

Durch den Luftverkehr verursachte Luftverschmutzung – ATRAP

Ein Beitrag von James Roguski

Der folgende Beitrag beleuchtet die Umweltwirkungen von Luftfahrt und Raketentechnik und sammelt dazu eine Reihe von Zahlen, Behauptungen und Einordnungen. Im Zentrum stehen Fragen zu Emissionen, Treibstoffen, Partikeln und möglichen Auswirkungen auf Klima, Gesundheit und Atmosphäre. Wir übersetzen diesen Text, weil er in den USA stark diskutiert wird und auch im deutschsprachigen Raum Interesse geweckt hat.

Ziel der Übersetzung ist es, den Inhalt im Originalton zugänglich zu machen, damit sich Leser selbst ein Bild machen können. Die Übersetzung folgt dem Ausgangstext möglichst nah, ist sprachlich jedoch in gut lesbares Deutsch übertragen. Damit schaffen wir eine Grundlage für eine informierte Auseinandersetzung mit den dargestellten Aussagen.

Durch den Luftverkehr verursachte Luftverschmutzung – ATRAP



Air Traffic Related Air Pollution (ATRAP)

Ich ermutige Sie, Ihr Bewusstsein für die durch Luftfahrt und Raketentechnik verursachte Luftverschmutzung zu erweitern.

[Quelle: James Roguski 12. Februar 2026](#)

Bitte sehen Sie sich das untenstehende Video an:



Das Ausmass der Luftverschmutzung, die durch die weltweite Luftfahrt und Raketentechnik verursacht wird, ist absolut unbegreiflich.

Viele Menschen sorgen sich über sichtbare, lang anhaltende Kondensstreifen, doch **nur etwa 5 Prozent aller von Düsenflugzeugen weltweit geflogenen Kilometer** führen zur Bildung solcher sichtbaren, persistenten Kondensstreifen.

Ungefähr 95 Prozent aller chemischen Spuren sind UNSICHTBAR!

Nur ein kleiner Teil der Flüge findet in eisübersättigten, also feuchtigkeitsgesättigten, Regionen der Atmosphäre statt, wodurch die Kondensstreifen über Stunden oder sogar Tage bestehen bleiben und sich allmählich in Zirruswolken verwandeln. In den Wintermonaten wird häufig eine etwa 1,5-fach höhere Abdeckung durch persistente Kondensstreifen beobachtet als im Sommer.

[«KLICKEN SIE HIER»](#) für vollständige Informationen darüber, wie die durch den Luftverkehr verursachte Luftverschmutzung die Gesundheit des Planeten und alles

Leben auf der Erde beeinträchtigt.



Düsenflugzeuge

Welcher Prozentsatz der Bevölkerung ist NOCH NIE in einem Flugzeug geflogen?

Über 80 Prozent der Weltbevölkerung sind noch nie in einem Flugzeug geflogen, wobei einige Schätzungen davon ausgehen, dass der Anteil eher bei 90 Prozent liegt. Dies verdeutlicht eine erhebliche Ungleichheit beim globalen Zugang zum Luftverkehr, die weitgehend auf Kosten, geografische Gegebenheiten und Infrastruktur zurückzuführen ist, sodass Fliegen für die Mehrheit der Menschen weltweit eine seltene Erfahrung bleibt.

Für den grössten Teil der Weltbevölkerung ist das Reisen mit dem Flugzeug keine alltägliche Tätigkeit. Manche Quellen geben an, dass in einem bestimmten Jahr bis zu 90 Prozent der Menschen überhaupt nicht fliegen.

Noch weniger Menschen fliegen international. Jährlich unternehmen nur

Durch den Luftverkehr verursachte Luftverschmutzung – ATRAP

etwa 2-4 Prozent der Weltbevölkerung einen internationalen Flug.

Während Flugreisen in einigen entwickelten Ländern verbreitet sind, bleiben sie für viele Menschen in Ländern mit niedrigerem Einkommen, in ländlichen Regionen oder in Gegenden mit gut ausgebautem Bodenverkehr unzugänglich.

