

Gesundheitliche Risiken der bodennahen Luftverschmutzung durch den Flugverkehr

Positionspapier – Fakten und dringende Maßnahmen

Siri Roßberg, Oswald Rottmann, Dieter Lehmkuhl, Heinz Fuchsigt, Joachim Meifort, Gerald Hainbuch, Thomas Lob-Corzilius; AG Saubere Luft, KLUG e. V. und Bundesvereinigung gegen Fluglärm e. V.

Ziel

Eine zunehmende Zahl an Publikationen belegt die besorgniserregende Wirkung von Ultrafeinstaubpartikeln (UFP) auf das menschliche Gewebe. Lungen- Gefäß- und Krebserkrankungen treten gehäuft in der Umgebung von Flughäfen auf [21]. Mit diesem Positionspapier zur bodennahen Luftverschmutzung durch den Flugverkehr durch Ultrafeinstaub verweisen Autorin und Autoren auf dringende Maßnahmen zum Gesundheitsschutz unter Berücksichtigung arbeits- und umweltmedizinischer, wirtschaftlicher, technischer und regulatorischer Hintergründe.

Belastung durch flugverkehrsbedingten Ultrafeinstaub (UFP)

Triebwerksemisionen machen die Flughäfen zu Ultrafeinstaub-Hotspots. Triebwerke emittieren Luftsadstoffe, vor allem ultrafeine Partikeln in großen Mengen in die Atemluft. Sie stellen für alle Beschäftigten, Besucher, Passagiere, Anwohner und insbesondere Kinder im Umkreis bis 20 km ein hohes Gesundheitsrisiko dar.

Gesundheitliche Auswirkungen

UFP sind mit vielen toxischen und kanzerogenen Stoffen beladen. Sie dringen

über Nase und Lunge bis tief ins Gewebe und die Zellen vor. Dort verursachen sie nachweislich Zellschäden und sind an vielen Krankheiten beteiligt: Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Herzinfarkt und Schlaganfall, Demenz, Diabetes mellitus, Frühgeburtlichkeit, Lungenerkrankungen wie Asthma, COPD und Lungenkrebs, aber auch Blasen- und Hirntumoren.

Situation des Luftverkehrs

Die Emissionen durch den Luftverkehr mit einem globalen Wachstum von 3–5 % jährlich steigen im Vergleich zu anderen Bereichen stärker an und verhindern das Net Zero-Ziel bis 2050 CO₂-neutral zu werden, um das 1,5-Grad-Ziel des Pariser Klimaabkommens einzuhalten. Neben den klimarelevanten CO₂- und Non-CO₂-Effekten werden bislang die lokalen und regionalen Schadstoffbelastungen durch die Triebwerksemisionen praktisch ignoriert. Von diesen Emissionen sind allein in der EU 52 Mio. Menschen betroffen.

Wirtschaftliche Aspekte

Durch ungebremstes Wachstum verliert der Wirtschaftszweig Luftverkehr zunehmend seinen volkswirtschaftlichen Nutzen, da die von ihm verursachten Schäden für Klima und Gesundheit stark ansteigen. Zusammen mit den hohen Subventionen für die Luftfahrt tragen die-

se externen Kosten die Steuerzahlenden; der wirtschaftliche Gewinn geht an die Flugindustrie, ohne dass sie die Verantwortung für die Schadstoff- und Klimakosten trägt.

Dringende Maßnahmen zur Reduzierung der UFP-Belastung

Heute schon durchführbare Maßnahmen können die Schadstoffbelastung an den Flughäfen für Millionen Menschen deutlich reduzieren. Die effektivsten Maßnahmen sind das **emissionsfreie Schleppen der Flugzeuge**, die **Kerosinentschaffung** und die **Reduzierung von Flügen**. Das erfordert politische Initiativen. Eine Reihe dieser Maßnahmen wurden bereits vom Umweltbundesamt genannt [10, 29, 37].

1. Emissionsfreies Taxiing

(z.B. TaxiBot) – zeitnah realisierbar

TaxiBot® können als elektrisch betriebene, emissionsfreie Schleppfahrzeuge fast den gesamten Rollbetrieb übernehmen (von der Landung zum Terminal, vom Terminal bis zur Startbahn), auch für Rückwärtsbewegungen für die bislang „Pushbacks“-Zugfahrzeuge notwendig waren [33]. Etwa die Hälfte aller Emissionen und ein Großteil der Kerosinkosten des LTO-Zyklus werden dadurch vermieden. Das ist eine extrem nachhaltige Lösung.



