dominiert durch Partikel der Größe zwischen 10 und 20 Nanometern. Dies beleuchtet den Rang von Schiphol als Ultrafeinstaubquelle.

## 7 Die Partikelkonzentrationen im Jahresdurchschnitt und die Exposition in Amsterdam und Amstelveen

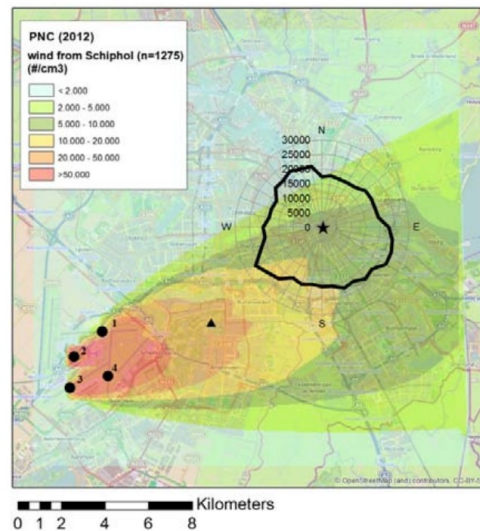
Die Immissionen durch den von Schiphol ausgehenden Ultrafeinstaub wurde für Wohngebiete von Amsterdam und Amstelveen, nordöstlich von Schiphol gelegen, berechnet. Details des verwendeten Verfahrens sind in einer internationalen Zeitschrift publiziert<sup>5a</sup>. Für das Jahr 2012 wurde die Ausbreitung des Ultrafeinstaubes einerseits für alle Stunden des Jahres modelliert ( $n=8\ 784$ ) und andererseits für Stunden mit Wind aus Richtung Schiphol von  $240$  bis  $270^\circ$  ( $n=1\ 275$ ). Die Ergebnisse sind in Abbildung 6 zu sehen.

<sup>5a</sup>Vgl. Anmerkung (4a).

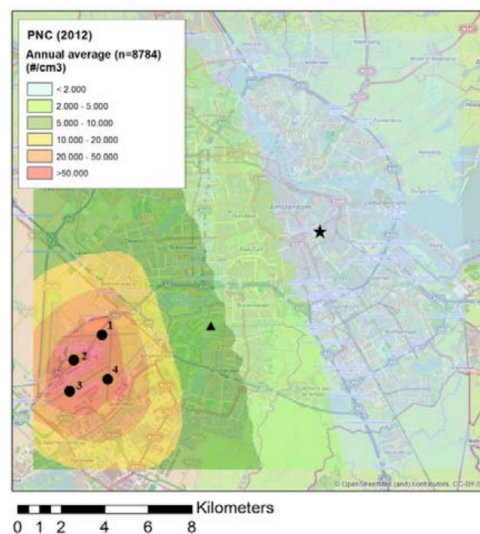
Abbildung 6 zeigt, dass die PNC-Beiträge des Flugverkehrs auf Schiphol selbst bei über 50 000 Partikeln pro Kubikzentimeter liegen, sowohl stündlich wie im Jahresdurchschnitt. Weiterhin wird ersichtlich, dass vor allem bei Wind aus Richtung Schiphol – aber auch im Jahresdurchschnitt – die PNC-Werte noch in den Wohngebieten von Amsterdam und Amstelveen erheblich erhöht sind gegenüber der regionalen Hintergrundkonzentration von 9 600 Partikeln pro Kubikzentimeter.

Abbildung 6: Beitrag zu PN-Emissionen der Buitenveldert-Bahn (1), der Schiphol-Gates (2), der Kaag-Bahn (3) und der Aalsmeer-Bahn (4) zu PNC (Partikelzahl/cm<sup>3</sup>) in Wohngebieten von Amsterdam und Amstelveen im Jahr 2012.

Oben:  
für Stunden mit Wind aus Richtung Schiphol (n= 1 275).