Im Gegensatz dazu ist der Anteil der Erwachsenen, die bereits geflogen sind, in den Vereinigten Staaten deutlich höher. Jüngste Umfragen zeigen, dass rund 87 Prozent mindestens einmal in ihrem Leben geflogen sind, auch wenn in einem bestimmten Jahr jeweils deutlich weniger Personen tatsächlich fliegen.



Welcher Prozentsatz der Bevölkerung ist für 50 Prozent der durch die weltweite Luftfahrt verursachten Luftverschmutzung verantwortlich?

Lediglich 1 Prozent der Weltbevölkerung ist gemäss Studien auf Grundlage von Daten aus dem Jahr 2018 für 50 Prozent der Emissionen aus der globalen Luftfahrt verantwortlich. Diese kleine Gruppe von Vielfliegern, häufig als «**Super-Emittenten**» bezeichnet, trägt im Vergleich zu den rund 90 Prozent der Weltbevölkerung, die in einem bestimmten Jahr nicht fliegen, in unverhältnismässig

hohem Masse zur Luftverschmutzung durch den Flugverkehr bei.

Nur 2-4 Prozent der Weltbevölkerung unternehmen internationale Flüge, die für den grössten Anteil der Emissionen verantwortlich sind.

In China entfallen 40 Prozent aller Flüge auf 5 Prozent der Haushalte, während in Indien 1 Prozent der Haushalte für 45 Prozent aller Flüge verantwortlich ist.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass eine kleine wohlhabende Elite-Minderheit den überwiegenden Teil der Umweltschäden durch die Luftfahrtindustrie verursacht.

Wie viele kommerzielle Flüge des Luftverkehrs gibt es weltweit pro Tag und pro Jahr?

Weltweit gibt es täglich ungefähr 100'000 Flüge, einschliesslich Linien-, Fracht- und Privatflügen, davon rund 45'000 bis 50'000 reine Linienflüge.

Auf Jahresbasis werden etwa 35,3 Millionen planmässige kommerzielle Flüge durchgeführt.

Per Juni 2025 sind rund 30'300 kommerzielle Flugzeuge im aktiven Einsatz.

Wie viele Gallonen Kerosin verbrennt ein typisches Verkehrsflugzeug pro geflogener Meile?

Ein grosses Verkehrsflugzeug wie eine Boeing 747 verbrennt pro geflogener Meile ungefähr 5 Gallonen Treibstoff. (*1 Gallone = 3,78541 l*)

Langstrecken-Grossraumflugzeuge, z. B. B747, etwa 5 Gallonen pro Meile oder mehr als 3'600 Gallonen pro Stunde.

Kleinere oder mittelgrosse Flugzeuge, z. B. A321, B737, etwa 1,4 bis 2 Gallonen pro Meile.

Während des Reiseflugs verbrennt ein Jet etwa 1 Gallone Treibstoff pro Sekunde, wobei der Gesamtverbrauch stark von Gewicht, Windverhältnissen und Flughöhe abhängt.

Wie viele Gallonen Kerosin werden durch die weltweite Luftfahrt pro Jahr verbrannt?

Die globale Luftfahrt verbraucht jährlich **über 100 Milliarden Gallonen Treibstoff**. Der Verbrauch im kommerziellen Luftverkehr dürfte deutlich ansteigen. Einige Schätzungen gehen von einem Anstieg von 96 Milliarden Gallonen im Jahr 2018 auf 215 Milliarden Gallonen im Jahr 2050 aus.

Die Vereinigten Staaten machen einen erheblichen Anteil dieses Verbrauchs aus. Inländische Fluggesellschaften verbrauchen dort jährlich mehr als 19-20 Milliarden Gallonen Treibstoff.

Welche Verbindungen entstehen bei der Verbrennung von Kerosin?

Bei der Verbrennung von Kerosin entstehen in erster Linie Wasserdampf und Kohlendioxid. Aufgrund von Ineffizienzen der Triebwerke und Verunreinigungen im Treibstoff werden zudem **Stickoxide, Kohlenmonoxid, Schwefeloxide, unverbrannte Kohlenwasserstoffe sowie Feinstaub-Russ** freigesetzt.

Diese Emissionen tragen zur Belastung der Atmosphäre bei und führen zur Bildung von Kondensstreifen.

