



SCHLUSSBERICHT – 27.05.2021

Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Wege zu einer Dekarbonisierung des Flugverkehrs

Im Auftrag von: Aviation Research Center Switzerland (ARCS)

Impressum

Empfohlene Zitierweise

Autor: Ecoplan
Titel: Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»
Untertitel: Wege zu einer Dekarbonisierung des Flugverkehrs
Auftraggeber: Aviation Research Center Switzerland (ARCS)
Ort: Bern
Datum: 27.05.2021

Die vorliegende «Road Map Sustainable Aviation» wurde angestossen vom Aviation Research Center Switzerland (ARCS), finanziert von den Bundesämtern BAZL und BAFU, von den drei Landesflughäfen (GVA, ZRH und BSL), SWISS International Air Lines, Swiss Business Aviation Association (SBAA) sowie easyJet.

Begleitgruppe

André Schneider, Aéroport International de Genève (Vorsitz)
Julien Anet, ZAV Zentrum für Aviatik der ZHAW
Andrea Burkhardt, BAFU Bundesamt für Umwelt
Emanuel Fleuti, Flughafen Zürich
Maximilian Held, ETH Zürich
Melanie Heiniger, Swiss International Air Lines
Helene Niedhart, SBAA Swiss Business Aviation Association
Jan Robra, EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg
Hans Werder, ARCS Aviation Research Center Switzerland
Urs Ziegler, BAZL Bundesamt für Zivilluftfahrt
...und in der Schlussphase des Projekts:
Jean-Marc Thevenaz, easyJet

Projektteam Ecoplan

André Müller, Projektleitung
Simon Schranz
Felix Walter

Der Bericht gibt die Auffassung des Projektteams wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers bzw. der Auftraggeberin oder der Begleitorgane übereinstimmen muss.

ECOPLAN AG

Forschung und Beratung
in Wirtschaft und Politik

www.ecoplan.ch

Monbijoustrasse 14
CH - 3011 Bern
Tel +41 31 356 61 61
bern@ecoplan.ch

Dätwylerstrasse 25
CH - 6460 Altdorf
Tel +41 41 870 90 60
altdorf@ecoplan.ch

Inhaltsübersicht

	Das Wichtigste auf einer Seite.....	2
	L'essentiel en une page.....	3
	Inhaltsverzeichnis	4
	Abkürzungsverzeichnis.....	6
	Glossar	7
	Kurzfassung.....	10
	Résumé	17
1	Einleitung	24
2	Ausgangslage und Perspektiven.....	25
3	Ansatzpunkte und Massnahmen	49
4	Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»	98
	Anhang A: Flugverkehr Schweiz	105
	Anhang B: EU-ETS und CH-EHS	107
	Anhang C: CO ₂ -Gesetz – den Luftverkehr betreffende Artikel	108
	Anhang D: Optionen für die Beimischquote - EU	113
	Literaturverzeichnis	115

Das Wichtigste auf einer Seite

Der Klimawandel ist eine der grössten Herausforderungen der Gegenwart. Es besteht heute weitgehend Konsens, dass die Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen, um schwere Schäden zu vermeiden. Wie alle anderen Sektoren ist auch die Luftfahrt gefordert, ihren Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu leisten. Das Aviation Research Center Switzerland (ARCS) hat deshalb das Projekt einer Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» gestartet und zusammen mit der Firma Ecoplan die vorliegende Studie ausgearbeitet. Eine Arbeitsgruppe mit Vertretern von SWISS, der Swiss Business Aviation Association, den Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel, den Bundesämtern BAZL und BAFU sowie der ETH Zürich und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW hat die Studie begleitet. In der Schlussphase des Projekts wurde die Gruppe durch easyJet ergänzt. Die vorliegende «Road Map Sustainable Aviation» zeigt den Weg, wie der Luftverkehr in und aus der Schweiz seine Treibhausgasemissionen bzw. Klimawirkung im Einklang mit den Zielen der bundesrätlichen langfristigen Klimastrategie reduzieren kann.

Aufbauend auf Arbeiten von globalen, europäischen und schweizerischen Dachorganisationen des Luftverkehrs wurde eine **Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»** entwickelt, welche auf folgende vier Massnahmenpakete setzt:

- *SAF-Marktentwicklung*: Als zentrales und wichtigstes Massnahmenpaket soll das fossile Kerosin durch biogene und synthetische Treibstoffe (Sustainable Aviation Fuels SAF) ersetzt werden. Dabei setzen die Massnahmen zur SAF-Marktentwicklung auf der Nachfrageseite, wie auch auf der Angebotsseite an. Internationale, staatenübergreifende Massnahmen haben Priorität, können aber wirkungsvoll mit eigenständigen schweizerischen Massnahmen ergänzt werden.
- *Förderung effizienterer Flugzeuge*: Förderung und Anreize für den Einsatz von treibstoffeffizienteren Flugzeugen insbesondere auf dem Langstreckenverkehr sowie mittel- bis längerfristig der Einsatz von Elektroflugzeugen für den Kurzstreckenverkehr und Wasserstoffflugzeugen für den Kurz- und Mittelstreckenverkehr.
- *Operationelle Massnahmen*: Treibstoffeffizientere Abwicklung des Flugverkehrs am Boden und in der Luft.
- *Offsetting*: Kurz- bis mittelfristige CO₂-Kompensation durch freiwillige Kompensation und Teilnahme am europäischen Emissionshandel und dem Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), mittel- bis längerfristiger Aufbau von globalen Märkten für negative Emissionstechnologien (NET) zur Reduktion der verbleibenden klimarelevanten Emissionen.

L'essentiel en une page

Le changement climatique est l'un des plus grands défis de notre époque. Il existe aujourd'hui un large consensus sur le fait que les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites pour éviter de graves conséquences. Comme tous les autres secteurs, l'aviation est appelée à contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. A ce titre, l'Aviation Research Center Switzerland (ARCS) a lancé le projet d'une «Road Map Sustainable Aviation» et a préparé la présente étude en collaboration avec la société Ecoplan. Un groupe de travail composé de représentants de SWISS, de l'Association suisse de l'aviation d'affaires, des aéroports nationaux de Zurich, Genève et Bâle, de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), ainsi que de l'EPF Zurich et de la Haute école spécialisée zurichoise (ZHAW) a accompagné l'étude. Durant la phase finale du projet easyJet a rejoint le groupe de travail. Cette «Road Map Sustainable Aviation» montre comment le transport aérien au départ et vers la Suisse peut réduire ses émissions de gaz à effet de serre et son impact sur le climat, conformément aux objectifs de la stratégie climatique à long terme du Conseil fédéral.

Sur la base des travaux des organisations faitières de l'aviation au niveau mondial, européen et suisse, une «**Road Map Sustainable Aviation**» Suisse a été élaborée. Cette dernière se concentre sur les quatre ensembles de mesures suivants:

- *Développer le marché des SAF*: l'ensemble de mesures le plus important consiste à remplacer le kérosène fossile par des carburants biogènes et synthétiques (Sustainable Aviation Fuels, SAF). Dans ce contexte, les mesures pour développer le marché des SAF sont appliquées aussi bien au niveau de la demande que de l'offre. Les mesures internationales et transnationales sont prioritaires, mais peuvent être complétées de manière efficace par des mesures nationales suisses.
- *Promouvoir des avions plus efficaces*: promouvoir et encourager l'utilisation d'avions plus économes en carburant, en particulier sur les liaisons long-courriers, et à moyen et long terme, l'utilisation d'avions électriques sur les liaisons de courtes distances et d'avions à hydrogène sur les liaisons court et moyen-courriers.
- *Mettre en place des mesures opérationnelles*: une organisation du trafic aérien plus économe en carburant au sol et en vol.
- *Encourager la compensation*: compensation du CO₂ à court et moyen terme grâce à la compensation volontaire et la participation au système européen d'échange de quotas d'émission et au Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (COR-SIA), développement à moyen et long terme de marchés mondiaux pour les technologies d'émissions négatives (NET) afin de réduire les émissions restantes ayant une incidence sur le climat.

Inhaltsverzeichnis

	Das Wichtigste auf einer Seite	2
	L'essentiel en une page	3
	Inhaltsverzeichnis	4
	Abkürzungsverzeichnis	6
	Glossar	7
	Kurzfassung	10
	Résumé	17
1	Einleitung	24
2	Ausgangslage und Perspektiven	25
2.1	Klimaschutzstrategien und -ziele mit Bezug zur Luftfahrt.....	25
2.2	Flugverkehrsaufkommen im Jahr 2019.....	26
2.2.1	Global	26
2.2.2	Schweiz	27
2.3	Flugverkehrsperspektiven	30
2.3.1	Global	30
2.3.2	Schweiz	34
2.4	Internationales Umfeld	38
2.4.1	CORSIA.....	38
2.4.2	Emissionshandel EU-ETS und EHS der Schweiz.....	41
2.4.3	ReFuelEU Initiative	43
2.4.4	EU-Investitionsprogramm «Horizont Europa»	45
2.4.5	Technologische Standards der ICAO	45
2.5	Schweizer Politik	46
2.5.1	Flugticketabgabe und Abgabe Allgemeine Luftfahrt	47
2.5.2	Klimafonds.....	47
3	Ansatzpunkte und Massnahmen	49
3.1	Ansatzpunkte zur Minderung der Klimawirkung des Luftverkehrs.....	49
3.2	Massnahmenüberblick	56
3.3	Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen	58
3.4	Effizientere Flugzeuge	61
3.5	Offsetting	65
3.6	Ökonomische Massnahmen und Massnahmenmix zur SAF-Nutzung	69

3.6.1	Kerosinsteuer / Mineralölsteuer	69
3.6.2	Emissionshandelssystem.....	71
3.6.3	Start- und Landegebühren	77
3.6.4	Flugticketabgabe und Abgabe allgemeine Luftfahrt	79
3.6.5	Beimischquote für SAF	89
3.6.6	Massnahmenmix zur SAF-Nutzung	90
4	Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»	98
4.1	Grundsätze und Leitlinien	98
4.2	Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»	99
	Anhang A: Flugverkehr Schweiz	105
	Anhang B: EU-ETS und CH-EHS	107
	Anhang C: CO₂-Gesetz – den Luftverkehr betreffende Artikel	108
	Anhang D: Optionen für die Beimischquote - EU	113
	Literaturverzeichnis	115

Abkürzungsverzeichnis

ARCS	Aviation Research Center Switzerland
Art.	Artikel
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BECCS	Bioenergy with Carbon Capture and Storage
BFS	Bundesamt für Statistik
BSL	EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg
CCS	Carbon Capture and Storage
CEF	CORSIA eligible fuel
CFAC	Center for Aviation Competence
CH	Confoederatio Helvetica (Schweiz)
CH EHS	Emissionshandelssystem
CHF	Schweizer Franken
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ -eq	CO ₂ -Äquivalente
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Storage
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU Emissions Trading System (EU-Emissionshandelssystem)
EWR	Europäische Wirtschaftsraum
GVA	Aéroport International de Genève
IATA	International Air Transport Association (Dachverband der Fluggesellschaften)
ICAO	International Civil Aviation Organization (Sonderorganisation der Vereinten Nationen)
Mio.	Millionen
MIR	Lehrstuhl Management of Network Industries an der ETH Lausanne
Mrd.	Milliarden
NET	Negative Emission Technology
newMBM	new Market Based Measures für den internationalen Luftverkehr
PAX	Passagiere
PtL	Power to Liquid
PtX	Power to X
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SBAA	Swiss Business Aviation Association
StL	Sun to Liquid
t	Tonne
UBA	Umweltbundesamt
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
UZH	Universität Zürich
WEF	World Economic Forum
ZAV	Zentrum für Aviation
ZRH	Flughafen Zürich

Glossar

Absatzprinzip	Das Absatzprinzip umfasst die Emissionen auf Grund der gesamten in der Schweiz getankten Treibstoffmenge. Dabei wird zwischen Inlandverkehr (alle Flüge von A nach B innerhalb der Schweiz) und Auslandverkehr (alle Flüge von der Schweiz nach einer ausländischen Destination) unterschieden. Die Berechnung nach dem Absatzprinzip ermöglicht Aussagen über globale klimarelevante Effekte und deren nationale Anteile. Weil den geringen Flugdistanzen über schweizerischem Territorium vergleichsweise grosse getankte Treibstoffmengen (besonders bei Langstreckenflügen) gegenüberstehen, ergibt die Anwendung des Absatzprinzips grössere Verbrauchswerte und damit auch grössere Emissionswerte als die Berechnung gemäss Territorialprinzip. Mit dem Absatzprinzip werden die gesamten Emissionen der Flüge vom Start bis zur Landung der Schweiz zugerechnet. Sofern jedes Land mit Flugverkehr die Emissionen nach dem Absatzprinzip erfasst, werden sämtliche Emissionen aller Flüge ohne Doppelzählung ausgewiesen. ¹
Biofuels	Biofuels, oder Biokraftstoffe, sind Kraftstoffe, die aus biogenen Ressourcen (Pflanzen oder kohlenstoffhaltige Abfallprodukte) hergestellt werden. ²
Cap and Trade	«Deckel und Handel» umschreibt die beiden wichtigsten Elemente eines Emissionshandelssystems. Zuerst wird eine Obergrenze festgelegt, und im Umfang der maximal erlaubten Emissionsmenge werden Emissionsrechte zugeteilt. Diese Emissionsrechte sind handelbar und können zwischen den Marktteilnehmern ausgetauscht werden. ³
CO ₂	Kohlendioxid ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Es ist ein farb- und geruchloses Gas, das ein natürlicher Bestandteil der Luft ist. Allerdings erhöht der Mensch die CO ₂ -Konzentration in der Atmosphäre durch die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdölprodukte, Erdgas) erheblich. Die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre ist daher viel höher als diejenige der anderen Treibhausgase. Damit wird Kohlendioxid als bedeutendstes Treibhausgas und Hauptgrund für die globale, menschenverursachte Klimaänderung. ⁴
CO ₂ -eq	Das Kyoto-Protokoll umfasst neben dem CO ₂ weitere Treibhausgase: Methan (CH ₄), Lachgas (N ₂ O), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFC), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (PFC) und Schwefelhexafluorid (SF ₆). Die einzelnen Gase tragen unterschiedlich stark zur globalen Erwärmung bei. Für eine einheitliche Bemessungsgrundlage wird das globale Erwärmungspotenzial der anderen Gase in Relation zur Klimawirksamkeit von Kohlendioxid gestellt und in CO ₂ -Äquivalenten (CO ₂ -eq) ausgedrückt. So gilt für Methan beispielsweise CO ₂ -eq = 21, d.h. 1 Tonne Methan entspricht 21 Tonnen CO ₂ . ⁵
CO ₂ -Effekt (der Kerosinverbrennung)	Treibhausgaswirkung, also Erwärmung der Erdoberfläche, durch die bei der Kerosinverbrennung ausgestossenen CO ₂ -Emissionen
CORSIA	CORSIA ist eine globale, markbasierte Massnahme zur Kompensation und Reduktion der CO ₂ -Emissionen des internationalen Luftverkehrs. Angestrebt wird ein CO ₂ -neutrales Wachstum ab 2020. ⁶
Covid-19-Pandemie	Die Covid-19-Pandemie ist eine weltweite Gesundheitskrise, ausgelöst durch den neuen SARS-CoV-2 (Corona-)Virus. Das Virus wurde Ende 2019 erstmals in China entdeckt. ⁷

¹ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL o. J.

² International Air Transport Association IATA o. J.

³ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007).

⁴ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007).

⁵ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007).

⁶ ICAO o. J.

⁷ Bundesamt für Gesundheit BAG (2021).

Emissionshandels-system	Beim Aufbau eines Emissionshandelssystems wird zuerst eine Emissionsgrenze für das gesamte System definiert. Anschliessend werden die Emissionsrechte an die Teilnehmer des Emissionshandels verteilt. Damit erhalten Emissionen einen Preis. Emittiert ein Unternehmen mehr, als ihm Emissionsrechte zugeteilt wurden, muss es auf dem Markt zusätzliche Emissionsrechte erwerben. Emittiert es weniger, kann es die überzähligen Emissionsrechte verkaufen. Unternehmen, deren Reduktionskosten niedriger sind als der Preis für zusätzliche Emissionsrechte, werden ihre Emissionen im eigenen Unternehmen reduzieren. Firmen mit hohen Reduktionskosten, werden zusätzliche Emissionsrechte erwerben. Durch den Emissionshandel wird daher sichergestellt, dass die Emissionsreduktion dort erfolgt, wo dies am kostengünstigsten möglich ist. ⁸
Klimaneutralität	Von Klimaneutralität spricht man, wenn Treibhausgasemissionen innerhalb eines definierten Rahmens (z.B. Produkt, Veranstaltung, Land) durch geeignete Massnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen ausserhalb dieses Rahmens vollumfänglich kompensiert werden. ⁹
Nicht CO ₂ -Effekt (der Kerosinverbrennung)	Treibhausgaswirkung, also Erwärmung der Erdoberfläche, durch die bei der Kerosinverbrennung ausgestossenen Nicht-CO ₂ -Emissionen Wasserdampf, Russ, Stickoxid und Schwefeldioxid. Die aufgrund des Wasserdampf-Ausstosses gebildeten Kondensstreifen und der sich daraus entwickelnden Zirren-Bewölkung ist der wichtigste Erwärmungseffekt der Nicht-CO ₂ -Emissionen. Die Stickoxid- und Schwefeldioxidemissionen wirken aber nicht nur erwärmend, sondern auch kühlend: Stickoxid durch den Abbau von Methan und Aerosolbildung, Schwefeldioxid durch Reflexion und Aerosolbildung. ¹⁰
Offsetting	Offsetting, oder Kompensierung, bedeutet, dass das Ausstossen von CO ₂ kompensiert wird, indem der bezahlte Preis für das Emissionszertifikat in ein Projekt investiert wird, welches die Emission im selben Ausmass verhindert oder aus der Atmosphäre entfernt. ¹¹
ReFuelEU Aviation Initiative	Die ReFuelEU Aviation Initiative ist eine Initiative der EU, um die Reduktion der Emissionen im Flugverkehr voranzutreiben und die Markteinführung von SAF zu unterstützen. Die EU wird voraussichtlich im Februar 2021 einen ersten Vorschlag zur Ausgestaltung der ReFuelEU Aviation Initiative präsentieren. ¹²
SAF	Sustainable aviation fuel (SAF) beschreiben einen nachhaltigen Kraftstoff, welcher aus nicht-fossilen Rohstoffe gewonnen wird. Grundsätzlich können erneuerbare Synfuels und Biofuels als SAF bezeichnet werden. ¹³
Synfuels	In diesem Bericht verwenden wir den Begriff «Synfuels» - sofern nicht anders spezifiziert - für einen klimaneutralen, aus erneuerbaren Energien hergestellten kerosinähnlichen flüssigen Kraftstoff. Dieser kann mittels PtL- oder StL-Verfahren hergestellt werden. Synfuels können auch aus Erdgas hergestellt werden. Für diese immer noch CO ₂ -haltigen Kraftstoffe verwenden wir den Begriff «erdgasbasierte Synfuels». Weiter gibt es auch Synfuels, die aus erneuerbaren Energien hergestellt werden, aber denen anstelle von klimaneutralem C (Kohlenstoff) C als «Abfallprodukt» von industriellen Prozessen zugrunde liegt.

⁸ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007).

⁹ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007)

¹⁰ Neu, Urs (2020).

¹¹ Ecoact o. J.

¹² European Commission (2020c).

¹³ International Air Transport Association IATA o. J.

Territorialprinzip	Das Territorialprinzip umfasst die Emissionen innerhalb des schweizerischen Territoriums. Dazu gehören auch die Emissionen aus Überflügen ohne Landung oder Start in der Schweiz. Dieses Prinzip liefert Daten, die bedeutsam für die eigene Luftreinhaltepolitik der Schweiz sind. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der grösste Teil der ausgewiesenen Emissionen von den Überflügen stammt und der von der Schweiz kontrollierte Luftraum über die Schweizer Grenze herausragt. ¹⁴
PtL	Unter PtL (Power to Liquid) versteht man die Umwandlung von Elektrizität in flüssigen Treibstoff, der sehr ähnliche Eigenschaften hat wie fossiles Kerosin. Die Elektrizität kommt dabei erneuerbaren Quellen, wie bspw. aus Fotovoltaikanlagen, Wind- oder Wasserkraftwerken. Das für die Herstellung des flüssigen Treibstoffs notwendige CO ₂ kann aus den Abgasen von grossen Emittenten abgetrennt werden (CCU Carbon Capture and Use), womit aber die CO ₂ -Emissionen nur teilweise reduziert werden. Erst wenn das CO ₂ aus der Atmosphäre gewonnen wird, gilt der Treibstoff als klimaneutral. Beim sogenannten «Direct Air Capture Power to Liquid (PtL)» wird CO ₂ mittels grosser Filteranlagen direkt aus der Luft gewonnen. Parallel dazu wird aus Wasser durch ein mit erneuerbarer Energie betriebenes Elektrolyseverfahren Wasserstoff hergestellt. Ein Teil des Wasserstoffs wird verwendet, um das CO ₂ in CO umzuwandeln. In dieser Prozesskette entsteht sogenanntes Syngas (CO und H ₂), woraus Kerosin erzeugt werden kann. Die Gesamtbilanz des gewonnenen Treibstoffs bezüglich CO ₂ -Reduktion ist abhängig davon, wie energie- und ressourcenaufwändig die verwendete Infrastruktur ist und zu welchen Teilen die Prozessenergie (Wärme- und elektrische Energie) aus erneuerbaren Energiequellen stammt. ¹⁵
StL	«Sun to Liquid (StL)»: CO ₂ und Wasserdampf werden direkt der Umgebungsluft entzogen und mit Hilfe von thermochemischen Reaktoren, welche durch konzentrierte Solarstrahlung (via Sonnenspiegel) beheizt werden, zu Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H ₂) umgewandelt. Auch hier wird aus dem entstandenen Synthesegas Kerosin erzeugt. Die Gesamtbilanz bezüglich CO ₂ -Reduktion und Ressourcenschonung kann als sehr gut bezeichnet werden, da Kohlen- und Wasserstoff, die Grundbausteine des Treibstoffs, aus der Luft und die Prozesswärme direkt von der Sonne stammen. ¹⁶

¹⁴ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL o. J.

¹⁵ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020b)

¹⁶ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020b)

Kurzfassung

Herausforderung Klimawandel

Der Klimawandel ist eine der grössten Herausforderungen der Gegenwart. Es besteht heute weitgehend Konsens, dass die Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen, um schwere Schäden zu vermeiden. Mit dem Pariser Klimaübereinkommen von 2015 haben sich die Schweiz und alle anderen Signatarstaaten verpflichtet, die Treibhausgasmissionen bis 2030 markant zu senken. Zur Umsetzung dieser Reduktionsverpflichtung gemäss Pariser Klimaübereinkommen hat das Parlament das CO₂-Gesetz und der Bundesrat das Netto-Null-Ziel für den Zeithorizont bis 2050 verabschiedet. Damit entspricht die Schweiz dem international vereinbarten Ziel, die globale Klimaerwärmung auf maximal 1.5°C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen.

