

Einführung einer Flugticketabgabe in der Schweiz: Mögliche Auswirkungen auf die Nachfrage



Einführung einer Flugticketabgabe in der Schweiz:

Mögliche Auswirkungen auf die Nachfrage

E4S-Grundlagenpapier

Philippe Thalmann, Fleance Cocker, Pallivathukkal Cherian Abraham, Marius Brülhart, Nikolai Orgland, Dominic Rohner, Michael Yaziji

Juni 2021

© Enterprise for Society (E4S), 2021

E4S bedankt sich für die finanzielle Unterstützung durch die Universität Lausanne, das IMD und die EPFL. Dieses Grundlagenpapier wurde von der Plattform Umweltpolitik des Enterprise for Society Center (E4S) erstellt. Die Mitglieder der Plattform sind: Marius Brülhart, Pierre-Marie Glauser, Rafael Lalive, Dominic Rohner, Simon Scheidegger, Mathias Thoenig (alle UNIL-HEC), Ralf Boscheck, Michael Yaziji (IMD), Philippe Thalmann, und Gaetan de Rassenfosse (EPFL).

Titelfoto von [AmarnathTade](#), heruntergeladen von Unsplash.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
1 Einführung	7
2 Der Beitrag des Flugverkehrs zur globalen Erwärmung	10
2.1 Vollständige Klimawirkung des Luftverkehrs	10
2.2 Klimaauswirkungen des Schweizer Flugverkehrs	12
2.3 Merkmale des Flugverkehrs aus der Schweiz	13
2.4 Nachfrageprognosen	16
2.5 Prognosen zur Treibstoffeffizienz	16
2.6 Emissionsprognosen	18
2.7 Zerlegung der Emissionen aus dem Luftverkehr	18
3 Wie die globalen Auswirkungen des Luftverkehrs eingedämmt werden können – erste Grundsätze und bestehende Richtlinien	20
3.1 Erste Grundsätze	20
3.2 Bisherige Massnahmen der ICAO	22
3.3 Bisherige Massnahmen der Europäischen Union	23
3.4 Bisherige und geplante Massnahmen in der Schweiz	24
4 Auswirkungen einer Flugticketabgabe – die Rolle der Nachfrageelastizität	26
4.1 Nachfrageelastizitäten	26
4.2 Literatur zu Nachfrageelastizitäten bei Flugreisen	26
4.3 Für unsere Simulationen verwendete Elastizitäten	29
5 Auswirkungen einer Flugticketabgabe – Simulationen	31
5.1 Modellierung	32
5.2 Daten und Kalibrierung	34
5.2.1 <i>Passagiere</i>	34
5.2.2 <i>Distanzen</i>	35
5.2.3 <i>Auswirkungen auf das Klima</i>	36
5.2.4 <i>Preise</i>	40
5.2.5 <i>Elastizitäten</i>	42
5.3 Abgabeabstufungsszenarien	42
5.3.1 <i>Abstufung laut CO₂-Gesetz und implizite CO₂-Abgabe</i>	42
5.3.2 <i>Zu simulierende Szenarien</i>	44
5.4 Modellsimulationen	45
5.4.1 <i>Abstufung gemäss CO₂-Gesetz</i>	46
5.4.2 <i>Abstufung gemäss CO₂-Gesetz mit Wachstum</i>	47
5.4.3 <i>Abstufung analog zu UK Duty</i>	48

5.4.4	<i>Abstufung auf Basis der CO₂-Abgabe</i>	49
5.4.5	<i>Alle Szenarien im Vergleich</i>	49
5.5	Verteilungseffekte der Flugticketabgabe.....	51
5.6	Grenzen der Simulationen.....	52
5.7	Diskussion dieser Ergebnisse	53
6	Weitere Massnahmen zur Reduzierung der Klimaauswirkungen des Flugverkehrs	54
6.1	Überblick.....	54
6.2	Reduktion der Nachfrage nach Flugreisen.....	56
6.2.1	<i>Freiwillige Ansätze</i>	56
6.2.2	<i>Regulatorische Massnahmen</i>	57
6.2.3	<i>Mengenmassnahmen</i>	57
6.2.4	<i>Preismassnahmen</i>	59
6.2.5	<i>Sonstige Massnahmen</i>	60
6.3	Reduktion des Flugreiseangebots	62
6.3.1	<i>Freiwillige Ansätze</i>	62
6.3.2	<i>Regulatorische Massnahmen</i>	62
6.3.3	<i>Mengenmassnahmen</i>	63
6.3.4	<i>Preismassnahmen</i>	64
6.4	Passagierauslastung verbessern.....	65
6.4.1	<i>Regulatorische Massnahmen</i>	65
6.5	Reduktion der Auswirkung von Flügen auf die globale Erwärmung	66
6.5.1	<i>Freiwillige Ansätze</i>	72
6.5.2	<i>Mengenmassnahmen</i>	72
6.5.3	<i>Preismassnahmen</i>	73
6.5.4	<i>Sonstige Massnahmen</i>	75
6.6	Schlussfolgerungen bezüglich zusätzlicher Massnahmen zur Reduzierung der Klimaauswirkungen des Luftverkehrs.....	76
7	Schlussfolgerungen	77
	Referenzen.....	79
	Anhang: Terminologie	87
	Kontakt	89
	Über E4S.....	89

Kurzfassung

Die gesamte Klimawirkung der Flugzeugemissionen beträgt das Dreifache der direkten Kohlendioxidemissionen, da auch die weiteren klimawirksamen Bestandteile dieser Emissionen (Wasserdampf, Stickoxide, Schwefeldioxid, Russ) zu berücksichtigen sind.¹ Dadurch machte der internationale Flugverkehr der Schweizer Bevölkerung im Jahr 2019 mehr als ein Viertel der Klimawirkung aller Schweizer Emissionen aus. Dennoch verfolgte die Schweiz bis 2020 keine spezifische Klimapolitik für den internationalen Flugverkehr. Die Bewohner der Schweiz sind Vielflieger und reisen fast doppelt so oft mit dem Flugzeug wie die Bewohner der Nachbarländer. Selbst bei einer optimistischen Technologieentwicklung und einem etwas langsameren Passagierwachstum nach COVID-19 könnte die globale Erwärmung durch den Schweizer Luftverkehr bis 2050 im Vergleich zu 2019 um ein Drittel zunehmen. Dies wäre nur schwer mit dem Netto-Null-Ziel des Bundesrats zu vereinbaren.

Bei der Revision des CO₂-Gesetzes von 2011 führte das Schweizer Parlament abhängig von der Reiseklasse und der zurückgelegten Strecke eine Flugticketabgabe von 30 bis 120 CHF ein. Wir betrachten die möglichen Auswirkungen einer solchen Abgabe auf das zukünftige Flugaufkommen. Zu diesem Zweck haben wir ein dynamisches Modell der Flugreisenachfrage und ihrer Klimawirkung erstellt und abgestimmt. Die wichtigsten Parameter sind Nachfrageelastizitäten, die wir aus einer internationalen Literaturstudie abgeleitet haben. Wir verwenden das Modell, um die Auswirkungen verschiedener Konzepte für die Flugticketabgabe auf die Nachfrage nach Flugreisen zu simulieren, wobei wir der Einfachheit halber von einer isoelastischen Nachfrage und einem vollkommen elastischen Angebot ausgehen.

Mittels einer leichten Vereinfachung der vorgeschlagenen Abstufung gehen wir in unseren Grundlagensimulationen davon aus, dass Kurzstreckenflüge mit einer Ticketabgabe von 30 CHF in der Economy-Klasse und 60 CHF in höheren Klassen belegt werden, während auf Langstreckenflügen eine Abgabe von 90 CHF in der Economy-Klasse und 120 CHF in höheren Klassen erhoben wird.² Unsere Simulationen deuten darauf hin, dass eine solche Abgabe abhängig von den angenommenen Elastizitäten zu einem Rückgang der Passagierzahlen um 13 % bis 21 % führen würde. Es erscheint plausibel, dass die Nachfrageelastizitäten für Flugreisen nach der COVID-19-Pandemie insbesondere für berufsbedingte Reisen näher an der Obergrenze liegen. In diesem Fall würden die Passagierzahlen um 21 % zurückgehen. Die CO₂-Emissionen des

¹ In früheren Abschätzungen, auch jenen von uns, wurde üblicherweise der Faktor zwei verwendet. Neue Erkenntnisse zum Strahlungsantrieb durch die Nicht-CO₂-Komponenten in den Flugzeugemissionen führten zur Anpassung dieses Faktors.

² Die Vereinfachung besteht darin, dass wir Mittelstreckenflüge nicht als eigene Kategorie betrachten.

Luftverkehrs würden mit einer Reduktion um 16 % etwas weniger stark zurückgehen als die Passagierzahlen, da die Abstufung des CO₂-Gesetzes den Preis von Langstreckenflügen relativ gesehen weniger stark erhöht als den von Kurzstreckenflügen. Da Langstreckenflüge 60 % der Klimawirkung des Luftverkehrs ausmachen, aber nur 20 % der Passagiere betreffen, steigt die Klimawirkung einer Ticketabgabe trotz der geringeren Preiselastizitäten im Langstreckensegment tendenziell mit zunehmender Abgabenhöhe.

Unter Berücksichtigung der vollen Klimawirkung eines durchschnittlichen Kurzstreckenflugs in der Economy-Klasse entspricht eine Flugticketabgabe von 30 CHF einem Preis von 92 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent, was in etwa der bestehenden CO₂-Abgabe auf Heiz- und Brennstoffe entspricht (96 CHF pro Tonne CO₂). Da ein durchschnittlicher Langstreckenflug im Premium-Segment mit Zwischenlandung mehr als 16-mal so umweltbelastend ist wie ein durchschnittlicher Kurzstreckenflug in der Economy-Klasse, kann eine auf eine Spanne von 30 bis 120 CHF beschränkte Abgabe die Klimawirkung der verschiedenen Flugsegmente keinesfalls adäquat abbilden. Darüber hinaus ist der Aufschlag von 30 CHF für Premium gegenüber Economy unabhängig von der Flugdistanz eine eher grobe Annäherung an die zusätzliche Klimawirkung, die auf breitere Sitze und niedrigere Belegung zurückzuführen ist. Im Ergebnis würde der durchschnittliche Langstreckenflug in der Premium-Klasse nach der vorgeschlagenen Abstufung nur mit einem impliziten Satz von 24 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent belastet werden, während der durchschnittliche Kurzstreckenflug im Premium-Segment mit einem impliziten Satz von 123 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent belastet würde.

Die Diskrepanz bei den impliziten Emissionspreisen, die die Ticketabgabe des CO₂-Gesetzes vorsieht, wird noch grösser, wenn man bedenkt, dass die CO₂-Emissionen von Flügen in den Europäischen Wirtschaftsraum in das Emissionshandelssystem einbezogen werden, d. h. die Fluggesellschaften müssen für diese Emissionen einen Grenzpreis zahlen, der im Mai 2021 den Wert von 50 EUR pro Tonne CO₂ erreicht hat. Langstreckenflüge sind davon ausgenommen. Das bedeutet, dass ein Drittel der Klimawirkung eines Kurzstreckenflugs bereits bepreist ist. Die 30 CHF Abgabe für einen Kurzstreckenflug in der Economy-Klasse bedeuten also einen Gesamtpreis von 138 CHF pro Tonne CO₂ für einen durchschnittlichen innereuropäischen Flug; die 60 CHF für Kurzstreckenflüge in der Business-Klasse belaufen sich auf 184 CHF pro Tonne CO₂.³

Wir haben auch die Auswirkungen von alternativen Abstufungen simuliert und festgestellt, dass durch eine Senkung des Abgabesaftes für Kurzstreckenflüge und eine Anhebung für Langstreckenflüge, insbesondere im Premium-Segment, eine stärkere Reduktion der Klimawirkung des Flugverkehrs (was ja der Zweck der Abgabe ist) mit einem geringeren Rückgang der Passagierzahlen erreicht werden könnte. Die Einnahmen der Flugticketabgabe wären bei beiden

³ Die Tatsache, dass das EHS nur die direkten CO₂-Emissionen und nicht die gesamte Klimawirkung der Flugzeugemissionen berücksichtigt, rechtfertigt eine Flugticketabgabe zusätzlich zur Aufnahme in das EHS. Das Gleiche gilt für CORSIA.

Varianten fast gleich hoch: rund 1 Mrd. CHF pro Jahr, wovon rund 350 Mio. CHF an die Bevölkerung zurückfliessen würden. Dies entspricht einer Rückerstattung von rund 40 CHF pro Person.

Neben der Simulation der Auswirkungen verschiedener Flugticketabgaben evaluieren wir auch die Vor- und Nachteile dieses Instruments und diskutieren alternative klimapolitische Massnahmen wie Treibstoffsteuern, den persönlichen Emissionshandel, Quoten für synthetisches Kerosin, eine Veränderung sozialer Normen durch Nudging sowie die Förderung von Nacht- und Hochgeschwindigkeitszügen.

In diesem Grundlagenpapier soll lediglich die mit dem neuen CO₂-Gesetz eingeführte Flugticketabgabe als Instrument der Schweizer Klimapolitik bewertet werden. Es wird kein Urteil darüber abgegeben, ob der Luftverkehr im Allgemeinen wichtig ist. Es wird auch nicht bewertet, welche Auswirkungen die vorgeschlagene Flugticketabgabe oder andere mögliche Massnahmen, die in diesem Dokument diskutiert werden, um den Luftverkehr in Richtung Dekarbonisierung zu führen, auf Fluggesellschaften, Flughäfen, Beschäftigung, internationalen Handel usw. haben.

1 Einführung

Treibhausgasemissionen aus anthropogenen Quellen reichern sich in der Atmosphäre an und führen zu einer Erwärmung des Erdklimas. Um die negativen Auswirkungen der globalen Erwärmung abzumildern, unterzeichneten 196 Länder im Dezember 2015 das Pariser Abkommen, ein internationales Abkommen, das den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2 °C über dem vorindustriellen Niveau begrenzen soll, mit dem Ziel, den Anstieg auf 1,5 °C zu begrenzen. Um das letztgenannte Ziel zu erreichen, müssten die globalen CO₂-Emissionen im Vergleich zu 2010 bis 2030 um etwa 45 % sinken und bis 2050 «Netto-Null» erreichen (Abbildung 1). 65 Länder, darunter die Schweiz und die Mitgliedstaaten der Europäischen Union, haben sich verpflichtet, ihre CO₂-Emissionen bis 2050 auf «Netto-Null» zu reduzieren (Vereinte Nationen, 2019).

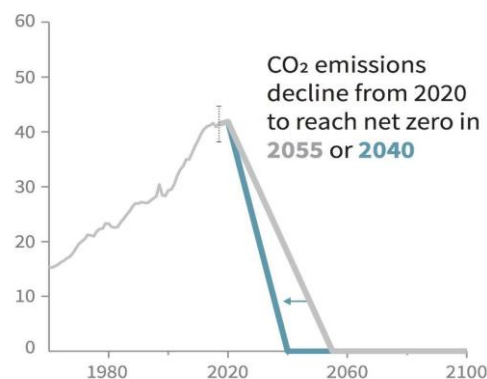


Abbildung 1: Stilisierte globale Netto-CO₂-Emissionspfade (GtCO₂/Jahr). Erforderliche globale CO₂-Emissionen, um bis Mitte des Jahrhunderts «Netto-Null» zu erreichen (IPCC, 2018)

In der Schweiz ist die Luftfahrt der einzige Sektor, dessen CO₂-Emissionen in den letzten zehn Jahren zugenommen haben. Die impliziten CO₂-Emissionen aus dem Kerosinverkauf an Schweizer Flughäfen waren 2019 um 75 % höher als 1990 und nahmen im Betrachtungszeitraum 2010–2019 um jährlich 3,2 % zu (Daten des BAFU, 2021).

Die Konsequenz aus diesen Zahlen ist klar: Das Wachstum der Flugverkehrsemissionen muss deutlich eingedämmt werden, wenn die Schweiz ihre vereinbarten Klimaziele nicht verfehlen will. Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder das Fliegen wird sauberer oder die Menschen fliegen weniger.

Angesichts der unbestrittenen wirtschaftlichen, sozialen und persönlichen Vorteile, die Flugreisen mit sich bringen, wäre es wünschenswert, dass das Fliegen sauberer wird. Fortschritte wurden bereits erzielt: Verbesserte Flugzeugtechnik hat zu erheblichen Steigerungen der Treibstoffeffizienz geführt und dynamische Preisstrategien haben die Auslastung der Flugzeuge erhöht. In den kommenden Jahren könnten Agrotreibstoffe und synthetisches Kerosin dazu beitragen, Flugzeuge klimaneutral anzutreiben.

Diese technologischen Entwicklungen sind zu begrüßen und verdienen weitere Unterstützung. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass der technologische Wandel allein nicht ausreicht, um die zunehmenden Auswirkungen des Luftverkehrs auf die globale Erwärmung umzukehren oder auch nur deutlich zu verlangsamen.⁴ Zwei Zahlen untermauern diese Einschätzung: Während die Flugverkehrsemissionen in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 jährlich um durchschnittlich 3,2 % zunahmen, stiegen die Passagierzahlen um 4,6 % (BFS, 2020a). Die Umwelteffizienzgewinne haben also nur etwa einen Drittel des Passagierwachstums kompensieren können. Die Wahrscheinlichkeit, dass derartige Verbesserungen zunehmende Auswirkungen des Luftverkehrs auf die globale Erwärmung in naher Zukunft umkehren könnten, scheint daher nahe Null zu sein.

⁴ Einem optimistischen Szenario zufolge könnte synthetisches Kerosin Anfang der 2030er-Jahre schon 5 % des Treibstoffverbrauchs ausmachen (Patt, 2019).

Technologische Verbesserungen werden durch den Anstieg der Passagierzahlen schlichtweg aufgeessen.

Um die Treibhausgasemissionen aus dem Flugverkehr zu reduzieren, hat das Schweizer Parlament im neuen CO₂-Gesetz eine Flugticketabgabe in Höhe von 30 bis 120 CHF eingeführt, die 2022 in Kraft treten könnte (Schweizer Parlament, 2020). Darüber hinaus wurde am 1. Januar 2020 das Schweizer Emissionshandelssystem mit dem Emissionshandelssystem der Europäischen Union (EU-EHS) gekoppelt und deckt alle Flugreisen zwischen der Schweiz und dem Europäischen Wirtschaftsraum ab.⁵

Wir liefern erste Schätzungen zu den Auswirkungen einer Flugticketabgabe auf die Nachfrage nach Flugreisen und die entsprechenden Treibhausgasemissionen. Die beschlossene Abgabe von 30 bis 120 CHF pro Flugticket würde die Nachfrage deutlich dämpfen. Sie könnte den Flugverkehr um bis zu 21 % und die damit verbundenen Treibhausgasemissionen um bis zu 16 % reduzieren. Dies würde den gesamten Treibhausgasbeitrag der Schweiz um etwa 4 % senken. Wir simulieren keine Verteilungseffekte der Flugticketabgabe, stellen aber fest, dass die vom Parlament vorgesehene Abgabe Einnahmen von bis zu 1 Mrd. CHF pro Jahr generieren würde.

Da schätzungsweise 60 % der Emissionen, aber nur 20 % des Passagieraufkommens auf Langstreckenflüge entfallen, könnte die emissionsmindernde Wirkung durch eine progressivere Belastung mit Spitzensätzen, die insbesondere für Premium-Sitzplätze deutlich über der Obergrenze von 120 CHF liegen, verstärkt werden. Ein solches verbessertes Emissionsergebnis könnte mit einem geringeren Rückgang der Passagierzahlen als in unserer Interpretation des Basisszenarios des Parlaments erreicht werden.

Nach einer Beschreibung des Kontexts und einigen Hintergrundinformationen zum Luftverkehr und seinen Klimawirkungen (Kap. 2) wird in diesem Grundlagenpapier eine Reihe von Instrumenten vorgestellt und kurz diskutiert, die zur Emissionsminderung vorgeschlagen wurden oder die in der Europäischen Union und der Schweiz existieren (Kap. 3). Eine detaillierte Diskussion möglicher Massnahmen findet erst am Ende des Dokuments statt (Kap. 6). Tatsächlich konzentriert sich dieses Grundlagenpapier auf die neue Flugticketabgabe. Um ihre möglichen Auswirkungen zu simulieren, muss die Reaktivität (oder Elastizität) der Flugreisenachfrage auf höhere Preise (Kap. 4) abgeschätzt werden. Mit diesen Informationen zeigen wir, wie der Flugverkehr aus der Schweiz auf verschiedene Abstufungen der Flugticketabgabe reagieren könnte (Kap. 5). Wir schliessen mit einem Vergleich der vorgeschlagenen Flugticketabgabe mit möglichen Alternativen und ergänzenden Massnahmen (Kap. 7).

⁵ Um den Verwaltungsaufwand zu verringern, sind nichtgewerbliche Luftfahrzeugbetreiber, die weniger als 1000 Tonnen CO₂ pro Jahr ausstossen, von der Regelung ausgenommen.

2 Der Beitrag des Flugverkehrs zur globalen Erwärmung

2.1 Vollständige Klimawirkung des Luftverkehrs

Flugreisen sind eine der energieintensivsten Formen des Transports (IEA, 2019b). Dies ist auf den hohen Energiebedarf zur Erzeugung von ausreichend aerodynamischem Auftrieb für den Start eines Flugzeugs zurückzuführen. Derzeit ist Kerosin mit einem jährlichen Absatz von 1 874 428 Tonnen im Jahr 2019, was einem Anteil von 18,2 % am Gesamtabsatz von Erdölprodukten entspricht, der am meisten verwendete Flugzeugtreibstoff in der Schweiz, (Avenenergy Suisse, 2020). Kerosin ist ein Kohlenwasserstoff fossilen Ursprungs, der durch Raffinieren von Rohöl gewonnen wird. Es hat einen Kohlenstoffgehalt von 73,3 tCO₂/TJ Treibstoff und damit etwas mehr, als dies bei Benzin der Fall ist, aber immer noch weniger als bei Diesel (Umweltbundesamt, 2016). Bei der Verbrennung von Kerosin in den am weitesten verbreiteten Turbofan-Triebwerken wird chemische Energie in mechanische Energie umgewandelt, um die aus dem Triebwerk austretende Luft zu beschleunigen und so Schub zu erzeugen. Bei der Verbrennung eines Liters Kerosin entstehen feste Mengen an CO₂ und Wasserdampf. Da es sich um einen unvollständigen Verbrennungsprozess handelt, entstehen ausserdem mehrere Nebenprodukte wie Stickoxide und Aerosole.

Während die atmosphärischen Eigenschaften von CO₂ gut dokumentiert sind, ist dies bei anderen Verbrennungsprodukten weit weniger der Fall. In der Tat ergeben sich eine Reihe von methodischen Schwierigkeiten. Erstens verursachen diese Verbrennungsprodukte durch ihre Wechselwirkung mit anderen atmosphärischen Bestandteilen sowohl direkt als auch indirekt – und manchmal auf entgegengesetzte Weise und mit Rückkopplungseffekten – einen Strahlungsantrieb. Zweitens mischen sich andere Emissionen im Gegensatz zu CO₂ nicht gut in der Atmosphäre, was bedeutet, dass ihre Treibhauswirkung unter anderem stark von der Höhe, der geografischen Lage und dem Wetter abhängt. Drittens haben die Verbrennungsprodukte nicht die gleiche Lebensdauer und zerfallen auch nicht mit der gleichen Geschwindigkeit; daher beeinflusst der betrachtete Zeithorizont ihre relative Klimawirkung.

Stickoxide (NO_x) haben ein indirektes globales Erwärmungspotenzial (GWP), indem sie die atmosphärischen Konzentrationen von Methan (CH₄) verringern und Ozon (O₃) erhöhen, wenn sie in der höheren Atmosphäre ausgestossen werden. Wasserdampf hat in grossen Höhen aufgrund der Bildung von linearen Kondensstreifen und der induzierten Zirrusbewölkung ein beträchtliches GWP. Während der Stand der Wissenschaft im Zusammenhang mit dem induzierten GWP für CO₂ hoch und für NO_x mittelmässig ist, ist er bezüglich der Effekte von Aerosolen, Wasserdampf und linearen Kondensstreifen noch gering. Nach derzeitigem Kenntnisstand verursachen

Kondensstreifen und induzierte Zirruswolken die stärkste Klimawirkung unter den Nicht-CO₂-Emissionen, die wesentlich höher als die Wirkung von CO₂ selbst ist (Neu, 2021).

Um diese Nicht-CO₂-Effekte zu berücksichtigen, wurde der Radiative Forcing Index (RFI) entwickelt, der dem gesamten Strahlungsantrieb des Luftverkehrs (RF) geteilt durch den Strahlungsantrieb, der allein von CO₂-Emissionen stammt, entspricht (IPCC, 1999). Trotz seiner Unzulänglichkeiten wird der RFI häufig von Kompensationsfirmen und politischen Entscheidungsträgern verwendet, um die Auswirkungen von Nicht-CO₂-Gasen zu berücksichtigen. In der Vergangenheit wurde basierend auf der Interpretation wissenschaftlicher Veröffentlichungen (ESU-services, 2018) für die gesamten CO₂-Emissionen von Flugzeugen ein RFI von 2 empfohlen. Neuere Forschungen, die auf einem besseren Verständnis der Klimaantriebswirkungen von Flugzeugemissionen in grossen Höhen beruhen, kommen zu dem Schluss, dass dieser RFI für den 100-Jahres-Horizont der Berichterstattung zum UNFCCC-Treibhausgasinventar in etwa richtig ist, dass aber wesentlich höhere RFI für die Bewertung der Klimawirkung einzelner Flüge verwendet werden sollten (Lee, 2021). Die Akademie der Naturwissenschaften Schweiz hat kürzlich im Auftrag des Bundesamts für Umwelt die neuesten Erkenntnisse geprüft (Neu, 2021). Sie empfiehlt nun einen Faktor von 3 für die Kompensation von Flügen ab Schweizer Flughäfen, und diesen Wert werden wir für die Berechnung der CO₂-Äquivalent-Emissionen von Flugreisen verwenden.

Trotz dieser wichtigen und wissenschaftlich fundierten Überlegungen konzentriert sich die öffentliche Debatte um die Klimawirkung des Luftverkehrs nach wie vor hauptsächlich auf Kohlendioxid. Zum Beispiel diskutiert die International Air Transport Association (IATA), der führende Branchenverband der Fluggesellschaften der Welt, in ihrem Faktenblatt zum Klimawandel nur das CO₂ und ignoriert alle Nicht-CO₂-Erwärmungseffekte (IATA, 2021). In ähnlicher Weise erkennt die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) die Notwendigkeit an, Emissionen, die zum globalen Klimawandel beitragen, zu reduzieren, ohne jedoch in ihrer jüngsten Resolution zum Klimawandel ein anderes Treibhausgas als CO₂ zu erwähnen (ICAO, 2019c). Die IATA gibt an, dass «die gesamte zivile Luftfahrt im Jahr 2019 rund 915 Millionen Tonnen CO₂ ausgestossen hat, was etwas mehr als 2 % der vom Menschen verursachten Kohlenstoffemissionen entspricht». Mit einem RFI von 3 liegt die Verantwortung der Luftfahrt näher bei 6 % der vom Menschen verursachten globalen Erwärmung.

Selbst mit dem RFI sind unsere Schätzungen aber noch immer eine unvollständige Bewertung der Klimawirkungen des Luftverkehrs. Sie lassen nämlich die THG-Emissionen des gesamten Lebenszyklus von Flugzeugtreibstoff (Gewinnung, Herstellung und Transport zusätzlich zur Verbrennung) ausser Acht, ganz zu schweigen vom gesamten Luftfahrtsektor (z. B. Bau und Wartung von Flugzeugen und Infrastruktur). Ausserdem betrachten wir angesichts des Ziels dieses Grundlagenpapiers nur die Klimaauswirkungen der Emissionen und diskutieren nicht die negativen Gesundheits- und Umweltfolgen der durch das Fliegen verursachten Schadstoffemissionen.

2.2 Klimaauswirkungen des Schweizer Flugverkehrs

Im Jahr 2019 beliefen sich die CO₂-Emissionen aus dem nationalen und internationalen Luftverkehr auf 5,81 Millionen Tonnen. Darüber hinaus wurden erhebliche Mengen anderer Schadstoffe wie 28 368 Tonnen NO_x, 6449 Tonnen Kohlenmonoxid (CO), 810 Tonnen Kohlenwasserstoffe (HC), 32 Tonnen schwarzer Kohlenstoff (Black Carbon, BC) und 44 Tonnen Feinstaub (PM) emittiert (BFS, 2020b). Die Abschätzung der Schadstoffmenge basiert auf der tatsächlich in der Schweiz getankten Treibstoffmenge und beinhaltet nicht die Anschlussflüge ins Ausland. Mit dieser Abschätzungsmethode werden die Emissionen aller von Schweizer Flughäfen abgehenden Flüge einbezogen. Einige Fluggesellschaften tanken ihre Flugzeuge, insbesondere bei Kurzstreckenflügen, möglicherweise nicht in der Schweiz, um Unterschiede bei den Treibstoffsteuern zu vermeiden, und nehmen mehr Treibstoff von ihrem Herkunftsflughafen mit, als sie benötigen. Die statistische Relevanz dieser als «*Fuel Tankering*» bezeichneten Praxis ist jedoch unklar. Da internationale Flüge in der Schweiz von der Treibstoffsteuer befreit sind, ist sie wahrscheinlich begrenzt.

Die gesamten CO₂-Emissionen des Luftverkehrs sind zwischen den ersten Emissionsdaten von 1990 und 2019 um 86 % gestiegen, mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 2,3 % (Daten des BAFU, 2021). Besonders stark war das Emissionswachstum in den letzten Jahren bis 2020 mit durchschnittlich 3,2 % im Zeitraum 2010–2019. Historisch gesehen sanken die CO₂-Emissionen erst nach den New Yorker Terroranschlägen 2001, nach der Finanzkrise 2007–2008 und während der aktuellen COVID-19-Pandemie.

Die Emissionen aus dem Schweizer Binnenflugverkehr machten im Jahr 2019 (neueste verfügbare Daten) 0,11 Mio. Tonnen CO₂ aus. Diese Menge ist im Vergleich zu den 5,69 Mio. Tonnen CO₂, die aus dem internationalen Luftverkehr resultieren, vernachlässigbar (Abbildung 2).

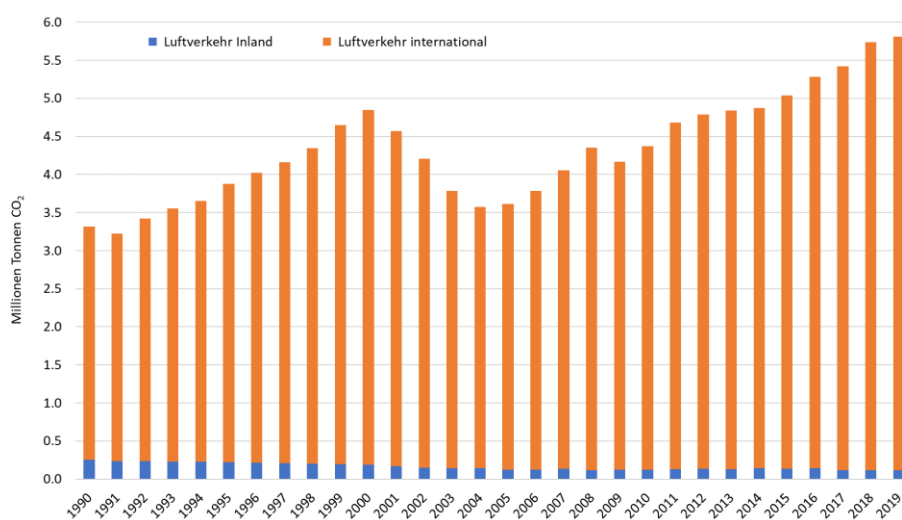


Abbildung 2: Historische Entwicklung der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs in der Schweiz. Eigene Darstellung mit Daten des BAFU (2021), keine Berichtigung um volle Klimawirkung

Bewertet man den Einfluss der verschiedenen Wirtschaftssektoren in der Schweiz auf die globale Erwärmung, lässt sich der Einfluss aller Sektoren ausser dem Flugverkehr am besten anhand ihrer Treibhausgasemissionen messen. Für den Flugverkehr müssen nun dessen CO₂-Emissionen mit dem RFI von 3 multipliziert werden. Daher multiplizieren wir die üblicherweise gemessenen CO₂-Emissionen, die in den Kerosinverkäufen an Schweizer Flughäfen enthalten sind, mit 3 und addieren dies zum Schweizer Inventar der Treibhausgasemissionen.⁶ Dadurch wird der Flugverkehr mit einem Anteil von 27,4 % zum wichtigsten Verursacher der Klimabelastung in der Schweiz (Abbildung 3). Im Jahr 1990 war er mit 15,6 % nur der viertwichtigste Verursacher hinter dem Landverkehr, der Industrie und den Wohngebäuden.

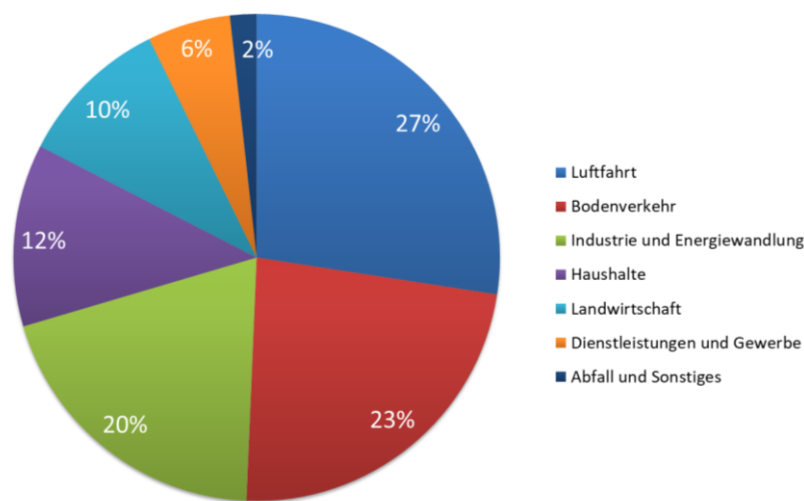


Abbildung 3: Gesamter Treibhauseffekt der wichtigsten Quellsektoren in der Schweiz im Jahr 2019, inklusive des internationalen Flugverkehrs (RFI=3). Eigene Darstellung mit Daten des BAFU (2021)

2.3 Merkmale des Flugverkehrs aus der Schweiz

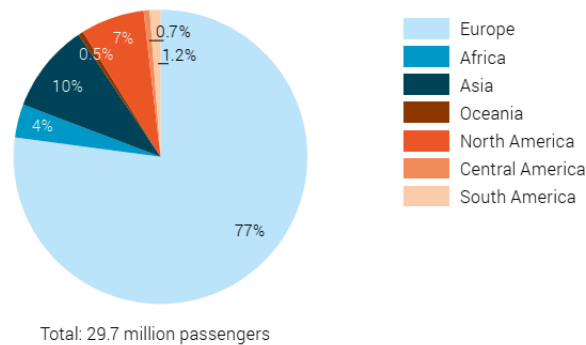
Im Jahr 2019 reisten 77 % der Schweizer Passagiere in europäische Länder, während 10 % nach Asien und 7 % nach Nordamerika reisten. Auf Afrika, Ozeanien, Mittel- und Südamerika entfielen zusammen 6 % aller Fluggäste (Abbildung 4). Folglich reisen rund 77 % aller Passagiere auf Kurz- oder Mittelstreckenflügen, während 23 % auf Langstrecken unterwegs sind.