All dies zusammen ergibt eine «Spur von Chemikalien».

Wie viele Pfund Abgase entstehen bei der Verbrennung von einem Pfund Kerosin?

Wird ein Pfund Kerosin verbrannt, entstehen insgesamt ungefähr 4,4 Pfund Abgase. Diese erhebliche Gewichtszunahme ergibt sich daraus, dass der Treibstoff bei der Verbrennung mit einer grossen Menge Sauerstoff aus der Atmosphäre reagiert.

Aus der Verbrennung von einem Pfund Kerosin entstehen etwa 3,16 Pfund Kohlendioxid sowie 1,2-1,3 Pfund Wasserdampf. Jedes Kohlenstoffatom aus dem Treibstoff verbindet sich mit zwei Sauerstoffatomen aus der Luft. Der im Treibstoff enthaltene Wasserstoff verbindet sich mit atmosphärischem Sauerstoff zu Wasser.

Der verbleibende kleine Anteil, in der Regel weniger als 1 Prozent, besteht aus Stickoxiden, Kohlenmonoxid, Schwefeloxiden, unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Feinstaub-Russ. Auch wenn dieser Anteil gering erscheint, hat er tatsächlich eine enorme Wirkung (siehe unten).

Wie viele Pfund Sauerstoff werden der Atmosphäre entzogen, wenn ein Pfund Kerosin verbrannt wird?

Für jedes verbrannte Pfund Kerosin werden der Atmosphäre ungefähr 3,39-3,5 Pfund Sauerstoff entzogen.

Wie viele Pfund Wasser entstehen bei der Verbrennung von einem Pfund Kerosin?

Pro verbranntem Pfund Kerosin entstehen ungefähr 1,2-1,4 Pfund Wasserdampf. Dies ist auf die chemische Reaktion des im Treibstoff enthaltenen Wasserstoffs mit dem Sauerstoff der Luft zurückzuführen. Das bedeutet, dass das Gewicht des erzeugten Wassers das Gewicht des verbrauchten Treibstoffs übersteigt.

Es wird eine erhebliche Menge Wasserdampf freigesetzt. In grossen Flughöhen gefriert dieser Wasserdampf sofort und kann, oder auch nicht, mit Feinstaubpartikeln zusammenwirken, wodurch die weissen Kondensstreifen hinter den Flugzeugen entstehen.

Wie viele Gallonen Wasser werden durch die weltweite Luftfahrt jedes Jahr in die Atmosphäre abgegeben?

Wasserdampf macht rund 30 Prozent der Abgase von Flugzeugen aus. Die globale Luftfahrt setzt jährlich ein enormes Volumen an Wasserdampf in die Atmosphäre frei. In den Jahren bis 2019 verbrauchten Flugzeugtriebwerke täglich mehr als 1 Milliarde Liter Treibstoff. Daraus ergibt sich eine tägliche Freisetzung von über 1,2 Milliarden Litern, etwa 325 Millionen Gallonen, Wasser pro Tag. Hochgerechnet entspricht dies mehr als 118 Milliarden Gallonen pro Jahr.

Wasserdampf ist ein stark wirksames Treibhausgas. Seine Hauptwirkung besteht in der Bildung persistenter Kondensstreifen und Zirruswolken, die zu etwa 5 Prozent zur globalen Erwärmung beitragen.

Der grösste Teil des in der Troposphäre freigesetzten Wasserdampfs wird innerhalb von 1-2 Wochen durch Niederschläge wieder entfernt. Das bedeutet, dass die globale Luftfahrt jährlich zusätzlich rund 118 Milliarden Gallonen Niederschlag erzeugt, **ein erheblicher Teil davon verunreinigt durch jene Feinstaubpartikel**, die ebenfalls mit den Abgasen freigesetzt wurden.