«Road Map Sustainable Aviation» – die Antwort der Schweizer Luftfahrt auf die Klimaherausforderung

Wie alle anderen Sektoren ist gemäss der langfristigen Klimastrategie des Bundesrats auch die Luftfahrt gefordert, ihren Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen zu leisten. Aviation Research Center Switzerland (ARCS) hat deshalb im Jahr 2020 das Projekt einer Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» gestartet und zusammen mit der Firma Ecoplan die vorliegende Studie ausgearbeitet. Eine Arbeitsgruppe mit Vertretern von SWISS, der Swiss Business Aviation Association, den Landesflughäfen Zürich, Genf und Basel, den Bundesämtern BAZL und BAFU sowie der ETH Zürich und der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW hat die Studie begleitet. In der Schlussphase des Projekts wurde die Gruppe durch easyJet ergänzt. Die vorliegende «Road Map Sustainable Aviation» zeigt den Weg, wie der Luftverkehr in und aus der Schweiz seine Treibhausgasemissionen bzw. Klimawirkung im Einklang mit den Zielen der bundesrätlichen langfristigen Klimastrategie reduzieren kann.

Die Grundsätze und Leitlinien der «Road Map Sustainable Aviation»

Zentrale Vorleistungen für die vorliegende Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» erbrachten auf globaler Ebene die Air Transport Action Group (ATAG) mit ihrem Bericht «Waypoint 2050», auf europäischer Ebene der Bericht «Destination 2050» von fünf zentralen Dachorganisationen des europäischen Luftverkehrs und auf schweizerischer Ebene die Arbeiten von Aerosuisse. Neben diesen wichtigen Vorleistungen orientiert sich die «Road Map Sustainable Aviation» an folgenden Grundsätzen und Leitlinien:

- *Das Netto-Null-Ziel ist erreichbar.* Es bedarf aber sehr grosser Anstrengungen, umgehen des Handeln und eine intensive internationale Zusammenarbeit. Die Schweiz ist auf diese Zusammenarbeit angewiesen – allein kann sie das Ziel nicht erreichen.

- *Emissionen reduzieren – Nutzen beibehalten:* Die CO₂-Emissionen sind auf Netto-Null zu bringen und die Nicht-CO₂-Effekte sind zu reduzieren, nicht der Nutzen, welcher die Luftfahrt für die Schweiz bringt. Die Reduktion der Nachfrage nach Flugreisen ist somit nicht Selbstzweck, sondern kann sich als Folge der zu treffenden, auf die CO₂-Emissionen und Nicht-CO₂-Effekte ausgerichteten Massnahmen ergeben.
- *Prioritäre internationale Massnahmen:* International koordinierte Massnahmen – auf globaler oder europäischer Ebene – haben Priorität. Die Schweiz beteiligt sich an den EU-Massnahmen und übernimmt diese. Die eigenständigen staatlichen Massnahmen sollen regelkonform sein in Bezug auf das internationale Regelwerk und subsidiär wirken, da wo die internationalen Massnahmen nicht ausreichen.
- *Internationale Wettbewerbsfähigkeit:* Mit den eigenständigen staatlichen Massnahmen darf die internationale Wettbewerbsfähigkeit des aus der Schweiz operierenden Linien- und Charterverkehrs sowie des Geschäftsverkehrs nicht gefährdet werden.
- *Handlungsspielraum nutzen:* Die Schweiz hat neben den staatenübergreifenden Massnahmen, die sie mitträgt, einen *erheblichen Handlungsspielraum für eigenständige Massnahmen*, den es zu nutzen gilt.
- *Fokus auf Emissionsreduktion im Luftfahrtsektor:* Prioritär sind die Emissionen innerhalb des Luftfahrtsektor zu reduzieren. Offsetting kann mittelfristig sinnvoll sein, bleibt aber längerfristig den nicht reduzierbaren Emissionen vorbehalten. Längerfristig soll beim Offsetting auf die negativen Emissionstechnologien (NET wie BECCS oder DACCS) gesetzt werden.
- *Technologieneutralität und -offenheit:* Alle klimawirksamen Technologien sollen ihren Beitrag zur Emissionsminderung leisten können und ein faires Konkurrieren zwischen den Technologien ermöglicht werden. Die Massnahmen sollen sich an der Emissionsminderung ausrichten und nichtdiskriminierend in Bezug auf die Technologiewahl ausgestaltet werden.
- *Schwerpunkte setzen:* Die Schweiz setzt vier Schwerpunkte in ihrem Handeln: Das Engagement für globale SAF-Märkte (SAF = Sustainable Aviation Fuels) und NET-Offsetting-Märkte (NET = Negative Emissionstechnologien), die Synfuel-Forschung und -Finanzierung sowie die Vorreiterrolle bei der Dekarbonisierung der Bodeninfrastruktur. Der erste Schwerpunkt liegt im Eigeninteresse der Schweiz, mit den drei restlichen Schwerpunkten will die Schweiz eine Vorreiterrolle spielen.
- *Kostenwahrheit im Luftverkehr:* Die Massnahmen sind darauf auszurichten, dass der Luftfahrtsektor seine vollen Kosten – und damit auch die Kosten der Dekarbonisierung – trägt.
- *Transparenz und Glaubwürdigkeit:* Die Fortschritte sollen dokumentiert (Monitoring) und die Massnahmenausrichtung periodisch überprüft werden (Aktualisierung der «Road Map Sustainable Aviation»). Monitoring und «Road Map» werden kommuniziert.

Die Schwerpunktsetzung der Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Die Schweiz ist arm an Rohstoffen für die Biofuel- und Synfuel-Produktion. Die Stärken der Schweiz zur SAF-Marktentwicklung liegen in folgenden Punkten:

- *Synfuel-Forschung*: Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der SAF-Herstellungstechnologien wie Power to Liquid (PtL inkl. Wasserstoff) oder Sun to Liquid (StL) (Einbringen des «Faktors» Wissen)
- *Finanzierung Synfuel-Produktion*: (Mit-)Finanzierung der Skalierung der SAF-Produktion (Einbringen des «Faktors» Kapital)

Weiter sollen sich die Schweizer Akteure für *globale SAF-Märkte und NET-Offsetting-Märkte* einsetzen. Einen Beitrag kann die Schweiz in der Förderung des Direct Air Capturing leisten, das sowohl bei der Produktion von Synfuel als auch beim NET-Offsetting (DACCS) künftig eine bedeutende Rolle spielen kann. Auch die Schweizer Flughäfen sollen eine Vorreiterrolle bei der *Dekarbonisierung der Bodeninfrastruktur* einnehmen.

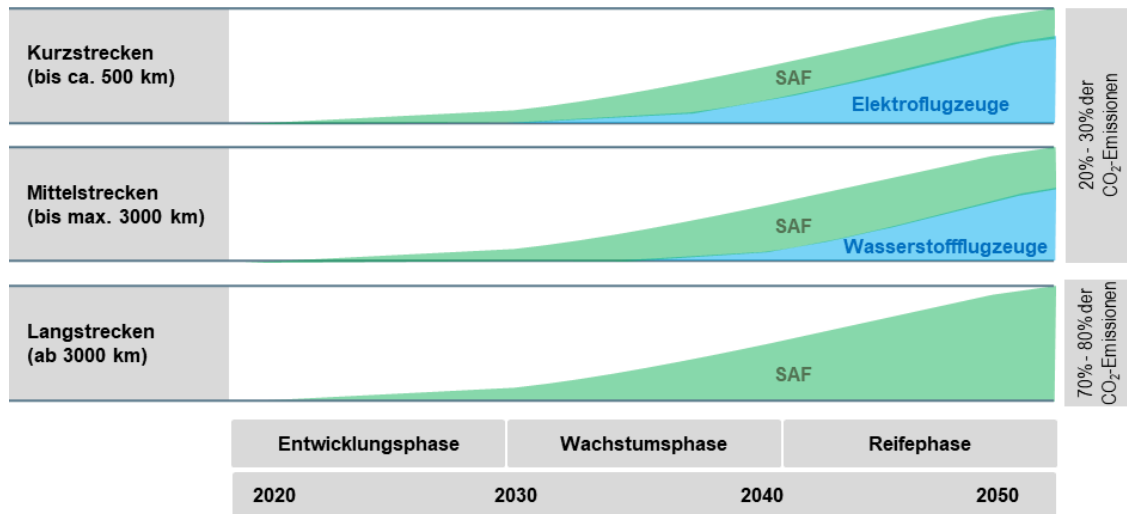
Abbildung 1: Die vier Schwerpunkte der Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»



Der Massnahmenmix in der «Road Map Sustainable Aviation»

Die Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» konzentriert sich für Langstreckenflugzeuge auf Massnahmen zur beschleunigten und verstärkten Nutzung umweltfreundlicher Treibstoffe (SAF). Für Kurz- und Mittelstrecken dürften neben der Nutzung von SAF auch der Einsatz effizienterer Flugzeuge, wie bspw. Elektro- oder Wasserstoffflugzeuge mittel- bis längerfristig eine Rolle spielen.

Abbildung 2: Massnahmenmix für eine Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»



Die Massnahmen zur Nutzung von SAF und zum Einsatz effizienterer Flugzeuge werden ergänzt mit weiteren Massnahmen zugunsten einer nachhaltigen Entwicklung der Luftfahrt. Der Fokus liegt dabei auf der Reduktion der Klimawirkung der Luftfahrt. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den vorgeschlagenen Massnahmenmix für eine «Road Map Sustainable Aviation», welche auf vier Massnahmenpakete setzt:

- **Offsetting** (→ Kapitel 3.5, Abbildung 3-9): Kurz- bis mittelfristige CO₂-Kompensation durch Teilnahme am europäischen Emissionshandel und dem Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) sowie über CORSIA hinausgehendes klassisches Offsetting als freiwillige Massnahme, mittel- bis längerfristiger Aufbau von globalen Märkten für negative Emissionstechnologien (NET) zur Reduktion der verbleibenden klimarelevanten Emissionen.
- **SAF-Marktentwicklung** (→ Kapitel 3.6, Abbildung 3-24): Schrittweiser Ersatz von fossilem Kerosin durch biogene und synthetische Treibstoffe. Bei der SAF-Marktentwicklung sind zwei zentrale Punkte zu beachten:
 - (i) Nachfrage- und angebotsseitige Massnahmen: Es braucht ein Zusammenspiel zwischen nachfrage- und angebotsseitigen Massnahmen, damit SAF, welches kurz- und auch mittelfristig noch viel teurer ist als fossiles Kerosin, auf dem Markt bestehen kann. Es braucht eine Kombination von Finanzierungs- und Lenkungsinstrumenten: (Mit-)Finanzierung der Forschung und der Skalierung der Produktion, Lenkung bzw. Setzung von Anreizen zur Nutzung von SAF.
 - (ii) Internationale, staatenübergreifende und eigenständige staatliche Massnahmen: International koordinierte Massnahmen – auf globaler oder europäischer Ebene – haben Priorität. Die eigenständigen staatlichen Massnahmen sollen regelkonform sein in Bezug auf das internationale Regelwerk und subsidiär wirken, da wo die internationalen Massnahmen nicht ausreichen.

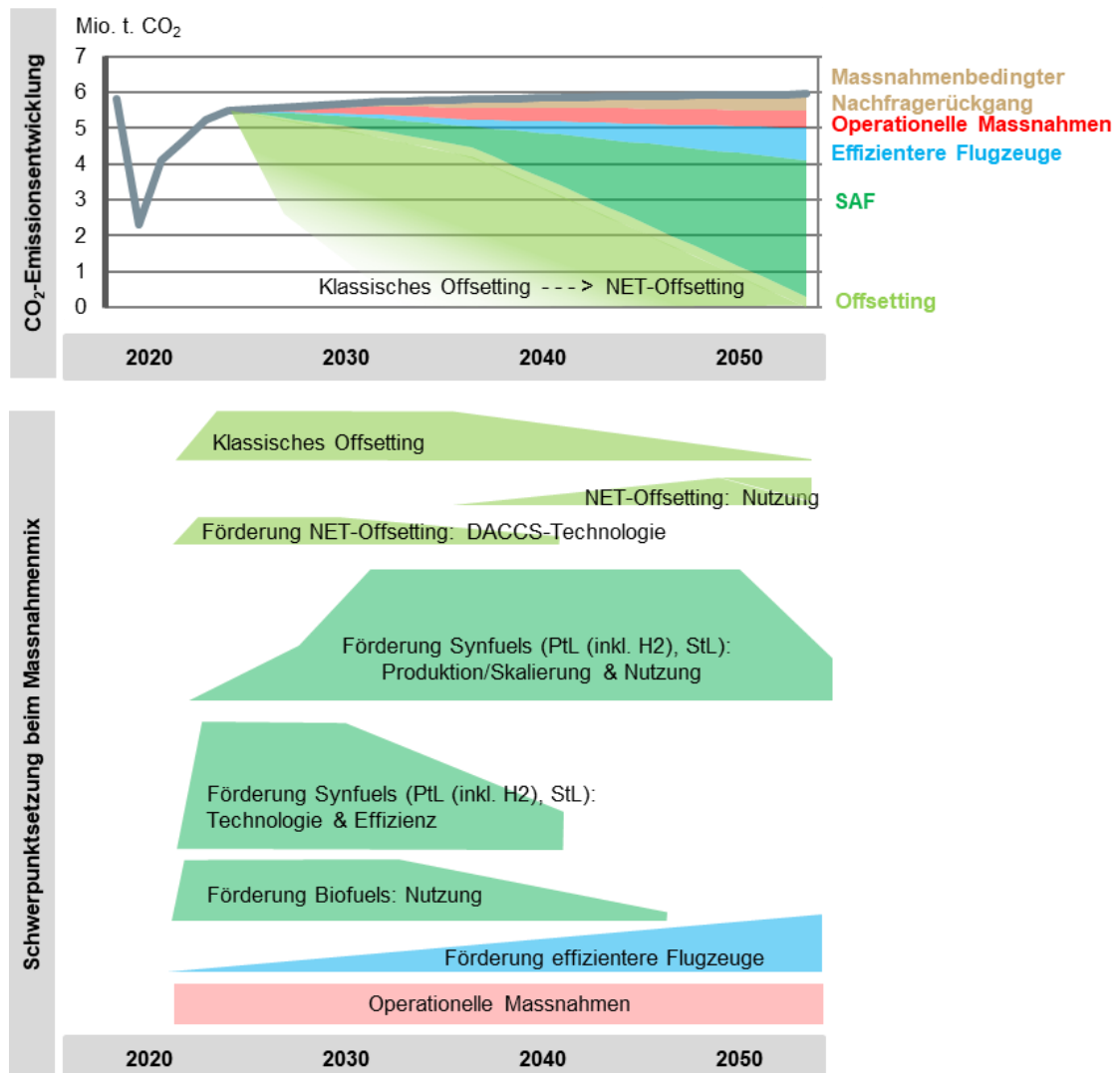
- *Förderung effizientere Flugzeuge* (→ Kapitel 3.4, Abbildung 3-8): Förderung und Anreize für den Einsatz von treibstoffeffizienteren Flugzeugen insbesondere auf dem Langstreckenverkehr sowie mittel- bis längerfristig der Einsatz von Elektroflugzeugen für den Kurzstreckenverkehr und Wasserstoffflugzeugen für den Kurz- und Mittelstreckenverkehr.
- *Operationelle Massnahmen* (→ Kapitel 3.3, Abbildung 3-7): Treibstoffeffizientere Abwicklung des Flugverkehrs am Boden und in der Luft.

Weiter ist zu beachten, dass wir uns in einem extrem dynamischen Umfeld bewegen – sowohl was die Technologieentwicklung als auch die Politik anbelangt. Allein auf europäischer Ebene sind mit der Weiterentwicklung des EU-ETS und der Abstimmung auf CORSIA und der Initiative ReFuelEU mit der Einführung einer europaweiten Beimischquote zwei zentrale Instrumente in Diskussion, die sich massgeblich auf die Ausgestaltung der eigenständigen staatlichen Massnahmen der Schweiz auswirken können. Die vorliegende Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» ist daher periodisch dem sich dynamisch entwickelnden technologischen und politischen Umfeld anzupassen.

Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Die Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» zeigt sofort umsetzbare Massnahmen und die Ausrichtung der mittel- bis längerfristigen Massnahmen auf. Dabei werden die allenfalls ab Beginn 2022 geltenden Regelungen gemäss revidiertem CO₂-Gesetz (Klimafonds und Flugticketabgabe) berücksichtigt. Die nachfolgende Abbildung 4 fasst die Vielzahl von Massnahmen in einer synoptischen Darstellung zusammen und zeigt, welche Akteure gefordert sind. Für die Details zu den einzelnen Massnahmen finden sich in der Abbildung 4 Verweise auf die entsprechenden Kapitel und Massnahmenlisten im Hauptbericht.

Abbildung 3: Massnahmenmix für eine Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»


































Lesehilfe:

Die erste Abbildung zeigt, dass der Hauptbeitrag zur Erreichung des Netto-Null-Ziels bei den CO₂-Emissionen in der Luftfahrt aus der Nutzung von SAF kommt. Wichtig sind aber auch die operationellen Massnahmen und der Einsatz effizienterer Flugzeuge. Welche Rolle das Offsetting langfristig übernimmt, ist noch offen und hängt von den künftigen Preisen für SAF und Negativemissionstechnologien ab. Kurz- und mittelfristig kann das über CORSIA hinausgehende klassische Offsetting als freiwillige Massnahme und Übergangslösung einen sinnvollen Beitrag an die CO₂-Minderung leisten.

Die zweite Abbildung zeigt die Schwerpunktsetzung beim Massnahmenmix. Unter «Förderung» verstehen wir im obigen Kontext nicht nur die direkte finanzielle Förderung, sondern auch indirekte Anreizwirkungen, welche bspw. die SAF-Nutzung fördert. Mit den farbigen Flächen illustrieren wir, wann und wie stark die Massnahmen greifen müssen: Operationelle Massnahmen sind eine Daueraufgabe. Die Förderung von effizienteren Flugzeugen gewinnt mit dem künftigen Einsatz neuer Antriebstechnologien (Elektro- und Wasserstoffflugzeuge) an Bedeutung. Mit der Förderung der Nutzung von Biofuels wird ein zeitnaher Start in die SAF-Nutzung ermöglicht («proof of concept»). Bei der Förderung der Synfuels sind zuerst die Effizienz und Technologie zu verbessern und mittelfristig die Produktionsanlagen auf grossindustrielles Niveau zu skalieren und die Nutzung zu intensivieren. Da die Synfuels auch langfristig teurer sein werden als fossiles Kerosin, kann auch längerfristig auf Massnahmen zur Förderung der SAF-Nutzung nicht verzichtet werden.

Abbildung 4: Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

2020	2025	2030	2040	2050	primäre Akteure	sekundäre Akteure
Offsetting (→ Kapitel 3.5, Abbildung 3-9)						
Klassisches Offsetting als freiwillige Massnahme / indirekte Anreize zur Förderung des klassischen Offsettings					                     	
Entwicklung eines globalen marktbasierenden Mechanismus (newMBM) zur Kompensation von CO ₂ -Emissionen und Nicht-CO ₂ -Effekten						
Umsetzung des marktbasierenden Kompensationsmechanismus für CO ₂ -Emissionen und Nicht-CO ₂ -Effekte (NET-Märkte wie newMBM)						
Forschungsförderung DAC-Technologie						
Förderung der Skalierung der industriellen DAC-Produktion						
SAF-Nutzung (→ Kapitel 3.6, Abbildung 3-24)						
Klärungs- und Abstimmungsbedarf mit anderen Sektoren						
Klärung der Allokation der Biofuel-Rohstoffe auf die Sektoren inkl. Luftverkehr						
Möglichkeiten zum Einsatz heimisch produziertem erneuerbarem Strom zur Herstellung von Synfuel (PtL, H ₂)						
Abstimmung und faire Lastenteilung zwischen dem Strassen- und Luftverkehrssektor bei der Förderung von Synfuel						
Angebotsseitige Massnahmen						
Forschungskonzept / Förderung der Forschung, Entwicklung zur effizienten, kostengünstigen Synfuel-Produktion (PtL, StL)						
Finanzierungskonzept / Förderung der Skalierung von Synfuel-Produktionsanlagen (PtL, StL)						
Förderung des Aufbaus von Buchungs- und Transaktionsplattformen (bspw. Book-and-Claim-System)						
Nachfrageseitige Massnahmen						
Rechtliche Grundlagen schaffen für eine Teilnahme an einer europäisch harmonisierten Beimischquote						
Start-, Lande- und Passagiergebühren mit SAF-Betankungs-Anreiz						
Angebots- und nachfrageseitige Massnahmen						
Flugticketabgabe mit Branchenvereinbarung: Verpflichtung für die Airlines SAF zu tanken						
Flugticketabgabe mit Fokus auf Finanzierung und Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin						
Effizientere Flugzeuge (→ Kapitel 3.4, Abbildung 3-8)						
Nischen-Forschungsstrategie und Aktionsplan «Effiziente Flugzeugkonzepte» / Rolle der Schweiz bei der Entwicklung alternativer Antriebskonzepte						
Bereitstellung der Betankungsinfrastruktur (Wasserstoff, Strom)						
Einsatz treibstoff-effizienter Flugzeuge (Anreizmechanismus)						
Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen (→ Kapitel 3.3, Abbildung 3-7)						
Treibstoff-optimierter Flugbetrieb der Fluggesellschaften (Flugplanung, Gewichtsreduktion, Wartung,...)						
Flugverkehrsmanagement (Single European Sky, aussereuropäische ATM-Effizienz)						
Bodenmassnahmen (Dekarbonisierung Flughafenbetrieb, Taxi-Emissionen und APU-Einsatz)						
Klima-optimierter Flugbetrieb (unter Einbezug der Nicht-CO ₂ -Effekte) (Atmosphärenforschung, operable Umsetzung)						
2020	2025	2030	2040	2050		
Periodische Aktualisierung der Road Map Sustainable Aviation / Monitoring und Kommunikation						

- Legende:**
-  = Schweizer Akteur
 -  = europäischer, globaler Akteur
 -  = Wissenschaft (unterstützt durch CH-Gelder), in der Regel im Verbund mit europäischen oder globalen Forschungsnetzwerken
 -  = Schweizer Flughäfen
 -  = Airlines
 - ARCS** = Aviation Research Center Switzerland
 -  = Schweizer Institutionen (Bund, Bundesämter usw.)
 -  = ICAO
 -  = EU-Gremien
 -  = Schweizer, europäisches oder globales Unternehmen (mit Schweizer Finanzierungshilfen)

Résumé

Le défi du changement climatique

Le changement climatique est l'un des plus grands défis de notre époque. Il existe aujourd'hui un large consensus sur le fait que les émissions de gaz à effet de serre doivent être réduites pour éviter de graves conséquences. Avec l'Accord de Paris sur le climat de 2015, la Suisse et tous les autres Etats signataires se sont engagés à réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030. Afin de mettre en œuvre cet engagement de réduction conformément à l'accord de Paris sur le climat, le Parlement a adopté la loi sur le CO₂ et le Conseil fédéral l'objectif de zéro émission nette d'ici 2050. La Suisse respecte donc l'objectif convenu au niveau international de limiter le réchauffement de la planète à 1,5°C maximum par rapport à l'époque préindustrielle.

«Road Map Sustainable Aviation» – la réponse de l'aviation suisse au défi climatique

Comme tous les autres secteurs, l'aviation est appelée, conformément à la stratégie climatique à long terme du Conseil fédéral, à contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. A ce titre, l'Aviation Research Center Switzerland (ARCS) a lancé en 2020 le projet d'une «Road Map Sustainable Aviation» et a préparé la présente étude en collaboration avec la société Ecoplan. Un groupe de travail composé de représentants de SWISS, de l'Association suisse de l'aviation d'affaires, des aéroports nationaux de Zurich, Genève et Bâle, de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) et de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), ainsi que de l'EPF Zurich et de la Haute école spécialisée zurichoise (ZHAW) a accompagné l'étude. Durant la phase finale du projet easyJet a rejoint le groupe de travail. Cette «Road Map Sustainable Aviation» montre comment le transport aérien au départ et vers la Suisse peut réduire ses émissions de gaz à effet de serre et son impact sur le climat, conformément aux objectifs de la stratégie climatique à long terme du Conseil fédéral.