©123RF Stockphoto

2. Schwefelarmes Kerosin (SaK) – zeitnah realisierbar

Kerosin enthält viel Schwefel (700 ppm), der einen großen Anteil an ultrafeinen Partikeln verursacht. Im Gegensatz dazu ist der Schwefelgehalt in Diesel und Benzin (Straßenverkehr und Binnenschifffahrt) auf 10 ppm begrenzt und wird derartig bereits in großem Umfang hergestellt. Schwefelarmes Kerosin verursacht 30–50 % weniger UFP. Die Kosten für die Entschwefelung liegen bei 1–2 Cent/Liter. In Europa gibt es schon vereinzelt Standorte, wo schwefelfreies Kerosin technisch problemlos hergestellt wird [20].

3. Der Flugverkehr muss seinen Wachstumspfad verlassen (minus 20 % bis 2030 / Bundesvereinigung gegen Fluglärm) – zeitnah realisierbar

Wenn Deutschland bis 2045 klimaneutral wirtschaften und leben will, muss auch der Luftverkehr zur Minderung der Emissionen beitragen. Das ist nur mit einer Reduzierung der Flugbewegungen möglich, da es in absehbarer Zeit keinen emissionsfreien, CO₂-neutralen Treibstoff

geben wird. Eine moderate Verringerung der jährlich zu vergebenden Slots für Flüge um 3% würde dazu beitragen, die Emissionen dauerhaft zu senken [27]. Allein die Kurzstreckenflüge (<500 km) belegen 20 % der Slots an den größten deutschen Flughäfen, die allerdings nicht durch Langstreckenflüge ersetzt werden dürfen. Wie vom Nachhaltigkeitsrat der Bundesregierung (SRU) und von Professionellen aus der Luftfahrtindustrie [17, 30] selbst vorgeschlagen, sollte ein Cap mit Emissionsminderungsziel (absolute CO₂-Budgets für alle Sektoren) eingeführt werden, der sich an dem verbleibenden CO₂-Budget orientiert. Nur so können die Klimaziele auch für den Luftverkehr überhaupt erreicht werden.

4. Filteranlagen in Flughafengebäuden – zeitnah realisierbar

In Flughafengebäuden herrschen unzumutbar hohe UFP-Konzentrationen in der Atemluft. Der Flughafen Schiphol setzte hier ein Zeichen und hat Luftfilter vorgeschrieben, die in den Flughafenhallen die Schadstoffkonzentrationen deutlich senken [9]. Wenn sich diese Technik be-

währt, muss eine entsprechend gesetzliche Vorschrift zum Gesundheitsschutz für Deutschland folgen und ist zeitnah umsetzbar.

5. Kerosinsteuern – zeitnah realisierbar

Politisch zu fordern ist die Umsetzung einer Kerosinsteuern, die von Flugindustrie und Flugpassagieren entrichtet werden muss, da 18 % der CO₂-Emissionen des Verkehrs durch das Fliegen verursacht werden. Außerdem stellt die fehlende Besteuerung des Kerosins eine starke staatliche Subventionierung dar. Eine solche Mineralölsteuer wird von anderen Verkehrssektoren bereits entrichtet. Laut einem rechtlichen Gutachten ist eine Kerosinsteuern gerecht und unkompliziert umsetzbar [36]. Anreize zum Fliegen (Vielfliegerbonus/Kreditkartenumsätze) sollten unterbunden und im Gegenteil eine zusätzliche Vielfliegersteuer eingeführt werden – vor allem für Unternehmen und die Luftfahrtgesellschaften.

6. Flugrouten und klimafreundlichere Flugmodelle

Flugroutenänderungen mit Zwischenstopps tragen dazu bei, klimafreundlichere Flugmodelle und einen echten emissionsreduzierten Luftverkehr zu ermöglichen mit effektiveren Motoren, Hybridmodellen und Ausschöpfung der Kapazitäten für Elektroflugverkehr [25, 26]. Privatjets sollten ab gegebener technologischer Reife ausschließlich als Elektroflugzeuge zugelassen werden.