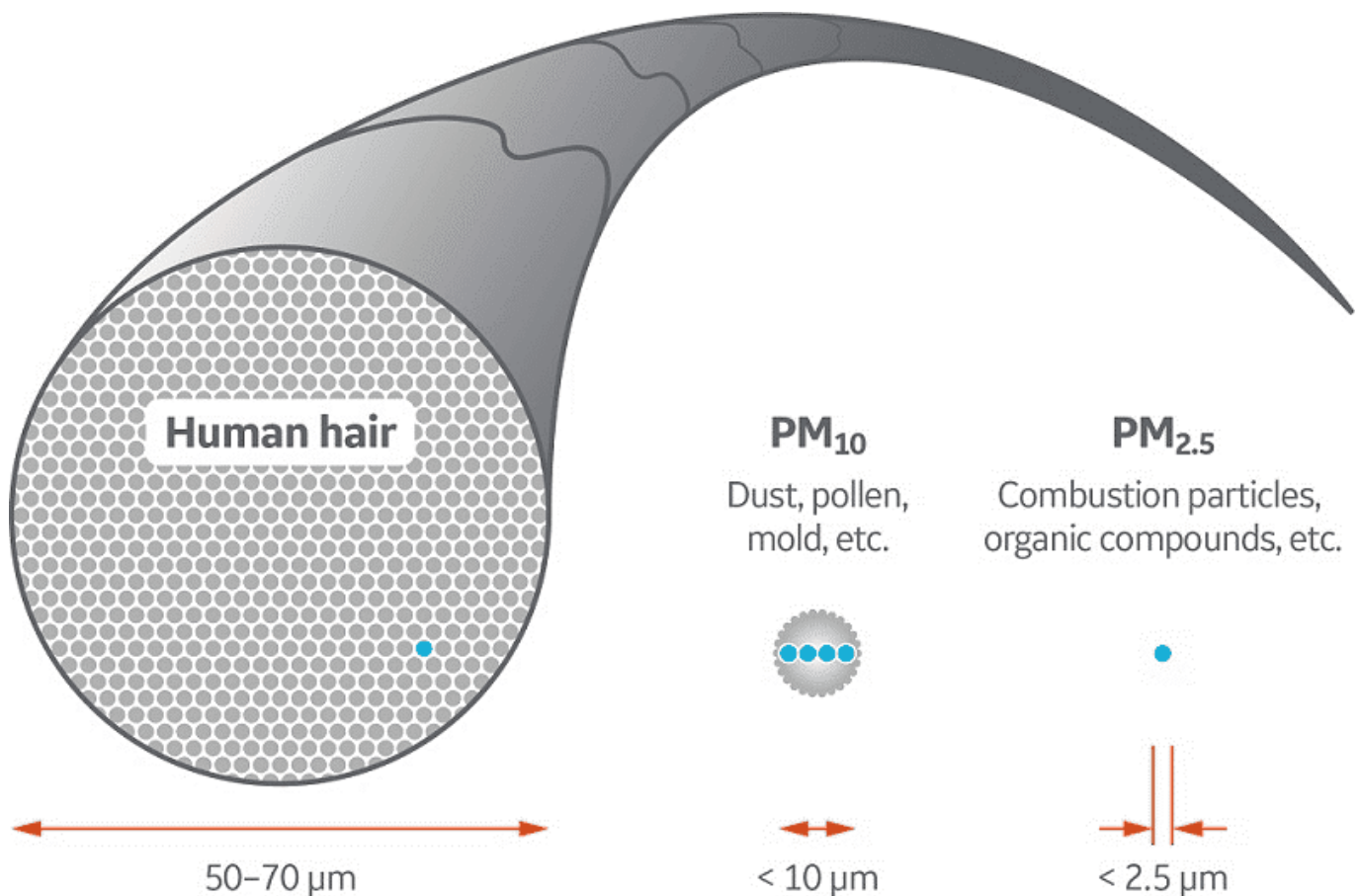
Wie hoch ist die typische Luftfeuchtigkeit, in Prozent, in einer Höhe von 35'000 Fuss?

Kalte Luft in grossen Höhen kann nur sehr wenig Feuchtigkeit aufnehmen. Die Luft in dieser Höhe ist nahezu vollständig frei von Feuchtigkeit, häufig weniger als 1 Prozent relative Luftfeuchtigkeit.

Nachtrag: Die Höhe, in der die Stratosphäre beginnt, variiert je nach geografischer Lage.

Was sind PM_{2,5}-Partikel?