⁶ In der UNFCCC wird der internationale Flugverkehr nicht in die nationalen Gesamtwerte einbezogen, sondern nur der Inlandsflugverkehr. Genauer gesagt, multiplizieren wir die CO₂-Emissionen des Inlandsflugverkehrs mit 3 und addieren dreimal die CO₂-Emissionen des internationalen Flugverkehrs, wie sie im Schweizer Treibhausgasinventar ausgewiesen sind.

Air passengers by continent of final destination, 2019

Local and transfer passengers in scheduled and charter traffic

G5.2



Source: FSO, FOCA – Civil aviation statistics (AVIA_ZL)

© FSO 2020

Abbildung 4: Tatsächliche Flugziele der Fluggäste in der Schweiz nach Kontinenten im Jahr 2019 (BFS, 2020c)

Bezogen auf die Flugdistanz resultieren 20 % der Passagierkilometer (pkm) aus Flügen, die kürzer als 1000 km sind, und 60 % liegen unter 7000 km (Abbildung 5). Im Gegensatz dazu wird der Lufttransport von Fracht hauptsächlich für lange Strecken über 5000 km genutzt. In der Schweiz macht der Frachtverkehr etwa 20 % der gesamten pkm-Äquivalente aus.

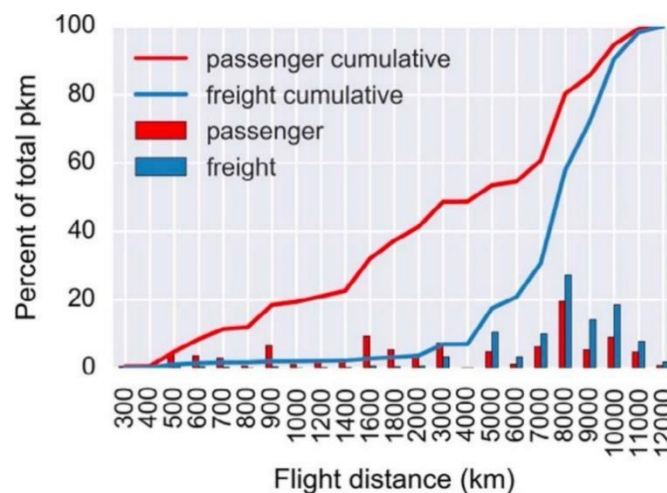


Abbildung 5: Anteil der pkm aus jeder Flugdistanz für Personen- und Güterverkehr (Cox et al., 2018)

Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ist die Schweiz eine Vielfliegeration. Während die durchschnittliche Anzahl der Flüge pro Kopf in der Europäischen Union im Jahr 2017 bei 3,3 lag, waren es in der Schweiz 6,3 (Abbildung 6). In Europa hat nur Norwegen eine höhere Anzahl von Flügen pro Kopf, was jedoch auf die besondere Geografie und damit hohe Anzahl an Inlandsflügen zurückzuführen ist. Von den Nachbarländern hatte Österreich eine durchschnittliche Anzahl von Flügen pro Kopf von 3,3, Deutschland 2,9, Italien 2,9 und Frankreich 2,7. Diese Werte geben jedoch nicht direkt Aufschluss über die «Reisebereitschaft» der Schweizer Wohnbevölkerung, da die Zahlen den Umsteigeverkehr (der Flughafen Zürich ist ein wichtiges Drehkreuz) und den

Incoming-Verkehr (Geschäfts- und Urlaubsreisen aus dem Ausland in die Schweiz) beinhalten (Intraplan Consult, 2015).

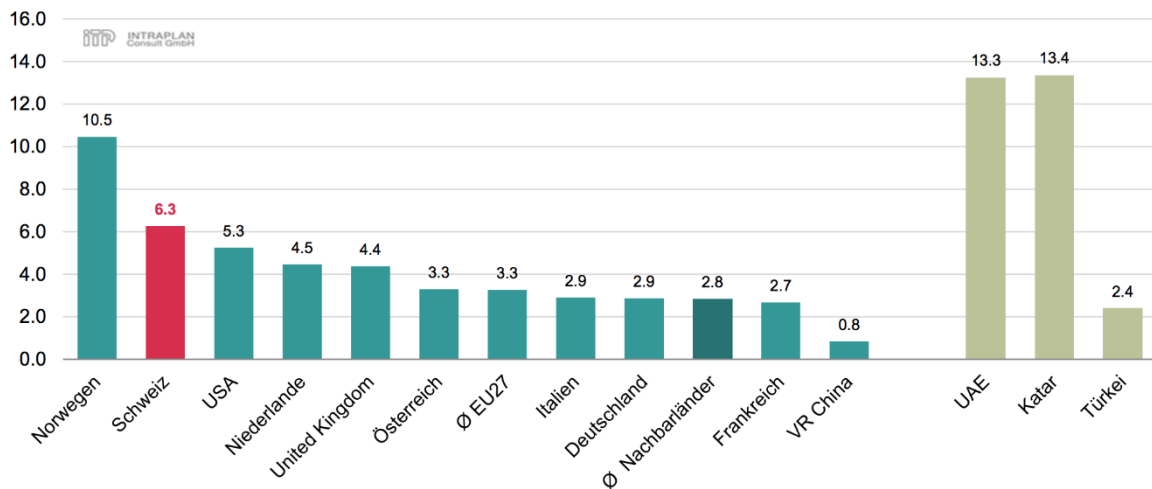


Abbildung 6: Flugpassagiere pro Kopf im Jahr 2017 für ausgewählte Länder, einschliesslich Transferpassagiere (Intraplan Consult, 2018)

Die Höhe der Nachfrage nach Passagierflügen ist mit dem Einkommen und der wirtschaftlichen Aktivität verbunden. Flugreisen gelten als Luxusgut mit einer Einkommenselastizität von über 1. Eine Analyse mit US-Daten ergab auf Streckenebene Einkommenselastizitäten im Bereich von im Allgemeinen + 1,8 für Kurzstreckenflüge und bis zu + 2,2 für Ultralangstreckenflüge (InterVISTAS, 2007). Die Einkommensabhängigkeit des Flugverkehrs ist in der Schweiz deutlich sichtbar. Schweizer Bürger, die in einem Haushalt mit einem Einkommen von weniger als 4000 CHF pro Monat leben, unternehmen im Durchschnitt nur 0,3 Flüge pro Jahr. Schweizer Bürger, die in Haushalten mit hohem Einkommen und einem Monatseinkommen von mehr als 12 000 CHF leben, unternehmen dagegen 1,7 Flüge pro Jahr, was dem 5,67-fachen der Reishäufigkeit der untersten Einkommensklasse entspricht (Abbildung 7).⁷

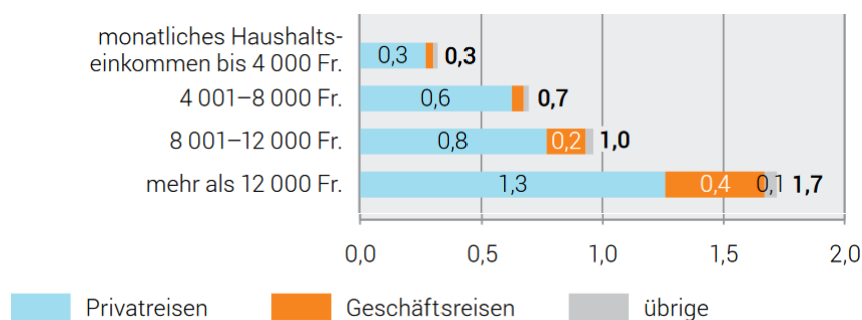


Abbildung 7: Anzahl Flugreisen pro Person und Jahr nach Einkommen und Zweck in 2015 (BFS und ARE, 2017)

⁷ «Übrige» sind Flüge, für die kein Motiv angegeben wurde.

Laut den Daten der Passagierbefragung von 2019 für den Flughafen Zürich gaben 63 % der Passagiere «Freizeit» als Hauptzweck ihrer Flugreise an und 11 % einen anderen privaten Grund. Die Arbeit war nur für 26 % der Passagiere der Hauptreisezweck (Flughafen Zürich, 2020).

2.4 Nachfrageprognosen

Die Schweizer Luftverkehrsnachfrage (Passagier- und Frachtverkehr) ist seit den 1950er-Jahren durchschnittlich um 2,4–3,4 % pro Jahr gestiegen. Der grösste Teil dieses Nachfragewachstums entfiel auf den Passagierverkehr (3,4–4,2 %), während das Wachstum im Frachtverkehr langsamer verlief (0–1,8 %) (Cox et al., 2018). Eine 2015 für das Bundesamt für Zivilluftfahrt durchgeführte Nachfrageprognose sagte für den Zeitraum 2013–2030 ein jährliches Wachstum von 3,2 % bei den Fluggästen und 2,1 % bei der Anzahl der Flüge voraus (Abbildung 8). In ähnlicher Weise hatte die Europäische Umweltagentur vor der COVID-19-Pandemie ein jährliches Wachstum der Fluganzahl für die EU28+EFTA-Länder von 1,5 % vorausgesagt (Europäische Umweltagentur, 2019). Natürlich werden diese Prognosen nach unten korrigiert, aber es ist nicht klar, ob die Flugreisenachfrage in einigen Jahren zum Trend vor COVID-19 zurückkehren oder dauerhaft reduziert bleiben wird.

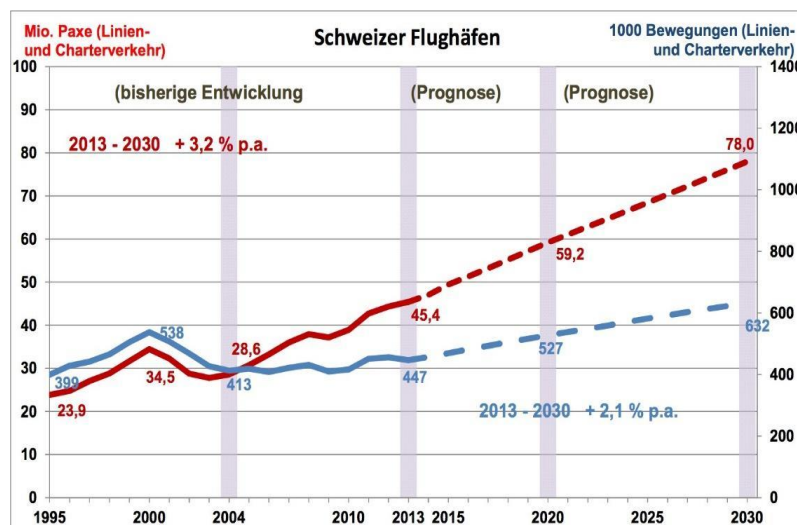


Abbildung 8: Prognose der Flugpassagiernachfrage (rot) und Fluganzahl (blau) für die Schweiz bis 2030 (Intraplan Consult, 2015)

2.5 Prognosen zur Treibstoffeffizienz

Um zukünftige Emissionen genau vorherzusagen, müssen neben dem erwarteten Nachfragewachstum auch Verbesserungen der Treibstoffeffizienz berücksichtigt werden. Während sich die Treibstoffeffizienz im internationalen Luftverkehr zwischen 2002 und 2010 weltweit um durchschnittlich 3,6 % pro Jahr verbesserte (Abbildung 9), verlangsamte sich die Effizienzsteigerung zwischen 2010 und 2019 auf mit 1,6 % pro Jahr (Daten aus IEA, 2020a).

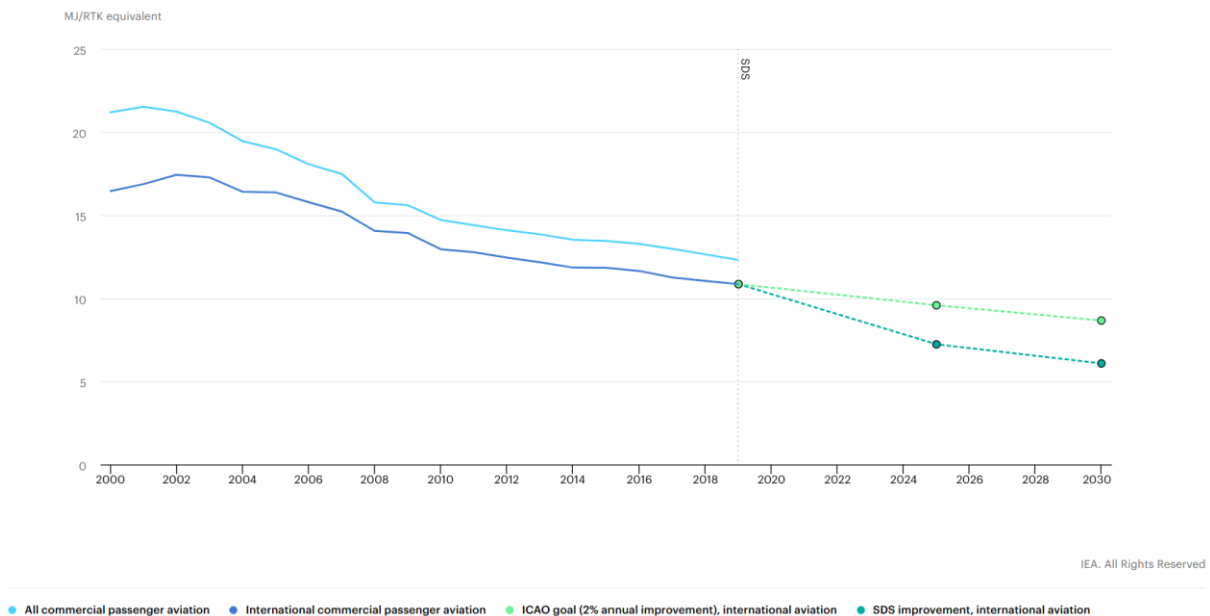


Abbildung 9: Energieintensität der Passagierluftfahrt im Szenario der nachhaltigen Entwicklung 2000–2030 (IEA, 2020a)

Im nachhaltigen Entwicklungsszenario (SDS) der IEA müsste sich die Energieintensität des Luftverkehrs bis 2030 gegenüber dem Stand von 2019 um 2,7 % pro Jahr verbessern. Im Jahr 2010 verabschiedete die ICAO eine Resolution, die zwischen 2013 und 2050 eine Effizienzsteigerung von 2 % pro Jahr anstrebt (ICAO, 2010).

Zwischen den Fluggesellschaften gibt es erhebliche Unterschiede in der Treibstoffeffizienz. Low-Cost-Airlines wie EasyJet und Ryanair sind die treibstoffeffizientesten Fluggesellschaften in der Schweiz (Abbildung 10), dicht gefolgt von Swiss (Intraplan Consult, 2018). Fluggesellschaften mit hoher Treibstoffeffizienz haben tendenziell eine hohe Auslastung (wenige Sitze bleiben leer) sowie die modernsten Flotten (neuere Flugzeuge sind effizienter). Es scheint ein klares Potenzial für rückständige Fluggesellschaften zu geben, ihre Treibstoffeffizienz zu verbessern.

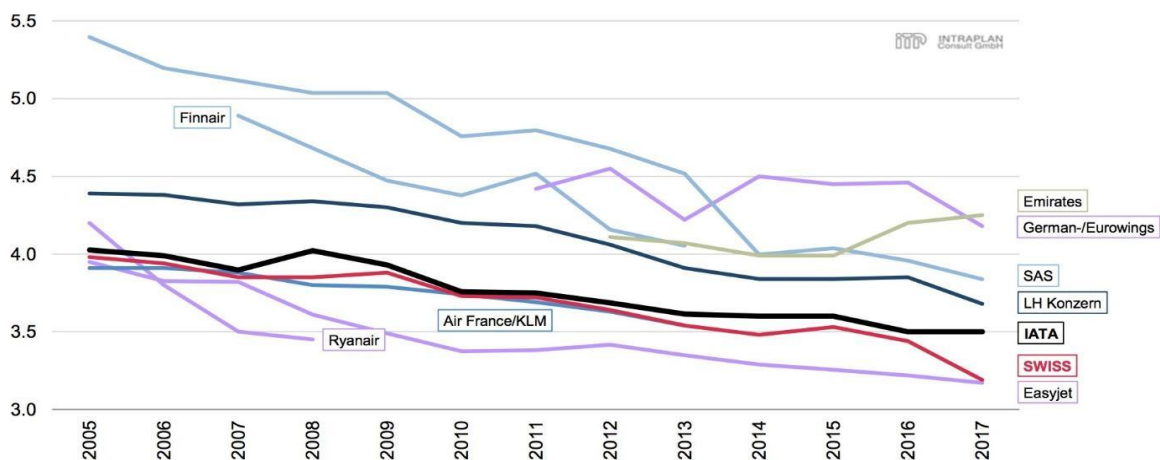


Abbildung 10: Treibstoffverbrauch in Litern pro 100 pkm im Vergleich mit ausgewählten Fluggesellschaften (Intraplan Consult, 2018)

2.6 Emissionsprognosen

Eine Forschungsgruppe am Paul-Scherrer-Institut (Cox et al., 2018) führte eine vollständige Lebenszyklusanalyse der Schweizer Verkehrsflugzeugflotte (einschliesslich des Baus von Flugzeugen) und ihrer potenziellen Entwicklung von 1990 bis 2050 durch. Für die Vorhersage der Emissionen bis 2050 erstellten sie ein Business-as-usual-Szenario (BAU) und ein optimistisches Technologieverbesserungsszenario (OPT), die jeweils bei einem niedrigen (3 %) und einem hohen (4,5 %) jährlichen Passagierwachstum analysiert wurden. Das optimistische Szenario mit einem niedrigen jährlichen Wachstum der Passagiernachfrage von 3 % basiert auf den folgenden technologischen Annahmen: (1) eine jährliche Verbesserung des Treibstoffverbrauchs von Flugzeugen um 1,5 %, (2) signifikante Änderungen am Flugzeugdesign, die zu einer aerodynamischen Verbesserung von 1,5 % pro Jahr führen und (3) eine jährliche Reduzierung des Betriebsgewichts um 0,80 %.

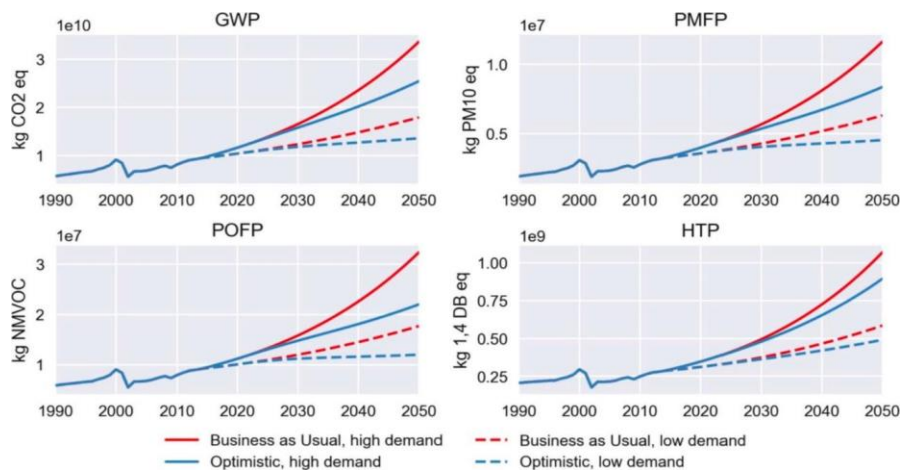


Abbildung 11: Vorhersagen des Umweltbelastungspotenzials des gesamten kommerziellen Schweizer Luftverkehrs bis 2050 (Cox et al., 2018)

In diesem optimistischen Szenario würde das Treibhauspotenzial (GWP) des Schweizer Luftverkehrs bis 2050 um 46 % ansteigen (Abbildung 11). In einem Business-as-usual-Szenario mit hohem Nachfragewachstum könnte das GWP bis 2050 sogar um 243 % steigen. Es wurde kein Szenario gefunden, das zu einem Nullwachstum oder einem Rückgang der Treibhausgasemissionen führte. Die Autoren schlossen jedoch zukünftige Änderungen in der Treibstoffproduktion (Agrotreibstoffe, synthetische Treibstoffe), zukünftige Motorentechnologien, z. B. Flugzeuge mit Flüssigwasserstoffantrieb, sowie politische Massnahmen (Nachfragereduzierung durch Besteuerung) aus ihrer Analyse aus.

2.7 Zerlegung der Emissionen aus dem Luftverkehr

Der Anstieg der CO₂-Emissionen im Luftverkehr steht in direktem Zusammenhang mit dem steigenden Kerosinverbrauch, der wiederum ein Ergebnis von mehr Flugzeugen ist, die mehr

Passagiere über längere Strecken befördern. Die steigende Zahl der Passagiere widerspiegelt eine wachsende Bevölkerung, einen grösseren Anteil dieser Bevölkerung, der mit dem Flugzeug reist, und die Tatsache, dass Passagiere häufiger fliegen. Der Kerosinverbrauch hängt auch von der Treibstoffeffizienz und dem Auslastungsgrad der Flugzeuge ab.

Die folgende Zerlegung zeigt, wie alle diese Faktoren in Beziehung gesetzt werden können, um die gesamten CO₂-Emissionen des Luftverkehrs zu berücksichtigen:

$$\text{CO}_2 \text{ - Emissionen} = \text{Bevölkerung} \cdot \frac{\text{Passagiere}}{\text{Bevölkerung}} \cdot \frac{\text{pkm}}{\text{Passagiere}} \cdot \frac{\text{Sitze} \cdot \text{geflogene km}}{\text{pkm}} \cdot \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Sitze} \cdot \text{geflogene km}} \cdot \frac{\text{CO}_2 \text{ - Emissionen}}{\text{Energieverbrauch}}$$

Die erste Kennzahl ist der Anteil der Bevölkerung, der ein Flugzeug nimmt; die zweite Kennzahl ist die durchschnittliche Entfernung, die von diesen Passagieren geflogen wird; die dritte Kennzahl ist der Kehrwert des Auslastungsfaktors; die vierte Kennzahl ist der Kehrwert der Treibstoffeffizienz von Flugzeugen; die letzte Kennzahl ist der Kohlenstoffgehalt von Flugzeugtreibstoffen.

Diese Zerlegung schlägt folgende **Hebel** zur Reduzierung der CO₂-Emissionen aus dem Luftverkehr vor:

1. Weniger Reisende
2. Weniger km pro Reisenden (weniger und/oder kürzere Flüge)
3. Höhere Auslastung
4. Höhere Treibstoffeffizienz
5. Energieträger mit geringerer Kohlenstoffintensität (z. B. Agrotreibstoffe, synthetische Treibstoffe aus erneuerbarem Strom, erneuerbare Elektrizität)

Die ersten beiden Hebel beziehen sich auf die Reisenachfrage, der dritte auf das Kapazitätsmanagement der Fluggesellschaften und die letzten beiden auf die Technologie. Diese Hebel verändern sich mit den sozioökonomischen Bedingungen wie Demografie, Einkommen, Reisepräferenzen, Treibstoffpreisen, Wettbewerbsintensität und Verfügbarkeit von Alternativen. Sie können durch politische Massnahmen der in den Kapiteln 3 und 6 besprochenen Art beeinflusst werden.

In einer vereinfachten Form, für die in der Schweiz jedes Jahr Daten zur Verfügung stehen, gilt:

$$\text{CO}_2 \text{ - Emissionen} = \text{Bevölkerung} \cdot \frac{\text{Passagiere}}{\text{Bevölkerung}} \cdot \frac{\text{CO}_2 \text{ - Emissionen}}{\text{Passagiere}}$$

Zwischen 2004 und 2019 stiegen die CO₂-Emissionen aus dem Flugverkehr in der Schweiz im Durchschnitt um 3,3 %/Jahr. Dies ist die Summe aus 1,0 % Bevölkerungswachstum und 4,0 % mehr Flügen pro Einwohner, teilweise ausgeglichen durch 1,6 % weniger CO₂-Emissionen pro Passagier.

Hier eine noch einfachere Zerlegung:

$$\text{CO}_2\text{-Emissionen} = (\text{Passagiere} \cdot \text{Kilometer}) \cdot \frac{\text{CO}_2\text{-Emissionen}}{\text{pkm}}$$

Diese Zerlegung trennt deutlich die angebots- und nachfrageabhängigen Hebel (Terme in Klammern) von den Technologiehebeln, die durch das Verhältnis dargestellt werden.

3 Wie die globalen Auswirkungen des Luftverkehrs eingedämmt werden können – erste Grundsätze und bestehende Richtlinien

3.1 Erste Grundsätze

Wenn wir davon ausgehen, dass die Reduzierung des Flugverkehrsaufkommens das politische Ziel ist, wie könnte dieses Ziel am effizientesten erreicht werden? Unter den verschiedenen verfügbaren Regulierungsinstrumenten werden in der Regel marktbasierte Instrumente bevorzugt, da sie ökonomisch effizient sind: Die Verringerung der Umweltverschmutzung wird zu den geringsten Kosten für die Gesellschaft als Ganzes erreicht. Typischerweise haben politische Entscheidungsträger die Wahl zwischen zwei marktbasierten Instrumenten: Sie können entweder das Volumen des Flugverkehrs durch Cap-and-Trade-Systeme (d. h. die Festlegung von Quoten) regulieren oder den Preis des Flugverkehrs durch Abgaben beeinflussen. Ersteres, gemeinhin als Mengeninstrument bezeichnet, setzt ein Limit für die Emissionen und lässt den Markt den entsprechenden Preis bestimmen. Letzteres, gemeinhin als Preisinstrument bezeichnet, legt einen Preis für Emissionen fest und lässt den Markt die entsprechende Menge an Emissionen bestimmen.

Keiner der beiden Mechanismen dominiert eindeutig den anderen. Generell gilt: Wenn Abweichungen vom optimalen Emissionsniveau aus ökologischer Sicht schädlicher sind als aus rein ökonomischer Sicht, sind Quoten zu bevorzugen, ansonsten sind Abgaben besser geeignet.⁸ Ausserhalb der Welt der ökonomischen Modelle ist diese theoretische Unterscheidung schwer zu quantifizieren und zu operationalisieren. Daher hängt die tatsächliche Wahl der politischen Instrumente weitgehend von der Praktikabilität der Umsetzung und ihrer politischen Akzeptanz ab.

⁸ Siehe Weitzman (1974) und Baumol und Oates (1988).

Individuelle Flugquoten wären die direkteste Massnahme, um die Nachfrage nach Flugreisen zu reduzieren. Jeder Einwohner der Schweiz würde das Recht erhalten, eine bestimmte Menge CO₂ auszustossen oder eine bestimmte Anzahl von Kilometern pro Jahr zu fliegen. Um den unterschiedlichen Präferenzen und Reisebedürfnissen Rechnung zu tragen, würden solche Quoten handelbar gemacht werden. Die Gesamtmenge der Quoten könnte im Laufe der Zeit schrittweise reduziert werden, was unabhängig von Änderungen der Treibstoffpreise und anderer konjunktureller Faktoren eine präzise Steuerung des Flugreiseaufkommens ermöglicht. Der grösste Nachteil einer solchen Massnahme liegt in der Umsetzung: Die Nachverfolgung individueller Flugreisen wäre verwaltungstechnisch kostspielig, übergriffig und effektiv nur für langfristig in der Schweiz ansässige Personen anwendbar.⁹

Abgaben erscheinen daher als das realistischere nachfrageseitige Politikinstrument, insbesondere in einer kleinen offenen Volkswirtschaft wie der Schweiz. Umweltabgaben sind ein Lehrbuchbeispiel für einen potenziell wünschenswerten staatlichen Eingriff in die Marktwirtschaft. Die globale Erwärmung verursacht eindeutig grosse und schnell steigende Kosten, aber in einer freien Marktwirtschaft wird niemand gebeten, für die Abmilderung dieser Kosten zu zahlen. Der Grund für dieses «Marktversagen» liegt darin, dass das Klima der Erde nicht das Eigentum eines bestimmten Individuums oder einer Gruppe von Individuen ist und daher kein privates Individuum und keine Gruppe eine Entschädigung von denen verlangen kann, die das Klima schädigen. Der Staat muss also einspringen und dafür sorgen, dass, wie es so schön heisst, «der Verursacher zahlt».

Dies ist die Motivation hinter den Vorschlägen für eine Schweizer Flugticketabgabe. Das eidgenössische Parlament hat die Einführung einer solchen Abgabe beschlossen, die zwischen 30 und 120 CHF pro Flugpassagier beträgt, der von einem Schweizer Flughafen abfliegt, wobei Transit- oder Umsteigepassagiere Ausnahmen darstellen. Vorgesehen sind unterschiedliche Sätze je nach Länge der Flüge (Kurzstrecke vs. Langstrecke) und Art des Tickets (Economy vs. Premium). Eine Minderheit der Parlamentarier hatte vorgeschlagen, die Spanne von 30–120 CHF nur auf Economy-Klasse-Tickets anzuwenden und höhere Abgabesätze auf Premium-Tickets (Business und First Class) zuzulassen. Die vorgeschlagenen Abgabesätze sind höher als die, die in den meisten anderen europäischen Ländern gelten.¹⁰ Eine Ausnahme bildet das Vereinigte Königreich, dessen Air Passenger Duty im Jahr 2021 bis zu 180 GBP betragen kann (für Langstreckenflüge in der Premium-Klasse).

⁹ Eine administrativ weniger aufwändige Lösung wären Kontingente für angebotene Transportkapazitäten (Flüge und Sitzplätze) ab Schweizer Flughäfen, eine Verfeinerung der bestehenden Lande- oder Startslots.

¹⁰ Ähnliche Abgaben wurden in Österreich, Kroatien, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Italien, Norwegen, Polen, Rumänien, der Slowakei, Spanien, Schweden und dem Vereinigten Königreich eingeführt. Die durchschnittlichen Abgabesätze pro Ticket reichen von 0,60 EUR (Slowakei) bis 40 EUR (Vereinigtes Königreich). Siehe Europäische Kommission (2019).

3.2 Bisherige Massnahmen der ICAO

Auf globaler Ebene hat die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) im Oktober 2016 ihr Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) ins Leben gerufen. Die Mitgliedsstaaten einigten sich auf das Ziel eines CO₂-neutralen Wachstums des internationalen Luftverkehrs ab 2021 (ICAO, 2019a). Ursprünglich waren als Basisemissionen die durchschnittlichen Emissionen der Jahre 2019 und 2020 vorgesehen. Aufgrund der Auswirkungen der COVID-19-Pandemie auf den Flugverkehr im Jahr 2020 beschloss die ICAO im Juni 2020 jedoch, das Jahr 2019 als Basisjahr für die Emissionen zu wählen.

Da erwartet wird, dass das Wachstum des Flugverkehrs die Verbesserung der Treibstoffeffizienz durch effizientere Fluggesellschaften weit übersteigt, wird ein kohlenstoffneutrales Wachstum, wie es die ICAO vorschlägt, durch die Reduzierung von Emissionen in anderen Wirtschaftssektoren erreicht. Solche Emissionsminderungszertifikate (Carbon Credits) können dann von Fluggesellschaften gekauft werden, deren Emissionen nach 2020 ansteigen (Abbildung 12). Alternativ kaufen die Fluggesellschaften kohlenstoffarme «CORSIA-eligible» Treibstoffe, was jedoch unter den Mitgliedsstaaten umstritten ist (Carbon Brief, 2019). Zu diesem Zeitpunkt ist nicht klar, welche Arten von Reduktionszertifikaten von der ICAO akzeptiert werden.

CORSIA wird in einer ersten Pilotphase von 2021 bis 2022, einer zweiten freiwilligen Phase von 2023 bis 2026 und einer dritten verpflichtenden Phase von 2027 bis Ende 2035 umgesetzt.

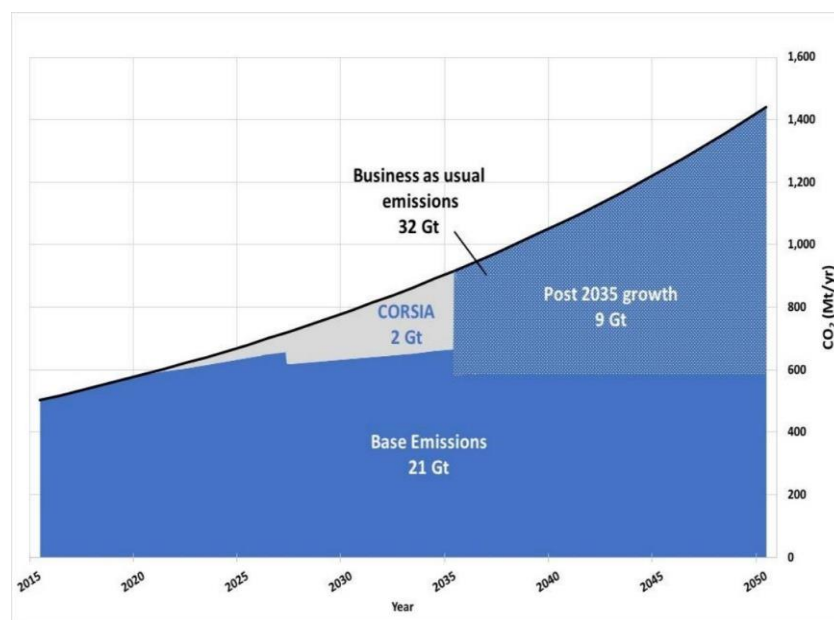


Abbildung 12: Jährliche und kumulative CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs, 2015 bis 2050. Nur ein kleiner Teil der Emissionen wird durch CORSIA abgedeckt (ICSA, 2018)

Der CORSIA-Plan ist von Umwelt-NGOs aus mehreren Gründen kritisiert worden (Carbon Brief, 2019). Erstens wurde das Emissionsreduktionsziel «kohlenstoffneutrales Wachstum ab 2020» nie wissenschaftlich validiert. So hat der Weltklimarat (IPCC) dargelegt, dass die weltweiten CO₂-Emissionen bis etwa 2050 netto Null erreichen müssen, wenn die globale Erwärmung auf 1,5 °C begrenzt werden soll. Während die Internationale Seeschifffahrts-Organisation (IMO) ein sektorweites Ziel zur Reduzierung der internationalen Schifffahrtsemissionen um 50 % bis 2050 (im Vergleich zu den Werten von 2008) festgelegt hat, strebt die ICAO derzeit nur eine Kompensation des zusätzlichen Emissionswachstums im internationalen Flugverkehr an (IMO, 2018). Zweitens haben mehrere global wichtige Emittenten wie China, Brasilien und Indien beschlossen, nicht an der Pilotphase teilzunehmen, die im Jahr 2021 beginnt. Diese Mitgliedsstaaten werden CORSIA möglicherweise nicht vor der 2027 beginnenden verpflichtenden Phase beitreten. Drittens gibt es Bedenken hinsichtlich der Qualität der Kompensationszertifikate. Projekte des UN-Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung (Clean Development Mechanism, CDM) werden von Mitgliedsstaaten wie Brasilien (das eine Menge ungenutzter CDM-Zertifikate hat) bevorzugt, während andere Mitgliedsstaaten wie China dagegen sind, dass UN-Gremien wie die ICAO über die Förderfähigkeit von Projekten entscheiden.

