

Expertenanhörung Ultrafeinstaub

am 22. - 23. August 2019

im Casino-Gebäude der Goethe-Universität Frankfurt a.M.

Dokumentation



Veranstalter:

Umwelt- und Nachbarschaftshaus gGmbH (UNH) in Kooperation mit der Arbeitsgemeinschaft deutscher Fluglärmkommissionen (ADF) und dem Hessischen Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (HNLUG)

Moderation:

Stefanie Heng-Ruschek, www.shr-moderation.de

Dokumentation:

Uta Frankenberg und Stefanie Heng-Ruschek



<https://www.umweltbau.org/umweltmonitoring/ultrafeinstaub/expertenanhoeerung/programm-tag-1/>



Donnerstag, 22. August 2019 Programm Expertenanhörung

Ablauf, Stand 19.06.2019 / Änderungen vorbehalten

	Begrüßung, Einführung Ziele der Veranstaltung Dirk-Oliver Quilling (Vorstand des Forum Flughafen und Region) Prof. Dr. Thomas Schmid (Präsident des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie)	
10.00 Uhr		
10.20 Uhr	Ablauf Stefanie Heng-Ruschek	
10.25 Uhr	<i>Grundwissen Ultrafeinstaub:</i> Allgemeine Einführung Dr. Christof Asbach (Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V.)	
10.50 Uhr	<i>Grundwissen Ultrafeinstaub:</i> Messung und Qualitätssicherung Prof. Dr. Alfred Wiedensohler (Leibniz-Institut für Troposphären-forschung)	
11.15 Uhr	<i>Grundwissen Ultrafeinstaub:</i> Chemische Charakterisierung Dr. Dominik van Pinxteren (Leibniz-Institut für Troposphären-forschung)	
11.40 Uhr	Keynote: Ziele der Veranstaltung im politischen Kontext Staatsminister Tarek Al-Wazir	
12.00 Uhr	Fragen der Teilnehmenden: (Pinnwand und weitere Fragen) Stefanie Heng-Ruschek	
12.30 Uhr	Mittagspause	
13.30 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I:</i> Messungen von UFP im ländlichen Hintergrund und in Innenräumen Dr. Bryan Hellack (Umweltbundesamt)	

13.55 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I:</i> Messungen von UFP in Städten Dr. Gunter Löschau (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)
14.20 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I:</i> UFP-Emissionen von Flugzeugen Theo Rindlisbacher (Bundesamt für Zivilluftfahrt, Schweiz)
14.45 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I:</i> Modellierung der UFP-Belastung am Flughafen Frankfurt Dipl.-Ing. Helmut Lorentz (Ing.-Büro Lohmeyer)
15.10 Uhr	Fragen der Teilnehmenden Stefanie Heng-Ruschek
15.40 Uhr	Pause
16.00 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten II:</i> Messungen von UFP am Flughafen Frankfurt und anderen Flughäfen Dr. Diana Rose (Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)
16.40 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten II:</i> Messungen von UFP am Flughafen Zürich Emanuel Fleuti (Flughafen Zürich AG)
17.05 Uhr	<i>UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten II:</i> Fragen und Diskussion Herr Dr. Hellack, Herr Dr. Löschau, Frau Dr. Rose, Herr Fleuti
17.45 Uhr	Zusammenfassung und Ausblick 2. Tag Fr. Heng-Ruschek im Gespräch mit Prof. Dr. Stefan Jacobi (Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) und Marion Wichmann-Fiebig (Umweltbundesamt)
18.15 Uhr	Ende erster Tag



Freitag, 23. August 2019 Programm Expertenanhörung

Ablauf, Stand 19.06.2019 / Änderungen vorbehalten

9.00 Uhr	Begrüßung, Einführung Begrüßung, Erkenntnisse des ersten Tages Thomas Jühe (Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmmmissionen)
9.15 Uhr	Ablauf für den zweiten Tag, Frage-stellungen Stefanie Heng-Ruschek
9.30 Uhr	Von der Risiko-forschung zur Grenzwert-setzung Marion Wichmann-Fiebig (Umweltbundesamt)
9.55 Uhr	<i>Gesundheit I:</i> Überblick Wirkungsstudien (allgemeine Grundlagen) Dr. Josef Cyrys (Helmholtz-Zentrum München)
10.20 Uhr	<i>Gesundheit I:</i> Toxikologische Studien zu UFP Prof. Dr. Marianne Geiser Kamber (Universität Bern)
10.45 Uhr	Pause
11.05 Uhr	<i>Gesundheit II:</i> Epidemiologische Studien zu UFP Prof. Dr. Barbara Hoffmann (Universität Düsseldorf)
11.30 Uhr	<i>Gesundheit II:</i> Wirkungsstudie in der Region des Flughafens Amsterdam (Vortrag auf Englisch) Nicole Janssen (National Institute for Public Health and the Environment, Niederlande)
11.55 Uhr	<i>Gesundheit II:</i> Wirkungsstudie am Flughafen Kopenhagen Jesper Abery Jacobsen (Copenhagen Airports)
12.20 Uhr	<i>Gesundheit:</i> Fragen und Diskussion Herr Dr. Cyrys, Frau Prof. Dr. Geiser Kamber, Frau Prof. Dr. Hoffmann, Frau Janssen, Herr Jacobsen

13.00 Uhr	Mittagspause
14.00 Uhr	<i>Möglichkeiten zur Minderung von UFP:</i> Entschwefelung des Kerosins Bill Hemmings (Transport & Environment, Belgien)
14.25 Uhr	<i>Möglichkeiten zur Minderung von UFP:</i> Verwendung von alternativen Flugzeug-kraftstoffen Dr. Tobias Schripp (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
14.50 Uhr	<i>Möglichkeiten zur Minderung von UFP:</i> Optimierung im Bereich des Boden-verkehrs von Flughäfen Prof. Dr. Johannes Reichmuth (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)
15.15 Uhr	<i>Möglichkeiten zur Minderung von UFP:</i> Fragen und Diskussion Herr Hemmings, Herr Dr. Schripp, Herr Prof. Dr. Reichmuth, Herr Emanuel Fleuti
15.45 Uhr	Erkenntnisrunde Frau Heng-Ruschek im Gespräch mit den Themen-Verantwortlichen: Frau Dr. Steul, Frau Dr. Brohmann, Frau Barth
16.00 Uhr	Zusammenfassung und Ausblick Prof. Dr. Dipl.-Ing. Johann-Dietrich Wörner (Vorsitzender des Forum Flughafen und Region) Thomas Jühe (Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmmmissionen)
16.15 Uhr	Ende

1. Tag – 22. August 2019

Begrüßung und Einführung

Herr Quilling (Vorstand des Forum Flughafen und Region – FFR) begrüßt die Teilnehmenden zur zweitägigen Expertenanhörung zum Thema Ultrafeinstaub¹. Das Forum Flughafen und Region besteht aus einem dreiköpfigen Vorstand: Herr Prof. Dr. Dipl.-Ing. Wörner (Generaldirektor European Space Agency (ESA) und neutrales Mitglied), Herr Dr. Prümm (Vorstand Aviation und Infrastruktur der Fraport AG und Repräsentant der Luftverkehrswirtschaft) und Herr Quilling (Landrat des Landkreises Offenbach und Kommunal Repräsentant).

Das Forum Flughafen und Region besteht seit 10 Jahren und hat sich in den ersten Jahren zusammen mit dem Umwelt- und Nachbarschaftshaus (UNH) intensiv mit passivem und aktivem Schallschutz, aber auch mit gesundheitlichen Auswirkungen, die vom Frankfurter Flughafen ausgehen beschäftigt. In diesem Zusammenhang wurde die vom Land Hessen unterstützte und finanzierte Lärmwirkungsstudie NORAH erstellt. Eine ähnliche Studie zu den gesundheitlichen Auswirkungen des Ultrafeinstaubes, der durch den Frankfurter Flughafen verursacht wird, ist geplant. Das FFR hat den Auftrag der hessischen Landesregierung, die Forschungsarbeiten zum Thema Ultrafeinstaub zu begleiten. Die Ergebnisse dieser Expertenanhörung sollen in das Studiendesign mit einfließen. Herr Quilling bedankt sich bei den Expert_Innen, die sich bereit erklärt haben bei der Expertenanhörung zum Thema UFP zu referieren.

Herr Prof. Dr. Schmid (Präsident des Hessischen Landesamts für Naturschutz, Umwelt und Geologie – HLNUG) begrüßt ebenfalls alle Teilnehmenden. Das HLNUG ist u.a. im Land Hessen für die Messung und Überwachung der Luftqualität zuständig. Seit fünf Jahren führt das HLNUG Ultrafeinstaubmessungen durch. Zusammen mit dem Umweltbundesamt wurde in Raunheim (Nähe Flughafen) die erste Messstation für UFP etabliert und erste Messungen durchgeführt. Inzwischen wurden insgesamt fünf Messstationen im Umfeld des Frankfurter Flughafens installiert. Am 20.08.2019 hat das HLNUG den zweiten Zwischenbericht² vorgestellt, in welchem dargelegt wurde, dass der Flughafen eine bedeutende Quelle von UFP darstellt. Die Ergebnisse haben die hessische Landesregierung dazu motiviert, das Thema UFP im Rahmen einer umfassenden Untersuchung detaillierter zu untersuchen. Folgende Erwartungen werden an die Expertenanhörung gestellt: 1. Einen Überblick der vorhandenen Messungen in Deutschland zu bekommen, um den Sachverhalt im Vergleich zu anderen Quellen und Regionen einzuschätzen 2. Was für gesundheitliche toxikologische Auswirkungen haben die UFP? Ein Grenzwert für UFP innerhalb der EU wäre wünschenswert. 3. Was kann man gegen UFP tun? Welche Minderungsmaßnahmen gibt es, v.a. im Bereich Flugverkehr?

¹ Die Begriffe Ultrafeinstaub und ultrafeine Partikel (UFP) werden synonym benutzt.

² 2. Zwischenbericht zur Untersuchung der regionalen Luftqualität auf ultrafeine Partikel im Bereich des Flughafens Frankfurt. Zu finden auf der Website des HLNUG: www.hlnug.de

Ablauf

Frau Heng-Ruschek (shr moderation) stellt den Ablauf der zweitägigen Veranstaltung vor: Um alle Anwesenden auf einen Wissensstand zu bringen, wird zu Beginn des 1.Tages Grundwissen zu Ultrafeinstaub vermittelt. Anschließend geht es um die Frage, an welchen Standorten (Stadt, Flughäfen, Gebirge, Umland, Innenraum) und in welcher Konzentration UFP vorkommen. Schließlich werden Flughäfen und Flugzeuge als bedeutende Quelle von UFP sowie deren Ausbreitung im Umland thematisiert. Am 2. Tag stehen die Themen Gesundheit, Grenzwertsetzung und schließlich Minderungsmöglichkeiten im Fokus.

Es konnten Expert_Innen unterschiedlicher Fachrichtungen für die Anhörung gewonnen werden. Um den Austausch zwischen allen Teilnehmenden zu fördern und Fragen zu beantworten, wird es zwischen den thematischen Vortragsblöcken Frage- und Diskussionsrunden geben. Fragen können entweder in den Fragerunden direkt per Wortmeldung gestellt oder im Vorfeld an der Pinnwand auf separaten Karten notiert werden. Die gesammelten Fragen an der Pinnwand wird Frau Heng-Ruschek in die Veranstaltung mit einfließen lassen. Die Veranstaltung wird mittels einer Videoaufzeichnung dokumentiert. Die Videoaufzeichnung sowie die Vorträge der Referent_Innen werden auf der Website des UNH (www.umwelthaus.org) zur Verfügung gestellt.

Auf Nachfrage nach der Herkunft der Teilnehmenden (Handzeichen) wird deutlich, dass die Mehrheit aus dem Verwaltungsbereich stammt. Vertreten sind außerdem Politik, Wissenschaft, Wirtschaft, Bürgerinitiativen und interessierte Bürger.

Hinweis zu dieser Dokumentation:

Die Zusammenfassungen wurden von den Referenten erstellt.

Die vollständigen Vorträge sind unter www.umwelthaus.org abrufbar.

Die Fragen der Teilnehmenden und die Antworten der Expert_Innen werden vollständig wiedergegeben, allerdings für die bessere Lesbarkeit thematisch sortiert.

Block 1.: Grundwissen Ultrafeinstaub

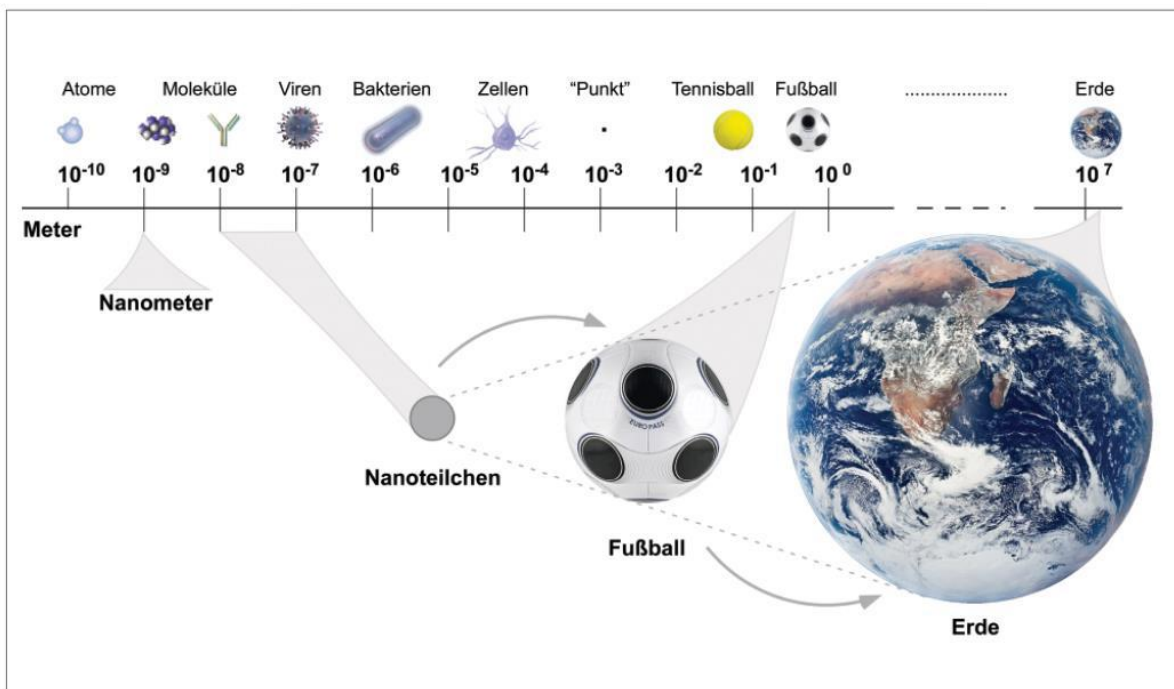
Allgemeine Einführung

Dr. Christof Asbach (Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V.)

Dr. Christof Asbach hat Elektrotechnik an der Universität Duisburg studiert und in Aerosolwissenschaften promoviert, bevor er zwei Jahre als Postdoktorand an der University of Minnesota forschte. Bereits in seiner Diplomarbeit hat er sich mit Messtechniken für Ultrafeinstaub beschäftigt. Seit 2006 arbeitet er am Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. (IUTA) und ist Bereichsleiter für Luftreinhaltung und Filtration.

Zusammenfassung:

- Ultrafeine Partikel haben Durchmesser < 100 nm.
- UFP stammen aus thermischen Prozessen, z. B. Verbrennung.
- UFP streuen nahezu kein Licht, daher sind sie unsichtbar (auch für Messtechnik).
- UFP machen i.d.R. den Hauptanteil der Anzahlkonzentration, aber nur sehr geringen Anteil der Massenkonzentration von PM₁₀ aus.
- Verhalten und Abscheidung luftgetragener UFP sind stark von der Brownschen Molekularbewegung geprägt, Trägheit spielt keine Rolle.
- UFP neigen stärker zur Agglomeration als größere Partikel.
- Maximum der Deposition in den Alveolen (= Lungenbläschen) bei 20 nm.



Quelle: S.K. Knauer, R.H. Stauber, *DZKF* 5/6:2019

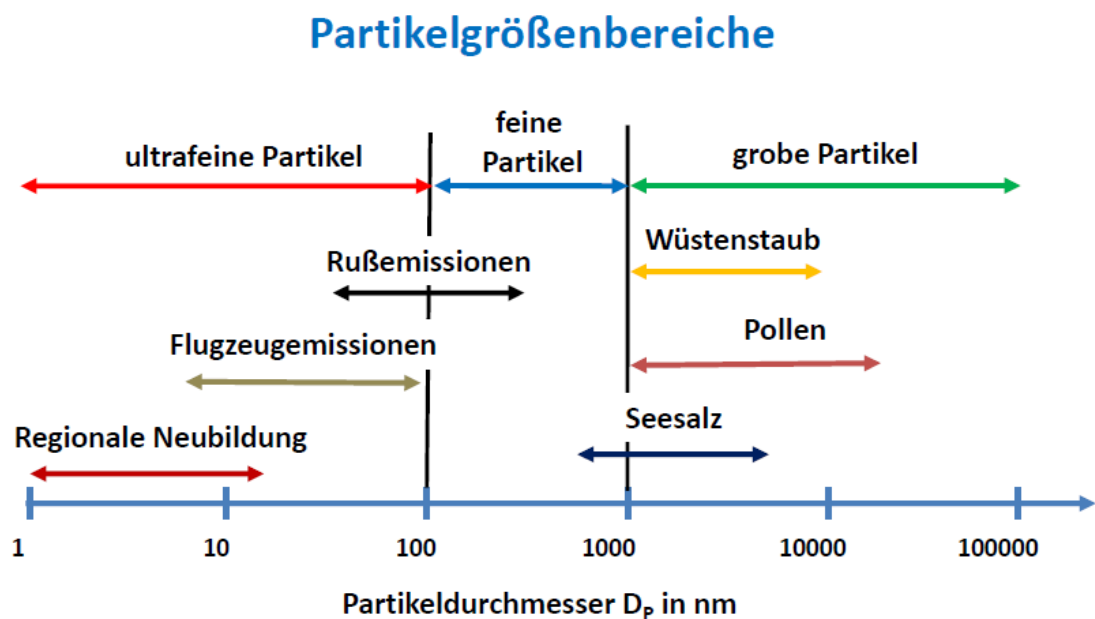
Messung und Qualitätssicherung

Prof. Dr. Alfred Wiedensohler (Leibniz-Institut für Troposphärenforschung)

Prof. Dr. Alfred Wiedensohler leitet die Abteilung „Experimentelle Aerosol- und Wolkenmikrophysik“. Das Institut ist führend in der Messung ultrafeiner Partikel und Ruß. Seit Mai 2005 ist er Professor am Institut für Meteorologie, Fakultät für Physik und Geowissenschaften, Universität Leipzig. Er ist Leiter des Weltkalibrierungszentrums für Aerosolphysik (WCCAP) und des Europäischen Zentrums für Aerosolkalibrierung (ECAC).

