

## EMISSIONEN IM FLUGVERKEHR

## SO WIRKT SICH DER FLUGVERKEHR AUF DAS KLIMA AUS

Flugzeuge emittieren nebst CO<sub>2</sub> auch andere klimawirksame Stoffe. Einige davon sorgen kurzfristig für eine stärkere Erwärmung als CO<sub>2</sub> – bleiben aber weniger lang in der Atmosphäre. Die Gesamtwirkung ist somit abhängig vom betrachteten Zeithorizont.

TEXT: URS NEU, PROCLIM

Die Treibhausgasemissionen des weltweiten Flugverkehrs nahmen über die letzten Jahrzehnte stetig und stark zu, und ihr Anteil an den weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist gewachsen. Beim Fliegen werden aber noch andere Stoffe ausgestossen, die das Klima nachteilig beeinflussen. Dies sind insbesondere Wasserdampf, Stickoxide (SO<sub>x</sub>), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Russ. Durch diese Emissionen entstehen – je nach Feuchtigkeit der Umgebungsluft – auch Kondensstreifen und hohe Zirruswolken.

All diese Komponenten haben einen Einfluss auf das Klima. Zum Teil erfolgt dieser Einfluss direkt über den Treibhauseffekt wie beim CO<sub>2</sub>, zum Teil aber auch indirekt: indem beispielsweise die Stickoxide die Konzentration der Treibhausgase Methan (CH<sub>4</sub>) oder Ozon (O<sub>3</sub>) in der Umgebungsluft verändern.

**UNTERSCHIEDLICH LANGE KLIMAWIRKUNG**

Es besteht ein grosser Unterschied, wie lange die verschiedenen Komponenten auf das Klima wirken: So ist der Einfluss des CO<sub>2</sub> sehr langanhaltend, weil dieses über Jahrzehnte bis Jahrhunderte in der Atmosphäre verbleibt und den Treibhauseffekt verstärkt. Alle anderen Komponenten wirken zwar teilweise sehr stark, aber nur über relativ kurze Zeit – das heisst über einige Stunden bis ein paar Jahre. Deshalb ist der Vergleich der Klimawirkung von CO<sub>2</sub> und der Wirkung aller anderen Flugverkehrsemissionen, den

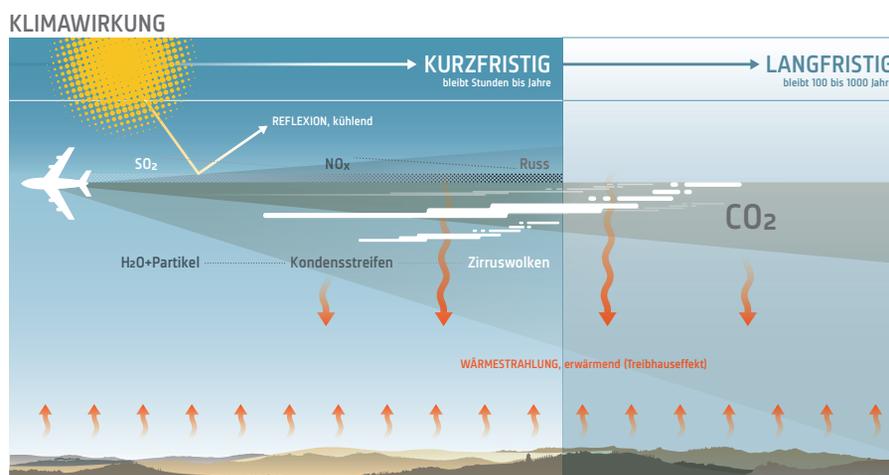


Abbildung 1: Flugzeuge emittieren verschiedene Stoffe, die unterschiedlich lange in der Atmosphäre verbleiben. CO<sub>2</sub> wirkt über Jahrzehnte bis Jahrhunderte, andere Komponenten nur über einige Stunden bis ein paar Jahre.

Grafik: Urs Neu & aplus caruso gmbh.

«Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen», nicht so einfach und wirft verschiedene Fragen auf.