Unten:  
Beitrag im Jahresdurchschnitt (n=8 784).  
Weiterhin abgebildet sind die Messstation im W Amsterdamse Bos (Dreiecksymbol ▲) und eine Windrose mit PNC-Messungen vom Dach des Tropenmuseums (Sternsymbol ★) aus 2002-2004



Weiterhin beinhaltet Abbildung 6 eine Windrose von PNC-Messungen, die auf dem Dach des Tropenmuseums von November 2002 bis März 2004 durchgeführt wurden. Diese Daten wurden durch das ENC (Energy Research Centre of the Netherlands) in Zusammenarbeit mit dem IRAS (Institute of Risk Assessment Science) und der GGD-Amsterdam (kommunale Gesundheitsbehörde) erhoben<sup>6</sup>. Die Erhöhung der Partikelanzahl betrug etwa 5 000 Partikel/cm<sup>3</sup> bei Wind aus Richtung Schiphol im Vergleich zu Wind aus anderen Richtungen. Dieses Ergebnis stimmt mit den Modellrechnungen für 2012 überein. Darüber hinaus werden die Berechnungen für 2012 gestützt durch die Messergebnisse

<sup>6</sup>Puustinen, A., Hämeri, K., Pekkanen, J., Kulmala, M., de Hartog, J., Meliefste, K., ten Brink, H., Kos, G., Katsouyanni, A., Kotronarou, A., Kavouras, I., Meddings, C., Thoma, S., Harrison, R., Ayres, J.G., Zee, S. van der, Hoek, G. (2007). 'Spatial variation of particle number and mass over four European cities'. Atmospheric Environment 41, p. 6622-6636.

aus dem Amsterdamse Bos 2014. Der Jahresmittelwert (berechnet und gemessen) war 6 200 (2012) beziehungsweise 4 500 (2014) Partikel/cm<sup>3</sup> - bei Wind aus Richtung Schiphol 34 700 (2012) beziehungsweise 27 900 (2014) Partikel/cm<sup>3</sup>.

Die Darstellung der räumlichen Verbreitung von PNC (Abbildung 6) wurde genutzt, um die PNC-Exposition der Bevölkerung abzuschätzen. Hierfür wurden die PNC-Konzentrationen in Zellen (50 \* 50 Meter) aufgeteilt und mit Adressangaben (Wohnadressen, Büros, Geschäfte) in den jeweiligen Zellen zusammengeführt. Abbildung 7 zeigt die Ergebnisse für die jährliche PNC-Exposition und für die PNC-Exposition bei Spitzenbelastung (bei Wind aus Richtung Schiphol).

Aus Abbildung 7 wird deutlich, dass ein beachtlicher Teil der 555 000 Adressen im Gebiet der Modellrechnung einem erhöhten PNC-Wert durch Emissionen auf dem Flughafen Schiphol ausgesetzt sind. Im Jahr 2012 waren durch die Auswirkungen von Schiphol beispielsweise im Jahresdurchschnitt 20 000 Adressen beziehungsweise während 14 Prozent der Stunden 60 000 Adressen einem PNC-Wert ausgesetzt, der zwei- bis dreimal so hoch war wie die regional übliche Belastung.

## 8 Haben die erhöhten Ultrafeinstaubkonzentrationen gesundheitliche Auswirkungen?

Eine Gruppe internationaler Experten hat in einer Metastudie festgestellt, dass aufgrund von Tierstudien, Studien mit freiwilligen Versuchspersonen und epidemiologischen Untersuchungen ein kausalen Zusammenhang zwischen der Belastung durch ultrafeine Stäube und der Sterblichkeit wahrscheinlich ist<sup>6a</sup>. Diese Einschätzung wird durch einen plausiblen Mechanismus (Entzündungsreaktionen in den Luftwegen) als Erklärung gestützt. Die Autoren der Studie schätzen auf Grundlage der verfügbaren Literatur, dass eine langfristige Zunahme der Durchschnittskonzentrationen von 10 000 Partikeln/cm<sup>3</sup> zu einer durchschnittlichen Erhöhung der Sterblichkeit von drei Prozent führen kann.