Zusammenfassung:

- Bestimmung und Differenzierung der Anzahl-Konzentration ultrafeiner Aerosolpartikel insbesondere auch des Bereiches 10-30 nm ist nur mit einem Mobilitätspartikel-Größenspektrometer (MPSS) möglich.
- Messungen müssen mit hoher Qualität durchgeführt werden.
- Die Zusatzbelastung der Bevölkerung durch UFP kann nur durch vergleichbare Messungen bestimmt werden.
- Die Messungen müssen langfristig angelegt sein um belastbare Daten zu erhalten.
- Kurzzeitstudien sind aus Sicht von Prof. Dr. Wiedensohler weniger aussagekräftig.



Probenahme und chemische Charakterisierung von ultrafeinen Partikeln

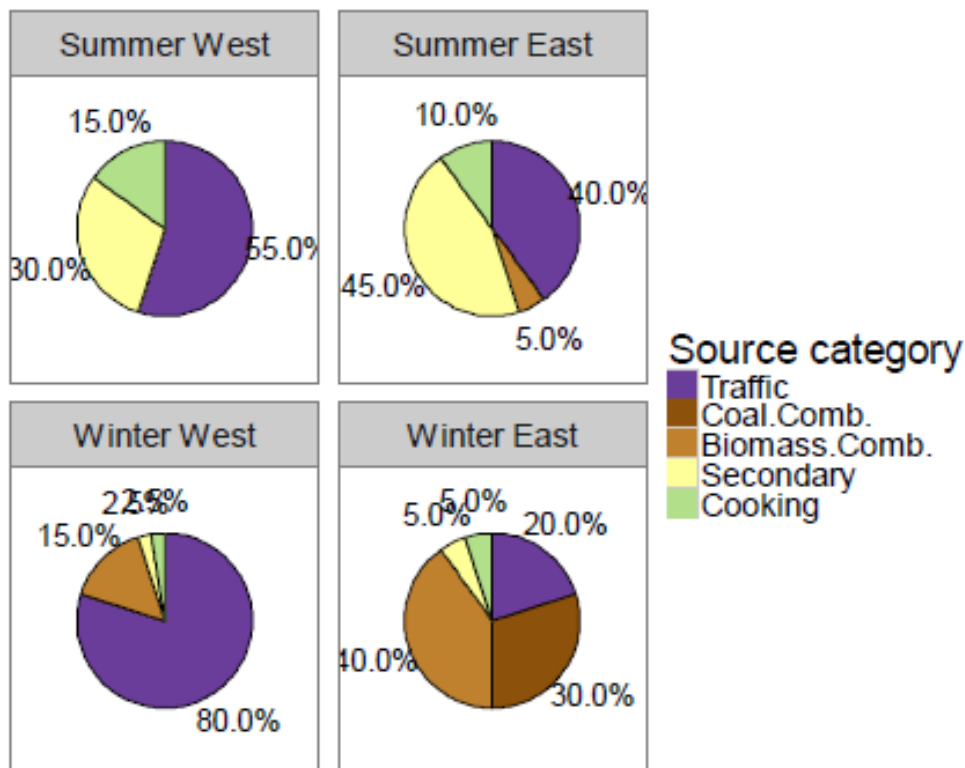
Dr. Dominik van Pinxteren (Leibniz-Institut für Troposphärenforschung)

Dr. Dominik van Pinxteren ist Chemiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Troposphärenforschung, Abteilung Chemie der Atmosphäre. Er beschäftigt sich mit der Luftqualität und der chemischen Zusammensetzung von Aerosolpartikeln. Zurzeit führt er an einer Messstation in der Nähe des Flughafens Frankfurt zusammen mit der Goethe Universität und dem HLNUG einen Versuch durch, um die chemische Zusammensetzung der UFP zu untersuchen.

Zusammenfassung:

- UFP Probenahme ist problematisch, v.a. für Partikel < 70 nm.
- UFP Gesamtmasse wird von kohlenstoffhaltigem Material dominiert.
- Hohe Anteile toxischer Bestandteile wie PAK (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) und Metalle.
- Hauptquellen: Verkehr (Abgas und Nicht-Abgas), Feststoffverbrennung (Winter), Photochemie (Sommer).
- Die chemische Zusammensetzung kann ggf. zur Identifizierung von UFP-Quellen verwendet werden.

UFP Zusammensetzung in Leipzig-Mitte



Keynote: Ziele der Veranstaltung im politischen Kontext

Herr Staatsminister Tarek Al-Wazir bedankt sich beim FFR (Forum Flughafen und Region), ADF (Arbeitsgemeinschaft deutscher Fluglärmkommission) und HLNUG (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) für die Organisation der Expertenanhörung. Das Thema UFP hat in den letzten Jahren u.a. durch die verbesserten Messmethoden an Bedeutung gewonnen.

In der Rhein-Main-Region existiert eine Debatte um den Frankfurter Flughafen als „besondere Quelle“ von UFP, weswegen diese Veranstaltung hier in Frankfurt stattfindet. Während Fluglärm schon lange thematisiert wird und es hier auch rechtliche Vorschriften und technische Normen gibt, ist dies beim Thema UFP nicht der Fall. Bund, EU, Länder, Wirtschaft und Wissenschaft müssen gemeinsam die Voraussetzungen schaffen, dass ein **Grenzwert** gesetzt werden kann. Hierfür sind belastbare Datengrundlagen, die mit vergleichbaren Methoden an verschiedenen Standorten und Quellen wissenschaftlich erhoben werden, nötig. Zudem werden Prognosemöglichkeiten benötigt, um abschätzen zu können, welche Tätigkeiten oder technische Zusammenhänge zu mehr oder weniger UFP führen und zu welcher Art von UFP. Außerdem ist robustes Wissen über die Gesundheitsauswirkungen wichtig. Und schließlich ist technisches Know-how für Minderungsmöglichkeiten nötig.

Die Veröffentlichung des zweiten Zwischenberichts der Messungen des HLNUGs haben die Ergebnisse des ersten Berichts bestätigt, dass der **Flughafen eine bedeutende Quelle für UFP** ist. Die Zusammenarbeit des FFR, UNH, ADF und dem HLNUG stellt eine wichtige Grundlage für die weiteren Schritte dar.

Es gibt kritische Stimmen, dass Fraport als „Verursacherin“ über das FFR in die weitere Sachaufklärung eingebunden wird. Dagegen ist einzuwenden, dass zum einen bei finanziellen Fragen in der Umweltpolitik das Verursacherprinzip gilt. Außerdem ist genau dies eine Stärke unseres Standortes - eine **konsequente Fortsetzung des „Frankfurter Wegs“**. Zum anderen ist die Einbindung Fraports wichtig, da die Flughafenbetreiberin über breite Expertise verfügt und so auch der Praxisbezug hergestellt ist. Trotz Interessenskonflikte soll eine sachliche Diskussion angestoßen werden. Deshalb hat das FFR den Auftrag von der Landesregierung erhalten, UFP als zusätzlichen Schwerpunkt zu bearbeiten. Außerdem wurde im Koalitionsvertrag Ende 2018 vereinbart, eine **Wirkungsstudie** zu UFP - analog zu NORAH - zu fördern. Aufgrund der bisherigen Messergebnisse besteht ein klarer Auftrag an die Politik in Hessen, Untersuchungen durch das Landesamt fortzusetzen sowie die Messkampagne rund um den Flughafen zu erweitern um folgende Fragen zu untersuchen: Bis zu welcher Entfernung vom Flughafen hat der Flughafenbetrieb Einfluss auf die UFP-Konzentration am Boden? Inwiefern wirken sich An- und Abflüge auf die bodennahe UFP-Konzentration aus? Mittelfristiges Ziel ist es, eine valide Datenbasis zur Beurteilung der UFP-Belastung bekommen.

Nicht nur Anwohner_Innen entlang von stark befahrenen Straßen, Schienen- und Wasserwegen oder in der nahen Umgebung von Flughäfen sind von UFP-Belastung betroffen, sondern auch Arbeitende am Flughafen. Da UFP lungengängig sind und in toxikologischen Studien Hinweise auf Wirkungen gefunden wurden, sollten unabhängig von der weiteren Sachaufklärung und der Grenzwertsetzung aus Vorsorgegründen **Minderungsmaßnahmen** umgesetzt werden, die jetzt schon möglich sind. Aber auch auf Bundes- und EU-Ebene muss ein Umdenken stattfinden.

Zu einem müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Emissionen so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig muss die Sachaufklärung zügiger voranschreiten, damit über die Regulierungserfordernisse für einen UFP-Grenzwert entschieden werden kann.

Mögliche Handlungsfelder bei der Minderung von UFP - „**Kraftstoffwende Teil 1**“: **Reduzierung von Verunreinigen im Kerosin**, z.B. die Reduzierung des Schwefelgehalts, da bei der Verbrennung von Kerosin u.a. Schwefeldioxid entsteht. Schwefeldioxid ist ein Vorläufergas, welches für die Bildung von sekundären UFP verantwortlich ist. Auf EU-Ebene bzw. durch geltende Normen wurden in den letzten Jahrzehnten bei den Verkehrsträger Schienen-, Straßen- und Schifffahrt eine schrittweise Reduzierung des Schwefelgehalts beschlossen. Seit 2010 dürfen in Straßenkraftstoffen EU-weit nur noch 0,01g pro 1kg Kraftstoff enthalten sein. Dieser Grenzwert gilt inzwischen auch für die Binnenschifffahrt und bei der Bahn. Beim Flugverkehr jedoch schreibt die EU keinen Grenzwert vor. Es gilt lediglich eine alte technische Norm, die 3g pro 1kg Kraftstoff erlaubt. Das vertriebene und getankte Kerosin am Frankfurter Flughafen beinhaltete 2018 im Durchschnitt ca. 0,5g pro 1 kg Kraftstoff, was immer noch mehr ist als bei den anderen Verkehrsträgern. Einen technischen Grund für den Schwefelanteil im Kerosin gibt es nicht. Deshalb muss versucht werden, über die EU-Kraftstoffqualitätsrichtlinie oder über vergleichbare Regulierungen Minderungsmaßnahmen zu erwirken. Denn im Gegensatz zu Schiffen und Autos ist bei Flugzeugen baulich und technisch bedingt keine Abgasreinigung/Filtrierung möglich.

Ein zweites Handlungsfeld (perspektivisch) liegt in der Minderung von UFP, Stichwort „**Kraftstoffwende Teil 2**“. Durch Einsatz von klimaschonenden **synthetisch hergestellten Kraftstoffen**, den sogenannten „Power-to-Liquid“ kann der Ausstoß von UFP reduziert werden. Synthetische Kraftstoffe bieten nicht nur eine CO₂-Reduzierung, sondern auch eine Reduzierung der Partikelemission. Es ist unwahrscheinlich, dass im Flugverkehr Verbrennungsmotoren bald ersetzt werden können, da das Gewicht (bspw. Batterie) im Gegensatz zu Schiff-, Auto- oder Bahnverkehr eine entscheidende Rolle spielt. Die Hessische Landesregierung wird sich daher mit klimaschonenden Möglichkeiten, wie dem „Power-to-Liquid“-Verfahren (PtL) beschäftigen. Die Frage ist u.a., ob synthetischer Kraftstoff in signifikanten Mengen wettbewerbsfähig vorhanden und produzierbar ist. Noch in diesem Jahr wird in Hessen ein Kompetenzzentrum „Klima- und Lärmschutz im Flugverkehr“ gegründet, welches sich genau diesen Fragestellungen annimmt. Das Ziel ist es eine Pilotanlage zur Herstellung von „Power-to-Liquid“-Treibstoffen zu bauen.

Ein drittes Handlungsfeld ist die Minderung von UFP durch die **Optimierung des Bodenverkehrs**. Im Kontext dessen wären denkbare Maßnahmen die Umstellung einzelner Abfertigungsprozesse auf elektrische Antriebstechniken sowie Einschränkung von Triebwerkeinsatz beim Rollen und weiteren Verbrennungsmotoren wie den Hilfstriebwerken bei bodenseitiger Bereitstellung von bspw. Pre-Conditioned Air-Anlagen.

Die Erwartungen an die Veranstaltung: Was ist der Wissensstand zu UFP? Klärung, welche Fragen weiter untersucht werden sollten und wie man das methodisch angehen kann. Zusammentragen von neuen Ideen/Wissen aus unterschiedlichen Forschungsbereichen. Und dass erste Grundlagen für weitere Kooperationen gelegt werden, z.B. im Rahmen der beabsichtigten Studie.

Fragen der Teilnehmenden

Die Teilnehmenden haben die Gelegenheit den Expert_Innen des ersten Vortragsblocks „**Grundwissen Ultrafeinstaub**“ Fragen zu stellen. Andere thematische Fragen werden auf der Pinnwand notiert und im späteren Verlauf der Veranstaltung behandelt.

Messgeräte, Preis und Nutzer Innen

- **Wie genau kann die Gesamtbelastung von UFP mit einem MPSS³ (Mobilitäts-Partikelgrößenpektrometer) mittels Stichproben gemessen werden? Diese Messtechnik ist für schnelle Veränderungen (wie sie bspw. beim Flugverkehr vorkommt) nicht besonders geeignet, weil sie diese nicht nachbilden kann. Die MPSS erfassen hinsichtlich Flugzeugemissionen nur Stichproben von zwei Sekunden innerhalb eines Messzeitraums von fünf Minuten, womit die Messungen zufällig sind und keinen Verlauf abbilden können. Wenn man die Messungen vom CPC (Kondensationspartikelzähler) mit denen des MPSS in Raunheim vergleicht, stellt sich heraus, dass vom MPSS gegenüber des CPC nur ein Bruchteil der Belastung erfasst wird. Für eine Belastungsstudie wären aber Messungen von UFP über einen längeren Zeitraum wesentlich. Dafür wäre die Installation von beiden Messtechniken (MPSS und CPC) nötig.**
 - Die MPSS werden tatsächlich mit einer zeitlichen Auflösung von mindestens zwei Minuten bis zu fünf Minuten betrieben. Die Validität der Messungen hängt von der Entfernung zur Quelle ab: Wenn man nahe der Quelle misst, z.B. an den Triebwerken von Flugzeugen, wird eine hohe Zeitauflösung und somit ein schnelleres Messgerät benötigt. Dabei ist es unabdingbar, einen Partikelzähler parallel einzusetzen. Wenn man etwas entfernt von einer Quelle (z.B. Flughafen) misst, wo viele andere Quellen auch vorhanden sind, lässt sich mit dem MPSS eine Gesamtverteilung messen. Allgemein wäre die Installation von beiden Messtechniken (MPSS und CPC) an Messstationen sinnvoll. Der CPC misst die Gesamtanzahl der Partikel, womit sich der Verlauf (bspw. Kontinuität oder „Spitzen“) abbilden lässt. In Kombination mit dem MPSS werden Messungen repräsentativer. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)
 - Frau Dr. Rose ergänzt, dass die Diskrepanz zwischen den Werten des MPSS und CPC in Raunheim nicht an einer fehlerhaften Kalibrierung des MPSS liegt, sondern an einem technischen Problem des CPC, welches gelöst werden kann. Die Flugzeugemissionen werden vom MPSS nicht nur mittels Stichproben von zwei Sekunden erfasst, denn die Größenverteilung wird auf einer logarithmischen Skala gescannt, womit ein wesentlich längerer Zeitbereich für die aus dem Flugverkehr stammenden Partikel (<30 nm) abgebildet wird. (Frau Dr. Rose)

- **Wie teuer sind Messgeräte zur chemischen Untersuchung für UFP?**
 - Sammelgeräte (Impaktor) kosten einige 1.000/10.000 Euro. Analysegeräte zur Untersuchung der chemischen Zusammensetzung kosten zwischen einigen 10.000 bis

³ Die Bezeichnungen MPSS (Mobility Particle Size Spectrometer) und SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer) werden synonym verwendet.