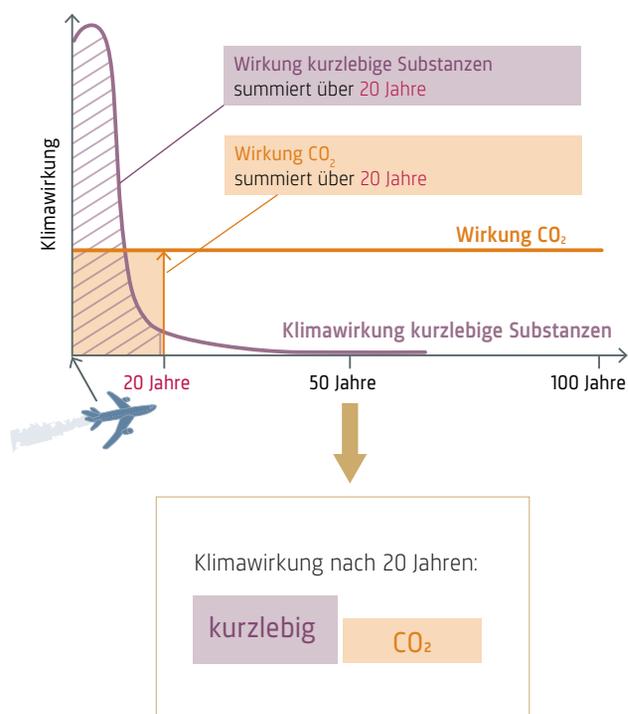
Bei den Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen gehen Forschende heute davon aus, dass die Klimawirkung der Kondensstreifen und der dadurch verursachten zusätzlichen Bewölkung deutlich am grössten ist. Weniger drastische Auswirkungen scheinen Stickoxidemissionen zu haben: Sie sollen eine ähnlich hohe kühlende wie wärmende Wirkung haben – und die weiteren Wirkungen sind wahrscheinlich eher gering. Wie kann man die klimatischen Folgen des langfristig wirksamen CO<sub>2</sub> und der kurzfristigen anderen Effekte vergleichen? Die Wahl des Vergleichs ist abhängig von der Fragestellung.

**DIE KLIMAWIRKUNG MEINES FERIENFLUGS**

Frage 1: Was ist die Klimawirkung einer einmaligen Emission – zum Beispiel eines Flugs in die Ferien?

Diese Frage stellt sich beispielsweise, wenn ich die Emissionen meines Ferienflugs mit Zertifikaten für Klimamassnahmen kompensieren will. Dafür ist es sinnvoll, die Klimawirkung über die einzelnen Jahre bis zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft zusammenzuzählen. Die Vergleichsflächen in Abbildung 2 veranschaulichen diese Summen für eine kurzlebige Substanz sowie für CO<sub>2</sub> über 20 (links) und 100 Jahre (rechts). Es ist ersichtlich, dass bei einem Zeithorizont von 20 Jahren die Wirkung der kurzlebigen Substanz grösser ist, während für 100 Jahre die Wirkung von CO<sub>2</sub> deutlich grösser ist.

## Klimawirkung einer Flugreise in den nächsten 20 Jahren



## Klimawirkung einer Flugreise in den nächsten 100 Jahren

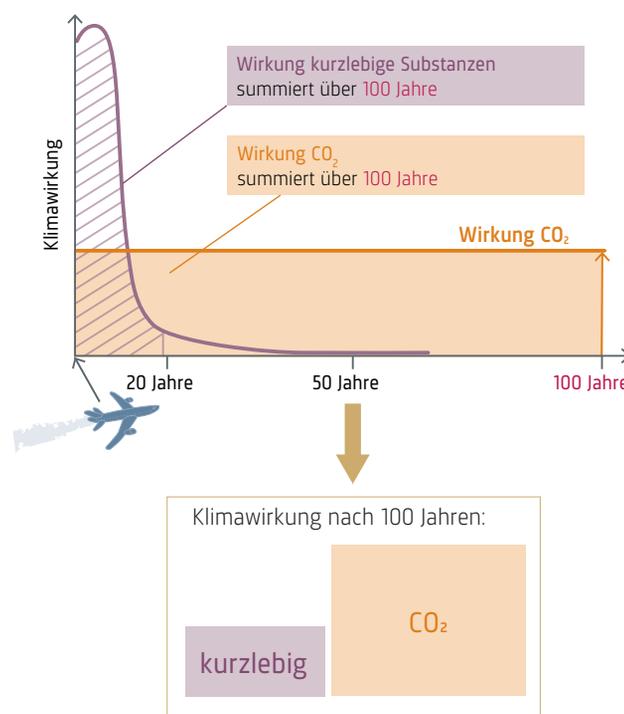


Abbildung 2: Vergleich der Klimawirkung von kurzlebigen Substanzen mit der Klimawirkung von CO<sub>2</sub>, hier anhand der Summe der Klimawirkungen der einzelnen Jahre. Links die Summe über 20 Jahre, rechts über 100 Jahre. Grafik: Urs Neu, ProClim.