Les principes et les lignes directrices de la «Road Map Sustainable Aviation»

Les principaux travaux préliminaires à la présente «Road Map Sustainable Aviation» ont été réalisés au niveau mondial par l'Air Transport Action Group (ATAG) avec son rapport «Waypoint 2050», au niveau européen avec le rapport «Destination 2050» de cinq organisations faitières de l'aviation européenne, et au niveau suisse par Aerosuisse. Outre ces importants travaux préliminaires, la «Road Map Sustainable Aviation» repose sur les principes et lignes directrices suivants:

- *L'objectif de zéro émission nette est réalisable.* Toutefois, cela implique beaucoup d'efforts, une action immédiate et une coopération internationale intensive. La Suisse dépend de cette coopération, elle ne peut pas atteindre cet objectif seule.

- *Réduire les émissions – conserver le bénéfice*: il faut ramener les émissions de CO₂ à un niveau de zéro émission nette et réduire les effets des autres gaz, et ce, sans perdre le bénéfice que l'aviation apporte à la Suisse. La réduction de la demande en transport aérien n'est donc pas une fin en soi, mais peut être une conséquence des mesures à prendre concernant les émissions de CO₂ et les effets des autres gaz.
- *Priorité aux mesures internationales*: les mesures coordonnées au niveau international (mondial ou européen) sont prioritaires. La Suisse adopte et participe aux mesures de l'UE. Les mesures nationales prises par le gouvernement doivent être conformes aux règles et règlements internationaux et avoir un effet subsidiaire lorsque les mesures internationales ne sont pas suffisantes.
- *Concurrence internationale*: les mesures nationales prises par le gouvernement ne doivent pas mettre en danger la compétitivité internationale du trafic de ligne, du trafic charter et du trafic d'affaires au départ de la Suisse.
- *Utiliser la marge de manœuvre*: outre les mesures transnationales qu'elle soutient, la Suisse dispose d'une grande marge de manœuvre concernant ses mesures nationales, et il convient de l'utiliser.
- *Mettre l'accent sur la réduction des émissions dans le secteur de l'aviation*: la priorité doit être donnée à la réduction des émissions dans le secteur de l'aviation. La compensation peut être judicieuse à moyen terme. Mais à long terme, elle est réservée aux émissions qui ne peuvent pas être réduites. A plus long terme, la compensation doit reposer sur des technologies d'émissions négatives (NET comme le BECCS ou le DACCS).
- *Neutralité envers les choix technologiques*: Toutes les technologies, efficace pour le climat, doivent être utilisées pour une réduction des émissions et il doit avoir une concurrence juste entre ces technologies. Le choix de ces mesures doit se faire en se basant sur l'importance de la réduction de émissions et ne doit pas exclure une ou l'autre technologie.
- *Définir des priorités*: la Suisse définit quatre priorités dans ses actions: l'engagement en faveur des marchés internationaux de SAF (Sustainable Aviation Fuels) et de compensation par les NET (Negative Emission Technologies), la recherche et le financement des carburants synthétiques, ainsi que le rôle de précurseur dans la décarbonation des infrastructures au sol. La Suisse a un intérêt direct dans la première priorité. Avec les trois autres, elle compte jouer un rôle de pionnier.
- *Réalité des coûts dans le transport aérien*: les mesures doivent faire en sorte que le secteur de l'aviation supporte l'intégralité de ses coûts – y compris ceux de la décarbonation.
- *Transparence et crédibilité*: les progrès doivent être documentés (suivi) et l'orientation des mesures doit être revue périodiquement (mise à jour de la « Road Map Sustainable Aviation »). Le suivi et la « Road Map » sont communiqués.

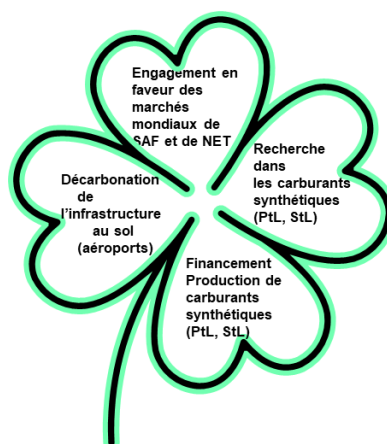
Le choix des priorités de la «Road Map Sustainable Aviation» Suisse

La Suisse est pauvre en matières premières pour la production de biocarburants et de carburants synthétiques. Les atouts de la Suisse concernant le développement du marché des SAF résident dans les points suivants:

- *la recherche en carburants synthétiques*: recherche et développement pour améliorer les technologies de production de SAF telles que Power to Liquid (PtL y compris l'hydrogène) ou Sun to Liquid (StL) (apport du «facteur» connaissances)
- *le financement de la production de carburants synthétiques*: (co)financement de la mise à l'échelle de la production de SAF (apport du «facteur» capital)

En outre, les acteurs suisses doivent plaider en faveur *des marchés internationaux de SAF et des marchés de compensation par les NET*. La Suisse peut contribuer à promouvoir le captage direct de l'air (Direct Air Capturing), qui peut jouer un rôle important à l'avenir, aussi bien pour la production de carburants synthétiques que pour la compensation par les NET (DACCS). Les aéroports suisses doivent également jouer un rôle de pionnier dans la *décarbonation des infrastructures au sol*.

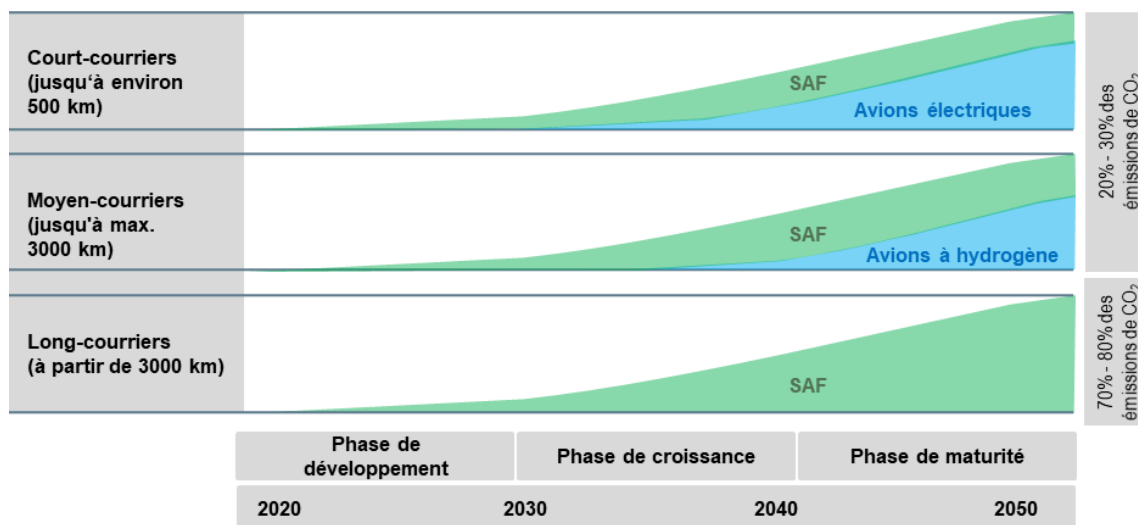
Figure 1: Les quatre priorités de la «Road Map Sustainable Aviation» Suisse



La série de mesures de la «Road Map Sustainable Aviation»

Pour les avions long-courriers, la «Road Map Sustainable Aviation» Suisse se concentre sur les mesures visant à accélérer et à renforcer l'utilisation de carburants respectueux de l'environnement. Pour les vols court et moyen distance, nous voyons aussi, à côté de l'utilisation de carburants respectueux de l'environnement, l'utilisation des avions à motorisation plus efficace, comme par exemple des avions électriques ou à hydrogène, qui pourront jouer un rôle à moyen- ou long-terme.

Figure 2: Série de mesures pour la «Road Map Sustainable Aviation» Suisse



Les mesures pour l'utilisation de carburants respectueux de l'environnement et favorisant l'utilisation des avions à motorisation plus efficiente seront complétées avec d'autres mesures en faveur du développement durable de l'aviation. L'accent est mis sur la réduction de l'impact de l'aviation sur le climat. La Figure 3 suivante illustre la série de mesures proposées pour une «Road Map Sustainable Aviation», qui repose sur quatre ensembles de mesures:

- *Compensation* (→ Chapitre 3.5, Figure 3-9): compensation du CO₂ à court et moyen terme grâce à la participation au système européen d'échange de quotas d'émission et au Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), et de la compensation classique volontaire allant au-delà de CORSIA, développement à moyen et long terme de marchés mondiaux pour les technologies d'émissions négatives (NET) afin de réduire les émissions restantes ayant une incidence sur le climat.
- *Développer le marché des SAF* (→ Chapitre 3.6, Figure 3-24): remplacement progressif du kérosène fossile par des combustibles biogènes et synthétiques. Deux points essentiels doivent être pris en compte dans le développement du marché des SAF:
 - (i) les mesures au niveau la demande *et* de l'offre: une interaction entre les mesures au niveau de la demande et de l'offre est nécessaire pour que les SAF (qui restent beaucoup plus chers que le kérosène fossile à court et moyen terme) puissent survivre sur le marché. Une combinaison d'outils de financement et de pilotage est nécessaire: (co)financer la recherche et la mise à l'échelle de la production, guider ou encourager l'utilisation des SAF.
 - (ii) les mesures internationales, transnationales *et* nationales: les mesures coordonnées au niveau international (mondial ou européen) sont prioritaires. Les mesures nationales prises par le gouvernement doivent être conformes aux règles et règlements internationaux et avoir un effet subsidiaire lorsque les mesures internationales ne sont pas suffisantes.

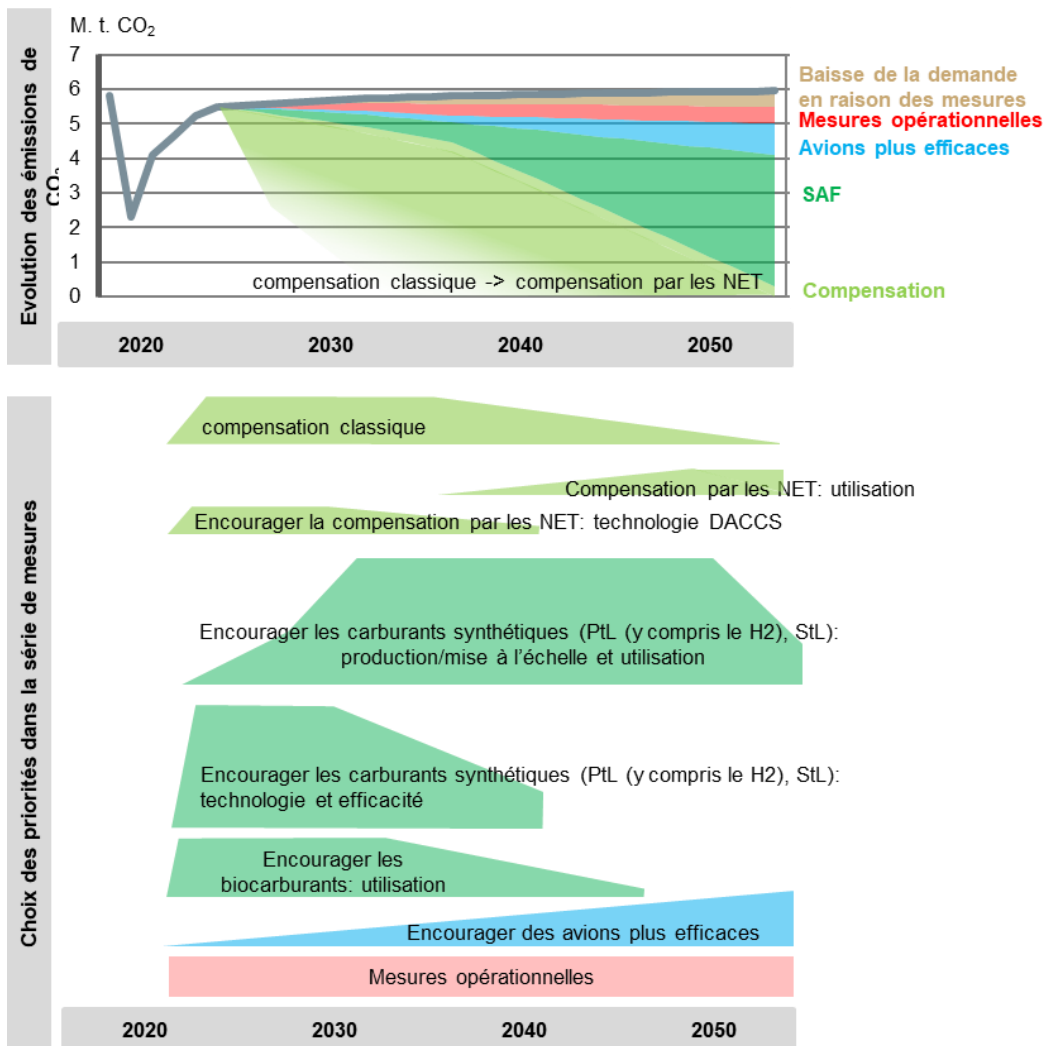
- *Promouvoir des avions plus efficaces* (→ Chapitre 3.4, Figure 3-8): promouvoir et encourager l'utilisation d'avions plus économes en carburant, en particulier sur les liaisons long-courriers, et à moyen et long terme, l'utilisation d'avions électriques sur les liaisons de courtes distances et d'avions à hydrogène sur les liaisons court et moyen-courriers.
- *Mesures opérationnelles* (→ Chapitre 3.3, Figure 3-7): une organisation du trafic aérien plus économe en carburant au sol et en vol.

A noter également que nous évoluons dans un environnement extrêmement dynamique – aussi bien en termes de développement technologique que de politique. Rien qu'au niveau européen, avec le développement continu du SEQE-UE (ETS-EU), l'adoption du régime CORSIA et l'initiative ReFuelEU prévoyant l'introduction d'un quota de mélange de carburant à l'échelle européenne, deux instruments majeurs sont en cours de discussion et pourraient avoir un impact significatif sur la conception des mesures nationales en Suisse. La présente «Road Map Sustainable Aviation» Suisse doit donc être périodiquement adaptée à un environnement technologique et politique en pleine évolution.

«Road Map Sustainable Aviation» Suisse

La «Road Map Sustainable Aviation» Suisse présente les mesures qui peuvent être mises en œuvre immédiatement et l'orientation des mesures à moyen et long terme. Les éventuelles réglementations applicables à partir de début 2022 conformément à la révision de la loi sur le CO₂ (fonds pour le climat et taxe sur les billets d'avion) seront prises en compte. La Figure 4 suivante résume la diversité des mesures dans une représentation synthétique et indique les acteurs concernés. Pour plus de détails sur les différentes mesures, voir la Figure 4 pour les références aux chapitres correspondants et les listes de mesures dans le rapport principal.

Figure 3: Série de mesures de la «Road Map Sustainable Aviation» Suisse
































































































Aide à la lecture:

La première figure montre que la principale contribution pour atteindre l'objectif de zéro émission nette en CO₂ dans l'aviation provient de l'utilisation des SAF. Toutefois, les mesures opérationnelles et l'utilisation d'avions plus efficaces sont également des facteurs importants. Le rôle de la compensation à long terme n'est pas encore tranché et dépend du prix des SAF et des technologies d'émissions négatives à l'avenir. A court- et moyen-terme, une compensation, au-delà de CORSIA comme mesure volontaire et de transition, peut être une contribution logique pour la réduction des émissions de CO₂.

La deuxième figure illustre le choix des priorités dans la série de mesures. Dans le contexte ci-dessus, nous entendons par «encourager» non seulement le soutien financier direct, mais aussi les effets incitatifs indirects qui encouragent, notamment, l'utilisation des SAF. Les zones colorées illustrent quand et dans quelle proportion les mesures doivent prendre effet: les mesures opérationnelles ont un caractère permanent. Promouvoir des avions plus efficaces devient de plus en plus important avec l'utilisation à venir de nouvelles technologies de propulsion (avions électriques et à hydrogène). Encourager l'utilisation des biocarburants permet de lancer rapidement l'utilisation des SAF («proof of concept»). Pour encourager l'usage des carburants synthétiques, il convient d'abord d'améliorer l'efficacité et la technologie et, à moyen terme, de développer les installations de production à un niveau industriel de grande ampleur et d'intensifier l'utilisation. Puisque les carburants synthétiques resteront plus chers que le kérosène fossile à long terme, il n'est pas possible de faire l'impasse sur des mesures visant à promouvoir l'utilisation des SAF également sur le long terme.

Figure 4: «Road Map Sustainable Aviation» Suisse

2020	2025	2030	2040	2050	principaux acteurs	acteurs secondaires
Compensation (→ Chapitre 3.5, Figure 3-9) La compensation classique comme mesure volontaire / incitations indirectes pour encourager la compensation classique Développement d'un mécanisme mondial basé sur le marché (CORSIA+, EU-ETS+) pour la compensation des émissions de Mise en œuvre du mécanisme de compensation basé sur le marché pour les émissions de CO ₂ et les autres gaz (marchés des NET tels que CORSIA+, ETS/EU-ETS+) Financement de la recherche Technologie Encouragement de la mise à l'échelle de la production DAC					              	              
Utilisation des SAF (→ Chapitre 3.6, Figure 3-24) Besoin de clarification et de coordination avec d'autres secteurs Clarification de la répartition des matières premières pour les biocarburants entre les secteurs, y compris le transport aérien Possibilités d'utiliser une électricité renouvelable produite dans le pays pour la production de carburants synthétiques (PtL) Coordination et partage équitable de la charge entre les secteurs du transport routier et aérien dans le cadre de la Mesures au niveau de l'offre Concept de recherche / soutien à la recherche, développement pour une production efficace et rentable de carburants Concept de financement / soutien à la mise à l'échelle d'installations de production de carburants synthétiques (PtL, StL) Encourager le développement de plateformes de réservation et de transaction (par exemple, un système de réservation et Mesures au niveau de la demande Créer les bases légales pour la participation à un quota de mélange de carburants européen harmonisé Taxes de décollage, d'atterrissage et d'aéroport avec incitation pour un ravitaillement en SAF Mesures au niveau de l'offre et de la demande Taxe sur les billets d'avion avec un accord de branche: obligation pour les compagnies aériennes de se ravitailler en SAF Taxe sur les billets d'avion visant à financer et à compenser la différence de prix entre les SAF et le kérosène fossile					           	           
Des avions plus efficaces (→ Chapitre 3.4, Figure 3-8) Stratégie de recherche de niche et plan d'action pour des «concepts d'avions efficaces» / le rôle de la Suisse dans le développement de nouvelles technologies de propulsion Mise à disposition de l'infrastructure de ravitaillement (hydrogène, électricité) Utilisation d'avions économes en carburant (mécanisme d'incitation)					    	    
Mesures opérationnelles et infrastructurelles (→ Chapitre 3.3, Figure 3-7) Navigation des compagnies aériennes optimisée en termes de carburant (planification des vols, réduction du poids, Gestion du trafic aérien (Ciel unique européen, efficacité de l'ATM extra-européenne) Mesures au sol (décarbonation de l'activité aéroportuaire, émissions des taxis et utilisation des APU) Navigation optimisée termes de climat (en tenant compte des effets des autres gaz que le CO ₂) (recherche atmosphérique,					          	          
2020	2025	2030	2040	2050		
Mise à jour périodique de la «Road Map Sustainable Aviation» pour une aviation durable / Suivi et communication						

- Légende:**
- = acteur suisse
 - = acteur européen, mondial
 -  = science (soutenue par des fonds suisses), généralement en association avec des réseaux de recherche européens ou mondiaux
 -  = aéroports suisses
 -  = compagnies aériennes
 - ARCS** = Aviation Research Center Switzerland
 -  = Institutions suisses (gouvernement fédéral, offices fédéraux, etc.)
 -  = OACI
 -  = instances de l'UE
 -  = entreprise suisse, européenne ou mondiale (avec un soutien financier suisse)

1 Einleitung

Die Luftfahrt gehört zu den bedeutenden Emittenten von Treibhausgasen. Trotz der Corona-Krise wird davon ausgegangen, dass der Flugverkehr mittelfristig weiter wachsen wird.

In Übereinstimmung mit den Zielen des Bundesrates sollen Schritte zur Klimaneutralität des Luftverkehrs eingeleitet werden. Dazu sind verschiedene Massnahmen denkbar, zu denen eine Auslegeordnung erstellt und im Sinne einer Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» mit einem kurz- und mittelfristigen Zeithorizont bis 2030 und einem Ausblick auf 2050 konkretisiert werden soll. Zu berücksichtigen ist auch die voraussichtlich bevorstehende Einführung einer Ticketabgabe. Aktuell sind sich Fachleute einig, dass für eine starke Reduktion der Klimawirkung des Flugverkehrs eine verstärkte Nutzung von SAF (Sustainable Aviation Fuel) ein wichtiger Pfeiler einer solchen Road Map ist.

Ecoplan hat im Auftrag des ARCS (siehe Kasten) die vorliegende Studie in Zusammenarbeit mit Exponenten der Bundesämtern BAZL und BAFU, mit den grössten Landesflughäfen (BSL, GVA, ZRH), der SWISS, der Swiss Business Aviation Association (SBAA) und easyJet erarbeitet. Die Studie hat das Ziel, *mögliche Massnahmen zur beschleunigten und verstärkten Nutzung umweltfreundlicher Treibstoffe aufzuzeigen und diese Massnahmen – zusammen mit weiteren Massnahmen zugunsten einer nachhaltigen Entwicklung der Luftfahrt – in einen inhaltlichen und zeitlichen Bezug im Hinblick auf die starke Reduktion der Klimawirkung der Luftfahrt zu stellen («Road Map»)*. Dabei sollen die allenfalls ab Beginn 2022 geltenden Regelungen gemäss revidiertem CO₂-Gesetz (Klimafonds und Flugticketabgabe) berücksichtigt werden.

Die vorliegende Studie untersucht somit nur einen Aspekt der umweltbezogenen Nachhaltigkeit des Luftverkehrs – namentlich die Reduktion seiner Klimawirkung. Andere Aspekte der Nachhaltigkeit, wie bspw. Lärm oder lokale Luftqualität, werden in der vorliegenden Studie nicht analysiert. Parallel erarbeitet Aerosuisse Massnahmen zu CO₂-Reduktionsmassnahmen im Luftverkehr.¹⁷ Die Massnahmen der vorliegenden Road Map und der von Aerosuisse erarbeiteten Massnahmen überlappen sich teilweise.

Aviation Research Center Switzerland (ARCS) (vgl. www.arcs.aero)

Im Unterschied zu anderen europäischen Ländern besass die Schweiz bis Mitte 2017 kein nationales Kompetenzzentrum für Aviatik-Forschung. Die schweizerische Luftfahrt braucht jedoch mehr Innovationen, wenn sie ihre Effizienz, Sicherheit und Umweltfreundlichkeit weiter verbessern will. Der Bundesrat hat deshalb in seinem luftfahrtpolitischen Bericht 2016 die Schaffung eines entsprechenden Zentrums gefordert, welches eng mit der Aviatik-Industrie und den Behörden zusammenarbeiten soll. Das Zentrum für Aviatik (ZAV) der ZHAW School of Engineering, das Center for Aviation Competence (CFAC) der Universität St.Gallen und der Lehrstuhl Management of Network Industries der ETH Lausanne (MIR) haben am 30. Juni 2017 das «Aviation Research Center Switzerland» (ARCS) gegründet. Kurz darauf ist die Universität Zürich (UZH) beigetreten und ARCS ist offen für weitere Hochschulen und Universitäten, welche einen wissenschaftlichen Beitrag leisten können.