Ein von der Europäischen Kommission in Auftrag gegebener interner Bericht vom September 2020 kommt zu dem Schluss, dass «es unwahrscheinlich ist, dass CORSIA die direkten Klimaauswirkungen im Zusammenhang mit dem Flugverkehr wesentlich verändern wird, da das Preissignal, mit dem die Fluggesellschaften im Rahmen des Systems konfrontiert sein werden, für sich genommen voraussichtlich keine ausreichenden finanziellen Anreize für sie bieten wird, die Emissionen wesentlich zu reduzieren» (ICF Consulting et al., 2020). Der Bericht stellte weiter fest, dass die Fluggesellschaften unter CORSIA wahrscheinlich eher Emissionsgutschriften kaufen würden, als sauberere Treibstoffe zu erwerben. Ausserdem wiesen die Autoren des Berichts darauf hin, dass CORSIA ein robustes System zur Durchsetzung der Teilnahme oder Einhaltung seiner Regeln fehlt.

3.3 Bisherige Massnahmen der Europäischen Union

Derzeit gilt das Europäische Emissionshandelssystem (EU-EHS) nur für Flüge zwischen Flughäfen im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR), sodass Interkontinentalflüge vom EU-EHS ausgenommen sind. Darüber hinaus wurden in der letzten Phase des EU-EHS (2013–2020) 82 % der Zertifikate innerhalb des EWR kostenlos an Flugzeugbetreiber vergeben, während nur 15 % versteigert wurden (Europäische Kommission, 2019). Der Durchschnittspreis für versteigerte Zertifikate ist von 5,80 EUR pro Tonne im Jahr 2017 auf 25,33 EUR pro Tonne im Jahr 2019 gestiegen (Sandbag, 2021). Seit November 2020 steigt er steil an und überschreitet im Mai 2021 die 50-Euro-Marke.

Als Teil des im Dezember 2019 vorgeschlagenen Europäischen Green Deals kündigte die Europäische Kommission ihre Absicht an, «die den Fluggesellschaften kostenlos zugeteilten EU-EHS-Zertifikate zu reduzieren» und «die derzeitigen Steuerbefreiungen, auch für Flugtreibstoffe, genau zu prüfen». Die Europäische Kommission wird voraussichtlich im Juni 2021 über die Zukunft des Luftverkehrs im EU-EHS entscheiden.

Der oben erwähnte interne Bericht der Europäischen Kommission skizzierte mehrere Optionen für eine Reform des EU-EHS. Die wirksamste Option zur Emissionsreduzierung sieht vor, dass das EU-EHS alle Flüge in den, aus dem und innerhalb des EWR erfasst. Bei vollständiger Umsetzung würde das EU-EHS 23,5 % der weltweiten Luftverkehrsemissionen bis 2025 abdecken.

3.4 Bisherige und geplante Massnahmen in der Schweiz

Bis 2019 hatte die Schweiz keine Klimapolitik für den internationalen Luftverkehr. Allerdings haben lokale Flughafengebühren für NO_x- und Lärmemissionen den indirekten Effekt, die Klimawirkung des Flugverkehrs zu reduzieren (BAZL, 2020). Im aktuellen CO₂-Gesetz (Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen) von 2011 wurde der Flugverkehr zunächst nur mit der Präzisierung erwähnt, dass «Emissionen aus der Verwendung von Flugbenzin auf internationalen Flügen nicht berücksichtigt werden». Im Jahr 2019 wurde die Verpflichtung für Fluggesellschaften zur Teilnahme am Emissionshandelssystem hinzugefügt. Denn seit dem 1. Januar 2020 ist das Schweizer Emissionshandelssystem (EHS) mit dem EU-EHS verknüpft. Dies hat zur Folge, dass Fluggesellschaften, die Flüge von der Schweiz in den Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) und zurück durchführen, verpflichtet sind, am gekoppelten EHS teilzunehmen. Flüge ausserhalb des EWR bleiben davon ausgenommen. Selbst beim aktuell hohen Preis von ca. 50 EUR pro Tonne CO₂ (Sandbag, 8. Mai 2021) würden für einen einfachen Economy-Klasse-Flug von Genf nach London, für den Emissionen von 97,9 kg CO₂ pro Passagier berechnet werden (ICAO, 2016), die benötigten Zertifikate nur durchschnittlich 0,74 EUR kosten, da 85 % der Zertifikate kostenlos vergeben werden.

In einer Folgenabschätzung im Auftrag des Schweizer Bundesamts für Umwelt schätzte INFRAS, dass die Übernahme des EU-EHS die Emissionen nur sehr geringfügig reduzieren würde (INFRAS, 2009). In der aktuellen Form des EU-EHS beträgt der Rückgang nur 0,2 bis 0,3 % im Vergleich zum Referenzszenario eines ungebremsten Wachstums von 17,1 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalent (inklusive Nicht-CO₂-Effekten) im Jahr 2030. Folglich würde die Klimawirkung des Schweizer Luftverkehrs bis 2030 immer noch um 48,7 % zunehmen.

Die Treibhausgasemissionen des internationalen Luftverkehrs werden in den Minderungszielen für 2020 und 2030 nicht angerechnet. Dennoch beabsichtigt der Bundesrat, seine Emissionen in das Netto-Null-Ziel für 2050 einzubeziehen. Wie dies erreicht werden könnte, zeigt die neue Energieperspektive 2050+ (Prognos et al., 2020): Das Wachstum der Passagierzahlen wird nicht gebremst – sie steigen zwischen 2019 und 2050 um 53 % –, aber dank einer beschleunigten

Verbesserung der Treibstoffeffizienz sinkt der Energieverbrauch um 22 % und, was noch wichtiger ist, Kerosin wird zwischen 2045 und 2050 vollständig durch synthetische Treibstoffe ersetzt.¹¹

Das Schweizer Parlament hat in der letzten Revision des CO₂-Gesetzes vom 25. September 2020 eine Flugticketabgabe von mindestens 30 CHF und maximal 120 CHF eingeführt. Die Abgabe wird für Flüge ab der Schweiz gelten, mit der bemerkenswerten Ausnahme von Umsteige- und Transitpassagieren. Ausgenommen von der Abgabe sind Kleinkinder unter zwei Jahren, Personen, die für die Luftverkehrssicherheit zuständig sind, und Passagiere, die aus dringenden medizinischen Gründen befördert werden müssen, sowie Militärflüge. Der Bundesrat wird die genaue Höhe der Abgabe in Abhängigkeit von der Reiseklasse und der Flugdistanz so festlegen müssen, dass die Schweizer Klimaziele erreicht werden, wobei auch die Höhe der Abgaben in anderen Ländern berücksichtigt werden muss. Um die Sichtbarkeit der Abgabe und damit ihr Potenzial, Verhaltensänderungen zu bewirken, zu maximieren, wird die für einen bestimmten Flug zu entrichtende Abgabe von den Fluggesellschaften getrennt vom Ticketpreis angegeben, zusätzlich zu einer Schätzung der durch die Reise verursachten Emissionen in CO₂-Äquivalenten. Für die allgemeine Luftfahrt gilt hingegen eine andere Regelung, nämlich eine Abgabe von mindestens 500 CHF und höchstens 3000 CHF pro Flug, möglicherweise in Abhängigkeit vom zulässigen Startgewicht. Zusätzlich zu den oben erwähnten Ausnahmen wird die Abgabe auf die allgemeine Luftfahrt nicht für Leichtflugzeuge (mit einem Gewicht von weniger als 5700 kg) gelten, und auch nicht für Schulungsflüge, Frachtflüge, Werksflüge, Flüge im Zusammenhang mit Luftarbeiten oder Flüge, deren Treibstoff der Mineralölsteuer unterliegt (Inlandsflüge). 49 % der Einnahmen aus der Flugticketabgabe sollen in einen neuen Klimafonds fliessen, 51 % sollen an die Bevölkerung und die Wirtschaft umverteilt werden.

Die Wirkung der Flugticketabgabe auf die Emissionen des Luftverkehrs hängt von der Reaktion der Reisenden auf dieses Preissignal (d. h. der Elastizität) ab. Dies versuchen wir in den folgenden zwei Kapiteln, beginnend mit einem Überblick über bestehende Schätzungen der allgemeinen Reaktivität von Flugreisen auf Preisänderungen, abzuschätzen.

¹¹ Synthetische Treibstoffe werden in Abschnitt 6.5 behandelt.

4 Auswirkungen einer Flugticketabgabe – die Rolle der Nachfrageelastizität

4.1 Nachfrageelastizitäten

Inwieweit sich eine Flugticketabgabe auf das Flugreiseaufkommen auswirkt, hängt zu einem grossen Teil von einem einfachen Parameter ab: der Preiselastizität der Nachfrage.¹² Dieser Parameter quantifiziert die Empfindlichkeit der Verbraucher gegenüber Änderungen des Flugpreises. Die Elastizität ist zweifelsohne negativ: Je höher die Abgabe, desto geringer wird die Nachfrage nach Flugreisen sein. Wir werden jedoch zur Vereinfachung diese Elastizität in absolutem Wert, also ohne Minus Vorzeichen, angeben. Viel unsicherer ist der Umfang der Elastizität. Je grösser sie ist (in absoluten Werten), desto stärker wird eine bestimmte Abgabenerhöhung die Nachfrage nach Flugreisen senken. Ist sie gering, ist also die Nachfrage unelastisch, dann werden abgabeninduzierte Preiserhöhungen kaum zu erheblichen Rückgängen der Passagierzahlen führen, während bei einer elastischen Nachfrage selbst moderate Preiserhöhungen einen starken Rückgang der Passagierzahlen auslösen.

Typischerweise gilt: Je flexibler ein Kunde ist, desto empfindlicher reagiert er auf den Preis. Wenn Alternativen im Überfluss vorhanden sind, werden Preiserhöhungen von den Kunden hart bestraft, indem sie einfach auf ein anderes Verkehrsmittel (z. B. Hochgeschwindigkeits- und Nachtzüge) oder auf eine andere Aktivität (z. B. Videokonferenz, Ferien näher am Wohnort) umsteigen. Empirische Studien bestätigen dies: Passagiere sind preissensibler bei kurzen Flügen (wo andere Transportmittel zur Verfügung stehen) und bei Flügen in der Economy-Klasse (da Reisen aus persönlichen Gründen in der Regel flexibler sind als geschäftlich bedingte Reisen).

4.2 Literatur zu Nachfrageelastizitäten bei Flugreisen

Wir diskutieren nun die vorhandene Literatur zu Preiselastizitäten, bevor wir erklären, welche Schätzungen wir verwenden und warum. Der Literaturfundus zu diesem Thema ist eher klein, aber wir konnten mehr als 20 empirische Studien finden. Die meisten dieser Studien wurden vor dem Jahr 2000 durchgeführt, wobei sich neuere Studien auf Online-Tarife und Literaturübersichten konzentrieren.

¹² Auch die Elastizität des Angebots wird eine Rolle spielen. Je geringer diese Elastizität ist, desto grösser wird der Anteil der Abgabe sein, der von den Fluggesellschaften absorbiert wird (z. B. durch niedrigere Preise vor Abgaben und damit geringere Gewinnmargen) und nicht auf die Verbraucher abgewälzt (siehe Abschnitt 5.6). Angesichts des starken Wettbewerbs der europäischen Luftgesellschaften lassen wir diesen Effekt unberücksichtigt und gehen von einem vollkommen elastischen Angebot aus.

In einer Meta-Analyse von Brons et al. (2002), die 34 Studien und 204 Elastizitätsschätzungen umfasst, sind die wichtigsten Variablen, die die Unterschiede in den Elastizitätsschätzungen erklären, das Einkommen, die Reisedistanz, die Lage und die Reiseklasse. Es wurde festgestellt, dass Premium-Passagiere weniger empfindlich auf den Preis reagieren (Unterschied in der Elastizität von 0,6), während Langstreckenflüge nur ein leicht höheres Elastizitätsniveau aufweisen. Darüber hinaus variiert die Schätzung der Elastizität der Flugreisenachfrage erheblich mit dem Aggregationsniveau der Daten. Die Elastizitätsschätzungen sind tendenziell höher, wenn sie auf der Ebene einzelner Flüge geschätzt werden, als wenn sie auf der Ebene ganzer Märkte oder Strecken geschätzt werden (InterVISTAS, 2007). Auf der Ebene ganzer Zielländer sind die Elastizitätsschätzungen sogar noch niedriger als auf der Ebene der Märkte oder Strecken. Für die Zwecke dieser Veröffentlichung sind wir hauptsächlich daran interessiert, Elastizitätsschätzungen auf Länderebene zu verwenden.

Eine umfangreiche Überprüfung der vorhandenen Literatur wurde von Gillen et al. (2003) durchgeführt, einschliesslich 254 Elastizitätsschätzungen aus 24 Studien. Sie fanden mittlere Elastizitätswerte von 0,265 für Langstrecken-Geschäftsflüge, 0,7 für Kurzstrecken-Geschäftsflüge, 1,040 für Langstrecken-Freizeitflüge und 1,52 für Kurzstrecken-Freizeitflüge. Eine Studie von InterVISTAS (2007), die von der IATA in Auftrag gegeben wurde, fand Elastizitätswerte auf nationaler Ebene von 1,23 für Kurzstrecken innerhalb Europas, 0,96 für transatlantische Langstrecken und 0,48 für Langstrecken zwischen Europa und Asien.

Eine neuere Studie von CE Delft, die für die Europäische Kommission erstellt wurde, verwendet die Ergebnisse von InterVISTAS (2007) und Brons et al. (2002), um Elastizitäten für Passagiere zu schätzen, die von Europa abfliegen. Für Kurzstreckenflüge wird die Elastizität der Premium-Klasse auf 0,57 und die Elastizität der Economy-Klasse auf 1,12 geschätzt. Die entsprechenden interkontinentalen Elastizitäten betragen 0,25 für Premium-Tickets und 0,8 für Economy-Tickets (CE Delft, 2019).

In einer Gesamtschätzung für das Vereinigte Königreich schätzte das britische Verkehrsministerium (UK Department for Transport 2017) Elastizitäten von 0,2 für Geschäftsreisende und 0,7 für Freizeitreisende (einschliesslich Kurz- und Langstreckenflügen). Für alle Flüge, die vom Vereinigten Königreich aus starten, wird die Elastizität auf durchschnittlich 0,6 geschätzt.

Bei der Schätzung von Flugreise-Elastizitäten auf Flugebene durch die Verwendung von Online-Tarifen wird eine grosse Bandbreite von Elastizitätswerten gefunden. Während Elastizitäten auf Flugebene tendenziell höher sind als Elastizitäten auf Strecken- oder Landesebene (InterVISTAS, 2007), können sich solche Schätzungen als nützlich erweisen, wenn es darum geht, die Auswirkungen einer Flugticketabgabe für Reiseziele zu bewerten, bei denen nur wenige Fluggesellschaften miteinander konkurrieren und die Elastizitäten auf Flugebene nahe an den Elastizitäten auf Streckenebene liegen werden.

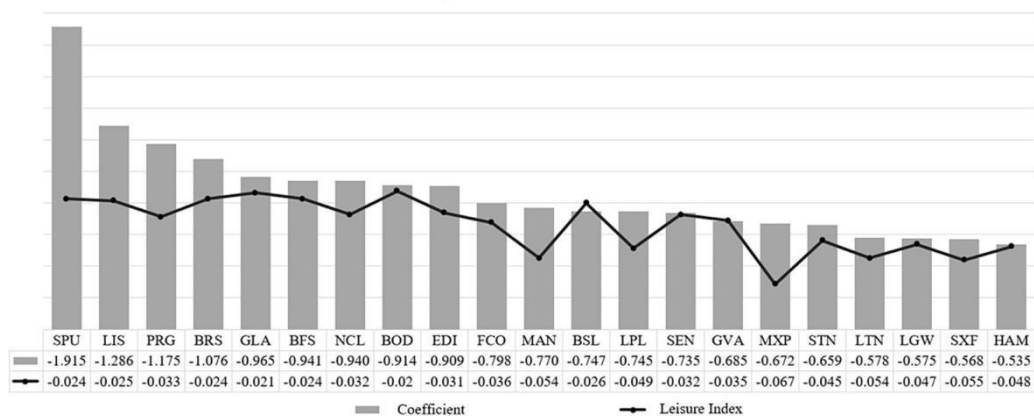


Abbildung 13: Elastizitätsschätzungen auf Flugebene für verschiedene Routen von EasyJet
(Morlotti et al., 2017)

Eine Schätzung der Elastizitäten auf Flugebene für die US-Fluggesellschaft JetBlue ergab Werte im Bereich von 0,57 bis 3,21, mit 1,32 als Median (Mumbower et al., 2014). Eine ähnliche Analyse wurde für EasyJet durchgeführt, für die die Gesamtelastizität auf Flugebene auf 0,753 geschätzt wurde, wobei die Spanne von 0,535 für die oft geschäftlich genutzte Strecke nach Hamburg bis hin zu 1,915 für die häufig im Freizeitverkehr genutzte Strecke nach Split reicht (Abbildung 13, Morlotti et al., 2017). Die Preiselastizität ist für Buchungen, die mehrere Tage im Voraus erfolgen, tendenziell höher. Die Autoren massen auch eine höhere Elastizität für Buchungen an Wochenenden, zur Mittagszeit und im Sommerhalbjahr.

In einer Studie für die Schweizer Regierung empfahl INFRAS einen Elastizitätswert von 1,2 für Kurzstrecken- und 1 für Langstreckenflüge in der Economy-Klasse sowie 0,5 für Kurzstrecken- und 0,4 für Langstreckenflüge in der Premium-Klasse (INFRAS, 2009). In diesem Grundlagenpapier werden Werte aus InterVISTAS (2007) verwendet.

Um die obige Literaturdiskussion zusammenzufassen, gibt Tabelle 1 einen Überblick über die Ergebnisse der wichtigsten oben genannten Studien.

Tabelle 1: Übersicht der in der Literatur gefundenen Preiselastizitäten

Veröffentlichung	Umfang	Aggregation	Kurzstrecke Economy	Langstrecke Economy	Kurzstrecke Premium	Langstrecke Premium
Gillen et al. 2003	Weltweit	Nationale Ebene	1,52	1,04	0,7	0,265
Intervistas 2007	Europa	Nationale Ebene	1,23	Trans-Atlantik: 0,96 Transpazifik: 0,48	–	–
INFRAS 2009	Europa	Nationale Ebene	1,2	1	0,5	0,4
UK Department for Transport 2017	Vereinigtes Königreich	Nationale Ebene	Gesamt: 0,6	Gesamt: 0,2	–	–
CE Delft 2019	Europa	Nationale Ebene	1,12	0,8	0,57	0,25
Mumbower et al. 2014	USA	Flug-Ebene (JetBlue)	1,32	–	–	–
Morlotti et al. 2017	Europa	Routen-Ebene (EasyJet)	0,753	–	–	–

4.3 Für unsere Simulationen verwendete Elastizitäten

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf die umfangreichste Studie zu Preiselastizitäten im Flugverkehr, die von der IATA, dem internationalen Verband der Fluggesellschaften, im Jahr 2007 in Auftrag gegeben wurde.¹³ Laut dieser Studie beträgt die Preiselastizität für Kurzstreckenflüge in der Economy-Klasse innerhalb Europas etwa 1,2. Das heisst, wenn die Preise um 1 % steigen, sinkt die Passagiernachfrage um 1,2 %. Dieselbe Studie gibt eine Elastizitätsschätzung für interkontinentale Langstreckenflüge in der Economy-Klasse von etwa 0,9 an. Die entsprechenden Schätzungen für Kurz- und Langstrecken-Premiumflüge belaufen sich auf 0,6 bzw. 0,3. Auffallend ist, dass diese Schätzungen implizieren, dass Passagiere der Economy-Klasse innerhalb Europas viermal so preissensibel sind wie Passagiere auf Interkontinentalflügen in der Premium-Klasse.

Diese Zahlen müssen jedoch als untere Grenze der Schätzungen betrachtet werden. Der Grund dafür ist, dass sie aus ökonometrischen Schätzungen stammen, die typischerweise –wie die meisten Schätzungen in der einschlägigen akademischen Literatur – einen wichtigen methodischen Fallstrick ignorieren: Preisänderungen sind nicht zufällig und spiegeln die zugrunde liegenden Nachfragebedingungen wider. Wenn beispielsweise der Preis um 1 % steigt, kann dies auf saisonale Faktoren (Sommerwetter, Weihnachtsrummel) oder auf den Konjunkturzyklus (allgemeine

¹³ InterVISTAS (2007). Diese Studie wurde seitdem als Referenz für Politikberichte sowohl für die Schweiz (Peter et al., 2009) als auch für die EU (Europäische Kommission, 2019) verwendet. Eine aktuellere und methodisch ausgefeiltere (idealerweise quasi-experimentelle) Studie ist uns nicht bekannt. Es besteht ein eklatanter Mangel an Forschung in diesem Bereich.

Zunahme der Aktivität) zurückzuführen sein. Selbst wenn eine solche Preiserhöhung z. B. mit einem Nachfragerückgang von 1 % verbunden ist, kann es sein, dass die tatsächliche Nachfragesensitivität unterbewertet wird, da der Nachfragerückgang durch die günstigen Bedingungen, die zu einer Preiserhöhung geführt haben, abgeschwächt wird. Anders ausgedrückt: Wenn man in der Lage wäre, alle diese kontextbezogenen Faktoren zu bereinigen, würde man wahrscheinlich Elastizitätsschätzungen vorfinden, die wesentlich höher sind.¹⁴ Die Autoren von InterVISTAS (2007) waren sich dieses methodischen Problems bewusst und schlugen für eine Teilmenge der Elastizitäten alternative Schätzungen vor, die das statistische Problem durch Ausnutzung exogener Variation umgehen. Bei diesen Schätzungen werden die gefundenen Elastizitäten um 75 % erhöht, was fast zu einer Verdoppelung der Effekte führt. Wir betrachten daher auch «Obergrenzen»-Elastizitätsschätzungen, die um diesen Faktor erhöht werden.

Tabelle 2 fasst die Bandbreite der Unter- und Obergrenzenschätzungen für Kurz- und Langstrecken- sowie Economy- und Business-Flüge zusammen, die wir für unsere Simulationen verwenden.

Tabelle 2: Nachfrageelastizitäten

Elastizitäts- schätzungen	Kurzstrecke Economy	Langstrecke Economy	Kurzstrecke Premium	Langstrecke Premium
Untergrenze	1,2	0,9	0,6	0,3
Obergrenze	2,1	1,5	1,0	0,5
Obergrenze nach COVID-19	2,1	1,5	1,2	0,9

Anmerkungen: Für die Untergrenze entsprechen die Schätzungen für die Economy Kurzstreckenflüge den Durchschnittsschätzungen von InterVISTAS (2007) von 1,23 und 1,12; die Schätzungen für die Economy Langstreckenflüge sind durch den Durchschnitt der folgenden vier Schätzungen von InterVISTAS (2007) gegeben: 1,06; 0,96; 0,79; 0,72. Die Schätzungen für Premium entsprechen den oben genannten Durchschnittswerten für die Economy-Klasse abzüglich der in Brons et al. (2002) geschätzten Elastizitätsreduktion für die Business-Klasse. Für die obere Grenze werden die vier oben genannten Werte basierend auf der Differenz zwischen IV- und OLS-Schätzungen, die in InterVISTAS (2007) genannt werden, jeweils mit 1,75 multipliziert. Die Elastizitäten in der Tabelle gelten für freizeitbezogene Flüge in der Economy- und arbeitsbezogene Flüge in der Premium-Klasse.

Eine wichtige Frage ist, wie sich die COVID-19-Pandemie auf die Nachfrageelastizitäten für Flüge auswirken könnte. Man könnte spekulieren, dass das Aufkommen bequemer Online-Kommunikationsmittel (Videokonferenzen, Webinare usw.) die Nachfragekurven für Flüge nach links verschieben könnte. Jetzt, da wir gesehen haben, dass viele Aufgaben auch ohne persönliche Treffen effizient erledigt werden können, werden möglicherweise weniger Geschäftsreisen zu den

¹⁴ Technisch gesehen ist das Problem eine Dämpfungsverzerrung aufgrund von Endogenität. Preisänderungen sind sowohl Ursache als auch Folge von Nachfrageänderungen, aber was wir zu schätzen versuchen, ist nur die kausale Verbindung von Preisänderungen zu Nachfrageänderungen.

gleichen Ticketpreisen unternommen. Die IATA beispielsweise geht davon aus, dass es bis 2024 dauern wird, bis das weltweite Luftverkehrsaufkommen von 2019 wieder erreicht ist (Pearce, 2020).

Für unsere Simulationen ist jedoch nicht die Position der Nachfragekurve entscheidend, sondern ihre Steigung. Nach mikroökonomischen Standardüberlegungen nimmt die Preiselastizität der Nachfrage nach einem bestimmten Gut oder einer Dienstleistung zu, wenn ein guter Ersatz für dieses Gut oder diese Dienstleistung auftaucht. Dieser Logik folgend ist zu erwarten, dass die Preiselastizität insbesondere von Geschäftsreisen zunimmt, nachdem sich die Online-Kommunikation als besserer Ersatz für Reisen etabliert hat, als dies vor der Pandemie der Fall war. Auch wenn dies sehr plausibel erscheint, ist es zum jetzigen Zeitpunkt eine reine Vermutung, da noch keine empirischen Beweise vorliegen.

Unser Versuch, die veränderte Flugreisenachfrage nach der COVID-19-Pandemie zu berücksichtigen, ist sehr einfach: Wir gehen davon aus, dass die Preiselastizität der Premium-Passagiere (in absoluten Werten) auf die in Tabelle 2 ausgewiesenen Untergrenzen der Elastizitäten der Economy-Klasse ansteigen wird. Das bedeutet, dass sich die obere Grenze der Kurzstrecken-Premium-Elastizität von 1,0 auf 1,2 und die obere Grenze der Langstrecken-Premium-Elastizität von 0,5 auf 0,9 ändert. Dass wir annehmen, dass sich die Langstrecken-Elastizität nach COVID-19 stärker verändert als die Kurzstrecken-Elastizität, entspricht den Prognosen der Wirtschaft, wonach Videokonferenzen mit besonderer Wahrscheinlichkeit Langstrecken-Geschäftsreisen ersetzen werden (z. B. The Economist, 2021). Allerdings nehmen wir für COVID-19 keine Anpassung der angenommenen Elastizitäten für die Economy-Klasse vor, da wir davon ausgehen, dass die Pandemie keine signifikanten langfristigen Folgen für dieses Nachfragesegment hat.

5 Auswirkungen einer Flugticketabgabe – Simulationen

Wir verwenden die geschätzten Nachfrageelastizitäten für eine erste Abschätzung der Auswirkungen einer Flugticketabgabe mit verschiedenen Abstufungen auf Passagierzahlen, geflogene Kilometer und verursachte Emissionen. Die spezifische Frage, die wir uns stellen, lautet, wie sich die Passagierzahlen und Emissionsmengen im Jahr 2018 unterschieden hätten, wenn eine Flugticketabgabe mit einer bestimmten Abstufung in Kraft gewesen wäre. Wir extrapolieren diese Frage auch auf 2023, unter der Annahme, dass bis dann die Pandemie ausser im veränderten geschäftlichen Flugverhalten keine Wirkung mehr zeigt. Dieses Kapitel beginnt mit der Beschreibung des verwendeten Modells sowie der Daten und des Kalibrierungsverfahrens.

Anschliessend werden die verschiedenen simulierten Abgabesätze und die daraus resultierenden Änderungen des Passagieraufkommens und der Emissionen dargestellt.

5.1 Modellierung

Das Modell segmentiert den Luftverkehrsmarkt in drei Dimensionen, nämlich Flugdistanz (Kurzstrecke, Kurzstrecke mit Umstieg auf Langstrecke oder Langstrecke), Reiseklasse (Economy oder Premium) und Fluggrund (privat oder beruflich). Die Abgabeabstufung kann nur zwei der drei Dimensionen – Entfernung und Reiseklasse – berücksichtigen, was sechs Stufen erlaubt. Da der Grund für den Flug eine private Information ist, kann der Regulator keine Abgabe erheben, die zwischen privaten und beruflichen Gründen unterscheidet. Die Nachfrageelastizitäten hingegen unterscheiden zwischen allen drei Dimensionen. Daraus ergibt sich, wie im vorherigen Kapitel gezeigt (Tabelle 2), ein Wert pro Marktsegment.

Unser Modell lässt sich durch die folgenden Gleichungen zusammenfassen. Da die Nachfrage (Anzahl der Fahrgäste pro Segment) nur durch einen Elastizitätsparameter charakterisiert wird, läuft dies auf die Annahme der folgenden isoelastischen Form für die Nachfragefunktion hinaus:

$$Q_{d,c,r} = Q0_{d,c,r} \times (P_{d,c})^{\varepsilon_{d,c,r}},$$

wobei $Q_{d,c,r}$ die Anzahl der Passagiere für Reisen der Entfernungskategorie d (Kurzstrecke, Kurz-Langstrecke, Langstrecke) in der Klasse c (Economy, Premium) aus dem Grund r (privat, beruflich) ist, $P_{d,c}$ der Preis für eine repräsentative Reise in der Entfernungskategorie d und der Klasse c ist, ε die Nachfrageelastizität für dieses Segment ist (Tabelle 2) und $Q0$ ein Skalierungsparameter ist, der der Anzahl der nachgefragten Reisen für einen Preis gleich 1 entspricht.

Wenn die neue Flugticketabgabe $Tax_{d,c}$ zum Durchschnittspreis dieser Reisen addiert wird, erhalten wir die folgende proportionale Änderung der Anzahl der Passagiere:¹⁵

$$\frac{\Delta Q_{d,c,r}}{Q_{d,c,r}} = \left(\frac{P_{d,c} + Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \right)^{\varepsilon_{d,c,r}} - 1.$$

Die Passagierkilometer PKM erhält man, indem man die Anzahl der Passagiere mit der durchschnittlichen Entfernung D_d des repräsentativen Fluges in der Entfernungskategorie d multipliziert (Tabelle 6 unten):

$$PKM_{d,c,r} = Q_{d,c,r} \times D_d.$$

¹⁵ Beachten Sie, dass das Modell tatsächlich Änderungen der Flugreisenachfrage und nicht der eigentlichen Reisen berechnet, aber da es sich um Reduzierungen handelt, gibt es keine Kapazitätsgrenzen auf der Angebotsseite, die diese Änderungen behindern könnten (Diskussion siehe Abschnitt 5.6).

Passagierkilometer bestimmen die Emissionen E in CO₂-Äquivalenten, wenn sie mit den für jede Entfernungskategorie und Reiseklasse spezifischen Emissionsfaktoren $F_{d,c}$ multipliziert werden (Tabelle 5 unten):

$$E_{d,c,r} = PKM_{d,c,r} \times F_{d,c} = Q0_{d,c,r} \times (P_{d,c})^{\varepsilon_{d,c,r}} \times D_d \times F_{d,c}.$$

Damit lässt sich die Veränderung der Klimawirkung von Flugreisen auf Strecken des Typs d , in der Klasse c und für den Grund r berechnen, wenn sich die Anzahl der Passagiere als Reaktion auf die Preiserhöhung durch die Einführung der Flugticketabgabe ändert:

$$\frac{\Delta E_{d,c,r}}{E_{d,c,r}} = \frac{\Delta Q0}{Q0} + \frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \times \varepsilon_{d,c,r} + \frac{\Delta D_d}{D_d} + \frac{\Delta F_{d,c}}{F_{d,c}}. \quad (1)$$

Diese Änderungen gelten für die durchschnittlichen Emissionen pro Segment aus Tabelle 6. Schliesslich berechnen wir die Gesamtwirkung der Flugticketabgabe auf die Klimawirkung des Luftverkehrs als gewichteten Durchschnitt dieser proportionalen Änderungen pro Segment, wobei wir die Gewichte aus Tabelle 3 verwenden.

In unseren statischen Simulationen vergleichen wir die Emissionen in einem bestimmten Jahr (2018) mit dem Niveau, das sie erreicht hätten, wenn die Flugticketabgabe in diesem Jahr erhoben worden wäre. Bei dieser statischen Betrachtung gehen wir davon aus, dass die durchschnittlich zurückgelegten Strecken pro Entfernungskategorie ohne und mit Abgabe gleich sind, ebenso wie die entsprechenden Emissionsfaktoren. Folglich wird die Höhe der Emissionen nur durch die Anzahl der Passagiere beeinflusst:¹⁶

$$\frac{\Delta E_{d,c,r}}{E_{d,c,r}} = \frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} \times \varepsilon_{d,c,r}.$$

In unseren dynamischen Simulationen gehen wir davon aus, dass sich die Flugreiseaktivität und die Eigenschaften der Flugzeuge im Laufe der Zeit weiterentwickeln, daher benötigen wir den vollständigen Satz der Determinanten von Gleichung (1). Unter der Annahme eines kontinuierlichen Wachstums der Aktivität sind dies die Preiserhöhungen, die lediglich erforderlich sind, um die Klimaauswirkungen des Luftverkehrs nicht ansteigen zu lassen:

$$\frac{Tax_{d,c}}{P_{d,c}} = \left(\frac{\Delta Q0}{Q0} + \frac{\Delta D_d}{D_d} + \frac{\Delta F_{d,c}}{F_{d,c}} \right) \times \frac{1}{-\varepsilon_{d,c,r}}.$$

¹⁶ Es werden immer zwei Werte berechnet, wobei die untere und obere Grenze der Nachfrageelastizität in jedem Segment geschätzt wird (Tabelle 2).