Änderungen der Flugrouten, -höhen und -zeiten können außerdem zu weniger wärmenden Zirruswolken führen, die eine beachtliche Rolle bei der Entstehung von Extremwetterlagen spielen; Extremwetterfolgen wie z.B. Starkregen mit Überschwemmungen sind gesundheitlich bedeutsam bei relevantem Verletzungs- und Sterblichkeitsrisiko wie auch einer starken mentalen Belastung.

Hintergründe

Belastung durch flugverkehrsbedingten Ultrafeinstaub am Boden

Flughäfen sind Hotspots für UFP – der kleinsten Feinstaub-Fraktion im Größenbereich von Nanometern. Auf dem Flughafengelände liegt die Konzentration der Tagesmittelwerte bei 50.000 bis 150.000 Partikeln/cm³ und damit 5- bis 15-mal höher als die von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) als „hoch“ definierte Konzentration von 10.000 p/cm³ [39]. Von den Emissionen sind naturgemäß die Beschäftigten auf dem Flughafengelände am meisten betroffen, aber auch hunderttausende Anwohner in einem weiten Umkreis um den Flughafen. Die großen UFP-Mengen verbleiben nicht nur auf dem Flughafengelände, sondern werden mit dem Wind kilometerweit ins Umland transportiert. Noch 20 km entfernt vom Flughafen können die erhöhten UFP-Konzentrationen in der Atemluft von Wohngebieten gemessen werden. In der Nähe der 32 europäischen Flughäfen wurden ca. 52 Mio. exponierte Anwohner ermittelt [8].

Etwa 18 % der deutschen CO₂-Emissionen aus dem Verkehr sind luftverkehrsbedingt, unterliegen bislang keiner Regulation und sind deshalb besonders relevant. Während im Straßenverkehr Grenzwerte gelten und die Filter- und Katalysatortechnik Stickoxide und Partikel (Dieselpartikel um den Faktor 10.000) reduzieren, ist derartiges bei Triebwerken aus technischen Gründen nicht möglich. Deshalb korreliert der Schadstoffausstoß, besonders während des LTO-Zyklus (Landing and Take Off-Cycle) eng mit dem Kerosinverbrauch und der Zahl der Flugbewegungen. Den höchsten Anteil an schädlichen Emissionen im LTO-Zyklus hat das Rollen (Taxiing) am Boden, weil die Triebwerke untertourig laufen. Hier entstehen die meisten Schadstoffe als unverbrannte Kohlenwas-

serstoffe wie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Kohlenmonoxid (CO) und UFP [11]. Aus der Verbrennung von einer Tonne Kerosin resultieren bis zu 20 kg Luftschatstoffe [16].

Gesundheitliche Auswirkungen

Etwa 350.000 Todesfälle pro Jahr sind in der Europäischen Union noch immer auf die Exposition gegenüber (Ultra-) Feinstaub und anderen Luftschatstoffen zurückzuführen [12]. Diese Zahl ist zwar rückläufig, aber nur durch die gesetzlich gelenkte Reduzierung von Luftschatstoffen (Verkehr, Industrie, Haushalte) erreicht worden. Dieser Weg muss weiterverfolgt werden, um vorzeitige Todesfälle zu verhindern, die Lebensqualität zu verbessern und enorme Gesundheitskosten zu sparen.

Ultrafeinstäube aus der Kerosinverbrennung sind immer toxisch. Die Feinstaubemissionen und ihre Partikelkomponenten stehen in direkter Abhängigkeit vom Schwefelgehalt wie eine Analyse in Bezug auf Herzkreislauf-Events zeigt [23]. Je mehr UFP in die Zelle gelangen, desto größer die Schäden. Sie verursachen Entzündungen und bei hochgradig UFP-exponierte Menschen zeigen sich mehr Krebserkrankungen wie Hirntumoren [40]. UFP verursachen oxidativen Stress, wodurch Zellmembranen, strukturelle und funktionale Moleküle und die DNA geschädigt werden. Oxidativer Stress in den Lungenepithelzellen führt direkt zu vermehrten Atemwegsinfektionen, was für Kinder, Lungenerkrankte und ältere Menschen besonders relevant ist.

Außerdem zeigen sich mehr Asthmerkrankungen bei Kindern und Erwachsenen [8]. Auch die Krankenquoten von Flughafenbeschäftigten von Frankfurt und München liegen mit rund 9 % deutlich über dem Bundesdurchschnitt von 6,8 % und sind damit Ausdruck der gesundheit-

lichen Gefährdung und auch wirtschaftlich relevant [18].