Ein PM_{2,5}-Partikel ist definiert als ein Partikel mit einem Durchmesser von 2,5 Mikrometern. Etwa 10 160 PM_{2,5}-Partikel würden nebeneinander in eine Länge von einem Zoll passen.



Wie viele einzelne Feinstaubpartikel, PM_{2,5}, werden jährlich durch die weltweite Luftfahrt in die Atmosphäre freigesetzt?

Im Jahr 2019, dem letzten repräsentativen Jahr für die Luftfahrt vor der COVID-19-Pandemie, wurde geschätzt, dass die weltweite Luftfahrt **etwa 347 SEPTILLIONEN, eine Septillion entspricht einer Billion Billionen, nicht flüchtige Feinstaubpartikel** in die Atmosphäre emittierte. Diese Zahlen beziehen sich auf nicht flüchtige Partikel-Russ, die die primären Partikelemissionen von Strahltriebwerken darstellen. Die gesamte Partikelmenge kann zudem flüchtige Partikel umfassen, die sich später in der Abgasfahne bilden und schwieriger zu quantifizieren sind.

In Bezug auf die Masse entspricht dies etwa 9,68 Gigagramm (Gg) beziehungsweise 9'680 Tonnen nicht flüchtiger Feinstaubpartikel pro Jahr.

Rund 12 Prozent dieser Partikelanzahl werden während des Lande-, Roll- und Startvorgangs innerhalb von 3'000 Fuss über der Erdoberfläche ausgestossen und beeinträchtigen die Luftqualität in der Umgebung von Flughäfen überproportional.

Der der Luftfahrt zurechenbare PM_{2,5}-Anteil ist weltweit für schätzungsweise 21'200 vorzeitige Todesfälle pro Jahr verantwortlich.

Legt die EPA Grenzwerte für die Anzahl von PM_{2,5}-Partikeln in der Umgebungsluft fest?

Die EPA legt Grenzwerte für Feinstaub in der Umgebungsluft fest. Diese basieren jedoch auf der Massenkonzentration, Mikrogramm pro Kubikmeter, und nicht auf der tatsächlichen Anzahl der Partikel.

Begrenzen die EPA-Vorschriften sichtbaren Rauch und nicht flüchtige Partikel so, dass Rauchfahnen moderner Strahltriebwerke faktisch unsichtbar werden?

Ja. Die EPA-Vorschriften, die 2024 von der FAA übernommen wurden, setzen strenge Grenzwerte für nicht flüchtige Feinstaubpartikel aus zivilen Flugzeugtriebwerken und führen faktisch dazu, dass Rauchfahnen moderner Strahltriebwerke unsichtbar sind.

Die Regelung, 40 CFR Part 1031, führt Höchststandards für nicht flüchtige Partikel ein und orientiert sich an den internationalen Vorgaben der International Civil Aviation Organization (ICAO).

Diese Standards führen zu nahezu unsichtbaren Rauchspuren.

Flugbenzin - AvGas

Enthält Flugbenzin, AvGas, noch immer Blei?

Ja. Das meiste Flugbenzin, insbesondere die verbreitete Sorte 100LL-100 Oktan Low Lead, enthält weiterhin Tetraethylblei. Dieses wird zugesetzt, um Motorklopfen zu verhindern und die Ventile von Flugmotoren mit Kolbenantrieb zu schützen. Während verbleites Autobenzin 1996 verboten wurde, ist es für die Luftfahrt weiterhin zugelassen, um einen sicheren Motorbetrieb zu gewährleisten, da bislang keine allgemein anerkannte und breit zugelassene Alternative verfügbar ist.

Verbleites AvGas stellt die grösste Quelle von Bleiemissionen in der Luft der Vereinigten Staaten dar und ist für etwa **70 Prozent der Gesamtemissionen** verantwortlich. Dies birgt erhebliche Gesundheitsrisiken für Gemeinschaften in der Nähe von Flughäfen.

Trotz der Bezeichnung «Low Lead» kann 100LL bis zu 2,12 Gramm Blei pro Gallone enthalten.

Wie viele Gallonen verbleites Flugbenzin, AvGas, werden weltweit jährlich verbrannt?