Wenn die Wachstumsraten der zugrundeliegenden (preisunabhängigen) Passagierzahl Q_0 und der durchschnittlichen Entfernung D konstant sind, eventuell gemildert durch eine konstante Verbesserung der Emissionsfaktoren F , dann sind die für eine konstante Klimawirkung erforderlichen prozentualen Preiserhöhungen ebenfalls konstant, was bedeutet, dass die Abgabe kontinuierlich, aber in abnehmendem Masse, steigen muss.

5.2 Daten und Kalibrierung

5.2.1 PASSAGIERE

Wie in Abschnitt 3.4 erörtert, unterliegen nur Passagiere auf Linien- und Charterflügen der hier betrachteten Flugticketabgabe, und unter ihnen wären Umsteige- und Transitpassagiere von der Abgabe befreit. Daher betrachten wir ausschliesslich lokale Passagiere, die von einem Schweizer Flughafen abfliegen. Im Jahr 2018 – dem Referenzjahr unserer Simulation – waren es 24,4 Millionen, wobei 4,6 Millionen Umsteigepassagiere nicht mitgezählt wurden. Eine jährlich durchgeführte Umfrage unter einer Stichprobe von Passagieren, die vom Flughafen Zürich abfliegen, zeigt, dass 44 % von ihnen (in den Jahren 2018 und 2019) in der Schweiz ansässig sind (Flughafen Zürich, 2020). Da dies auch Umsteigepassagiere einschliesst und Zürich vermutlich von einem höheren Anteil an Umsteigepassagieren genutzt wird als die anderen Flughäfen, ist eine plausible Vermutung, dass die Hälfte der lokalen Passagiere in der Schweiz ansässig ist. Das würde bedeuten, dass im Jahr 2018 12,2 Millionen lokale Passagiere, die zur ständigen Wohnbevölkerung gehören, von einem Schweizer Flughafen abflogen.

Das Passagierwachstum wurde von Intraplan Consult (2015) bis 2030 mit 3,2 % pro Jahr angenommen (Abbildung 8). Diese Wachstumsrate ist etwas niedriger als die geschätzte globale jährliche Wachstumsrate von 3,7 % in der jüngsten 20-Jahres-Prognose der IATA für das Passagieraufkommen (IATA, 2020). Dennoch gehen wir von einer etwas bescheideneren Wachstumsrate aus, wenn man die Folgen der COVID-19-Krise in den Jahren 2020–2021 berücksichtigt, insbesondere bei der Extrapolation auf das Jahr 2050: 2,5 % pro Jahr.

Um die Passagiere auf die verschiedenen Marktsegmente aufzuteilen, gehen wir wie folgt vor. Hinsichtlich der Entfernungsdimension stützen wir uns auf Daten des Bundesamts für Statistik (BFS, 2019): Passagiere, deren Endziel in Europa liegt, werden der Gruppe der Kurzstrecken zugeordnet, Passagiere, die ein Flugzeug besteigen, das auf einen anderen Kontinent fliegt, werden der Gruppe der Langstrecken zugeordnet, während Passagiere, deren Endziel ausserhalb Europas liegt, die aber an Bord eines Flugzeugs sind, das ein europäisches Ziel anfliegt, der Gruppe der Kurz-Langstrecken zugeordnet werden.¹⁷ Hinsichtlich der Reiseklasse – Economy oder Premium – und

¹⁷ Wir verwenden diese Terminologie, um Verwechslungen mit Umsteigern an Schweizer Flughäfen zu vermeiden.

des Reisegrunds – privat oder beruflich – verwenden wir die vom Flughafen Zürich (2019) veröffentlichten Daten für 2018. Die Passagiere werden anteilig auf die Marktsegmente verteilt (Tabelle 3). Es wird angenommen, dass diese Anteile über die Zeit konstant bleiben und eine sinnvolle Annäherung an den Luftverkehrsmarkt der Zukunft darstellen.

Tabelle 3: Lokale Passagieranteile pro Marktsegment (2018, %)

	Economy		Premium	
	Persönlich	Arbeit	Persönlich	Arbeit
Kurzstrecke	53,2	19,7	5,3	1,9
Kurz-Langstrecke	1,8	0,7	0,2	0,1
Langstrecke	11,5	4,3	1,1	0,4

5.2.2 DISTANZEN

Die typische Distanz eines Fluges, der von einem Schweizer Flughafen abfliegt, wird anhand der Daten des BFS (2020a) berechnet. Wir leiten die Entfernung in Kilometern aus der Anzahl der Passagierkilometer und der nach Europa und in den Rest der Welt geflogenen Passagiere ab. Wir erhalten eine durchschnittliche Einwegstrecke von 930 km für Flüge zu europäischen Zielen und 6405 km für Interkontinentalflüge. Unter der Annahme, dass der Standort des Zwischenhaltes relativ zum Endziel zufällig ist, wird die typische Entfernung eines Kurz-Langstreckenflugs einfach als die Summe dieser beiden Werte angenommen.

Eine wichtige Einschränkung ist jedoch, dass diese Entfernungen nur auf den zurückgelegten Distanzen von Flugzeugen basieren, die in der Schweiz landen oder abfliegen, und daher nachfolgende Reiseabschnitte der Passagiere (typischerweise solche, die nach einem Transfer ausserhalb Europas stattfinden) nicht einschliessen. Nichtsdestotrotz sollte in Übereinstimmung mit bestehenden Regelungen in anderen Rechtsordnungen eine Abgabe in Abhängigkeit vom endgültigen Zielort der Passagiere festgelegt werden, da diese aufgrund ihres Status als «Transferpassagiere» von lokalen Abgaben befreit sind. Während es vernünftig erscheint anzunehmen, dass die Anzahl der Passagiere, deren Reise in Europa endet, die aber nicht direkt dorthin fliegen, vernachlässigbar ist, ist sie bei interkontinentalen Reisen begrenzter (z. B. ist ein Flug nach Australien typischerweise mit einem Zwischenstopp in Südostasien verbunden). Um eine Annäherung an die von den Passagieren geflogene Gesamtdistanz zu erhalten, gleichen wir daher die von BFS (2019) als Endziel angegebenen Städte mit den geografischen Koordinaten (Breitengrad/Längengrad) aus der Simplemaps (2020) Datenbank ab. Die abgeglichenen Ziele, die sich aus diesem Verfahren ergeben, repräsentieren 86 % der abfliegenden Passagiere. Da keine detaillierten Daten über Umsteigeverbindungen und deren Standorte vorliegen, berechnen wir anschliessend die Luftlinie zwischen jedem der drei Schweizer Landesflughäfen und den abgeglichenen Zielstädten, gewichtet nach den entsprechenden Passagierströmen. Die resultierende

interkontinentale Entfernung beträgt 7080 km, etwa 675 km mehr als bei der Betrachtung von Direktflügen.¹⁸ Da dieser Wert die kürzeste Entfernung zwischen den Schweizer Flughäfen und dem Endziel der Passagiere darstellt, sollte er als untere Grenze betrachtet werden, unter der Annahme, dass es keine Korrelation zwischen abgeglichen Reisezielen und Luftlinie gibt. Auch wenn der Wert niedrig erscheinen mag, sind mehrstufige Reisen mit dem Flugzeug in der Regel so strukturiert, dass die geflogene Distanz minimiert wird und möglicherweise nicht wesentlich von der kürzesten Route abweicht. Ausserdem wird nur eine Minderheit der Passagiere, die auf andere Kontinente reisen, auf einen nachfolgenden Flug ausserhalb Europas umsteigen.

Da sich alle vorgenannten Entfernungen auf eine Luftlinie beziehen, wird schliesslich ein Korrekturfaktor hinzugefügt, um Verspätungen, indirekte Flugrouten und ungünstige Wetterbedingungen gemäss den Empfehlungen der ICAO (2017) zu berücksichtigen: 100 km für Kurzstreckenflüge, 125 km für Langstreckenflüge und 225 km für Kurz-Langstreckenflüge. Es wird erwartet, dass die Reisepräferenzen in Bezug auf den Standort in Zukunft im Durchschnitt identisch bleiben.

So bleibt nur noch, die volle Luftlinie-Entfernung mit dieser Korrektur zu addieren (letzte Spalte von Tabelle 4). Dies sind die Zahlen, mit denen wir die Klimawirkung typischer Kurz-, Kurz-Lang- und Langstreckenflüge je nach Reiseklasse berechnen. Wenn wir den Beitrag des Flugverkehrs zum Klima-Fussabdruck der Schweiz berechnen, verwenden wir diese Zahlen. Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass nur etwa die Hälfte der Passagiere, die von Schweizer Flughäfen abfliegen, Einwohner der Schweiz sind, muss eine Division durch 2 erfolgen. Allerdings fliegen fast alle Einwohner, die von einem Schweizer Flughafen wegfliegen, irgendwann wieder zurück, sodass die Entfernung mit zwei multipliziert werden muss. Diese beiden Korrekturen heben sich auf.

Tabelle 4: Typische Entfernungen (km)

	Erste Etappe (Luftlinie)	Gesamtstrecke (Luftlinie)	Mit Korrektur
Kurzstrecke	930	930	1030
Kurz-Langstrecke	930	8010	8235
Langstrecke	6405	7080	7205

5.2.3 AUSWIRKUNGEN AUF DAS KLIMA

Die Emissionsfaktoren stammen aus dem ICAO Carbon Emissions Calculator (ICAO, 2016). Zunächst erfassen wir die Ergebnisse des Tools für eine Stichprobe von 84 repräsentativen Strecken, die von den drei Schweizer Landesflughäfen ausgehen, darunter die zehn beliebtesten Ziele

¹⁸ Um die Konsistenz unseres Verfahrens zu überprüfen, führen wir die Analyse auch für Städte innerhalb Europas durch: Es ergibt sich eine kohärente Entfernung von 960 km, basierend auf abgeglichenen Städten, die 87 % der Passagiere repräsentieren.

innerhalb Europas und auf anderen Kontinenten. Anschliessend nehmen wir eine Reihe von Anpassungen vor. Zunächst multiplizieren wir die Menge des verbrannten Treibstoffs in Kilogramm mit dem Faktor 3,14, um in Übereinstimmung mit dem BFS (2020b) die CO₂-Emissionen in Kilogramm zu erhalten. Da Flugzeuge in erster Linie zur Beförderung von Personen und nicht von Fracht eingesetzt werden, rechnen wir danach den gesamten Treibstoffverbrauch und die entsprechenden Emissionen den Passagieren zu. Andererseits behalten wir die ICAO-Passagier-Lastfaktoren bei, da diese nicht direkt an die vom BFS (2020a) veröffentlichten angepasst werden können, aber in der Grössenordnung ähnlich erscheinen. Darüber hinaus schätzen wir in Übereinstimmung mit Informationen und technischen Unterlagen, die von Flugzeugherstellern (Airbus, 2020) und Fluggesellschaften (Swiss, 2020) veröffentlicht wurden, dass die an Schweizer Flughäfen im Jahr 2018 betriebenen Flugzeugmodelle 20 % effizienter waren als die von der ICAO berücksichtigten Modelle, da die grossen in der Schweiz tätigen Fluggesellschaften ihre Flotte laufend erneuern. Zudem bestraft die Landegebührenstruktur an Schweizer Flughäfen umweltschädlichere Flugzeuge. Wir gehen jedoch davon aus, dass bis Ende 2018 nur ein Drittel der in Betrieb befindlichen Flotte modernisiert ist. Die Emissionen pro Passagierkilometer schliesslich erhält man, indem man die Emissionen pro Passagier durch die geflogene Strecke dividiert, d. h. die Luftlinie plus die entsprechende ICAO-Korrektur für Verspätungen, indirekte Flugrouten und ungünstige Wetterbedingungen.

Bisher spiegeln die berechneten Werte die Emissionen eines Standard-Economy-Klasse-Passagiers wider. Als Nächstes werden die Emissionen pro Passagierkilometer angepasst, um den grösseren Platzbedarf von Premium-Sitzen im Vergleich zu ihren Pendants in der Economy-Klasse zu berücksichtigen. Wir verwenden die Werte von DBEIS (2019) und einen Vergleich zwischen den von Flugzeugherstellern veröffentlichten Berichten und den typischen Kabinenlayouts der Fluggesellschaften (Airbus, 2020; Swiss, 2020). Dabei werden der relative Platz und das Gewicht sowie die Anzahl der Sitze in jeder Klasse berücksichtigt. Dementsprechend setzen wir für Kurzstreckenflüge die Emissionen pro Premium-Passagier (Business) mit dem 1,5-fachen eines Economy-Passagiers an. Für Langstreckenflüge liegen die Emissionen pro Premium-Passagier (Business, First) beim Dreifachen eines Economy-Passagiers. Unsere Schätzungen stimmen mit dem von Lufthansa (2019) veröffentlichten Durchschnittswert für ihre Flotte überein.

Tabelle 5: Emissionsfaktoren (kgCO₂ pro Passagierkilometer)

	Economy	Premium
Kurzstrecke	0,1054	0,1581
Kurz-Langstrecke	0,0792	0,2217
Langstrecke	0,0754	0,2308

Für unsere dynamischen Simulationen gehen wir davon aus, dass die Emissionsfaktoren entsprechend dem optimistischsten Szenario der ICAO (ICAO, 2019b) um durchschnittlich 1,5 %

pro Jahr sinken. Dies deutet auf kontinuierliche Effizienzgewinne hin, sei es durch ein besseres Flugverkehrsmanagement, betriebliche Verbesserungen oder eine weiterentwickelte Flugzeugtechnologie. Nicht berücksichtigt wird der allmähliche Ersatz fossiler durch kohlenstoffarme Treibstoffe, andererseits aber auch nicht, dass Fluggesellschaften, die Schweizer Flughäfen anfliegen, bereits treibstoffeffizienter sind als der Weltdurchschnitt, was das Verbesserungspotenzial reduziert (vgl. Abschnitt 6.5.3).

Um die Qualität der obigen Kalibrierung zu beurteilen, stellen wir die durch unsere Daten implizierten CO₂-Emissionen den offiziellen, im Schweizer THG-Inventar für 2018 veröffentlichten Daten gegenüber. Unter Berücksichtigung der abfliegenden Passagiere und der ersten Etappe ihrer Reise erhalten wir 5,62 MtCO₂, was erwartungsgemäss leicht unter dem offiziellen Wert von 5,74 MtCO₂ liegt. In der Tat ist das Segment des Linien- und Charterverkehrs zwar zweifellos der grösste Treibstoffverbraucher, aber ein Teil dieser Summe muss dem Segment der allgemeinen Luftfahrt in der Schweiz zugerechnet werden.

Wie in Abschnitt 2.1 aufgezeigt, entstehen bei der Verbrennung von Flugzeugtreibstoff verschiedene andere Emissionen, die zusammen einen positiven Nettoeffekt auf den Strahlungsantrieb haben. Basierend auf dieser Diskussion und der neuesten wissenschaftlichen Literatur multiplizieren wir die CO₂-Emissionen mit einem Strahlungsantrieb-Index (RFI) von 3, um diesen Effekt zu berücksichtigen und die gesamte Klimawirkung der einzelnen Reisen in Einheiten von CO₂-Äquivalenten zu schätzen.

Multipliziert man die Emissionsfaktoren aus Tabelle 5 mit dem RFI von 3 und den entsprechenden Entfernungen der einzelnen Marktsegmente (letzte Spalte von Tabelle 4), so ergeben sich Emissionen zwischen 326 kgCO₂eq für den repräsentativen Kurzstreckenflug in der Economy- und 5477 kgCO₂eq für den repräsentativen Kurz-Langstreckenflug in der Premium-Klasse (Tabelle 6).

Tabelle 6: Klimaauswirkungen eines typischen Fluges (kgCO₂eq)

	Economy	Premium
Kurzstrecke	326	489
Kurz-Langstrecke	1956	5477
Langstrecke	1630	4989

Multipliziert man die Klimaauswirkungen der typischen Flüge aus Tabelle 6 mit den Passagieranteilen pro Segment aus Tabelle 3, erhält man den gewichteten durchschnittlichen Fussabdruck der abfliegenden Passagiere im Jahr 2018: 667 kgCO₂eq pro Passagier oder 19,4 Millionen Tonnen für alle lokalen Passagiere. Der Anteil der einzelnen Segmente ist in Abbildung 14 dargestellt.

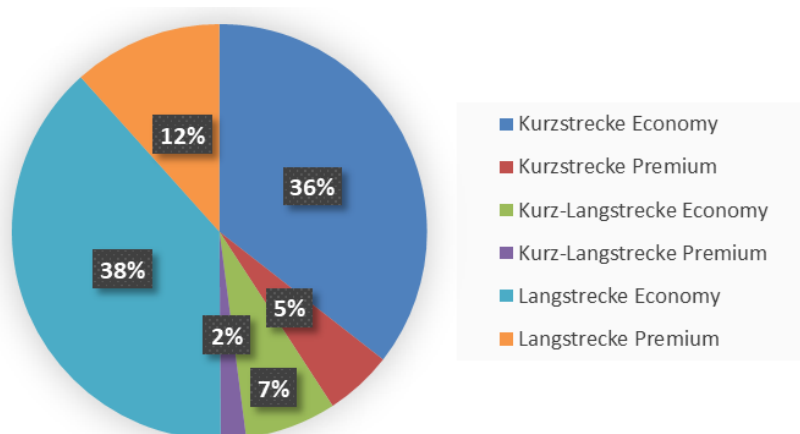


Abbildung 14: Anteile der verschiedenen Segmente an der Gesamtklimawirkung der lokalen Passagiere, die von Schweizer Flughäfen abfliegen (eigene Schätzung, 2018)

Obwohl drei Viertel aller Reisen Kurzstreckenflüge in der Economy-Klasse sind (73 %, Abbildung 15), sind diese nur für einen Drittel aller Emissionen verantwortlich (36 %). Langstreckenflüge, einschliesslich der hier betrachteten Kurz-Langstreckenflüge, werden von 20 % aller Passagiere unternommen, sind aber für 60 % der Emissionen verantwortlich. Am auffälligsten ist der Einfluss von Langstreckenflügen im Premiumbereich (inkl. mit Zwischenhalt), die mit weniger als 2 % der Passagiere 14 % der Emissionen verursachen. Abbildung 16 zeigt, dass dies keine Besonderheit der Schweiz oder unserer Daten darstellt, sondern dass auch in Europa der Anteil der Langstreckenflüge an den Emissionen (über 1500 km) das Dreifache ihres Anteils an den Passagieren beträgt.¹⁹

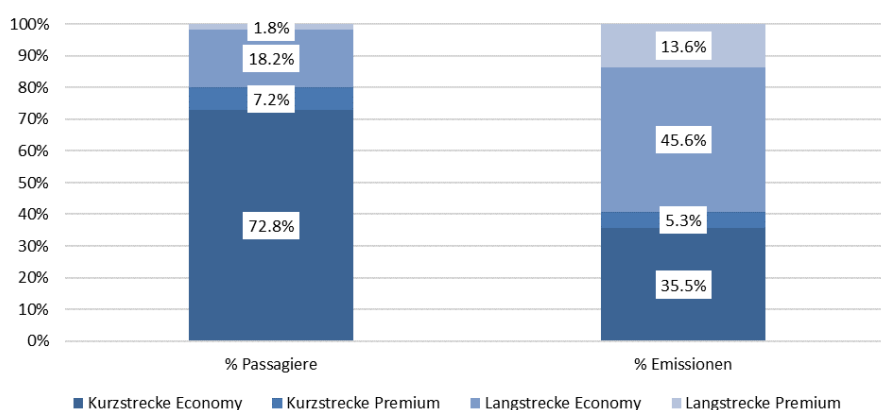


Abbildung 15: Anteile der von Schweizer Flughäfen abfliegenden Passagiere nach Flugdistanz und zurechenbarer Klimawirkung (eigene Schätzung, 2018)

¹⁹ Die dargestellten Statistiken beziehen sich auf Abflüge von Flughäfen in den 40 europäischen Staaten, die an der EUROCONTROL-Prozesszone Central Route Charges teilnehmen.

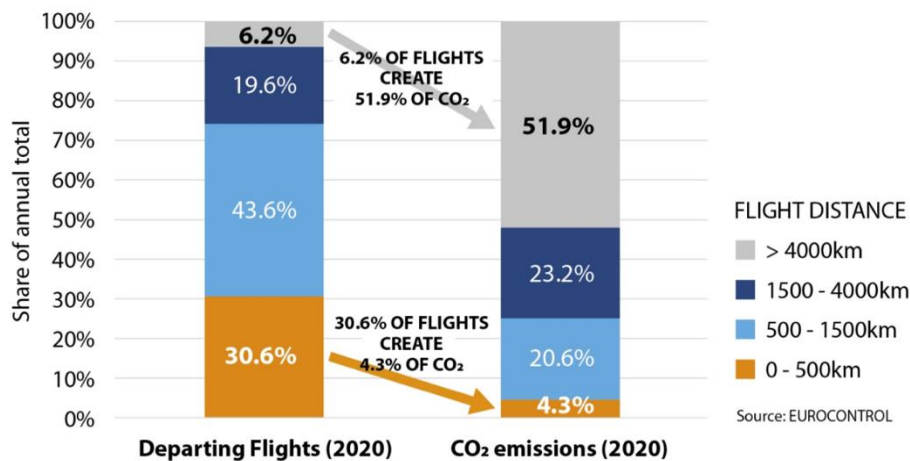


Abbildung 16: Anteile der von europäischen Flughäfen abfliegenden Passagiere nach Flugdistanz und zurechenbarer Klimawirkung (EUROCONTROL 2021)

Folglich hängt die Auswirkung der Flugticketabgabe auf die Gesamtemissionen in erheblichem Masse vom Abgabesatz für Langstreckenflüge – insbesondere in der Premium-Klasse – und von der Elastizität der Nachfrage in diesen Segmenten ab.

5.2.4 PREISE

Bei der Entscheidung, ob er fliegt oder nicht, bewertet ein potenzieller Kunde die durch die Reise entstehenden Kosten, was zu zwei methodischen Anforderungen führt: Erstens sollte der Hin- und Rückflugpreis und nicht der Preis für die einfache Strecke betrachtet werden; und zweitens sind die Kosten für den Flug zum Endziel der Reise und nicht nur für die erste Strecke relevant. Um repräsentative Preise für die betrachteten Marktsegmente zu erhalten, konzentrieren wir uns daher auf die zehn im Jahr 2018 beliebtesten Flughäfen innerhalb und ausserhalb Europas, die von BFS (2019) als Endziel der Passagiere aufgeführt werden. Bei den Kurzstreckenflügen machen die zehn von uns betrachteten Ziele²⁰ in Bezug auf die Passagierströme 32 % der Kurzstreckenabflüge aus (6,1 Millionen). Bei den Langstreckenflügen, die eine Minderheit der Passagierströme auf sich vereinen, repräsentieren die zehn ausgewählten Ziele²¹ in Bezug auf die Passagierströme 30 % der Langstreckenabflüge (1,5 Millionen). Um von den Zielorten zu den Städtepaaren zu gelangen, betrachten wir die Flüge von den drei nationalen Schweizer Flughäfen (BSL, GVA, ZRH) zu jedem Zielort, da das Volumen der Abflüge, die an den Regionalflughäfen stattfinden, vernachlässigbar ist.

²⁰ London Heathrow, Amsterdam Schiphol, Barcelona, London Gatwick, Porto, Madrid Barajas, Berlin Tegel, Wien, Lisboa, Palma de Mallorca.

²¹ Tel Aviv Ben Gurion International, Suvarnabhumi Bangkok International, New York JFK, Dubai, Hurghada, Toronto Lester Pearson International, New York Newark International, Marrakech, Singapore Changi, Muscat.

Der typische Preis für eine bestimmte Strecke wurde aus den Daten von Google Flights (2020) extrahiert, als wir im Juni 2020 mit der Modellierung begannen.²² Aus dem oben beschriebenen Grund und weil Fluggesellschaften in der Regel einen Aufschlag für Passagiere erheben, die nur Hinflüge buchen, wurden Preise für Hin- und Rückflugtickets erhoben. Die Dauer des Auslandsaufenthalts wird mit sieben Tagen angenommen (15. bis 21. Tag eines jeden Monats), da Fluggesellschaften in der Regel einen Aufschlag für kurze Aufenthalte erheben. In einem ersten Schritt wird der Mittelwert aus den typischen «niedrigen» und typischen «hohen» Werten der besten Angebote für einen bestimmten Monat und eine bestimmte Klasse gebildet. Bei der Verwendung der angebotenen Preisspanne liegt der Vorteil im Gegensatz zu den tatsächlich zum Kauf angebotenen Tickets darin, dass diese Spanne monatspezifisch und gegenüber Effekten, die den Abreisetag betreffen, relativ widerstandsfähig ist. Als nächstes werden die monatlichen Mittelwerte pro Klasse über das Jahr gebildet. Schliesslich wird der Durchschnittspreis einer bestimmten Strecke mit dem entsprechenden Passagieraufkommen gewichtet. Die angewandte Methodik ermöglicht es uns, repräsentative Preise zu erhalten, indem sowohl dynamische Preiseffekte vermieden als auch saisonale Muster bereinigt werden.

Für Kurzstreckenflüge werden die Standard-Economy- und Business-Klassen berücksichtigt, die mit den von Fluggesellschaften angebotenen Sitzplatzklassen übereinstimmen.²³ Für Langstreckenflüge werden die folgenden Klassen berücksichtigt: Economy, Business und First. Um einen repräsentativen Preis für die Premium-Klasse zu erhalten, wurden die beiden letztgenannten Klassen, gewichtet nach ihrer durchschnittlichen Prävalenz in Anlehnung an DBEIS (2019), gemeinsam betrachtet. Schliesslich wird das obige Verfahren mit der Ausnahme wiederholt, dass wir ein Umsteigen während der Reise zulassen, um Kurz-Langstreckenflüge zu berücksichtigen. Als Ergebnis erhalten wir die sechs repräsentativen Preise, die in Tabelle 7 dargestellt sind.

Tabelle 7: Ticketpreise (CHF)

	Economy	Premium
Kurzstrecke	155	570
Kurz-Langstrecke	490	2745
Langstrecke	700	4570

²² Um den Effekt von COVID-19 zu berücksichtigen, haben wir einige dieser Preise durch einen Vergleich mit einer kleineren Stichprobe, die im Februar 2020 erhoben wurde, korrigiert. Kurzstreckenpreise wurden als solche übernommen. Direkte Langstreckenpreise wurden mit dem Faktor 1/0,95 in der Economy- und 1/0,9 in der Premium-Klasse korrigiert. Indirekte Langstreckenpreise wurden für beide Klassen um den Faktor 1/0,97 korrigiert.

²³ Fluggesellschaften bieten nur auf Kurzstreckenflügen die Wahl zwischen Standard-Economy- und Business-Reiseklassen.

5.2.5 ELASTIZITÄTEN

Die in Tabelle 2 des vorigen Kapitels aufgelisteten Elastizitäten unterscheiden nicht nach dem Grund der Reise, obwohl davon auszugehen ist, dass die Preissensitivität der Nachfrage für Freizeit- und Arbeitsflüge nicht gleich ist. Daher gehen wir davon aus, dass die Elastizitäten in Tabelle 2 für die typischen Motive in jedem Segment gelten: Privat für Flüge in der Economy-, geschäftlich für Flüge in der Premium-Klasse. Die Elastizitäten für Geschäftsflüge in der Economy-Klasse und Flüge aus persönlichem Anlass in der Premium-Klasse werden interpoliert. So wird angenommen, dass die geschätzten 25 % der Passagiere, die aus beruflichen Gründen in der Economy-Klasse reisen, eine Preissensitivität haben, die zwischen der von persönlichen Flügen in der Economy- und der von berufsbedingten Flügen in der Premium-Klasse liegt. Für Kurz-Langstreckenflüge nehmen wir die gleichen Elastizitäten an wie für Langstreckenflüge. Die resultierenden Elastizitäten sind in Tabelle 8 beschrieben.

Tabelle 8: Nachfrageelastizitäten für alle Marktsegmente

	Economy		Premium	
	privat	geschäftlich	privat	geschäftlich
	Untergrenze			
Kurzstrecke	1,20	0,90	0,90	0,60
Kurz-Langstrecke und Langstrecke	0,90	0,60	0,60	0,30
	Obergrenze vor COVID-19 (bis 2019)			
Kurzstrecke	2,10	1,55	1,55	1,00
Kurz-Langstrecke und Langstrecke	1,50	1,00	1,00	0,50
	Obergrenze nach COVID-19 (ab 2020)			
Kurzstrecke	2,10	1,65	1,65	1,20
Kurz-Langstrecke und Langstrecke	1,50	1,20	1,20	0,90

5.3 Abgabeabstufungsszenarien

5.3.1 ABSTUFUNG LAUT CO₂-GESETZ UND IMPLIZITE CO₂-ABGABE

Das neue CO₂-Gesetz gibt keinen Zeitplan für die Flugticketabgabe vor, sondern legt mit 30 bzw. 120 CHF nur eine Unter- und Obergrenze fest. Ferner erwähnt es die Möglichkeit, nach Reiseklasse und Fluglänge zu differenzieren. Es nimmt Umsteigeflüge von der Flugticketabgabe aus, obwohl sie 15 % aller von Schweizer Flughäfen abfliegenden Passagiere ausmachen. Es ist Aufgabe des Bundesrats, in einer Verordnung einen Zeitplan vorzuschlagen. Dies hat er im April 2021 getan. Der vorgeschlagene Zeitplan, der sich zum Verfassungszeitpunkt dieses Artikels erst in der

Vernehmlassung befindet, sieht eine Abgabe von 30 CHF für Flüge in der Economy-Klasse innerhalb Europas vor – mit Ausnahme einiger Destinationen am Rande Europas, die als Mittelstreckenflüge gelten. Der Satz beträgt 60 CHF für Mittelstreckenflüge und 90 CHF für Langstreckenflüge, zu denen alle Destinationen östlich des Urals, südlich der Mittelmeerränderstaaten oder jenseits des Atlantiks gehören. Für Kurz-Langstreckenflüge gelten die gleichen Abgabesätze. Für den gleichen Flug in einer Premium-Klasse wird ein Zuschlag von 30 CHF erhoben.

Unser Modell unterscheidet nicht zwischen Mittel- und Langstreckenflügen, daher betrachten wir nur die Sätze von 30 und 90 CHF, ergänzt um 30 CHF Zuschlag in der Premium-Klasse (Tabelle 9).²⁴ Dividiert man diese Sätze durch die entsprechenden durchschnittlichen Klimaauswirkungen des Flugsegments (Tabelle 6), so erhält man die implizite CO₂-Abgabe, die in der letzten Spalte von Tabelle 9 dargestellt ist.

Tabelle 9: Flugticketabgabe des CO₂-Gesetzes und impliziter CO₂-Preis

		Flugticketabgabe (CHF)	Implizite CO ₂ -Abgabe (CHF/t CO ₂ eq)
Kurzstrecke	Economy	30	92
Kurzstrecke	Premium	60	123
Kurz-Langstrecke	Economy	90	46
Kurz-Langstrecke	Premium	120	22
Langstrecke	Economy	90	55
Langstrecke	Premium	120	24

Allein die Betrachtung der impliziten Kohlenstoffabgabe für Flüge in der Economy-Klasse zeigt, dass diese für Kurzstreckenflüge etwa doppelt so hoch ist wie für Langstreckenflüge. Hier gilt zu beachten, dass wir die vollen Auswirkungen von Kurzstreckenflügen berücksichtigt haben, einschliesslich der grösseren relativen Bedeutung von Start und Landung. Es muss also eine andere Erklärung für die sehr ungleiche Behandlung von Kurz- und Langstreckenflügen gefunden werden, obwohl das CO₂-Gesetz vorschreibt, dass die Klimaauswirkung bei der Festlegung der Abstufung berücksichtigt werden muss (Art. 44). Sie liegt in der Tatsache begründet, dass das Parlament die Grenzen von 30 bis 120 CHF festgelegt hat, d. h. einen Maximalsatz, der nur viermal höher ist als der Minimalsatz, obwohl die Klimawirkung des durchschnittlichen Kurz-Langstreckenflugs in der Premium-Klasse über 15-mal grösser ist als die des durchschnittlichen Kurzstreckenflugs in der Economy-Klasse (Tabelle 6). Allerdings kann die Tatsache, dass es Ersatzangebote wie Nacht- und

²⁴ Einige der im Verordnungsentwurf aufgeführten Mittelstreckenziele sind europäisch, so dass wir sie als Kurzstrecke zählen würden, und einige sind südliche Mittelmeerziele, die wir als Langstrecke zählen würden. Daher gibt es keine eindeutige Verzerrung dadurch, dass wir dieses Segment nicht berücksichtigt haben.

Hochgeschwindigkeitszüge gibt, als Argument für eine höhere Belastung von Kurzstreckenflügen gelten.

Der Aufschlag von 30 CHF für Premium gegenüber Economy ist auch eine sehr grobe Annäherung an die zusätzliche Klimawirkung, die auf die breiteren Sitze zurückzuführen ist. Für Kurzstreckenflüge ist er eher übertrieben, da Premium nicht die doppelte Klimawirkung von Economy hat. Bei Langstreckenflügen unterschätzt der Aufschlag die zusätzliche Klimawirkung der Premium-Klassen deutlich. So wird der durchschnittliche Langstreckenflug in der Premium-Klasse nur mit 24 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent belastet, während der durchschnittliche Kurzstreckenflug in der Premium-Klasse mit 123 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent belastet wird.

5.3.2 ZU SIMULIERENDE SZENARIEN

Wir betrachten vier Szenarien, von denen die ersten beiden mit den Grundsätzen des neuen CO₂-Gesetzes vereinbar sind, während die beiden anderen darauf abzielen, grössere Emissionsreduzierungen zu erreichen. Diese Szenarien sind in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 10: Szenarien für den Flugticket-Abgabesatz (CHF)

		Szenario		
		CO ₂ -Gesetz	UK Duty	CO ₂ -Abgabe
Kurzstrecke	Economy	30	17	24
Kurzstrecke	Premium	60	34	36
Kurz-Langstrecke	Economy	90	107	145
Kurz-Langstrecke	Premium	120	234	405
Langstrecke	Economy	90	107	121
Langstrecke	Premium	120	234	369

Abgabe Szenarien:

- (1) CO₂-Gesetz: Unsere Interpretation der vom Parlament vorgesehenen Abstufung im neuen CO₂-Gesetz, wobei Flüge mit Zwischenhalt in Europa wie Langstreckenflüge behandelt werden.
- (2) CO₂-Gesetz mit Wachstum: Abstufung wie in Szenario (1), aber die Sätze nehmen jedes Jahr bis 2050 um 4,7 % zu; dies ist der Satz, der nötig ist, um die Klimawirkung trotz steigender Passagierzahlen konstant zu halten.
- (3) UK Duty: Abstufung entspricht der UK Air Passenger Duty 2021.
- (4) CO₂-Abgabe: Abstufung proportional zur Klimawirkung (CO₂-Emissionen × 3 × 74 CHF/Tonne CO₂-Äquivalent).

