

Wissen

Noch schädlicher als CO₂

Flugverkehr Nicht die Kohlenstoffdioxid-Emissionen sind der zentrale Klimafaktor beim Fliegen, sondern Kondensstreifen und andere Klimagase. Allein diese könnten die Erde um bis zu 0,4 Grad erwärmen. Forschende zeigen nun Lösungen auf.

Joachim Laukenmann

Für manche Menschen sind sie ein schönes Fotomotiv, für andere ein ästhetisches Ärgernis, für wenige gar der Ursprung für eine Verschwörungstheorie: Kondensstreifen, die Flugzeuge in grosser Höhe gelegentlich an den Himmel zeichnen.

Ins Reich der Legenden gehört nach allem, was man weiss, die These, es handle sich dabei um gezielt ausgebrachte Giftwolken, mit denen Regierungen Menschenmassen kontrollierten und manipulierten. Zweifelsfrei belegt ist indes eine andere Wirkung der Kondensstreifen: Sie erwärmen die Erde, und das sogar stärker als das CO₂, das bei der Verbrennung von Kerosin in die Atmosphäre gelangt: Nur etwas mehr als ein Drittel der Klimawirkung des Fliegens kommt vom CO₂. Mehr als die Hälfte geht auf das Konto von Kondensstreifen. Hinzu kommen weitere Klimaeffekte, etwa von Stickoxiden, Wasserdampf und Aerosolen.

Wie Forschende um Nicoletta Brazzola von der ETH Zürich nun in «Nature Climate Change» zeigen, könnten die Nicht-CO₂-Effekte des Fliegens, allen voran die Kondensstreifen, die Erde bis gegen Ende dieses Jahrhunderts je nach Szenario um rund 0,1 bis 0,4 Grad Celsius erwärmen. «Wenn man bedenkt, dass wir die gesamte Erderwärmung auf 1,5 Grad begrenzen wollen, dann sind rund 0,4 Grad ganz schön viel», sagt Anthony Patt, Professor für Klimapolitik am Institut für Umweltentscheidungen der ETH Zürich und Co-Studienautor.

Laut Patt genügt es daher nicht, den Luftverkehr CO₂-neutral zu machen. «Selbst wenn die Luftfahrt durch die Verwendung von Biotreibstoffen und synthetischen Treibstoffen die CO₂-Emissionen auf null bringt, würde sie wegen der Nicht-CO₂-Effekte immer noch signifikant zur Erderwärmung beitragen.»

Im Klimaabkommen nicht berücksichtigt

Der Luftverkehr trägt gemäss einer Studie des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aus dem Jahr 2020 in etwa 3,5 Prozent zur gesamten menschengemachten Klimaänderung bei. Im Vergleich zum Strassenverkehr ist dieser Anteil zwar gering. Studien sagen aber eine Verdreifachung des Luftverkehrs bis 2050 voraus. «Daher ist es wichtig, den künftigen Luftverkehr klimaneutral zu gestalten», sagt Christiane Voigt vom Institut für Physik der Atmosphäre des DLR.

Allerdings würden die Nicht-CO₂-Effekte bei den internationalen Klimaabkommen nicht berücksichtigt, heisst es in der aktuellen Publikation: nicht beim Klimaabkommen von Paris, nicht beim globalen CO₂-Kompensationssystem für den Luftverkehr der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation und auch nicht beim Europäischen CO₂-Kompensationssystem.

Um die Nicht-CO₂-Effekte des Flugverkehrs zu reduzieren, gibt es mehrere Ansätze. Etwa eine gescheiterte Wahl der Flugroute. «Es gibt klimasensitive Regionen, in denen Kondensstreifen



Sie dominieren die Klimawirkung des Fliegens: Kondensstreifen am Himmel. Foto: Getty Images

besonders stark wärmen», sagt Voigt. Sie ist Co-Autorin einer Studie zu Kondensstreifen-Effekten über dem Nordatlantik. Die Studie zeigt, dass über dem Nordatlantik nur 12 Prozent der Flüge 80 Prozent der Erwärmung durch Kondensstreifen verursachen. «Man muss also nur einen geringen Anteil der Flüge um diese stark wärmenden Kondensstreifen-Regionen herumleiten, um einen grossen Klimanutzen zu erzielen.» Die Vermeidung von Kondensstreifen durch klimafreundliche Flugrouten wäre laut Voigt im Vergleich zu anderen Technologien relativ schnell umsetzbar. Aber es müssten Anreize geschaffen werden, damit Airlines das auch tun.

Das DLR forscht auch an der optimalen Rezeptur für synthetischen Kraftstoff, um dessen an sich günstige Klimabilanz auch hinsichtlich der Kondensstreifen

zu optimieren. Bei aus Pflanzen gewonnenen Biotreibstoffen konnte das DLR bereits positive Effekte nachweisen: «Wenn man dem fossilen Kerosin 50 Prozent Biotreibstoffe beimischt, halbiert sich die Menge an Eis in den Kondensstreifen», sagt Voigt. «Das wiederum reduziert deren Lebensdauer und die Klimawirkung deutlich.» Zurzeit führt das DLR gemeinsam mit Industriepartnern Flugversuche mit 100 Prozent Biotreibstoff durch, die Ergebnisse sind vielversprechend. Die Ressource Biotreibstoff ist allerdings begrenzt, und es muss darauf geachtet werden, dass dessen Herstellung nicht mit der Lebensmittelproduktion konkurriert.

