



## Die Klimawirkung des Luftverkehrs

Bei jeder Verbrennung von fossilen Stoffen (z.B. Benzin, Diesel, Kerosin, Gas, Kohle) entstehen als Verbrennungsprodukte in erster Linie ungiftiges Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasserdampf. Der direkte Ausstoss von Wasserdampf durch Flugzeuge trägt extrem wenig zur natürlichen Menge Wasserdampf bei, so dass er vernachlässigt werden kann.

Beim ungiftigen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist jedes Teilchen verglichen mit Wasserdampf stark strahlungsaktiv, d.h. eine relativ geringe Menge reicht für einen deutlichen Effekt. Während Tausenden von Jahren hat sich auf der Erde eine Konzentration von 200 bis 300 CO<sub>2</sub>-Teilchen pro eine Million Luftteilchen eingependelt. Etwa ab 1960 wurde dann der Wert von 300 deutlich überschritten, stieg kontinuierlich und beträgt heute gegen 400 CO<sub>2</sub>-Teilchen auf eine Million Luftteilchen. Dazu kommt, dass ein Kohlendioxid-Teilchen, das ausgestossen wird viele Jahrzehnte in der Atmosphäre verweilen kann und seine Wirkung während der ganzen Zeit entfaltet. Ein in der Atmosphäre durch ein Flugzeugtriebwerk ausgestossenes CO<sub>2</sub>-Teilchen folgt den gleichen Wegen wie ein CO<sub>2</sub>-Teilchen aus anderen Quellen. Es kann somit nicht von anderen Quellen unterschieden werden. Es macht deshalb nach heutigem Wissen für die Veränderung des natürlichen Treibhauseffekts keinen Unterschied, ob CO<sub>2</sub> von einem Flugzeug in grosser Höhe oder von einem Auto, einer Heizung, einem Kraftwerk oder ähnlichem am Boden ausgestossen wird.

### Zusätzliches Kohlendioxid verstärkt den Treibhauseffekt

Auch Flugzeuge tragen ihren Teil zum Treibhauseffekt bei. Allerdings wird dieser Anteil in der öffentlichen Diskussion oft überschätzt. Konzentrieren wir uns zuerst auf das Kohlendioxid, welches längerfristig auch für die Luftfahrt das massgebende Treibhausgas ist. Die Anteile am Kohlendioxid-Ausstoss verschiedener Quellen menschlicher Tätigkeit können direkt aus dem Brennstoffverbrauch berechnet werden. Wie gross der Anteil des Luftverkehrs am Kohlendioxid-Ausstoss ist, hängt davon ab, wie viele andere Quellen berücksichtigt werden. Dies erklärt, warum insbesondere bei Zahlen für die Luftfahrt oft unterschiedliche Angaben zu finden sind. Um Transparenz zu schaffen, hier ein paar oft verwendete Varianten:

- 1) Bezogen darauf, wie viel der Mensch insgesamt zur Verstärkung des natürlichen Treibhauseffekts beiträgt, wird der Anteil der Luftfahrt auf rund 3 % geschätzt<sup>1</sup>. Dabei werden neben CO<sub>2</sub> auch andere Klimawirkungen beispielsweise Stickoxiden oder Russ mitberücksichtigt. Allerdings müssen folgende Einschränkungen gemacht werden:
  - Andere klimawirksame Emissionen als CO<sub>2</sub> hängen beim Flugzeug in komplizierter Weise vom CO<sub>2</sub>-Ausstoss selber ab. Die Reduktion einzelner nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte (positiv für das Klima) führt häufig zu einer Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Effekte (negativ für das Klima). Flugzeughersteller befinden sich für Optimierungen oft in diesem Dilemma.
  - Andere klimawirksame Emissionen als CO<sub>2</sub> aus menschlichen Aktivitäten, die nicht in Zusammenhang mit der Luftfahrt stehen, gelangen vom Boden ebenfalls auf grössere Höhen,

<sup>1</sup> Statement from the International Civil Aviation Organization (ICAO) to the Twenty-Seventh Session of the UNFCCC Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice (SBSTA), Bali, 3 – 11 December 2007.

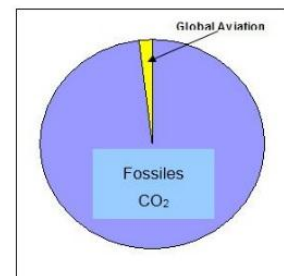


werden aber in Vergleichen oft nicht einbezogen. Das erschwert präzise Aussagen über den prozentualen Anteil des Luftverkehrs.

- Die Wirkung von anderen klimawirksamen Emissionen als CO<sub>2</sub> hängt in beträchtlichem Masse vom gewählten Zeitraum ab, mit dem in einem Klimamodell gerechnet wird. Die Wissenschaft kann angeben, was die Wahl für die Resultate bedeutet, nicht jedoch, welche Wahl getroffen werden sollte. Je nach politisch gewähltem Zeitraum steigt oder sinkt der kommunizierte prozentuale Anteil des Luftverkehrs an der Klimawirkung.
- Es wird immer wieder bemängelt, dass die Wissenschaft immer noch nicht in der Lage ist, die Wirkung von anderen Emissionen als CO<sub>2</sub> aus dem Luftverkehr besser zu bemessen. Ein wichtiger Grund ist, dass die Resultate von Klimamodellen für die Gesamtwirkung menschlicher Aktivität stärker schwanken (mehr als einige Prozente) als der Anteil des Luftverkehrs ausmachen kann (einige Prozente).