¹⁷ Aerosuisse (2021).

2 Ausgangslage und Perspektiven

2.1 Klimaschutzstrategien und -ziele mit Bezug zur Luftfahrt

Global

Im Jahr 2009 hat die **IATA** eine Klimaschutzstrategie mit Zielen in Bezug auf die Energieeffizienz und die CO₂-Emissionen sowie einem Aktionsplan verabschiedet. Gemäss dieser Strategie sollen ab 2020 die CO₂-Emissionen nicht mehr steigen und die Netto-CO₂-Emissionen bis 2050 50% unter dem Wert aus dem Jahr 2005 liegen. Neben technologischen, operationellen und infrastrukturellen Massnahmen sollen mit einem globalen marktbasierten Instrument die CO₂-Ziele erreicht werden. Die **ICAO** hat aufbauend auf den CO₂-Emissionszielen der IATA und als Reaktion auf das Pariser Abkommen 2016 beschlossen, ab 2020 ein CO₂-neutrales Wachstum anzustreben und hat daher eine globale und marktbasierte Massnahme (**CORSIA**, vgl. Kapitel 2.4.1) zur Begrenzung der CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs beschlossen. Neben diesem klimaneutralen Wachstum setzt die ICAO ein weiteres Ziel zur Verbesserung der Treibstoffeffizienz um 2% pro Jahr. Neben CORSIA avisiert die ICAO auch technologische und operationelle Massnahmen wie auch die Entwicklung von SAFs.

EU

Die EU hat sich zum Pariser Abkommen bekannt und will sich für 2050 die Klimaneutralität als Ziel setzen, welches in dem noch in Verhandlung stehenden Europäischen Klimaschutzgesetz verankert werden soll. Die EU kann dabei auf bereits bestehende Instrumente aufbauen, wie dem **EU-ETS** (vgl. Kapitel 2.4.2), welchem auch die innereuropäische Luftfahrt unterstellt ist. Die Europäische Kommission verschreibt sich dem **Green Deal** als Politikstrategie für Klimaschutz in der Europäischen Union. Gemäss Green Deal müssen die verkehrsbedingten Emissionen für Strasse, Schiene, Luft- und Schifffahrt bis 2050 um 90 % gesenkt werden. Um diese Strategie umzusetzen, hat die Kommission viele Vorschläge angekündigt – unter anderem die für den Luftverkehrsbereich relevante **ReFuelEU Initiative** (vgl. Kapitel 2.4.3).

Schweiz

Im Oktober 2017 hat die Schweiz das Pariser Klimaübereinkommen ratifiziert. Dieses hat zum Ziel, die globale Klimaerwärmung auf maximal 1.5°C gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen. Damit die Schweiz ihren Beitrag zur Erreichung dieses international vereinbarten Ziels leistet, hat der Bundesrat im August 2019 entschieden, dass die Schweiz bis 2050 klimaneutral sein soll, also Netto-Null Treibhausgasemissionen erreichen. Gemäss der **langfristigen Klimastrategie** des Bundesrats soll der internationale Luftverkehr ab der Schweiz im Jahr 2050 netto möglichst keine klimawirksamen Emissionen mehr verursachen.¹⁸

Die Schweiz trägt mit **CORSIA** (siehe Abschnitt 2.4.1) und dem **EU-ETS** (vgl. Abschnitt 2.4.2) die international wichtigsten Massnahmen mit. Beabsichtigt ist, dass – unter dem Vorbehalt

¹⁸ Schweizerischer Bundesrat (2021).

der Volksabstimmung vom Juni 2021 – ein **neues CO₂-Gesetz** per 1.1.2022 in Kraft tritt und auch für den Luftverkehr wesentliche Änderungen bringt.

2.2 Flugverkehrsaufkommen im Jahr 2019

2.2.1 Global

2019 wurden weltweit **4.5 Milliarden Passagiere befördert**.¹⁹ Rein rechnerisch würde dies bedeuten, dass rund jeder vierte Mensch einmal im Jahr einen Hin- und Rückflug beansprucht. Allerdings ist es so, dass das Fliegen nur einem kleineren Teil der Weltbevölkerung vorbehalten ist.²⁰

Das Total der **CO₂-Emissionen** aus dem Treibstoffverbrauch für den weltweiten Luftverkehr²¹ hat einen **Anteil von knapp 2% an den gesamten globalen Treibhausgasemissionen**.²² 85% der Emissionen sind dabei dem Passagierverkehr und 15% der Frachtverkehr (Frachtflugzeuge und «Belly Cargo») zuzurechnen.²³

Nicht nur die CO₂-Emissionen des Luftverkehrs, sondern auch die **Nicht-CO₂-Emissionen** des Luftverkehrs erzeugen Klimawirkung. Insbesondere die Bildung von Kondensstreifen und der sich daraus entwickelnden Zirren-Bewölkung führt nach heutiger Schätzung überwiegend zu einer Erwärmung der Erdoberfläche. **Falls die Nicht-CO₂-Emissionen im Vergleich zu den letzten 20 Jahren vor der Covid-Pandemie weiter steigen, wird die Erwärmungswirkung dieses Nicht-CO₂-Effekts als mindestens so bedeutend eingeschätzt wie diejenige aus den direkten CO₂-Emissionen**.²⁴

¹⁹ International Air Transport Association IATA (2020a).

²⁰ Umweltbundesamt UBA (2019).

²¹ Im Jahr 2019 betragen die globalen CO₂-Emissionen des Flugverkehrs rund 918 Mio. t CO₂, vgl. The International Council on Clean Transportation ICCT (2020).

²² Die gesamten globalen Treibhausgasemissionen inklusive LUCF betragen 2017 rund 50'000 Mio. t CO₂-eq, vgl. CAIT Climate Data Explorer (2021).

²³ The International Council on Clean Transportation ICCT (2020).

²⁴ Gemäss Lee; Fahey; Skowron; u. a. (2021) ist bei gleichbleibender Zunahme der Nicht-CO₂-Emissionen wie in den letzten 18 Jahre das gesamte globale Erwärmungspotential des Flugverkehrs rund dreimal so hoch wie das Erwärmungspotenzial aus den direkten CO₂-Emissionen des Treibstoffverbrauchs (gemessen mit der GWP*-Metrik). Gemäss Lee; Fahey; Skowron; u. a. (2021) ist allerdings die Unsicherheit bei der Angabe des Erwärmungspotenzials aus Nicht-CO₂-Emissionen rund acht Mal höher als beim Erwärmungspotenzial der CO₂-Emissionen. In der Langfristigen Klimastrategie des Bundesrates wird basierend auf Neu, Urs (2020), der sich noch auf eine Vorgängerstudie von Lee; Fahey; Skowron; u. a. (2021) bezieht, von einem Multiplikator von 2.5, anstelle des oben dargelegten Multiplikators von 3 bezogen auf die GWP*-Metrik, ausgegangen. Angaben mit Hilfe der GWP* Metrik für die Luftfahrt sind mit dem Treibhausgasinventar der Schweiz allerdings nicht vergleichbar, da im Treibhausgasinventar die Multiplikatoren für die Treibhausgase dem GWP 100 (100 Jahre Zeithorizont) entsprechen.

2.2.2 Schweiz

Insgesamt sind 59 Millionen Passagiere (lokal und Transfer) in der Schweiz befördert worden – mit insgesamt 470'000 Flugbewegungen im Linien- und Charterverkehr.²⁵

Infrastruktur

Die Schweiz verfügt über **drei Landesflughäfen und elf Regionalflugplätze**. Die Landesflughäfen befinden sich in Zürich (ZRH), Genf (GVA) und Basel-Mulhouse (BSL), wobei bei Basel-Mulhouse der Einfluss der Schweiz auf die betriebliche Entwicklung beschränkt ist, da Basel-Mulhouse ein binationaler Flughafen ist. Die Landesflughäfen sind von nationaler Bedeutung und bieten kontinentale und interkontinentalen Linienverkehr an. Sie sind auch für den grössten Teil der Fracht zuständig.²⁶

Die Regionalflugplätze sind von regionaler Bedeutung mit Luftverkehr wie Geschäftsreiseverkehr oder fliegerische Aus- und Weiterbildungen, teilweise gibt es auch Linienverkehr.²⁷

Flugverkehr

Die Landesflughäfen unterscheiden sich stark bezüglich der Grösse bzw. der Anzahl der beförderten Passagiere. Der Flughafen Zürich ist mit über 31 Mio. Passagieren im Jahr 2019 der mit Abstand grösste Landesflughafen der Schweiz, Genf folgt mit knapp 18 Mio., Basel-Mulhouse hatte gut 9 Mio. Passagiere im Jahr 2019. Folgende Abbildung 2-1 gibt einen Überblick über die Flugbewegungen und Passagiere in der Schweiz.

Abbildung 2-1: Flughäfen der Schweiz 2019 in Zahlen

Flughafen	Flugbewegungen im Linien- und Charterverkehr ²⁸	Flugpassagiere im Linien- und Charterverkehr ²⁹
Basel-Mulhouse ³⁰	76'388	9'068'206
Genf	145'527	17'826'513
Zürich	243'115	31'478'748
Regionalflugplätze	4'637	188'452
Total	469'667	58'561'919

Quelle Bundesamt für Statistik³¹

²⁵ Bundesamt für Statistik BFS (2020d).

²⁶ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020c).

²⁷ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020c).

²⁸ An- und Abflüge im Linien- und Charterverkehr.

²⁹ An- und Abflüge von Lokal- und Transferpassagieren im Linien- und Charterverkehr.

³⁰ Die Zahlen umfassen den schweizerischen und den französischen Verkehr.

³¹ Bundesamt für Statistik BFS (2020d).

Treibstoffabsatz und CO₂-Emissionen

Insgesamt wurden in der Schweiz 2019 rund 1.8 Mio. Tonnen Treibstoff getankt. Zu beachten gilt, dass der vertankte Treibstoff des Flughafens Basel-Mulhouse in dieser Zahl nicht enthalten ist, da der Treibstoffabsatz des Flughafens Basel-Mulhouse auf französischem Territorium stattfindet und entsprechend in den Schweizer Energiestatistiken nicht erfasst ist. Die nachfolgende Abbildung 2-2 zeigt den Treibstoffverbrauch und die dazugehörigen Emissionen.

Abbildung 2-2: Treibstoffverbrauch und (gasförmige) Emissionen (2019)

Treibstoffabsatz in der Schweiz (inkl. General-Aviation-Verkehr)	Tonnen
... in der Schweiz getankt (also ohne Treibstoffabsatz am Flughafen Basel-Mulhouse)	1'846'453
Gasförmige Emissionen ³²	Tonnen
CO ₂	5'807'021
NO _x	28'368
CO	6'449
HC	810
BC	32
PM	44

Quelle Bundesamt für Statistik³³

Wie die obige Abbildung 2-2 zeigt betragen die gesamten CO₂-Emissionen aus dem in der Schweiz vertankten Treibstoff (exkl. Militärluftverkehr) 5.8 Mio. Tonne CO₂ im Jahr 2019. Der Anteil für Flüge innerhalb der Schweiz ist dabei mit rund 0.1 Mio. Tonnen CO₂ sehr gering.

Die Emissionen aus dem in der Schweiz vertankten Treibstoff im internationalen Luftverkehr sind im Treibhausgasinventar, mit welchem die Schweiz über die Entwicklung der Emissionen gegenüber dem UNO-Klimasekretariat jährlich Rechenschaft ablegt, separat ausgewiesen. Der Anteil der CO₂-Emissionen aus dem gesamten Treibstoffabsatz in der Schweiz betrug für den nationalen und internationalen Luftverkehr³⁴ rund **11% an allen Treibhausgasen**.³⁵

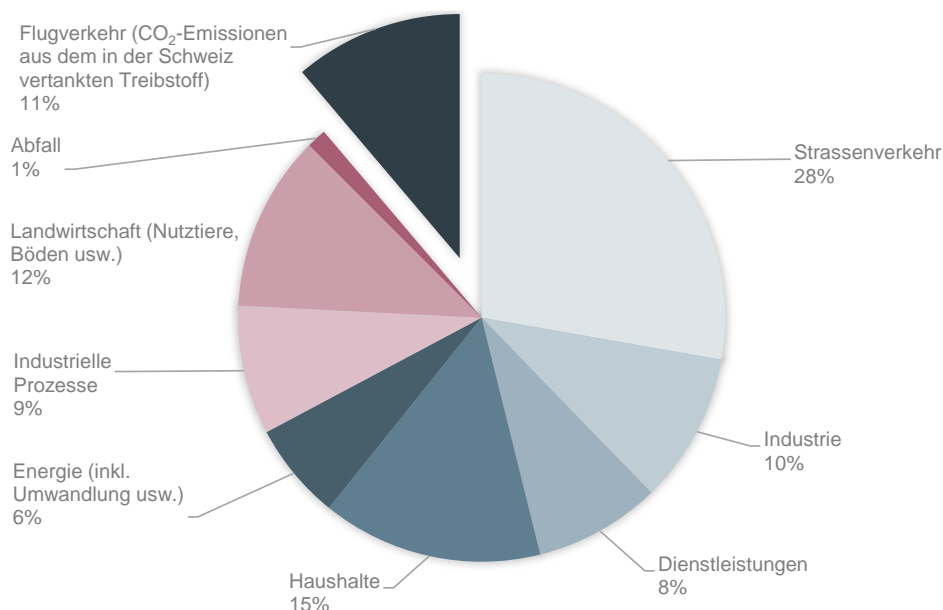
³² Internationale Flüge und Inlandflüge. Die Berechnung basiert auf den in der Schweiz getankten Treibstoffmengen.

³³ Bundesamt für Statistik BFS (2020a).

³⁴ Exkl. Militärluftverkehr.

³⁵ Für das Jahr 2018 weist das Treibhausgasinventar gesamte Treibhausgasemissionen von 46.4 Mio. Tonnen CO₂-eq aus (exkl. LULUCF und internationalem Luft- und Schiffsverkehr). Gemäss Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie BFE (2020) sinken die Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 auf 46.0 Mio. Tonnen CO₂-eq.

Abbildung 2-3: Treibhausgasemissionen der Schweiz in CO₂-eq inkl. den CO₂-Emissionen aus dem in der Schweiz getankten Treibstoff



Anmerkung: Bei den blau unterlegten Sektoren wird vor allem CO₂ emittiert. Bei den rot unterlegten Sektoren werden grossmehrheitlich andere Treibhausgase (Methan, Lachgas usw.) und indirektes CO₂ (bspw. geogene CO₂-Emissionen bei der Zementherstellung) emittiert. Beim Flugverkehr sind die auch zur Erwärmung beitragenden weiteren Emissionen (Wasserdampf, Russ, NO_x, SO₂) nicht berücksichtigt.

Quellen: Bundesamt für Statistik BFS (2020a), Bundesamt für Energie BFE (2020).

Nicht-CO₂-Effekt des Luftverkehrs

Im Treibhausgasinventar werden die wichtigsten Emissionen, die zur Erwärmung der Erdoberfläche führen, erfasst und durch eine CO₂-eq-Metrik bzgl. ihrer Klimawirkung vergleichbar gemacht. Die gesamte Erwärmungswirkung wird damit aber noch nicht vollumfänglich erfasst, da beim Luftverkehr, aber auch anderen Sektoren, weitere sog. Nicht-CO₂-Effekte zur Erwärmung beitragen.³⁶

Die Effekte von Nicht-CO₂-Emissionen des Luftverkehrs finden über einen relativ kurzen Zeitraum von Stunden bis einigen Jahren statt. Ein Vergleich mit CO₂ und Umrechnung in eine CO₂-eq-Metrik ist deshalb sehr schwierig. Die CO₂-Emissionen aus dem Kerosinverbrauch und die Nicht-CO₂-Emissionen (Wasserdampf, Stickoxide, Schwefeldioxid und Russ) sind nicht proportional zueinander, auch nicht in ihren Klimawirkungen. Deshalb müssen sie im Rahmen der Anstrengungen zur Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs getrennt voneinander betrachtet und gemessen werden. Der Nicht-CO₂-Effekt des Luftverkehrs muss deshalb in seiner zeitlichen Entwicklung genau verfolgt werden. Um ihren bisherigen Erwärmungsbeitrag zu stoppen, genügt auf Grund ihres kurzlebigen Charakters eine Stabilisierung der Nicht-CO₂-

³⁶ Die Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Treibhausgasemissionen ist mittels GWP-Methodik (Global Warming Potential) nur beschränkt möglich und versagt bei den für den Nicht-CO₂-Effekten verantwortlichen Emissionen wie NO_x oder Wasserdampf.

Emissionen, dies im Unterschied zu den fossilen CO₂-Emissionen, welche auf null gebracht werden müssen. Gemäss Zielsetzung aus der Langfristigen Klimastrategie des Bundesrats soll der Nicht-CO₂-Effekt des Luftverkehrs sinken oder mit anderen Massnahmen ausgeglichen werden.³⁷

2.3 Flugverkehrsperspektiven

2.3.1 Global

Auch in Zukunft wird mehr geflogen - der internationale Flugverkehr wächst sehr stark. Für die nächsten 20 Jahren wird von einem **Wachstum der Passagierzahlen von 3.7 % pro Jahr** (2019-2039) ausgegangen, wobei die Bandbreite zwischen 3.2 % und 5.3 % liegt.³⁸ Die Passagierreisen nehmen dabei hauptsächlich in den starken Wachstumsregionen wie Asien (5 %), Afrika (4.4 %) und im Mittleren Osten (4.4 %) zu, wobei auch bereits stark entwickelte Regionen wie Europa und Nordamerika (je 2.2 %) weiterwachsen werden. Vor allem sogenannte Megaflughäfen («Aviation Mega-Cities») sind für einen grossen Anteil des Wachstums verantwortlich. So waren im Jahr 2018 66 Megaflughäfen für 40 % aller Passagieren verantwortlich. Weitere Megaflughäfen befinden sich im Bau oder wurden kürzlich in Betrieb genommen (u. a. Peking, Eilat oder Istanbul).³⁹

Das Wachstum der Flugindustrie zeigt sich auch gegenüber externen Schocks relativ resilient. Die aktuelle **Covid-19-Pandemie** stellt aber einen **tiefgründigen Schock** dar. Die IATA geht davon aus, dass das weltweite Passagier-Aufkommen erst 2024 wieder das Vor-Covid-19-Niveau erreicht.⁴⁰ Für das Jahr 2020 rechnet die IATA mit einem globalen Rückgang der Passagiere von 66 % verglichen zu 2019.⁴¹ Wie sich der Flugverkehr aber tatsächlich von der weltweiten Krise erholt, ist sehr unsicher und ist u. a. abhängig vom weiteren Verlauf der Covid-19-Pandemie. Für die Flugbranche ist die Covid-19-Pandemie der grösste Schock seit dem zweiten Weltkrieg.⁴²

Die folgende Abbildung 2-4 zeigt schematisch die Prognosen der PAX Entwicklung. Vor 2020 ist die ICAO von einem jährlichen **globalen Wachstum** des Passagieraufkommens von 4.4 % ausgegangen.⁴³ Infolge der Pandemie wurden diese Zahlen nach unten korrigiert. Die IATA geht zwar aktuell davon aus, dass nach dem Schock im Jahr 2020 eine starke Erholung der Nachfrage stattfindet. Das Niveau von 2019 wird gemäss den Schätzungen der IATA aber erst

³⁷ Schweizerischer Bundesrat (2021).

³⁸ International Air Transport Association IATA (2020c).

³⁹ Airbus (2019).

⁴⁰ International Air Transport Association IATA (2020b).

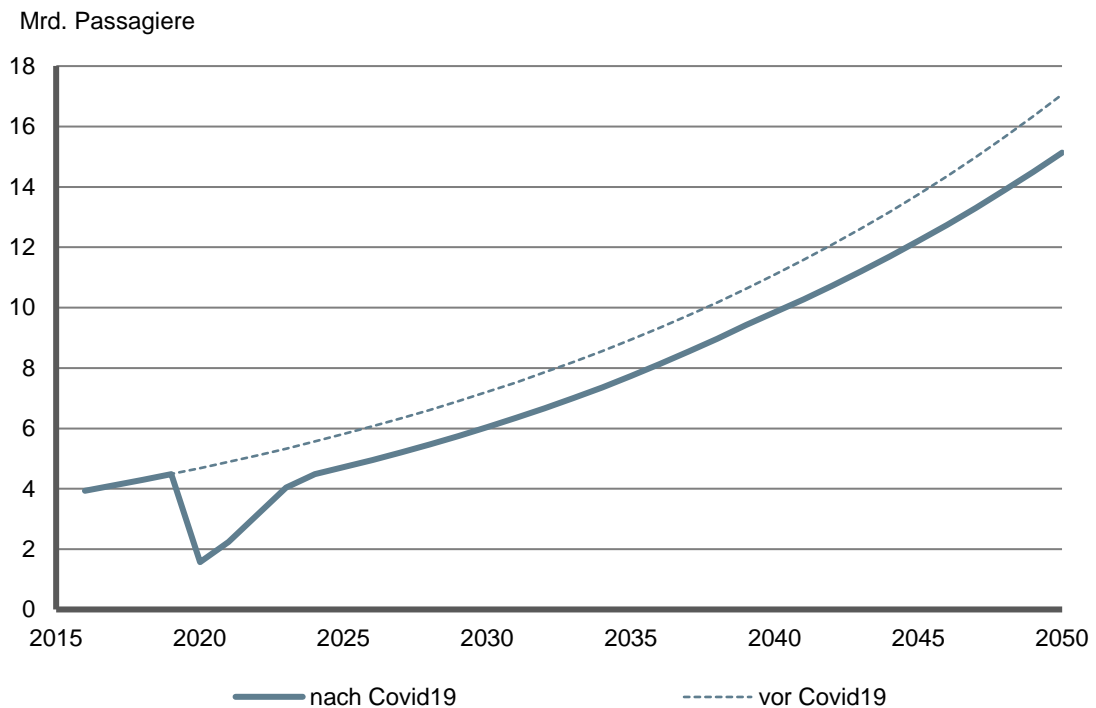
⁴¹ International Air Transport Association IATA (2020a).

⁴² International Air Transport Association IATA (2020b).

⁴³ Bopst; Herbener; Hölzer-Schopohl; u. a. (2019).