Im ersten Abgabeszenario zahlen Kurzstrecken-Passagiere in der Economy-Klasse die Mindestabgabe von 30 CHF und Kurzstrecken-Passagiere in der Premium-Klasse zahlen 60 CHF. Für Langstreckenflüge werden diese Beträge auf 90 bzw. 120 CHF festgelegt. Langstreckenflüge mit einem Umstieg in einem europäischen Hub werden wie Langstreckenflüge belastet.

Das zweite Abgabeszenario beginnt mit den Abgabesätzen des ersten Szenarios, aber die Sätze sind bis 2050 nicht konstant. Stattdessen werden sie jedes Jahr um 4,71 % erhöht, ein Satz, der unter der Bedingung berechnet wird, dass die gesamten CO₂-Emissionen im Jahr 2050 denen von 2018 entsprechen. Zu beachten ist, dass das Modell konstante Basispreise für Tickets verwendet, sodass die Progression als real interpretiert werden kann.

Das dritte Szenario ist der UK Air Passenger Duty und damit der höchsten Flugreiseabgabe in Europa nachempfunden. Diese Flugticketabgabe reicht von 13 GBP für Kurzstreckenflüge in der Economy-Klasse bis zu 180 GBP für Langstreckenflüge in der Premium-Klasse. Wir verwenden einen Wert von 1,30 CHF für den GBP-/CHF-Wechselkurs.

Das vierte Szenario berücksichtigt eine Abgabe von 74 CHF pro Tonne CO₂-Äquivalent, wobei der RFI von 3 verwendet wird, um entsprechend der aktuellen wissenschaftlichen Konsensschätzung (Abschnitt 2.1) die Klimawirkung der Emissionen in grosser Höhe zu berücksichtigen. Die Emissionen des Rückflugs werden nicht betrachtet. Dieser Satz von 74 CHF wurde so gewählt, dass die Ticketabgabe für Langstreckenflüge in der Economy etwa dem Höchstsatz des CO₂-Gesetzes, also 120 CHF, entspricht. Er ist tiefer als die 96 CHF pro Tonne CO₂, die nach dem aktuellen Schweizer CO₂-Gesetz auf Brennstoffe erhoben werden (Satz für 2018 bis 2021). Auf Treibstoffe für den Landverkehr wird hingegen keine CO₂-Abgabe erhoben. Die Abgabesätze für Flugtickets, die sich nach der Klimawirksamkeit der Flüge richten, würden sich deutlich von denen des neuen CO₂-Gesetzes unterscheiden. Sie würden für Langstreckenflüge, insbesondere im Premiumbereich, deutlich höher ausfallen. Die im CO₂-Gesetz festgelegte Bandbreite von 30 bis 120 CHF für die Flugticketabgabe lässt sich nämlich nicht mit der Bandbreite der CO₂-Emissionen der verschiedenen Flugtypen in Einklang bringen (Abschnitt 5.3.1). Insbesondere der Zuschlag von 30 CHF für Flüge in der Premium-Klasse im Vergleich zu Flügen in der Economy-Klasse ist weit davon entfernt, die zusätzlichen Emissionen widerzuspiegeln, die Premium-Passagieren auf Langstreckenflügen üblicherweise zugeschrieben werden.

5.4 Modellsimulationen

Der wichtigste Treiber für die Veränderung der Passagierzahlen und die daraus resultierenden Klimaauswirkungen ist die prozentuale Preiserhöhung durch die neue Flugticketabgabe. Wir gehen davon aus, dass die Abgabe vollständig auf die Passagiere abgewälzt wird, d. h. die Fluggesellschaften nichts davon absorbieren können, um die Auswirkungen auf die Nachfrage abzumildern (siehe dazu Abschnitt 5.6). Unter dieser Annahme sind die simulierten prozentualen

Preisänderungen für die angenommenen Durchschnittspreise (Tabelle 7) und die verschiedenen Abgabesätze (Tabelle 10) in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Durch die Flugticketabgabe induzierte Preisänderungen in den vier Szenarien (2018, ausser «CO₂-Gesetz mit Wachstum»)

		CO ₂ -Gesetz	CO ₂ -Gesetz mit Wachstum 2050	UK Duty	CO ₂ -Abgabe
Kurzstrecke	Economy	+ 19 %	+ 84 %	+ 11 %	+ 16 %
Kurzstrecke	Premium	+ 11 %	+ 46 %	+ 6 %	+ 6 %
Kurz-Langstrecke	Economy	+ 18 %	+ 80 %	+ 22 %	+ 30 %
Kurz-Langstrecke	Premium	+ 4 %	+ 19 %	+ 9 %	+ 15 %
Langstrecke	Economy	+ 13 %	+ 56 %	+ 15 %	+ 17 %
Langstrecke	Premium	+ 3 %	+ 11 %	+ 5 %	+ 8 %

5.4.1 ABSTUFUNG GEMÄSS CO₂-GESETZ

Das erste Abgabeszenario erhöht den Preis für Kurzstreckenflüge in der Economy-Klasse, dem in Bezug auf die Passagiere wichtigsten Segment, um 19 % (Tabelle 11). Die Preise für Langstreckenflüge steigen weniger stark an, vor allem in der Premium-Klasse, einem Segment, das einen überproportionalen Einfluss auf die CO₂-Emissionen hat. Infolgedessen sind die Auswirkungen der vorgeschlagenen Abstufung auf die Emissionen geringer als die Wirkung auf die Passagierzahlen. Die Auswirkungen dieses Szenarios sind in Tabelle 12 dargestellt. Es führt zu einer Reduzierung der CO₂-Emissionen zwischen 10 % (untere Elastizitätsgrenze) und 16 % (obere Grenze). Die Effekte sind im Zeitverlauf nahezu konstant, da der Abgabeplan unverändert bleibt. Die etwas höheren Elastizitäten der Obergrenze, die nach COVID-19 für einige kleinere Segmente angenommen wurden, erhöhen die Auswirkungen auf die CO₂-Emissionen von – 15,7 % auf – 16,2 %. Der Abgabeertrag steigt aufgrund des tendenziellen Anstiegs der Passagierzahlen im Laufe der Zeit von etwa 1 Mrd. CHF im Jahr 2018 auf 2 Mrd. CHF im Jahr 2050.

Tabelle 12: Auswirkungen der Abgabeabstufung gemäss CO₂-Gesetz

	2018	2030	2050
Untere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 13 %	– 13 %	– 13 %
CO ₂ -Emissionen	– 10 %	– 10 %	– 10 %
Ertrag (MCHF)	948	1274	2088
Obere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 21 %	– 21 %	– 21 %
CO ₂ -Emissionen	– 16 %	– 16 %	– 16 %
Ertrag (MCHF)	858	1146	1877

5.4.2 ABSTUFUNG GEMÄSS CO₂-GESETZ MIT WACHSTUM

Unser zweites Abgabeszenario beginnt mit derselben Abstufung wie das erste (jene des CO₂-Gesetzes), erhöht die Abgaben aber jedes Jahr um 4,71 %. Das ist die Quote, die erforderlich ist, um die CO₂-Emissionen bis 2050 auf dem Niveau von 2018 zu halten, obwohl das Wachstum der Passagierzahlen teilweise durch eine Verbesserung der Treibstoffeffizienz um 1,5 % pro Jahr ausgeglichen wird.²⁵ Im Referenzszenario ohne Flugticketabgabe wachsen die Passagierzahlen um 2,5 % pro Jahr. Diese Wachstumsrate wird im ersten Jahr der Umsetzung für die unteren Grenzelastizitäten auf 1,9 % und für die oberen Grenzelastizitäten auf 1,5 % gesenkt. Im Laufe der Zeit sinken diese Wachstumsraten unter dem Einfluss der steigenden Flugticketabgabe auf 1,0 % bzw. 0,3 % im Jahr 2050.

Die Auswirkungen auf die Preise, bei denen angenommen wird, dass sie konstant bleiben, sind bis 2050 erheblich (siehe Tabelle 11). Dennoch bleibt der Preisanstieg für Premium-Flüge recht gering. Wenn auch dieses Segment, das überproportional zu den Emissionen beiträgt (Abschnitt 5.2.3) und besonders unelastisch ist, seine Emissionen reduzieren soll, ist eine andere Abstufung erforderlich, etwa die des vierten Szenarios.

Für 2018 hat dieses Abgabeabstufung die gleichen Auswirkungen wie das CO₂-Gesetz, aber mit steigender Flugticketabgabe werden die Auswirkungen stärker (Tabelle 13). Im Jahr 2050 ist die Zahl der Passagiere je nach Elastizität der Nachfrage um 42 % bis 48 % niedriger als ohne Flugticketabgabe, aber immer noch um 45 % bis 69 % höher als im Jahr 2018. Der Effekt auf die CO₂-Emissionen ist geringer, diese liegen aber immer noch 26 % bis 38 % unter dem Niveau ohne Abgabe.

²⁵ Da die Auswirkung der Flugticketabgabe auf die CO₂-Emissionen für die unteren und oberen Grenzelastizitäten nicht gleich ist, wird auf den Durchschnitt der Emissionen in den beiden Elastizitätsszenarien die Bedingung der konstanten Emissionen angewendet.

Tabelle 13: Auswirkungen der Abstufung gemäss CO₂-Gesetz mit Wachstum

	2018	2030	2050
Untere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 13 %	– 20 %	– 37 %
CO ₂ -Emissionen	– 10 %	– 15 %	– 29 %
Ertrag (MCHF)	948	2023	6451
Obere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 21 %	– 32 %	– 53 %
CO ₂ -Emissionen	– 16 %	– 25 %	– 43 %
Ertrag (MCHF)	858	1704	4552

5.4.3 ABSTUFUNG ANALOG ZU UK DUTY

Die britische Flugticketabgabe 2021 reicht von 13 GBP bis 180 GBP, was bedeutet, dass sie für unser grösstes Segment, die Kurzstrecken-Economy-Flüge, etwa halb so hoch ist wie die des CO₂-Gesetzes, aber etwa doppelt so hoch wie die des CO₂-Gesetzes für Langstrecken-Premiumflüge (Tabelle 10). Dies spiegelt sich natürlich auch in den induzierten Preisänderungen wider, die bei Langstrecken-Premiumflügen etwas grösser, aber immer noch recht moderat ausfallen (Tabelle 11).

Die Ergebnisse dieser Simulation unterscheiden sich nicht sehr von denen der Abstufung gemäss CO₂-Gesetz (Tabelle 14). Ein Unterschied besteht darin, dass die Negativwirkung auf die CO₂-Emissionen aufgrund des steileren Abgabeanstiegs näher an der Auswirkung auf die Passagierzahlen liegt als in Szenario 1.

Tabelle 14: Auswirkungen der Abstufung analog zu UK Duty

	2018	2030	2050
Untere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 9 %	– 9 %	– 9 %
CO ₂ -Emissionen	– 8 %	– 8 %	– 8 %
Ertrag (MCHF)	844	1135	1859
Obere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 15 %	– 15 %	– 15 %
CO ₂ -Emissionen	– 13 %	– 14 %	– 14 %
Ertrag (MCHF)	785	1049	1718

5.4.4 ABSTUFUNG AUF BASIS DER CO₂-ABGABE

Dieses Abgabeszenario läuft darauf hinaus, den Ticketabgabesatz proportional zur Klimawirkung von Flügen festzulegen. Seine Werte sind niedriger als bei der Abstufung gemäss CO₂-Gesetz für Kurzstreckenflüge, es kommt aber eine grössere Abgabe für Langstreckenflüge hinzu, insbesondere im Premiumbereich und vor allem mit Zwischenhalt (Tabelle 11). Da dies die kerosinintensivsten Flüge sind, erreicht diese Abstufung eine grössere Reduzierung der CO₂-Emissionen als Szenario 1, aber der Unterschied ist nicht riesig (Tabelle 15 im Vergleich zu Tabelle 12). Da jedoch zu erwarten ist, dass die CO₂-Abgabe steigt,²⁶ würde eine Flugticketabgabe, die denselben Kohlenstoffpreis auf das Fliegen überträgt, ebenfalls steigen, was bedeutet, dass der Effekt dieses Szenarios auf die Emissionen in den kommenden Jahren viel grösser werden könnte.

Tabelle 15: Auswirkungen einer auf Basis der CO₂-Abgabe

	2018	2030	2050
Untere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 12 %	– 12 %	– 12 %
CO ₂ -Emissionen	– 10 %	– 10 %	– 10 %
Ertrag (MCHF)	1060	1425	2335
Obere Grenzelastizitäten			
Passagiere	– 19 %	– 19 %	– 19 %
CO ₂ -Emissionen	– 17 %	– 17 %	– 17 %
Ertrag (MCHF)	969	1291	2115

Auch wenn dies hier nicht gezeigt wird, lassen sich sehr ähnliche Ergebnisse mit einer 15-prozentigen Abgabe auf die Ticketpreise erzielen. Dieser Satz ist ein grober Durchschnitt der Preissteigerungen, die sich aus der Flugticketabgabe des CO₂-Gesetzes ergeben (Tabelle 11).

5.4.5 ALLE SZENARIEN IM VERGLEICH

Die Hauptergebnisse aller Abgabeabstufungen für 2023 werden unter der Annahme, dass die Flugticketabgabe in diesem Jahr voll einsatzfähig ist und der Luftverkehr wieder in seinen Aufwärtstrend von vor 2020 zurückfällt, in Tabelle 16 verglichen. Dies geschieht nur für die oberen Elastizitäten nach COVID-19. Wie zuvor sind alle Zahlen Abweichungen vom Ausgangswert ohne Flugticketabgabe für dasselbe Jahr.

²⁶ Das CO₂-Gesetz von 2020 legt die Obergrenze auf 210 CHF pro Tonne CO₂ fest.

**Tabelle 16: Vergleich der Abgabeszenarien im Jahr 2023
(obere Grenzelastizitäten nach COVID-19)**

	CO ₂ -Gesetz	CO ₂ -Gesetz mit Wachstum	UK Duty	CO ₂ -Abgabe
Passagiere	– 21 %	– 26 %	– 15 %	– 19 %
CO ₂ -Emissionen	– 16 %	– 19 %	– 14 %	– 17 %
Ertrag (MCHF)	964	1146	882	1086

Es ist interessant festzustellen, dass unsere vier Abgabeszenarien zwar recht unterschiedlich definiert sind, aber am Ende den Luftverkehr in ähnlichen Grössenordnungen beeinflussen. Dies ist in den ersten Jahren der Fall, aber wenn die Flugticketabgabe in den Szenarien (2) und möglicherweise (4) ansteigt, driften die Ergebnisse auseinander. Man beachte auch die Unterschiede bei den Einnahmen aus der Flugticketabgabe, die zwischen 0,88 und 1,15 Mrd. CHF liegen. Letztere Zahl liegt übrigens nahe an den tatsächlichen Einnahmen der CO₂-Abgabe im Jahr 2020 (1,26 Mrd. CHF aus der Rechnung des Bundes). Sie ist kleiner als die von Sigrist et al. (2019) geschätzten 1,30 Mrd. CHF an Einnahmen aus der Flugticketabgabe, wofür eine Abgabe von 120 CHF auf alle Langstreckenflüge angenommen wurde.

Insgesamt deuten unsere Simulationen darauf hin, dass die Einführung einer Flugticketabgabe im Bereich von 30–120 CHF gemäss revidiertem CO₂-Gesetz die CO₂-Emissionen im Jahr 2023 um bis zu 16 % senken könnte. Eine solche Senkung im Jahr 2019 hätte eine Reduktion des Anteils zur Folge, den der Flugverkehr an den gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz (Abschnitt 2.2) ausmacht (von 27 % auf 24 %). Dies mag wie eine kleine Verbesserung aussehen, aber es entspricht 2,5 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr. Angesichts der Wachstumsrate des Kerosinabsatzes in den 10 Jahren vor 2020 (3,2 % pro Jahr) wären diese Emissionseinsparungen innerhalb von sechs Jahren durch das Nachfragewachstum ausgeglichen worden (aber nach diesen sechs Jahren wären sie immer noch 16 % niedriger als ohne jegliche Flugticketabgabe oder andere Massnahmen). Bei der moderateren Wachstumsrate, die wir nach COVID-19 annehmen (2,5 %), und bei fortgesetzter Verbesserung der Treibstoffeffizienz (1,5 % pro Jahr) würde es 18 Jahre dauern, bis die Emissionen wieder das Niveau vor Einführung der Flugticketabgabe erreichen.

Unsere Simulationen zeigen auch, dass bei Langstreckenflügen, die schätzungsweise 60 % der Emissionen, aber nur 20 % des Passagieraufkommens ausmachen, die emissionsmindernde Wirkung durch eine progressivere Abstufung der Abgabe mit Spitzenabgabesätzen deutlich über der Obergrenze von 120 CHF verstärkt werden könnte, insbesondere bei Premium-Flügen. Ein steilerer Abgabesatz würde trotz der geringeren Elastizitäten im Langstreckensegment eine grössere Emissionsreduktion bei einem geringeren Rückgang der Passagierzahlen bewirken.

5.5 Verteilungseffekte der Flugticketabgabe

Unsere Simulationen sind zu grob, um eine Quantifizierung der Verteilungseffekte der verschiedenen Flugticketabgabeszenarien zu ermöglichen. Während die Flugticketabgabe unabhängig vom Einkommen der Passagiere ist, haben Passagiere der Langstrecken- und Premium-Klasse in der Regel ein höheres Einkommen als Passagiere der Kurzstrecken- und Economy-Klasse. Daher könnten die höheren Abgabesätze für diese Flüge im Vergleich zu Kurzstrecken- und Economy-Flügen auf eine gewisse Progressivität der vorgeschlagenen Flugticketabgabe hindeuten. Allerdings ist vorgeschlagene Abstufung, gemessen an der impliziten Abgabe pro Tonne CO₂, für Langstreckenflüge, insbesondere in der Premium-Klasse, recht günstig (Tabelle 9).

Ob der Gesamteffekt der Abgabe progressiv ist, hängt auch davon ab, wie der Abgabbeertrag verwendet wird: Je grösser das Gewicht der pauschalen Umverteilung an die Bevölkerung (über Krankenkassenprämien), desto stärker ist die direkte Umverteilungswirkung der Politik. Je nach Ausgestaltung der Ticketabgabe und der Elastizität der Nachfrage könnte der Ertrag etwa 1,0 Mrd. CHF betragen (Tabelle 12) – etwas weniger als die Einnahmen der bestehenden CO₂-Abgabe auf Heizöl (1,26 Mrd. CHF im Jahr 2019, aus der Bundesrechnung). Das Gesetz schreibt vor, dass 51 % der Einnahmen aus der Flugticketabgabe an die Bevölkerung und die Wirtschaft zurückverteilt werden müssen, also rund 0,5 Mrd. CHF. Der Anteil für die Bevölkerung entspricht deren geschätztem Beitrag zu den Gesamteinnahmen. In unserem Modell entfallen 72 % der Einnahmen auf Flüge aus persönlichen Gründen und 28 % aus beruflichen Gründen. Wenn wir diese Aufteilung nehmen, würden etwa 350 Mio. CHF an die Bevölkerung umverteilt werden. Bei einer geschätzten Bevölkerung von 8,8 Mio. im Jahr 2023 wären das 40 CHF pro Kopf. Somit würde jeder, der mehr als einen Kurzstreckenflug in der Economy-Klasse unternimmt, mehr an Flugticketabgabe bezahlen, als er zurückerstattet erhält.

Sigrist et al. (2019) schätzten den Abgabbeertrag auf 1,3 Mrd. CHF, woraus sie eine Rückerstattung von 60 CHF pro Kopf ableiteten. Mit ihrer Annahme einer Ticketabgabe von 30 CHF für Kurz- und 120 CHF für Langstreckenflüge lässt sich leicht erkennen, welche Haushalte mehr als die Rückerstattung zahlen würden, nämlich diejenigen, die einen Langstreckenflug oder mehr als zwei Kurzstreckenflüge pro Jahr unternehmen. Dies sind typischerweise einkommensstärkere Haushalte.

Bosshardt et al. (2020) verwendeten die Daten des Mikrozensus 2015, um den Nettoeffekt einer vereinfachten Version der Flugticketabgabe auf die Haushaltseinkommen zu schätzen. Ihre Abgabe wurde unabhängig von der Reiseklasse mit 30 CHF für Kurzstreckenflüge und 120 CHF für Langstreckenflüge angenommen. Weiterhin wurde angenommen, dass 51 % der Einnahmen an die Bevölkerung umverteilt werden, einschliesslich des Anteils, der tatsächlich an die Unternehmen zurückerstattet wird. Die Autoren fanden heraus, dass 90 % der Bevölkerung eine grössere Rückerstattung (84 CHF) erhalten würden, als sie bezahlt haben (durchschnittlich 18 CHF pro Kopf), vor allem dank der Beiträge von Passagieren, die nicht in der Schweiz wohnen und daher

keinen Anspruch auf die Rückerstattung haben, während sie die Flugticketabgabe bei der Ausreise bezahlen. Die 10 % mit einem negativen Saldo sind Vielflieger, die in allen Einkommensklassen zu finden sind. Da jedoch die Häufigkeit des Fliegens mit dem Einkommen zunimmt, ist der durchschnittliche Saldo pro Einkommensklasse positiv und am höchsten für die niedrigste Einkommensklasse (ca. 70 CHF) und sinkt allmählich auf etwas unter Null in der Einkommensklasse ab 16 000 CHF pro Monat. Im Vergleich zu den Einkommen gibt es also insgesamt eine Progressivität bei der Netto-Rückerstattung, aber natürlich kann es viele Vielflieger mit niedrigem oder mittlerem Einkommen geben, die einen Nettosaldo zahlen.

5.6 Grenzen der Simulationen

Unsere Simulationen lassen angebotsseitige Reaktionen, Einkommenseffekte, abgabeinduzierte Mitnahmeeffekte sowie dynamische und indirekte Effekte ausser Acht. Sie sind daher eher als grobe Annäherungen denn als eine abschliessende Bewertung zu betrachten.

In der Realität ist die Angebotskurve nicht perfekt elastisch und die Abgabelast wird zwischen den Fluggesellschaften und den Passagieren aufgeteilt, wodurch die Auswirkungen der Flugticketabgabe verringert werden (Abbildung 17). Da das Angebot nicht vollkommen elastisch ist, wird die Abgabe nicht einfach auf den ursprünglichen Preis ($P_0 + t$) aufgeschlagen, sondern zwischen Fluggesellschaften und Passagieren aufgeteilt, was zu einem niedrigeren Preis nach Abgabe (P_1') als bei einer vollständigen Übertragung, wie in unseren Simulationen angenommen, und zu einem geringeren Rückgang des Flugverkehrs führt. Die Bestimmung der genauen Form der Angebotskurve sollte eine Priorität für weitere Forschungen sein, um die Auswirkungen von Flugticketabgaben auf das Reiseaufkommen besser zu verstehen.

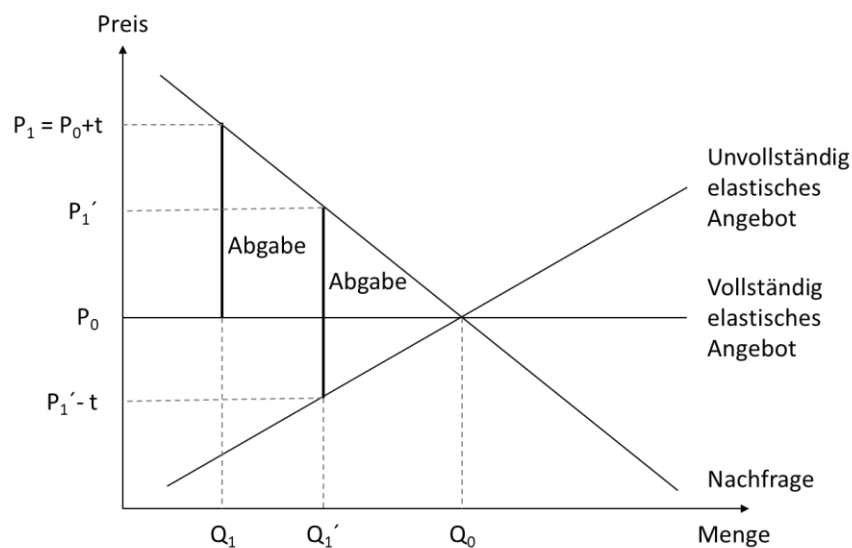


Abbildung 17: Aufteilung der Flugticketabgabe zwischen Fluggesellschaften und Passagieren (eigene Abbildung)

5.7 Diskussion dieser Ergebnisse

Eine Folgenabschätzung auf der Basis von Elastizitäten der Flugreisenachfrage zeigt einen deutlichen Effekt einer Flugticketabgabe auf die Passagiernachfrage. Es ist jedoch möglich, dass einige Passagiere ihre Reise von benachbarten Flughäfen aus antreten würden, um die Schweizer Flugticketabgabe zu umgehen. Eine zunehmende Anzahl europäischer Länder und alle Nachbarländer der Schweiz haben bereits eine Flugticketabgabe eingeführt (Abbildung 18). Diese ist jedoch meist deutlich niedriger als die vorgeschlagene Schweizer Abgabe von 30 bis 120 CHF.

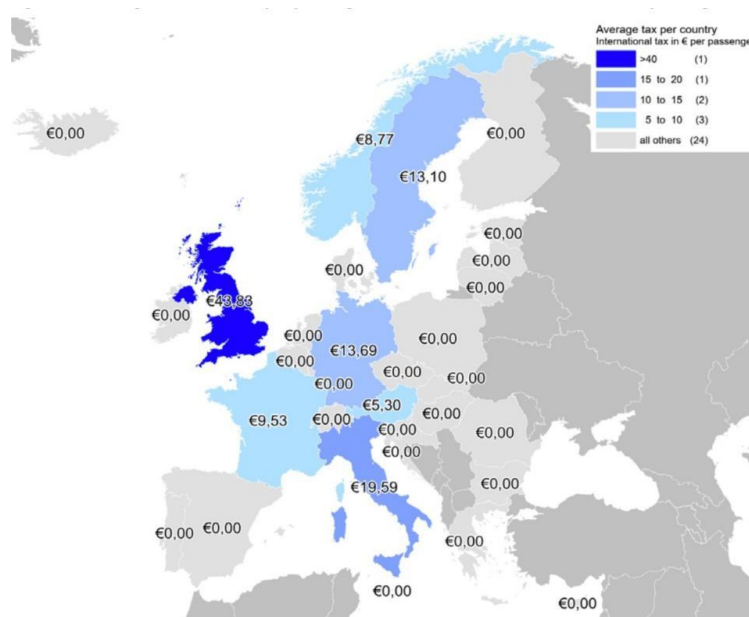


Abbildung 18: Durchschnittliche Luftverkehrsabgaben pro Passagier in der EU und EFTA, für internationale Passagiere (CE Delft, 2019)

Ein weiteres Argument gegen die Flugticketabgabe, das von der Luftfahrtindustrie vorgebracht wird, besagt, dass sich die Abgabe negativ auf die Umwelt auswirke, da sie die Fähigkeit der Fluggesellschaften einschränkt, in neue Flugzeugtechnologien zu investieren. Dieser Effekt wird abgemildert, wenn Unternehmen die Abgabe an ihre Kunden weitergeben können, wie wir in unserem Modell annehmen, und wenn die Flugticketabgabe für Unternehmen, die ihre Klimabelastung verringern, reduziert wird, wie es im CO₂-Gesetz vorgesehen ist.

Die Flugticketabgabe könnte die Auslastung der Flugzeuge reduzieren, ohne die Anzahl der Flüge zu verringern (IATA, 2019b), aber in einem wettbewerbsorientierten Markt würde man erwarten, dass die Fluggesellschaften letztendlich auch die Anzahl der Flüge reduzieren. Darüber hinaus könnten viele Fluggesellschaften die Kosten der Flugticketabgabe einfach an weniger preissensible Kunden wie Passagiere der Premium-Klasse weitergeben, um einen allgemeinen Nachfragerückgang zu begrenzen. Da Umsteige- und Transitpassagiere nach dem aktuellen Gesetzesentwurf von der Abgabe befreit sind, könnten Schweizer Fluggesellschaften günstige

Anschlussflüge zu ihren Drehkreuzen in der Schweiz anbieten, um den Rückgang der lokalen Passagiernachfrage auszugleichen.

Die Verwendung der Einnahmen aus der Flugticketabgabe ist eine weitere interessante Frage. Während eine Umverteilung der Einnahmen an die Bevölkerung die soziale Akzeptanz der Flugticketabgabe erhöhen könnte, könnte eine Ausrichtung der Einnahmen auf die Subventionierung von Nachtzügen oder synthetischen Treibstoffen zu einer effektiveren Emissionsreduktion beitragen.

6 Weitere Massnahmen zur Reduzierung der Klimaauswirkungen des Flugverkehrs

6.1 Überblick

Während sich dieses Grundlagenpapier auf die direkten Auswirkungen einer Flugticketabgabe konzentriert, gibt es andere, ergänzende politische Instrumente. Geld spielt eine Rolle, aber es ist offensichtlich nicht der einzige Motivator für menschliches Verhalten. Informationskampagnen spielten zum Beispiel eine grosse Rolle bei der Bekämpfung der negativen Auswirkungen des Tabakkonsums. In ähnlicher Weise könnte die öffentliche Information über die Auswirkungen des Fliegens auf die globale Erwärmung in Kombination mit der negativen Botschaft, die die Ticketabgabe selbst aussendet, ihre Wirkung potenziell verstärken. Wenn die Bürger den Zweck einer Regelung verstehen und akzeptieren, wird diese Regelung nur effektiver, weil es weniger Anstrengungen gibt, sie zu umgehen. Dies ist auch eine Voraussetzung dafür, dass die Regelung in einer Demokratie überhaupt unterstützt wird.

Die Bereitstellung attraktiver Alternativen zu Flugreisen wird auch eine Anpassung des Reiseverhaltens erleichtern. Die Verfügbarkeit von Hochgeschwindigkeits-Fernzugverbindungen könnte die Kluft in der Reisegeschwindigkeit zwischen Flugzeug und Zug verringern. Besonderes Potenzial scheinen Nachtzüge zu haben. Eine generelle Verteuerung des Fliegens, z. B. durch eine Flugticketabgabe, würde die preisliche Wettbewerbsfähigkeit alternativer Reisemöglichkeiten auch ohne zusätzliche öffentliche Subventionen erhöhen, die sich negativ auf die öffentlichen Haushalte auswirken.

Schliesslich sollte die technologische Innovation im Luftfahrtsektor fortgesetzt werden. Neben der öffentlichen Förderung von Forschung und Entwicklung in diesem Bereich könnten Regeln für Mindestgehalte von «grünen» Flugtreibstoffen eine Überlegung wert sein.

Zur Gliederung dieses Überblicks über politische Massnahmen, die den Behörden zur Verfügung stehen, welche die Klimaauswirkungen des Luftverkehrs reduzieren wollen, beziehen wir uns auf die Zerlegung der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs in Abschnitt 2.7. Diese Zerlegung zeigt die Hebel, die bewegt werden können, wie die Anzahl der Passagiere, die zurückgelegten Entfernungen, die Auslastungsfaktoren, die Treibstoffeffizienz der Flugzeuge, die Klimaauswirkungen der verwendeten Treibstoffe. Hier die Zerlegung, die als Referenz für die Strukturierung dieses Kapitels dient:

$$CO_2 - Emissionen = (Passagiere \times Kilometer) \times \frac{\text{verdrängte Flugzeugmasse}}{pkm} \times \frac{CO_2 - Emissionen}{\text{verdrängte Flugzeugmasse}}$$

Der erste Term ist die Gesamtzahl der mit dem Flugzeug zurückgelegten Kilometer in einem bestimmten Zeitraum. Sie kann durch eine Verringerung der Flugreisenachfrage (Abschnitt 6.2) und/oder eine Verringerung des Flugreiseangebots (Abschnitt 6.3) gesenkt werden.

Der zweite Term ist die durchschnittliche Menge der Flugzeugmasse, die für diese Reisetätigkeit verdrängt wird. Die Flugzeugmasse wird anstelle der Anzahl der Flugzeuge verwendet, weil sie eine direktere Determinante des Energieverbrauchs ist. Zwei Flugzeuge, die mit jeweils 250 Passagieren gefüllt sind, verbrauchen nicht doppelt so viel Energie wie ein grosses Flugzeug mit 500 Passagieren. Dieses Verhältnis kann gesenkt werden, indem der Auslastungsfaktor der Flugzeuge erhöht wird (Abschnitt 6.4). Das Management und der Betrieb der Flugzeugflotte ist der Schlüssel zu dieser Determinante der Klimawirkung des Luftverkehrs.

Der letzte Term ist die durchschnittliche Menge an CO₂-Emissionen aus der Verdrängung der Flugzeugmasse. Sie ist abhängig von der Treibstoffeffizienz der Flugzeuge und dem Kohlenstoffgehalt der Flugzeugtreibstoffe. Er kann daher durch treibstoffeffizientere Flugzeuge und durch den Ersatz fossiler durch (nahezu) klimaneutrale Treibstoffe reduziert werden (Abschnitt 6.5). Je nach Systemgrenzen könnten auch Kohlenstoffkompensationen als Emissionsminderungen angerechnet werden. Technologie ist der Schlüssel zu dieser Determinante der Klimawirkung des Luftverkehrs.

Es gibt viele politische Massnahmen, die genutzt werden könnten, um diese Hebel zu bewegen. Sie werden in den folgenden fünf Standardfamilien kategorisiert:

1. Freiwillige Ansätze, d. h. Massnahmen, die darauf abzielen, die Akteure zu den gewünschten Veränderungen zu drängen («Nudging»), ohne sie in irgendeiner Form dafür zu bestrafen, dass sie dem Drängen nicht nachkommen, oder Massnahmen, die die Akteure ergreifen, um ihre Umweltauswirkungen zu reduzieren, ohne dass sich dies für sie direkt lohnt. Diese Massnahmen werden auch als Soft Law bezeichnet.
2. Regulatorische Massnahmen, d. h. Massnahmen, die bestimmte Handlungen vorschreiben oder verbieten, wobei davon ausgegangen wird, dass die Durchsetzungsmechanismen ausreichen, um die Einhaltung tatsächlich zu erreichen. Diese Massnahmen werden auch als Command & Control bezeichnet.

