



Sachstand

Ultrafeinstaub

Ursachen, gesundheitliche Wirkung und Forschungsbedarf

Ultrafeinstaub

Ursachen, gesundheitliche Wirkung und Forschungsbedarf

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 094/18
Abschluss der Arbeit: 19.9.2018
Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und
Forschung

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	4
2.	Feinstaubquellen	4
3.	Gesundheitliche Wirkung	5
4.	Forschung zu Ultrafeinstaubpartikeln	7
5.	Maßnahmen zur Minderung des Ultrafeinstaub	10
6.	Ausgewählte Projekte zu Ultrafeinstaub	11
7.	Quellenverzeichnis	15

1. Einleitung

Feinstaub ist ein Sammelbegriff für in der Luft schwebende Partikel unterschiedlicher Zusammensetzung und Herkunft. Entscheidend ist allein die Größe. Jedes Schwebepartikel unter zehn Mikrometern Durchmesser zählt zum Feinstaub. Feinstaubpartikel sind ihrer Größe nach in Kategorien eingeteilt: PM10 (unter 10 Mikrometer), PM2,5 (unter 2,5 Mikrometer) und Ultrafeinstaub(partikel) (UF bzw. UFP) (kleiner 0,1 Mikrometer). Die ultrafeinen Partikel sind 25- bis 100-mal kleiner als Feinstaubpartikel. Ultrafeinstaubpartikel können von der Lunge in das Blut aufgenommen werden.¹

Die vorliegende Arbeit gibt eine Einführung zu Herkunft, Wirkungen und Forschungsvorhaben von Ultrafeinstaubpartikeln.

2. Feinstaubquellen

„Die Feinstaubquellen sind teils natürlichen, überwiegend aber anthropogenen Ursprungs. Natürliche Quellen sind beispielsweise Vulkanausbrüche, Waldbrände, Meereseis und Vegetation. Zu den anthropogenen Quellen zählen Verbrennungsprozesse in Motoren und Kraftwerken, Heizungsanlagen, Industrieanlagen sowie Verbrennung von Biomasse und Holz. Auch landwirtschaftliche Aktivitäten wie Ernte, Mäharbeiten oder Düngung sind Quellen von Feinstaub. Von den o.g. Quellen sind der Verkehr (Dieselruß, Reifen- und Bremsenabrieb) und jüngst die Holzfeuerungen (Kamin) Hauptursachen der Feinstaubbelastung.“² „Auch Pilzsporen oder Pflanzenfragmente zählen zum Feinstaub.“³

Die Belastung unserer Atemluft ist im Wesentlichen durch Verbrennungsprozesse dominiert, vor allem durch Kfz-Verkehr und Tabakrauch. „In der Natur gibt es keine scharfen Abgrenzungen der Fraktionen. Denn aus den Nanopartikeln, die durch Nukleation [Keimbildung] und Kondensation aus der Gasphase oder bei Verbrennungsvorgängen und chemischen Reaktionen entstehen, koagulieren die Feinstäube. Grobstäube (> 2,5 µm) in unserer Atemluft entstehen eher durch mechanische Zerkleinerung, Erosion, Aufwirbelung und Windverfrachtung von Erdkrustenbestandteilen, Sedimentstaub, Seesalz, Pollen, Pilzsporen etc. Der Massenanteil des Ultrafeinstaubes in unserer Atemluft beträgt nur etwa 0,7 %, macht aber ca. 73 % der Teilchenzahl aus. Die Lebenszeit

1 0,1 µm (Mikrometer) = 100 nm (Nanometer), 1 µm = 1/1000 mm

Ultrafeine Partikel liegen in der Größenordnung von Nanopartikeln. Wobei man in Wissenschaft und Industrie meist von Nanopartikeln spricht, wenn diese einen künstlichen Ursprung haben.

Umweltbundesamt (UBA) (2018). „Relation der Feinstaubpartikel“, <https://www.umweltbundesamt.de/bild/relation-der-feinstaubpartikel>

PM bedeutet partikuläre Materie. Ultrafeinstaub wird mit auch PM0,1 abgekürzt.

2 Deutscher Wetterdienst (DWD) (2015). Broschüre „Feinstaubmessung in Kurorten“, https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/medizin/broschuere_feinstaub.pdf?blob=publication-File&v=2

3 Meier, Chr. Neue Züricher Zeitung (NZZ) (2013). „Dreckige Luft als Gesundheitsrisiko“, <https://www.nzz.ch/wissen/wissenschaft/dreckige-luft-als-gesundheitsrisiko-1.18143918>

der meisten UF-Teilchen beträgt nur Minuten, während sie nach ihrer Akkumulation zu Feinstaub eine Lebenszeit von Wochen haben. Etwa 61 % der Partikelmasse und 27 % der Partikelzahl findet sich im Bereich zwischen 100 und 500 nm. Je kleiner ein Teilchen, desto größer ist der Anteil der Oberflächenmoleküle an seiner Gesamtanzahl. Diese Oberflächenmoleküle können am leichtesten mit Zellmembranen und anderen biologischen Strukturen in Kontakt treten.“⁴

3. Gesundheitliche Wirkung

Das Umweltbundesamt (UBA) sieht es als erwiesen an, „dass das Einatmen von Feinstaub negativ auf den Gesundheitszustand des Menschen wirkt. Dies ist nicht nur dann der Fall, wenn sich an der Oberfläche von Stäuben gefährliche Stoffe wie Schwermetalle oder Krebs erzeugende polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) anlagern. Auch die Staubpartikel selbst stellen ein Gesundheitsrisiko dar: Je kleiner die Staubpartikel sind, desto größer ist das Risiko zu erkranken. Kleine Partikel dringen nämlich tiefer in die Atemwege ein als größere. Dadurch gelangen sie in Bereiche, von wo sie beim Ausatmen nicht wieder ausgeschieden werden. Sie sind deshalb besonders gesundheitsschädlich. Ultrafeine Partikel können zudem über die Lungenbläschen in die Blutbahn vordringen und sich über das Blut im Körper verteilen. In den Lungenbläschen sind Atmung und Blutkreislauf funktionell und anatomisch sehr eng miteinander verbunden. Deshalb können Störungen des einen Systems - wie etwa entzündliche Veränderungen im Atemtrakt - auch das andere System, also Herz oder Kreislauf, beeinträchtigen. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO)⁵ hat in Untersuchungen festgestellt, dass es keine Feinstaubkonzentration gibt, unterhalb derer keine schädigende Wirkung zu erwarten ist. Hierin unterscheidet sich Feinstaub von vielen anderen Schadstoffen wie Schwefeldioxid oder Stickstoffdioxid, für die