Weitere gesundheitlichen Folgen sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen wie Bluthochdruck oder Gefäßerkrankungen [22], Demenz und andere Tumorerkrankungen wie Blasenkrebs. Bei erhöht feinstaubexponierten Schwangeren konnten Assoziationen zu Frühgeburtlichkeit und vermindertem Geburtsgewicht nachgewiesen werden, bei den Kindern verminderte Lungenreifung und funktionelle Kapazität, neurologisch verminderte Impulskontrolle sowie vermehrt Diabeteserkrankungen, weil Luftschatstoffe endokrine Botenstoffe erhöhen, die zu mehr Übergewicht führen [24].

Abgesehen von der schweren individuellen Belastung durch derartige Erkrankungen trägt die Gemeinschaft milliarden schwere vermeidbare Kosten. Viele epidemiologische Assoziationsergebnisse haben eindeutige Hinweise für den Zusammenhang von UFP mit einer Vielzahl von Erkrankungen geliefert, tierexperimentelle Untersuchungen konnten die pathophysiologischen Vorgänge erhärten und wichtige prospektive epidemiologische Daten werden folgen. Auch wenn die WHO bislang noch keine Richtwerte aufgrund der noch lückenhaften Erfassung gegeben hat, erfordert die aktuelle Datenlage schon jetzt dringend Maßnahmen.

Regulation des Luftverkehrs

Im internationalen Flugverkehr sind gleichzeitig über 20.000 Flugzeuge in der Luft [4]. Dabei werden ca. 1 Mrd. Liter Kerosin täglich verbrannt, was einem Ausstoß von 5 Mio. Tonnen Luftschatstoffen entspricht [19, 31]!

In Deutschland wurden 2024 etwa 50 Mio. Tonnen Diesel und Benzin, sowie 9 Mio. Tonnen Kerosin abgesetzt. Der Flugverkehr verursacht also fast ein

Fünftel (18 %) der mobilitätsbedingten CO₂-Emissionen [1]. Non-CO₂-Effekte (u.a. Kondensstreifenbildung) bzw. so genannte indirekte Effekte tragen außerdem zum globalen Erwärmungseffekt bei und werden auf den zusätzlich dreifachen Wert der eigentlichen CO₂-Emission geschätzt. Im internationalen Luftverkehr sind die Treibhausgasemissionen bis 2019 im Vergleich zu 1990 um 146 % gestiegen. Bis 2030 wird eine weitere Steigerung um ein Drittel prognostiziert [14].

Internationale Initiative zur Regulierung des Luftverkehrs: CORSIA ist eine internationale Initiative der zivilen Luftfahrtgesellschaft ICAO, die für den zivilen Luftverkehr, für den Luftverkehrsmarkt und CO₂-Zertifikatshandel zuständig ist. Allerdings trägt CORSIA **nicht** zur Emissionsreduktion des Flugverkehrs bei, da de facto nicht reduziert und nur vermeintlich kompensiert wird. CORSIA ist nicht bindend und keine Luftfahrtunternehmen ist bislang gezwungen für mehr Passagierauslastung pro Flugzeug zu sorgen oder die Anzahl der Flüge zu beschränken [35].

Europäische Regulierung der luftverkehrsbedingten Schadstoffemissionen: Kerosinbetriebene Triebwerke emittieren fast ausschließlich UFP (Triebwerksemisionen haben ihr Maximum bei etwa 20 nm, also PM_{0,02}). Für ultrafeine Partikeln gab es bislang keine Regulierung. Aktuell wurden aber erstmals verpflichtende Messungen durch die neue europäische Richtlinie **Ambient Air Quality Directive** verabschiedet, was erstmals eine systematische Erfassung der Belastung ermöglicht [13]. Außerdem wurden in der Richtlinie die Grenzwerte für die Schadstoffe für PM₁₀ und PM_{2,5} deutlich gesenkt.

