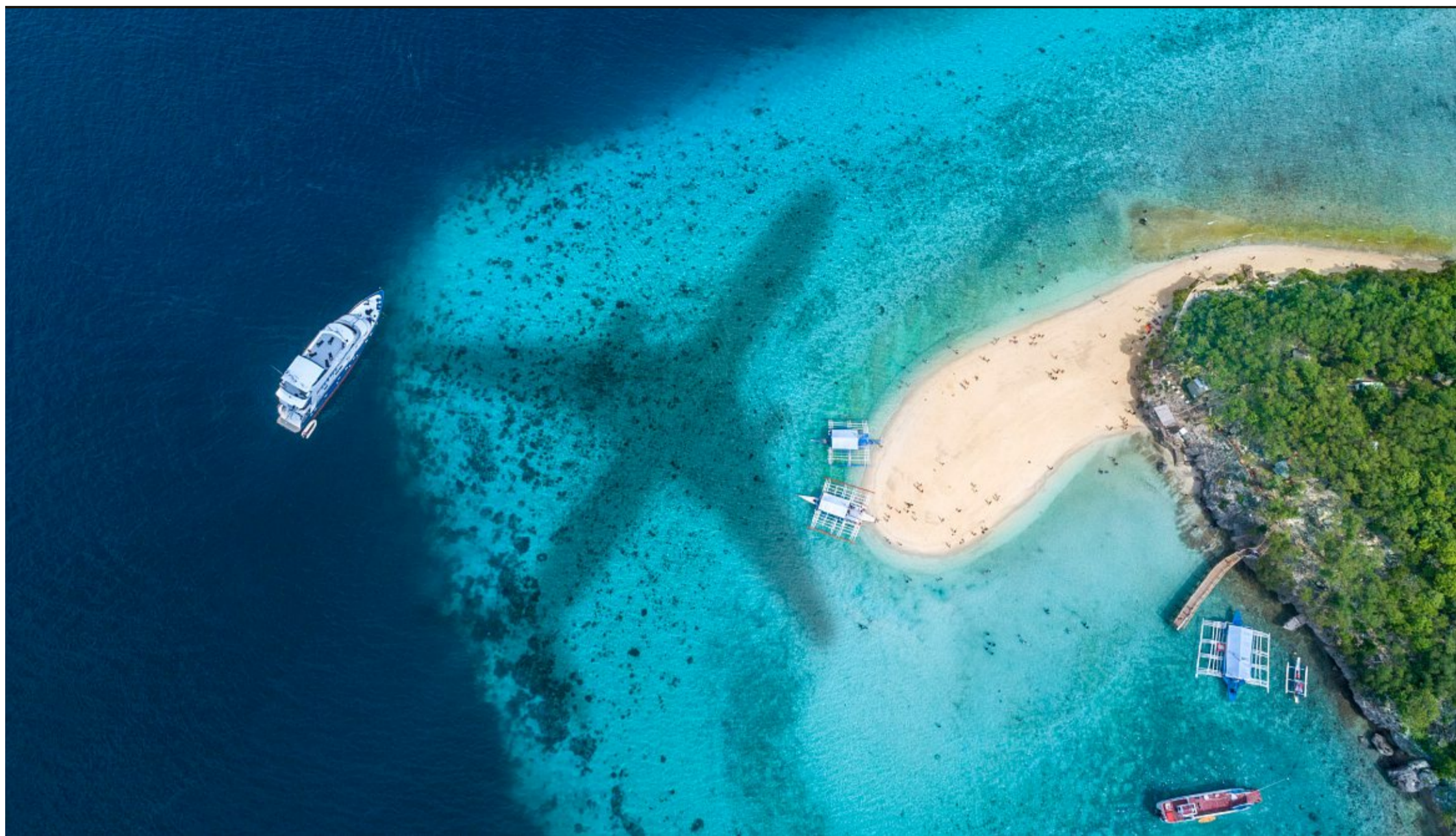


## Kultur, Gesellschaft &amp; Wissen



Was kostet ein Ticket in die Feriendestination, wenn man dereinst klimaneutral fliegen kann? Nicht unbedingt viel mehr als heute, zeigt eine Studie. Foto: Dave Fleetham (Universal Images Group, Getty Images)

# Der Preis der grünen Luftfahrt

**Klimaneutrales Fliegen** Für Forschende der ETH Zürich ist synthetisches Kerosin der Treibstoff der Zukunft. Sie haben untersucht, was das für die Preisentwicklung bei Flugtickets bedeutet.

**Joachim Laukenmann**

Klimaneutrales Fliegen wird teurer, aber im optimalen Fall kaum merklich. Das zeigt eine neue Studie der ETH Zürich und des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) in Villigen, die im Fachmagazin «Nature Communications» erschienen ist.