500.000 Euro. Hinzu kommt der zeitliche/hohe personelle Arbeitsaufwand. Der finanzielle und zeitliche Aufwand solcher Untersuchungen ist u.a. ein Grund, weshalb die Datengrundlage so gering ist. (Herr Dr. van Pinxteren)

- **Wer führt solche Messungen/Untersuchungen durch und für wen lohnt sich das?**
 - Chemische Messungen im ultrafeinen Bereich führen zurzeit lediglich Universitäten und Forschungsinstitute durch, welche häufig durch Behörden wie Landesämter für Umwelt oder Umweltbundesamt finanziert werden. Andere Geldgeber sind z.B. auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), das BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) oder die EU. (Herr Dr. van Pinxteren)
 - Wenn man beide Messtechniken (MPSS und CPC) installieren möchte, sollten mindestens 100.000 Euro eingeplant werden. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)

Ausbreitung von UFP

- **Wieso wurde in den Vorträgen die Meteorologie hinsichtlich der Ausbreitung von UFP und deren brownische Molekularbewegung kaum berücksichtigt?**
 - Die großflächige Ausbreitung von UFP findet durch Windströmungen statt. Die brownische Molekularbewegung ist nur für die Ausbreitung im nahen Bereich verantwortlich. (Herr Dr. Asbach)
 - Windströmungen beeinflussen die Ausbreitung von Emissionen und somit auch die Konzentration von UFP. Die Meteorologie ist aber kein Verursacher von UFP, sondern die Emissionen. (Herr Dr. van Pinxteren)

- **Wenn UFP vom Flughafen mehrere Kilometer transportiert werden, müssten aufgrund der Agglomerationsprozesse von UFP an Messstationen wie Raunheim nicht größere Partikel gemessen werden? Und warum wird trotzdem an einer Station wie Raunheim eine hohe Anzahl von Partikeln mit dem kleinsten Durchmesser gemessen?**
 - Wenn die Partikel aus dem Triebwerk herauskommen, sind sie noch sehr klein, etwa 20-30 nm groß. Im Triebwerk direkt sind die Partikel noch kleiner, weil sie im Neubildungsprozess sind. Je länger bzw. weiter die Partikel von ihrer Quelle entfernt sind, desto mehr verändern sie sich durch Agglomeration untereinander und mit anderen Partikeln, die sich in der Atmosphäre befinden. Die Messstationen messen nicht die direkte Emission von Flugzeugen, sondern die Immission weiter entfernt vom Flughafen. Auf dem Transportweg vom Flugzeug bis zur Messstation (z.B. Raunheim) findet ein Partikelwachstum (bis zu 20-30nm) statt. Die ganz kleinen Partikel, die emittiert werden, sind nur etwa 3nm groß und sehr reaktiv (Agglomeration), womit diese ausschließlich nah an der Quelle gemessen werden können. (Herr Dr. Asbach)
 - Die Wachstumsrate von UFP durch Agglomeration beträgt nur wenige Nanometer pro Stunde, daher sind Messstationen, die weiter außerhalb der Quelle liegen trotzdem geeignet um UFP zu messen. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)

Entstehung und Zusammensetzung von UFP

- **Gibt es Untersuchungen, wodurch hauptsächlich UFP entstehen? Ist es der Schwefelgehalt von Kerosin oder andere Stoffe, z.B. Verbrennung von Schmierstoffen im Triebwerk von Flugzeugen (Bsp. Studie aus Japan)?**
 - Über die chemische Zusammensetzung kann herausgefunden werden, welche Quellen UFP haben (z.B. natürliche Partikelneubildung oder diverse Emissionen). Ob die Hauptquelle von UFP das Sulfat aus der Oxidation des SO₂ oder z. Bsp. Schmierstoffe, wie in einer kürzlich veröffentlichten Studie aus Japan beschrieben sind, lässt sich aufgrund der geringen Datenlage nicht eindeutig beantworten. Hinzu kommt, dass der Messstandort, die Entfernung zu Quellen und der Zeitpunkt der Messungen eine wichtige Rolle bei der Datenerhebung spielen. Grundsätzlich ist die Entschwefelung von Kraftstoffen sinnvoll. Dass SO₂ in der Atmosphäre zu Schwefelsäure und dann zu partikulärem Sulfat umgewandelt wird, ist bekannt. Die Untersuchung anderer Quellen, z.B. Schmierstoffe und Ruß, sind weiter zu verfolgen. Bei UFP ist es aufgrund messtechnischer Probleme schwierig, ausreichende chemische Informationen zu sammeln. Die Messtechniken müssen dafür weiterentwickelt werden. (Herr Dr. van Pinxteren)

Minderungsmöglichkeiten (dieses Thema wird am zweiten Tag näher behandelt)

- **Warum konzentriert man sich bei den Minderungsmaßnahmen von UFP nur auf die Reduzierung von Schwefelgehalt im Kerosin? Warum bleibt die Reduzierung von Aromaten im Treibstoff unberücksichtigt?**
 - Da bereits ein breites Wissen sowie diverse Beispiele zur Reduzierung von Schwefelgehalt mit sehr strengen Grenzwerten in den anderen Verkehrssektoren vorhanden sind und nach Schätzungen in einem Gutachten für die EASA die Zusatzkosten mit ca. 1 bis 1,5 Cent pro kg vergleichsweise gering wären, liegt es nahe, sich zunächst darauf zu konzentrieren. Unabhängig davon sollten dennoch andere Minderungsmöglichkeiten untersucht werden. Wichtig ist es belastbares und valides Wissen zu generieren. (Herr Al-Wazir)
- **Ergänzung zum Thema Bodenverkehr am Flughafen: Flugzeuge verbrauchen beim Rein- und Rausrollen viel Kerosin.**
 - Alternative Versorgung (z.B. durch Strom) muss in den Betriebsablauf integriert werden, d.h. es muss geprüft werden, wie praktikabel es ist, wenn der Flugzeugschlepper das Flugzeug bis zur Startbahn zieht. Zudem muss die Frage, in welcher Betriebsphase am meisten UFP produziert wird, genauer untersucht werden. (Herr Al-Wazir)

Gesundheit (dieses Thema wird am zweiten Tag näher behandelt)

- **Sind UFP zellgängig und können sie DNA und RNA verändern (Pathogenese)?**
 - Ob Partikel zellgängig sind, hängt davon ab, ob sie in der Lungenflüssigkeit gelöst werden oder nicht. Wenn Partikel in der Lunge gelöst werden, sind sie nicht mehr

zellgängig, weil sie keine Partikel mehr sind. Zellgängig sind lediglich die Partikel, die nicht löslich sind, z.B. Ruß. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)

Frau Heng-Ruschek schließt die Fragerunde und verweist auf die Pinnwand, wo weitere Fragen gesammelt werden können.

Block 2: UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I

Messungen von UFP im ländlichen Hintergrund und in Innenräumen

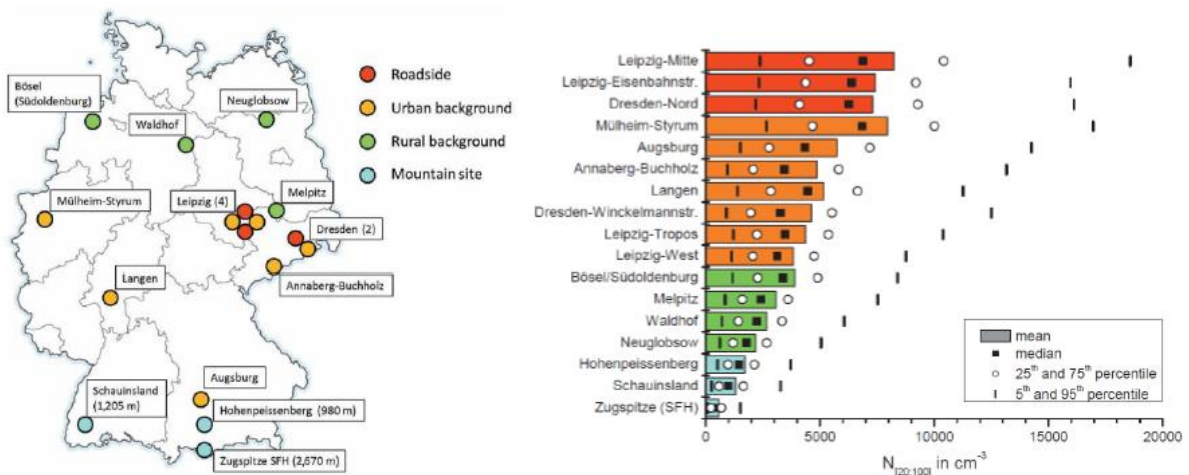
Dr. Bryan Hellack (Umweltbundesamt)

Dr. Bryan Hellack ist Geograph und promovierte am Leibniz-Institut für umweltmedizinische Forschung zu Feinstaub. Seit 2018 Fachgebietsleiter bei UBA, vorher arbeitete er am Institut für Energie und Umwelttechnik e.V. Das UBA unterhält ein Luftmessnetz mit 7 Stationen.

Zusammenfassung:

- Außenluft im Hintergrund
 - Photochemische Entstehung (Tages- und Jahresgang) von UFP → natürlicher Hintergrund
 - UFP entstehen durch Verbrennungsprozesse
 - 800 – 3000 P pro Kubikzentimeter ($1/\text{cm}^3$) im Größenbereich 20 - 100 Nanometer im Jahresmittel
 - PNC (Partikelanzahlkonzentration) geht leicht zurück (2009-2014)
- Innenraum:
 - Viele Quellen verursachen UFP im Innenraum, z.B. Kerzen, Kamin, Zigaretten oder Kochen
 - Die Konzentration ist hoch variabel, es können Peaks bis zu mehreren 100.000 Partikel pro cm^3 erreicht werden.
 - Die Partikel liegen im Größenbereich zwischen 20 und 100 Nanometer
 - Die Exposition im Innenraum ist nicht zu vernachlässigen. Etwa 30-60 % der täglichen UFP-Exposition entsteht im Innenraum.
- Der Chemismus ist für die Außen- und Innenraumluft von hoher Bedeutung und quellspezifisch.

UFP in Deutschland (2009 – 2014)



Birmili et al. (2015) Atmospheric aerosol measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN) - Part III: Black Carbon mass and particle number concentrations 2009-2014, *Gefährst. Reinh. Luft*, 75(11/12), 479-488, 2015.

Messungen von UFP in Städten

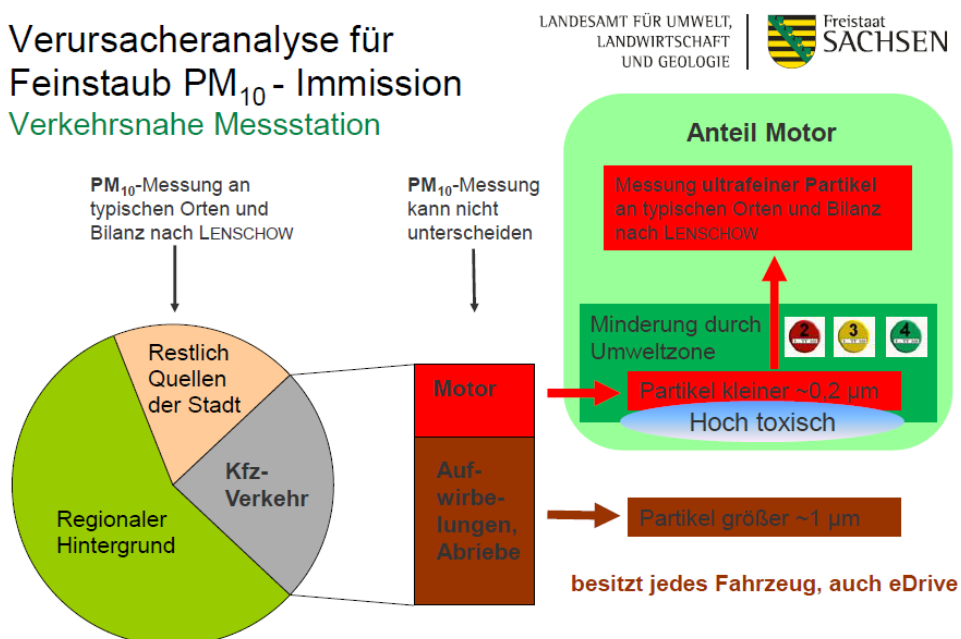
Dr. Gunter Löschau (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie)

Dr. Gunter Löschau ist Maschinenbauingenieur und arbeitet beim Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie in der Abt. 5: Klima, Luft, Lärm, Strahlen. Nach der Wende hat er das Luftgütemessnetz mit aufgebaut. Er hatte die Einführung der Umweltzone in Leipzig begleitet.

Zusammenfassung:

- Im Rahmen der Einrichtung der Umweltzone Leipzig gab es eine enge Zusammenarbeit von Behörde und Wissenschaft.
- Die UFP stammen aus Verbrennungsprodukten aus Kraftfahrzeugen, Holzheizungen ...
- Die Messung von UFP ist eine sinnvolle Ergänzung zu PM_{10} - und $PM_{2,5}$ -Messungen, da damit die Wirkung von Minderungsmaßnahmen sehr empfindlich nachweisbar ist.
- Das Maximum der Größenverteilung der UFP aus dem Straßenverkehr liegt auch bei ca. 20 nm. Die festen Dieselrußpartikel sind in der Mehrheit ca. 30 bis 200 nm groß.
- In Dresden hat sich die Partikelanzahl in straßennaher Außenluft in den letzten 15 Jahren um mehr als 70% reduziert.
- Umweltzone Leipzig: Beschleunigte Einführung der Dieselpartikelfilter führte zur Reduzierung des hochtoxischen Anteils im Feinstaub und damit zur Senkung des Gesundheitsrisikos der Bevölkerung.

Verursacheneranalyse für Feinstaub PM_{10} - Immissionion Verkehrsnaher Messstation



UFP-Emissionen von Flugzeugen

Theo Rindlisbacher (Bundesamt für Zivilluftfahrt, Schweiz)

Theo Rindlisbacher ist Physiker und auf Atmosphärenphysik und Flugzeugtriebwerke spezialisiert. Seit 2002 arbeitet er beim Bundesamt für Zivilluftfahrt in der Schweiz und beschäftigt sich mit Umweltzertifizierungen von Luftfahrzeugen, insbesondere mit Emissionen von Flugzeugtriebwerken und Umweltfragen in der Luftfahrt. Er baute den Prototypen des UFP-Messsystems für Flugzeugtriebwerke, welches 2016 zu einem internationalen Standard wurde. 10 Jahre übernahm er die Co-Leitung der Arbeitsgruppe in der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO), welche für die Entwicklung der neuen UFP Normen und der zukünftigen ersten globalen UFP Grenzwerte verantwortlich war.

Zusammenfassung:

- Verbrennungsmotoren emittieren feste und flüchtige UFP. Feste UFP sind aus Kohlenstoff, z.B. Ruß und mit 10-100 nm meist größer als flüchtige (5-20 nm).
- Bei hohem Schub (z.B. Start des Flugzeuges) werden am Triebwerksaustritt größere, im Leerlauf kleinere Partikel emittiert, d.h. die Partikeldurchmesser nehmen vom Leerlauf bis zum maximalen Schub zu.
- Massenkonzentration und Anzahlkonzentration der UFP von Flugzeugabgasen schwanken stark, je nach Triebwerkstyp:
 - Flugzeugabgase enthalten zwischen $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bis einige $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Partikel am Ort des Triebwerksaustritts. Die Partikelanzahl am Triebwerksaustritt schwankt von 10^5 bis $10^7/\text{cm}^3$.
- Für die Ermittlung der Emissionsfracht am Triebwerksaustritt, gerechnet auf Basis des Treibstoffverbrauchs, liegen die Partikelmassen bei < 0.001 bis $0.5 \text{ g}/\text{kg}$ Treibstoff und die Partikelanzahlen bei 10^{14} bis $10^{15}/\text{kg}$ Treibstoff.
- Flugzeuge, Ölheizungen und moderne Auto-Benzinmotoren ohne Partikelfilter emittieren an der Quelle Partikel in ähnlichen Größenbereichen und ähnlicher Anzahl.
- In größerer Distanz zu einem Flugzeugtriebwerk wird die Anzahl UFP primär durch die flüchtigen Partikel und nicht durch UFP wie z.B. Ruß dominiert.
- Früher haben die Triebwerkhersteller nichts über die UFP Emissionen ihrer Triebwerke gewusst, weil es weder ein Messverfahren noch eine diesbezügliche Anforderung gab. Ob ein Triebwerk, das bis vor wenigen Jahren neu in Einsatz kam hohe oder tiefe UFP Emissionen aufweist, war deshalb eher zufällig. Mit maßgeblichem Beitrag der Schweiz wurde als Vorsorge deshalb in einem ersten Schritt ein weltweit standardisiertes Messverfahren entwickelt (ICAO), mit dem Ziel, geringere Emissionen von festen UFP (Ruß) zu einem weiteren Kriterium für die Entwicklung und Verbesserung von Flugzeugtriebwerken zu machen.
- Seit den 1980er Jahren müssen große Flugzeugtriebwerke Schadstoffgrenzwerte erfüllen, welche im Laufe der Jahre schrittweise verschärft wurden. 2019 hat das Umweltgremium der ICAO erste globale Grenzwerte für Partikelmasse und -anzahl an Flugzeugtriebwerken verabschiedet. Der erste Feinstaubstandard gilt für alle ab 1.1.2020 in Produktion befindlichen Triebwerke. Für Neutriebwerke wird ab 1.1.2023 eine erste Stufe der Reduktion der Partikelemissionen verbindlich. Der Grenzwert liegt 30% unter den Werten der Triebwerke mit den aktuell höchsten Emissionen.