Im „Fit for 55“-Paket hat die EU 2023 ihr Reduktionsziel von 55 % bis 2030 auch für luftfahrtbedingte CO₂-Emissionen geregelt. Seit 2024 sinkt der Anteil der kostenlos verteilten Emissionszertifikate kontinuierlich und soll zukünftig auch auf Non-CO₂-Effekte ausgedehnt werden. Die Verordnung über die Schaffung gleicher Ausgangsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr (**ReFuelEU Aviation**) zielt auf einen zunehmenden Beimischungsanteil von nachhaltigen

Flugtreibstoffen (*Sustainable Aviation Fuels – SAF*) für alle Betreiber an EU-Flughäfen, die durch außer-europäisches Tanken nicht umgangen werden können. Außerdem sollen RFNBOs (*Renewable Fuels of non-biological origin*) zunehmend eingesetzt werden [15].

De facto werden diese Optionen und Verpflichtungen für nachhaltigere Brennstoffe von der Industrie verlassen [28]. Zudem wird SAF in den nächsten Jahrzehnten nicht in den nötigen Mengen erzeugt werden können. Laut dem Portal Statista beträgt die weltweite SAF-Produktion nur knapp 20 % des bis zum Jahr 2040 voraussichtlich benötigten SAF. Die Beimischungsquote im Jahr 2050 soll 70 % betragen; zwangsläufig werden selbst bei Erreichung dieser Ziellinie immer noch 30 % fossiles Kerosin benötigt [3].

Obwohl der Bedarf an SAF in den nächsten Dekaden nicht gedeckt werden kann, sollten Produktion und Forschung weitergeführt werden. Es ist zu bedenken, dass SAF zwar die Schadstoffemissionen reduziert, jedoch auch bei der Verbrennung von schwefel-/aromatenfreien Kraftstoffen UFP und andere schädliche Verbindungen entstehen. Obwohl die Flugverkehrsindustrie und die Raffinerien auf SAF-Produktion setzen und massiv investieren, wird es nicht möglich sein, den Bedarf an grünem biologischen und synthetischen SAF zu decken. Immense Anbauflächen wären erforderlich, um pflanzliche Öle in der notwendigen Menge zu gewinnen. Sie stehen in Konkurrenz zur anderen Landnutzungsformen (Ernährung, Naturerhalt). Ähnliches gilt für den Landverbrauch für Photovoltaikanlagen zur Gewinnung von grünem Wasserstoff und resultierend nachhaltigem Treibstoff. Für die nächsten Jahrzehnte werden durch SAF daher nur äußerst geringe Verbesserungseffekte eintreten [32, 38].



Wirtschaftliche Aspekte

Die deutsche Luftfahrtindustrie wächst nach den COVID-Jahren wieder und beschäftigt mehr Menschen als je zuvor. 2023 war das erste Jahr, in dem die Branche die Werte von 2019 wieder erreicht bzw. übertroffen hat. Der Gesamtumsatz liegt bei 52 Mrd. Euro (BDLI). Davon entfallen auf die zivile Luftfahrt 39 Mrd. Euro [2].

Flugverkehr ist zweifelsfrei ein bedeutsamer Wirtschaftszweig (privat, geschäftlich, Cargo). Der Flughafen Hamburg bezifferte kürzlich seinen Beitrag auf über 11.000 Arbeitsplätze und mehr als 660 Mio. Euro Bruttowertschöpfung jährlich [5]. Frankfurt und München übertreffen diese Zahlen bei weitem. In Deutschland sind mit direkten, indirekten und induzierten Arbeitsplätzen insgesamt mehr als 800.000 Menschen beschäftigt.

Allerdings zitiert die Flugverkehrslobby in ihrem Berichten nur Wachstum, Wertschöpfung und Arbeitsplätze. Die Kehrseite des Wirtschaftswachstums sind Umweltbelastungen durch Fluglärm, Schadstoffe und Klimawirkung. Nicht berücksichtigt werden die externen Umwelt- und Gesundheitskosten des Flugverkehrs mit rund 13 Cent pro Personenkilometer. Diese Kosten werden betriebswirtschaftlich nicht berücksichtigt, damit trägt sie mittelfristig der Steuerzahler, und langfristig die Gemeinschaft über Umwelt- und Klimaschäden. Allein 2024 verzeich-

nete der **inländische** Luftverkehr 4,9 Mrd. Personenkilometer, die 637 Mio. Euro externe Kosten wie Gesundheitskosten verursachen [7].