2024 wieder erreicht. Bis 2039 geht die IATA von einem **jährlichen Wachstum von 3.7 % aus.**⁴⁴

Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der globalen PAX Entwicklung



Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Zahlen der IATA⁴⁵

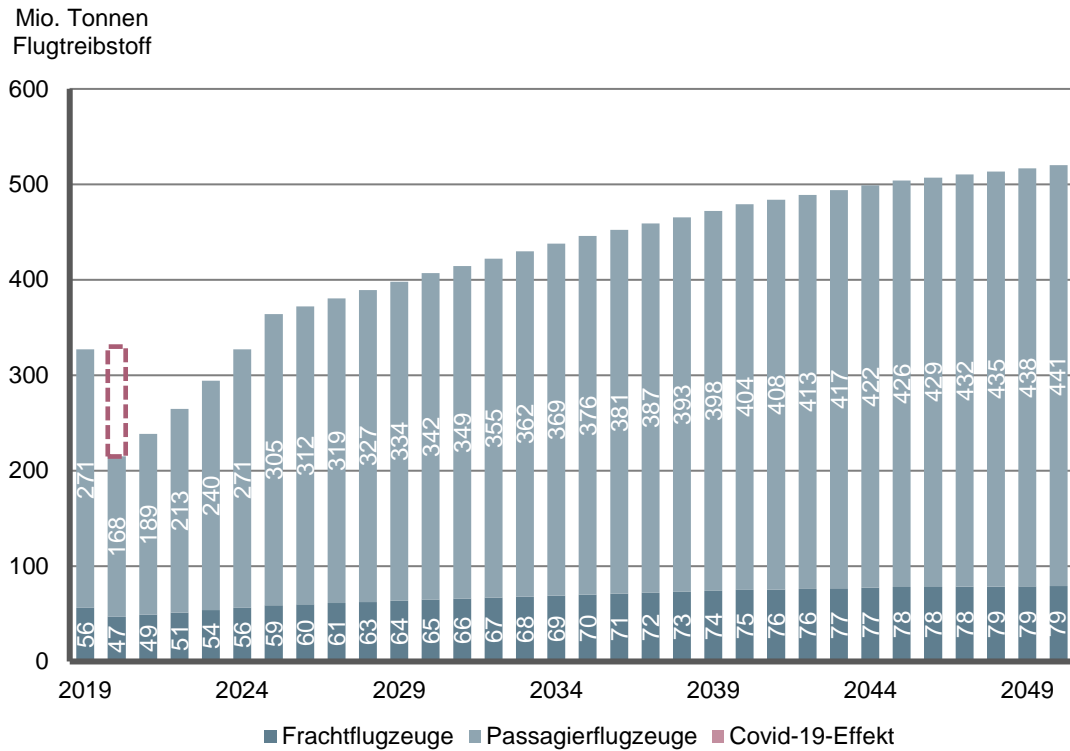
Der fossile Treibstoffverbrauch und damit die CO₂-Emissionen werden aber nicht im selben Ausmass zunehmen wie die Passagiere. Einerseits nehmen die Flugbewegungen nicht im selben Ausmass zu wie die Anzahl Passagiere und andererseits werden immer mehr neue, treibstoffeffizientere Flugzeuge eingesetzt. Trotzdem geht man auch bei der Nachfrage nach Kerosin von einem Wachstum aus. Gemäss den aktuellen Prognosen der Clean Sky for Tomorrow Initiative⁴⁶, basierend auf Zahlen der IATA und ICAO, werden 2030 global erstmals über 400 Mio. Tonnen Kerosin verbraucht. Die Abbildung 2-5 zeigt, wie sich die Nachfrage nach Kerosin zusammensetzt. Während bei Cargo-Flügen das Wachstum langsam verläuft, nimmt vor allem die Nachfrage nach Kerosin für Passagierflugzeuge, unter dem Business-as-usual-Szenario, stark zu.

⁴⁴ International Air Transport Association IATA (2020c).

⁴⁵ International Air Transport Association IATA (2020b).

⁴⁶ World Economic Forum; McKinsey & Company (2020).

Abbildung 2-5: Globale Nachfrage nach Flugtreibstoffen

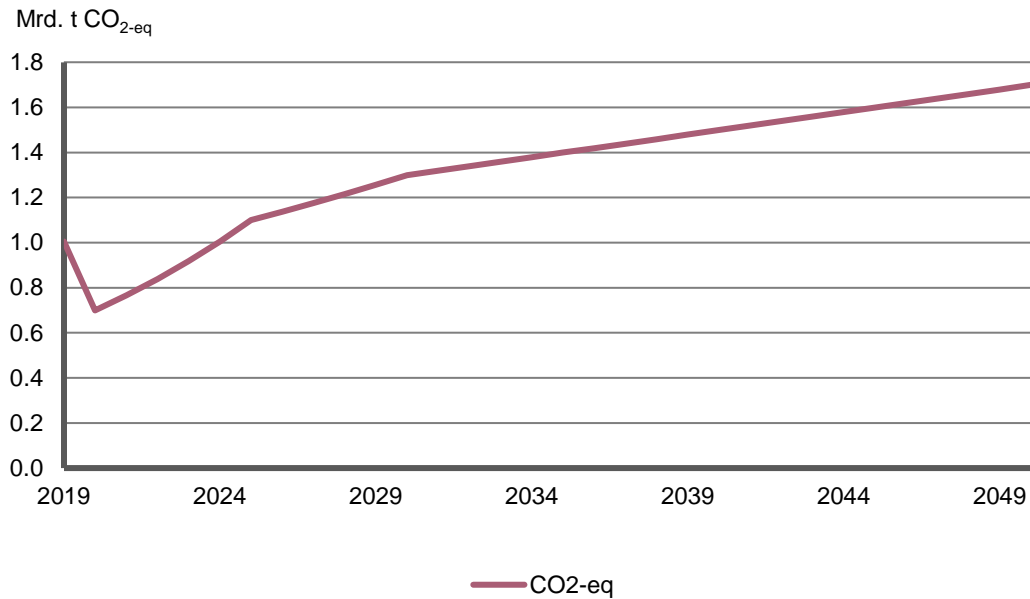


Quelle WEF und McKinsey⁴⁷

Der vermehrte Verbrauch an Kerosin führt auch zu mehr CO₂-Emissionen. Abbildung 2-6 zeigt die CO₂-eq des Flugverkehrs. Auch wenn man, basierend auf der historischen Entwicklung, davon ausgeht, dass die **Treibstoffeffizienz** jährlich um ca. **1 %** zunimmt, steigen die globalen CO₂-Emissionen, unter dem Business-as-usual-Szenario, jährlich weiter an.

⁴⁷ World Economic Forum; McKinsey & Company (2020).

Abbildung 2-6: Emissionen des Flugverkehrs in CO₂-eq unter der Annahme einer jährlichen Treibstoffeffizienzsteigerung von 1% unter dem Business-as-Usual-Szenario

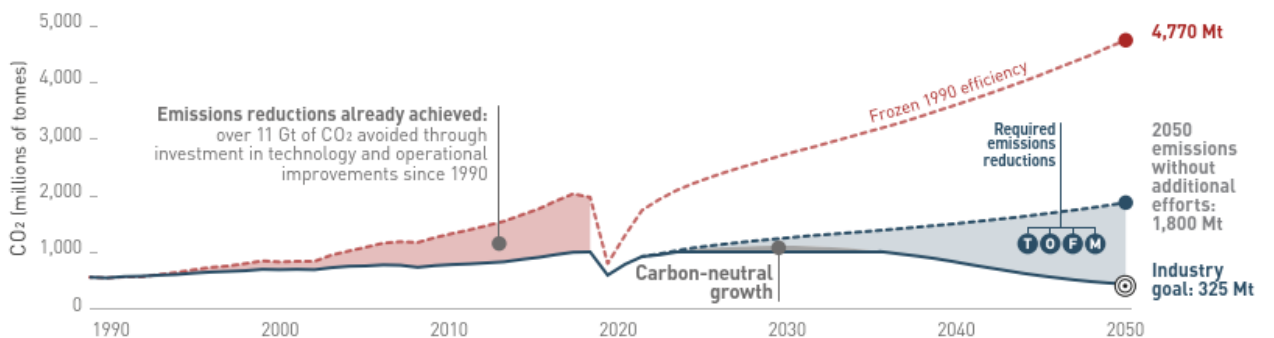


Quelle WEF und McKinsey⁴⁸

Anmerkung: Die CO₂-eq sind gemäss UNFCC (Treibhausgasinventare) gerechnet bzw. geschätzt.

Die in Abbildung 2-6 modellierten Emissionen zeigen die prognostizierten Werte ohne weitere – über die historisch beobachtete jährliche 1% Treibstoffeffizienzsteigerung hinausgehende - Massnahmen für CO₂-Einsparungen. Wie die Entwicklung der CO₂-Emissionen ohne technologischen Fortschritt und mit zusätzlichen Massnahmen aussehen könnte, zeigt die folgende Abbildung 2-7.

Abbildung 2-7: CO₂-Emissionen mit Massnahmen



Quelle Air Transport Action Group⁴⁹

⁴⁸ World Economic Forum; McKinsey & Company (2020).

⁴⁹ ATAG (2020).

Die Abbildung 2-7 zeigt anschaulich, was durch verbesserte Technologien und Effizienzsteigerung an CO₂-Emissionen einerseits bereits eingespart werden konnte. Andererseits zeigt die Grafik auf, was in Zukunft notwendig ist, um CO₂-neutral fliegen zu können. Die zusätzlichen Bemühungen können von folgenden vier Massnahmen kommen (vgl. Kapitel 3.1):

- Effizientere Flugzeuge (effizienterer Treibstoffeinsatz)
- Operationelle und infrastrukturelle Effizienzsteigerungen
- SAF-Nutzung
- Offsetting

2.3.2 Schweiz

Auch für die Schweiz wird mit einem ausgeprägten Covid-19-Schock gerechnet. So wird auch für die Schweiz davon ausgegangen, dass alle bisherigen Prognosen um **ca. 5 Jahre nach hinten** verschoben werden. Auch für die Schweiz kann also angenommen werden, dass das **2019-Niveau erst 2024 wieder erreicht** wird. Grundsätzlich rechnet die Branche damit, dass ab 2021 ein gewisses **Nachholbedürfnis** der Passagiere vorhanden sein wird und die Nachfrage steigen wird. Es wird davon ausgegangen, dass die Erholung bei Kurzstrecken schneller eintritt. Wann die Nachfrage wieder steigen wird, wird durch den Verlauf der COVID-19-Pandemie bestimmt. Alle kurz-, mittel- und langfristigen Prognosen unterliegen einer **sehr grossen Unsicherheit**. So ist z.B. auch nicht klar, wie ausgeprägt das Phänomen der «Flugscham» in der Schweiz sein wird. Experten und Expertinnen der Branche beobachten zwar ein gesteigertes Umweltbewusstsein (sog. «Awareness») der Kunden, aber ob dieses zu einer verminderten Nachfrage nach Fliegen führt, ist offen. Offen ist auch, wie weit die, während der COVID-19-Pandemie geänderte Kommunikation (bspw. Videokonferenzen) im Geschäftsverkehr (inklusive Tagungs- und Kongresstourismus) auch nach der Pandemie fortgeföhren wird.

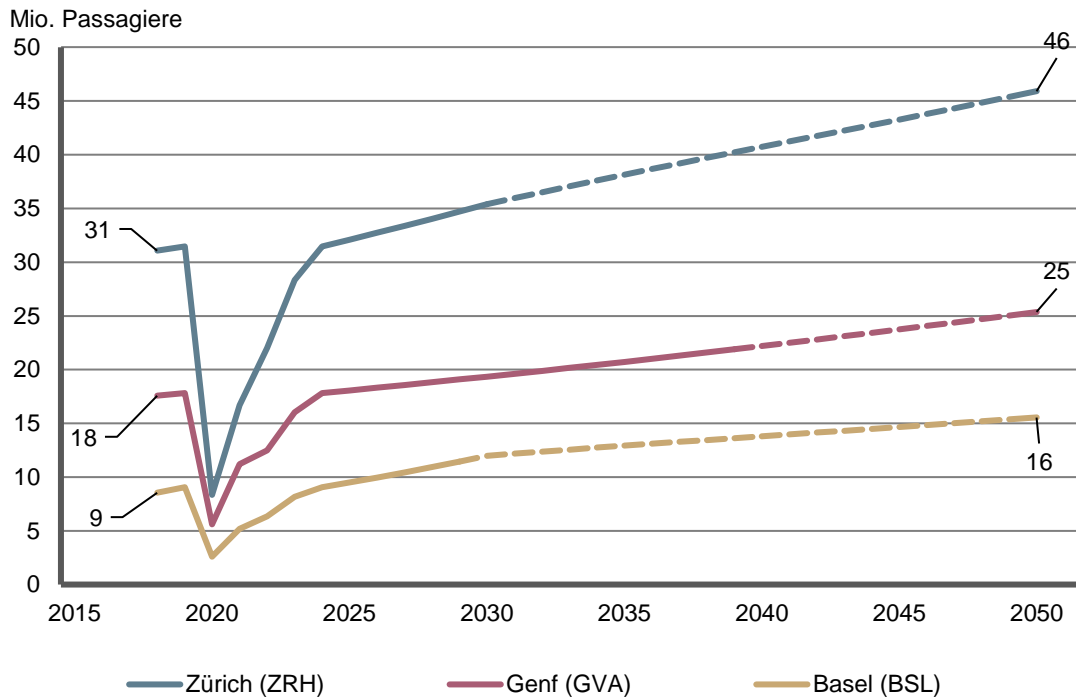
Anhand von Mittelfrist-Szenarien der Flughäfen (durchgezogene Linie in Abbildung 2-8)⁵⁰ sowie eigenen Annahmen zur längerfristigen Entwicklung (gestrichelte Linie in Abbildung 2-8)⁵¹ wird ein mittleres Szenario für Nachfrageentwicklung beim Passagierverkehr erstellt. Es handelt sich um eine sehr grobe Einschätzung zur künftigen Nachfrage (Business-as-Usual-Entwicklung), welche später als Grundlage für die Massnahmendiskussion (Kapitel 3) dient. Für den Flughafen Basel-Mulhouse besteht weiterhin ein gewisses Entwicklungspotenzial, deshalb wird davon ausgegangen, dass bis 2030 noch ein überdurchschnittliches Wachstum erzielt werden kann. Für die beiden anderen Flughäfen (GVA und ZRH) wird mit einem moderaten Wachstum gerechnet, welches in erster Linie durch Effizienzsteigerungen und nicht bauliche Massnahmen realisiert werden soll.

⁵⁰ Entspricht den mittleren Szenarien der drei Landesflughäfen. Für alle drei Landesflughäfen gilt, dass die Szenarien mit grossen Unsicherheiten verbunden sind.

⁵¹ Vereinfachend haben wir angenommen, dass die Flugverkehrsnachfrage längerfristig mit der Bevölkerungsentwicklung und dem allgemeinen Produktivitätswachstum von jährlich 0.8% zunimmt.

Unter diesen Annahmen steigen die Anzahl Passagiere aller drei Landesflughäfen von 57 (Jahr 2018) bzw. 58 (Jahr 2019) Millionen auf 87 Millionen (vgl. Abbildung 2-9). Dies entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum zwischen dem Jahr 2024 und 2050 von 1.5%.⁵²

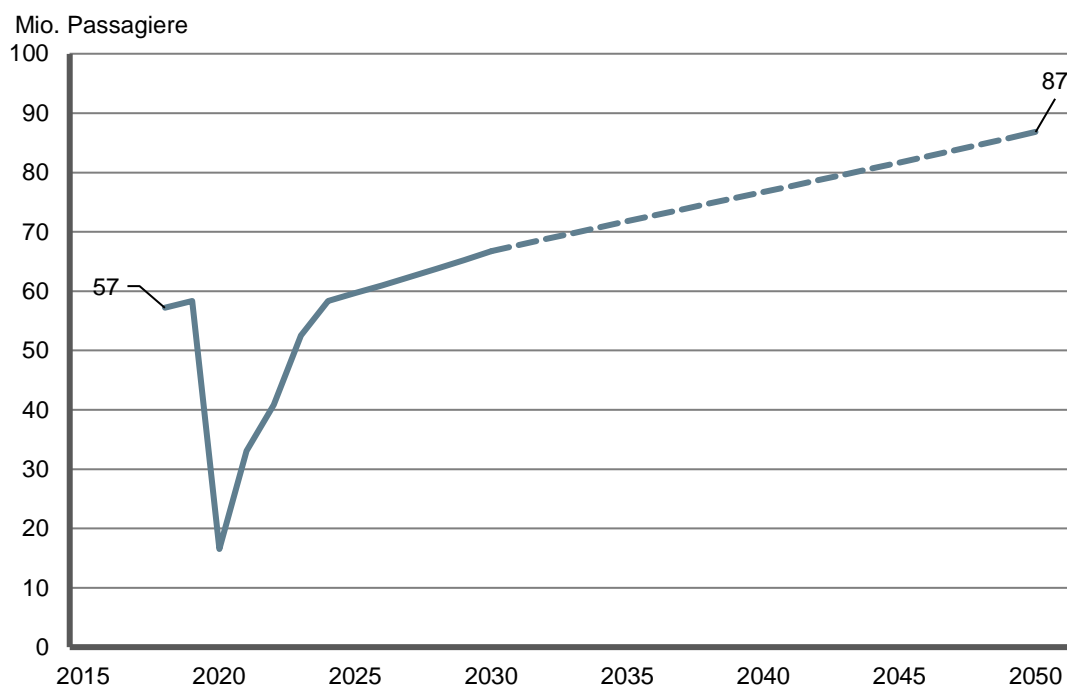
Abbildung 2-8: Nachfrageentwicklung (Anzahl Passagiere) in den drei Landesflughäfen (Business-as-Usual-Entwicklung)



Quelle Durchgezogene Linie: mittelfristiges Wachstum entspricht den mittleren Szenarien der Landesflughäfen, gestrichelte Linie: Eigene Annahmen, längerfristiges Wachstum entspricht dem Bevölkerungswachstum und dem allgemeinen Produktivitätswachstum von jährlich 0.8%.

⁵² Das BAZL rechnet vor allem längerfristig mit einer höheren Wachstumsrate und geht von einer durchschnittlichen Wachstumsrate von 1.8% bis 2.0% aus.

Abbildung 2-9: Nachfrageentwicklung (Anzahl Passagiere) für alle drei Landesflughäfen zusammen (Business-as-Usual-Entwicklung)

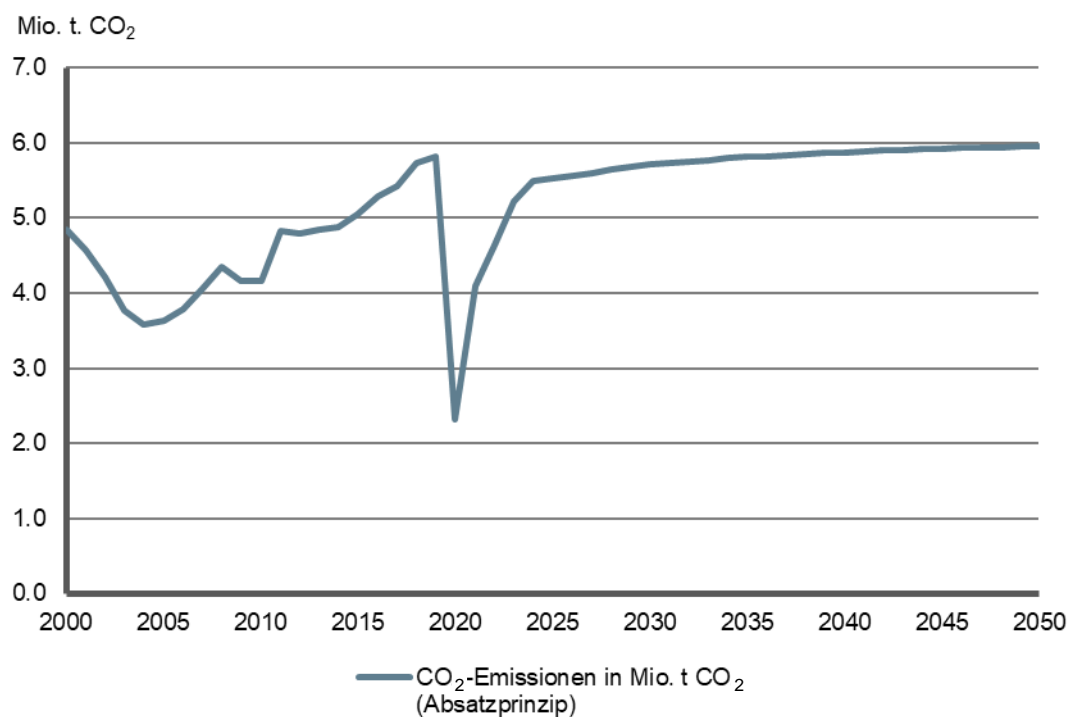


Quelle Durchgezogene Linie: mittelfristiges Wachstum entspricht den mittleren Szenarien der Landesflughäfen, gestrichelte Linie: Eigene Annahmen, längerfristiges Wachstum entspricht dem Bevölkerungswachstum und dem allgemeinen Produktivitätswachstum von jährlich 0.8%.

Neben der Anzahl der Passagiere wird auch die Anzahl der Bewegungen weiterwachsen. Das Wachstum wird aber deutlich langsamer als bei den Passagieren verlaufen (Einsatz grösserer Flugzeuge).

Die CO₂-Emissionen des in der Schweiz vertankten Treibstoffs für den nationalen und internationalen Luftverkehr beliefen sich 2019 auf ca. 5.8 Mio. Tonnen CO₂. Schreiben wir die CO₂-Effizienzsteigerung pro Passagier zwischen 2004 bis 2019 von 1.1% jährlich für die Zukunft fort, so stabilisieren sich die CO₂-Emissionen des Flugverkehrs (Absatzprinzip) trotz wachsender Nachfrage bei etwa 6 Mio. t CO₂ – also ungefähr auf dem Niveau von 2019.

Abbildung 2-10: Entwicklung der CO₂-Emissionen des in der Schweiz für den nationalen und internationalen Luftverkehr vertankten Treibstoffs (Business-as-Usual-Entwicklung)



Quelle Eigene Annahmen: Ab 2024 wird ein langfristiger Trend zur Steigerung der CO₂-Effizienz pro Passagier von 1.1% unterstellt. Dieser Trend entspricht der durchschnittlichen Entwicklung 2004 bis 2019 (grob berechnet aus dem vertankten Flugtreibstoff in der Schweiz und der Passagierentwicklung von ZRH+GVA). Für die Jahre 2020 bis 2023 wurde unterstellt, dass die CO₂-Effizienz aufgrund der deutlich tieferen Sitzplatzauslastung deutlich unter dem Wert von 2019 liegt.

2.4 Internationales Umfeld

An der Klimakonferenz in Paris Ende 2015 wurde für die Zeit nach 2020 ein neues Übereinkommen (**Pariser Abkommen**) verabschiedet, welches erstmals alle Staaten zur Reduktion der Treibhausgasemissionen verpflichtet. Das Pariser Abkommen ist ein rechtlich verbindliches Instrument unter dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Klimakonvention, UNFCCC). Das Pariser Abkommen setzt ein Temperaturziel: Begrenzung der durchschnittlichen globalen Erwärmung im Vergleich zur vorindustriellen Temperatur deutlich unter 2 Grad Celsius, wobei ein maximaler Temperaturanstieg von 1.5 Grad Celsius angestrebt wird. Damit die Erwärmung die 1.5 Grad Celsius nicht übersteigt, wären die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren.