Der weltweite Verbrauch von AvGas, überwiegend 100LL, wird häufig mit 200-230 Millionen Gallonen pro Jahr angegeben, wobei sich einige Schätzungen ausdrücklich auf den US-Markt konzentrieren.

Die Vereinigten Staaten machen einen erheblichen Anteil dieses Gesamtverbrauchs aus. Dort werden schätzungsweise 180-186 Millionen Gallonen jährlich von rund 167'000-170'000 Flugzeugen verbraucht. Weltweit wird die Zahl der entsprechenden Flugzeuge auf etwa 230'000 geschätzt.

Wie viele Pfund Blei werden durch die weltweite Luftfahrt jährlich in die Atmosphäre freigesetzt?

Auf Grundlage von Daten der Environmental Protection Agency (EPA) wurden im Jahr 2017 allein in den Vereinigten Staaten rund 470 Tonnen, oder 940'000 Pfund, Blei durch Flugzeuge mit Kolbenmotoren in die Atmosphäre freigesetzt. Schätzungen aus diesem Zeitraum nennen häufig eine **Spanne von 468-571**

Tonnen pro Jahr.

Diese Daten beziehen sich zwar überwiegend auf die allgemeine Luftfahrt in den Vereinigten Staaten, stellen jedoch einen bedeutenden Anteil der weltweiten Emissionen dar und betreffen die Hauptquelle des verbleiten Flugbenzins in den USA.

Diese Emissionen entsprechen etwa 70 Prozent der gesamten Bleimenge, die in den Vereinigten Staaten in die Atmosphäre gelangt.

Über 5 Millionen Menschen, darunter 363'000 Kinder unter fünf Jahren, leben im Umkreis von 500 Metern um Flughäfen, auf denen diese Flugzeuge betrieben werden.

Beeinflusst Blei in der Atmosphäre die Bildung von Eiskeimen?

Ja. Blei in der Atmosphäre beeinflusst die Bildung von Eiskeimen erheblich. Forschungsergebnisse zeigen, dass Bleipartikel, häufig aus Verschmutzungsquellen stammend, als besonders effiziente Eiskeime oder «Keime» wirken, die die Bildung von Eiskristallen in Wolken bei höheren Temperaturen auslösen als die meisten anderen Partikel. Dieser Prozess wirkt sich auf Wolkenbildung, Niederschläge und mögliche Klimaabkühlung aus.

Blei gilt als eine Art «Verstärker» für eisbildende Staubpartikel, da es ihnen ermöglicht, Eis bei geringerer Übersättigung, also unter weniger kalten oder weniger feuchten Bedingungen, zu bilden.

Eiswolken-Zirruswolken, die bleihaltige Partikel enthalten, können Wärme von der Erdoberfläche effizient in den Weltraum abstrahlen und so einen kühlenden Effekt auf das globale Klima erzeugen.

Forschungsergebnisse legen nahe, dass mehr als ein Drittel der untersuchten Eiskeime, insbesondere in verschmutzten Regionen, Blei enthalten können.

Studien haben gezeigt, dass bleihaltige Partikel, etwa Bleioxid, die Eisbildung deutlich effizienter auslösen als andere, häufiger vorkommende atmosphärische Partikel.

Bis zu welchem Datum kann die Öffentlichkeit Stellungnahmen zum Plan der FAA zur Abschaffung von Blei im Flugbenzin einreichen?

Die Frist für die Einreichung öffentlicher Stellungnahmen zum Entwurf des Übergangsplans der FAA zur Abschaffung von Blei im Flugbenzin endet am 13. März 2026.

Raketentechnik

Wie viele Pfund Aluminium werden bei einem einzelnen Start des NASA Artemis Space Launch System in die Atmosphäre freigesetzt?

Jeder Feststoffbooster des Space Launch System enthält über 1 Million Pfund Treibstoff, der Aluminium Pulver als Brennstoffbestandteil umfasst. Dadurch werden grosse Mengen Aluminiumoxid in die Atmosphäre freigesetzt. Jeder der beiden Booster, die bei Artemis-Missionen eingesetzt werden und etwa 17 Stockwerke hoch sind, enthält ungefähr 1,1 Millionen Pfund Treibstoff.