Auf Basis der verbrannten fossilen Treibstoffe ergeben sich folgende Anteile:

- 2) Bezogen auf den gesamten weltweiten Verbrauch von fossilen Brennstoffen (Erdölprodukte, Kohle, Gas) hat die Luftfahrt einen Anteil von 2 % am CO<sub>2</sub>-Ausstoss<sup>2</sup>. Global wird neben Verkehr und Heizung auch sehr viel CO<sub>2</sub>-Ausstoss für die Gewinnung elektrischer Energie generiert. Nach Schätzungen liegt der CO<sub>2</sub>-Ausstoss des weltweiten Netzes von Computer-Servern (z.B. Suchmaschinen) heute bereits auf dem Niveau des Luftverkehrs.



- 3) Flugtreibstoff hat heute einen Anteil von rund 14 % an den CO<sub>2</sub>-Emissionen von Heizöl und Treibstoffen, die in der Schweiz vertankt werden<sup>3</sup>.
- 4) Flugtreibstoff hat heute einen Anteil von rund 22 % an den CO<sub>2</sub>-Emissionen der Treibstoffe, die in der Schweiz vertankt werden.

## Die Klimawirkung wird mit Hilfe des «Strahlungsantriebs» geschätzt

Der zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC<sup>4</sup>) ist in Zusammenhang mit der Erforschung der Veränderungen des Erdklimas zur internationalen Referenz geworden. Über Tausend WissenschaftlerInnen sind beispielsweise an der Erstellung der IPCC-Berichte beteiligt. IPCC beschreibt das Ausmass der Störung des Strahlungsgleichgewichts der Erde und damit, ob ein Effekt erwärmend oder kühlend für die Erde ist (Treibhauseffekt)<sup>5</sup>. IPCC spricht in diesem Zusammenhang vom „Strahlungsantrieb“ (radiative Forcing) und betrachtet dabei die Strahlungsbilanz an der Obergrenze der Troposphäre in zirka 10 Kilometern Höhe. Ist die Strahlungsbilanz positiv (mehr Wärmefluss nach unten), so erwärmt sich die Troposphäre. Für verschiedene Treibhausgasemissionen und weitere Effekte gibt IPCC die Wirkung auf die Strahlungsbilanz an (positiv oder negativ).

<sup>2</sup> Schweizerische Gesamtenergiestatistik

<sup>3</sup> Schweizerische Gesamtenergiestatistik

<sup>4</sup> [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)

<sup>5</sup> Wissenschaftlichere Definition: RF (usually measured in milliWatts per square meter, mW/m<sup>2</sup>) expresses an *instantaneous* change in the energy balance of the earth-atmospheric system resulting from a perturbation in concentrations of Green House Gases (GHGs) in the atmosphere. A sustained positive radiative forcing imposes a warming effect, a negative forcing a cooling one.

## Die Beiträge des Luftverkehrs im Detail

Tabellarische Zusammenfassung der Kenntnisse über die Wirkung von Emissionen des Luftverkehrs auf die Strahlungsbilanz der Erdatmosphäre (Stand 2013)

Ausstoss	Effekt	Wirkungszeit nach Ausstoss	erwärmend/ kühlend	Bemerkungen
CO <sub>2</sub> (Kohlendioxid)	direkt treibhauswirksam	variabel, Grössenordnung viele Jahrzehnte	erwärmend	In der langfristigen Perspektive (100 Jahre) wird nach heutigem Wissensstand der Klimaeinfluss des Luftverkehrs weitgehend durch die CO <sub>2</sub> -Emissionen bestimmt. <sup>6</sup>
NO <sub>x</sub> (Stickoxid)	produziert das Treibhausgas Ozon	Monate	erwärmend	Bildung von Ozon in der Troposphäre, wie aus anderen Quellen (Strassenverkehr, Heizungen, thermische Kraftwerke,...)
NO <sub>x</sub> (Stickoxid)	baut das Treibhausgas Methan ab	10 Jahre	kühlend	Neben dem Methanabbau durch NO <sub>x</sub> vernichten Flugzeugtriebwerke während des Fluges auch in der Umgebungsluft enthaltenes Methan direkt, indem sie es zu CO <sub>2</sub> und Wasser verbrennen.
Strichförmige Kondensstreifen	Reflexion, Streuung und Absorption von Licht	Minuten bis Stunden	tendenziell erwärmend	Der grösste Teil des Wassers bzw. der Eiskristalle, aus denen ein Kondensstreifen besteht, stammt hingegen aus der Umgebungsluft, nicht aus dem Flugzeugtriebwerk. Russ spielt ebenfalls eine Rolle.
Ausbreitende Kondensstreifen	Kondensstreifen können sich zu Federwolken (Cirren) ausbreiten	Stunden	tendenziell erwärmend, evtl. kurzfristig stark erwärmend	Durch starke Höhenwinde hervorgerufen. Wie bei Kondensstreifen gibt es je nach Ort des Auftretens, Tageszeit (Sonnenstand/Winkel) und optischer Eigenschaften einen kühlenden oder erwärmenden Effekt.
Sulfate	direkt treibhauswirksam	Wochen (Troposphäre) bis Monate (Stratosphäre)	kühlend	Durch Schwefel im Kerosin
Russ	Absorbiert Wärmestrahlung, kann als Kondensationskeim wirken	Wochen	erwärmend	Einige Messungen zeigen, dass die Anzahl Eiskristalle in einem Kondensstreifen mit der Anzahl Russpartikel zusammenhängt.

<sup>6</sup> IPCC / U. Schumann, Institut für Physik der Atmosphäre, DLR, 2007