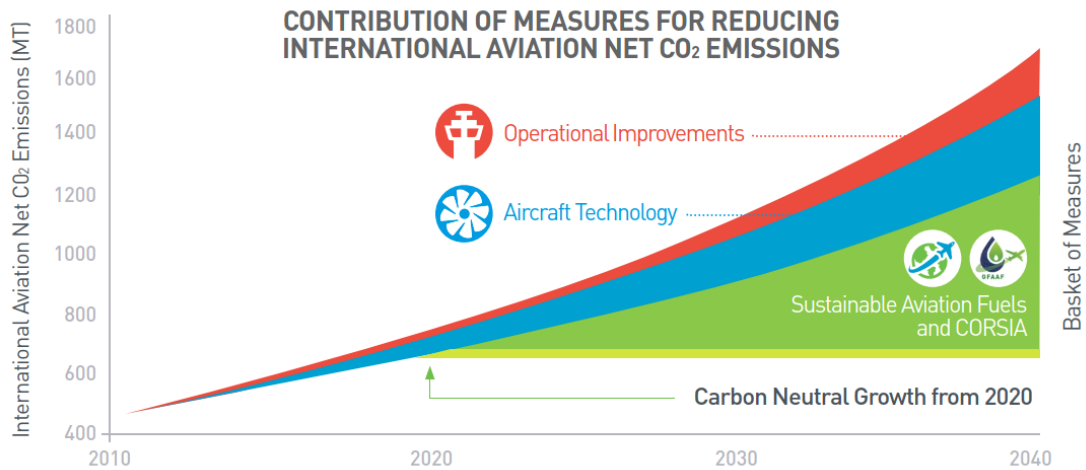
Das Pariser Abkommen adressiert den Luftverkehr nicht direkt. Für die Treibhausgasemissionen des nationalen Flugverkehrs, mit einem Anteil von rund 35% weltweit, sind die jeweiligen Staaten zuständig, da diese Emissionen im Rahmen der nationalen Klimaschutzbeiträge (Nationally Determined Contributions) enthalten sein müssen. Die Reduktion der Treibhausgase des internationalen Flugverkehrs, mit einem Anteil von 65%, ist im Pariser Abkommen nicht (zwingend) Teil der Verminderungsziele, liegt neben der ICAO dennoch im Verantwortungsbereich der einzelnen Staaten.

2.4.1 CORSIA

Die ICAO hat aufbauend auf den CO₂-Emissionszielen der IATA und als Reaktion auf das Pariser Abkommen 2016 beschlossen, ab 2020 ein CO₂-neutrales Wachstum anzustreben und hat neben anderen Massnahmen eine **globale und marktbasierete Massnahme** zur Begrenzung der CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs beschlossen (vgl. Abbildung 2-11).⁵³

⁵³ Die ICAO verfolgt eine 4-Säulen-Strategie im Klimaschutz. Neben CORSIA soll die Einführung neuer Technologien, besseren betriebliche Praktiken sowie eine verbesserte Infrastruktur und SAFs zu mehr Klimaschutz führen (ATAG (2016)).

Abbildung 2-11: CO₂-neutrales Wachstum im internationalen Flugverkehr: Operationelle Massnahmen, effizientere Flugzeuge, SAF und CORSIA



Quelle ICAO⁵⁴

Dieses sogenannte **Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)** ist ein globales Programm zur Kompensierung und Reduzierung der CO₂-Emissionen. Global betrachtet ist CORSIA das wichtigste Instrument im internationalen Flugverkehr. Das Ziel von CORSIA ist es, dass alle CO₂-Emissionen, die über dem Niveau des Basisjahres 2019 liegen, durch die Fluggesellschaften mittels erworbenen und handelbaren Emissionszertifikaten kompensiert werden. Die Pilotphase und die erste Phase von CORSIA sind freiwillig (2021-2026). In der zweiten Phase, ab 2027, wird es jedoch Pflicht, an CORSIA teilzunehmen (vgl. Abbildung 2-12).⁵⁵ Bereits haben mehr als 80 Staaten – darunter auch die Schweiz – die freiwillige Teilnahme an CORSIA bestätigt. Rund 75 % des weltweiten Luftverkehrs sind damit bereits abgedeckt.⁵⁶ Indem CORSIA eine internationale Vereinbarung ist, soll die Wettbewerbsverzerrung minimiert werden.

⁵⁴ ICAO o. J.

⁵⁵ Gewisse Länder mit einem kleinen Verkehrsaufkommen sind davon ausgenommen.

⁵⁶ Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft BDL (2020).

Abbildung 2-12: Die CORSIA Timeline



Quelle CarbonBrief⁵⁷

Für 2030 schätzt das ICAO die zu kompensierenden CO₂-Emissionen zwischen 288-376 Mio. Tonnen, für 2035 soll es zwischen 443-596 Mio. Tonnen sein und 2040 wird die zu kompensierende Menge auf 590-816 Mio. Tonnen geschätzt.⁵⁸ Der Einsatz von SAF wird durch CORSIA zumindest indirekt gefördert (vgl. nachfolgender Exkurs). Denn der durch SAF verminderte CO₂-Ausstoss geht mit tieferen Kompensationspflichten einher – SAF werden dementsprechend bei CORSIA angerechnet.⁵⁹ **Im Hinblick auf die Zielsetzung des Pariser Abkommens genügt die CORSIA-Zielsetzung eines CO₂-neutralen Wachstums aber nicht.** Kritisch zu beurteilen sind in der momentanen Ausgestaltung:

- Zu wenig ambitionierte Zielsetzung (CO₂-neutrales Wachstum anstelle eines langfristigen Netto-Null-Ziels). Auch die Nicht-CO₂-Effekte des Luftverkehrs sind in CORSIA nicht abgedeckt.
- CORSIA wird in der heutigen Ausgestaltung kaum Anreize für den Einsatz von SAF geben, da Treibhausgas-Minderungskosten bei Biokraftstoffen im Vergleich zu Offsets um Faktoren höher sind. CORSIA fokussiert somit stark auf Offsetting, welches bzgl. ihrer Treibhausgaswirkung kontrovers diskutiert wird und längerfristig an Bedeutung verlieren wird (ausser die sogenannten NET).

⁵⁷ Timperley (2019).

⁵⁸ International Civil Aviation Organization ICAO (2016).

⁵⁹ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2019).

- Die Anrechnung von SAF fokussiert stark auf Biotreibstoffe mit strittiger Berechnung des «Live cycle emission values» (siehe nachfolgenden Kasten), der die ökologischen und sozioökonomischen Risiken massiver Landnutzungsänderungen weitgehend ausser Acht lässt.⁶⁰ PtL oder StL sind bisher noch nicht vorgesehen.
- Die Möglichkeit zur Anrechnung von Minderungsleistungen bei konventionellen Kraftstoffen kann als Risiko betrachtet werden, denn sie zementiert bestehende Bereitstellungsketten (Lock-in-Effekte). Sie kann fossile Bereitstellungsketten nur graduell verbessern und könnte so den Übergang auf die Langfristlösung PtL verzögern oder blockieren.⁶¹

Exkurs: CORSIA eligible fuel (CEF)

Möchte ein Operator die zu leistenden Kompensationszahlungen unter CORSIA reduzieren, so kann er dies gezielt durch den Einsatz eines sogenannten «CORSIA eligible fuel (CEF)» erreichen. Jedes CEF unterliegt während der Produktion einer Zertifizierung, welche die Nachhaltigkeit des CEF bestätigt und den sogenannten «Life cycle emission value» des CEF festlegt (durch ICAO festgelegten Standardwert des CEF oder direkte Berechnung). Wird dieser Wert in Relation zum Referenzwert von fossilem Treibstoff von 89 gCO₂-eq/MJ gesetzt, so erhält man die prozentuale Einsparung von CO₂, welche durch den Einsatz von CEF resultiert. Beim Emissionsreport gibt der Operator die Anzahl Tonnen CO₂ an, welche durch den Einsatz von CEF eingespart wurden, die Art und Menge des CEF, den «Life cycle emission value», sowie der Nachweis, dass das CEF die Nachhaltigkeitskriterien von CORSIA erfüllt. Zum heutigen Zeitpunkt ist CORSIA in der Schweiz implementiert und in Kraft.

2.4.2 Emissionshandel EU-ETS und EHS der Schweiz

CORSIA ist eine globale Massnahme, um die Treibhausgasemissionen des internationalen Flugverkehrs direkt oder indirekt zu reduzieren. Innerhalb von Europa gibt es zusätzlich das **EU-ETS** (Emissions Trading Systems, Emissionshandelssystem der EU). Die Schweiz kennt ein eigenes Emissionshandelssystem (CH EHS), welches seit dem 1.1.2020 mit dem EU-ETS verknüpft ist.⁶² Wenn also nachfolgend vom EU-ETS gesprochen wird, ist das CH EHS immer mitgemeint (für die Unterschiede siehe Anhang).

Das EU-EHS ist ein Handelssystem mit festen Obergrenzen («cap and trade»). Bestimmte Treibhausgase werden durch eine Obergrenze («Cap») begrenzt. Bei dem im Jahr 2005 eingeführten Emissionshandelssystem zur Begrenzung der CO₂-Emissionen wurde ab 2012 auch der europäische Luftverkehr miteinbezogen. Seit 2020 sind mit dem Inkrafttreten des Abkommens zur Verknüpfung der Emissionshandelssysteme (EHS) der Schweiz und der EU auch Flüge innerhalb der Schweiz und von der Schweiz in den europäischen Wirtschaftsraum (EWR) dem Schweizer EHS unterstellt und damit mit dem EU-ETS voll verknüpft.

⁶⁰ Bopst; Herbener; Hölzer-Schopohl; u. a. (2019), S. 80.

⁶¹ Bopst; Herbener; Hölzer-Schopohl; u. a. (2019), S. 81.

⁶² Eine elektronische Verknüpfung zwischen dem Schweizer Emissionshandelsregister und dem europäischen Register (Unionsregister) ermöglicht seit September 2020 den Transfer von Emissionsrechten zwischen den Registern.

Seit 2021 beträgt die jährliche Verringerung der Emissionsrechte **2.2 %** (vorher: 1.74 %). Innerhalb dieser Obergrenze erhalten und kaufen Flugbetriebe Emissionsrechte, mit denen gehandelt wird. Der Handel dieser Rechte ermöglicht, dass die Emissionen dort verringert werden, wo dies die geringsten Kosten verursacht. Ein hoher Preis für die Emissionsrechte (was bedeutet, dass Emissionen teuer sind) soll Anreize schaffen, in saubere und kohlenstoffarme Technologien zu investieren.^{63 64}

Das **EU-ETS ist ambitionierter als CORSIA**. Denn mit dem EU-ETS nehmen die Emissionsrechte jährlich ab. Da das EU-ETS nur europäisch gilt, CORSIA aber global, unterstehen die Flugbetreiber je nach Start- und Zielpunkt eines Fluges einem unterschiedlichen System. Abbildung 2-13 gibt einen Überblick welcher Flug von welchem System erfasst wird.

Abbildung 2-13: Geltungsbereich von CORSIA und EU ETS

Kategorie	Erfasst von	Beispiel
EWR/CH inländisch	EU-ETS	München – Hamburg Zürich – Genf
Nicht-EWR/CH inländisch	-	Sydney - Perth
EWR/CH – Nicht-EWR/CH	CORSIA	München - Dubai Zürich – Dubai
Nicht-EWR/CH – Nicht-EWR/CH	CORSIA	Dubai – Singapur
EWR/CH – EWR/CH	EU-ETS und CORSIA	Genf - Oslo

Quelle Bopst; Herbener; Hölzer-Schopohl; u. a. (2019)

Die Ko-Existenz von CORSIA und EU-ETS ist in der momentanen Ausgestaltung in Bezug auf die Doppelregulierung der internationalen Flüge innerhalb EWR/CH problematisch. Aufgrund des Einbruchs der Flugemissionen infolge der Covid19-Krise ist dies jedoch frühestens 2024 relevant.

Die EU prüft momentan sechs verschiedene Alternativen wie diese Problematik umgangen werden kann. Folgende Optionen stehen zur Debatte:

- Voller Geltungsbereich des EU-ETS für alle Flüge mit Quelle oder Ziel in EWR/CH (ohne Revision würde diese (unwahrscheinliche) Optionen ab 2024 in Kraft treten)
- EU-ETS Status quo, also für alle intra-EWR/CH-Flüge
- Nur CORSIA (kein EU-ETS mehr für intra-EWR/CH-Flüge)
- Klare Trennung zwischen CORSIA und EU-ETS: EU-ETS Status quo, also CORSIA nicht mehr auf internationale Flüge innerhalb EWR/CH
- EU-ETS – CORSIA «Mix» (basierend auf Höhe der Emissionen)
- EU-ETS – CORSIA «Mix» (basierend auf Lizenzen der Flugbetreiber)

⁶³ Wirtschaftsdienst - Zeitschrift für Wirtschaftspolitik (2017).

⁶⁴ Europäische Kommission (2020).

Die folgende Abbildung 2-14 zeigt schematisch die grössten Unterschiede der beiden Systeme CORSIA und EU-ETS.

Abbildung 2-14: Unterschiede EU-ETS und CORSIA

	EU-ETS	CORSIA
Instrument	Cap and Trade	Offsetting
Zeithorizont	– 2012-2023 ⁶⁵	– Freiwillig: 2021-2026 – Verpflichtend: 2027-2035
Ziel	– 2020: -5% im Vergleich zu 2004-2006 – 2030: -43% im Vergleich zu 2005 – Reduktion des Caps um jährlich 2.2%	– CO ₂ -neutrales Wachstum ab 2020 – Basisjahr: 2019
Zielerreichung	– Verfügbare Caps garantieren die Zielerreichung	– Abhängig von der Qualität der Emissionszertifikate
Verbindlichkeit	– Rechtlich verbindliches System – Strafen bei Nicht-Einhaltung	– Nur rechtsverbindlich, falls es im nationalen Recht verankert wird – Durchsetzung ungewiss
Abdeckung	– Intra-EWR-Flüge und innerhalb Regionen von äussersten Randlagen ⁶⁶	– Internationale Flüge zwischen teilnehmenden Staaten
SAFs	– Anrechenbar als Zero-Emissionen	– Anrechenbar, «eligible fuels» abhängig von life-cycle Emissionen führen zu reduzierten Offsetting-Verpflichtungen

Quelle «Destination 2050»⁶⁷

2.4.3 ReFuelEU Initiative

Im europäischen Green Deal hat die EU festgelegt, dass die CO₂-Emissionen im Verkehr bis 2050 um 90 % (im Vergleich zu 1990) abnehmen sollen. Derzeit geht die EU davon aus, dass **ohne weitere Massnahmen** auf politischer Ebene, der Verbrauch an SAF von den **heutigen 0.05 %** des gesamten Flugzeugtreibstoffbedarfs, auf 2.8 % im Jahr 2050 steigen würde.⁶⁸ Mit der **ReFuelEU Aviation Initiative** will die EU die Reduktion der Emissionen vorantreiben und die Markteinführung von SAF unterstützen. Die ReFuelEU Initiative ist komplementär zu CORSIA und dem EU-ETS. Mit der Initiative soll die kommerzielle Entwicklung und Einführung von SAF in einer frühen Phase ermöglicht werden und dazu beitragen, dass in der langen Frist

⁶⁵ Ohne Revision würde das EU-ETS ab 2024 auf alle Flüge mit Quelle und Ziel innerhalb EWR/CH ausgedehnt.

⁶⁶ Geplant war, alle Flüge von und ab EWR/CHF-Flughäfen durch das EU-ETS abzudecken. Aufgrund massiver Opposition aussereuropäischer Staaten wurde es zu Intra-EWR/CH-Flüge geändert. Falls es zu keiner Revision kommt, gilt ab 2024 der volle Geltungsbereich.

⁶⁷ Royal Netherlands Aerospace Centre NLR; SEO Amsterdam Economics (2020).

⁶⁸ European Commission (2020c).

SAF in grosser Verfügbarkeit vorhanden sind.⁶⁹ Die EU wird voraussichtlich im Frühling 2021 einen ersten Vorschlag zur Ausgestaltung der ReFuelEU Aviation Initiative präsentieren.⁷⁰ Im Rahmen eines Impact Assessments prüft die EU **verschiedene Massnahmen**.⁷¹

Beimischquote

Mit einer Beimischquote könnte die EU einen Mindestanteil von SAF, das beigetankt werden muss, vorschreiben. Das Ziel ist, dass die Quote über die Zeit schrittweise ansteigt. Die Quote würde einen verbindlichen Rahmen bieten und den Produzenten und ihren Investoren eine gewisse Sicherheit geben. Die Beimischquote kann dabei bei den Inverkehrbringer von Flugtreibstoffen (angebotsseitige Beimischquote) und/oder den Fluggesellschaften (nachfrageseitige Beimischquote) eingeführt werden und verschiedene Ausgestaltungsformen annehmen. Die EU prüft zurzeit verschiedene Optionen (vgl. Anhang D). Die folgende Abbildung 2-15 zeigt eine mögliche Ausgestaltung der Höhe der Beimischquote. Die angedachte Beimischquote liegt per 2050 bei 63%, d.h. es würde noch ein erheblicher Anteil fossiler Treibstoff eingesetzt, deren CO₂-Emissionen über Massnahmen ausserhalb des Luftfahrtsektors kompensiert werden müssten (Offsetting).

Abbildung 2-15: Mögliche Höhe der Beimischquote gemäss ReFuelEU Initiative

	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Beimischquote	2 %	5 %	20 %	32 %	38 %	63 %
Zusammensetzung						
.. Biofuels	2 %	4.3 %	15 %	24 %	27 %	35 %
...Synfuels	-	0.7 %	5 %	8 %	11 %	28 %

Quelle Europäische Kommission⁷²

Weitere mögliche Massnahmen der ReFuelEU Aviation Initiative

Momentan können EU-Staaten, die dem Flugverkehr Biofuels zur Verfügung stellen, das SAF-Volumen mit einem **Multiplikator** von 1.2 an ihre nationalen Verminderungsziele anrechnen lassen. Dieser Multiplikator könnte mit der ReFuelEU Initiative erhöht werden und den Mitgliedstaaten einen Anreiz geben, mehr SAFs bereitzustellen. Weiter wird ein **zentraler Versteigerungsmechanismus** angedacht. SAF-Produzenten bieten zu einem bestimmten Preis über eine definierte Zeit eine bestimmte Menge SAF für den Luftverkehrsmarkt an. Der Zuschlag erhält der SAF-Produzent mit dem günstigsten Preis. Ein solches System ist bereits für erneuerbaren Strom in Kraft. Ausserdem könnte die EU mit einem oder mehreren **EU-Finanzie-**

⁶⁹ European Commission (2020b).

⁷⁰ European Commission (2020a).

⁷¹ Die nachfolgenden Massnahmen sind Übersetzungen aus dem Impact Assessment der EU (European Commission (2020c)).

⁷² European Commission (2020d).

rungsinstrumenten den Aufbau von SAF-Produktionsanlagen in der EU fördern und die Produzenten unterstützen. Damit kann indirekt die Preisdifferenz zwischen fossilen Treibstoffen und SAF verringert werden. Eine weitere mögliche Massnahme ist die **Priorisierung von Rohstoffen für die Produktion von Treibstoff für die Flugbranche**. Rohstoffe für die Herstellung von SAF sind knapp. Die EU könnte der Flugbranche ein «Vorrecht» für Rohstoffe zur SAF-Produktion erteilen. Ausserdem soll im Rahmen einer freiwilligen Vereinbarung eine kollaborative Plattform eingerichtet werden. Das Ziel der Plattform ist die Erleichterung von Kaufvereinbarungen zwischen Produzenten und Nachfragern von SAF. Eine weitere Massnahme besteht darin, den **Zulassungsprozess** von SAF zu vereinfachen und die Produzenten begleitend zu unterstützen. Weiter denkt die EU über ein spezifisches **Monitoring-System** nach. Mit dem Monitoring könnte die Produktion und Verwendung von SAF in der EU überwacht werden und mithilfe von sog. Key-Performance-Indikatoren könnte die SAF-Politik überwacht und gegebenenfalls korrigiert werden.

2.4.4 EU-Investitionsprogramm «Horizont Europa»

Mit dem EU-Investitionsprogramm «Horizont Europa» (ehemals «Horizon2020») investiert die EU in Forschung und Innovation. Mit dem Förderprogramm unterstützt die EU herausragende Forschung und möchte die globalen Herausforderungen angehen sowie die Wettbewerbsfähigkeit Europas stärken. Die Europäische Kommission schlägt für die Periode von 2021-2027 vor, rund 100 Mrd. Euros zu investieren. Davon sollen rund 52.7 Mrd. Euros für globale Herausforderungen (wie Klimaforschung, Energie- und Mobilitätsforschung usw.) und 13.5 Mrd. Euros in die Stärkung der europäischen Wettbewerbsfähigkeit (wie die Forschung zu «europäischen Innovationsökosysteme») fliessen.⁷³ Aus diesen zwei «Töpfen» sind auch Mittel zur Forschung von SAF möglich.

2.4.5 Technologische Standards der ICAO

Bereits 2016 hat die ICAO einen **CO₂-Standard für Flugzeuge** beschlossen, der seit 2020 stufenweise anzuwenden ist. Dieser Standard legt Grenzwerte für den Treibstoffverbrauch eines Flugzeuges fest. Flugzeuge, die diesen Standard nicht erfüllen, dürfen ab 2028 nicht mehr produziert werden. Für Neuflyzeuge gelten strengere Grenzwerte als für in Produktion befindliche Flugzeuge. Für die Zulassung zum Flugbetrieb sind diese zu erfüllen.⁷⁴ Die Reduktion des Treibstoffverbrauchs hängt von vielen Faktoren ab, u.a. auch vom Gewicht. Ein sehr sparsames Triebwerk, welches ein hohes Gewicht hat, bringt am Flugzeug keine Verbrauchsreduktion. Triebwerke müssen indessen für sich genommen auch Grenzwerte für Nicht-CO₂-Emissionen bzw. Schadstoffe erfüllen, u.a. für Stickoxide und ultrafeinen Russ, deren Regulierung sowohl für die lokale Luftqualität, wie auch für die Reduktion der Klimawirkung wichtig ist. Die Grenzwerte werden in internationaler Zusammenarbeit in der ICAO mit der Zeit entsprechend der technologischen Möglichkeiten verschärft. Ohne Grenzwerte würden die Nicht-CO₂-

⁷³ European Commission (2019).

⁷⁴ International Civil Aviation Organization ICAO (2017).

Emissionen unkontrolliert ansteigen, da deren Reduktion oft in einem Zielkonflikt mit der weiteren Reduktion des Treibstoffverbrauchs bzw. CO₂ steht.

2.5 Schweizer Politik

Im Oktober 2017 hat die Schweiz das Pariser Klimaübereinkommen ratifiziert. Dieses hat zum Ziel, die globale Klimaerwärmung auf maximal 1.5°C gegenüber vorindustrieller Zeit zu begrenzen. Damit die Schweiz ihren Beitrag zur Erreichung dieses international vereinbarten Ziels leistet, hat der Bundesrat im August 2019 entschieden, dass die Schweiz bis 2050 klimaneutral sein soll, also Netto-Null Treibhausgasemissionen erreichen. Mit dem direkten Gegenschluss zur Gletscher-Initiative will der Bundesrat das Netto-Null Ziel bis 2050 in der Bundesverfassung verankern. Gemäss diesem Gegenschluss soll die Klimawirkung der Luftfahrt im Netto-Null Ziel nur soweit berücksichtigt werden, wie dies wissenschaftlich und technisch im Einklang mit den Angaben im Treibhausgasinventar möglich ist.⁷⁵

In seiner **langfristigen Klimastrategie** setzt der Bundesrat beim internationalen Luftverkehr folgendes Ziel für das Jahr 2050: Der internationale Luftverkehr ab der Schweiz soll im Jahr 2050 netto möglichst keine klimawirksamen Emissionen mehr verursachen.⁷⁶ Das bedeutet:

- Die fossilen CO₂-Emissionen betragen Netto-Null.
- Die übrigen Klimawirkungen (Nicht-CO₂-Effekt) sinken oder werden mit anderen Massnahmen ausgeglichen.