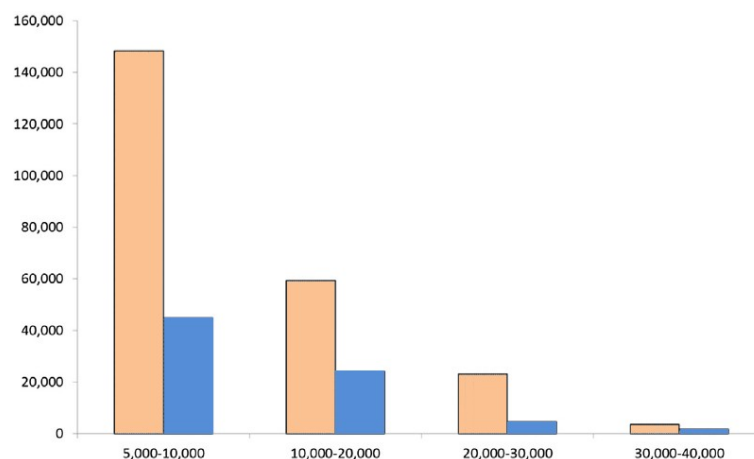


Abbildung 7: Belastung der Bevölkerung durch von Schiphol ausgehendes zusätzliches PNC (Partikelzahl/cm<sup>3</sup>) bei Wind aus Richtung Schiphol (rosa) und im Jahresdurchschnitt (blau) im Jahr 2012 (Y-Achse: Anzahl der betroffenen Adressen)

<sup>6a</sup>Vgl. Knol, A. (2014). 'Ultrafine particles from Schiphol airport: An analysis of health impacts for area residents'. Milieudefensie. [https://milieudefensie.nl/publicaties/factsheets/factsheet-ultrafine-particles-from-schiphol-airport-an-analysis-of-health-impacts-for-area-residents/at\\_download/file](https://milieudefensie.nl/publicaties/factsheets/factsheet-ultrafine-particles-from-schiphol-airport-an-analysis-of-health-impacts-for-area-residents/at_download/file). Die angeführte Studie ist: Hoek, G., et al. 'Concentration response functions for ultrafine particles and all-cause mortality and hospital admissions: results of a European expert panel elicitation'. Environ Sci Technol. 2010 Jan 1;44(1):476-82. Vgl. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9021393>. [Angabe ergänzt durch Übersetzung]

Für ungefähr 20 000 Adressen in der Nähe von Schiphol wurden die Auswirkungen einer Zunahme von 10 000 – 20 000 Partikeln pro cm<sup>3</sup> im Jahresdurchschnitt durch die Emissionen von Schiphol berechnet. Auf Grundlage der Literatur kann dies zu einer Erhöhung der Sterblichkeit von drei bis sechs Prozent führen. Dabei wird angenommen, dass die ausgestoßenen Partikel die gleiche Toxizität aufweisen wie in früheren epidemiologischen Studien untersuchte Partikel. Dies ist allerdings sehr unsicher. Nähere Untersuchungen zu den Folgen einer erhöhten Feinstaubexposition in der Umgebung von Schiphol und anderen Flughäfen ist daher dringend geboten. Umso mehr gilt dies für die Gesundheit der Menschen, die auf den Flughäfen täglich ihrer Arbeit nachgehen<sup>7</sup>.

## 9 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass der Flughafen Schiphol eine Quelle für ultrafeine Partikel darstellt. Die Verbreitung dieser ultrafeinen Partikel führt wiederum zu erhöhten PNC-Werten, unter anderem in Wohngebieten von Amsterdam und Amstelveen im Nordosten von Schiphol. Es ist dringend notwendig, weitere Erkenntnisse über die Ultrafeinstaubkonzentration rundum Schiphol und deren gesundheitliche Auswirkungen zu gewinnen. Anhand solcher Erkenntnisse können dann möglicherweise Richtlinien zur Verringerung der Belastung erarbeitet werden. Die Verringerung des Schwefelgehalts in Flugzeugtreibstoffen könnte dabei eine effektive Maßnahme sein, um den Ausstoß ultrafeiner Stäube durch Flugzeuge zu senken.

---

<sup>7</sup>Møller, K.L., Thygesen, L.C., Schipperijn, J., Loft, S., Bonde, J.P., Mikkelsen, S., Brauer, C. (2014). 'Occupational exposure to ultrafine particles among airport employees – combining personal monitoring and global positioning system'. PlosOne 9 (9), p. 1-7.