4 Neuberger, M. (2007). „Umweltepидemiologie und Toxikologie von Nanopartikeln (Ultrafeinstaub) und Feinstaub“, Gászó A., Greßler S., Schiemer F. (eds) Nano. Springer, Vienna

Umweltbundesamt (UBA) (2013). „Aus welchen Quellen stammt Feinstaub?“ <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/aus-welchen-quellen-stammt-feinstaub>

5 Die WHO schätzt, dass etwa 5 % der Lungenkrebstodesfälle weltweit auf Feinstaub (PM) zurückzuführen sind. In europäischen Regionen beträgt dieser Anteil ca. 2-5 %: “It is estimated that approximately 3 % of cardiopulmonary and 5 % of lung cancer deaths are attributable to PM globally. In the European Region, this proportion is 1–3 % and 2–5 %, respectively, in various subregions (16).” In: World Health Organization (WHO) (2013). “Health effects of particulate matter”, http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf

In ihrem Factsheet aus dem Jahr 2018 spricht die WHO von 6 % vorzeitiger Todesfälle durch Lungenkrebs, der durch Luftverschmutzung verursacht wurde:

“Ambient (outdoor) air pollution in both cities and rural areas was estimated to cause 4.2 million premature deaths worldwide per year in 2016; this mortality is due to exposure to small particulate matter of 2.5 microns or less in diameter (PM_{2.5}), which cause cardiovascular and respiratory disease, and cancers.” [...] “WHO estimates that in 2016, some 58 % of outdoor air pollution-related premature deaths were due to ischaemic heart disease and strokes, while 18 % of deaths were due to chronic obstructive pulmonary disease and acute lower respiratory infections respectively, and 6 % of deaths were due to lung cancer.” In: Cohen, A. J., et al. (2004). „Urban air pollution“ Kapitel 17, Seite 1422 in WHO “Comparative Quantification of Health Risks”, Volume 2, Kapitel “Environmental and occupational risk factors”, <http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume2/1353-1434.pdf?ua=1> und <http://www.who.int/publications/cra/en/>

man Werte angeben kann, unter denen keine schädlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu erwarten sind. Nicht nur kurzzeitig erhöhte Konzentrationen führen zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen, gerade längerfristig vorliegende, geringere Konzentrationen wirken gesundheitsschädigend.“⁶

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) schreibt zusammenfassend zu Ultrafeinstäuben: „Da Stäube auch Gefahrstoffe enthalten können, stellen sie für unsere Gesundheit eine erhöhte Gefährdung dar. So lagern sich beispielsweise die als kanzerogen geltenden polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und Schwermetalle, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, an Rußpartikel an. Während Staubpartikel > 2,5 µm beim Atmen durch die Nase bereits durch die Nasenschleimhäute gefiltert werden, gelangen diese beim Atmen durch den Mund nahezu ungehindert in den Rachenraum. Feine Staubpartikel gelangen sowohl über die Nase als auch über den Mund tiefer in den Atemtrakt bis in die Lungenperipherie. Dort können sie sich festsetzen und langfristig deponiert werden. Im Lungengewebe abgelagerte Partikel lösen abhängig von ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften Entzündungsreaktionen aus. Durch diesen permanenten Entzündungsreiz kann, auf lange Sicht gesehen, das Immunsystem geschwächt werden. Chronische Lungenerkrankungen wie Bronchitis, Asthma oder COPD (chronisch obstruktive Lungenerkrankung, engl.: chronic obstructive pulmonary disease) können dadurch begünstigt werden, das Risiko für Lungenkrebs steigt. Zudem steigt auch das Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Herzinfarkt oder Schlaganfall.“

Ultrafeine Partikel können sogar in Bindegewebe, Lymphknoten und in die Blutbahn vordringen. Beispielsweise konnten bei Ratten ultrafeine Partikel in Leber, Herz und Gehirn nachgewiesen werden. Gegenstand aktueller Forschung ist, inwieweit ultrafeine Partikel auch in sekundäre lymphatische Organe* vordringen und sich dort in nennenswerter Konzentration anreichern können.“⁷

Ultrafeinstaubpartikel stehen wie Feinstaubpartikel auch unter Verdacht, Diabetes bzw. eine Insulininsolvenz auszulösen. „Eine frühere Studie des Helmholtz Zentrums München aus dem Jahr 2013 konnte belegen, dass Feinstaubbelastung das Risiko für Insulinresistenz im Kindesalter erhöht. Im Rahmen einer Metanalyse aus dem Jahr 2015 kamen dieselben Autoren zu dem Schluss,

6 Umweltbundesamt (UBA) (2013). „Warum ist Feinstaub schädlich für den Menschen?“, <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/warum-ist-feinstaub-schaedlich-fuer-den-menschen>

Im Jahr 2013 hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) der WHO Luftverschmutzung als ein Krebsverursacher deklariert und Partikelgemische als ein Bestandteil der Luftverschmutzung ausgewiesen: „...that it has classified outdoor air pollution as carcinogenic to humans (Group 1).“ [...] “...the carcinogenicity of various pollutants present in outdoor air pollution, especially particulate matter and transportation-related pollution.” In: International Agency for Research on Cancer (IARC) (2013). “IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths”, https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf

7 Deutscher Wetterdienst (DWD) (2015). Broschüre „Feinstaubmessung in Kurorten“, https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/medizin/broschuere_feinstaub.pdf?__blob=publication-file&v=2 Seite 5

*Sekundäre lymphatische Organe sind für die spezifische Immunabwehr des Körpers verantwortlich.

dass eine Langzeit-Exposition gegenüber Luftschadstoffen und die Entwicklung von Typ-2-Diabetes mit einander assoziiert sind.“⁸

„Es sei zudem nachgewiesen worden, dass ultrafeine Partikel bis ins Gehirn und auch ins Blut ungeborener Kinder gelangen können. Die Partikel seien in der Lage, sogenannte Sauerstoffradikale freizusetzen, die die Zellen und ihre Funktion in unterschiedlichen Organen schädigen. Grundsätzlich sei davon auszugehen, dass die UFP die gleichen Auswirkungen auf Lunge, Herzkreislaufsystem, Stoffwechsel und das Gehirn haben können wie Feinstaub.“⁹

4. Forschung zu Ultrafeinstaubpartikeln

Zahlreiche Studien befassen sich mit Untersuchungen zu Nanopartikeln und ultrafeinen Partikeln und deren Wirkung auf den Menschen. Eine Zusammenfassung von Informationen zu ultrafeinen Partikeln findet sich in der Broschüre: „Ultrafine particles - too small to see, too big to ignore: What can regional and European environmental and health policy do?“¹⁰

8 Helmholtz Zentrum München (2016). Diabetesforschung „Risikofaktor Luftverschmutzung“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilung/news/article/35848/index.html>

9 Schubert, A., Süddeutsche Zeitung (SZ.de) (2017). „Luftverschmutzung durch Ultrafeinstaub“, <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/luftverschmutzung-da-liegt-was-in-der-luft-1.3752834>

Helmholtz Zentrum München (2015). „Feinstaub: ultrafeine Partikel beeinflussen Herzfunktion“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilung/news/article/26522/index.html>

Das Handbuch für „Umweltmedizin“ liefert mit seinem Kapitel über „Umweltschadstoffe - Staub und Staubinhaltsstoffe/Nanopartikel und Ultrafeine Partikel“ eine umfangreiche Informationssammlung mit Quellen, insbesondere über die Kinetik, innere Exposition und eine Beschreibung der einzelnen Wirkungen in human- und tierexperimentellen Untersuchungen: Wichmann, Schlipkötter, Fülgraff – Handbuch Umweltmedizin – 54. Erg. Lfg. 6/15.

10 Health Effects Institute (HEI), HEI Review Panel on Ultrafine Particles (2013). Übersichtsstudie “Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles”, HEI Perspectives 3, Health Effects Institute, Boston, MA, <https://www.healtheffects.org/publication/understanding-health-effects-ambient-ultrafine-particles>

Umweltbundesamt (UBA) und Schweizerisches Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2018). “Health Effects of Ultrafine Particles Systematic literature search and the potential transferability of the results to the German setting”, Project number: 003777 7205 UKAGEP.

Europäische Union “European Regional Development Fund” UFIREG-Projekt “Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy”, Broschüre: “Ultrafine particles - too small to see, too big to ignore: What can regional and European environmental and health policy do?”, http://www.ufireg-central.eu/files/Downloads/UFIREG_Summary_for_Policymakers.pdf Flyer: “Ultrafeine Partikel – Klein, fein und gemein”, https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/UFIREG_Zusammenfassung_web.pdf

Die nachfolgende Grafik enthält eine Zeitachse, die die Entwicklung der Forschung an Feinstaub (PM) und Nanomaterialien (NMs) und ihrer Schwerpunkte über die letzten drei Jahrzehnte zeigt. Die Autoren fassen Forschungsaspekte zur gesundheitlichen Wirkung und toxikologischen Mechanismen der ultrafeinen und Nanopartikel zusammen und geben eine Aufstellung der unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften.¹¹

Baldauf, R.W., et al. (2016). Conference Report “Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop”, Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13, 1054, <https://europepmc.org/artic/PMC5129264;jsessionid=B43E884A9DC148482F31D372C17BE8F7>. Der Bericht liefert Hintergrundinformationen über UFP-Quellen, Luftqualität und gesundheitliche Auswirkungen und eine Zusammenfassung der interdisziplinären Inhalte des Workshops, dessen Schwerpunkte auf dem Stand der aktuellen Forschungsergebnisse, Messtechnik, UFP-Reduzierung und dem UFP-Monitoring liegen.

11 Stone, V. et al. (2017). „Nanomaterials Versus Ambient Ultrafine Particles: An Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge“, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/EHP424>