Im **aktuellen CO₂-Gesetz** ist nur der nationale Luftverkehr Teil des Verminderungsziels. Die Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr sind im Treibhausgasinventar, mit welchem die Schweiz über die Entwicklung der Emissionen gegenüber dem UNO-Klimasekretariat jährlich Rechenschaft ablegt, separat ausgewiesen. Dennoch ist mit dem Einbezug der **innereuropäischen Luftfahrt** in das Schweizer **Emissionshandelssystem (EHS)** aufgrund der Verknüpfung mit dem EHS der EU25 seit 2020 eine Massnahme für die Reduktion der CO₂-Emissionen aus inländischen Flügen und aus Flügen von der Schweiz in den europäischen Wirtschaftsraum in Kraft. Weiter beteiligt sich die Schweiz auch am System der ICAO, die mit **CORSIA** ab 2021 ein CO₂-neutrales Wachstum der zivilen Luftfahrt anstrebt. Die dadurch im **internationalen Luftverkehr** erzielten Verminderungen leisten einen Beitrag zum Zweck des CO₂-Gesetzes, die globale Erwärmung einzudämmen.

Am 25. September 2020 wurde von National- und Ständerat die **Totalrevision des CO₂-Gesetzes** angenommen. Über die Totalrevision des CO₂-Gesetzes wird im Juni 2021 das Volk entscheiden. Das totalrevidierte CO₂-Gesetz setzt explizite Verminderungsziele für das Jahr 2030 (bspw. 50% der Emissionen im Jahre 1990, Art. 3,1) und verankert implizit das Netto-Null-Ziel (Art.1,1b). Das neue CO₂-Gesetz würde auch für die Luftfahrtbranche einige Neuerungen bringen, wobei auch für die Luftfahrtbranche gilt, dass bei der Ausgestaltung der **Massnahmen** u.a. explizit die **Wettbewerbsfähigkeit** und die **wirtschaftliche Machbarkeit**

⁷⁵ Schweizerischer Bundesrat (2020).

⁷⁶ Schweizerischer Bundesrat (2021).

berücksichtigt werden soll (Art. 4,3). Wird das CO₂-Gesetz vom Volk angenommen, so wird neu eine **Flugticketabgabe** und eine «**Abgabe allgemeine Luftfahrt**» für bspw. Businessjets eingeführt (vgl. Kapitel 2.5.1). Mehr als die Hälfte der Einnahmen aus diesen Abgaben werden an die Bevölkerung und Wirtschaft rückverteilt, der Rest alimentiert den **Klimafonds** (vgl. Kapitel 2.5.2), aus dem u.a. innovative Vorhaben unterstützt werden können.

2.5.1 Flugticketabgabe und Abgabe Allgemeine Luftfahrt

Mit dem revidierten CO₂-Gesetz soll eine Lenkungsabgabe, die sog. **Flugticketabgabe**, eingeführt werden (Art. 42). Für die Lenkungsabgabe sind die Luftverkehrsunternehmen abgabepflichtig (Art. 43,1). Sie müssen für alle Passagiere, die mit einem Flugzeug, das mit **fossilen Energieträgern** betrieben und nach **schweizerischem Recht** abfliegt, die Abgabe zahlen (Art. 42,1). Ausgenommen davon sind u.a. Transit- und Transferpassagiere (Art. 42,2).⁷⁷ Die Abgabe beträgt pro Ticket zwischen **30 bis 120 CHF** (Art. 44,1) und kann allenfalls nach Klasse (Economy-, Business- und Firstclass) und Distanz (Kurz-, Mittel- und Langdistanz) festgelegt werden (Art. 41,2). Wenn **Luftverkehrsunternehmen** Massnahmen zu einer substantziellen Verminderung der Treibhausgasemissionen treffen, kann die Abgabehöhe dieser Unternehmen reduziert werden (Art. 44,3).

Neben der Flugticketabgabe soll für die Flüge, die nicht von der Flugticketabgabe betroffen sind, namentlich Flüge zum Transport mit Flugzeugen mit einer Startmasse von mind. 5.7 t, für welche keine Tickets ausgestellt werden (**Business Aviation**), eine **Abgabe Allgemeine Luftfahrt** eingeführt werden (Art 49). Für diese Abgabe sind die Luftfahrzeughalter abgabepflichtig (Art. 50,1). Die Abgabe beträgt pro abgehenden Flug zwischen **500 bis 3'000 CHF** (Art. 51,1). Auch hier gilt, wenn Luftfahrzeughalter oder Luftfahrzeugbetreiber Massnahmen treffen, die zu einer substantziellen Verminderung der Treibhausgasemissionen führen, kann die Abgabehöhe reduziert werden (Art. 49,4).

Die Flugticketabgabe müssen die Abgabepflichtigen quartalsweise, nach einer Abgabemeldung an das BAFU bzw. in den Klimafonds, gemäss einer Selbstdeklaration einzahlen (Art. 46-48). Die Erhebung der Abgabe Allgemeine Luftfahrt findet voraussichtlich direkt beim Abflug statt. Flüge, die der Mineralölsteuer unterstehen, sind nicht abgabepflichtig (Art.49, 2e).

2.5.2 Klimafonds

Nicht alle Erträge aus der Flugticketabgabe und der Abgabe Allgemeine Luftfahrt kommen in den Klimafonds:

- Weniger als die Hälfte der Erträge aus den Abgaben kommt in den Klimafonds (Art. 53,2)
- Mehr als die Hälfte der Abgaben wird der Bevölkerung und Wirtschaft rückverteilt (Art. 60,1)

⁷⁷ Weitere Passagiere sind davon ausgenommen: Kleinkinder unter zwei Jahren, Passagiere, die mit der Sicherheit im Luftverkehr beauftragt sind. Weiter auch militärische und andere hoheitliche Flüge sowie Flüge, die ausschliesslich aus zwingenden medizinischen Gründen erfolgen.

Der Klimafonds soll zur Finanzierung von Massnahmen, die zu einer wesentlichen **Verminderung der Treibhausgase** führen, eingesetzt werden (Art. 53,2). Die Gelder aus dem Klimafonds sollen u. a. zur Förderung von Technologien verwendet werden (Art. 56). Beim Flugverkehr soll explizit eine **angemessenen Forschungs- und Innovationsförderung** gewährleistet werden (Art. 53,4). Über eine **Branchenvereinbarung** (Art. 57,2) zwischen dem Bund und der Luftfahrtbranche kann die Branche maximal den Betrag, den sie durch die Abgabe selbst in den Fonds einbezahlt hat (49 % der gesamten Abgaben aus der Luftfahrt), für Massnahmen zur Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs einsetzen (Art. 57,2).

Im revidierten Gesetzestext wird bei der Verwendung der Gelder für die Flugbranche somit explizit auf Massnahmen zur innovativen und direkten Verminderung der Klimawirkung⁷⁸ des Luftverkehrs verwiesen. Die Mittel des Klimafonds sollen insbesondere in der Luftfahrt eine angemessene Forschungs- und Innovationsförderung gewährleisten. Eine direkte Förderung von SAF (Subventionierung des Produkts SAF) mittels Klimafondsgeldern wäre somit nicht im Sinne des Gesetzgebers. Allerdings kann über die Förderung der Produktions-Technologien die SAF-Produktion «vergünstigt» werden oder über den Weg der Branchenvereinbarung die SAF-Nutzung indirekt gefördert werden.

Exkurs: Einnahmen aus der Flugticketabgabe und deren Verwendung

Einnahmen

Die genaue Ausgestaltung der Ticketabgabe ist noch offen. Der Bund rechnet aktuell, dass **ab etwa 2024** – also nach der Erholung von der Covid-19-Pandemie – die Flugticketabgabe Einnahmen von knapp über **1 Mrd. CHF pro Jahr** generiert. Für das erste Jahr 2022 der Inkraftsetzung des revidierten CO₂-Gesetzes wird aufgrund der sich erst allmählich von der Covid-19-Pandemie erholende Flugbranche mit Einnahmen von rund 0.7 Mrd. CHF gerechnet.

Es ist davon auszugehen, dass die heute noch unter Schweizer Recht abgewickelten Flüge am **EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg** aufgrund der Einführung der Schweizer Flugticketabgabe in Zukunft unter französischem Recht abgewickelt werden. Dies hätte zur Folge, dass die Einnahmen aus der Flugticketabgabe um rund 12% geringer ausfallen würden. Die Einnahmen verringern sich auch, wenn **Branchenvereinbarungen** abgeschlossen werden.

Verwendung

Mehr als die Hälfte (bspw. 51%) sind an die Bevölkerung und die Wirtschaft zurückzuteilen, was bei 1 Mrd. CHF Einnahmen also mindestens 500 Mio. CHF entspricht. Der Rest fliesst in den Klimafonds. Ein Teil der Klimafondsgelder wird für Nachtzüge, Technologiefonds, Auslandkompensation, Plattform der Kantone und Gemeinde verwendet. Ab 2024 könnten, sofern sich die Einnahmen auf 1 Mrd. CHF belaufen, 300 bis 350 Mio. CHF **Forschungs- und Innovationsförderung im Luftverkehrsbereich** und für **Massnahmen zur innovativen und direkten Verminderung der Emissionen, bzw. daraus folgend zur Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs** bereitgestellt werden.

⁷⁸ In Art. 57, Abs. 2 des totalrevidierten CO₂-Gesetzes wird explizit von Massnahmen zur verbindlichen, wirksamen, innovativen und direkten Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs gesprochen. Darunter sind Massnahmen zu verstehen, die in erster Linie die klimarelevanten Emissionen des Luftverkehrs reduzieren.

3 Ansatzpunkte und Massnahmen

3.1 Ansatzpunkte zur Minderung der Klimawirkung des Luftverkehrs

Wie eingangs bereits erwähnt, untersuchen wir in der vorliegenden Studie nur einen Aspekt der umweltbezogenen Nachhaltigkeit des Luftverkehrs – nämlich die **Reduktion der Klimawirkung**. Andere Aspekte der Nachhaltigkeit, wie bspw. Lärm oder lokale Luftqualität, werden nicht analysiert. Bei der Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs sind CO₂-Emissionen und die Nicht-CO₂-Effekte relevant. Die nachfolgende Abbildung 3-1 zeigt die Ansatzpunkte zur Erreichung des Netto-Null-Ziels bei den CO₂-Emissionen und bei der Minderung des Nicht-CO₂-Effekts.

Erreichung Netto-Null-Ziel bei den CO₂-Emissionen

Die durch den Einsatz von fossilem Kerosin entstehenden CO₂-Emissionen, sind bis ins Jahr 2050 gemäss langfristiger Klimastrategie des Bundesrats auf Netto-Null zu reduzieren. Damit dieses ambitionierte Ziel erreicht werden kann, ist das «volle Register» aller möglicher Massnahmen zu mobilisieren. Aus den aktuellen Diskussionen und Studien (vgl. nachfolgender Exkurs) zeichnet sich ein Konsens ab, dass das Netto-Null-Ziel wie folgt erreicht werden kann:

- Nutzung von SAF (Biofuels und Synfuels aus PtL und StL) anstelle von fossilem Kerosin
- Offsetting (Kompensation der CO₂-Emissionen aus fossilem Kerosin mit CORSIA, allfällige Kompensation von CO₂-Emissionen und Nicht-CO₂-Effekten, mittel-, längerfristig Offsetting mit negativen Emissionstechnologien (NET))⁷⁹
- Effizientere Flugzeuge (über den Trend der technologischen Entwicklung hinausgehende Technologien, wie bspw. Elektro- oder Wasserstoffflugzeuge)
- Operationelle Effekte (treibstoffeffizientere Abwicklung des Flugverkehrs am Boden und in der Luft)
- Nachfrageseitige Effekte (Minderung der Nachfrage bzw. des Nachfragewachstums im Flugverkehr)

Die drei Studien im nachfolgenden Exkurs illustrieren aber auch, dass in Bezug auf die Gewichtung der einzelnen Ansatzpunkte Unterschiede bestehen. In allen Studien ist die **SAF-Nutzung der wichtigste Ansatzpunkt**. Die grössten Unterschiede ergeben sich in der Einschätzung der Bedeutung des Offsettings (inklusive NET) und der neuen Flugzeugtechnologien (vor allem Wasserstoffflugzeuge).

Minderung und Offsetting des Nicht-CO₂-Effekts

Die Nicht-CO₂-Effekte unterscheiden sich von Flug zu Flug sehr stark. Bis Heute gibt noch keine Metrik, die den Nicht-CO₂-Effekt eines einzelnen Flugs beziffern könnte, u.a. auch, weil die Wirkung von den Umgebungsbedingungen um das Flugzeug herum abhängt. Die bedeu-

⁷⁹ Gabrielli; Gazzani; Mazzotti (2020).

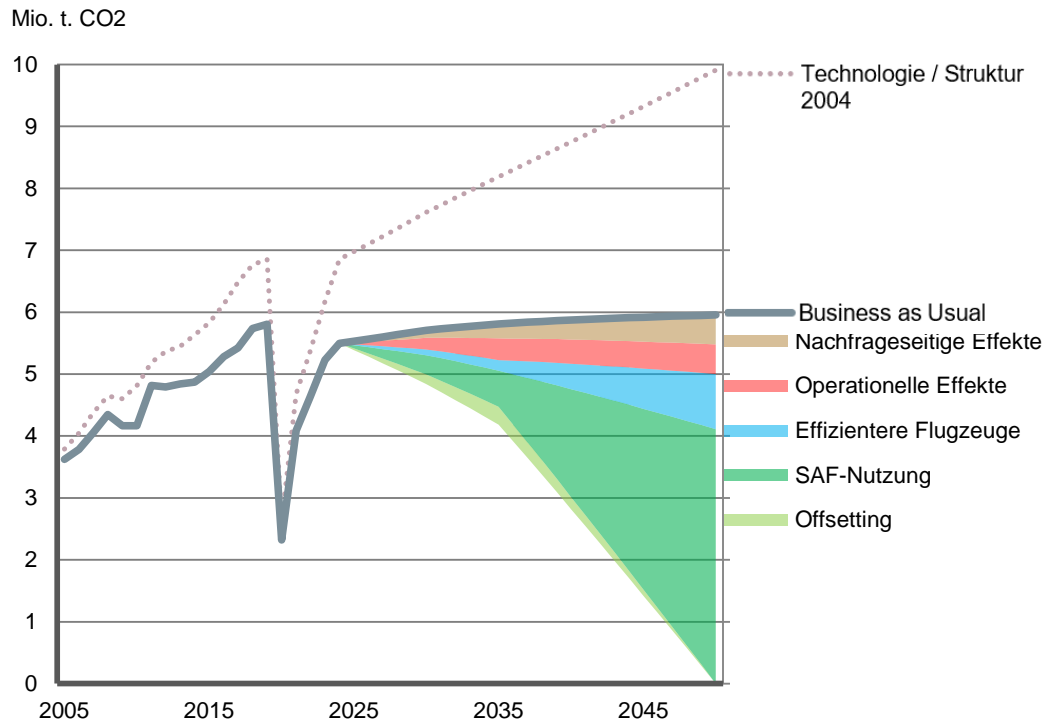
tendste zusätzliche Klimawirkung (Wolkenbildung) verschwindet indessen teils schon nach Minuten bis Stunden. Die langfristige Wirkung der zusätzlichen Effekte hängt im Wesentlichen auch davon ab, ob die zugrunde liegenden Emissionen in Zukunft zunehmen, stabilisiert werden oder abnehmen. Entsprechend wird die Wirkung weiter erwärmend, klimaneutral oder in Bezug auf die Vorjahre kühlend. Somit gibt es beim Nicht-CO₂-Effekt noch grosse Unsicherheiten zu ihrem längerfristigen Erwärmungspotenzial - die Zusammenhänge und Abhängigkeiten sind noch nicht vollständig geklärt.

Es gibt – im Unterschied zu den CO₂-Emissionen – noch keinen Konsens, welche allfälligen Massnahmen zur Minderung der Nicht-CO₂-Effekte des Flugverkehrs zur Einhaltung des 1.5°C-Ziels notwendig sind. Neben den luftfahrt-sektorinternen Massnahmen wie die Reduktion der für die Nicht-CO₂-Effekte verantwortlichen Emissionen und Massnahmen zur Verminderung der Kondensstreifen und Zirrenbildung, könnten auch negative Emissionstechnologien (NET wie DACCS oder BECCS) einen Beitrag leisten.

Aufgrund der noch sehr grossen Unsicherheiten thematisieren wir den Nicht-CO₂-Effekt in der vorliegenden Studie daher nur am Rande, wollen aber im Hinblick auf die Gesamtsicht den Nicht-CO₂-Effekt nicht ganz aussen vor lassen.

Abbildung 3-1: Ansatzpunkte zur Erreichung des Netto-Null-Ziels bei den CO₂-Emissionen und der Minderung des Nicht-CO₂-Effekts des Flugverkehrs

Erreichung Netto-Null-Ziel bei den CO₂-Emissionen (Prinzipschema)



Anmerkung: Das Netto-Null-Ziel wird hier bezogen auf die in der Schweiz vertankten Flugtreibstoffe (Absatzprinzip).

Minderung und Offsetting des Nicht-CO₂-Effekts

- **Verminderung** von Wasserdampf, NO_x, SO₂, Russ als weitere **klimarelevante Emissionen** durch effizientere Flugzeuge, Minderung der Flugbewegungen und Verschärfung der globalen ICAO-Schadstoffgrenzwerte für NO_x und Anzahl der Russpartikel. Die substanzielle Reduktion von Russpartikel-Emissionen und SO₂ ist auch in bestehenden Flugzeugflotten direkt durch die Verwendung von SAF möglich. In Kombination mit neuer Triebwerkstechnologie sind mit SAF praktisch russfreie Triebwerke möglich.⁸⁰
- **Verminderung von Kondensstreifen und Zirrenbildung** – vor allem in klimasensitiven Gebieten (basierend auf verlässlichen meteorologischen Daten Optimierung der Flugrouten und Flugzeiten bspw. mittels Lenkung über Fluggebühr usw.). Neuere Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass SAF ebenfalls zur Verminderung beitragen werden.⁸¹
- Der nicht vermeidbare Nicht-CO₂-Effekt könnte mittels **NET** (bspw. BECCS oder DACCS) kompensiert werden.

⁸⁰ Vgl. EASA Engine Emissions Databank.

⁸¹ Vgl. bspw. die Forschungskoooperation zwischen dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der amerikanischen NASA im Bereich der Atmosphärenforschung (www.dlr.de/content/de/artikel/luffahrt/alternative-treibstoffe-fuer-die-luffahrt.html).

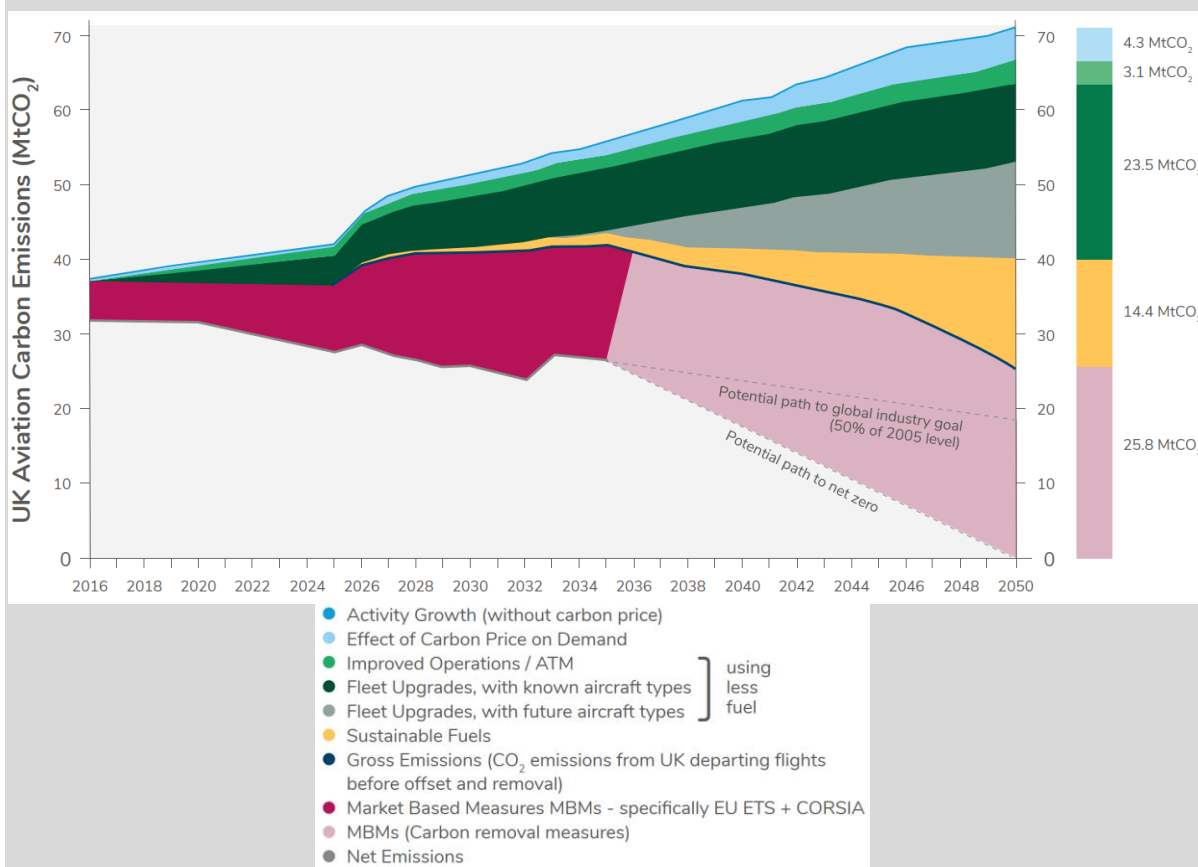
Exkurs: Dekarbonisierung im Luftverkehr – drei aktuelle Studien und ein «Think Paper»

Nachfolgend zeigen wir in aller Kürze aktuelle Studien, die aufzeigen, wie das Netto-Null-Ziel bzgl. der CO₂-Emissionen im Flugverkehr erreicht werden kann. Eine Studie bezieht sich auf ein bestimmtes Land – Grossbritannien, eine auf den europäischen Luftverkehr und die letzte auf den globalen Luftverkehr. Zu einer ähnlichen Einschätzung bzgl. den notwendigen Schritten zur Erreichung des Netto-Null-Ziels kommt auch das «Think Paper» von Eurocontrol.

Dekarbonisierung des Luftverkehrs in Grossbritannien bis 2050

Für Grossbritannien zeigt «Sustainable Aviation»⁸², eine 2005 gegründete Initiative – getragen von den wichtigsten Stakeholdern⁸³, wie die Dekarbonisierung des Flugverkehrs bis 2050 gelingen könnte. Wie die nachfolgende Abbildung 3-2 zeigt, wird dem Offsetting, der SAF-Nutzung und neuen Flugzeugtechnologien die hauptsächliche CO₂-Emissions-Reduktion zugesprochen. Beim Offsetting wird mittelfristig auf CORSIA gesetzt und längerfristig auf ein reformiertes, auf das Netto-Null-Ziel ausgerichtetes marktbasierendes post-CORSIA-System, welches auch heimische CCS-Technologien miteinbeziehen soll.

Abbildung 3-2: Dekarbonisierung des Flugverkehrs in Grossbritannien



⁸² Sustainable Aviation (2020).