Der Flugverkehr ist hoch subventioniert. Zusammen belaufen sich die jährlichen Subventionen und Steuervergünstigungen für den Flugverkehr in Deutschland auf mindestens 12 Mrd. Euro [34]. Die Luftverkehrsteuer, die seit 2024 erhöht wurde, bringt dem Staat zwar Einnahmen (2024: ca. 1,68 Mrd. Euro), gleicht aber die Steuerausfälle bei weitem nicht aus. Beispielsweise werden riesige Flächen im Wert zweistelliger Milliardenbeträge für Flughäfen gratis zur Verfügung gestellt [6]. In der Zeit des spürbaren Klimawandels müssen Airlines und Flughafenbetreiber Verantwortung dafür übernehmen, das ungebremste Wachstum nicht weiter voranzutreiben. Bis auf wenige Ausnahmen sind deutsche Flughäfen im Besitz der öffentlichen Hand, und eine politische Einflussnahme auf ein beschränktes Wachstum ist deshalb möglich.

Postscriptum

Im Rahmen der **»Berlin Scienceweek** hat das Umweltbundesamt (UBA) am 6.11.2025 erste Ergebnisse seiner Studie zur „Ultrafeinstaubbelastung durch Flughäfen in Berlin“ (**»UltraFLEB**) vorgestellt. Es wurden für die Jahre 2019–2023 umfangreiche UFP-Messungen sowie eine mathematische Modellierung der Belastungen durch UFP und anderer Luftschad-

stoffe für das gesamte Studiengebiet um den Flughafen Berlin Brandenburg (BER) durchgeführt. Danach können die UFP-Konzentrationen je nach Witterung und Windrichtung erhöht sein. Das UBA begrüßt die in der neuen EU-Luftqualitätsrichtlinie von 2024 erstmals verabschiedete verpflichtende Messung, wozu UltraFLEB einen wichtigen Beitrag liefert. Diese Daten werden im Rahmen der **»BEAR-Studie** genutzt, um mögliche Effekte bei Kindern zu erkennen. Dafür wurden ab 2020 bis Ende 2024 über 1000 Kinder (6–12 Jahre) aus Berlin-Brandenburg umfassend somatisch/pulmonal und kognitiv untersucht. Eine prospektive Studie dieser Größe erfolgt weltweit erstmals. Vorläufige Ergebnisse deuten Unterschiede in der kognitiven Verarbeitung zwischen Exponierten und Nicht-Exponierten an. Ein weiterer Follow up ist geplant.

Die kürzlich beschlossene Rücknahme der Flugsteuer und die geplante Abschaffung der Beimischung synthetischen E-Kerosins als Beitrag für eine bessere CO₂-Bilanz entgegen bestehender EU-Bestimmungen entlasten die Flugindustrie noch mehr in ihrer Verantwortung und schwächen Klimaschutzbemühungen schwerwiegend.

Dr. med. Siri Roßberg

Sprecherin der AG Saubere Luft
siri.rossberg@klimawandel-gesundheit.de

Literatur

- 1 AG Energiebilanzen e.V. AGEB. Energieverbrauch in Deutschland. Verfügbar unter: www.ag-energiebilanzen.de; aufgerufen am 10.11.2025
- 2 Airliners. Deutsche Luftfahrtindustrie steigt Umsatz 2024 deutlich. 22.05.2025. Verfügbar unter: <https://www.airliners.de/deutsche-luftfahrtindustrie-steigt-umsatz-2024-deutlich/80944>, aufgerufen am 10.11.2025
- 3 Airliners. EU-Parlament beschließt SAF-Quoten für den Luftverkehr. 13.09.2023. Verfügbar unter: <https://www.airliners.de/eu-parlament-beschliesst-saf-quoten-luftverkehr/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 4 Airliners. Flugverkehr erreicht Rekord: Die meisten Flüge an einem Tag. 10.03.2025. Verfügbar unter: <https://www.airliners.de/flugverkehr-erreicht-rekord-fluege-tag/69784>; aufgerufen am 10.11.2025
- 5 Airliners. Studie zeigt wirtschaftliche Bedeutung des Hamburger Flughafens. 14.04.2025. Verfügbar unter: <https://www.airliners.de/studie-zeigt-wirtschaftliche-bedeutung-hamburger-flughafens/80289>; aufgerufen am 10.11.2025
- 6 Bodenrichtwerte Deutschland 2025|BORIS Deutsch-