Modellierung der UFP-Belastung am Flughafen Frankfurt

Dipl.-Ing. Helmut Lorentz (Ing.-Büro Lohmeyer)

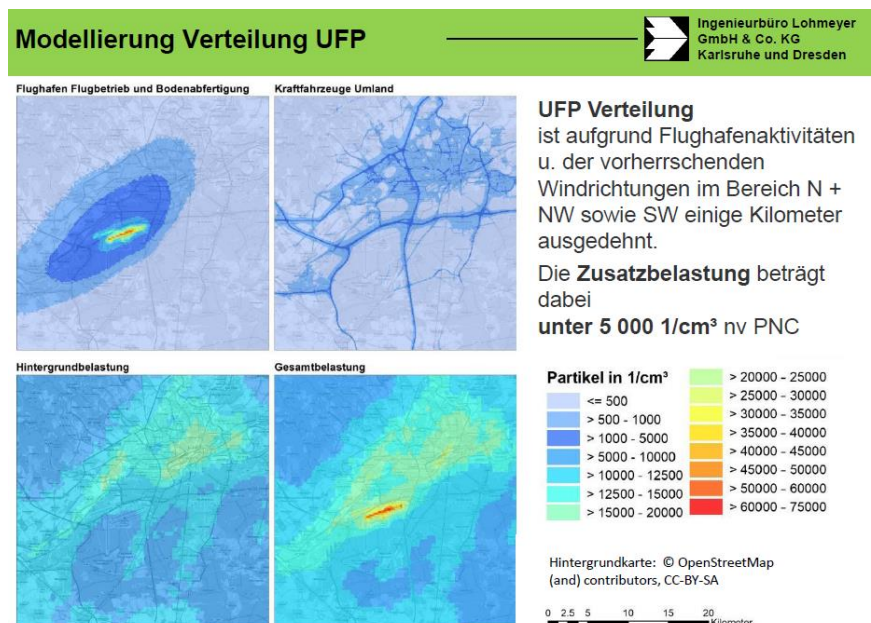
Helmut Lorentz hat Umweltwissenschaften studiert und ist Geschäftsführer im Ingenieur-Büro Lohmeyer - Luftreinhaltung, Klima, Aerodynamik, Umweltsoftware, Olfaktometrie.

Zusammenfassung:

- Bei den Emissionsfaktoren der einzelnen Quellgruppen (Verkehr, Flugzeugtriebwerke, Bodenstromaggregate, Flughafenverkehr) und auch bei verschiedenen Messgeräten (Scanning Mobility Particle Sizer: SMPS, Kondensationspartikelzähler: CPC) werden unterschiedliche Partikel-Größenklassen berücksichtigt bzw. gemessen. Dies erschwert die Modellierung der gemessenen Werte.
- UFP: Modellergebnisse können die zeitliche Dynamik der Messzeitreihen nicht wiedergeben. Die Modellzeitreihen weisen im Sommer niedrigere Werte auf als im Winter. In den Messzeitreihen verhält sich dies genau umgekehrt.
- PM₁₀ und NO_x: Modellergebnisse liegen sowohl bezogen auf Monats- und Jahres-Mittelwerte als auch im Tagesverlauf in der gleichen Größenordnung wie Messwerte.

Offene Fragen/ weiterer Forschungsbedarf:

- Die Ergebnisse des Modell-Messwert-Vergleiches deuten darauf hin, dass die Partikelbildungsprozesse eine wichtige Rolle spielen, die jedoch mit den derzeitigen Standardmodellen nicht entsprechend wiedergegeben werden.
- Für die Modellvalidierung werden mehr kontinuierliche UFP-Messstationen benötigt (ein erster Schritt erfolgte bereits mit der Einrichtung der Messstelle Frankfurt-Schwanheim).
- Bei der Bestimmung/Messung der Ultrafeinstaubpartikel-Emissionen der einzelnen Quellgruppen sollte zukünftig darauf geachtet werden, dass die gleichen Größenklassen abgedeckt werden und dass zwischen flüchtigen und nichtflüchtigen Partikeln unterschieden wird.
- Der Einfluss der flüchtigen Partikel sollte noch weiter untersucht werden.



Fragen der Teilnehmenden

Die Teilnehmenden haben die Gelegenheit den Expert_Innen des zweiten Vortragsblocks „**UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten I**“ Fragen zu stellen.

Grenzwerte

- **Ist die ICAO (International Civil Aviation Organisation) Aircraft Engine Emissions Datenbank bereits um PM₁₀ erweitert worden oder wird sie noch erweitert?**
 - Die ICAO Aircraft Engine Emissions Datenbank enthält Typenprüfungsdaten der Flugzeugtriebwerke. Sie ist eine Emissionsdatenbank, in welcher der Triebwerkhersteller freiwillig die von der Zulassungsbehörde validierten Messdaten publizieren kann. Die Datenbank kann man auf der Website der EASA (European Union Aviation Safety Agency) herunterladen und z.B. einsehen, wie hoch die Differenz zwischen den Emissionswerten der Triebwerke und den Grenzwerten ist. Die Arbeiten des Bundesamts für Zivilluftfahrt (Schweiz) haben dazu beigetragen, dass ab dem Jahr 2023 erstmalig globale Grenzwerte für Partikelmasse und Partikelanzahl aus Flugzeugtriebwerken gelten werden. Die alte Rußzahl („smoke number“) kann nach wie vor eingesehen werden. Hinsichtlich der neuen Grenzwerte gibt es aktuell noch keine Erweiterung in dieser Datenbank, da die Zertifizierungen ja erst anlaufen. Ab Ende des Jahres 2020 soll die Datenbank bei der EASA um ein Datenblatt erweitert werden, welche Daten der Partikelemission der in der Produktion befindlichen Triebwerke beinhaltet. (Herr Rindlisbacher)

- **Wie ist die Reduktion von 30%, welcher durch den ICAO Grenzwert für Partikelmasse und Partikelanzahl erstrebt wird, zu verstehen? Wo findet man diese Grenzwerte?**
 - Um einen Grenzwert einzuführen, werden verlässliche und robuste Messungen an Triebwerken benötigt, um diese miteinander vergleichen zu können und um anschließend Analysen zu Reduktionsmaßnahmen durchzuführen. Daher hat die ICAO 2016 das Messverfahren für die zukünftige Reduktion der Anzahl fester UFP (Rußpartikel) verabschiedet. Diese erste Anforderung zur Messung und die Erfüllung des ersten Grenzwertes kommt ab 01.01.2020 zur Anwendung. Der erste Grenzwert ist kein Reduktionsgrenzwert bzgl. Emissionen, sondern dient erstmal dazu, Hersteller zu zwingen, die Emissionen aller in ihrer Produktion befindlichen Triebwerke zu messen und zu deklarieren. Die Norm findet man im ICAO Anhang 16, Band II.
 - In den Jahren 2016-2019 wurden aufbauend auf den ersten standardisierten Messungen moderner Treibwerke die ersten gesundheits- und klimarelevanten Grenzwerte entwickelt. Im Jahr 2023 kommen nun, in einem nächsten Schritt diese ersten emissionsreduzierten globalen Grenzwerte für den Ausstoß von partikelmasse- und anzahl zur Anwendung, welche rund 30% unter den bisherigen Werten der Triebwerke mit den höchsten Emissionen liegen. Die entsprechenden Zertifizierungsdaten werden dann voraussichtlich ab dem Jahr 2024/25 publik.

Die Grenzwertkurven und deren Hintergrund sowie die Begründungen für deren Festlegungen werden vermutlich noch dieses Jahr in einem ICAO Bericht öffentlich gemacht (Doc 10126 CAEP/11 Report), da diese Informationen z.B. für die transparente Übernahme der Normen in der EU und in der Schweiz benötigt werden. (Herr Rindlisbacher)

- **War die Luftverkehrswirtschaft an dem Prozess der Grenzwertsetzung (für Partikelmasse und -anzahl aus Flugzeugtriebwerken) beteiligt?**
 - Die Entwicklung des Messverfahrens ab 2011 war möglich, weil in der Schweiz ein Wartungsbetrieb für Flugzeugtriebwerke einverstanden war, dass wir (Bundesamt für Zivilluftfahrt) dort unser Prototypsystem installieren, womit wir unabhängig von Triebwerkherstellern arbeiten konnten. Wir hatten also die Möglichkeit, die Triebwerke nach ihrer Wartung mit zu messen und unser Messsystem weiterzuentwickeln. Nachdem das Messsystem robust genug war, mussten die Hersteller ab dem Jahr 2015 diese Systeme und Geräte akquirieren, um selbst nach diesem Verfahren zu messen. Die Daten, welche die Grundlage des globalen Grenzwertes für Partikelmasse und Partikelanzahl aus Flugzeugtriebwerken bilden, wurden unter Aufsicht der Behörden bei den Herstellern erhoben. Die Luftverkehrswirtschaft ist von den globalen „Standards und Recommended Practices“ der ICAO abhängig, da die meisten Länder unter der Chicago Convention diese Normen national direkt übernehmen, daher beteiligen sie sich an dem Prozess. (Herr Rindlisbacher)

Triebwerksemissionen

- **Im Vortrag wurde gezeigt, dass Triebwerke unterschiedlich emittieren. Warum emittiert das Triebwerk 4 mit Abstand am wenigsten? Und basiert diese Triebwerktechnik auf militärischem Interesse, um Flugzeuge unsichtbarer zu machen?**
 - Ein Hersteller hat vor 30 Jahren den Grundstein für Technologie, welche sehr geringe Ruß- und Partikelemission verursacht, relativ zufällig gelegt. Hintergrund war Stickoxidreduktion. Heute, nach dieser langen Entwicklungszeit, ist diese Technologie ausgereift, so dass sie bereits in einigen Produkten im täglichen Linienverkehr gefunden werden kann. Andere Hersteller können das bisher nicht leisten, weil sie die benötigte Entwicklungszeit nachholen müssen, den technologisch ist das Triebwerk 4 sehr anspruchsvoll. Militärische Interessen haben bei der Rußreduktion bisher sicher eine gewisse Rolle gespielt, um die Erkennbarkeit und Verfolgbarkeit von Flugzeugen einzudämmen. Solche Entwicklungen können dann in den zivilen Luftfahrtbereich übernommen werden. (Herr Rindlisbacher)

- **Gibt es wechselseitige Wirkungen zwischen Kraftstoff, Schmiermittel und Triebwerke? Spielt der Treibstoff vielleicht keine Rolle, sondern nur die Triebwerke?**
 - Der Treibstoff spielt bei der Partikelemission eine sehr wichtige Rolle. Wir mussten bei unserer Entwicklung des Messverfahrens eine zusätzliche Normierung für den Aromatengehalt des Treibstoffs einführen, damit die Hersteller die Einhaltung von

Grenzwerten nicht durch kluge Wahl des Treibstoffes beeinflussen können. Die Bauart der Triebwerke hat einen großen Einfluss auf die Emission von festen Partikeln. Die flüchtigen Partikel (z.B. entstanden aus Schwefel) werden hingegen größtenteils über den Treibstoff produziert, d.h. hier kann man direkt mittels Anpassung der Treibstoffnormen Emissionen reduzieren. Die erwähnten Aromaten tragen erheblich zur Rußbildung bei. Daher ist auch eine Minderung von Aromaten im Treibstoff eine sinnvolle Maßnahme, um feste Partikel-Emissionen zu senken, insbesondere bei bestehenden Triebwerken. In dem Zusammenhang ist die Frage wichtig: Wenn Rußpartikel durch Minderungsmaßnahmen entfernt werden, wie kann man den Erfolg bei Kontrollmessungen in der Umgebungsluft erkennen, da PM_{2.5} und PM₁₀ dafür nicht sensitiv sind. (Herr Rindlisbacher)

Messung und Modellierung

- **Warum gibt es so viele Unsicherheiten in der Modellierung? Wie ist der Forschungsstand hinsichtlich der Wirkung von Wirbelschleppen?**
 - In der Modellierung gibt es viele Abweichungen und Unsicherheiten bezüglich Größenklassen, Abbildung gemessener Werte, sowie Variationen bzgl. zeitlicher Einheit. Wirbelschleppen werden parametrisiert im Modell dargestellt, aber nicht physikalisch abgebildet. (Herr Dipl.-Ing. Lorentz)

- **Wirbelschleppen sind im Modell parametrisiert dargestellt. Welchen Anteil machen die Emissionen an der Immission im Modell aus?**
 - Darüber lässt sich zum jetzigen Zeitpunkt keine eindeutige Aussage machen, da die Immissionsbeiträge von den Überflügen und vom Flughafen nicht voneinander differenziert ausgewertet wurden. (Herr Dipl.-Ing. Lorentz)

- **Auf welche zeitliche Einheit beziehen sich jeweils die Werte der unterschiedlichen Messungen zu UFP? Anmerkung: Nicht nur die Größe der Partikel, sondern auch die Qualität des Chemismus muss bzgl. gesundheitliche Auswirkung berücksichtigt werden.**
 - Die Messwerte zu UFP stellen analog zum Feinstaub Jahresmittelwerte dar, also z.B. 5.000 Partikel/cm³ Luft im Jahr. Wenn UFP von Triebwerken gemessen werden sollen, kann es aber sinnvoll sein, Minutenwerte zu erfassen. (Herr Dr. Hellack)

Block 3: UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten II

Messungen von UFP am Flughafen Frankfurt und anderen Flughäfen

Dr. Diana Rose (Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie)

Dr. Diana Rose ist Meteorologin und hat bereits ihre Diplomarbeit über Rußpartikel geschrieben. Bevor sie 2017 zum HLNUG wechselte, arbeitete sie in der Aerosol-Forschung: am Max-Planck-Institut Mainz und an der Goethe-Universität Frankfurt a.M.

London Heathrow (LHR): Zusammenfassung:

- mehrwöchige Messkampagnen auf LHR-Gelände und in direkter Umgebung:
 - SMPS (14-680 nm, 3 min Scan): hohe Konzentration für Partikel mit $D < 30$ nm; Gesamtkonzentration niedriger als an Verkehrsstandort in London
 - SMPS (6-100 nm, 1 min Scan): Unterschied Start –Landung; einzelne Flugzeuge erkennbar?
 - FMPS (5-1000 nm, 1 s Scan): Ergebnisse liegen noch nicht vor
- UFP wurde über einen Monat an mehreren Standorten in London gemessen. Messungen auf 160 m hohen Turm: Bei Wind aus Richtung LHR vergleichsweise hohe Konzentrationen von Partikeln mit $D < 40$ nm (Entfernung zu LHR ist ca. 22 km!)

Amsterdam Schiphol (AMS): Zusammenfassung:

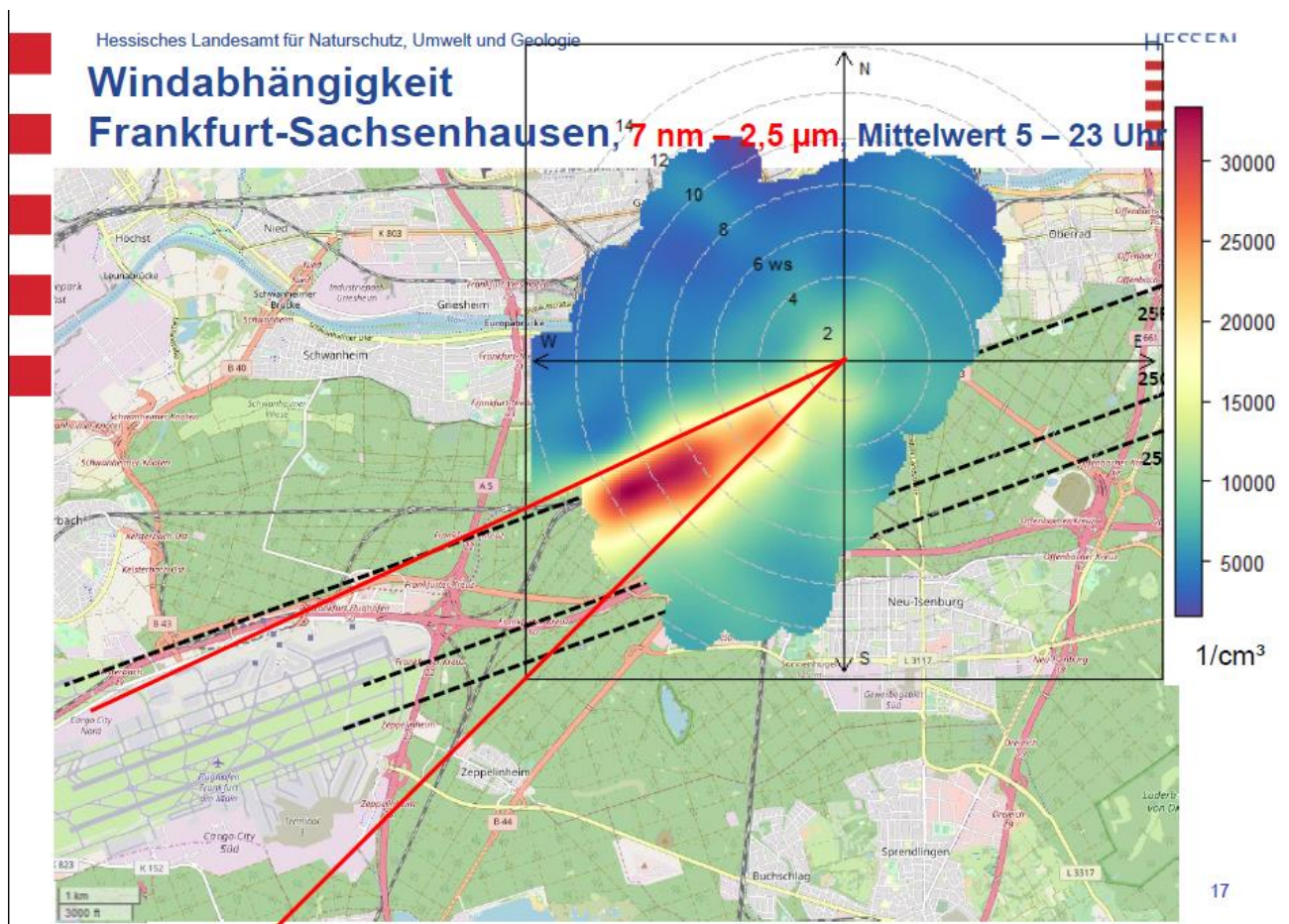
- Messkampagne über zwei Halbjahre auf AMS-Gelände und in direkter Umgebung (6 CPCs und 1 SMPS)
- Hintergrund und Flughafenbeitrag ändern sich mit Standort und Zeitraum wegen Meteorologie (Windrichtung!) und anderer lokaler Quellen
mittlerer jährlicher Beitrag durch Flugbetrieb in Wohngebieten nah zu AMS: bis 15.000 Partikel pro cm^3