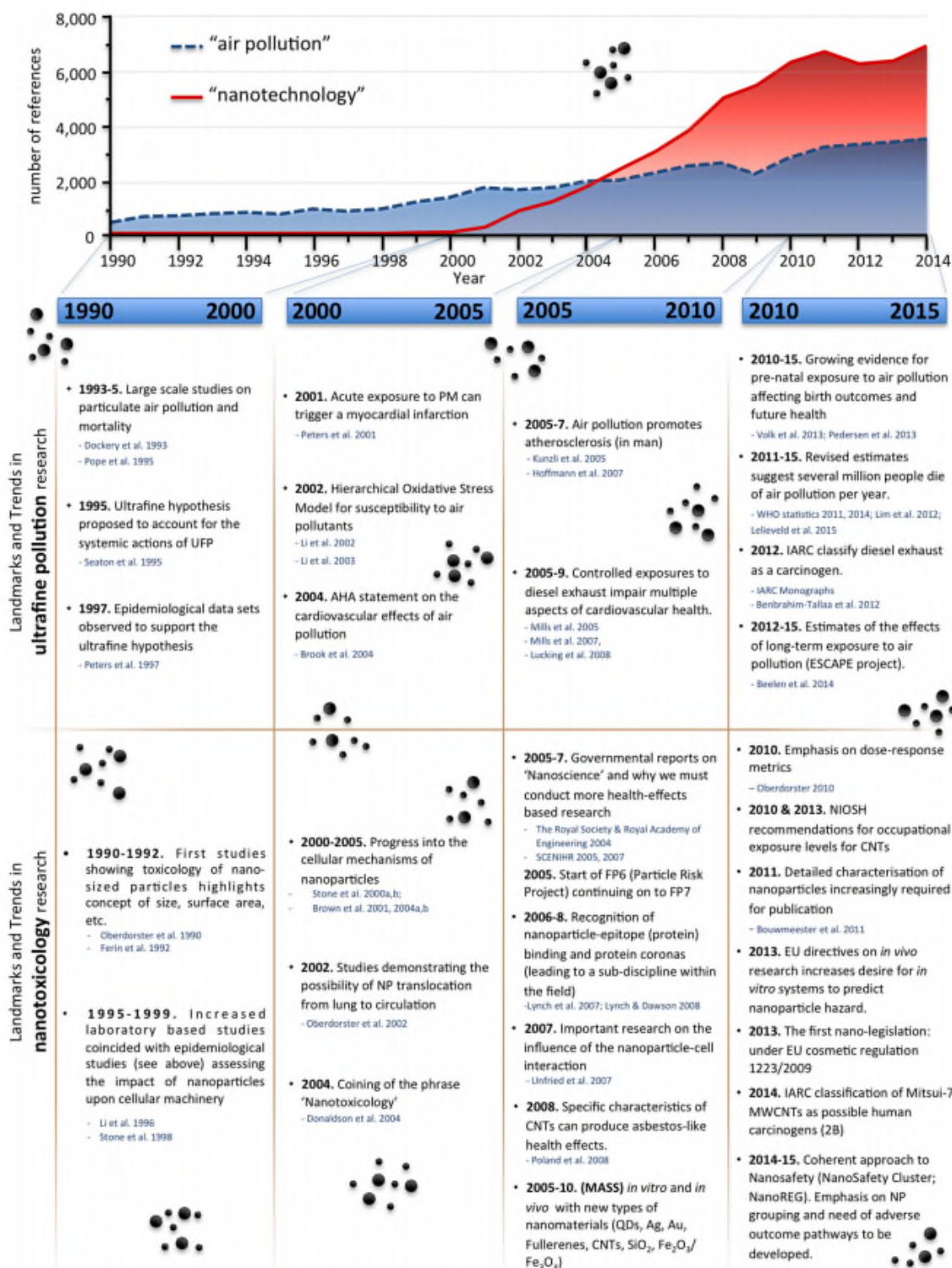


Figure 1. Time line showing the increased interest in particulate matter (PM) and nanomaterials (NMs) over the last three decades, highlighting key studies and research trends in both areas. Number of references per year (noncumulative) based on Pubmed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>) search without further limits applied.

5. Maßnahmen zur Minderung des Ultrafeinstaubes

Da Ultrafeinstaubpartikel vom Blut aufgenommen werden, gibt es derzeit auch keine Möglichkeiten, um z.B. durch das Tragen von Filtermasken im Straßenverkehr die Aufnahme zu verhindern.

Pflanzen können beispielsweise Partikel filtern. Einige Studien befassen sich mit der Thematik zur Emissionsreduzierung durch die Filterung mit Hilfe von Pflanzungen¹² bzw. der Reduzierung von Feinstaubbelastung durch Dünger.¹³

Zudem sind aufgrund der sehr geringen Partikelgröße noch keine einheitlichen Messverfahren abschließend entwickelt worden.¹⁴

Übersichtsstudien beschreiben Eigenschaften, Vorkommen, Herkunft und Überwachungsmethoden ultrafeiner Partikel¹⁵ und liefern einen Überblick über Ursachen von UFP-Emissionen und -

12 Pfanz, H. et al. (2006). „Das Staubfangvermögen von Vegetation“ *Taspo* 3, 12-15.

Speak, A.F. et al. (2012). “Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city”, *Atmospheric Environment Volume 61*, December 2012, Pages 283-293, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012007157>.

Li, M. et al. (2015). “Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing, China”, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140664>.

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP) (2012). „Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen“, <http://www.iasp.asp-berlin.de/bilder/feinstaub-2012.pdf>

13 Pozzer, A., (2017). “Impact of agricultural emission reductions on fine particulate matter and public health”, *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-2017-390, 2017, www.atmos-chem-phys.net/17/12813/2017/

14 Paola, P. et al. (2015). “Are we forgetting the smallest, sub 10 nm combustion generated particles?”, *Particle and Fibre Toxicology* (2015) 12:34 DOI 10.1186/s12989-015-0107-3, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628326/>. Dieser Artikel diskutiert die unterschiedlichen Eigenschaften von Partikelmasse und der Gesamtoberfläche der Partikel und der damit verbundenen unterschiedlichen biologischen Aktivität und fordert die Entwicklung messtechnischer Methoden, um verlässliche Ergebnisse über die biologische Wirksamkeit von Partikeln unterhalb 10 Nanometern zu erhalten.

Peters, A. et al. (2011). “Lessons from Air Pollution Epidemiology for Studies of Engineered Nanomaterials”, *J Occup Environ Med.* 2011 Volume 53 (Number 6 Supplement), 8-13, doi:10.1097/JOM.0b013e31821ad5c0. Die Arbeit diskutiert Erkenntnisse aus epidemiologischen Studien zur Luftverschmutzung im Hinblick auf synthetisch hergestellte Nanopartikel und der Situation am Arbeitsplatz und kommt zu dem Schluss, dass weitere Untersuchungen notwendig sind, um die Wirkung ultrafeiner Partikel aus der Umwelt mit den synthetischen vergleichen zu können.

15 Birmili, W., Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. für das Umweltbundesamt (UBA) (2006). Forschungsbericht „Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (>100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland“, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3114.pdf>.