3. Mengenmassnahmen, d. h. Massnahmen, die eine Obergrenze für eine unerwünschte Handlung wie z. B. Verschmutzungen festlegen. Sie können in dem Sinne flexibel sein, dass einzelne Akteure ihre erlaubte Menge (oder «Quote») handeln können. In einem solchen Fall werden sie zu Preismassnahmen.
4. Preismassnahmen, d. h. Massnahmen, die eine bestimmte Option relativ billiger oder teurer machen. Solche Massnahmen werden auch als Marktinstrumente bezeichnet.
5. Andere Massnahmen, die nicht in diese Charakterisierung passen, zum Beispiel die Förderung von Alternativen zu den unerwünschten Optionen.²⁷ Diese Massnahmen umfassen Service- und Infrastrukturinstrumente sowie haftungsbezogene Massnahmen.

Dieses Kapitel befasst sich der Reihe nach mit den wichtigsten Hebeln der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs – Nachfrage und Angebot (die sich hauptsächlich auf den ersten Term der obigen Zerlegungsgleichung auswirken), Passagierlastmanagement (das sich auf den zweiten Term auswirkt) und Technologie (die sich auf den dritten Term auswirkt) – und zeigt, wie jeder Hebel durch politische Massnahmen, die in den oben genannten fünf Familien gruppiert sind, bewegt werden kann.

6.2 Reduktion der Nachfrage nach Flugreisen

6.2.1 FREIWILLIGE ANSÄTZE

Nutzung sozialer Kampagnen, um das Fliegen weniger gesellschaftsfähig zu machen

Flygskam bzw. Flugscham ist ein Neologismus, der im Jahr 2019 in Schweden, einem Land der Vielflieger, an Popularität gewann. Es wird vermutet, dass die Zahl der einheimischen Passagiere im Jahr 2019 aufgrund der gesellschaftlichen Debatte über das Fliegen um 9 % zurückging, während die Zahl der internationalen Passagiere um 2 % sank (Swedavia, 2020). Diese Bewegung ist in ganz Westeuropa einflussreich geworden und beginnt, das Verhalten der Verbraucher in der gesamten Region zu beeinflussen. Zum Beispiel fliegen Akademiker weniger.

Während sich die Flugscham-Bewegung bisher organisch entwickelt hat, sind wir der Meinung, dass eine staatlich geförderte Kampagne in der Schweiz sinnvoll ist, um die Öffentlichkeit über die negativen Auswirkungen des Fliegens auf die Umwelt aufzuklären. Dies könnte dazu beitragen, das Wachstum der Flugreisenachfrage direkt zu reduzieren. Was vielleicht noch wichtiger ist: Es würde helfen, Unterstützung für andere Massnahmen zur Reduzierung der Flugreisenachfrage (z. B. eine Flugticketabgabe) oder zur Reduzierung des Angebots (z. B. ein Verbot von Kurzstreckenflügen)

²⁷ Eine Flugticketabgabe verteuert Flugreisen im Vergleich zu Alternativen, ist also eine klassische Preismassnahme. Eine Subventionierung von Hochgeschwindigkeitszügen macht Flugreisen auf den von diesen Zügen bedienten Strecken im Vergleich zur Alternative ebenfalls teurer, wird aber im Allgemeinen nicht als (direkte) Preismassnahme betrachtet und wird daher unter «andere Massnahmen» diskutiert.

aufzubauen. Dies würde insbesondere für Reisen aus persönlichen Gründen gelten, die den Grossteil der Flugreisen von Schweizer Flughäfen ausmachen. 63 % der Flugpassagiere, die vom Flughafen Zürich abflogen, gaben im Jahr 2019 «Freizeit» als Hauptreisezweck an, während 26 % «Geschäft» und weitere 11 % ein anderes Motiv angaben (Flughafen Zürich, 2020).

Eine Kampagne, die Verbraucher davon überzeugen soll, auf Kurzstrecken mit guter Bahnanbindung den Zug zu nehmen, statt zu fliegen, könnte ein guter Ausgangspunkt sein. Dies dürfte in der Bevölkerung auf Zustimmung stossen und könnte zu gegebener Zeit von Kampagnen zur Reduzierung von Langstrecken-Flugreisen gefolgt werden.

6.2.2 REGULATORISCHE MASSNAHMEN

Werbebeschränkungen

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) fordert ein vollständiges Verbot von direkter und indirekter Werbung, Förderung und Sponsoring für Tabakprodukte und argumentiert, dass ein solches Verbot «den Tabakkonsum erheblich reduzieren und die Menschen vor den Marketingtaktiken der Industrie schützen kann» (WHO, 2020). Dies zeigt, dass Werbung nicht länger als blosser Verbraucherinformation oder Mittel verwendet werden kann, um Konsumenten von einer Marke zur anderen zu locken. Vielmehr kann sie die Verbraucher dazu bringen, ein Produkt zu konsumieren oder ihren Konsum zu steigern.

Abgesehen von einem völligen Werbeverbot könnte für Flugreisewerbung gefordert werden, einen Hinweis auf die Auswirkungen von Flugreisen auf den Klimawandel anzubringen. Buchungsplattformen könnten gezwungen werden, eine Bewertung der vollen Klimawirkung (mit RFI = 3) der beworbenen Reisen anzuzeigen. Zum besseren Verständnis könnte die Klimawirkung mit den durchschnittlichen Emissionen der Schweizer Bürger und dem maximalen Pro-Kopf-Emissionsniveau, das mit den nationalen Klimazielen vereinbar ist, in Beziehung gesetzt werden.

6.2.3 MENGENMASSNAHMEN

Individuelle Flugkontingente

Die einfachste und direkteste Massnahme zur Reduzierung der Flugreisenachfrage wäre eine quantitative Beschränkung auf aggregierter Ebene und eine Aufteilung dieser Menge in Form von individuellen Quoten für den Flugverkehr. Es könnten, müssen aber nicht gleiche Quoten pro Kopf sein. Unternehmen könnten auch Quoten in Abhängigkeit von ihrer Grösse und ihren internationalen Aktivitäten zugestanden werden.

Ein Nachteil fester, einheitlicher Quoten ist, dass manche Menschen gute Gründe haben, häufig zu fliegen, man denke an hochrangige Künstler oder Sportler, aber auch an Menschen, deren Familienangehörige im Ausland leben. Erstere müssten aus der Schweiz wegziehen, wenn strenge Quoten sie daran hindern, ihr Talent auf der internationalen Bühne zu präsentieren.

Die Durchsetzung strenger Obergrenzen für das Fliegen auf individueller Ebene – typischerweise durch ein Gesetz, das beispielsweise eine maximale Anzahl von Flügen, zurückgelegten Kilometern oder erzeugten Treibhausgasemissionen festlegt – führt zu unnötigen Wohlfahrtseinbussen für die Gesellschaft. In der Summe könnte genau dasselbe ökologische Ergebnis erzielt werden, wenn man die Menschen entscheiden liesse, ob sie lieber fliegen oder dieses Recht auf einem speziellen Markt verkaufen.²⁸

Um Unterschiede in den Reisewünschen und -bedürfnissen zu berücksichtigen, sollten die Kontingente daher handelbar gemacht werden (Thalmann, 2019). Jeder Bürger würde zu Beginn des Jahres eine Quote erhalten, die es ihm erlaubt, eine vorher festgelegte Strecke pro Jahr mit dem Flugzeug zu reisen. Bürger, die mehr als ihre Quote reisen möchten, könnten einen Teil der Quote anderer Bürger kaufen, die weniger als ihre Quote fliegen. Quoten könnten auch über mehrere Jahre angespart und für einen besonderen Anlass, z. B. eine Weltreise in den Flitterwochen, verwendet werden. Jedes Jahr würden die individuellen Flugquoten in Verbindung mit anderen Massnahmen nach Bedarf reduziert, um die Emissionsziele zu erreichen. Beachten Sie jedoch, dass die Korrelation zwischen Flugstrecke und Emissionen nicht perfekt wäre, da Kurzstreckenflüge aufgrund der relativ höheren Bedeutung des Starts für den Treibstoffverbrauch mehr Emissionen pro pkm ausstossen als Langstreckenflüge.

Dieser EHS-ähnliche Mechanismus würde die Nachfrage nach Flugreisen recht effektiv eindämmen. Ausserdem würde er Bürger belohnen, die wenig oder gar nicht fliegen. Zu den weiteren Vorteilen gehört der progressive Charakter eines solchen Systems, da Personen, die dazu neigen, mehr zu fliegen, in der Regel ein hohes Einkommen haben und die Wirkung der Personen, die weniger fliegen und ein geringeres Einkommen haben, kompensieren. In der Schweiz fliegen Haushalte mit hohem Einkommen 5,7-mal mehr als Haushalte mit niedrigem Einkommen (Abbildung 7). Ausserdem ist die Höhe der Emissionen im Gegensatz zu den weiter unten diskutierten Formen der Besteuerung eindeutig im Voraus durch die Gesamtmenge der Kontingente festgelegt, was sie unabhängig von möglichen sinkenden Kerosinpreisen und anderen wirtschaftlichen Faktoren macht, die die Wirkung einer Abgabe dämpfen könnten.

Der grösste Nachteil dieser Massnahme ist die relative Schwierigkeit bei der Umsetzung (Nachverfolgung von Flügen, auch von ausländischen Flughäfen, Führung von Kontingentkonten usw.) und die offene Frage, ob und wie die Bevölkerung handeln würde. Würden nur Flüge von

²⁸ Betrachten wir ein einfaches Beispiel eines Landes mit 10 Einwohnern, in dem eine rechtlich verbindliche Obergrenze für das Fliegen auf 1000 km pro Jahr festgelegt ist. Nehmen wir an, dass drei Bürger nicht gerne fliegen, vier Bürger genau 1000 km fliegen, es ihnen aber egal ist, ob sie fliegen oder Zug fahren, und drei Bürger den starken Wunsch haben, 2000 km zu fliegen, um ihre Familien öfter zu besuchen (keine Zugverbindungen). Vor dem Hintergrund dieses Gesetzes würde die Bevölkerung 7000 km fliegen und damit unter dem Gesamthöchstwert von 10 000 km liegen. Nehmen wir nun an, dass anstelle eines Gesetzes ein Cap-and-Trade-System eingeführt wird. Um das gleiche ökologische Ergebnis zu erzielen, werden individuelle Quoten von 700 km verteilt. Derzeit ist es möglich, dass die letzte Gruppe die Rechte der ersten Gruppe (und möglicherweise sogar der zweiten Gruppe) aufkauft, um Familienbesuche durchführen zu können, während gleichzeitig die andere Gruppe (finanziell) bessergestellt wird.

Schweizer Flughäfen in die Quote einbezogen, würde dies nur einen Teil der Flugreisen der Schweizer Bevölkerung abdecken. Zudem wäre es für sie relativ einfach, diese Kontingente zu umgehen, indem man auf dem Landweg zu einem nahegelegenen Flughafen in einem anderen Land reisen und von dort aus fliegen würde.

Kein Land hat bisher individuelle Flugquoten eingeführt. Im November 2016 erwog Norwegen, für norwegische Staatsbürger eine Begrenzung auf zehn Flüge pro Jahr einzuführen, was aber nicht umgesetzt wurde. In der Schweiz schlug Nationalrat Roger Nordmann in einer Podiumsdiskussion²⁹ individuelle Flugkontingente vor, was in den Medien für einiges Aufsehen sorgte, aber keine grosse Unterstützung fand.

6.2.4 PREISSMASSNAHMEN

Vielfliegerabgabe

Eine Vielfliegerabgabe, die für jeden zusätzlichen Flug im selben Jahr progressiv ansteigen würde (Abbildung 19), könnte die Emissionen gerechter reduzieren als eine einheitliche Flugticketabgabe, da eine kleine Anzahl von Bürgern für einen unverhältnismässig hohen Anteil an Flugreisen verantwortlich ist. In der Schweiz sind 5 % der Vielflieger für rund einen Drittel der gesamten CO₂-Emissionen im Flugverkehr verantwortlich (Bosshardt et al., 2020). Ähnlich verhält es sich im Vereinigten Königreich: 15 % der Bevölkerung sind für 70 % der Flüge verantwortlich (UK Department for Transport, 2014). Daher könnte eine überproportionale Belastung von Vielfliegern gerechter sein und öffentliche Unterstützung erhalten. Idealerweise müsste eine Vielfliegerabgabe an die Fluglänge angepasst werden (oder könnte sogar nach der Gesamtflugdistanz oder den Emissionen statt nach der Anzahl der Flüge strukturiert werden), da ein zusätzlicher Interkontinentalflug wesentlich mehr Emissionen erzeugt als ein zusätzlicher Kurzstreckenflug. Dies ist das Konzept der progressiven Flugmeilenabgabe.

Wie bei jeder Ticketabgabe wäre es für in der Schweiz ansässige Personen relativ einfach, diese Abgabe zu umgehen, indem sie auf dem Landweg zu einem nahegelegenen Flughafen in einem anderen Land fahren und von dort aus fliegen. Ausserdem wäre die Umsetzung eines solchen Abgabeschemas verwaltungstechnisch aufwendig, wie es bei individuellen Flugkontingenten der Fall ist. Bislang hat noch kein Land eine Vielfliegerabgabe eingeführt, wahrscheinlich genau wegen solcher praktischen Herausforderungen.

²⁹ Schweizerische Energie-Stiftung (SES), Kongress Fossiler Ausstieg, 30. September 2019. Die «NZZ am Sonntag» nannte Roger Nordmanns Vorschlag einen «Tabubruch» (05.10.2019).

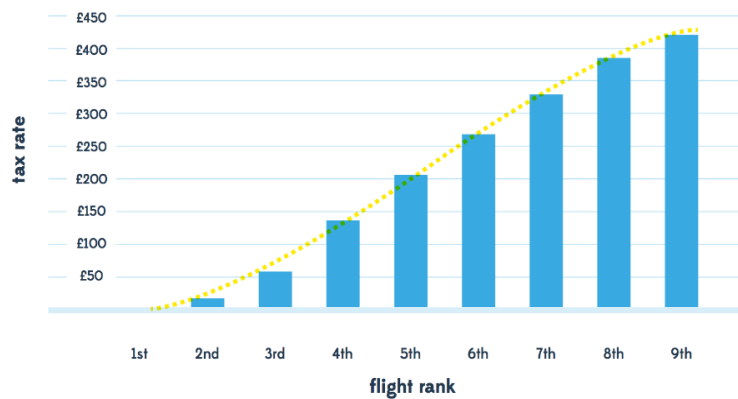


Abbildung 19: Abgabeschema für eine mögliche Vielfliegerabgabe im Vereinigten Königreich (New Economics Foundation, 2015)

6.2.5 SONSTIGE MASSNAHMEN

Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der Bahn für Kurzstreckenreisen

Hochgeschwindigkeits- und Nachtzüge sind mögliche Substitute für Kurzstreckenflüge innerhalb Europas. Während Hochgeschwindigkeitszüge tagsüber am besten für Entfernungen bis zu 1000 Kilometer geeignet sind, können Nachtzüge Entfernungen bis zu 2000 Kilometer zurücklegen. Während die Chancen gut stehen, die Substitution von Flugreisen durch Hochgeschwindigkeitszüge für Entfernungen von bis zu tausend Kilometern zu fördern, stehen Nachtzüge für sehr lange Strecken in Europa noch vor regulatorischen Herausforderungen, die ihre Einführung behindern, wie z. B. unverhältnismässig hohe Trassenpreise (DB International, 2013).

Erhebliche Investitionen in Hochgeschwindigkeitszugnetze in Frankreich, Spanien und Deutschland führten zu einem deutlichen Rückgang der Flugreisenachfrage auf den betreffenden Strecken. Die Strecke Paris-Strassburg verzeichnete einen Rückgang der Flugreisenachfrage um mehr als 80 %, die Strecke Paris-London um fast 60 % und die Strecke Madrid-Barcelona um mehr als 20 % (Abbildung 20).

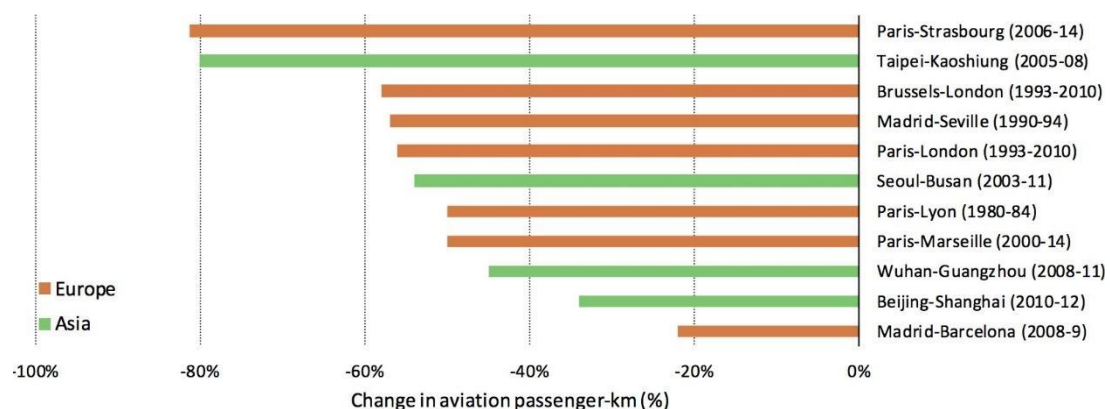


Abbildung 20: Durchschnittliche Veränderung des Passagieraufkommens auf ausgewählten Flugstrecken nach Einführung des Hochgeschwindigkeitsverkehrs (IEA, 2019c)

Dies deutet darauf hin, dass die Verbraucher dort, wo es schnelle, bequeme und erschwingliche Hochgeschwindigkeitszug-Alternativen gibt, wahrscheinlich von Flugreisen auf die Bahn umsteigen, da die Bahn Vorteile wie die zentralere Lage der Bahnhöfe im Vergleich zu Flughäfen und den Komfort des schnelleren Einsteigens und mehr Platz an Bord bietet. Die Regierung kann dies erleichtern, indem sie sicherstellt, dass die Fahrpläne auf den bestehenden Hochgeschwindigkeitsstrecken bequem sind und dass genügend Kapazitäten vorhanden sind, um Passagiere abzufertigen, die vom Flugzeug auf die Bahn umsteigen wollen. Dies kann gezielte Subventionen oder Abgabe- und Gebührensenkungen erfordern, um es den Bahnbetreibern zu ermöglichen, die Servicefrequenz auf einigen Strecken zu erhöhen. Regierungen könnten auch Investitionen in neue Hochgeschwindigkeitsstrecken unterstützen, wenn diese ein gutes Potenzial bieten, Flugreisenden anzuziehen.

Die Verfügbarkeit von Nachtzugverbindungen in Europa ist vor allem aufgrund des intensiven Wettbewerbs durch Billigfluglinien, die schnellere, billigere und komfortablere Verbindungen anbieten, in den letzten zehn Jahren deutlich zurückgegangen. Untersuchungen, die 2017 für das Europäische Parlament durchgeführt wurden, legen nahe, dass dies auch weiterhin der Fall sein wird (Directorate-General for Internal Policies, 2017). Zwar gibt es einige Belege dafür, dass umweltbewusste Freizeitreisende bereit sind, Nachtzüge zu nutzen, auch wenn diese weniger komfortabel und teurer als Flugreisen sind (Kantelaar, 2019), ist dies wahrscheinlich nicht ausreichend, um Nachtzüge in Europa wettbewerbsfähig und rentabel zu machen. Nachtzugdienste, die weiterhin in Betrieb sind (wie z. B. das österreichische ÖBB-Nightjet-Netz), profitieren von der Tatsache, dass viele der Städte, die sie bedienen, über Flugverbindungen verfügen, die unregelmässig oder unkomfortabel sind. Ein weiterer Faktor, der sich auf die Rentabilität von Nachtzügen im Personenverkehr auswirkt, ist die höhere Priorität, die Güterzüge im Allgemeinen während der Nacht auf der Schieneninfrastruktur erhalten (DB International, 2013), was sich auf die Geschwindigkeit und Qualität des Personenverkehrs auswirkt. Schliesslich sollte der Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammen, damit das Reisen mit der Bahn aus Klimasicht eine gesicherte Verbesserung darstellt.

Die Regierung könnte auch die Bahn subventionieren, um die Fahrpreise zu senken und so die Attraktivität der Bahn gegenüber dem Flugzeug zu erhöhen. Obwohl das Reisen an sich in einer Marktwirtschaft nicht subventioniert werden sollte, können ausgleichende Subventionen für «saubere» Alternativen gerechtfertigt sein, wenn die «schmutzige» Alternative nicht alle ihre externen Kosten decken kann, um das «Spielfeld» zu ebnen.

6.3 Reduktion des Flugreiseangebots

Die Zahl der Flugreisenden und die von ihnen zurückgelegten Entfernungen hängen nicht allein von der Nachfrage, sondern auch vom Angebot ab. Politische Massnahmen, die darauf abzielen, das von den Fluggesellschaften angebotene Preis-Leistungs-Paket weniger attraktiv zu machen, können ebenfalls dazu beitragen, die mit dem Flugzeug zurückgelegten Passagierkilometer zu reduzieren.

6.3.1 FREIWILLIGE ANSÄTZE

Fluggesellschaften und Flughäfen können ihre Kapazitäten aus einer Vielzahl von Gründen reduzieren. KLM führte Umweltgründe ins Feld, als das Unternehmen im Oktober 2019 seinen Plan ankündigte, einen täglichen Anschlussflug von Brüssel nach Schiphol durch reservierte Sitzplatzkapazitäten an Bord eines Thalys-Hochgeschwindigkeitszugs zu ersetzen, der die beiden Ziele verbindet (KLM Newsroom, 2019). KLM räumte jedoch ein, dass dadurch auch ein Slot in Schiphol frei würde, den das Unternehmen mit einem Langstreckenflug rentabler nutzen kann.

6.3.2 REGULATORISCHE MASSNAHMEN

Begrenzung oder Verbot von Kurzstreckenflügen auf Strecken, für die es gute Alternativen gibt

Wie in Abschnitt 6.2.5 erörtert, verdrängen Bahndienste im Allgemeinen den Flugverkehr auf Strecken, auf denen sie hinsichtlich Geschwindigkeit, Komfort und Preis wettbewerbsfähig sind. Der Preis ist ein Thema, da die Bahn oft teurer ist als der Flugverkehr. Anstatt dies durch Subventionen für die Bahn und Abgaben auf Flugreisen zu korrigieren, könnte eine Begrenzung oder ein Verbot des gesamten Angebots auf Strecken, auf denen es gute Alternativen am Boden gibt, in Betracht gezogen werden. Dafür scheint es in der Bevölkerung eine gewisse Unterstützung zu geben. Eine von der Europäischen Investitionsbank im Oktober 2019 durchgeführte Umfrage in der gesamten Europäischen Union ergab, dass 62 % der Befragten ein Verbot von Kurzstreckenflügen befürworten. Zu beachten ist jedoch, dass im Falle eines grossen Preisunterschieds zwischen Luft- und Bodentransport ein Verbot bei Reisenden unpopulär wäre.

Mehrere Länder in Europa haben es in Erwägung gezogen, allerdings hat bisher noch keines ein Verbot ausgesprochen. In Frankreich stimmte die Nationalversammlung am 10. April 2021 dafür, Inlandsflüge zu verbieten, die durch eine Zugfahrt von weniger als zweieinhalb Stunden ersetzt werden können. Die Massnahme muss vom Senat genehmigt werden, bevor sie Gesetz wird. Sie war bereits Bedingung für die staatliche Rettungsaktion für Air France im April 2020. Dieses Verbot betrifft nur einen sehr kleinen Teil der Inlandsstrecken in Frankreich, möglicherweise nur fünf.³⁰

³⁰ Der Bürgerkonvent für Klima hatte ein Verbot für alle Strecken gefordert, die durch eine Zugfahrt von weniger als 4 Stunden ersetzt werden können.

Im Januar 2020 sagte Barcelonas Bürgermeisterin, dass sie den Flughafen auffordern werde, alle Flüge in spanische Städte, die von der Hochgeschwindigkeitsbahn bedient werden, einzustellen.

6.3.3 MENGENMASSNAHMEN

Begrenzung der Flughafenkapazität durch eine Obergrenze für Slot-Zuweisungen

Eine weitere Massnahme, um das Wachstum des Luftverkehrs zu begrenzen, wäre, die Schweizer Flughäfen nicht weiter auszubauen. Dies analog zum Fall des Flughafens Heathrow, wo ein Urteil des britischen Berufungsgerichts im Februar 2020 den geplanten Bau einer dritten Startbahn wegen der Auswirkungen auf den Kohlenstoffausstoss unterbunden hat.

Zusätzlich zu einem Moratorium für die Erweiterung von Start- und Landebahnen und Passagierterminals könnte die Slotvergabe überarbeitet werden. Die Zahl der verfügbaren Slots könnte versteigert und schrittweise reduziert werden. Derzeit werden die Slots am Schweizer Flughafen nach der «Use-it-or-lose-it»-Regel kostenlos zugeteilt. Diese Regel kann einen perversen Anreiz schaffen, Flüge auch bei geringer Passagierauslastung durchzuführen, um den Slot nicht zu verlieren. Die Einnahmen aus den Versteigerungen könnten in den neuen Klimafonds fliessen, der für CO₂-Kompensationsprojekte oder zur Förderung synthetischer Treibstoffe eingesetzt werden soll.

Stark eingeschränkte Zeitnischen könnten jedoch Anreize für Fluggesellschaften schaffen, Flugzeuge mit grösserer Passagierkapazität einzusetzen, was die absoluten Emissionen kaum reduzieren würde. Am Flughafen Genf, der nur über eine Start- und Landebahn verfügt, stieg beispielsweise die Zahl der Linien- und Charterflugbewegungen 124 040 im Jahr 2009 um 16 % von auf 143 970 im Jahr 2019 (Genève Aéroport, 2020). Im gleichen Zeitraum stieg die Zahl der Passagiere von 11,2 Millionen um 59 % auf 17,8 Millionen. Grund dafür ist der Einsatz grösserer Flugzeuge, wodurch die durchschnittliche Anzahl der Passagiere pro Flugbewegung von 91 im Jahr 2009 auf 124 im Jahr 2019 anstieg.

Der Flughafen Genf rechnet mit einem Anstieg der Passagierzahlen auf 25 Millionen im Jahr 2030 und baut einen neuen Ostflügel, um eine solche Expansion zu ermöglichen. Er erwägt auch, sein Hauptterminal in den nächsten zehn Jahren durch ein viel grösseres Terminal zu ersetzen, um einen weiteren Anstieg der Passagierzahlen zu bewältigen. Um einen erneuten Anstieg der Emissionen zu vermeiden, wenn die Fluggesellschaften beginnen, grössere Flugzeuge einzusetzen, könnten die Mechanismen für die Zuweisung von Zeitnischen mit spezifischen Mindestanforderungen an die Treibstoffeffizienz für die in Frage kommenden Flugzeugtypen gekoppelt werden. Elektrische, hybrid-elektrische oder andere kohlenstoffarme Flugzeugtypen könnten bevorzugt behandelt werden.

6.3.4 PREISSMASSNAHMEN

Ausweitung der Mehrwertsteuer auf den internationalen Flugverkehr

Wie bei jedem Verkehrsträger wird auch bei Inlandsflügen Mehrwertsteuer (MwSt.) erhoben. Flüge zu einem ausländischen Zielort sind davon befreit, ebenso wie Waren und Dienstleistungen, die an Unternehmen verkauft werden, die mehrheitlich internationale Flüge durchführen. Das Argument, das dieser Abgabebefreiung zugrunde liegt, ist das gleiche wie bei jeder anderen Ware oder Dienstleistung: Der Verbraucher sollte die Mehrwertsteuer des Ortes tragen, an dem er sie verbraucht. Demzufolge wird die Mehrwertsteuer auf importierte Waren und Dienstleistungen erhoben. Dies gilt jedoch nicht für ankommende Flüge.

Der internationale Luftverkehr ist in Europa vollständig von der Mehrwertsteuer befreit. Die Europäische Kommission hat wiederholt erwogen, dies zu ändern, zumal der internationale Schienenverkehr der Mehrwertsteuer unterliegt, was den Markt zugunsten des Luftverkehrs verzerrt. Beim Bodentransport wird der lokal geltende Mehrwertsteuersatz auf jeden Abschnitt der internationalen Reise angewendet, eine komplizierte Lösung, die für den Luftverkehr kaum anwendbar wäre. Daher der Vorschlag, die lokale Mehrwertsteuer auf den gesamten Ticketpreis am Abflugort zu erheben. Da der Schweizer Mehrwertsteuersatz deutlich unter den Sätzen in den europäischen Ländern liegt, würde diese Regelung, sollte sie europaweit übernommen werden, die Schweizer Flughäfen begünstigen.

Einführung einer Treibstoffabgabe für Fluggesellschaften

Eine Abgabe auf alle Flugtreibstoffe wäre eine besonders effektive und effiziente Massnahme zur Emissionsminderung. Eine Analyse des FÖS in Deutschland ergab, dass die Treibstoffsteuerbefreiung von Kerosin die klimaschädlichste Subvention ist (FÖS, 2020). Eine Treibstoffabgabe wäre für alle Arten des Luftverkehrs (Fracht-, Passagier- und Privatflugverkehr) leicht zu verabschieden. Sie wäre ein starker Anreiz für Fluggesellschaften, die Treibstoffeffizienz zu verbessern, da die Treibstoffkosten typischerweise 20–25 % der gesamten Betriebskosten einer Fluggesellschaft ausmachen, und das ohne den Rebound-Effekt, den frühere Effizienzverbesserungen bewirkten.³¹ Eine Treibstoffabgabe würde die Wettbewerbsfähigkeit von Alternativen wie dem Bahnverkehr erhöhen. Würde sich die Abgabe auf den Kohlenstoffgehalt von Düsentreibstoffen beziehen, würde sie zu einer CO₂-Abgabe werden.

³¹ Ein direkter Rebound-Effekt tritt auf, wenn die reduzierten Kosten für die Nutzung eines treibstoffeffizienteren Geräts oder Fahrzeugs zu dessen verstärkter Nutzung führen, wodurch ein Teil der potenziellen Energieeinsparung und Emissionsreduzierung kompensiert wird. Miyoshi und Fukui (2018) schätzten beispielsweise einen langfristigen direkten Rebound-Effekt von 19 % für europäische Fluggesellschaften im Zeitraum von 2000 bis 2013. Geringere Treibstoffkosten setzen auch Einkommen frei, das die Nutzer des Geräts oder Fahrzeugs in andere Ausgaben investieren, wodurch möglicherweise mehr Energie verbraucht wird und mehr Emissionen verursacht werden. Dies ist der indirekte Rebound-Effekt, der zum direkten Effekt hinzukommt und im schlimmsten Fall die potenzielle Energie- oder Emissionseinsparung mehr als ausgleichen kann.

Für Inlandsflüge gibt es in der Schweiz bereits eine Treibstoffabgabe. Die Mineralölsteuer wird auf Treibstoffe erhoben, und zwar in Höhe von 0,74 CHF pro Liter Flugkerosin und 0,70 CHF pro Liter auf Flugbenzin (EZV, 2020).

Internationale Flüge sind mit Verweis auf das Abkommen über die internationale Zivilluftfahrt von der Mineralölsteuer befreit. Dieses Abkommen, auch Chicagoer Abkommen genannt, wurde 1944 mit dem Ziel unterzeichnet, die internationale Luftfahrt zu fördern. In einer Antwort der Schweizer Regierung auf die Forderung von Nationalratsmitgliedern, eine Flugbenzinsteuern einzuführen, werden das Chicagoer Abkommen sowie die vom ICAO-Rat beschlossenen politischen Grundsätze als Hauptgründe für die Beibehaltung der Treibstoffsteuerbefreiung genannt (Schneider Schüttel, 2019). Es gibt jedoch juristische Debatten über diese Auslegung. Die Europäische Umwelt-NGO Transport & Environment argumentiert, dass «es ein Missverständnis ist, dass das Chicagoer Abkommen die Besteuerung von Flugtreibstoff verbietet; es verbietet nur die Besteuerung von Treibstoff, der sich bereits an Bord eines ankommenden Flugzeugs befindet, aber es sagt nichts über die Besteuerung von Treibstoff, der vor dem Abflug an Bord genommen wird» (Transport & Environment, 2019). Die NGO argumentiert, dass es eher zwischenstaatliche Luftverkehrsabkommen sind, die die Besteuerung von Kerosin verbieten, und nicht das Chicagoer Abkommen. Dieser Auslegung folgend könnten Länder beginnen, Flugbenzin bilateral zu besteuern. Folglich könnte die Schweiz internationale Partner für die Zusammenarbeit suchen und eine «Koalition der Willigen» zur Einführung einer Flugbenzinsteuern gründen.

Würde die Schweiz einseitig handeln, würden die Fluggesellschaften zumindest teilweise dazu übergehen, bei internationalen Flügen möglichst an ausländischen Flughäfen zu tanken. Der Anreiz würde in diesen Fällen verloren gehen und das höhere Gewicht der Flugzeuge würde sogar zu etwas höheren Emissionen führen. Auch dies ist eine Massnahme, die deutlich effektiver wäre, wenn sie von vielen Ländern koordiniert umgesetzt würde.

6.4 Passagierauslastung verbessern

Die Emissionen pro Passagier wären geringer, wenn weniger Flugzeuge eingesetzt würden, um eine bestimmte Anzahl von Passagieren zu befördern, d. h., wenn die durchschnittliche Auslastung höher wäre. Natürlich bedeutet dies nicht, mehr Passagiere anzuziehen, um die Flugzeuge zu füllen, sondern vielmehr, die Passagiere besser in Flüge zu gruppieren und die Sitzkonfigurationen der Flugzeuge anzupassen, die mehr Passagiere aufnehmen können.

6.4.1 REGULATORISCHE MASSNAHMEN

Einschränkung von Business und First Class

In unseren Simulationen beträgt die CO₂-Bilanz eines Business-Klasse-Passagiers auf Kurzstreckenflügen das 1,5-fache eines Economy-Klasse-Passagiers, für Langstreckenflüge gehen

wir von einem Faktor von 3,06 aus, dem Durchschnitt von Business und First Class. Einem Bericht der Weltbank zufolge könnte die CO₂-Bilanz von Business- und First-Klasse-Passagieren sogar das Dreifache bzw. Neunfache der die CO₂-Bilanz von Economy-Class-Passagieren betragen (Bofinger und Strand, 2013). In jedem Fall würde etwa ein Verbot der Premium-Klassen die CO₂-Bilanz pro Passagier bei diesen Flügen verringern.