Frankfurt am Main: Zusammenfassung:

- Flughafengelände als dominante Quelle für UFP bestätigt
- Beitrag der nahegelegenen Autobahn A3 zur UFP-Konzentration relativ gering
- Einzelne Überflüge nur in unmittelbarer Nähe zum Flughafen als Spitzen in UFP-Konzentration sichtbar; auch nur unter bestimmten Bedingungen (Standort, Meteorologie, Flugzeugtyp?)
- Allerdings scheint Gesamtheit der Anflüge bei niedrigen Flughöhen einen Beitrag zur bodennahen UFP-Konzentration zu leisten –Beitrag jedoch geringer als Flughafengelände
- UFP-Quelle „Flugbetrieb“ erstreckt sich über Flughafengelände + Anflugkorridore (bis ca. 400 m Flughöhe)
 - Partikel werden mit Wind ins Umland getragen
 - großer Beitrag auch in 7,5 km Entfernung (F-Sachsenhausen)

Frankfurt am Main: Ausblick

- Messungen an weiteren Standorten bereits in Betrieb: F-Oberrad, F-Niedwald, F-Flughafen-Ost
 - Wie sind Beiträge vom Flughafengelände und von An-/Abflügen in größerer Entfernung bzw. bei größeren Flughöhen?
 - Wie sieht es direkt auf dem Flughafengelände aus?
- Kontinuierliche Messungen unterhalb Anfluglinie (100 m Flughöhe) geplant: Raunheim-Mönchhof
 - Unter welchen Bedingungen führt ein Überflug nachweisbar zu einer Erhöhung der UFP-Konzentration am Erdboden?
- Chemische Zusammensetzung der Partikel als Forschungsprojekt geplant



Messungen von UFP am Flughafen Zürich

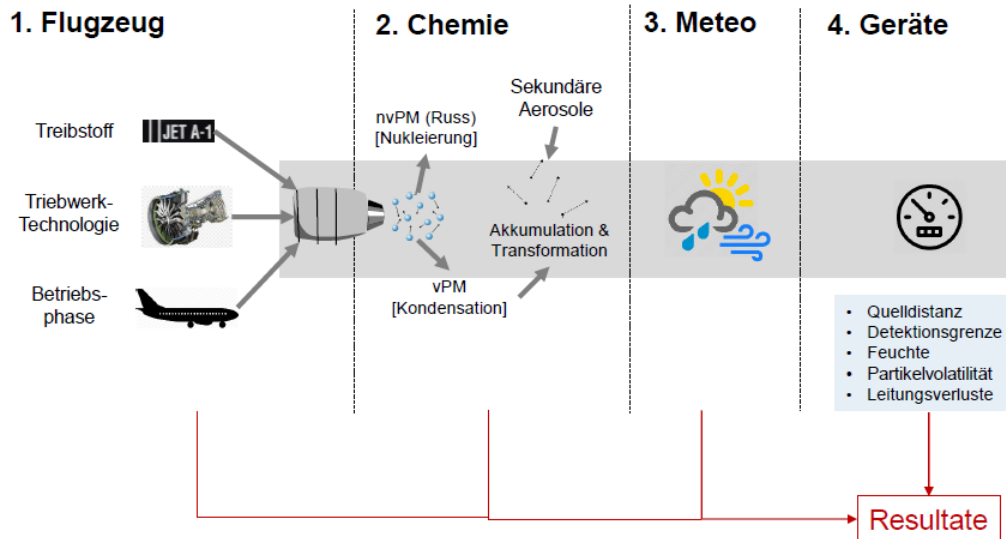
Emanuel Fleuti (Flughafen Zürich AG)

Emanuel Fleuti ist Geograf, Meteorologe und Klimatologe. Seit 1990 ist er am Flughafen Zürich Leiter der Abteilung Umweltschutz und damit zuständig für alle Umweltbelange außer Fluglärm. Seit 2011 beschäftigt sich der Flughafen Zürich mit Ultrafeinstaub. Der Flughafen ist ein korrespondierendes Mitglied der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen, außerdem Mitglied im europäischen und Weltverband.

Zusammenfassung:

- In einer fünfwöchigen Messkampagne wurde mit 10 Geräten (DISCmini) UFP auf dem Flughafengelände gemessen.
- Windeinfluss äußerst dominant.
- Allgemeiner Einfluss des Flugbetriebs ab 5-6 km Distanz nicht mehr sichtbar.
- Einzelereignisse von Überflügen nur bei Wind <1-2 m/s und Überflughöhe bis 260 m zuordenbar.
- Absinkende Luftmassen (<1 m/s) nur bis 260 m und bei Windstille erkennbar.
- Kenntnisse über UFP (Anzahl und Größe, Verhalten) nehmen laufend zu.
- UFP sind deutlich komplexer als «bekannte» Stoffe wie NO_x oder CO.
- Für dieses Verständnis sind vertiefte Kenntnisse erforderlich.
- Absolut entscheidend ist:
 - Was man misst (fest/flüchtig, Feuchte, Anzahl, Größe)
 - Wie man misst (Messbereich, Messtechnik, Messkorrektur, Frequenz)
 - Wann man misst (Tageszeit, Dauer, Wind)
 - Wo man misst (Quellnähe, Hintergrund, Fremdquellen)
- Die Messresultate lassen sich derzeit bezüglich Gesundheitsschutz oder Rechtskonformität nicht interpretieren.

Unsicherheitscluster prägen die Messresultate



Fragen und Diskussion

Mit Herrn Dr. Hellack, Herrn Dr. Löschau, Frau Dr. Rose, Herrn Fleuti und Herrn Prof. Dr. Wiedensohler

Die Teilnehmenden haben die Gelegenheit den Expert_Innen des zweiten Vortragsblocks „UFP-Belastung an unterschiedlichen Standorten II“ Fragen zu stellen.

Messtechniken

- **Welchen Einfluss haben unterschiedliche Messgeräte (miniDiSC, MPSS) auf die Messergebnisse und sind sie miteinander vergleichbar?**
 - Das Gerät DiSCmini zählt nicht die Partikel, sondern misst die Ladung der Partikel, welche von der Partikeloberfläche bestimmt wird. Der DiSCmini ist nicht kalibriert, Partikel von 10-30 Nanometer zu messen und führt deshalb zu ungenauen Messergebnissen. Das MPSS und ein CPC sollten parallel eingesetzt werden. Das MPSS ist durch einen Partikelzähler in seiner Aussagekraft nicht ersetzbar. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)

Welche Bestandteile werden gemessen?

- **Wäre es sinnvoll und realistisch, flüchtige und nicht flüchtige Partikel separat voneinander zu messen? Werden flüchtige Partikel auch gemessen?**
 - Es ist eine sogenannte Verdampfungsanalyse geplant, in der die flüchtigen Anteile verdampft werden, um anschließend nur die Größenverteilung der festen oder nicht flüchtigen Partikel zu messen. Wenn dies mit der normalen Größenverteilung, wo

alle Partikel enthalten sind, verglichen wird, können Aussagen darüber gemacht werden, wie hoch der Anteil von bspw. Ruß und flüchtigem Material ist. (Frau Dr. Rose)

- **Warum sind die nicht-flüchtigen Partikel wissenschaftlich wichtiger?**
 - Feste Partikel zu messen ist notwendig, um das Zusammenspiel zwischen Messungen, Emission und Modellierung zu verstehen. Es ist der gemeinsame Nenner. Das heißt jedoch nicht, dass flüchtige Partikel unwichtig sind zu untersuchen. (Herr Fleuti)
- **Wären ergänzende Rußmessungen sinnvoll, um Rückschlüsse auf die Zusammensetzung des Partikelgemisches zu beziehen?**
 - Rußmessung (Massenkonzentration) werden bei Containermessstationen bereits parallel durchgeführt. (Frau Dr. Rose)

Bedingungen der Messungen

- **Messstationen sind mit einem Windsensor ausgestattet, welcher die Windverhältnisse misst. Warum fehlt an der Messstation in Sachsenhausen seit einem 1/4 Jahr der Windsensor? Ist es nicht wichtig, die Windverhältnisse zu messen?**
 - Das standardmäßig am CPC (Kondensationspartikelzähler) integrierte Windmessgerät an der Messstation in Sachsenhausen ist kaputt gegangen und wurde zur Reparatur eingeschickt. Jedoch sind die Windmessungen an diesem Messgerät nicht aussagekräftig, weil das Gerät auf einer Höhe von ca. 2 Meter angebracht ist und sich in 5 Meter Entfernung ein Gebäude befindet. Damit ist eine freie Anströmung des Windsensors an dieser Messtelle nicht gegeben. Eine aussagekräftige Windmessung ist auch aufgrund von Reibung am Boden erst ab 10 Meter Höhe sinnvoll. Die Windmessgeräte an den anderen Messstationen (Container) sind alle auf 10 Meter Höhe angebracht. (Frau Dr. Rose)
- **Kann das Windmessgerät auf dem Dach der Sachsenhäuser Schule befestigt werden?**
 - Nein, das Gerät ist am CPC befestigt und kann nicht separat betrieben werden. Die Stabstelle für Fluglärmschutz Frankfurt hat ein Messgerät genau an dieser Stelle der Schule vorgesehen. Ein anderes Messgerät sollte laut Stabsstelle auf dem Kirchturm der Bergkirche etabliert werden, und zwar im Kirchturm, der nur von zwei Seiten durchströmbar ist. Dort sind jedoch keine Messungen möglich, da für Untersuchungen von Luftschadstoffen ein Standort nötig ist, der von allen Seiten anströmbar ist. (Frau Dr. Rose)
- **Wie kommt das HLNUG auf eine Flughöhe von 400m bis zu der UFP aus Anflügen am Boden sichtbar sind?**
 - Die 400m Flughöhe ist eine Abschätzung, die sich aus den Messungen in Sachsenhausen ergeben: Bei nahen Vorbeiflügen mit 650 Meter Flughöhe werden keine erhöhten Konzentrationen gemessen. Bei weiter entfernten Vorbeiflügen mit 400 Meter Flughöhe können erhöhte Werte gemessen werden (Frau Dr. Rose).

- Auch in Zürich wurde festgestellt, dass erhöhte UFP-Konzentrationen bei Überflügen mit 300-350 Meter Flughöhe messbar sind. Über 300 Meter Flughöhe sind die Emissionen nicht mehr am Boden wirksam. (Herr Fleuti)
- **Sind bei einem Überflug direkt darunter (Anfluglinie) erhöhte Werte zu messen?**
 - Direkt unter der Anfluglinie wurden keine erhöhten Werte gemessen, weil die Emissionen meistens mit dem Wind schon mit kleinster Windgeschwindigkeit verweht werden. (Frau Dr. Rose)
 - Nur bei Windstille sind erhöhte Werte direkt unter der Fluglinie zu messen. Zum Beispiel am frühen Morgen, wenn die Atmosphäre einigermaßen stabil ist. (Herr Fleuti)
- **Bei den Höhenangaben wird nicht berücksichtigt, dass die Messstation in Sachsenhausen ca. 150 Meter hoch ist. Beziehen sich die Höhenangaben auf Normalnull?**
 - Die Angabe der Überflughöhe bezieht sich auf die Höhe des Aufsetzpunkts und die liegt beim Frankfurter Flughafen bei etwa 100 Meter über Normalnull. Die Angabe der 400 Meter Flughöhe bis zu der ein Einfluss am Boden sichtbar ist, ist eine Circa-Angabe und nicht auf den Meter genau festgelegt. Es gibt unterschiedliche Sinkwinkel von 3° oder 3,2°, die auch Differenzen in der Höhe ausmachen. (Frau Dr. Rose)

Bewertung der Messergebnisse

- **Beispiel Messstation Frankfurt-Sachsenhausen am 01.01.2019 um 5 Uhr morgens: Es vergehen 15 Minuten nach einem Überflug bis ein Partikeleintrag gemessen werden konnte. An dem Morgen hatte der regionale Wind etwa 8 km/h. Das heißt der Wind legt in 15 Minuten ca. 2 km zurück, womit die Messung des Partikeleintrags nur von einer Emissionsquelle in einem 2,5 km großen Umfeld verursacht worden sein kann. Das lässt vermuten, dass die Partikel eher durch Wirbelschleppen herunterwehen als vom Flughafen herüberwehen, da dieser viel weiter entfernt ist als 2,5 km.**
 - Die Konzentration vor 5 Uhr morgens war auf einem relativ gleichmäßigen Niveau. Die Konzentration stieg 15 Minuten nach 5 Uhr, nachdem es die ersten Überflüge im Landeanflug auf das Parallelbahnsystem gab, welches nur 2,5 km von der Messstation in Sachsenhausen entfernt ist. Bei einem Überflug geben die Wirbelschleppen einen Impuls, so dass die Emissionen zum Boden absinken. Dieses Absinken von etwa 400 Metern findet innerhalb weniger Minuten statt. Anschließend werden diese Emissionen bodennah mit dem Wind transportiert. Die 2,5 km ergeben bei der Windgeschwindigkeit von 8km/h genau die Strecke zwischen dem Parallelbahnsystem und der Messstation. Die Schlussfolgerung in der in der Präsentation gezeigten Abbildung war nicht, dass die gemessene Konzentration am Morgen ein Beitrag des Flughafen-geländes sei. (Frau Dr. Rose)
- **Die Rohdaten der Messtation werden vom HLNUG mit Hinweisen zur Nachbearbeitung zur Verfügung gestellt. Bei der Nachbearbeitung werden zwei Messzyklen verglichen, um große Artefakte (Abweichungen) hinsichtlich Anzahl und Größenverteilung der Partikel zu identifizieren und dann zu eliminieren. Kann dies nicht auch dazu führen, dass Wirbelschleppen als Artefakt bewertet und ausgeschlossen werden?**

- Es werden Scans aus den Auswertungen herausgenommen, wenn Mehrfachladungen bei Größenverteilung im Nachhinein falsch korrigiert bzw. rausgerechnet wurden. Zur Erklärung: Bei einer SMPS-Messung wird nicht der Durchmesser der Partikel, sondern eigentlich die elektrische Mobilität betrachtet. Die elektrische Mobilität hängt nicht nur von der Partikelgröße ab, sondern auch davon, wie die Partikel geladen sind. Partikel können auch mehrfach geladen sein – diese Mehrfachladungen müssen korrigiert werden. Die Ladungskorrektur funktioniert nur unter der Annahme, dass sich die Partikel während eines Scans nicht stark verändern. Innerhalb des Zeitraums des Scans sollte das Aerosol gleichmäßig bleiben. Nur dann kann man die Korrektur anwenden und nur dann ist die Korrektur auch richtig. Ansonsten entstehen durch die Korrektur Fehler und dann kann diese fehlerhaft korrigierte Größenverteilung nicht mehr benutzt werden. Deshalb werden falsch korrigierte Daten herausgenommen. Die Befürchtung, dass Kurzzeitereignisse z.B. Effekte von Wirbelschleppen, welche in einem Scan abgebildet sind aber aufgrund einer falschen Korrektur aus dem Datensatz rausgenommen wurden, vernachlässigt werden, kann prinzipiell berechtigt sein. Allerdings wird im Mittel nur ein Scan pro Tag entfernt. (Frau Dr. Rose)

- **Sind die Messdaten vom HLNUG mit denen vom sächsischen Landesamt vergleichbar?**
 - Die Daten sind erst dann vergleichbar, wenn angegeben ist, ab welcher Partikelgröße gemessen wurde. Hier unterscheiden sich die verschiedenen Messsysteme. Es ist wichtig, dass bei Messungen immer der Größenbereich mit angegeben wird. (Herr Dr. Löschau, Fr. Dr. Rose)

Unterschiede der UFP-Belastungen an verschiedenen Standorten

- **Warum ist die Ausbreitung von UFP von stark befahrenen Straßen nach 100 Metern Entfernung nicht mehr sichtbar, aber die Ausbreitung von UFP von Flughäfen aus noch nach mehreren Kilometern nachweisbar? Wo liegen die Unterschiede im Transport bzw. der Ausbreitung?**
 - Bei Messungen an Straßen gibt es Messgeräte, die sehr nahe an der Quelle (Fahrzeuge) liegen sowie sogenannte Messstationen im städtischen Hintergrund, die weiter von der Quelle entfernt sind. Solche Hintergrundstationen befinden sich z.B. in Hinterhöfen. Die enge städtische Bebauung kann dazu führen, dass erhöhte Werte nach kurzen Entfernungen nicht mehr messbar sind. (Herr Dr. Löschau)
 - Die unterschiedliche Ausbreitung liegt an der unterschiedlich starken Verdünnung. Eine Straße ist eine sogenannte Linienquelle, die etwa 10-30 Meter breit ist. UFP, die an Straßen entstehen, vermischen sich schnell und nahe (50-100 Meter) mit dem Hintergrund. Ein Flughafen dagegen ist eine Flächenquelle bzw. eine dreidimensionale Quelle, was zu einer großflächigeren Ausbreitung führt. (Herr Prof. Dr. Wiedensohler)

- **Das Umweltbundsamt beschäftigt sich mit unterschiedlichen Standorten: Wie sehen die Unterschiede bzgl. UFP Ausstoß im ländlichen Hintergrund oder in den Bergen im Vergleich zu Flughäfen aus?**
 - Die Hauptquelle von UFP sind photochemische Neubildungsprozesse. Sie machen 60-70 % bei Messungen an Hintergrundstationen aus. An Flughäfen dagegen sind die Emissionen von Flugzeugen der entscheidende Faktor. Aber auch an Flughäfen gibt es natürliche photochemische Neubildungsprozesse. (Herr Dr. Hellack)

Zusammenfassung und Ausblick 2. Tag

Frau Heng-Ruschek im Gespräch mit Herrn Prof. Dr. Stefan Jacobi (Hess. Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie) und Frau Marion Wichmann-Fiebig (Umweltbundesamt)

Herr Prof. Dr. Jacobi ist Meteorologe und beschäftigt sich mit Luftchemie und Messungen von Luftschadstoffen. Er promovierte 1990 und ist seit 1994 beim HLNUG. Er ist Leiter des Dezernats Luftreinhaltung und hat von 2002 - 2006 bei der Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission an der Überarbeitung der Luftqualitätsrichtlinien der EU mitgearbeitet.