«Wir gehen davon aus, dass die Kosten für die vollständige Klimaneutralität bis 2050 den Preis für ein Flugticket um rund 50 Prozent erhöhen werden», sagt Anthony Patt, Professor für Klimapolitik an der ETH Zürich und Co-Autor der Studie.

Dieser Aufpreis könnte teils durch Sparmassnahmen der Branche ausbleiben, würden die Flugpreise auf dem Weg zum klimaneutralen Fliegen um 2050 in etwa so viel kosten wie klimaschädliches Fliegen heute.»

## Ohne Sparmassnahmen Preise wie vor 30 Jahren

Sollten Kostensenkungen durch weitere Sparmassnahmen der Branche ausbleiben, würden die Flugpreise auf dem Weg zum klimaneutralen Fliegen allmählich auf das höhere Niveau der 1990er-Jahre zurückkehren. «Keine der beiden Optionen scheint wirklich tragisch zu sein», sagt Patt.

In der Studie vergleichen die Forschenden von ETH und PSI die beiden wichtigsten Ansätze für klimaneutrales Fliegen, die auch für Langstreckenflüge funk-

tionieren. Der erste Ansatz mag zunächst erstaunen: Hier verfeuern die Flugzeuge weiterhin fossiles Kerosin. Die damit einhergehende Emission des Treibhausgases CO<sub>2</sub> wird kompensiert, indem CO<sub>2</sub> zum Beispiel in einer entsprechenden Menge direkt der Atmosphäre entzogen und im Untergrund eingelagert wird.

Beim zweiten Ansatz werden die Flugzeuge nicht mit fossilem Kerosin, sondern mit nachhaltig erzeugtem, synthetischem Treibstoff betankt. Dazu wird ebenfalls CO<sub>2</sub> eingefangen und zusammen mit regenerativ erzeugtem Wasserstoff zu synthetischem Kerosin verarbeitet.

## Weniger Kondensstreifen, weniger Russ

Gemäss der Studie ist die Verwendung synthetischer Kraftstoffe der bessere Weg, vor allem wenn der Flugverkehr bis 2050 wie erwartet weiter deutlich wächst. Das hat damit zu tun, dass die Emission von CO<sub>2</sub> nicht der einzige Klimaeffekt des Fliegens ist. «Die Klimaauswirkungen des Luftverkehrs können bis zu dreimal grösser sein als die des CO<sub>2</sub> allein», sagt Nicoletta Brazzola, leitende Autorin der Studie. Diese zusätzliche Klimawirkung wird vor allem durch Kondensstreifen hervorgerufen, die Wärmestrahlung von der Erde daran hindern, in den Weltraum zu entweichen. Aber auch andere Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte wie die Emission von Stickoxiden und Russ sind für eine zusätzliche Klimawirkung verantwortlich.

Synthetische Treibstoffe bieten hier einen Vorteil, denn sie

## «Die Klimaeffekte des Luftverkehrs können bis zu dreimal grösser sein als die des CO<sub>2</sub> allein.»

**Nicoletta Brazzola**  
Leitende Autorin der Studie

verbrennen sauberer als fossiles Kerosin, verursachen daher weniger Kondensstreifen und weniger andere wärmende Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte.

Da die Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte bei der Verwendung von fossilem Kerosin grösser sind, muss mehr Geld in den teuren Einfang von CO<sub>2</sub> und dessen Lagerung im Untergrund gesteckt werden. Daher würde der Weg über fossiles Kerosin die Flugtickets gemäss der Studie im Jahr 2050 um rund 55 bis 75 Prozent teurer machen als heute, der Weg über synthetisches Kerosin nur um 45 bis 60 Prozent. Von diesen Zusatzkosten können allfällige Spareffekte abgezogen werden, etwa durch effizientere Triebwerke und eine bessere Aerodynamik künftiger Flugzeuge.

## Laut früherer Studie war fossiles Kerosin günstiger

Zu einem etwas anderen Resultat kam eine 2023 publizierte Studie von Forschenden um Romain Sacchi vom PSI und Marco Mazzotti von der ETH Zürich. Die aus Sicht der Autoren günstigste Lö-

sung ist demnach die Nutzung von fossilem Kerosin, verknüpft mit dem Einfang und der Lagerung von CO<sub>2</sub>.

Direkt vergleichbar sind die Studien allerdings nicht, da sie auf unterschiedliche Aspekte fokussieren. In der Sacchi-Studie werden die Kosten des klimaneutralen Fliegens für die Jahre von circa 2020 bis 2050 aufsummiert. Die neue Studie zeigt die Kosten allein für das Jahr 2050.