Dispersionen und geben Empfehlungen für eine nachhaltige Stadtentwicklung und Reduzierung der gesundheitlichen Risiken.¹⁶

Um die gesundheitliche Wirkung von Ultrafeinstaub eindeutig nachweisen zu können, favorisieren die Forscher zudem Langzeitmessungen.¹⁷ Im Rahmen des GUAN – Messnetzes werden Langzeituntersuchungen durchgeführt.¹⁸

6. Ausgewählte Projekte zu Ultrafeinstaub

Aktuelle Forschungen behandeln verschiedene und interdisziplinäre Aspekte der Feinstaubthematik. Die folgenden Projekte und Studien geben einen exemplarischen Einblick.

Forschungen zum Vergleich der toxikologischen Wirkung von ultrafeinen und Nanopartikeln werden beispielsweise an der University of Rochester Medical Center School of Medicine and Dentistry durchgeführt.¹⁹

-
- 16 Kumar, P. et al. (2014). "Ultrafine particles in cities", *Environment International* 66 (2014) 1–10, https://ac.els-cdn.com/S016041201400018X/1-s2.0-S016041201400018X-main.pdf?tid=3799c4c6-b265-4211-99fc-4293cc2cb5e6&acdnat=1535466105_9b3429f15d1869624a47ac42d9300220
- 17 Lanzinger, S. et al. (2016). "Associations between ultrafine and fine particles and mortality in five central European cities - Results from the UFIREG study", *Environment International* 88 (2016) 44–52, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015301100?via%3Dihub>
- 18 Eine Beschreibung des Forschungsnetzwerks GUAN liefern: „Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)“, Birmili, W. et al. (2016). *Earth Syst. Sci. Data*, 8, 355–382, 2016 www.earth-syst-sci-data.net/8/355/2016/ und doi:10.5194/essd-8-355-2016 und <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/guan-german-ultrafine-aerosol-network/index.html>. Weitere Beschreibungen zur Forschung im Rahmen des GUAN-Messnetzes finden sich in: Birmili, W. et al. (2016). „Atmospheric Aerosol Measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)“, *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 75 (2016) Nr. 11/12 – Nov./Dez. Seite 479-488.
- Birmili, W. et al. (2014). „Ultrafeine Aerosolpartikel in der Außenluft: Perspektiven zur Aufklärung ihrer Gesundheitseffekte“, *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft* 74 (2014) Nr. 11/12 – Nov./Dez. Seite 492-500 oder https://www.researchgate.net/publication/279035406_Ultrafine_aerosol_particles_in_ambient_air_Perspectives_to_elucidate_their_health_effects. Der Autor bezeichnet den Wissensstand über die Auswirkungen ultrafeiner Partikel auf die Gesundheit der Bevölkerung als unzureichend, plädiert für laufende und zukünftige Forschungsansätze wie beispielsweise die Langzeitstudie NAKO (Nationale Kohorte an 200.000 Menschen in den kommenden 25 bis 30 Jahren) und Umweltmessungen ultrafeiner Partikel durch das GUAN-Messnetz (German Ultrafine Aerosol Network).
- 19 University of Rochester Medical Center School of Medicine and Dentistry (2018). Publikationsliste unter: <https://www.urmc.rochester.edu/profiles/display/138108>.

Das Projekt des Cory-Slechta Labs der University of Rochester, Medical Center, "The Impact of Developmental Air Pollution (Ultrafine Particle) Exposure on the Brain" behandelt beispielsweise Luftverschmutzung als Risikofaktor für Autismus und/oder Schizophrenie und geschlechterspezifische Unterschiede bei der Anfälligkeit des Gehirns auf Luftverschmutzung.²⁰

Die Arbeiten im Rahmen des Projekts des Elder Labs der Universität Rochester, Medical Center, „Air Pollution and Alzheimer’s Disease“ sollen helfen, die Risikofaktoren, die zur Entstehung und Entwicklung der Neurodegeneration in der menschlichen Bevölkerung beitragen, besser zu verstehen.²¹

Verschiedene Forschungsaspekte untersuchen derzeit laufende Projekte verschiedener amerikanischer und englischer Universitäten mit Unterstützung des amerikanischen Gesundheitsinstituts, Health Effects Institute (HEI):²²

Ng, N. L., "Composition and oxidative properties of particulate matter mixtures: effects of particle phase state, acidity, and transition metals", Georgia Institute of Technology. Diese Studie bewertet die Zusammensetzung und die oxidativen Eigenschaften von im Labor hergestellten und in der Umwelt gesammelten Proben von Partikelmischungen.

Surratt, J. D. „Understanding the health effects of isoprene-derived particulate matter enhanced by anthropogenic pollutants“, University of North Carolina. Die Studie untersucht die Toxizität von Feinstaub, der bei der photochemischen Oxidation von Isopren in Innen- und Außen-Smog-Kammer-Anlagen entsteht. Die Forscher wollen synthetische Isopren-Oxidationsprodukte, Mischungen aus Isopren, Diesel-Feinstaub und VOCs (Flüchtige organische Verbindungen bzw. volatile organic compound[s]) und Stickoxid-Verbindungen an Saatgut untersuchen.

Delgado-Saborit, J. M., "Use of real-time sensors to assess misclassification and to identify main sources contribution to peak and chronic exposures", University of Birmingham, United Kingdom.

Die Studie untersucht ultrafeine Partikel (PM_{2,5}) von schwarzem Kohlenstoff und NO₂ Expositionen mit Hilfe von tragbaren Echtzeitsensoren. Damit sollen Messungen von Teilnehmern bewertet werden, die in der Nähe oder weit entfernt vom Verkehr leben und Elektro- oder Gasherde verwenden.

20 Cory-Slechta Labs, University of Rochester, Medical Center (2018). "The Impact of Developmental Air Pollution (Ultrafine Particle) Exposure on the Brain", <https://www.urmc.rochester.edu/labs/cory-slechta/projects/the-impact-of-developmental-air-pollution-ultrafin.aspx>

21 Elder Labs, University of Rochester, Medical Center (2018). „Air Pollution and Alzheimer’s Disease“, <https://www.urmc.rochester.edu/labs/elder/projects/air-pollution-and-alzheimers-disease.aspx>

22 Health Effects Institute (HEI) (2018): „Particle Matter – Ongoing Studies“, <https://www.healtheffects.org/air-pollution/particulate-matter>

Kraus, W. „Air quality by genomics interactions in a cardiovascular disease cohort”. Diese Kohortenstudie der Duke University untersucht u.a. das kardiovaskuläre metabolische Risiko unter dem Einfluss der Luftverschmutzung in einer Kohorte mit klinisch festgestellten Herzerkrankungen.