Frau Wichmann-Fiebig ist Meteorologin und arbeitet beim Umweltbundesamt, wo sie seit 2003 Abteilungsleiterin der Abteilung „Luft“ ist. Davor war sie ebenfalls bei der europäischen Kommission tätig und hat bei den Luftqualitätsrichtlinien der EU mitverhandelt. Sie beschäftigt sich u. a. mit den Themen Messung der Luftqualität sowie mit der Beurteilung, Maßnahmen und Planung von Messverfahren.

Frau Heng-Ruschek erkundigt sich bei beiden, welche Erkenntnisse sie am 1. Tag der Expertenanhörung gewonnen haben und wo sie weiteren Forschungsbedarf sehen.

Herr Prof. Dr. Jacobi ist darüber erfreut, dass es unterschiedliche Beiträge gab, die sowohl bisherige Forschungsergebnisse bestätigten, als auch wichtige neue Informationen enthielten. UFP sind besonders: Sie sind überall und nicht zu vermeiden. Ihre Nachweisbarkeit mittels Messungen ist komplex und ist nicht mit Messungen von üblichen Luftschadstoffen wie SO₂ oder Stickoxiden zu vergleichen. Es gibt unterschiedliche Bildungsprozesse von UFP. Folgende Erkenntnisse sind hervorzuheben:

- In **Innenräumen** existieren etliche Quelle von UFP, welche hohe Konzentrationen verursachen. Da sich Menschen oft (80-90%) in Innenräumen aufhalten, ist die UFP Belastung von Innenräumen ein sehr relevantes Thema, welches es näher zu beforschen gilt.
- Es existiert ein **Bedarf an Standardisierung der Messungen** von UFP. In der Meteorologie und im Betrieb von Luftmessnetzwerken werden standardisierte Messverfahren angewendet, die teilweise vom Gesetzgeber vorgeschrieben sind. Es wird versucht über europäische Normen ein Messverfahren festzulegen. Das Messverfahren mit SMPS und CPC ist zwar seit 30-40 Jahren etabliert, es gibt aber noch keine formale europäische Norm zu einem Messverfahren von UFP, lediglich eine technische Spezifikation. Eine formale Norm zu einem Messverfahren für UFP ist ein zentrales Ziel.
- Die **chemische Charakterisierung** von UFP ist ein herausforderndes Thema. Vor allem die Probenahme ist ein aufwendiges Vorhaben, da es viel Zeit in Anspruch nimmt bis eine ausreichende Masse an UFP gesammelt ist. Hier gilt es Verbesserungen bzgl. Probenahmen anzustreben.
- Es existiert eine große **zeitliche und räumliche Variabilität** hinsichtlich der Konzentration von UFP. UFP verhalten sich ganz anders als besser bekannte Luftschadstoffe. Dies muss auch im Hinblick auf unterschiedliche Messverfahren und Größenbereiche berücksichtigt werden. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Rahmenbedingungen von Messungen sauber kommuniziert werden, um die Vergleichbarkeit beurteilen und gewährleisten zu können: Was

wird wo und wie lange gemessen? Wie werden die Ergebnisse gemittelt und welcher Größenbereich wird abgedeckt?

- Die **Messungen an unterschiedlichen Flughäfen** haben sich positiv entwickelt. Für eine aussagekräftige Statistik hat sich gezeigt, dass langfristige und gleichzeitige Messungen an mehreren Standorten sinnvoll sind.
- **Flughäfen sind eine besondere Quelle für UFP.** Jedoch sind andere Quellen und deren Beitrag zu UFP, insbesondere der Straßenverkehr, nicht unerheblich. Daher ist es wichtig, auch andere Quellen weiter zu erforschen, um den Unterschied zwischen dem jeweiligen Beitrag durch Flughäfen, Straßenverkehr oder regionalen Hintergrund mittels vergleichbarer Daten besser beurteilen und charakterisieren zu können.
- **Ausblick 2. Tag:** Es gibt noch viele offene Fragen vor allem hinsichtlich der gesundheitlichen Wirkung von UFP und Minderungsmaßnahmen: Wie kann man gemessene Konzentrationen bzgl. ihrer gesundheitlichen Wirkungen einstufen und wie verhalten sich lösliche vs. feste Partikel im menschlichen Körper? Sind diverse Erkenntnisse bzgl. Minderungsmaßnahmen von ICAO, vom Flughafen Zürich etc. auf den Frankfurter Flughafen übertragbar?

Frau Wichmann-Fiebig betont, dass bezüglich der Definition, des Messverfahrens und der chemischen Charakterisierung von UFP bereits ein breites Grundwissen vorliegt. Es gibt aber noch einen großen Forschungsbedarf hinsichtlich der Modellierung und den gesundheitlichen Auswirkungen von UFP. Zudem blieben flüchtige Partikel in der bisherigen Forschung weitestgehend unbeachtet. Folgende Erkenntnisse und Fragestellungen werden ergänzt:

- **Was müssen wir messen**, um die gesundheitliche Wirkung besser beurteilen zu können? Es ist wichtig sich klar zu machen, warum etwas gemessen wird. Zum Beispiel hat sich Herr Fleuti (Flughafen Zürich AG) bei den Messungen von UFP auf die nicht flüchtigen Partikel konzentriert, um den Zusammenhang zwischen Emission und Konzentrationsverteilung gut modellieren zu können.
- Um Forschungslücken schließen zu können, ist die **Systematisierung von Frage- und Zielstellungen** wesentlich. Es gibt unterschiedliche Motivationen, warum Messungen durchgeführt werden und es wurden bereits zahlreiche Informationen gesammelt. Daher ist es nötig, sich gemeinsam auf konkrete Fragen zu fokussieren, um offene Fragen zur Modellierung und zu gesundheitlichen Auswirkungen zu beantworten und um schließlich Minderungsmaßnahmen mit oder ohne Grenzwert vorantreiben zu können.

Frau Heng-Ruschek bedankt sich bei beiden für deren Einordnung und Zusammenfassung vom 1. Tag sowie bei den anderen Teilnehmenden für die Mitwirkung und Disziplin.

2. Tag – 23. August 2019

Begrüßung und Einführung

Herr Jühe (Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmkommissionen) begrüßt die Teilnehmenden zum 2. Tag der Expertenanhörung zum Thema Ultrafeinstaub. Der 1. Tag war den Grundlagen gewidmet: Was sind UFP, woher kommen sie, wie entstehen sie und welche Haupt- und Nebenquellen gibt es? Wie verhalten sich UFP und wie lassen sie sich messen? Welche operativen Prozesse bei der Abwicklung des Luftverkehrs führen zu welchen Belastungen und welche Erkenntnisse zur Belastung durch UFP gibt es im Umfeld von Flughäfen?

Heute wird die zentrale Frage betrachtet, welchen Einfluss UFP auf den Menschen und seine Gesundheit haben. Dieses Thema wird für die weitere Bearbeitung des Themas besonders relevant sein.

Es gibt einen Konsens innerhalb des FFR (Forum Flughafen und Region) und im Vorstand der Fluglärmkommission, dass eine ähnlich breit aufgestellte Studie wie die NORAH-Lärmwirkungsstudie anvisiert wird, wenn sich durch das Zusammentragen der wissenschaftlichen Erkenntnisse ein relevantes Forschungsinteresse abzeichnet. Dafür ist die Klärung folgender Fragen nötig: Was ist der genaue Forschungsgegenstand, welche Institutionen arbeiten bereits an diesem Gegenstand, wo gibt es noch Forschungslücken oder existiert bereits ein Gerüst, in welchem einzelne Forschungserkenntnisse zusammengefügt werden könnten?

Herr Jühe bedankt sich bei dem Organisationsteam des Umwelt- und Nachbarschaftshauses für deren Planung und Durchführung dieser Veranstaltung und bei Herrn Charalambis (Geschäftsführer des UNH).

Ablauf

Frau Heng-Ruschek (shr moderation) stellt den Ablauf des 2. Tages der Veranstaltung vor: Nachdem alle Anwesenden am 1. Tag auf einen Wissensstand gebracht wurden, wird heute das Thema Gesundheit im Fokus stehen: Welche gesundheitlichen Auswirkungen haben UFP für den Menschen? Man weiß inzwischen, dass UFP negative Auswirkungen haben, jedoch gibt es keinen Grenzwert. Dennoch werden heute auch bereits unterschiedliche Ansätze zur Minderung thematisiert. Zudem wird der Prozess einer Grenzwertsetzung vorgestellt.

Von der Risikoforschung zur Grenzwertsetzung

Marion Wichmann-Fiebig (Umweltbundesamt)

Marion Wichmann-Fiebig ist Meteorologin und seit 2003 Abteilungsleiterin Luft beim UBA. Davor arbeitete sie bei der europäischen Kommission und hat die Luftqualitätsrichtlinie mit verhandelt. Ihre Themen sind: Messen der Luftqualität, Beurteilung, Maßnahmenplanung und Messverfahren.

Zusammenfassung:

- Was muss im Vorfeld einer Regelung noch geklärt werden?
 - Entscheidung über die richtige Metrik aus Sicht der Messung und der Risikobetrachtung: Gesamtanzahl, Jahresmittel, Außenluft oder Anzahl/Größenverteilung, Kurzzeitwert, Exposition?
 - Minderungspotential / Maßnahmenplanung: Quantifizierung relevanter Quellen erfordert Qualitätssicherung der Modellierung bzw. hinreichend dichtes Messnetz + Inhaltsstoffanalyse
 - Kosten-/Nutzenbetrachtung: Maßnahmenkosten und Quantifizierung des Risikos
 - Enforcement / Monitoring: Qualitätssicherung der Messdaten (Emission und Immission)

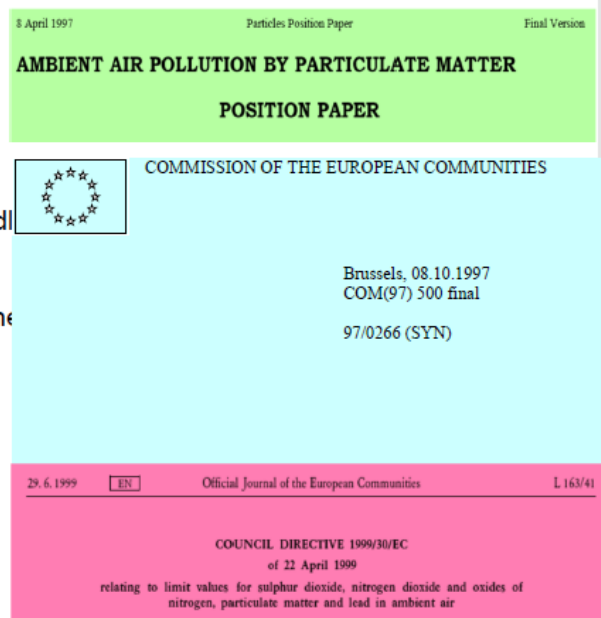
1 Beispiel: Festlegung des PM10-Grenzwerts der EU RL 2008/50/EG

- Expertengruppe erstellt ein Positionspapier:

- Definition des Schadstoffs
- anthropogene und natürliche Quellen
- Bildungs- und Abbauprozessen
- gegenwärtigen Konzentrationen und Emissionen incl. Trend
- Risikoabschätzung auf der Grundlage WHO-Empfehlung
- Empfehlung für Grenzwerte
- Messmethoden und Qualitätssicherung
- Minderungskosten und Nutzen

- EU KOM unterbreitet RL Vorschlag

- Mitgliedstaaten (und EU Parlament) stimmen verbindlichen RL-Text ab



Block 4: Gesundheit

Grundlagen von umweltepidemiologischen Studien zur Beurteilung gesundheitlicher Wirkungen von Luftschadstoffen auf die Bevölkerung

Dr. Josef Cyrus (Helmholtz Zentrum München, Institut für Epidemiologie)

Dr. Josef Cyrus ist Chemiker und promovierte im Fachgebiet ökologische Chemie. Er arbeitete in unterschiedlichen Institutionen zum Thema Umweltepidemiologie. Schwerpunkt seiner Arbeit: Entwicklung von Methoden zur Expositionsabschätzung für epidemiologische Studien über die Auswirkungen von Luftschadstoffen auf menschliche Gesundheit. Seit 2004 leitet Dr. Cyrus das Forschungsprojekt „Aerosol-Messstation Augsburg“ am WZU der Universität Augsburg und seit 2010 die Arbeitsgruppe „Environmental Exposure Assessment“ am Institut für Epidemiologie des Helmholtz Zentrums München.

Zusammenfassung:

- Die Umweltmedizin gewinnt ihre Erkenntnisse vor allem aus der Toxikologie (Wirkungsstudien) und der Umweltepidemiologie (Beobachtungsstudien)
- Toxikologische Untersuchungen erlauben die Angabe von Dosis-Wirkungs-Beziehungen, es bestehen aber Unsicherheiten beim Übertragen der Erkenntnisse aus Zellkulturen und Tierexperimenten auf den Menschen
- Der Nachweis der Kausalität in der Epidemiologie ist schwieriger als bei kontrollierten Expositionsstudien, jedoch möglich (Kausalitätskriterien)
- Erst aus der Gesamtschau (Meta-Analysen) vieler Studien lässt sich eine Beurteilung abgeben („eine Studie ist keine Studie“)
- Der Grad der Evidenz eines Zusammenhangs (Beispiel: Feinstaub und Mortalität) wird mit Hilfe von Kausalitätsindizes quantifiziert (US EPA, 2016)
- Zur abschließenden Beurteilung der Kausalität werden immer toxikologische Studien, Kammerexperimente und epidemiologische Studien im Zusammenhang betrachtet.

Wie werden wissenschaftliche Erkenntnisse zu den Wirkungen von Luftschadstoffen gewonnen?

Akute (kurzzeitige) Wirkungen

Toxikologie:

- Experimente mit definierten Schadstoffkonzentrationen an Zellen, Zellkulturen und Tieren
- kontrollierte Experimenten mit Menschen (Kammerexperimente)

Epidemiologie:

- Kurzzeitstudien mit Messung oder Schätzung der realen Schadstoffbelastung (Beobachtungsstudien).

Chronische (langfristige) Wirkungen

Toxikologie:

- Nicht möglich

Epidemiologie:

- Langzeitstudien mit Messung oder Schätzung der realen Schadstoffbelastung (Beobachtungsstudien).

Gesundheitliche Wirkung von inhaliertem Feinstaub –Focus ultrafeine Partikel (UFP)

Prof. Dr. phil. nat. Marianne Geiser Kamber (Institut für Anatomie, Med. Fakultät, Universität Bern, CH)

Prof. Marianne Geiser promovierte 1990 in Zoologie und Biochemie an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern, Schweiz, 1999 dann Habilitation zum Thema Histologie an der medizinischen Fakultät der Universität Bern. Seit 2007 ist sie an dieser Fakultät Professorin. Sie arbeitet seit 30 Jahren zum Thema Partikel-Lungen-Interaktion und hat ein mobiles In-vitro-Modell entwickelt: Ablagerungen der Partikel in der Lunge können simuliert werden.

Zusammenfassung:

- Partikel in der Außenluft –20 Jahre (epidemiologische) Evidenz PM_{2.5} ($d_{ae} 2.5 \mu\text{m}$)
 - Positive Korrelation mit täglicher Mortalität, bis zu geringen PM Konzentrationen
 - Hauptbestandteile sind Verbrennungspartikel (Motorfahrzeuge, Verbrennung von Kohle, Treibstoff & Holz)
 - Besonders schädlich bei bestehender Lungenerkrankung
- Resultate aus erster experimenteller Studie mit CFM56-7B Turbofan unter kontrollierten Steigflug- und Leerlaufbedingungen
 - Extrem kleine Partikel, CMD 50 nm (Steigflug), bzw. 18 nm (Leerlauf)
 - Toxizität abhängig von Betriebszustand und Treibstoffart
 - Bedingte Korrelation zw. Partikeldosis (Masse, Anzahl) und Zellschädigung
 - Einfluss von Partikelgröße und Nanostruktur auf Zellschädigung
 - Ähnliche Toxizität wie Benzin und Diesel PM bei gleicher Dosis
- Offene Fragen:
 - Welche Partikeleigenschaften verursachen die beobachteten Effekte?
 - Gibt es einen Schwellenwert?
 - Wirkung primärer vs. sekundärer Aerosole?
 - Gelten die Ergebnisse auch für andere Flugzeugturbinen-Typen?
 - Welche Wirkung haben repetitive Expositionen?
 - Wie reagieren die empfindlichen Menschen?