Und es gibt noch weitere Unterschiede. Laut Patt geht die Sacchi-Studie davon aus, dass der synthetische Kraftstoff ausschliesslich in Europa hergestellt wird. «Wir gehen von globalen Produktionsketten für die synthetischen Kraftstoffe aus, was die erneuerbaren Energien, die zur Herstellung dieser Kraftstoffe benötigt werden, sehr viel billiger macht», sagt Patt. Beispielsweise könnten grosse Solarenergieanlagen in sonnenreichen Gegenden der Arabischen Halbinsel errichtet werden. «Das entspricht auch der Richtung, in die sich dieser Markt entwickelt.»

Einen Kostenvorteil hätte der Ansatz mit fossilem Kerosin indes, wenn weitere Massnahmen zum Tragen kämen, schreiben die Forschenden um Brazzola und Patt. Dazu gehört die Wahl spezieller Flugrouten zur Vermeidung von Kondensstreifen und die sogenannte Hydrierung von fossilem Kerosin, was zur Verringerung von Kondensstreifen und anderer Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte führt. Vor allem aber würde der Ansatz mit fossilem Kerosin plus CO<sub>2</sub>-Einfang und -Speicherung günstiger abschneiden als syntheti-

scher Treibstoff, wenn der Flugverkehr entgegen dem aktuellen Trend künftig zurückginge.

## Flugverkehr muss stark verringert werden

Die Bedeutung eines sinkenden Flugverkehrs wird in der Sacchi-Studie von 2023 sogar noch stärker betont: «Wir zeigen, dass ein klimaneutraler europäischer Luftverkehr möglich ist, aber nur, wenn der Luftverkehr reduziert wird, um das Ausmass der Klimaauswirkungen zu begrenzen und abzumildern», sagt Mazzotti. In diesem Sinne seien die Ergebnisse der beiden Studien letztlich gar nicht so unterschiedlich. «Ich halte es aber für illusorisch, das Emissionsproblem der Luftfahrt ohne eine Reduktion des Sektors zu lösen. Das gelingt weder mit fossilem Kerosin und dem Einfang von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre noch mit synthetischem Treibstoff.» Aus Sicht des Bundesamts für Zivilluftfahrt ist das Netto-null-Ziel beim Flugverkehr in der Schweiz trotz des erwarteten Wachstums zu erreichen.

Kritisch sieht Mazzotti den starken Fokus der Studie von Brazzola und Patt auf die Kosten. «Während wir uns mit den erforderlichen Ressourcen für klimaneutrales Fliegen befassen – neben den Kosten sind das der Strombedarf, der Bedarf an CO<sub>2</sub>-Speichervolumen sowie die Flächennutzung für erneuerbare Energien und den CO<sub>2</sub>-Einfang –, fokussiert die aktuelle Studie nur auf die Kosten», sagt Mazzotti. «Das impliziert, dass alle Auswirkungen des Fliegens in Form von Kosten ausgedrückt werden

können und dass der Markt schon regeln wird, welches die beste Option ist. Ich glaube nicht, dass dies richtig ist, insbesondere wenn es um den Klimawandel geht.» Aus Sicht von Mazzotti sind die Kosten des klimaneutralen Fliegens im Jahr 2050 daher mit recht grosser Unsicherheit behaftet.

## Starker Ausbau erneuerbarer Energien

Heute ist der Markt für synthetisches Kerosin noch sehr klein. Aber das soll sich ändern. Anfang Jahr trat in der EU ein Gesetz in Kraft, wonach dem fossilen Kerosin zunächst 2 Prozent nachhaltiger Treibstoff beigemischt werden muss. Bis 2050 soll der Anteil auf 70 Prozent ansteigen. In der Schweiz ist mit der 2025 in Kraft getretenen CO<sub>2</sub>-Verordnung die rechtliche Grundlage für eine solche Beimischpflicht gelegt. Rechtskräftig werden soll sie hierzulande voraussichtlich 2026.

Anthony Patt sieht zwar «keine technologischen Hindernisse», um synthetisches Kerosin in steigendem Umfang herzustellen. Einfach wird der Weg zum klimaneutralen Fliegen laut Nicoletta Brazzola aber nicht – egal, ob der Pfad über synthetisches Kerosin oder über fossiles Kerosin und die Speicherung von CO<sub>2</sub> eingeschlagen wird. «Um eine klimaneutrale Luftfahrt mit diesen Technologien zu erreichen, müssen wir erneuerbare Energien massiv ausbauen, grosse Mengen an grünem Wasserstoff produzieren und eine Infrastruktur für den Transport und die Speicherung von CO<sub>2</sub> aufbauen», sagt sie. «Dies wird eine beispiellose Herausforderung sein.»