Forschungen des Helmholtz Zentrums befassen sich in zahlreichen Projekten und Studien mit dem Thema Feinstaub:²³

“Aerosol Measurement Station in Augsburg”²⁴.

Seit 2004 werden an der Messstation Messungen zur Partikelcharakterisierung und meteorologische Messungen durchgeführt. Die Messstelle dient als Basis für weitere Untersuchungen zur Expositionsbewertung und für die epidemiologische Forschung, insbesondere für Untersuchungen zu gesundheitlichen Auswirkungen des Herz-Kreislauf-Systems.

“Health effects of ultrafine particles in Europe” (UF&Health, seit 2012)²⁵.

Das Projekt untersucht die Langzeitauswirkungen von ultrafeinen Partikeln auf die Gesundheit.

AWAIR: “Environmental integrated, multilevel knowledge and approaches to counteract critical AIR pollution events, improving vulnerable citizens’ quality of life in Central Europe Functional Urban Areas” (2017-2020)²⁶.

Im Rahmen des Projekts sollen Maßnahmen erarbeitet werden, die ein staatenübergreifendes Monitoring- und Präventionssystem ermöglichen.

SmartAQnet: “Smart Air Quality Network” (2017-2020): Entwicklung und Bewertung eines engmaschigen Netzwerks von lokalen Feinstaubdaten, welche von der Öffentlichkeit eingespeist und genutzt werden können.²⁷ “Hauptziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines

-
- 23 Helmholtz Zentrum München - German Research Center for Environmental Health, EPI Institute of Epidemiology (2018). „Research Group Environmental Exposure Assessment-Projects” <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/index.html>
- 24 Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe “Environmental Exposure Assessment” (2018). „Aerosol measurement station in Augsburg (2004 - ongoing)”, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/aerosol-measurement-station-in-augsburg/index.html>
- 25 Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe “Environmental Exposure Assessment” (2018). “UF&Health: “Health effects of ultrafine particles in Europe”, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/ufhealth/index.html>
- 26 Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe “Environmental Exposure Assessment” (2018). <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/awair/index.html>
- 27 Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe “Environmental Exposure Assessment” (2018). „Smart Air Quality Network”, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/smartaqnet/index.html>
- Smart Air Quality Network (2018). <http://www.smartaq.net/>

Gesamtsystems zur Erfassung, Visualisierung und Vorhersage der räumlichen Verteilung von Luftschadstoffen in städtischen Atmosphären, die relevant für den aktuellen Aufenthalt der Bürger sind. Bestehende Daten sollen durch neuartige dynamische Datenquellen entscheidend ergänzt werden. Das Projekt "Smart Air Quality Network" (SmartAQnet) strebt an, ein intelligentes, reproduzierbares, sehr fein aufgelöstes und dennoch preiswertes Messnetzwerk für Luftqualität umzusetzen.“²⁸

„Influence of local emission sources at the spatial and temporal distribution of ultrafine particles (2017-2019)“²⁹.

An drei Messstationen in Bayern (zwei auf dem Land, eine in Augsburg) werden Messungen zu Feinstaubpartikeln durchgeführt. Die ganzjährige Belastungssituation von Ultrafeinpartikeln an charakteristischen Hauptverkehrsstraßen oder Industriegebieten in Bayern ist bisher weitgehend unbekannt. Das Projekt soll Abhilfe schaffen und die bestehenden Daten mit herkunftsbezogenen Messungen und zusätzlichen Messungen zur Luftverschmutzung ergänzen.

Weiteren Forschungsbedarf sieht das Helmholtz Zentrum, Institut für Epidemiologie, bei der Erforschung der gesundheitlichen Einflüsse von Ultrafeinstaub und deren Messverfahren. Derzeit gibt es wenig Beweise für die Auswirkungen langfristiger Exposition von Ultrafeinstaubpartikeln auf die Gesundheit. Auch ist nicht eindeutig bekannt, ob die Auswirkungen der UFP unabhängig von denen von PM_{2.5} und PM₁₀ sind und es existieren nur begrenzt epidemiologische Beweise für die Auswirkungen der kurzfristigen Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln auf die Gesundheit. Zur Klärung der offenen Fragen sind weitere Untersuchungen notwendig: Langzeitstudien sollen klären, ob Regulierungsmaßnahmen notwendig sind. Bislang gibt es keine Richtlinien für die Regulierung von Ultrafeinstaub in der Umgebungsluft und nur wenig offizielle Messstellen, die regelmäßig Ultrafeinstaub messen. Im Jahr 2013 kam das WHO REVIHAAP-Projekt zu dem Schluss, dass die wissenschaftliche Basis für einen Richtwert/Marker für UFP in der Umgebungsluft noch zu klein ist. Zudem gibt es zu wenig epidemiologische Langzeitstudien über die gesundheitlichen Auswirkungen von Ultrafeinpartikeln. UFPs sind bisher nicht in die Routine-

28 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018). "Smart Air Quality Network – SmartAQnet", <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/smart-air-quality-network-smartaqnet.html>

29 Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). „Influence of local emission sources at the spatial and temporal distribution of ultrafine particles“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/influence-of-local-emission-sources/index.html>

messungen von Luftqualitätsmessstellen einbezogen worden, was den Mangel an Daten für epidemiologische Studien erklärt. Neben der NAKO-Gesundheitsstudie³⁰ werden noch weitere Daten und Modelle benötigt.³¹ Um die Kausalität zwischen Ultrafeinstaub-Emissionen und gesundheitlicher Auswirkungen nachweisen zu können, wären Panel- und toxikologische Studien zur biologischen Wirksamkeit und Kurzzeitstudien in Deutschland und verschiedenen Städten nötig. Klärungsbedarf besteht auch zu Ultrafeinstaub an und um Flughäfen.³² Zudem sollten die Messanlagen und -verfahren für Luftqualitätsmessungen sowie Monitoringsysteme und Messnetze für UFP-Messungen entwickelt bzw. optimiert werden.