- land. Stand November 2025. Verfügbar unter: www.bodenrichtwerte-deutschland.de; aufgerufen am 10.11.2025
- 7 Bürgerinitiative für Fluglärmenschutz in Hamburg und Schleswig Holstein. Internalisierung der externen Gesundheits-, Umwelt- und Klimakosten des Deutschen Luftverkehrs. 07.09.2019. Verfügbar unter: <http://www.noflyham.de/2019/09/07/internalisierung-externe-umweltkosten-luftverkehr/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 8 CE Delft. Health Impacts of Aviation UFP Emissions in Europe. Juni 2024. Verfügbar unter: <https://cedelft.eu/publications/health-impacts-of-aviation-ufp-emissions-in-europe/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 9 Clean Air Company. Schiphol experimentiert mit einem Gerät zur Entfernung von ultrafeinem Staub aus der Luft. Stand 11.9.2023. Verfügbar unter: <https://www.cleanaircompany.eu/schiphol-experimentiert-mit-einem-gerat-zur-entfernung-von-ultrafeinem-staub-aus-der-luft/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 10 DLR Institute of Air Transport. Demonstrator climate and environmentally friendly air transport. Verfügbar unter: <https://www.dlr.de/en/iv/research-transfer/projects/ongoing-projects/d-kult>; aufgerufen am 10.11.2025
- 11 Edebeli J. ZHAW Zurich University of Applied Sciences. Aircraft engines: Idle/taxi gaseous emissions. 16.02.2023. Verfügbar unter: <https://blog.zhaw.ch/metenvia/2023/02/16/aircraft-engines-idle-taxi-gaseous-emissions/>; aufgerufen am 10.11.2026
- 12 Euractiv. EU-Umweltagentur: Luftverschmutzung für 350.000 Todesfälle jährlich verantwortlich. Verfügbar unter: <https://www.euractiv.de/section/gesundheit/news/eu-umweltagentur-luftverschmutzung-fuer-350-000-todesfaelle-jaehrlich-verantwortlich/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 13 Europäische Union. Richtlinie (EU) 2024/2881 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2024 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt 2024/2881, 20.11.2024. Verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202402881; aufgerufen am 10.11.2025
- 14 Europäisches Parlament. CO₂-Emissionen des Luft- und Schiffsverkehrs: Zahlen und Fakten (Infografik). Stand 14.06.2022. Verfügbar unter: <https://www.europarl.europa.eu/topics/de/article/20191129ST067756/co2-emissionen-des-luft-und-schiffsverkehrs-zahlen-und-fakten-infografik>; aufgerufen am 10.11.2025
- 15 European Commission. ReFuelEU aviation. Verfügbar unter: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refuel-eu-aviation_en; aufgerufen am 10.11.2025
- 16 European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 – Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Report No 13/2019, 17.10.2019. Verfügbar unter: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2019>; aufgerufen am 10.11.2025
- 17 Expertise Network Sustainable Urban Tourism (ENSUT). Call aviation to action, 15.05.2025. Verfügbar unter: <https://www.ensut.eu/2025/05/15/call-aviation-to-action/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 18 Flughafen München. Integrierter Bericht 2024. Verfügbar unter: <https://bericht2024.munich-airport.de/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 19 Globometer. Kraftstoffverbrauch durch die weltweite Luftfahrt, in Liter. Verfügbar unter: <https://de.globometer.com/flugzeug-kraftstoff.php>; aufgerufen am 10.11.2025
- 20 Hemmings B. Entschwefelung des Kerosins. Transport & Environment, 23.08.2019. Verfügbar unter: https://www.ultrafeinstaub-studie.de/media/16_entschwefelung_kerosin_hemmings_.deutsch.pdf; aufgerufen am 10.11.2025
- 21 Hoffmann B, Ogurtsova K. Adding Pieces to the Puzzle: Ultrafine Particles and Lung Cancer. Am J Respir Crit Care Med 2024; 209(3): 241–242
- 22 Janssen N, Strak M, Jacobs J et al. Health effects of long-term exposure to ultrafine particles around Schiphol airport. ISEE 2022: 34th Annual Conference of the International Society of Environmental Epidemiology, 18.09.2022. Verfügbar unter: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/isee.2022.0-OP-072>; aufgerufen am 10.11.2025