Weniger klar ist die Situation, wenn Wasserstoff in den Triebwerken verbrannt wird. Dabei wird kein CO₂ frei, dafür 2,6-mal so viel Wasser wie mit Kerosin. «Wird das Wasser als Wasser-

dampf ausgestossen, erhöht sich die Erwärmung durch den Luftverkehr nur um etwa 3 Prozent», sagt Voigt. Wichtiger ist seine Wirkung in den Kondensstreifen. Sie muss erst erforscht werden, um die ganze Klimawirkung von Wasserstoffantrieben zu bewerten.

CO₂ soll aus der Luft geholt werden

In ihrer Studie haben die Forschenden der ETH Zürich verschiedene Szenarien untersucht, von weiter wie bisher mit sehr vielen Treibhausgasemissionen über die Verwendung CO₂-freier Treibstoffe bis zu heute noch eher hypothetischen Flugzeugen, die keinerlei Emissionen mehr verursachen, da sie batterieelektrisch fliegen. Je nach Szenario bleiben mehr oder weniger Nicht-CO₂-Effekte erhalten. Die Forschenden schlagen vor, diese verbleibende Klimawirkung der

Nicht-CO₂-Effekte durch den Einfang von CO₂ aus der Luft und dessen Lagerung im Untergrund zu kompensieren. So würde das Fliegen wirklich klimaneutral.

«Wir haben uns gefragt, wie viel CO₂-Einfang und -Speicherung je nach Szenario nötig ist und was das kosten würde», sagt Patt. «Wenn es bezahlbar ist, würde das bedeuten, dass die Luftfahrt mit den Klimazielen von Paris kompatibel ist und wir wahrscheinlich auch in Zukunft fliegen können. Wäre es unerschwinglich, würde das bedeuten, dass wir ernsthaft darüber nachdenken müssen, den gesamten Flugverkehr zu stoppen.»

Solange zwei Dinge erfüllt sind, zeigt die Studie, muss der Flugverkehr nicht komplett zum Erliegen kommen: «Erstens müssen wir auf 100 Prozent regenerativ erzeugtes, synthetisches Kerosin umstellen», sagt Patt.

Wasserdampf, Russ und Kälte

Kondensstreifen entstehen, wenn Wasserdampf im Abgasstrom von Triebwerken an dort ebenfalls vorhandenen Russpartikeln kondensiert. Da es auf der Reiseflughöhe sehr kalt ist, bilden sich Eiskristalle, die wir als Kondensstreifen sehen. Je feuchter die Luft, desto grösser werden die Kondensstreifen, und desto länger sind sie zu sehen. Über eine Zeitspanne von Stunden bis Tagen können sie eine grosse Menge ausgehender Wärmestrahlung blockieren. Sprich: Sie wirken wie ein Treibhaus um die Erde.

Nicht alles, was bei der Kerosinverbrennung aus den Triebwerken kommt, hat aber einen wärmenden Effekt. Manche Schwebeteilchen entfalten eine leicht kühlende Wirkung auf das Klima. Über Mittag wirken Kondensstreifen kühlend, da sie die Sonne abschirmen. Aber vor allem bei Nacht überwiegt der Treibhauseffekt, sodass Kondensstreifen insgesamt klar zur Erwärmung beitragen. (jol)

Synthetisches Kerosin aus Wasser, Sonne und Luft

Forschende um Aldo Steinfeld, Professor für erneuerbare Energieträger an der ETH Zürich, haben in Spanien mit der Produktion von synthetischem Kerosin begonnen. Ein Solarreaktor erzeugt dabei mithilfe von Sonnenlicht, CO₂ und Wasser direkt ein Synthesegas aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff. Daraus wird anschliessend Kerosin synthetisiert, wie sie im Fachmagazin «Joule» berichten.

«Wir sind die Ersten, die die gesamte thermochemische Prozesskette vom Wasser über das CO₂ bis zum Kerosin in einem voll integrierten Solarturm-System aufzeigen», sagt Steinfeld. Die Pilotanlage mit einer Leistung von 50 Kilowatt besteht aus 169 Sonnenreflektoren, einem Turm mit dem Solarreaktor und einer Anlage zur Herstellung von Kerosin. Der Aufbau lasse sich im industriellen Massstab umsetzen und setze damit einen Meilenstein auf dem Weg zur Produktion von nachhaltigem Flugtreibstoff. (jol)

«Zweitens müssen wir die verbleibenden Nicht-CO₂-Effekte des Fliegens durch den Einfang von CO₂ kompensieren. Die Kosten dafür scheinen tragbar zu sein.»

Gemäss der Studie würde ein Flugticket von Zürich nach New York wegen der CO₂-Kompensationen um circa 40 bis 100 Franken teurer werden, je nachdem, wie streng man es mit der Klimaneutralität der Luftfahrt nimmt. Bei kürzeren Flügen wäre es weit weniger. «Das dürfte kaum spürbar sein», sagt Patt, «zumal Fluggesellschaften neue Ansätze finden werden, um ihre Kosten zu senken.» Die Fluggesellschaften hätten grosses Interesse an solchen Resultaten. «Sie wollen wissen, ob es möglich ist, das Fliegen klimaneutral zu machen, und ob sich die Passagiere das auch werden leisten können», sagt Patt. «Denn die Fluggesellschaften wollen im Geschäft bleiben.»