Gesundheitseffekte von Ultrafeinstaub-Epidemiologische Studien-

Prof. Dr. Barbara Hoffmann (Universität Düsseldorf)

Prof. Dr. Barbara Hoffmann ist Ärztin und Gesundheitswissenschaftlerin. Sie promovierte 1996 in Lungenphysiologie. Sie arbeitete in der Lungen- und Inneren Medizin, bevor sie einen MPH (Master of public health) an der School of Public Health in Bielefeld erhielt. Von 2001 bis 2011 arbeitete sie an der Medizinischen Fakultät der Universität Duisburg-Essen, wo sie die Abteilung für Umweltepidemiologie und Klinische Epidemiologie gründete und entwickelte. Seit 2011 ist sie Professorin für Umweltepidemiologie an der Universität Düsseldorf. Sie erforscht die Einflüsse von Luftverschmutzung und Lärm auf die menschliche Gesundheit.

Zusammenfassung:

- Was wissen wir über Gesundheitseffekte von UFP? Noch nicht genug! Studienlage bisher noch sehr heterogen
- Bisher sind die beobachteten Effekte in der Bevölkerung teilweise inkonsistent
 - Stärkste Evidenz für akute Effekte auf die Lungengesundheit (Lungenfunktion, Entzündung in der Lunge) und Herz-Kreislauf-Wirkungen (Blutdruck, Herzratenvariabilität)
 - Aussagen zu Langzeitwirkungen zurzeit noch nicht möglich
 - Rolle einzelner chem. Komponenten von UFP bisher nicht untersucht
- Erfassung der Exposition ist weiterhin die größte Herausforderung für Gesundheitsstudien – Verbesserungen notwendig: räumlich aufgelöst, Partikelgrößenverteilung
- Abgrenzung der isolierten Wirkung schwierig - Co-Schadstoffe messen
- Bei neuen Messungen direkt die Erfordernisse von epidemiologischen Studien „mitdenken“
- Zurzeit keine ausreichende Evidenz zur Ableitung von Immissions-Grenzwerten

Take home message – Der Teufelskreis



Wirkungsstudie in der Region des Flughafens Amsterdam

Nicole Janssen (National Institute for Public Health and the Environment, Niederlande)

Nicole Janssen studierte Umweltgesundheitswissenschaften an der Universität Wageningen und promovierte dort. Sie arbeitete am Institut für Risikobewertung (IRAS) der Universität Utrecht an mehreren nationalen und internationalen Studien zur Expositionsbewertung und Epidemiologie der (verkehrsbedingten) Luftverschmutzung. Seit September 2004 arbeitet sie als Senior Researcher am Zentrum für Nachhaltigkeit und Umweltgesundheit des Nationalen Instituts für öffentliche Gesundheit und Umwelt (RIVM) und untersucht die Auswirkungen von Luftverschmutzung und anderen Umweltfaktoren auf die Gesundheit. Sie ist Koordinatorin des integrierten Forschungsprogramms zu den gesundheitlichen Auswirkungen ultrafeiner Partikel am Flughafen Schiphol.

Zusammenfassung:

- Die drei Studien zeigen, dass eine kurzfristig erhöhte Exposition gegenüber UFP, wie sie in der Umgebung von Schiphol auftritt, mit akuten gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist.
- Dies gilt sowohl für den gesamten Ultrafeinstaub (aus allen Quellen) als auch für den Ultrafeinstaub, der hauptsächlich aus dem Luftverkehr stammt.
- Es gibt keine Hinweise darauf, dass sich die Auswirkungen von UFP aus dem Luftverkehr wesentlich von den UFP aus dem Straßenverkehr unterscheiden.
- Die Zunahme der täglichen Atemwegsbeschwerden und des Medikamentengebrauchs bei Kindern in der Nähe von Schiphol ist gesundheitsrelevant.
- Obwohl die beobachteten kurzfristigen Veränderungen der Lunge (Kinder und Erwachsene) und der Herzfunktion (Erwachsene) im Durchschnitt der Gruppe relativ gering sind, können sie für empfindliche Personen größer sein.
- Die drei Studien zeigen ein kohärentes Bild, das zeigt, dass ein kurzfristiger Anstieg der UFP durch den Flugverkehr sich negativ auf die Atmungsgesundheit und die Herzfunktion auswirken kann.
- Es ist noch nicht klar, was dies auf lange Sicht bedeutet. Dies wird in Modul II dieses Forschungsprogramms untersucht (Untersuchung der Auswirkungen einer Langzeitbelastung mit ultrafeinen Partikeln aus der Luftfahrt). Die Ergebnisse von Modul II werden für 2021 erwartet.

Wirkungsstudie am Flughafen Kopenhagen

Jesper Abery Jacobsen (Copenhagen Airport)

Jesper Jacobsen ist Geologe und Senior Project Manager, Environmental Affairs am Flughafen Kopenhagen. Am Flughafen Kopenhagen stehen Umweltthemen, insbesondere Ultrafeinstaub im Fokus und es wurde ein Luftqualitätsprogramm mit vielen Partnern, u.a. Behörden und Gewerkschaften, aufgelegt.

Zusammenfassung:

- Zeitweise sehr hohe Anzahl von Ultrafeinstaub am Flughafen Kopenhagen
- Kohorten Studie
 - Kein Hinweis auf höheres Risiko für Herzinfarkt, Schlaganfall, COPD oder Asthma
 - Für belastbare Erkenntnisse zum Risiko für Lungen- und Blasenkrebs ist die Datenmenge zu gering.
- Toxikologische Studie
 - Der Ruß von Strahltriebwerken hat ähnliche physikalische/chemische Eigenschaften und Toxikologie wie Partikel von Dieselruß
- Beide Studien empfehlen noch mehr Untersuchungen

Behaviour	Ground Support Equipment	Research and analysis
		
APU regulation Engines in idle Stand policy – PCA and power	Green GSE Infrastructure for Green GSE	Regulation Research engagement Robust monitoring scheme

→ **Copenhagen Airports Air Quality Program**

Copenhagen Airports CPH

Fragen und Diskussion

Mit Herrn Dr. Cyrys, Frau Prof. Dr. Hoffmann, Frau Prof. Dr. Geiser Kamber, Frau Janssen und Herrn Jacobsen.

Wie wirken UFP auf den Körper?

- **Wie zellgängig sind UFP? Wie gefährlich sind UFP?**
 - UFP können in den Blutstrom und damit in alle Gewebe gelangen. Ein wichtiges Gewebe ist die Wand der Blutgefäße. Dort können sie dazu führen, dass sich die Gewebe nicht mehr gut zusammenziehen und öffnen können. Sie können auch über den Blutstrom und über die Nase ins Gehirn gelangen. Dort können sie in jedem Gewebe kleine Entzündungen verursachen, die man nicht wahrnimmt. Durch langjährige Belastung kann das Gewebe verändert werden. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)
 - Eine kleine Fraktion der UFP gelangt ins Blut und hat Auswirkungen auf die Blutgefäße und sekundären Organe. Die Teilchen müssen selbst gar nicht ins Gewebe übertreten, um Schaden anzurichten. (Frau Prof. Geiser Kamber)
- **Weiß man etwas über die chemischen Bestandteile, die diese Entzündungen auslösen?**
 - In der Epidemiologie kann man über Gesundheitseffekte einzelner chemischer Bestandteile noch nichts sagen. Es gibt noch nicht einmal eine Evidenz größerer Partikel, wo es viel einfacher ist, die chemischen Bestandteile zu bestimmen. Man kann noch keine spezifische Partikelfraktion benennen, die giftiger ist als andere. Man kann aber auch von keinem chemischen Bestandteil von UFP sagen, dass er harmlos ist. In der Toxikologie kann man deutlicher Unterschiede erkennen. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)
 - In der Toxikologie hat man eine Korrelationsstudie durchgeführt. Es ist bekannt, aus welchen chemischen Komponenten die Partikel bestehen. Die wichtigsten Gruppen wurden auf ihre Wirkung untersucht. Wenn man eine Gruppe wegnimmt, sinkt die Korrelation, obwohl die einzelnen Komponenten nicht äquivalent präsent sind. Es ist also nicht nur eine chemische Komponente wichtig, sondern mehrere oder die Zusammensetzung. (Frau Geiser Kamber)
- **Wie werden von Fresszellen gefangene Partikel abtransportiert, wenn sie nicht ins Blut gehen, wie Frau Prof. Geiser Kamber beschrieben hat?**
 - Es gibt zwei Abtransportsysteme: In Atemwegen gibt es Epithelzellen mit Flimmerhaaren und es gibt Schleim. Die Zellen mit den Flimmerhaaren schlagen in die gleiche Richtung und transportieren die Flüssigkeit mit allem, was darin eingeschlossen ist (z.B. Partikel), rachenwärts. Das ist sehr effizient. In den Alveolen gibt es keine Flimmerhaare. Dort nehmen die Makrophagen die Partikel auf und gelangen dann zu den Atemwegen, von wo sie dann auch mittels Mukoziliärtransport auch zum Rachen transportiert werden. (Frau Prof. Dr. Geiser Kamber)

UFP-Belastung

- **Gibt es eine Korrelation zwischen Fluglärm und Schadstoffen?**
 - Ja, Fluglärmbelastete sind sehr wahrscheinlich auch stärker von einer erhöhten UFP-Belastung betroffen. Gut ist, wenn man unterschiedlich belastete Gruppen hat, um die Effekte getrennt untersuchen zu können. Es wird auch Menschen geben, die eine hohe UFP-Belastung haben, aber keine so hohe Lärmbelastung. Eine Überlappung wird es aber immer geben. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)
 - Luftschadstoffe und Lärm breiten sich unterschiedlich aus. Die Erfahrungen in Frankfurt seit 2012 zeigen, dass die Einhaltung von Schadstoff-Grenzwerten in stark lärm-belasteten Gebieten (z.B. Flörsheim) kein Problem darstellt. (Herr Prof. Dr. Jacobi)

- **Wie relevant ist die Exposition gegenüber Triebwerksemissionen im Vergleich zu anderen Quellen? Wie relevant ist die Belastung in Innenräumen?**
 - Am Flughafen Kopenhagen wird versucht, die UFP in Innenräumen gering zu halten. Sie wurden jedoch nicht gemessen. (Herr Jacobsen)
 - In den Studien wurde nicht deutlich, auf welche UFP-Quelle die gesundheitlichen Auswirkungen zurückzuführen sind. (Frau Janssen)

Design und Durchführung von Studien

- **In den epidemiologischen Studien wird die signifikante Abweichung durch die Kontrollgruppe festgelegt. Welche Kontrollgruppen gab es und wo lagen die Schwierigkeiten?**
 - Hier muss man unterscheiden, ob es sich um eine Langzeitstudie oder um eine Studie zu akuten Effekten handelt. Bei akuten Effekten werden die täglichen Schwankungen betrachtet. Da jede Person an verschiedenen Tagen den Schadstoffen unterschiedlich stark ausgesetzt ist (z.B. je nach Wetterlage), ist jeder seine eigene Kontrollgruppe. Andere Lebensstilfaktoren wie z.B. Rauchen oder Ernährung müssen so nicht berücksichtigt werden. So funktionieren Zeitreihen- und Panelstudien. Anders ist es bei Langzeitstudien. Hier vergleichen wir Menschen, die an unterschiedlichen Standorten leben. Innerhalb einer Probandengruppe (Tausende) berechnet man die Effekte anhand der unterschiedlichen UFP-Belastung. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)

- **Bei der Aufstellung von Messstationen sollte auch die Gesundheitssicht berücksichtigt werden, hat Frau Prof. Dr. Hoffmann angeregt. Was versteht man darunter?**
 - Bei der Neuaufstellung sollte man mitdenken, was alles für eine Gesundheitsstudie wichtig sein könnte. Z.B. würde man eine Station anders aufstellen, wenn man akute Effekte messen möchte als wenn man Langzeiteffekte messen möchte. Wenn man die Wahl hat, ist es immer sinnvoll, einen Standort in der Nähe der Wohnbevölkerung zu wählen und nicht unmittelbar neben einer Straße. So kann die Belastung einer größeren Population abgedeckt werden. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)

- Das Wichtigste bei der Aufstellung einer Messstation für eine Kurzzeitstudie ist die Repräsentativität für die Stadtgesellschaft. Die Repräsentativität kann für PM_{2,5} eingehalten werden und es ist auch für UFP möglich. Die Messstationen in einer Stadt sollten miteinander korrelieren. (Herr Dr. Cyrys)

- **In Frankfurt: Hitze und Mortalität: Kann man Effekte der Hitze herausrechnen?**
 - Die Temperatur muss man bei Kurzzeitstudien herausrechnen, weil die Temperatur auf den Körper ähnliche Effekte haben kann. Dies wird bei den Analysen berücksichtigt. (Frau Prof. Dr. Hoffmann)

Minderungsmaßnahmen

- **Welche Maßnahmen wurden 2013 in Kopenhagen zur Minderung von UFP durchgeführt?**
 - Ein Stau auf dem Vorfeld wurde aufgelöst und damit die Laufzeit der Triebwerke reduziert. Dieser Prozess hat 1,5 Jahre gedauert. (Herr Jacobsen)

- **Hinweis: An Küsten gibt es durch die Jodpartikel hohe Ultrafeinstaubbelastungen. Diese dürfen nicht mit den Partikeln aus Triebwerken verglichen werden. Bei Grenzwertsetzungen darf also nicht eine reine Partikelanzahl ausschlaggebend sein, sondern die chemischen Eigenschaften und die Wirkung von UFP auf den Menschen (Epidemiologie und Toxizität) muss grundsätzlich mitberücksichtigt werden.**

Entschwefelung des Kerosins

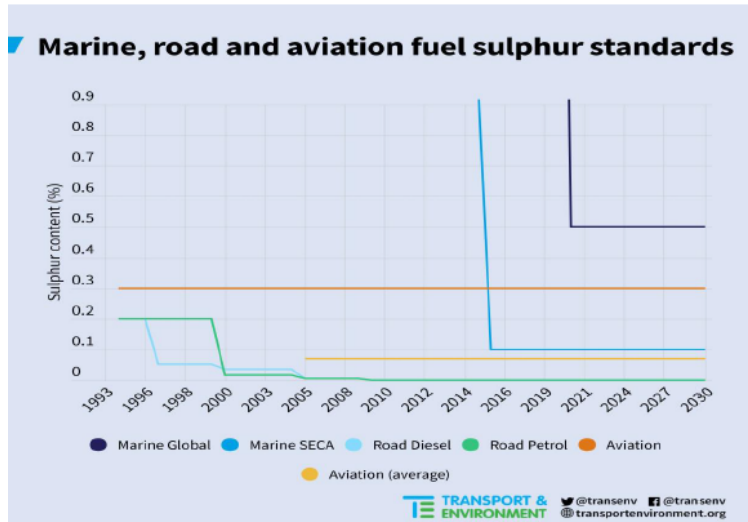
Bill Hemmings (Transport & Environment, Belgien)

Bill Hemmings hat Science and Politics in Australien studiert. Er arbeitete bei American Express Business Travel und bei Cathay Pacific Airways. Jetzt ist er Leiter Aviation und Shipping bei Transport & Environment in Brüssel. Transport and Environment ist die Dachorganisation von nichtstaatlichen europäischen Organisationen aus dem nachhaltigen Verkehrsbereich. Die 51 Mitgliedsorganisationen kommen aus 23 Ländern.

Zusammenfassung:

- EU-Grenzwerte bzw. geltende Normen regeln Schwefelanteil im Treibstoff für Straße, Schiene, Schiff (alle max. 10 ppmw), nicht jedoch für Flugzeuge
- Für Kerosin wird seit den 1980er Jahren aufgrund technischer Normen als Industriestandard unverändert als Grenzwert ein max. zulässiger Schwefelgehalt von bis zu 3.000 ppmw toleriert
- Schätzungen zufolge liegen die Schwefelanteile in USA und England, der Herkunft der geltenden technischen Normen, im Durchschnitt bei ca. 600-800 ppmw. Systematische Erhebungen der EU oder öffentlich zugängliche Messwerte über die stark schwankenden Schwefelgehalte im Kerosin liegen nach seiner Kenntnis nicht vor.
- Absenkung der gesundheitlichen Risiken durch Entschwefelung: Bsp. in der Schifffahrt – Senkung der Morbidität und Mortalität
- Niedriger Schwefelgehalt in der Atmosphäre reduziert Risiken für Atemwegserkrankungen
- Wie bereits schon in den Raffinationsprozessen für Straßen-, Schiffs- oder Schiffstreibstoffe praktiziert, kann auch Kerosin entschwefelt werden.
- In der Raffinerie braucht man neue Entschwefelungs-HDS-Geräte. Das ist teuer? -aber bereits installiert, um die Schwefelgrenzwerte im internationalen Schiffsverkehr einzuhalten.
- Zusatzkosten für Hydrodesulfurierung in den Raffinerien: ca. 0,01 bis 0,015 EUR pro Kg Kraftstoff
- Roadmap in der Schifffahrt als Vorbild für den Luftverkehr
- In der weltweiten Schifffahrt wurde in den vergangenen Jahren eine deutliche Senkung des Grenzwertes für Schwefel durch die International Maritime Organization(IMO) beschlossen – IMO, als Sonderorganisation der UN, ist das Pendant zur ICAO
- Die EU sollte wie für andere Verkehrsträger einen Grenzwert für Schwefel im Kerosin einführen, dies hat er auch in einem Termin in der vorigen Woche gegenüber Bundesumweltministerin Schulze adressiert

SCHWEFEL IN KEROSIN UNREGULIERT



Industry Standards

UK Defence Standard 91-91
and
ASTM D6565 standard
Max Sulphur content
3000ppm by mass

UK Jet A-1, US Jet A, and
US Department of Defense
JP-8

Average sulphur content
by mass
600 to 800ppm

Verwendung von alternativen Flugzeugkraftstoffen

Dr. Tobias Schripp (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)

Dr. Tobias Schripp ist Chemiker und seit 2016 am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verbrennungstechnik, Abteilung chemische Analytik, tätig. Seine Themenbereiche umfassen Immissionsmessungen an Flugzeugen sowie alternative Kraftstoffe.