- 23 Jin Z, Yin Y, Li X et al. Association between short-term exposure to fine particulate matter constituents and sudden cardiac death: A case-crossover study in Fujian Province, China. Ecotoxicology and Environmental Safety 2025; 305: 119203
- 24 Johnson NM, Hoffmann AR, Behlen JC et al. Air pollution and children's health – a review of adverse effects associated with prenatal exposure from fine to ultrafine particulate matter. Environ Health Prev Med 2021; 26(1): 72
- 25 Klimaschutzportal. Nachhaltiger Luftverkehr durch klimaoptimierte Flugrouten. Verfügbar unter: <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/klimaoptimierte-flugrouten/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 26 Klimaschutzportal. Zukünftige Flugzeugkonzepte erfordern neue Designs. Verfügbar unter: <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/flugzeuge-von-morgen/innovative-flugzeugkonzepte/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 27 Minus 20% bis 2023. Luftverkehr muss Wachstumskurs verlassen! Verfügbar unter: <https://minus20bis2030.info/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 28 Plucinska J, Brock J, Kaesebier M, Paul C. The airline industry's dirty secret: Clean jet fuel failures. Reuters 11.08.2025. Verfügbar unter: <https://www.reuters.com/graphics/AVIATION-SUSTAINABILITY/movadillypa/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 29 Reichmuth J. Möglichkeiten zur Minderung von UFP: Optimierung im Bereich des Bodenverkehrs von Flughäfen. Expertenanhörung Ultrafeinstaub. Frankfurt 2019
- 30 Sachverständigenrat für Umweltfragen. Wo stehen wir beim CO₂-Budget? Eine Aktualisierung. Stand Oktober 2024. Verfügbar unter: https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/04_Steilungnahmen/2020_2024/2024_03_CO2_Budget.pdf?__blob=publicationFile&v=8; aufgerufen am 10.11.2025
- 31 Statista. Durchschnittlicher Kerosinverbrauch der deutschen Flugzeugflotte in den Jahren 1990 bis 2024. 29.08.2025. Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253315/umfrage/kerosinverbrauch-der-fluggesellschaften-aus-deutschland/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 32 Steiner S. Zweifel an der Machbarkeit der CO₂-Neutralität 2050: Luftfahrtbranche kämpft mit Technologie- und Kraftstoffengpässen. 13.10.2025. Verfügbar unter: <https://aviation.direct/en/zweifel-an-der-machbarkeit-der-co2-neutralitaet-2050-luftfahrtbranche-kaempft-mit-technologie-und-kraftstoffengpaessen>; aufgerufen am 10.11.2025
- 33 TaxiBot. Verfügbar unter: <https://taxibot-international.com/>; aufgerufen am 10.11.2025
- 34 Thießen F. Subventionen im Luftverkehr – Überblick und Schlussfolgerungen. Bundesvereinigung gegen Fluglärm e.V. 03.05.2021. Verfügbar unter: https://baw-fluglaerm.de/files/PDFs/2021_05_03_Thiessen_Subventionen_Luftverkehr.pdf; aufgerufen am 10.11.2025
- 35 Transport & Environment. Why ICAO and Corsia cannot deliver on climate. A threat to Europe's climate ambition. September 2019. Verfügbar unter: https://www.transportenvironment.org/uploads/files/2019_09_Corsia_assesment_final.pdf; aufgerufen am 10.11.2025
- 36 Umweltbundesamt. Möglichkeiten der Einführung einer Kerosinsteuere auf innerdeutschen Flügen. April 2005. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2853.pdf>; aufgerufen am 10.11.2025
- 37 Umweltbundesamt. Turbinen-Abgase am Boden sind größte Quelle für Ultrafeinstaub von Flughäfen. Stand 15.03.2021. Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/turbinen-abgase-am-boden-sind-groesste-quelle-fuer>; aufgerufen am 10.11.2025
- 38 Vergel M. Aviation's fuel future: Can the world produce enough SAF by 2050? 26.09.2025. Verfügbar unter: <https://www.aviationbusinessme.com/analysis/aviations-fuel-future-can-the-world-produce-enough-saf-by-2050>; aufgerufen am 10.11.2025
- 39 World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 22.09.2021. Verfügbar unter: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>; aufgerufen am 10.11.2025
- 40 Wu AH, Fruin S, Larson TV, Tseng CC et al. Association between Airport-Related Ultrafine Particles and Risk of Malignant Brain Cancer: A Multiracial Cohort Study. Cancer Res. 2021; 81(16): 4360–4369