Somit ist die Wahl des Zeithorizonts für den Vergleich entscheidend: Gewichte ich die Wirkung in näherer Zukunft – die mich direkt betrifft – oder die Wirkung in fernerer Zukunft, die die nachfolgenden Generationen betrifft? In den Klimaübereinkommen wird bisher einheitlich ein Zeithorizont von 100 Jahren angewendet, also längerfristig gedacht. Über 20 Jahre ist die gesamte Klimawirkung aller Emissionen eines Flugzeugs etwa 3,5-mal grösser als die Wirkung von CO<sub>2</sub> allein, über 50 Jahre doppelt so gross und über 100 Jahre 1,5-mal so gross.

### FLUGVERKEHR UND DIE KLIMAZIELE

*Frage 2: Wie lässt sich feststellen, ob Emissions- und Temperaturziele – zum Beispiel im Rahmen des Klimaübereinkommens von Paris – erreicht werden können?*

Für die Frage, ob das Ziel des Klimaübereinkommens von Paris erreicht werden kann, ist entscheidend, wie viele klimawirksame Emissionen insgesamt noch ausgestossen werden. Für diese Frage ist die Summe der Emissionen über die Zeit und damit die Entwicklung der Emissionen entscheidend.

Und dabei ist folgende Unterscheidung wichtig: Bleiben die Emissionen gleich hoch, so wird die Klimawirkung beim CO<sub>2</sub> immer grösser, weil dieses in der Atmosphäre bleibt und sich aufsummiert. Bei kurzlebigen Substanzen hingegen nimmt die Klimawirkung bei gleichbleibenden Emissionen nicht mehr zu, weil diese Substanzen rasch wieder abge-

baut werden und ihre Konzentration ebenfalls gleich bleibt.

Kurzlebige Substanzen könnten also auf gleichem Niveau weiter emittiert werden und die Temperatur würde dadurch längerfristig nicht steigen. Beim CO<sub>2</sub> hingegen müssen die Emissionen auf null reduziert werden, damit die Temperatur auf dem gleichen Niveau bleibt. Da bei kurzlebigen Substanzen nur das Wachstum der Emissionen eine zusätzliche Klimaerwärmung bewirkt, wird hier für den Vergleich mit dem CO<sub>2</sub> das Wachstum der Emissionen über die Zeit betrachtet.

### DIE WIRKSAMSTE METHODE

Bei einem weiteren Wachstum des Flugverkehrs – wie in den letzten zehn Jahren – wäre die gesamte Wirkung der Flugverkehrsemissionen in der Schweiz rund 2,5-mal so hoch wie die Wirkung des CO<sub>2</sub> allein. Möchte man die Klimawirkung des Flugverkehrs vermindern, so ist die effizienteste Lösung, weniger zu fliegen.

Es gibt jedoch auch technische Möglichkeiten der Emissionsminderung, zum Beispiel durch die Verwendung klimaneutraler Treibstoffe. Der Einsatz von synthetischen Treibstoffen oder Bio-Treibstoffen ist heute bereits technisch möglich. Dabei wird jedoch vor allem die Wirkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen vermindert, diejenige der Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen nur teilweise, da weiterhin Stickoxide und Wasserdampf ausgestossen werden

und somit Kondensstreifen und Zirrenwolken entstehen. Nur beim Einsatz von Elektroflugzeugen würden alle Klimawirkungen reduziert, doch steckt die entsprechende technische Entwicklung noch in den Kinderschuhen und wird auch auf mittlerem Zeithorizont kaum breit eingesetzt werden können. Andere Massnahmen haben meist Vor- und Nachteile: So führt beispielsweise das Umfliegen von feuchten Luftmassen zwar zu weniger Kondensstreifen, dafür erhöht sich aber der Treibstoffverbrauch.

Technische Massnahmen zur Reduktion der Klimawirkung des Flugverkehrs sind deshalb eine grosse Herausforderung. Die Reduktion der Flugkilometer ist die wirksamste Massnahme, allerdings mit wirtschaftlichen Einbußen der Airlines verbunden. ■

WEITERE INFORMATIONEN  
[proclim.ch/id/cSx4y](https://proclim.ch/id/cSx4y)

KONTAKT  
[urs.neu@scnat.ch](mailto:urs.neu@scnat.ch)