Zusammenfassung:

- Entwicklung und Anwendung alternativer Treibstoffe in der Luftfahrt haben in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht.
- Die wesentlichen Hürden sind Rohstoffverfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit.
- Die Weiterentwicklung von Treibstoffnormen erfolgt gründlich, um die Sicherheit zu gewährleisten.
- Die Beimischung erneuerbarer alternativer Treibstoffe reduziert die CO₂- und die Rußemissionen.
- Die breite Verwendung von 100% nicht-fossilem Treibstoff in der Luftfahrt ist derzeit unwirtschaftlich und benötigt noch viele Jahre der Entwicklung
- Mit „blends“ fliegen wir in vielen Fällen schon heute!

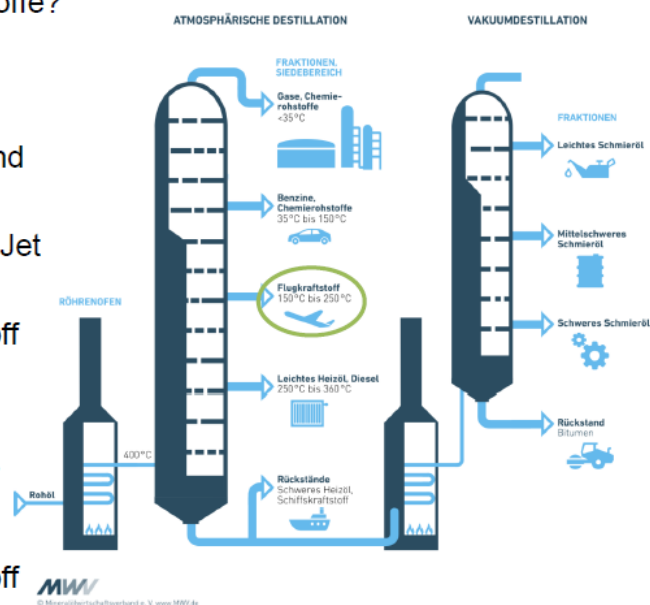
Was sind alternative Treibstoffe?

■ Was sind „konventionelle“ Treibstoffe?

- Hergestellt aus Rohöl
- Destillation in Raffinerie:
 - Fraktion zwischen Benzin und Diesel
- Bezeichnungen: Jet A, Jet A-1, Jet B, JP-8, ...
- Zulassung als Luftfahrt-Treibstoff streng geregelt

■ Was sind „alternative“ Treibstoffe?

- Erneuerbare Quellen
- Zulassung als Luftfahrt-Treibstoff **streng geregelt**



Optimierung im Bereich des Bodenverkehrs von Flughäfen

Prof. Dr. Johannes Reichmuth (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt)

Prof. Dr. Johannes Reichmuth ist Physiker und Institutsdirektor am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt. Außerdem ist er Professor am Lehrstuhl für Flughafenwesen und Luftverkehr an der RWTH Aachen. Prof. Reichmuth war Mitglied im Eurocontrol-Ausschuss für europäische Flugsicherung.

Zusammenfassung:

- Genormte und zuverlässige Mess- und Prädiktionsmethoden für UFP Emissionen und Immissionen bereitstellen
- Bestandsaufnahme und Charakterisierung der UFP Quellen am Flughafen durchführen
- Zertifizierungsprozesse für Zulassung von Änderungen an Luftfahrzeugen beschleunigen
- UFP Maßnahmen mit Maßnahmen zur Reduktion von Klimawirkung koppeln (z.B. mit lokalen Programmen für klimaneutrale Flughäfen)
- Langzeitfeldversuche zur Bestimmung der operationellen Zuverlässigkeit technischer Lösungen durchführen
- Operationelle Verfahren/Tools des Bodenmanagements am Flughafen für UFP-arme Verfahren erweitern
- Verfahren für emissionsdifferenzierte Landeentgelte um UFP Kriterien erweitern
- Internationalen/nationalen Erfahrungsaustausch zu UFP verstärken

www.DLR.de • Chart 5 > J. Reichmuth • Expertenanhörung Ultrafeinstaub_Frankfurt 23 Aug 2019

Technische Minderungsmöglichkeiten

Starten/Landen/Rollen/Stand

*Nutzung von UFP-armen Treibstoffen
GPU Nutzung am Stand*

Rollen

*Elektroantrieb im Fahrwerk
E(Hybrid)-Schlepper*

Fahrzeuge

*Fahrzeugflotte auf UFP-arme
Antriebsarten umrüsten
(Batterie, Brennstoffzelle, H₂, Gas)*

Versorgung am Boden

*Energie (GPU)
Frischlufversorgung
UFP-arme Erzeugung der zur
Versorgung benötigten Energie*

Flughafeninfrastruktur

*lokale Kraftwerke
Solarenergie, H₂, Fernwärme
Lagerung von flüchtigen Stoffen
Filter*

Landseitige Verkehre

*Umstellung auf E-Mobilität, H₂-
Antriebe*

- **Treibstoffe noch nicht verfügbar**
- **Modifikationen an Lfz und Geräten mit Kontakt zu Lfz erfordern spezifische Zulassung**
- **Betriebsstabilität von E-Antriebslösungen im operativen Flughafenbetrieb noch nicht ausreichend nachgewiesen**



Fragen und Diskussion

Mit Herr Hemmings, Herrn Dr. Schripp, Herrn Prof. Dr. Reichmuth, Herrn Fleuti

Entschwefelung von Kerosin

- **Reduzierung von Schwefel hat deutliche Effekte auf die Gesundheit. An Herrn Hemmings: Woher haben Sie die konkreten Zahlen?**
 - Die Daten stammen aus der EASA der EASA (European Union Aviation Safety Agency)-Studie von 2010. Aus Sicht von Transport&Environment ist es offensichtlich, dass die Entschwefelung nicht teuer ist und deshalb zügig angegangen werden muss. Für die Schifffahrt gibt es bereits entschwefelten Kraftstoff. (Herr Hemmings)

- **Wie unterscheiden sich die ppm-Anteile von Schwefel in den verschiedenen Kerosinen?**
 - Der Schwefelgehalt hängt davon ab, wo das Rohöl gefördert wird und auch von den Feinjustierungen im Raffinerieprozess. In Zürich beziehen die Airlines das Kerosin aus denselben Quelle wie deutsche Flughäfen. Es kann dann Unterschiede geben, ob es aus Rotterdam oder Genua kommt. Dasselbe gilt für die amerikanische Seite, die anderes Rohöl verwendet. (Herr Fleuti)

- **Wie viel weniger UFP entstehen bei der Verbrennung von entschwefeltem Kerosin aufgrund der Entschwefelung?**
 - Alle Treibstoffe, die in den von ihm beschriebenen Versuchen genutzt wurden, kamen aus Deutschland und hatten bereits einen relativ geringen Schwefelgehalt, unter 100 ppm. Deshalb kann eine Aussage zum Grad der Reduzierung der UFP nicht gemacht werden. Bisher wurde dieser Aspekt noch nicht im Detail analysiert, aber das könnte im Nachgang eventuell weiter untersucht werden (Herr Dr. Schripp). Einwurf von Herrn Hemmings: Auch wenn man nicht alles genau weiß, sollte man mit der Reduzierung beginnen, in der Schifffahrt funktioniert es. Hierzu Herr Fleuti: Es muss sicher sein, dies betrifft insbesondere die Luftfahrt. Deshalb muss es erst zugelassen sein und diese Verfahren dauern lange.

- **Triebwerkshersteller sagen, dass es technisch kein Problem ist, entschwefeltes Kerosin zu nutzen. Wo ist dann das Problem?**
 - Es stimmt, dass es technisch kein Problem ist. Aber die Zertifizierungs- und Zulassungsseite wurde bisher nicht angegangen. Es ist in Zukunft aber sicher machbar. (Herr Fleuti)

Alternative Kraftstoffe

- **Können die neuen erneuerbaren Kraftstoffe (in Zukunft) auch die klimaschädlichen Nebenprodukte ausschließen?**
 - Die Klimawirkung entsteht neben dem Faktor CO₂ durch die Bildung von Kondensstreifen, die durch Ruß induziert werden. Die Kondensstreifen tragen insbesondere nachts zu einer Erwärmung bei. Es gibt bereits Versuche, dass sich die Eiskristalle mit solchen alternativen Treibstoffen auch reduzieren lassen. (Herr Dr. Schripp)

- **Inwieweit reduzieren alternative Kraftstoffe die Anzahl flüchtiger Partikel aus den Triebwerkabgasen?**
 - Das ist ähnlich wie bei der Entschwefelung. Diese alternativen Kraftstoffe enthalten keinen Schwefel. So reduziert man durch Beimischung auch den Anteil flüchtiger Partikel aus den Triebwerkabgasen. (Herr Dr. Schripp)

- **Welchen Beitrag kann E-Fuel zur Minderung von UFP leisten?**
 - Mit E-Fuel sind Power-to-Liquid-Prozesse gemeint. Man kann mit genügend Energie, CO₂ aus der Luft und über Elektrolyse gebildeten Wasserstoff ein Synthesegas erzeugen, das zum Aufbau von langkettigen Kohlenwasserstoffen genutzt werden kann und so kann man Kerosin gewinnen. Das hat einen wesentlichen Vorteil: Man braucht nur Strom, allerdings in großen Mengen und dieser muss verfügbar sein. (Herr Dr. Schripp)

- **Welche Gründe gibt es für den Anteil von 8% Aromatenanteil im Jet-A-1-Fuel?**
 - Dieser Anteil ergibt sich aus dem Quellverhalten der Dieseltriebwerke / . Es gab einen Versuch, mit einem aromatenfreien Treibstoff, bei dem das Flugzeug über Nacht ausgelaufen ist. Es gibt aber auch neue Materialien, die eingesetzt werden. Boing erprobt erfolgreich das Fliegen mit aromatenfreiem Treibstoff. Der Treibstoff muss aber auch mit den aktuellen Systemen kompatibel sein. Langfristig wird der Aromatenanteil weiter gesenkt werden. (Herr Dr. Schripp)

Zusammenfassung/Ausblick

- **In welchem Bereich kann man besonders effektive UFP-Einsparungen erreichen?**
 - Die größte Quelle ist das Flugzeug, beim Rollen und auch die Hilfstriebwerke. Wenn eine Maßnahme an der Quelle ansetzt, hat sie einen Multiplikatoreffekt, d.h. sie wirkt nicht nur an einem Flughafen, sondern flächendeckend. Wenn der Treibstoff technologisch besser ist, hat das überall und jederzeit einen Effekt. Wichtig ist es, am Flugzeug und am Treibstoff anzusetzen. Am Flughafen kann man durch die Elektrifizierung am Boden auch zu einer UFP-Reduzierung beitragen. Die Ground Power Units sind hierbei die großen Verbraucher, hier lohnt sich die Ausrüstung mit einem Partikelfilter, wie es in Zürich gemacht wird. (Herr Fleuti)

▪ **Studie soll von FFR beauftragt werden: Was ist die größte Wissenslücke? Was könnten man als Pilotprojekt angehen?**

- Bisher weiß man zu wenig über flüchtige und nicht-flüchtige UFPs. Hierzu muss mehr geforscht werden. (Herr Fleuti)
- Man sollte einen Langzeittest machen, nicht nur einen Tag, sondern eine Saison. Möglichst viele Elektrifizierungsideen sollten dabei umgesetzt werden. Dabei sollte das finanzielle Risiko des Flughafenbetreibers reduziert werden. (Prof. Dr. Reichmuth)

Erkenntnisrunde und Ausblick

Fr. Heng-Rusчек im Gespräch mit Frau Barth (Leiterin Stabsstelle Fluglärmschutz und Nachhaltige Luftverkehrswirtschaft HMWEVW), Frau Dr. Brohmann (Öko-Institut), Frau Dr. Steul (Gesundheitsamt der Stadt Frankfurt), Herrn Jühe (Vorsitzender Arbeitsgemeinschaft deutscher Fluglärmkommissionen) und Herrn Prof. Dr. Wörner (Vorstand FFR).

▪ **Frau Dr. Brohmann: Wenn Sie Ihrer Nachbarin sagen müssen, ob UFP gefährlich sind oder nicht, was würden Sie sagen?**

- Die zentrale Botschaft ist: Die Wissenschaft hat gezeigt, dass die UFP zu gesundheitlichen Risiken beitragen. Sie haben akuten Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System und die Atemwegssysteme. Wichtig ist:
 1. Das Besondere an UFP: Sie haben kleine Wirkung bei direkter Exposition, aber es sind viele Menschen betroffen.
 2. Sie sind selbst nicht sehr toxisch, aber durch die hohe Zahl an Betroffenen stellen sie ein Risiko dar.
 3. Sie können sich schnell und effizient im Körper ablagern. Dadurch können sie schädlichere Stoffe einlagern.

Die Studien aus Schiphol waren sehr erhellend: Über alle drei Studientypen und Zielgruppen gibt es kohärente Hinweise auf die Wirksamkeit von UFP.

▪ **Frau Dr. Steul: Wo gibt es noch Forschungsbedarf?**

- Wichtiger Punkt zu toxikologischen Studien: Anzahl von Partikeln hat keine direkte Wirkung auf die Höhe des toxikologischen Effekts.
- Das epidemiologische Studiendesign muss so ausgestaltet sein, dass eine übergreifende Aussage möglich ist, vergleichbar mit der NORAH-Studie. Für ein Studiendesign für eine Gesundheitsstudie vergleichbar mit der Lärmwirkungsstudie NORAH gibt es noch viele offene Fragen. Hilfreich könnten sein: ein größeres Monitoring oder ein Studienversuch mit einem groß angelegten Design. So muss versucht werden, den Teufelskreis (wenige Routinemessungen, wenig Wirkungsstudien, zu wenig Wissen über gesundheitliche Auswirkungen, keine Grenzwerte) zu durchbrechen.
- Für das Vorsorgeprinzip ist ein Minimierungsgebot wichtig. Es muss alles gleichzeitig ablaufen: Studien und Forschungen an Minimierungsmöglichkeiten.

▪ **Frau Barth: Welche Minderungsmöglichkeiten sind besonders sinnvoll?**

- An Triebwerken sind Minderungen möglich, bzw. es geht darum, möglichst emissionsarme Triebwerke einzusetzen und weiter zu entwickeln (Lärm, Schadstoffe, Ressourceneffizienz als Ziele). Es gibt auch den ICAO-Grenzwert für zukünftige Triebwerke. Es gibt auch Minderungsmöglichkeiten bei Kraftstoffen, indem Verunreinigungen vermieden werden durch Reinigung oder –perspektivisch - durch Verwendung synthetisch hergestellter Kraftstoffe. Ein weiterer großer Bereich sind Verbrennungsprozesse am Boden, sowohl bei Flugzeugen als auch anderen Fahrzeugen am Flughafen.
- In einer Studie wird man sich darauf konzentrieren, abzuklären, welche Prozesse besonders hohe Beiträge liefern und wie sich diese reduzieren lassen. Dabei sollen nicht zuletzt Punkte adressiert werden, die man hier vor Ort beeinflussen kann.
- Ein großes Glück ist, dass im Bereich Luftverkehr die wichtigsten Potenziale für CO₂-Minderungen auch zu UFP-Minderungen beitragen, so dass die Handlungsnotwendigkeiten im Bereich Klimaschutz auch zur Reduktion von UFP beitragen können.
- Wichtig ist es im Blick zu behalten, dass die Minderungsmaßnahmen nicht zu größerer Lärmwirkung führen.
- Wichtig ist es für die weiteren Untersuchungen im FFR, den ganzen Prozess der Abläufe wie UFP entstehen, sich ausbreiten und auf Mensch und Umwelt wirken als Gesamtes zu sehen und sich in der Studie beispielhaft Wirkungsketten und wie sie beeinflusst werden können anzuschauen.

▪ **Herr Jühe, Herr Prof. Wörner: Wie geht es nun weiter?**

- Herr Jühe: Die NORAH-Studie hat im Hinblick auf den Zusammenhang von Lärm und Wirkungen auf den Menschen wichtige Erkenntnisse gebracht. Diese Erkenntnisse wurden dann auch genutzt um Flugrouten zu identifizieren, die geringere Belastungen für die betroffenen Menschen im Umfeld des Flughafens zur Folge haben. Jetzt gilt es, eine solche systematische Untersuchung auch für die UFP-Belastung zu erreichen. Wie auch beim Fluglärm gilt: Jede Vermeidungs- oder Minderungsoption sollte genutzt werden. In der Expertengruppe des FFR werden die Ergebnisse dieser Veranstaltung nun ausgewertet und überlegt, welche Empfehlungen man im Hinblick auf das Ermitteln weiteren Erkenntnisgewinns direkt aussprechen kann. Herr Prof. Wörner: Diese Anhörung diene dazu zu hören, wo wir stehen. Uns geht es darum, welche Punkte in einer Gesamtstudie betrachtet werden können. Hier in Hessen können wir dieses Thema systematisch angehen, das Land Hessen unterstützt dies. Und auch die Verkehrswirtschaft und die Fluglärm-betroffenen arbeiten zum Thema Fluglärm zusammen.

Herr Prof. Wörner bedankt sich bei den Organisatoren des HLNUG, des Umwelthauses, der Moderation, den Referent/innen, den Teilnehmenden und schließt die Anhörung.