In der Praxis dürfte dies jedoch nur sehr schwer umsetzbar sein. Diese Sitze sind für die Fluggesellschaften besonders rentabel. Ausserdem geht der überwiegende Teil des Passagierverkehrs ab Genf und Zürich zu internationalen Zielen. Zum Beispiel machen Flüge nach Zürich weniger als 4 % des gesamten Passagieraufkommens ab Genf aus. Um ein Verbot durchsetzen zu können, müsste die Schweizer Regierung die Zustimmung der Europäischen Union einholen. Diese Option wurde bisher von keiner EU-Regierung diskutiert oder vorgeschlagen, daher ist dies kurz- oder mittelfristig sehr unwahrscheinlich.

«Stehplätze» auf Kurzstreckenflügen

Stehsitze sind nun schon seit einiger Zeit in den Nachrichten. Im Jahr 2010 kam ein italienischer Sitzhersteller, Aviointeriors, mit einem Design heraus und Michael O'Leary, der CEO von Ryanair, kündigte an, dass die Fluggesellschaft erwäge, diese auf ihren Flügen einzuführen. Das Design wurde jedoch von der US Federal Aviation Administration nicht genehmigt. Im Jahr 2018 schlug Aviointeriors ein neues Design vor, sah sich aber mit mangelndem Interesse der Fluggesellschaften konfrontiert. Angesichts der fehlenden Marktchancen und der Schwierigkeiten bei der Zulassung eines Stehsitzes ist es unwahrscheinlich, dass dieser kurz- bis mittelfristig Realität wird.

Erhöhte Abgaben bei tiefer Auslastung

Die Auslastung ist weltweit von 75 % im Jahr 2005 auf 82 % im Jahr 2019 gestiegen (IATA). Die Fluggesellschaften sind offensichtlich daran interessiert, die Auslastung zu erhöhen. Wir können darauf vertrauen, dass sie innerhalb ihrer eigenen strategischen Parameter optimieren. Nichtsdestotrotz könnte die Einführung von progressiven Abgaben nach der Auslastung weitere Anreize für die Fluggesellschaften schaffen, die die Auslastung verbessern würden.

Derzeit vermeiden es die Fluggesellschaften zum Beispiel, Passagiere auf eine andere Fluggesellschaft umzubuchen. Bei ausreichendem finanziellem Anreiz würden die Fluggesellschaften ihre Vereinbarungen über den Transfer von Passagieren mit anderen Fluggesellschaften, die dieselbe Strecke fliegen, erhöhen und ausweiten.

6.5 Reduktion der Auswirkung von Flügen auf die globale Erwärmung

Die Auswirkungen einer bestimmten Anzahl von Flugbewegungen auf die globale Erwärmung können reduziert werden, wenn i) Flugzeuge weniger Energie verbrauchen und ii) sie Energie verwenden, die eine geringere Klimawirkung hat. Die erste Option läuft darauf hinaus, die

Treibstoffeffizienz von Flugzeugen zu erhöhen. Dies hat bereits stattgefunden (vgl. Abschnitt 2.5), aber nicht in ausreichendem Masse, um die Zunahme des Flugverkehrs auszugleichen. Ein Teil dieses Anstiegs ist nämlich auf die durch die Treibstoffeffizienzgewinne erzielten Kosteneinsparungen zurückzuführen (Rebound-Effekt, vgl. Abschnitt 6.3.4). Daher soll hier der Schwerpunkt auf der zweiten Option liegen, nämlich auf Energieträgern mit einer geringeren Gesamtklimabelastung als herkömmliches Kerosin.³²

Ein wesentliches Hindernis in dieser Hinsicht ist, dass Düsentriebwerke und Luftfahrtinfrastruktur bisher auf der Grundlage von erdölbasiertem Treibstoff entwickelt wurden, was zu einem technologischen Lock-in führt. Darüber hinaus ist konventionelles Kerosin nicht nur ein Mittel zur Energiespeicherung, sondern hat auch eine Reihe von physikalischen Eigenschaften, die aus Sicherheitsgründen streng reguliert sind und nicht immer einfach nachgebildet werden können (Hileman und Stratton, 2014). Die Überwindung dieses Lock-in wäre teuer und zeitaufwändig, selbst wenn eine solche saubere Technologie leicht verfügbar wäre (was derzeit nicht der Fall ist).³³ Daher stellen nur «Drop-in»-Treibstoffe mittelfristig einen realistischen Weg für die Luftfahrt dar. Solche Treibstoffe sind so definiert, dass sie mit den derzeitigen Flugzeugen, der Infrastruktur und den Treibstoffverteilnetzen vollständig kompatibel sind. Trotz dieser Barriere diskutieren wir auch, ob elektrische Flugzeuge eine mögliche langfristige Lösung darstellen.

Die wichtigsten kohlenstoffarmen Energieträger, die wir in Betracht ziehen, sind:

1. Drop-in-Agrotreibstoffe:³⁴ Treibstoffe auf Basis von Produkten oder Abfällen aus der Land- oder Forstwirtschaft
2. Synthetische Drop-in-Treibstoffe: Treibstoffe, die aus Strom, Wasser und Kohlendioxid hergestellt werden
3. Erneuerbarer Strom für Elektroflugzeuge

Von den ersten beiden Optionen scheinen Agrotreibstoffe kurzfristig vielversprechender zu sein, vor allem aufgrund ihrer relativ geringeren Kosten, während synthetische Treibstoffe langfristig

³² Die beiden Optionen sind nicht unabhängig voneinander. Alternative Treibstoffe können bedeuten, dass mehr Primärenergie für die gleiche Transportleistung eingesetzt wird.

³³ Im Jahr 2018 bestand die weltweite Verkehrsflotte aus 23 100 Flugzeugen, die bei einer niedrigeren Schätzung von 80 Mio. USD pro Stück, d. h. dem Durchschnittspreis des günstigsten Verkehrsflugzeugs von Airbus - im Vergleich dazu kostet ein A380 445 Mio. USD (Airbus, 2018) - und bei einer Auslieferungsrate von 1600 Flugzeugen pro Jahr (Boeing, 2019) eine Investition von mehr als 1,8 Mrd. USD und über 14 Jahre hinweg erfordern würden, um ersetzt zu werden, wobei Infrastrukturkosten und Sicherheitsfragen nicht berücksichtigt werden. Die weltweite Flotte dürfte zwar erheblich wachsen, aber auch die Auslieferungsrate im Laufe der Jahre sind gestiegen. Daher dürfte diese Grössenordnung unabhängig vom Bezugsjahr repräsentativ sein. Auch wenn die offiziellen Preisangaben nicht unbedingt repräsentativ für die tatsächlichen Geschäfte zwischen Fluggesellschaften und Herstellern sind, die grösstenteils auf Leasingverträgen beruhen, bleibt die Zahl dennoch interessant.

³⁴ Agrotreibstoffe werden immer noch häufig als «Biotreibstoffe» bezeichnet, um zu suggerieren, dass sie natürlicher und nachhaltiger sind, als es tatsächlich der Fall ist.

mehr Potenzial haben, vor allem weil sie weniger Hindernisse in Bezug auf die Verfügbarkeit von Rohstoffen haben (Scheelhaase et al., 2019; The Royal Society, 2019). Es ist zu beachten, dass das Potenzial zur Verringerung der Treibhausgasemissionen durch Agrotreibstoffe und synthetische Treibstoffe aus ihrer Produktion und möglicherweise ihrem Transport stammt, nicht aus ihrer Verbrennung. Nichtsdestotrotz können solche Treibstoffe aus der Lebenszyklusperspektive³⁵ die Klimaauswirkungen des Fliegens laut ATAG (2020) um bis zu 80 % reduzieren. Bedenken beziehen sich auf die Skalierbarkeit und die Kosten dieser neuartigen Kerosinarten, die ausreichende Verfügbarkeit von sauberem Strom, die Energieeffizienz der beteiligten Prozesse, den Wasserverbrauch sowie die Konkurrenz um Ressourcen mit anderen Sektoren.

Agrotreibstoffe können ab Ende der 2020er-Jahre fossile Flugzeugtreibstoffe in signifikantem Umfang zu ersetzen und synthetische Treibstoffe nach 2030. Interessanterweise setzte die Internationale Energieagentur (IEA) bis zum World Energy Outlook 2020 im Wesentlichen auf die Substitution von Treibstoffen und zusätzliche technologische Verbesserungen, um die Luftfahrt auf einen nachhaltigen Entwicklungspfad zu führen. Jetzt erkennt sie an, dass auch Verhaltensänderungen erforderlich sind. Ihr neues Szenario «Net Zero Emissions» sieht eine 50-prozentige Reduzierung der CO₂-Emissionen des Luftverkehrs durch technologische Verbesserungen vor, und das bei einer nur 12-prozentigen Reduzierung der Flugzahlen (Abbildung 21).

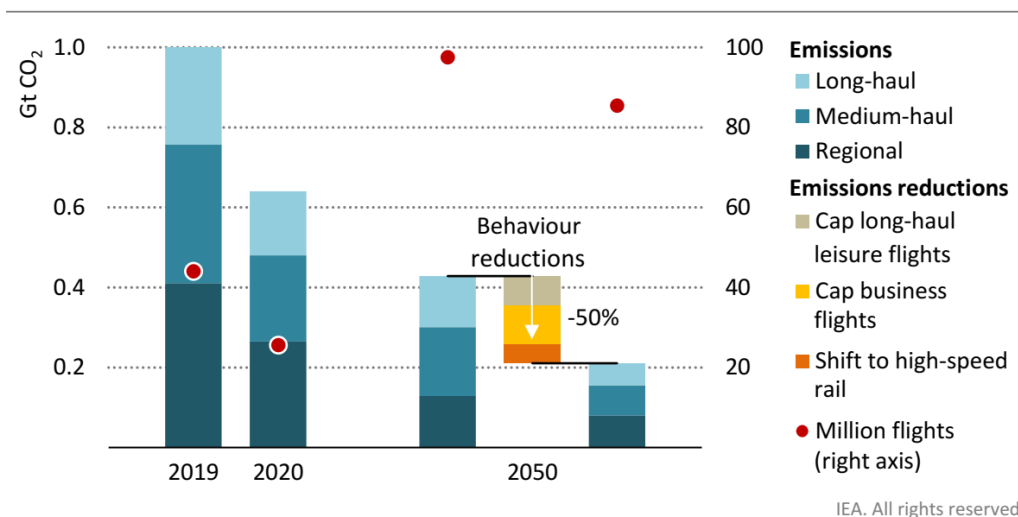


Abbildung 21: Globale CO₂-Emissionen im Luftverkehr nach Vermeidungsmassnahmen im Net Zero Emissions-Szenario im Vergleich zum Stated-Policies-Szenario (IEA, 2021)

Es muss unbedingt sichergestellt werden, dass die verwendeten Agrotreibstoffe über ihren Lebenszyklus hinweg tatsächlich kohlenstoffarm und nachhaltig sind, insbesondere im Hinblick auf die Erhaltung der Wälder und der Biodiversität. Solche Treibstoffe werden üblicherweise als

³⁵ Was in der Tat die richtige Massnahme für die Klimapolitik ist.

«fortschrittliche Biotreibstoffe» oder «Sustainable Aviation Fuel (SAF)» bezeichnet. Jede Strategie, die die Einführung von Agrotreibstoffen fördert, muss eine strenge Zertifizierung verlangen, um eine niedrige Kohlenstoffintensität und hohe Nachhaltigkeit zu gewährleisten. Das weltweite Potenzial solcher Agrotreibstoffe, die idealerweise aus organischen Abfällen hergestellt werden, ist jedoch begrenzt.

Synthetisches Kerosin, auch Elektrotreibstoff genannt, ist längerfristig eine vielversprechendere Alternative. Um solche Treibstoffe zu gewinnen, wird Strom zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff verwendet. Zusammen mit dem aus der Atmosphäre gesammelten Kohlendioxid (oder einer anderen Kohlenstoffquelle) wird der Wasserstoff zu Synthesegas und später in einem Fischer-Tropsch-Prozess zu Kohlenwasserstoff-Treibstoffen wie Düsentreibstoff umgewandelt. Bei der Verbrennung dieser synthetischen Treibstoffe würde nur so viel CO₂ emittiert, wie zu ihrer Herstellung der Atmosphäre entnommen wurde (Abbildung 22). Es bliebe jedoch die Klimawirkung von Nicht-CO₂-Emissionen wie Wasserdampf in grossen Höhen. Dies sowie die technologische und wirtschaftliche Skalierbarkeit werden als grosse Herausforderungen für synthetische Treibstoffe beschrieben (Jönsson et al., 2019).

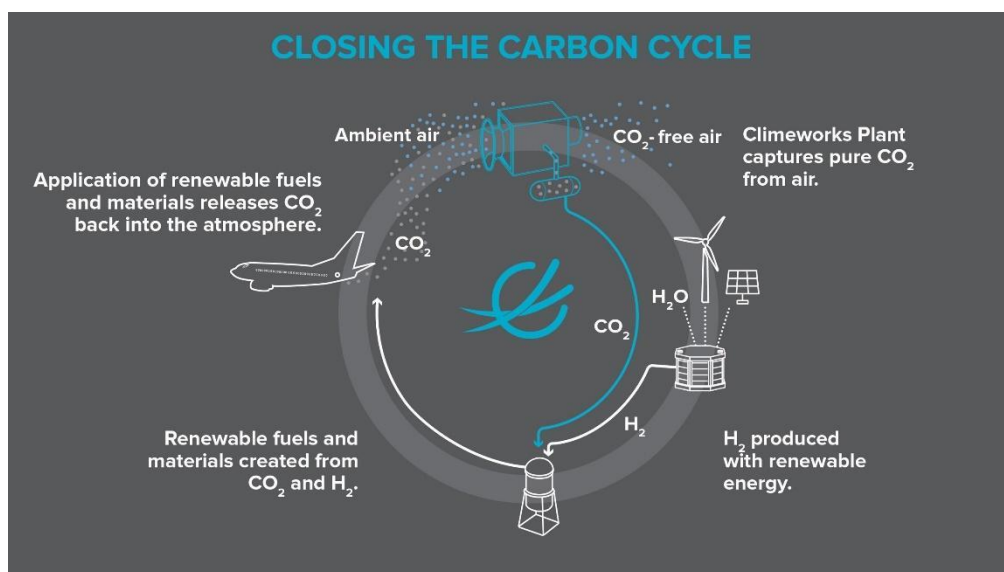


Abbildung 22: Idealisierter geschlossener Kreislauf für die Produktion von synthetischem Kerosin (Climeworks, 2019)

Natürlich ist eine Bedingung dafür, dass synthetische Treibstoffe kohlenstoffarm sein können, dass der Strom, der zu ihrer Herstellung verwendet wird, aus erneuerbaren oder kohlenstoffarmen Energien stammt, die nicht durch eine kohlenstoffreiche Erzeugung für den restlichen Strombedarf ersetzt werden. Alternativ könnte die überschüssige Stromerzeugung aus neuen erneuerbaren Energien für die Produktion von synthetischen Treibstoffen genutzt werden. Wie bei den Agrotreibstoffen muss jede politische Massnahme, die synthetische Treibstoffe fördert, von wirksamen Zertifizierungsmechanismen begleitet werden, um die Nachhaltigkeit zu garantieren. Zu den vielversprechenden Projekten gehört die Partnerschaft zwischen Climeworks und

Synhelion, zweier Spin-offs der ETH Zürich, die das Interesse der Lufthansa Group geweckt hat (Lufthansa Group, 2020).

Die Kosten für synthetische Flüssigtreibstoffe werden für das Jahr 2022 auf etwa 0,18 EUR pro kWh geschätzt, wenn sie mit Strom aus Photovoltaik und Onshore-Wind erzeugt werden, während sie bei der Erzeugung mit Offshore-Wind in Europa 0,24 EUR pro kWh betragen (Agora Energiewende, 2017). Dies entspricht dem 3,6- bzw. 4,8-fachen des Preises von fossilem Benzin. Bei weiter sinkenden Kosten für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien könnten die Kosten jedoch bis 2050 auf 0,13 EUR bzw. 0,11 EUR pro kWh sinken, was nur noch dem 2,6- bzw. 2,2-fachen des Preises von fossilem Benzin entspräche (Abbildung 23).

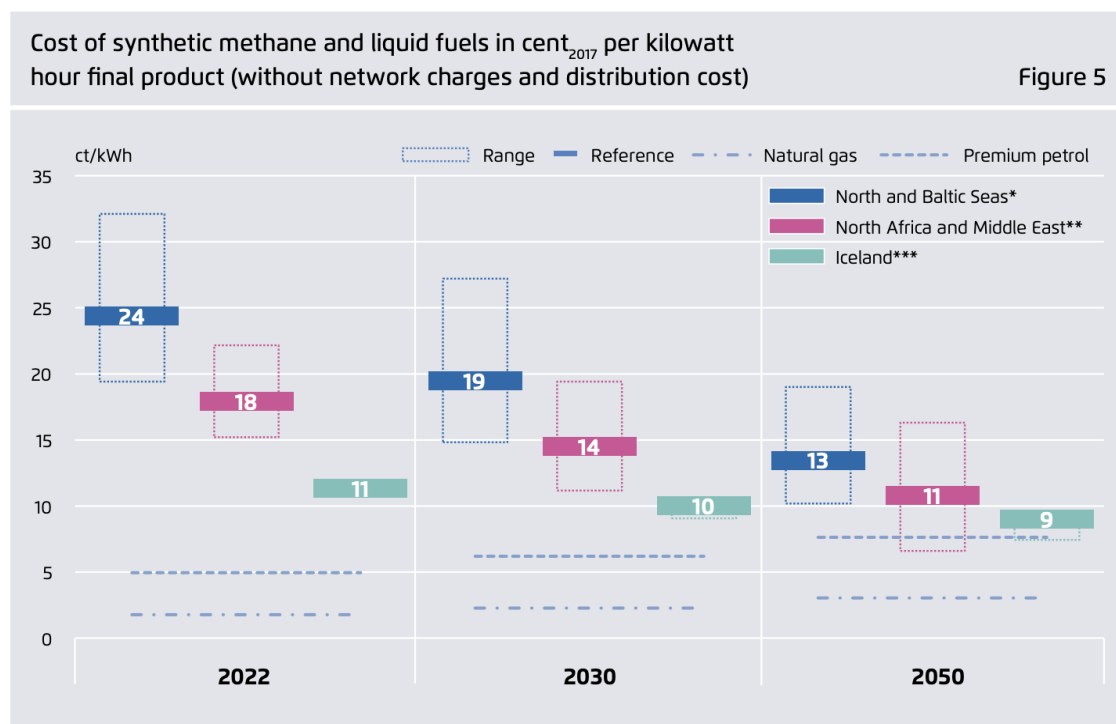


Abbildung 23: Produktionskostenprognosen für synthetische Treibstoffe aus erneuerbarem Strom für 2022, 2030 und 2050 (Agora Energiewende, 2017)

Obwohl technisch machbar, sind grosse Mengen an erneuerbar erzeugtem Strom sowie Wasser erforderlich, wenn der gesamte Luftfahrtsektor vollständig mit synthetischen Treibstoffen betrieben werden soll. Für die Europäische Union würde dies bedeuten, dass fast die gesamte erneuerbare Stromerzeugung der EU im Jahr 2015 nur für die Produktion synthetischer Treibstoffe verwendet werden müsste (Abbildung 24). Folglich müsste jede Klimapolitik, die auf synthetische Treibstoffe setzt, von einem starken Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung begleitet werden.

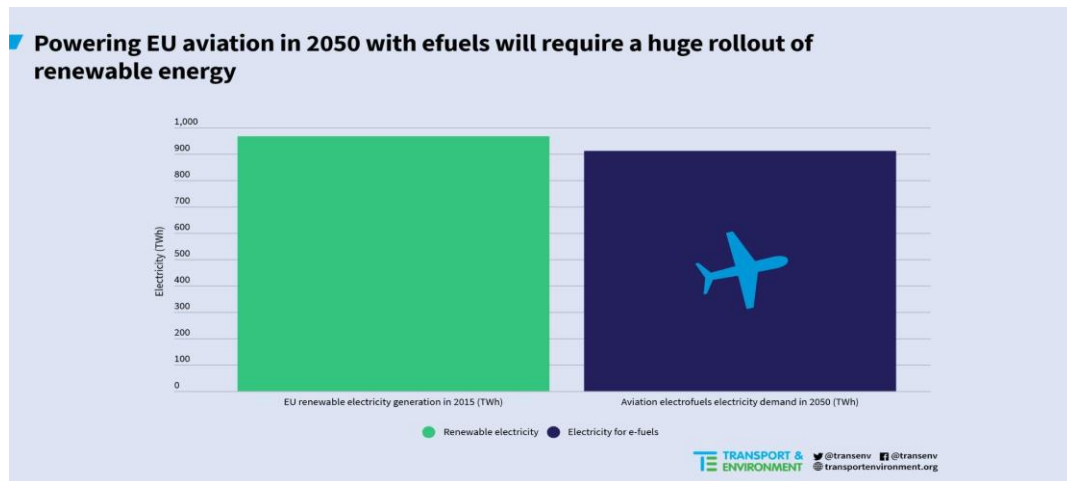


Abbildung 24: Menge an erneuerbarem Strom, die für die Herstellung synthetischer Treibstoffe für den europäischen Flugverkehr benötigt wird (Transport & Environment, 2020)

Dennoch ist das weltweite Potenzial für synthetische Treibstoffe, die mit erneuerbaren Energien hergestellt werden, im Gegensatz zu nachhaltigen Agrotreibstoffen enorm.

Schätzungen zufolge befanden sich 2019 weltweit etwa 215 elektrisch angetriebene Flugzeuge in der Entwicklung (Roland Berger, 2020). Für grosse Verkehrsflugzeuge werden jedoch hauptsächlich Hybridantriebe in Betracht gezogen. Tatsächlich sieht sich der vollelektrische Antrieb in der kommerziellen Luftfahrt sowohl technologischen als auch physikalischen Hindernissen gegenüber. Zunächst einmal ist der Energiegehalt von flüssigen Düsentreibstoffen in Bezug auf die Masse mindestens um den Faktor 45 und in Bezug auf das Volumen mindestens um den Faktor 14 höher als der von Lithium-Ionen-Batterien.³⁶ Beim gegenwärtigen Stand der Technik ist man sich einig, dass ein Flugzeug, das einen Standard-Verkehrsflug in Bezug auf die zurückgelegte Strecke und die beförderten Passagiere durchführen soll, einfach zu schwer wäre, um abzuheben. Dennoch plant zum Beispiel EasyJet dank einer Partnerschaft mit Wright Electric, vollelektrische Flüge anzubieten. Das Elektroflugzeug soll Entfernungen von bis zu 500 km zurücklegen, wird aber nicht vor 2030 kommerziell geflogen werden (Engineering & Technology, 2020), ein «sehr ehrgeiziger» Zeitplan, wie einige Experten meinen (BBC, 2020). Es ist jedoch unwahrscheinlich, dass Langstreckenflüge, die für den Grossteil der Emissionen verantwortlich sind, in absehbarer Zeit auf elektrische Antriebe setzen werden. Auch Sicherheitsbedenken müssen angesichts der Brandgefahr, die mit Lithium-Ionen-Batterien verbunden ist, berücksichtigt werden (Clean Energy Institute, 2020). Darüber hinaus ist wie bei Zügen zu beachten, dass elektrische oder Hybridflugzeuge nur dann sinnvoll sind, wenn der eingesetzte Strom aus sauberen Energiequellen stammt. Schliesslich

³⁶ Die spezifische Energie (d. h. ausgedrückt in Masse) von Kerosin beträgt etwa 43 MJ/kg, während seine Energiedichte (d. h. ausgedrückt in Volumen) nahe bei 35 MJ/l liegt, da ein Liter Kerosin etwa 0,8 kg wiegt. Diese Zahlen entsprechen 11 944 Wh/kg bzw. 9722 Wh/l. Im Vergleich dazu fasst eine Lithium-Ionen-Batterie (Li-Ion) 100-265 Wh/kg und 250-670 Wh/l (Clean Energy Institute, 2020).

ist diese technologische Substitution nur dann sinnvoll, wenn die durch den Betrieb solcher Flugzeuge induzierten THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus geringer sind.

Zu beachten ist, dass solarbetriebene Elektroflugzeuge, wie z. B. das berühmte Projekt Solar Impulse 2, kein grosses kommerzielles Potenzial besitzen. Unabhängig von der Solarzellentechnologie ist die an einem beliebigen Ort verfügbare Sonneneinstrahlung nicht ausreichend, um die erforderliche Energie für die Durchführung eines typischen kommerziellen Fluges zu liefern.³⁷

6.5.1 FREIWILLIGE ANSÄTZE

Kompensation

Die Möglichkeit, dass Passagiere oder Fluggesellschaften Kohlenstoffemissionen auf freiwilliger Basis (z. B. über myclimate oder South Pole) kompensieren, ist relativ populär. Sie macht jedoch nur einen sehr kleinen Teil der Emissionen aus und berücksichtigt selten die volle Auswirkung des Flugverkehrs (das Dreifache der CO₂-Emissionen, siehe Abschnitt 2.1). Ausserdem ist sie langfristig nicht nachhaltig, da alle Quellen von Treibhausgasemissionen auf nahezu Null sinken müssen, auch die des Flugverkehrs.

6.5.2 MENGENMASSNAHMEN

Obligatorischer Mindestanteil an kohlenstoffarmen Drop-in-Treibstoffen

Die Festlegung einer Obergrenze für den Kohlenstoffgehalt von Flugzeugtreibstoffen würde den Unternehmen die Wahl der kosteneffizientesten Optionen überlassen. Zwingender ist ein Mindestanteil eines bestimmten kohlenstoffarmen Treibstoffs oder ein obligatorischer Beimischungsanteil. Ein Professor der ETH Zürich empfiehlt zum Beispiel, einen Mindestanteil von synthetischem Kerosin vorzuschreiben, beginnend mit 1 % in der unmittelbaren Zukunft, und die gesetzliche Untergrenze danach schrittweise zu erhöhen, um die Produktionskapazität um 20 % pro Jahr zu erhöhen und bis 2050 100 % nachhaltiges Kerosin zu erreichen (Patt, 2019). Die Festlegung auf einen kohlenstoffarmen Treibstoff würde eine klare Botschaft an die Investoren senden, die derzeit befürchten, dass eine erhöhte Produktionskapazität angesichts des höheren Preises von kohlenstoffarmen Treibstoffen im Vergleich zu konventionellem Kerosin nicht zu einer Steigerung des Absatzes führen würde. Das Wachstum der Produktion würde die Produktionskosten durch technologisches Lernen senken.

³⁷ Im Durchschnitt beträgt die von der Sonne während einer Stunde abgegebene Strahlungsenergie, die an der Oberseite der Atmosphäre ankommt, 1361 Wh/m² (Coddington et al., 2016). Wenn man bedenkt, dass ein A320 etwa 250 m² horizontale Oberseite hat (100 m² Flügel + 138 m² Rumpf, oberes Drittel; Airbus, 2020), würde die eingefangene Energie etwa 0,3 mWh betragen. Im Vergleich dazu verbraucht das gleiche Flugzeug bei einem Flug von Paris CDG nach London LGW, der etwa eine Stunde dauert, das Äquivalent von 28,9 mWh (ICAO, 2016) an fossiler Energie. Auch hier würde eine Vergrösserung der Oberfläche des Flugzeugs mit zusätzlichem Gewicht und Luftwiderstand einhergehen.

Quoten können heute von nationalen Regierungen eingeführt werden, hätten aber eine noch grössere Wirkung, wenn sie in Zusammenarbeit mit der Europäischen Union eingeführt würden, da der überwiegende Teil des Flugverkehrs international und nicht national ist. Norwegen gehört zu den ersten Ländern, die eine solche Vorschrift eingeführt haben, mit einem Mindestanteil von 0,5 % für moderne Agrotreibstoffe, der seit Januar 2020 gilt. Agrotreibstoffe, die aus problematischen Rohstoffen wie Palmöl gewonnen werden, sind nicht förderfähig. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichts sind an nur fünf Flughäfen regelmässig Agrotreibstoffe erhältlich (Bergen, Brisbane, Los Angeles, Oslo und Stockholm). Die Europäische Kommission diskutiert derzeit im Rahmen ihrer Wasserstoffstrategie über Quoten für synthetische Treibstoffe. Der deutsche Umweltminister hat kürzlich ein 2%-Ziel für synthetische Treibstoffe bis 2030 vorgeschlagen.

Anstatt Mindestanteile einzuführen, die direkt auf der Ebene des Fluges oder der Fluggesellschaft zum Tragen kommen, empfehlen Sheelhaase et al. (2019) die Verwendung grüner Zertifikate. Indem die Fluggesellschaften ihre Verpflichtungen, eine bestimmte Menge kohlenstoffarmer Treibstoffe zu verwenden, handeln lassen, werden die zusätzlichen Kosten für deren Verwendung von der tatsächlichen Verwendung getrennt. Ein solches System würde helfen, logistische Probleme zu überwinden, da es einfacher wäre, alle verfügbaren kohlenstoffarmen Treibstoffe nur an einige wenige Flughäfen zu liefern.

6.5.3 PREISSMASSNAHMEN

Stärkere steuerliche Anreize für die Flottenerneuerung

Die in der Schweiz ansässigen Fluggesellschaften (insbesondere Swiss International Airlines und EasyJet) haben in neue, treibstoffeffizientere Flugzeuge investiert, um die Emissionen pro Passagierkilometer zu reduzieren. Die Fluggesellschaften werden auch weiterhin neuere, treibstoffeffizientere Flugzeuge erwerben, da dies zur Senkung ihrer Treibstoffkosten beiträgt. Die Schweiz könnte in Erwägung ziehen, die steuerlichen Anreize zu erhöhen (z. B. durch die Möglichkeit einer beschleunigten Abschreibung), um die Airlines zu ermutigen, rascher zu investieren. Es bleibt abzuwarten, ob diese Strategie aus der Lebenszyklusperspektive sinnvoll ist, da die Gewinne an Treibstoffeffizienz über die Lebensdauer des Flugzeugs durch die während des Baus entstehenden Emissionen (über-)kompensiert werden könnten.

Darüber hinaus sind die neuen Flugzeuge in der Regel grösser, was ihre höhere Effizienz tendenziell ausgleicht, sodass nicht klar ist, ob das Resultat im Hinblick auf die Reduzierung der Gesamtemissionen positiv ist.

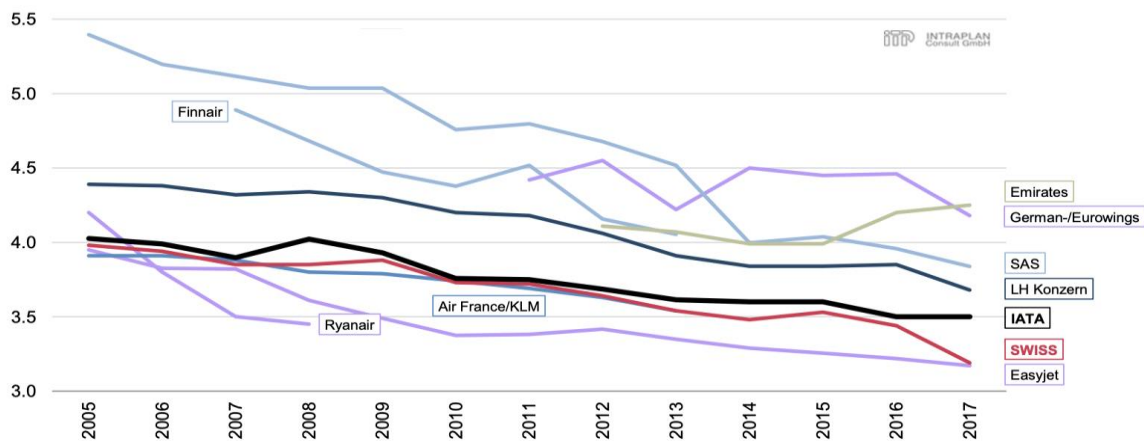


Abbildung 25: Treibstoffeffizienz verschiedener in der Schweiz operierender Fluggesellschaften in Litern pro 100 pkm (Intraplan Consult, 2018)

Vorübergehende Subventionierung kohlenstoffarmer Treibstoffe

In einer kürzlich verabschiedeten Resolution erklärten die ICAO-Mitgliedstaaten, dass sie anerkennen, «dass die technologische Machbarkeit von nachhaltigen Drop-in-Flugtreibstoffen erwiesen ist und die Einführung geeigneter politischer Massnahmen und Anreize zur Schaffung einer langfristigen Marktperspektive erforderlich ist» (ICAO, 2019c). Da kohlenstoffarme Treibstoffe teurer sind als Kerosin (Abbildung 26), sind möglicherweise direkte Subventionen zur Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit erforderlich, damit Unternehmen die Treibstoffe auf freiwilliger Basis übernehmen. Obwohl Flugzeugtreibstoffe an sich in einer Marktwirtschaft nicht subventioniert werden sollten, können ausgleichende Subventionen für «saubere» Alternativen gerechtfertigt sein, bis die «schmutzige» Alternative alle ihre externen Kosten decken kann, um gleiche Bedingungen zu schaffen. Die effizientere Lösung wäre natürlich, wenn der Kerosinpreis alle seine externen Kosten widerspiegeln würde. Steuerliche Anreize für kohlenstoffarme Treibstoffe könnten dann in Form von Ausnahmen von der Kerosin- bzw. Kohlenstoffabgabe auf Kerosin gewährt werden, wobei eine solche Abgabe aber zunächst eingeführt werden müsste (Kap. 6.3.4).

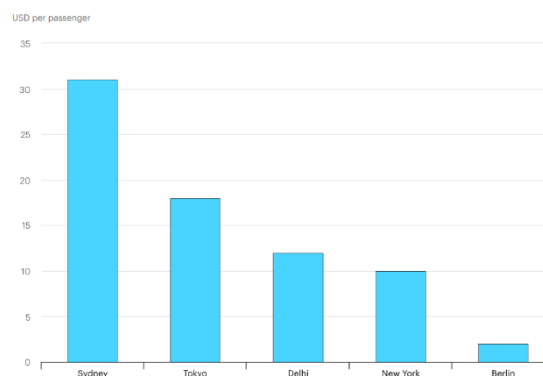


Abbildung 26: Kostenaufschlag einer 15-prozentigen Beimischung von Agrotreibstoffen in der kommerziellen Luftfahrt pro Passagier von London in ausgewählte Städte (IEA, 2019a)

6.5.4 SONSTIGE MASSNAHMEN

Förderung der Forschung & Entwicklung für revolutionäre Flugzeugantriebssysteme und -konstruktionen

Neben der Umstellung auf alternative Treibstoffe muss die Treibstoffeffizienz von Flugzeugen jedes Jahr erheblich gesteigert werden. Allerdings werden sich schrittweise weiterentwickelnde Technologien nicht ausreichen, um eine ähnliche CO₂-Reduktionsquote wie heute beizubehalten, was langfristig die Entwicklung revolutionärer Technologien erforderlich macht (IATA, 2019a)

Durch die Förderung der Forschung & Entwicklung in der Luftfahrt könnten künftige Technologieoptionen wie hybrid-elektrische Antriebssysteme und neu Flügelbauweisen (Abbildung 27) möglich werden, die in Kombination laut Airbus die Treibstoffeffizienz um bis zu 40 % verbessern könnten. Dies würde die Herausforderung, grosse Mengen an synthetischen Treibstoffen mit erneuerbarem Strom zu produzieren, entschärfen, geht aber, wie oben beschrieben, mit einer Reihe anderer Probleme einher.