Aluminium macht etwa 16-18 Prozent des Treibstoffs der Feststoffraketenmotoren aus, während Aluminiumoxid rund 30-34 Prozent der ausgestossenen Abgasmasse ausmacht.

Auf Grundlage der Treibstoffzusammensetzung werden bei einem einzelnen Start des SLS ungefähr 350'000 bis über 370'000 Pfund Aluminiumoxid, eine Verbindung aus Aluminium und Sauerstoff, freigesetzt.

Wie viele Pfund Russ, Black Carbon, werden bei einem einzelnen Start einer SpaceX Falcon 9 und einer SpaceX Falcon Heavy in die Atmosphäre freigesetzt?

Falcon 9 und Falcon Heavy verwenden RP-1 raffiniertes Kerosin sowie flüssigen Sauerstoff. Dies führt zu unvollständiger Verbrennung und erzeugt erhebliche Mengen an Black-Carbon-Partikeln.

Ein einzelner Start einer SpaceX Falcon 9 setzt schätzungsweise 5-10 Tonnen, 11'000 bis 22'000 Pfund, Black Carbon-Russ, in die obere Atmosphäre frei. Bei der leistungsstärkeren Falcon Heavy, die drei Falcon-9-Kerne verwendet, ist die Menge ungefähr dreimal so hoch, also etwa 15-30 Tonnen.

Black Carbon aus Raketen ist besonders problematisch, **da es direkt in die Stratosphäre gelangt, dort länger verbleiben, Wärme zurückhalten und die Ozonschicht sowie das Klima erheblich beeinflussen kann.**

Wie viele Raketen hat SpaceX in den vergangenen 10 Jahren gestartet?

SpaceX verzeichnete im letzten Jahrzehnt, 2016-2025, insgesamt 550 erfolgreiche Orbitalstarts, überwiegend mit Falcon 9 und Falcon Heavy.

Allein im Jahr 2025 wurden über 165 Orbitalmissionen durchgeführt. Mehr als 400 Starts fanden zwischen 2021 und 2025 statt, angetrieben durch Starlink, kommerzielle und staatliche Missionen.

Zudem begann SpaceX mit Tests der nächsten Raketengeneration Starship. Mehrere Testflüge fanden zwischen 2023 und 2025 statt.

Wie viele Pfund Raketentreibstoff wurden durch die im Krieg zwischen der Ukraine und Russland eingesetzten Raketen verbraucht?

Wenn 4'270 Marschflugkörper, etwa Kalibr oder Kh-101, mit einem durchschnittlichen Treibstoffgewicht von 1'000 kg, 2'204 Pfund, gestartet wurden, entspricht dies ungefähr 9,4 Millionen Pfund Treibstoff.

Anfang 2025 wurde berichtet, dass Russland innerhalb eines Zeitraums von 297 Tagen etwa 820 ballistische Raketen, Iskander, Kinzhal sowie KN-23 nordkoreanischer Bauart, gestartet hatte. Bei einem durchschnittlichen Treibstoffgewicht von 3'000 kg, 6'614 Pfund, pro Rakete ergeben sich allein daraus etwa 5,4 Millionen Pfund Treibstoff.

Wie viele Pfund Raketentreibstoff wurden im Konflikt zwischen Israel, Gaza, Iran, Jemen und anderen Staaten verbraucht?

Eine offiziell bestätigte Gesamtzahl über die Menge des verwendeten Raketentreibstoffs in diesem regionalen Konflikt liegt nicht vor. Schätzungen zufolge wurden in diesem Zeitraum jedoch allein gegen Israel etwa 30'000-35'000 Raketen, ballistische Flugkörper und Drohnen abgefeuert.

Details über die Treibstoffmengen der von Israel eingesetzten Raketen scheinen im Internet nicht verfügbar zu sein.

Durch den Luftverkehr verursachte Luftverschmutzung – ATRAP

[«KLICKEN SIE HIER»](#) , um mehr darüber zu erfahren, wie die Verschmutzung durch Luftfahrt und Raketentechnik die menschliche Gesundheit beeinträchtigt, das globale Klima verändert, lokale Wetterverhältnisse beeinflusst und weiterhin den Planeten sowie alle Menschen darauf belastet.