7. Quellenverzeichnis

Baldauf, R.W., et al. (2016). Conference Report “Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop”, Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13, 1054, <https://europepmc.org/articles/PMC5129264;jsessionid=B43E884A9DC148482F31D372C17BE8F7>

Birmili, W. et al. (2014). „Ultrafeine Aerosolpartikel in der Außenluft: Perspektiven zur Aufklärung ihrer Gesundheitseffekte“, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 11/12 – Nov./Dez. Seite 492-500 oder https://www.researchgate.net/publication/279035406_Ultrafine_aerosol_particles_in_ambient_air_Perspectives_to_elucidate_their_health_effects

Birmili, W. et al. (2016). „Atmospheric Aerosol Measurements in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)“, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 75 (2016) Nr. 11/12 – Nov./Dez. 479-488

Birmili, W. et al. (2016). „Long-term observations of tropospheric particle number size distributions and equivalent black carbon mass concentrations in the German Ultrafine Aerosol Network (GUAN)“, Earth Syst. Sci. Data, 8, 355–382, 2016 www.earth-syst-sci-data.net/8/355/2016/ und doi:10.5194/essd-8-355-2016 und <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research->

30 Nako e.V. (2018). „Die NAKO Gesundheitsstudie (kurz NAKO) ist die bundesweite Gesundheitsstudie mit 200.000 Teilnehmerinnen und Teilnehmern, die 2014 gestartet ist. Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, die Entstehung von Krankheiten wie Krebs, Diabetes, Herzinfarkt und anderen besser zu verstehen, um Vorbeugung, Früherkennung und Behandlung in Deutschland zu verbessern.“, <https://nako.de/>

31 World Health Organization (WH) (2013). “WHO Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project”, Technical Report, http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technicalreport-final-version.pdf

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011-2014). „EU-INTERREG IV B-Projekt: UFIREG - Ultrafeine Partikel und Gesundheit“, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/25818.htm> und <http://ufireg-central.eu/>

Peters, A. et al. (2011). “Lessons from Air Pollution Epidemiology for Studies of Engineered Nanomaterials”, J Occup Environ Med. 2011 Volume 53 (Number 6 Supplement), 8-13, doi:10.1097/JOM.0b013e31821ad5c0, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21654423>

32 S.a. Rima Habre et al (2018). „Short-term effects of airport-associated ultrafine particle exposure on lung function and inflammation in adults with asthma“, Environment International, 2018; 118 (48–59)

[groups/environmental-exposure-assessment/projects/guan-german-ultrafine-aerosol-network/index.html](https://www.umweltbundesamt.de/groups/environmental-exposure-assessment/projects/guan-german-ultrafine-aerosol-network/index.html)

Birmili, W., Leibniz-Institut für Troposphärenforschung e.V. für das Umweltbundesamt (UBA) (2006). Forschungsbericht „Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (>100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland“, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3114.pdf>

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) (2018). „Smart Air Quality Network – SmartAQnet“, <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/smart-air-quality-network-smartaqnet.html>

Cohen, A. J., et al. (2004). „Urban air pollution“ Kapitel 17, Seite 1422 in WHO „Comparative Quantification of Health Risks“, Volume 2, Kapitel „Environmental and occupational risk factors“, <http://www.who.int/publications/cra/chapters/volume2/1353-1434.pdf?ua=1> und <http://www.who.int/publications/cra/en/>

Cory-Slechta Labs, University of Rochester, Medical Center (2018). „The Impact of Developmental Air Pollution (Ultrafine Particle) Exposure on the Brain“, <https://www.urmc.rochester.edu/labs/cory-slechta/projects/the-impact-of-developmental-air-pollution-ultrafin.aspx>

Deutscher Wetterdienst (DWD) (2015). Broschüre „Feinstaubmessung in Kurorten“, https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/medizin/broschuere_feinstaub.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Elder Labs, University of Rochester, Medical Center (2018). „Air Pollution and Alzheimer’s Disease“, <https://www.urmc.rochester.edu/labs/elder/projects/air-pollution-and-alzheimers-disease.aspx>

Europäische Union „European Regional Development Fund“ UFIREG-Projekt „Ultrafine Particles – an evidence based contribution to the development of regional and European environmental and health policy“, Broschüre: „Ultrafine particles - too small to see, too big to ignore: What can regional and European environmental and health policy do?“, http://www.ufireg-central.eu/files/Downloads/UFIREG_Summary_for_Policymakers.pdf Flyer: „Ultrafeine Partikel – Klein, fein und gemein“, https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/UFIREG_Zusammenfassung_web.pdf

Health Effects Institute (HEI) (2018): „Particle Matter – Ongoing Studies“, <https://www.healtheffects.org/air-pollution/particulate-matter>

Health Effects Institute (HEI), HEI Review Panel on Ultrafine Particles (2013). Übersichtsstudie „Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles“, HEI Perspectives 3, Health Effects Institute, Boston, MA, <https://www.healtheffects.org/publication/understanding-health-effects-ambient-ultrafine-particles>

Helmholtz Zentrum München - German Research Center for Environmental Health, EPI Institute of Epidemiology (2018). „Research Group Environmental Exposure Assessment-Projects“

<https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/index.html>

Helmholtz Zentrum München (2015). „Feinstaub: ultrafeine Partikel beeinflussen Herzfunktion“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilungnews/article/26522/index.html>

Helmholtz Zentrum München (2016). Diabetesforschung „Risikofaktor Luftverschmutzung“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/aktuelles/uebersicht/pressemitteilungnews/article/35848/index.html>

Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). „Aerosol measurement station in Augsburg (2004 - ongoing)“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/aerosol-measurement-station-in-augsburg/index.html>

Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). „UF&Health: "Health effects of ultrafine particles in Europe", <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/uf-health/index.html>

Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/awair/index.html>

Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). „Smart Air Quality Network“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/smartaqnet/index.html>

Helmholtz Zentrum München, Forschungsgruppe "Environmental Exposure Assessment" (2018). „Influence of local emission sources at the spatial and temporal distribution of ultrafine particles“, <https://www.helmholtz-muenchen.de/epi/research/research-groups/environmental-exposure-assessment/projects/influence-of-local-emission-sources/index.html>

Institut für Agrar- und Stadtökologische Projekte an der Humboldt-Universität zu Berlin (IASP) (2012). „Feinstaubbindungsvermögen der für Bauwerksbegrünung typischen Pflanzen“, <http://www.iasp.asp-berlin.de/bilder/feinstaub-2012.pdf>

International Agency for Research on Cancer (IARC) (2013). “IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths”, https://www.iarc.fr/en/media-centre/iarcnews/pdf/pr221_E.pdf

Kumar, P. et al. (2014). “Ultrafine particles in cities”, Environment International 66 (2014) 1–10, https://ac.els-cdn.com/S016041201400018X/1-s2.0-S016041201400018X-main.pdf?tid=3799c4c6-b265-4211-99fc-4293cc2cb5e6&acdnat=1535466105_9b3429f15d1869624a47ac42d9300220

-
- Lanzinger, S. et al. (2016). "Associations between ultrafine and fine particles and mortality in five central Europe-an cities - Results from the UFIREG study", *Environment International* 88 (2016) 44–52, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015301100?via%3Dihub>
- Li, M. et al. (2015). "Assessing the Capacity of Plant Species to Accumulate Particulate Matter in Beijing, China", <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0140664>
- Meier, Chr. *Neue Züricher Zeitung (NZZ)* (2013). „Dreckige Luft als Gesundheitsrisiko“, <https://www.nzz.ch/wissen/wissenschaft/dreckige-luft-als-gesundheitsrisiko-1.18143918>
- Nako e.V. (2018). „NAKO Gesundheitsstudie“, <https://nako.de/>
- Neuberger, M. (2007). „Umweltepide miologie und Toxi kologie von Nanopartikeln (Ultrafeinstaub) und Feinstaub“, Gacsó A., Greßler S., Schiemer F. (eds) *Nano*. Springer, Vienna
- Paola, P. et al. (2015). "Are we forgetting the smallest, sub 10 nm combustion generated particles?", *Particle and Fibre Toxicology* (2015) 12:34 DOI 10.1186/s12989-015-0107-3, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4628326/>
- Peters, A. et al. (2011). "Lessons from Air Pollution Epidemiology for Studies of Engineered Nanomaterials", *J Occup Environ Med.* 2011 Volume 53 (Number 6 Supplement), 8-13, doi:10.1097/JOM.0b013e31821ad5c0
- Peters, A. et al. (2011). "Lessons from Air Pollution Epidemiology for Studies of Engineered Nanomaterials", *J Occup Environ Med.* 2011 Volume 53 (Number 6 Supplement), 8-13, doi:10.1097/JOM.0b013e31821ad5c0, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21654423>
- Pfanz, H. et al. (2006). „Das Staubfangvermögen von Vegetation“ *Taspo* 3, 12-15.
- Pozzer, A., (2017). "Impact of agricultural emission reductions on fine particulate matter and public health", *Atmos. Chem. Phys.*, doi:10.5194/acp-2017-390, 201, www.atmos-chem-phys.net/17/12813/2017/
- Rima Habre et al (2018). „Short-term effects of airport-associated ultrafine particle exposure on lung function and inflammation in adults with asthma“, *Environment International*, 2018; 118 (48–59), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412018301211?via%3Dihub>
- Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011-2014). „EU-INTERREG IV B-Projekt: UFIREG - Ultrafeine Partikel und Gesundheit“, <https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/luft/25818.htm> und <http://ufireg-central.eu/>
- Schubert, A., *Süddeutsche Zeitung (SZ.de)* (2017). „Luftverschmutzung durch Ultrafeinstaub“, <https://www.sueddeutsche.de/muenchen/luftverschmutzung-da-liegt-was-in-der-luft-1.3752834>
- Smart Air Quality Network (2018). <http://www.smartaq.net/>

Speak, A.F. et al. (2012). "Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city", Atmospheric Environment Volume 61, December 2012, Pages 283-293, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231012007157>

Stone, V. et al. (2017). „Nanomaterials Versus Ambient Ultrafine Particles: An Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge“, <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/EHP424>

Umweltbundesamt (UBA) (2013). „Aus welchen Quellen stammt Feinstaub?“ <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/aus-welchen-quellen-stammt-feinstaub>

Umweltbundesamt (UBA) (2013). „Warum ist Feinstaub schädlich für den Menschen?“, <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/warum-ist-feinstaub-schaedlich-fuer-den-menschen>

Umweltbundesamt (UBA) (2018). „Relation der Feinstaubpartikel“, <https://www.umweltbundesamt.de/bild/relation-der-feinstaubpartikel>

Umweltbundesamt (UBA) und Schweizerisches Bundesamt für Umwelt (BAFU) (2018). "Health Effects of Ultrafine Particles Systematic literature search and the potential transferability of the results to the German setting", Project number: 003777 7205 UKAGEP

University of Rochester Medical Center School of Medicine and Dentistry (2018). Publikationsliste unter: <https://www.urmc.rochester.edu/profiles/display/138108>

Wichmann, Schlipköter, Fülgraff – Handbuch Umweltmedizin – 54. Erg. Lfg. 6/15.

World Health Organization (WHO) (2013). "WHO Review of evidence on health aspects of air pollution – REVI-HAAP Project", Technical Report, http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technicalreport-final-version.pdf

World Health Organization (WHO) (2013). "Health effects of particulate matter", http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf