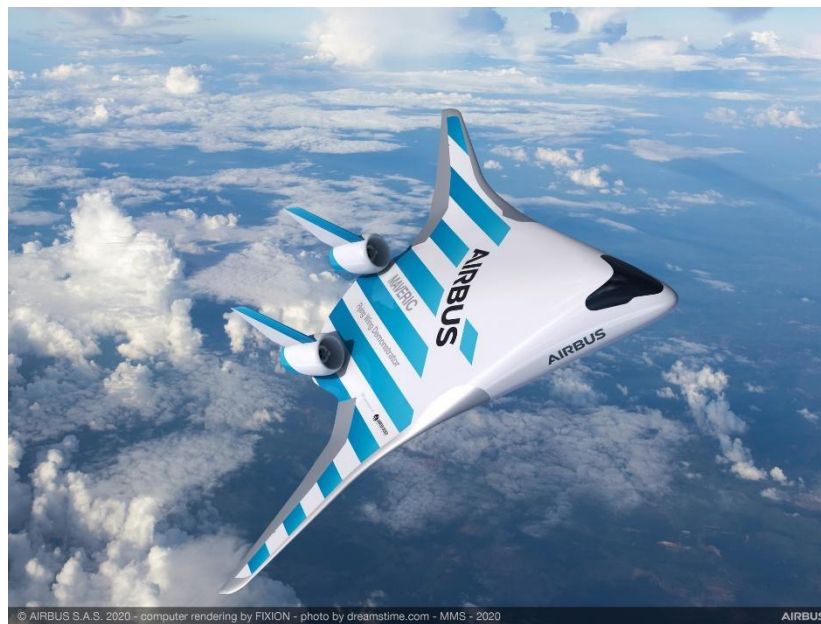


Abbildung 27: MAVERIC, der Airbus-Demonstrator für Mischflügelflugzeuge, könnte den Treibstoffverbrauch aus eigener Kraft um 20 % senken (Foto: Airbus)

Co-Investitionen in Anlagen zur Herstellung von Agrotreibstoffen und synthetischen Treibstoffen

In der Anfangsphase der Umstellung auf Agrotreibstoff und synthetische Treibstoffe wird der Mangel an Produktionskapazitäten eine zentrale Herausforderung für die Luftfahrt darstellen. Angesichts der unsicheren Nachfragesituation sind die Hersteller möglicherweise nicht bereit, zusätzliche Kapazitäten zu schaffen. Dies könnte es erforderlich machen, dass Regierungen einspringen und in der Anfangsphase einen Teil des Investitionsrisikos übernehmen, indem sie in Produktionsanlagen mitinvestieren.

6.6 Schlussfolgerungen bezüglich zusätzlicher Massnahmen zur Reduzierung der Klimaauswirkungen des Luftverkehrs

Die vorgeschlagene Ticketabgabe wäre ein Schritt in Richtung der Schweizer Klimaziele, reicht aber nicht aus, um langfristige Wachstumstrends auszugleichen, geschweige denn die absoluten Emissionen zu senken. Daher wären zusätzliche Massnahmen notwendig. In diesem Kapitel wurde ein Überblick über solche möglichen Zusatzmassnahmen gegeben.

Eine relativ schnelle Umsetzung und Wirkung könnten durch die folgenden Optionen erreicht werden:

- Nacht- und Hochgeschwindigkeitszüge sind für die beliebtesten Ziele wie London, Berlin und Amsterdam eine vielversprechende Alternative zu Flugreisen. Mehrere entsprechende Massnahmen, einschliesslich eines völligen Verbots von Kurzstreckenflügen, Subventionen und des Ausbaus des Bahnangebots, könnten die Verlagerung in diesem Sinne unterstützen.
- Die Etablierung sozialer Normen durch die Begrenzung von Werbung und gute Vorbilder kann sich direkt als erfolgreich erweisen, indem die Nachfrage sinkt und die soziale Akzeptanz anderer Massnahmen zunimmt.
- Massnahmen zur Erhöhung der Passagierauslastung, z. B. durch Abschreckung oder Verbot von Business-Sitzen auf Kurz- und Mittelstreckenflügen und progressive Bussgelder für Fluggesellschaften, die Flüge mit geringerer Kapazität anbieten.

Mittel- und langfristig wird ein grösserer Einsatz von synthetischen Treibstoffen notwendig sein, wenn die Luftfahrt sich der Kohlenstoffneutralität ohne den Einsatz von Kompensationsmassnahmen nähern will. In Anbetracht der erforderlichen Grössenordnung sind synthetische Treibstoffe längerfristig wahrscheinlich eine bessere Wahl als Agrotreibstoffe. Gesetzliche Anreize könnten schnell geschaffen werden, z. B. Drop-in-Anforderungen, Subventionen für F&E und Kompensationen für First-Mover-Nachteile. Ein frühzeitiges gesetzgeberisches Signal an die Branche wäre sinnvoll und eine Ausweitung der Produktion erforderlich.

Längerfristig sind grössere technologische Veränderungen, wie z. B. batteriebetriebene Flugzeuge für Kurzstreckenflüge, denkbar. Während die F&E im Bereich der Batterietechnologie rasant zunimmt, ist selbst das schnellste Szenario, die Nachrüstung bestehender Flugzeuge mit Batterieantrieb, bestenfalls eine längerfristige Lösung.

7 Schlussfolgerungen

Wenn man die Nicht-CO₂-Effekte der Flugzeugemissionen mit einbezieht, ist der Flugverkehr der Wirtschaftssektor mit dem grössten Beitrag zur globalen Erwärmung unter den inländischen Treibhausgasemissionen der Schweiz. Während alle anderen Sektoren ihre Klimawirkung reduzieren, war im Flugverkehr vor der COVID-19-Pandemie keine Verbesserung zu beobachten. Ohne zusätzliche klimapolitische Massnahmen wird erwartet, dass die Zahl der von der Schweiz ausgehenden Flüge bis 2030 um 2,1 % und die Passagiernachfrage um 3,2 % pro Jahr wächst. Selbst in einem optimistischen Szenario mit einem jährlichen Wachstum der Passagiernachfrage um 2,5 % und einer jährlichen Verbesserung des Treibstoffverbrauchs der Flugzeuge um 1,5 % wird erwartet, dass die Klimawirkung des Schweizer Luftverkehrs bis 2050 um 36 % zunimmt. Daher ist die Drosselung des Passagierwachstums ein entscheidender Teil der Klimastrategie, um bis 2050 die Klimaneutralität der Schweiz zu erreichen. Zu den politischen Instrumenten der Nachfragebeschränkung gehören eine Flugticketabgabe, eine Vielfliegerabgabe, Treibstoffabgaben, handelbare individuelle Flugkontingente sowie weichere Massnahmen, die auf freiwilligen Ansätzen basieren.

Die Häufigkeit von Flugreisen ist stark einkommensabhängig (BFS und ARE, 2017). Schweizer Bürgerinnen und Bürger, die in Haushalten mit einem Einkommen von unter 4000 CHF pro Monat leben, unternehmen im Durchschnitt nur 0,3 Flüge pro Jahr. Schweizer Bürger, die in einkommensstarken Haushalten mit einem Einkommen von mehr als 12 000 CHF pro Monat leben, unternehmen dagegen 1,7 Flüge pro Jahr, was dem 5,7-fachen der Reishäufigkeit der untersten Einkommensklasse entspricht. Folglich führen Flugticketabgaben mit Pro-Kopf-Umverteilung der Einnahmen zu finanziellen Vorteilen für Haushalte mit niedrigem Einkommen. Da 77 % der Schweizer Flugpassagiere in europäische Länder reisen, ist eine Verkehrsverlagerung auf Nacht- und Hochgeschwindigkeitszüge eine sinnvolle Alternative zu Flugreisen, wenn eine entsprechende Bahninfrastruktur vorhanden ist.

Um die Auswirkungen von Flugticketabgaben zu ermitteln, wurde eine Literaturübersicht über nationale Preiselastizitäten der Nachfrage durchgeführt. Es wurden deutlich niedrigere Elastizitätswerte für Reisen in der Premium- als in der Economy-Klasse gefunden. Etwas niedrigere Werte wurden auch für Langstreckenflüge im Vergleich zu Kurzstreckenflügen festgestellt. Die geschätzten Elastizitäten für die Nachfrage nach Kurzstreckenflügen in der Economy-Klasse liegen bei etwa 1,2; für Langstreckenflüge in der Economy-Klasse etwas niedriger bei 1. Für die Premium-Klasse lagen die Elastizitätsschätzungen deutlich niedriger: 0,5 für Kurzstrecken- und 0,25 für Langstreckenflüge.

Für die Zwecke dieses Grundlagenpapiers wurde angenommen, dass Kurzstrecken-Economy-Tickets mit 30 CHF und Premium-Tickets mit 60 CHF belastet werden. Langstrecken-Economy-

Tickets würden mit 90 CHF und Premium-Tickets mit dem Höchstsatz von 120 CHF belastet werden. Durch diese Abgabesätze könnte die Passagiernachfrage um bis zu 21 % und der CO₂-Ausstoss um 16 % gegenüber einer Ausgangssituation ohne Flugticketabgabe reduziert werden. Um eine gründlichere Bewertung vorzunehmen, haben wir weitere Flugticket-Abgabeabstufungen simuliert: eine, bei der die Abgabe bis 2050 jedes Jahr um 4,7 % steigt, eine, die der britischen Flugticketabgabe von 2021 entspricht, und eine, bei der pro Tonne CO₂eq an flugbedingter Klimawirkung 74 CHF erhoben werden. Diese Abstufungen unterscheiden sich in einigen Aspekten, wirken sich aber auf die Passagierzahlen und Emissionen relativ ähnlich aus.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auf die Schätzung der Angebotskurve von Schweizer Flugtickets konzentrieren und aktualisierte Elastizitätsschätzungen für die Schweizer Flugreisenachfrage differenziert nach Haushaltseinkommen liefern. Schliesslich sollte ein besseres Verständnis der Preismechanismen für Flugtickets geschaffen werden, um interne Preisstrategien der Fluggesellschaften, die darauf abzielen, den Rückgang der Passagiernachfrage abzumildern, zu berücksichtigen.

Referenzen

- Airbus (2018). *Airbus aircraft 2018 average list prices*. Abgerufen von <https://www.airbus.com/content/dam/corporate-topics/publications/backgrounders/Airbus-Commercial-Aircraft-list-prices-2018.pdf>
- Airbus (2020). *Aircraft Characteristics, Airport and Maintenance Planning*. Airbus A319, A320 and A321. Abgerufen von <https://www.airbus.com/aircraft/support-services/airport-operations-and-technical-data/aircraft-characteristics.html>
- ATAG (2020). *Aviation: Benefits Beyond Borders*. Air Transport Action Group. Abgerufen von <https://aviationbenefits.org/downloads/aviation-benefits-beyond-borders-2020/>
- Avenergy Suisse (2020). *Jahresbericht 2019*. Abgerufen von <https://www.avenergy.ch/de/publikationen/jahresbericht>
- BAFU (2021). *Treibhausgasinventar der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Bern, 12 April. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>
- Baumol, W. J., and W.E. Oates (1988). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press
- BAZL (2020). *Schadstoffabhängige Landegebühren*. Bundesamt für Zivilluftfahrt. Bern. Abgerufen von <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/fachleute/luftfahrzeuge/schadstoffabhaengige-landegebuehren.html>
- BBC (2020). *The largest electric plane ever to fly*. <https://www.bbc.com/future/article/20200617-the-largest-electric-plane-ever-to-fly> (Zugriff Mai 2021)
- BFS (2019). *Luftverkehr: Linien- und Charterverkehr, Jahresresultate 2018*. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/su-b-11-LFS-2018-K0>
- BFS (2020a). *Schweizerische Zivilluftfahrtstatistik 2019 – 5. Passagiere*. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/su-b-438-11.7.AV-e-5>
- BFS (2020b). *Schweizerische Zivilluftfahrtstatistik 2019 – 7. Treibstoffverbrauch und Schadstoffemissionen*. Bundesamt für Statistik. Neuchâtel. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/su-b-438-11.7.AV-e-7>
- BFS (2020c). *Swiss Civil Aviation 2019*. Bundesamt für Statistik. Neuenburg. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/asset/en/409-1904>

- BFS und ARE (2017). *Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015*. Bundesamt für Statistik / Bundesamt für Raumplanung. Neuchâtel und Bern. Abgerufen von <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/840-1500>
- Bofinger, H., and J. Strand (2013). Calculating the carbon footprint from different classes of air travel. *Policy Research Working Paper* 6471. World Bank. Abgerufen von <http://documents.worldbank.org/curated/en/141851468168853188/Calculating-the-carbon-footprint-from-different-classes-of-air-travel>
- Bosshardt, L., M. Hermann, und B. Wüest (2020). Grundlagenstudie Flugticketabgabe Schweiz: Flugverhalten, CO₂-Emissionen und zwei Ausgestaltungsmodelle im Vergleich. 2. Version. *Bericht* im Auftrag von Verein Rote Annelise. Forschungsstelle sotomo, Zürich. Mai
- Brons, M, E. Pels, P. Nijkamp and P. Rietveld (2002). Price elasticities of demand for passenger air travel: a meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, 8(3), S. 165-175
- Carbon Brief (2019). *Corsia: The UN's plan to 'offset' growth in aviation emissions after 2020*. Abgerufen von <https://www.carbonbrief.org/corsia-un-plan-to-offset-growth-in-aviation-emissions-after-2020>
- CE Delft (2019). *Taxes in the Field of Aviation and their Impact*. Report to the Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission). Abgerufen von <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/0b1c6cdd-88d3-11e9-9369-01aa75ed71a1>
- Clean Energy Institute (2020). *Lithium-Ion Battery*. Abgerufen von <https://www.cei.washington.edu/education/science-of-solar/battery-technology/>
- Climeworks (2019). *Renewable jet fuel from air*. Abgerufen von <https://www.climeworks.com/renewable-jet-fuel-from-air/>
- Coddington, O., J.L. Lean, P. Pilewskie, M. Snow, und D. Lindholm (2016). A solar irradiance climate data record. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 97(7): 1265-1282
- Cox, B., W. Jemioło und C. Mutel (2018). Life cycle assessment of air transportation and the Swiss commercial air transport fleet. *Transportation Research Part D Transport and Environment*, 58: 1-13
- DB International (2013). *Night Trains 2.0 – New opportunities by HSR*. Study on behalf of International Union of Railways (UIC), Berlin. Abgerufen von http://www.nachtzug-retten.de/wp-content/uploads/2016/05/2013-04-30_uic_study_night_trains_2.02.pdf
- DBEIS (2019). *2019 Government Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting – Methodology Paper for Emissions Factors*. Department for Business, Energy & Industrial Strategy. Abgerufen von <https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2019>

- Directorate-General for Internal Policies, European Parliament (2017). *Research for TRAN Committee – Passenger night trains in Europe: the end of the line?* Abgerufen von [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/601977/IPOL_STU\(2017\)601977_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2017/601977/IPOL_STU(2017)601977_EN.pdf)
- The Economist (2021). *Business travel may never fully recover from COVID-19*. Special Report, Februar 2021. Abgerufen von <https://www.economist.com/special-report/2021/02/11/business-travel-may-never-fully-recover-from-covid-19>
- Engineering & Technology (2020). *EasyJet partner takes crucial step towards electric plane*. Abgerufen von <https://eandt.theiet.org/content/articles/2020/01/easyjet-partner-takes-crucial-step-towards-its-first-electric-plane/>
- ESU-services (2018). *Aviation and Climate Change: Best practice for calculation of the global warming potential*. Abgerufen von <http://esu-services.ch/fileadmin/download/jungbluth-2018-RFI-best-practice.pdf>
- EUROCONTROL (2021). *EUROCONTROL Data Snapshot on CO₂ emissions by flight distance*. Abgerufen von <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-data-snapshot-co2-emissions-flight-distance>
- European Commission (2019). *Emissions Trading System (EU ETS), Free allocation of allowances*. Abgerufen von https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances/aviation_en
- European Commission (2019) *Taxes in the field of aviation and their impact*. Generaldirektion Mobilität und Verkehr, Brüssel
- European Environment Agency (2019). *European Aviation Environmental Report 2019*. Abgerufen von <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2019-aviation-environmental-report.pdf>
- Eurostat (2020). *Air passenger transport between the main airports of Switzerland and their main partner airports (routes data)*. Abgerufen von https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/avia_par_ch
- EZV (2020). *Grundsätze der Steuererhebung auf Flugtreibstoffen*. Eidgenössische Zollverwaltung, Bern. Abgerufen von <https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home/information-firmen/steuern-und-abgaben/einfuhr-in-die-schweiz/mineraloelsteuer/treibstoff-fuer-die-versorgung-von-luftfahrzeugen/grundsaeetze-der-steuererhebung-auf-flugtreibstoffen.html>
- FÖS (2020). *Zehn klimaschädliche Subventionen im Fokus. Wie ein Subventionsabbau den Klimaschutz voranbringt und den Bundeshaushalt entlastet*. Eine Studie des Forums Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft im Auftrag von Greenpeace. November. Abgerufen von <https://foes.de/de-de/publikationen>
- Genève Aéroport (2020), Statistics 2019. Abgerufen von <https://www.gva.ch/en/Site/Geneve-Aeroport/Publications/Statistiques>

- Google-Flights (2020). Google. Abgerufen von https://www.google.com/travel/flights?tfs=CBwQARobag0IAhIJL20vMDFFd2pqEgoyMDIxLTA0LTA0GhsSCjIwMjEtMDQtMDhyDQgCEgkvbS8wMV93ampwAYIBCwj_____8BQAFIAZgBAQ
- Gillen, D.W., W.G. Morrison and C. Stewart (2003). *Air travel demand elasticities: concepts, issues and measurement*. Final Report, Department of Finance, Canada
- Hileman, J.I., and R.W. Stratton (2014). Alternative Jet Fuel Feasibility. *Transport Policy* 34: 52-62.
- IATA (2019a). *Aircraft Technology Roadmap to 2050*. Abgerufen von <https://www.iata.org/en/programs/environment/technology-roadmap/>
- IATA (2019b). *Taxes & the environment, Fact sheet*. Abgerufen von <https://www.iata.org/contentassets/c4f9f0450212472b96dac114a06cc4fa/fact-sheet-greentaxation.pdf>
- IATA (2020). *IATA 20-year Air Passenger Forecast*. International Air Traffic Association (IATA). <https://www.iata.org/en/publications/store/20-year-passenger-forecast/>
- IATA (2021). *Fact Sheet, Aviation & Climate Change*. Abgerufen von <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet--climate-change/>
- ICAO (2010). *Environmental Report 2010*. Abgerufen von https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/EnvironmentReport-2010/ICAO_EnvReport10-Ch1_en.pdf
- ICAO (2016). *ICAO Carbon Emissions Calculator*. Abgerufen von <https://www.icao.int/environmental-protection/Carbonoffset/Pages/default.aspx>
- ICAO (2017). *ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology – Version 10*. Civil Aviation Organization (ICAO). Abgerufen von https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v10-2017.pdf
- ICAO (2019a). *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)*. Civil Aviation Organization (ICAO). Abgerufen von <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/default.aspx>
- ICAO (2019b). *Environmental Report 2019 – Aviation and Environment*. Civil Aviation Organization (ICAO). Abgerufen von <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/envrep2019.aspx>
- ICAO (2019c). *Resolution A40-18: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*. Abgerufen von <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Assembly/A40-18.pdf>

- ICF Consulting, Air Transportation Analytics, NewClimate Institute, Cambridge Econometrics, HFW, and Sven Starckx (2020). *Assessment of ICAO's global market-based measure (CORSLA) pursuant to Article 28b and for studying cost pass-through pursuant to Article 3d of the EU ETS Directive*. Report to the European Commission, Generaldirektion Klimapolitik, September. Abgerufen von <https://drive.google.com/file/d/1JF0hDcs1LUGXsrHtya3QPKKUKSH4av-g/view>
- ICSA (2018). *ICSA views on a long-term climate goal for international aviation*. International Coalition for Sustainable Aviation. Abgerufen von <http://www.icsa-aviation.org/wp-content/uploads/2018/06/ICSA-views-LTG-June-2018.pdf>
- IEA (2019a). *Are aviation biofuels ready for take off?* Kommentar abgerufen von <https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off>
- IEA (2019b). *Energy intensity of passenger transport modes, 2018*. Abgerufen von <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/energy-intensity-of-passenger-transport-modes-2018>
- IEA (2019c). *Future of Rail*. Abgerufen von <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>
- IEA (2020a). *Tracking Transport 2020*. Abgerufen von <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020/aviation>
- IEA (2020b). *World Energy Outlook 2020*. Abgerufen von <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- IEA (2021). *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. Mai 2021. Abgerufen von <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IMO (2018). *UN body adopts climate change strategy for shipping*. Abgerufen von <http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/06GHGinitialstrategy.aspx>
- INFRAS (2009). *Einbezug des Schweizer Flugverkehr ins EU EHS*. Abgerufen von https://www.infras.ch/media/filer_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb_1853_auswirkungen_eu_ehs_schweiz_fin.pdf
- InterVISTAS (2007). *Estimating Air Travel Demand Elasticities*. Abgerufen von <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/estimating-air-travel-demand-elasticities---by-intervistas/>
- Intraplan Consult (2015). *Entwicklung des Luftverkehrs in der Schweiz bis 2030 – Nachfrageprognose*. Abgerufen von <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/das-bazl/studien-und-berichte.html>
- Intraplan Consult (2018). *Monitoring der Wettbewerbsfähigkeit des Schweizer Luftverkehrs 2018*. Abgerufen von <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/das-bazl/studien-und-berichte.html>

- IPCC (1999). *Aviation and the Global Atmosphere*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press
- IPCC (2018). *Special Report on Global Warming of 1.5°C (SR15)*. Intergovernmental Panel on Climate Change
- Jönsson, O., et al. (2019). *ETH Initiative on the Decarbonization of Aviation*. Abgerufen von https://sccer-mobility.ch/aboutus/sccer_events/Initiative-on-the-Decarbonization-of-Aviation/
- Kantelaar, M.K.H. (2019). *Night-Time Train Travel: A Stated-Preference study into the Willingness to Use night trains for European long-distance travel*. Masterarbeit TU Delft
- KLM Newsroom (2019). *KLM, Thalys and NS Dutch Railways have joined forces to replace flights between Brussels and Amsterdam Airport Schiphol*. 13 September. Abgerufen von <https://news.klm.com/klm-thalys-and-ns-dutch-railways-have-joined-forces-to-replace-flights-between-brussels-and-amsterdam-airport-schiphol/>
- Lee, D.S., et al. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment* 244: 117834. Januar
- Lufthansa (2019). *Annual Report 2019*. Lufthansa Group. Abgerufen von <https://investor-relations.lufthansagroup.com/fileadmin/downloads/en/financial-reports/annual-reports/LH-AR-2019-e.pdf>
- Lufthansa Group (2020). *Flying with sunlight*. <https://www.lufthansagroup.com/en/newsroom/releases/flying-with-sunlight.html> (Zugriff Mai 2021)
- Morlotti, C., M. Cattaneo, P. Malighetti and R. Redondi (2017). Multi-dimensional price elasticity for leisure and business destinations in the low-cost air transport market: Evidence from EasyJet. *Tourism Management* 61: 23-34. August
- Mumbower, S., L.A. Garrow and M.J. Higgins (2014). Estimating flight-level price elasticities using online airline data: A first step toward integrating pricing, demand, and revenue optimization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 66: 196-212. August. [10.1016/j.tra.2014.05.003]
- Miyoshi, C., and H. Fukui (2018). Measuring the rebound effects in air transport: The impact of jet fuel prices and air carriers' fuel efficiency improvement of the European airlines. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 112: 71-84. Juni [10.1016/j.tra.2018.01.008]
- Neu, U. (2021). The impact of emissions from aviation on the climate – 2nd edition. *Swiss Academies Communications* 16(3). Abgerufen von <https://scnat.ch/en/id/cSx4y>
- New Economics Foundation (2015). *Managing aviation passenger demand with a frequent flyer levy*. Abgerufen von https://neweconomics.org/uploads/files/58e9fad2705500ed8d_hzm6yx1zf.pdf

- Patt, A. (2019). *Making flying actually sustainable*. ETH Zurich. Abgerufen von <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2019/06/blog-sustainable-flying-patt.html>
- Pearce, B. (2020). *Outlook for air transport and the airline industry*. Presentation to the IATA Annual General Meeting, Nov. 2020. Abgerufen von <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/presentations/outlook/>
- Peter, M, H. Lückge and M. Maibach (2009). *Einbezug des Schweizer Flugverkehrs ins EU EHS: Wirtschaftliche Auswirkungen möglicher Szenarien*. INFRAS, Zürich und Bern. Abgerufen von https://www.infras.ch/media/filer_public/74/90/7490a62f-9ba1-401d-8d7f-50056077dc80/sb_1853_auswirkungen_eu_ehs_schweiz_fin.pdf
- Prognos, INFRAS, TEP Energy and Ecoplan (2020). *Energieperspektiven 2050+ Kurzbericht*. 26 November. Abgerufen von <https://www.bfe.admin.ch/bfe/en/home/policy/energy-perspectives-2050-plus.html>
- Roland Berger (2020). *Aircraft Electrical Propulsion*. Abgerufen von <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Global-Topics/Electric-Propulsion/>
- The Royal Society (2019). *Sustainable synthetic carbon-based fuels for transport: Policy briefing*. Abgerufen von <https://royalsociety.org/topics-policy/projects/low-carbon-energy-programme/sustainable-synthetic-carbon-based-fuels-for-transport/>
- Sandbag (2021). *Carbon Price Viewer*. Abgerufen von <https://sandbag.org.uk/carbon-price-viewer/>
- Scheelhaase, J., S. Maertens, and W. Grimme (2019). Synthetic fuels in aviation – Current barriers and potential political measures. *Transportation Research Procedia*, 43: 21-30.
- Schneider Schüttel, U. (2019). *19.3508 Interpellation*. Abgerufen von <https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaef?AffairId=20193508>
- Sigrist, D., R. Iten und M. Zimmermann (2019). *Finanzielle Auswirkung von Abgaben auf Brennstoffe, Treibstoffe und Flugtickets. Rechenbeispiele für ausgewählte Haushalte*. Infrass, Zürich
- Simplemaps (2020). Abgerufen von <https://simplemaps.com/data/world-cities>
- Swedavia (2020). *Swedavia's traffic statistics for December and the full year 2019*. Abgerufen von <https://www.swedavia.com/about-swedavia/for-press/swedavias-traffic-statistics-for-december-and-the-full-year-2019/#gref>
- Swiss (2020). *Swiss International Airlines*. Abgerufen von <https://www.swiss.com/in/en/discover/fleet>
- Schweizer Parlament (2020). *Révision totale de la loi sur le CO₂ pour la période postérieure à 2020*. Abgerufen von <https://www.parlament.ch/en/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaef?AffairId=20170071>

- Thalmann, P. (2019). Des contingents flexibles pour le transport aérien. *Bulletin AES, Association des entreprises électriques suisses*, N°9, S. 2-5. 6. September
- Transport & Environment (2019). *Domestic aviation fuel tax in the EU*. Abgerufen von https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2010_01_Briefing_domestic_fuel_taxation_briefing.pdf
- Transport & Environment (2020). *Wednesday's EU hydrogen strategy needs to prioritise hard-to-decarbonise transport modes*. Pressemitteilung vom 3. Juli. Abgerufen von <https://www.transportenvironment.org/press/wednesday%E2%80%99s-eu-hydrogen-strategy-needs-prioritise-hard-decarbonise-transport-modes>
- UK Department for Transport (2014). *Public experiences of and attitudes towards air travel: 2014*. Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/336702/experiences-of-attitudes-towards-air-travel.pdf
- UK Department for Transport (2017). *UK Aviation Forecasts*. Abgerufen von https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/781281/uk-aviation-forecasts-2017.pdf
- Umweltbundesamt (2016). *CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe*. Abgerufen von https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2-emissionsfaktoren_fur_fossile_brennstoffe_korrektur.pdf
- Vereinte Nationen (2019). *Climate Action Summit 2019*. Abgerufen von https://www.un.org/en/climatechange/assets/pdf/CAS_closing_release.pdf
- Weitzman, M.L. (1974). Prices vs. quantities. *Review of Economic Studies*, 41(4), S. 477-491
- WHO (2020). *Framework Convention on Tobacco Control*. Abgerufen von https://www.who.int/tobacco/control/measures_art_13/en/
- Zurich Airport (2019). *Facts & Figures 2018*. Flughafen Zürich. Abgerufen von <https://www.zurich-airport.com/the-company/zurich-airport-ag/facts-and-figures>
- Zurich Airport (2020). *Facts & Figures 2019*. Flughafen Zürich. Abgerufen von <https://www.zurich-airport.com/the-company/zurich-airport-ag/facts-and-figures>

Anhang: Terminologie

Allgemeine Luftfahrt	Zivile Luftfahrt mit Ausnahme von gewerblichem Luftverkehr oder Arbeitseinsätzen in der Luft. Oder alle privaten und kommerziellen Flüge ausser Linienflügen und Charterflügen.
Charterflüge	Nicht planmässige Flugrouten, typischerweise Flüge, die von Reiseveranstaltern gekauft und in ein Urlaubspaket aufgenommen werden.
Flug	Reise in einem Flugzeug.
Flugstrecke	Gegebene Kombination von Abfahrts- und Ankunftsort, z B. die Strecke Paris-London.
Geschäftsflug	Flugreise, die aus beruflichen Gründen, im Rahmen der Arbeit, durchgeführt wird.
Kurz- Langstreckenflug	Langstreckenflug mit einem Umstieg nach einem Kurzstreckenflug. Für unsere Simulationen ist dies definiert als ein Flug von einem Schweizer Flughafen zu einem beliebigen Ziel in Europa, dessen Endziel jedoch ausserhalb Europas liegt.
Kurzstreckenflug	Üblicherweise definiert als ein Flug von weniger als 1500 km oder weniger als 3 Stunden, aber diese Grenzen variieren. Für die Schweizer Flugticketabgabe ist ein Kurzstreckenziel in Europa, mit Ausnahme einiger Ziele am Rande Europas, die als Mittelstreckenflüge gelten. Für unsere Simulationen wird es als ein Flug von einem Schweizer Flughafen zu einem beliebigen Ziel in Europa definiert.
Langstreckenflug	Üblicherweise definiert als ein Flug von mehr als 4500 km oder mehr als 6 Stunden, aber diese Grenzen variieren. Für die Schweizer Flugticketabgabe liegt ein Langstreckenziel östlich des Urals, südlich der Mittelmeeranrainernstaaten oder jenseits des Atlantiks. Für unsere Simulationen wird es als ein Flug von einem Schweizer Flughafen zu einem beliebigen Ziel ausserhalb Europas definiert.
Linienflüge	Kommerzielle Flüge nach einem regelmässigen Flugplan zum Transport von Passagieren oder Waren.
Lokaler Passagier	Passagier, der von einem Schweizer Flughafen abfliegt und sich weder im Transfer noch im Transit befindet.

Luftlinie	Der kürzeste Abstand zwischen zwei Punkten auf der Oberfläche einer Kugel, gemessen entlang der Oberfläche der Kugel, im Gegensatz zu einer geraden Linie durch das Innere der Kugel.
Ortsansässiger Passagier	Lokaler Passagier, dessen Wohnsitz in der Schweiz liegt.
Passagier	Person, die ein bestimmtes Verkehrsmittel zum Reisen benutzt.
Passagier-Kilometer (pkm)	Masseinheit, die der Beförderung eines Passagiers über eine Strecke von einem Kilometer entspricht. Für einen bestimmten Flug bedeutet dies $[pkm] = [Anzahl\ der\ Passagiere\ auf\ dem\ Flug] * [Flugstrecke\ in\ km]$. Eng verwandt mit «Revenue Passenger Kilometre» (RPK).
Privater Flug	Flugreise, die aus persönlichen Gründen durchgeführt wird, z. B. Freizeit, Besuch von Verwandten usw.
Strahlungsantriebs-Index	Multiplikator, der auf die CO ₂ -Emissionen von Flugzeugen angewendet wird, um den Nettoerwärmungseffekt aller Emissionen aus der Kerosinverbrennung in grosser Höhe zu berücksichtigen. Auf Englisch: Radiative Forcing Index.
Transfer-Passagier	Passagier, der nicht an seinem endgültigen Ziel angekommen ist und innerhalb von 24 Stunden das Flugzeug am betrachteten Flughafen wechselt. Diese Art von Passagieren wird in der allgemeinen Passagierstatistik zweimal gezählt, einmal bei der Ankunft und einmal beim Abflug.
Transit-Passagier	Wie ein Umsteigepassagier, nur dass er/sie mit der gleichen Flugnummer (meist dem gleichen Flugzeug) wieder abfliegt.

Kontakt

Philippe Thalmann

EPFL & E4S

Fleance Cocker

EPFL & E4S

Pallivathukkal Cherian Abraham

IMD & E4S

Nikolai Orgland

Internationale Energieagentur & E4S

Marius Brülhart

HEC & E4S

Dominic Rohner

HEC & E4S

Michael Yaziji

IMD & E4S

Über E4S



Enterprise for Society (E4S) ist ein Joint Venture der Universität Lausanne über die HEC Lausanne, das IMD und die EPFL, unter der Leitung des College of Management of Technology, mit der Aufgabe, den Übergang zu einer widerstandsfähigeren, nachhaltigeren und inklusiveren Wirtschaft voranzutreiben. E4S hat es sich zur Aufgabe gemacht, die nächste Generation von Führungskräften auszubilden, den wirtschaftlichen und sozialen Wandel zu fördern und Veränderungen durch die Stärkung von Start-ups und die Förderung von Innovationen anzuschieben.

Kontakt



info@e4s.center



<https://e4s.center>



<https://www.linkedin.com/company/enterprise-for-society-e4s>