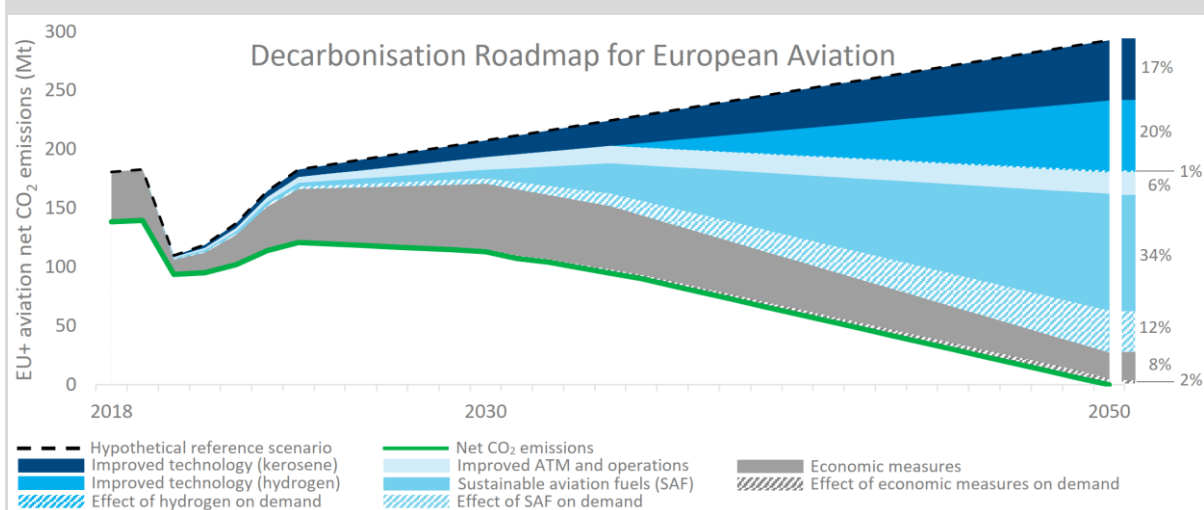
⁸³ Darunter der Dachverband der Flughäfen AOA und einzelne Flughäfen wie Heathrow, Gatwick, London City, London Luton, Newcastle, Liverpool, Bristol, Birmingham, Southampton, Glasgow, Edinburgh; Flugzeughersteller oder -zulieferer wie Airbus, Boeing, RollsRoyce, Treibstoffproduzenten wie BP, Fulcrum, Lanztech; Dachverband der Fluggesellschaften AirlinesUK und einzelne Fluggesellschaften wie BritishAirways, easyJet, Jet2.com.

Bei der SAF-Nutzung wird darauf hingewiesen, dass die Umsetzung dringlich an die Hand zu nehmen ist. Dabei wird im Wesentlichen auf heimisch produzierte Biofuels gesetzt. Technologisch verspricht sich «Sustainable Aviation» noch deutliche Effizienzsteigerungen im Treibstoffverbrauch bis 2050. Mit Elektroflugzeugen wird erst ab 2040 gerechnet – und dies beschränkt auf Kürzestflugdistanzen bis 400 km.

Dekarbonisierung des europäischen Luftverkehrs bis 2050 («Destination 2050»)

Im Auftrag von fünf zentralen Dachorganisationen⁸⁴ des europäischen Luftverkehrs wurde unter dem Titel «Destination 2050»⁸⁵ ein Weg zu Netto-Null-CO₂-Emissionen der europäischen Luftfahrt gezeichnet. In diesem Bericht bringt SAF den Hauptbeitrag zur Erreichung von Netto-Null bis 2050 (vgl. nachfolgende Abbildung 3-3). Wobei auch hier vor allem auf heimische Produktion von Biofuels und Synfuels (PtL) gesetzt wird – also nicht von einem globalen Markt von Biofuels und Synfuels ausgegangen wird. Die erhöhten Kosten für SAF führen zu einem Rückgang der Nachfrage. Ein weiterer wichtiger Beitrag wird ab 2035 von Wasserstoffflugzeugen auf Kurzdistanzen erwartet. Zusammen mit den operationellen Massnahmen kann der innereuropäische Flugverkehr das Netto-Null-Ziel erreichen. Für die Flüge aus Europa wird damit gerechnet, dass ein Offsetting nötig sein wird, dass das in Europa hergestellte SAF nicht ausreicht, um den ganzen Treibstoffbedarf 2050 zu decken.

Abbildung 3-3: Dekarbonisierung des europäischen Luftverkehrs («Destination 2050»)



Aufbauend auf diesem Bericht haben sich 24 Dachorganisationen des Europäischen Luftverkehrs im Rahmen eine «EU Pact for Sustainable Aviation» zu folgenden Punkten verständigt:⁸⁶

- Bekenntnis zum Netto-Null-Ziel 2050: Alle Stakeholder sollen zusammenarbeiten, um das Netto-Null Ziel für die CO₂-Emissionen des Flugverkehrs innerhalb der EU als auch für alle Flüge mit Abflug aus der EU bis 2050 zu erreichen.

⁸⁴ A4E – Airlines for Europe, ACI Europe – Airports Council International, ASD – AeroSpace and Defence Industries Association of Europe, era – European Regions Airline Association, canso – Civil Air Navigation Services Organisation.

⁸⁵ Royal Netherlands Aerospace Centre NLR; SEO Amsterdam Economics (2020).

⁸⁶ Assembled European Aviation Sector (2020).

- Dringliche Schaffung eines EU-Gesetzesrahmens zur Förderung der SAF-Produktion und -Nutzung.
- Schaffung eines Anreizsystems für die Flottenerneuerung.
- Erhöhung der Finanzierungsbeiträge für Forschung und Innovationen via EU-weite Finanzierungsmechanismen.
- Spezielles Augenmerk ist auf den Single European Sky zu werfen und die bestehenden Instrumente EU-ETS und CORSIA fortzuführen.

Auf dem Weg zur Dekarbonisierung des globalen Luftverkehrs («Waypoint 2050»)

Die Air Transport Action Group (ATAG)⁸⁷ – eine Plattform für die globale Zusammenarbeit in der Luftfahrtindustrie zu langfristigen Nachhaltigkeitsthemen – hat mit «Waypoint 2050»⁸⁸ einen globalen, sektorweiten Klimaplan mit dem Ziel vorgelegt, die Netto-CO₂-Emissionen bis 2050 um die Hälfte zu reduzieren gegenüber 2005 (entspricht 325 Mio. t CO₂). Dies bei einem globalen Passagierkilometerwachstum von 3% zwischen 2019 bis 2050. Auch wenn einzelne Länder oder Regionen bereits bis 2050 das Netto-Null-Ziel erreichen, dürfte es gemäss «Waypoint 2050» bis zum Jahr 2060/65 dauern, bis das Netto-Null-Ziel in Bezug auf die CO₂-Emissionen für die globale Luftverkehrsbranche erreicht wird.

Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass klimaeffizientere Flugzeuge (u.a. treibstoffeffizientere Flugzeuge und ab 2035/40 kleinere Elektroflugzeuge für Kürzestdistanzen und Wasserstoffflugzeuge für Kurz- bis maximal Mitteldistanzen) die CO₂-Emissionen deutlich senken können. Auch die operationellen Massnahmen sind wichtig. Herausragend ist aber gemäss «Waypoint 2050» der Beitrag der SAF⁸⁹, wobei hier kurz- und mittelfristig mit Biofuels und längerfristig zusätzlich auch mit Synfuels (PtL) gerechnet wird. Interessant ist, dass die Bedeutung des Offsettings – also Massnahmen ausserhalb des Luftverkehrssektors – kurz-, mittelfristig eine Rolle spielen, längerfristig aber nicht. Hier muss allerdings angemerkt werden, dass «Waypoint 2050» darauf hinweist, dass das Offsetting, also die Massnahmen ausserhalb des Luftverkehrssektors, eine Rolle spielen könnten: Insbesondere DAC, CCS bzw. DACCS und BECCS. Priorität sollen aber die Massnahmen innerhalb des Luftverkehrssektors haben.

Im Unterschied zu den beiden oben genannten Studien wird in «Waypoint 2050» auch die Thematik der Nicht-CO₂-Effekte kurz erwähnt.⁹⁰ Es wird darauf hingewiesen, dass es einen Trade-off zwischen CO₂-Emissionen und Nicht-CO₂-Effekt geben kann, wenn bspw. auf geringerer Flughöhe mit entsprechend höherem Treibstoffverbrauch die Bildung von Kondensstreifen und Zirren vermindert wird. Weiter dürfte die Verwendung von SAF die Partikelemissionen reduzieren, was zu deutlich weniger Kon-

⁸⁷ Besteht aus rund 40 Mitgliedern, diverse Dachverbände (Airlines und Flugsicherer), IATA, Flugzeughersteller und Zulieferbetriebe, vereinzelte Flughäfen.

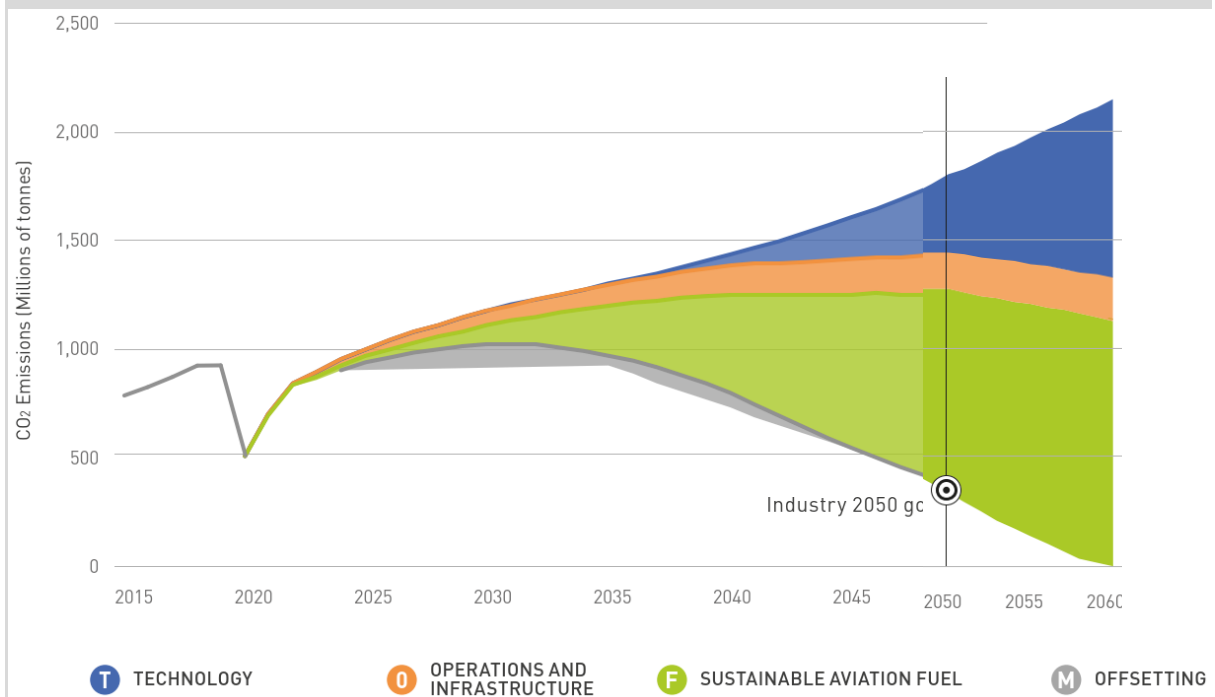
⁸⁸ ATAG (2020).

⁸⁹ «Sustainable fuels for air transport are already being used and will remain the most significant opportunity for emissions reduction in the long-term, particularly for long-haul traffic.», ATAG (2020), Seite 1.

⁹⁰ ATAG (2020), Seite 14.

denstreifen führt. Bei Elektroflugzeugen dürften die Kondensstreifen kein Thema mehr sein. Bei Wasserstoff-Flugzeugen ist die Kondensstreifenbildung zur Zeit ungeklärt, da Wasserstoff-Flugzeuge etwa dreimal so viel Wasserdampf ausstossen, als mit Kerosin betriebene, dafür eventuell auf tieferen Flughöhen operieren. Die Hauptherausforderung sieht «Waypoint 2050» bei der Bereitstellung von verlässlichen meteorologischen Daten und dem Routenmanagement in vollen Flugräumen.

Abbildung 3-4: Dekarbonisierung des globalen Luftverkehrs («Waypoint 2050»)
(Szenario 1: Pushing Technology and Operations)

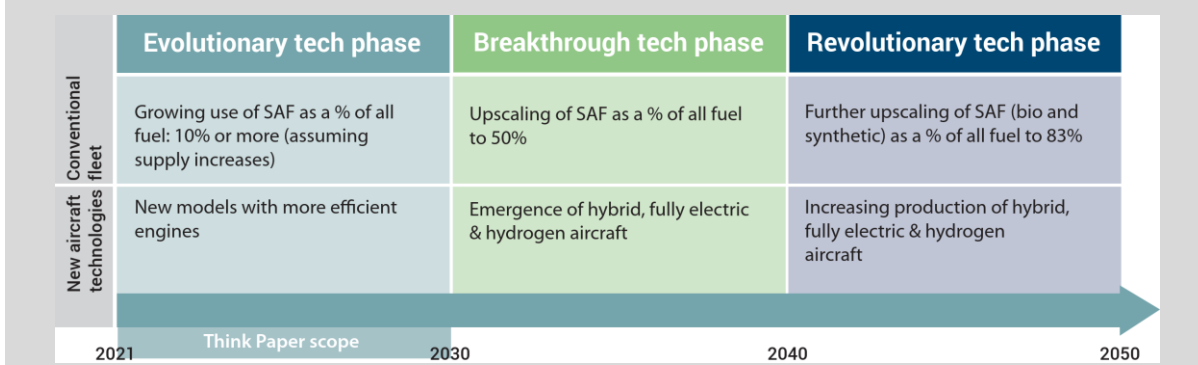


Der «perfekte grüne Flug» gemäss Eurocontrol «Think Paper»

Eurocontrol zeigt in einem «Think Paper»⁹¹ die Ansatzpunkte, Herausforderungen und Massnahmen für einen «perfekten grünen Flug», der zur Erreichung des Netto-Null-Ziels notwendig ist. In Bezug auf die Massnahmen zur Erreichung der Ziele kommt Eurocontrol zu ähnlichen Schlüssen, wie die oben vorgestellten Studien. Eurocontrol betont ebenfalls die grosse Bedeutung von SAF und setzt im Vergleich zu den obigen Studien noch stärker auf Elektro- und Wasserstoffflugzeuge (vgl. nachfolgende Abbildung).

⁹¹ Eurocontrol (2021).

Abbildung 3-5: Hochfahren der SAF-Nutzung und neue Antriebstechnologien auf der Zeitachse



3.2 Massnahmenüberblick

Für die CO₂-Emissionen des nationalen Flugverkehrs, mit einem Anteil von 2% an den gesamten CO₂-Emissionen des Flugverkehrs, ist die Schweiz selber zuständig. Die Reduktion der Treibhausgase des internationalen Flugverkehrs, welcher in der Schweiz einem Anteil von 98% hat, fällt in die Verantwortung der ICAO.⁹² Die bisher von der ICAO getroffenen Massnahmen reichen aber bei weitem nicht aus, um die notwendige Reduktion der Klimawirkung des Flugverkehrs zu erreichen. Es stellt sich somit die Frage, ob es angesichts der aktuell und absehbar zu schwachen Wirkung der international vereinbarten Massnahmen **sinnvolle – von der Schweiz eigenständig – zu ergreifenden Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen im internationalen Flugverkehr** gibt. Schon an dieser Stelle sei klar festgehalten, dass für den internationalen Flugverkehr **international koordinierte, griffige und effektiv ausgestaltete Massnahmen immer der zielführendere Weg wäre** (grössere Wirksamkeit, keine Wettbewerbsverzerrungen usw.).

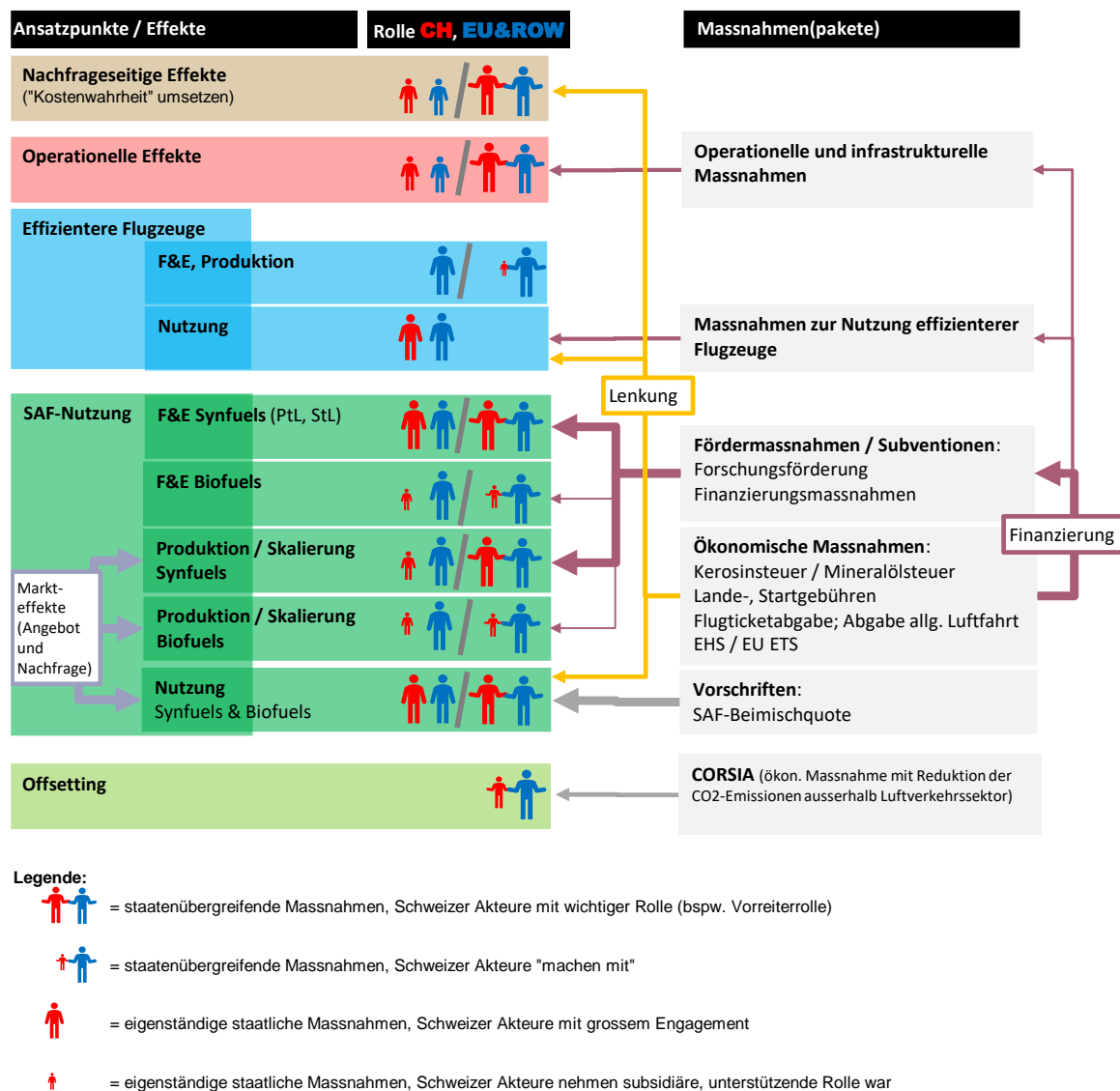
Die nachfolgende Abbildung zeigt auf, mit welchen Massnahmen(paketen) die für die Dekarbonisierung erwünschten Effekte anzugehen wären. Dabei ist zu beachten, dass wir nicht auf der «grünen Wiese» beginnen, sondern bereits ein dichtes Geflecht an Massnahmen in der Schweiz, in der EU und auf globaler Ebene besteht (vgl. Kapitel 2). Die Abbildung zeigt weiter, welche Rolle die Schweiz aus Sicht Ecoplan spielen kann.

Aerosuisse erarbeitete parallel ebenfalls Massnahmen zu CO₂-Reduktionsmassnahmen im Luftverkehr.⁹³ Die Massnahmen der vorliegenden Road Map und der von Aerosuisse erarbeiteten Massnahmen überlappen sich teilweise. Der Massnahmenplan von Aerosuisse enthält zusätzlich Einschätzungen zu den CO₂-Vermeidungskosten einzelner Massnahmen.

⁹² Die Gletscherinitiative will den vollumfänglichen Einbezug der klimawirksamen Emissionen der internationalen Luftfahrt in das Schweizer Reduktionsziel. So sollen alle Flugtreibstoffe, die in der Schweiz in Verkehr gebracht werden, einbezogen werden. Auch im direkten Gegenentwurf zur Gletscherinitiative soll die Klimawirkung der internationalen Luftfahrt im Netto-Null-Ziel berücksichtigt werden, allerdings nur insoweit, wie dies wissenschaftlich und technisch im Einklang mit den Angaben im Treibhausgasinventar möglich ist. Aktuell würde dies die Treibhausgasemissionen CO₂, Methan und Lachgas betreffen – nicht aber die massgeblich für den Nicht-CO₂-Effekt verantwortlichen NO_x-, Feinstaub-Emissionen.

⁹³ Aerosuisse (2021).

Abbildung 3-6: Massnahmen und die Rolle der Schweizer Akteure



Bevor wir auf die einzelnen Massnahmen(pakete) in den folgenden Kapiteln eingehen, wollen wir summarisch zur obigen Abbildung folgende Punkte festhalten:

- Nachfrageseitige Effekte: Die Reduktion der Nachfrage im Luftverkehr ist kein Ziel für sich, sondern die Reaktion auf die *Umsetzung der «Kostenwahrheit» im Luftverkehr*. Die Massnahmen sind darauf auszurichten, dass der Luftfahrtsektor seine vollen Kosten – und damit auch die Kosten der Dekarbonisierung – trägt.
- Staatenübergreifende Massnahmen sind zentral für die Erreichung von Netto-Null bis 2050. Das *Hauptaugenmerk wird auf der Weiterentwicklung dieser staatenübergreifenden – heute noch unzureichenden – Massnahmen* liegen.

- Die Schweiz hat neben den staatenübergreifenden Massnahmen, die sie mitträgt, einen *erheblichen Handlungsspielraum für eigenständige Massnahmen*. Neben den operationellen und infrastrukturellen Massnahmen sowie dem Einsatz effizienterer Flugzeuge stehen Massnahmen zur SAF-Nutzung im Vordergrund.

In den nachfolgenden Kapiteln gehen wir detaillierter auf die einzelnen Massnahmenpakete ein:

- Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen (Kapitel 3.3)
- Effizientere Flugzeuge (Kapitel 3.4)
- Offsetting (Kapitel 3.5)
- Ökonomische Massnahmen und SAF-Nutzung (Kapitel 3.6)

3.3 Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen

Umfeld und Überblick

In operationellen und infrastrukturellen Massnahmen liegen beachtliche klimarelevante Effizienzverbesserungen. Es handelt sich dabei um viele einzelne Massnahmen, die aber in der Summe einen wichtigen Beitrag an das Netto-Null-Ziel leisten. Die operationellen und infrastrukturellen Massnahmenpakete zur **Minderung der CO₂-Emissionen** sind:

- *Treibstoff-optimierter Flugbetrieb der Fluggesellschaften*: optimierte Flugplanung, Reduzierung des Gewichts der Flugzeuge, intensivere Wartung, Harmonisierung der Fluggebühren, Windschattenfliegen.
- *Flugverkehrsmanagement (ATM Air Traffic Management)*: Flexibler militärischer Luftraum, Free Route Airspace (freie Streckenführung)
- *Bodenmassnahmen der Flughäfen*: Der Beitrag der direkten CO₂-Emissionen der Flughäfen beträgt ungefähr 4% der Emissionen der Aviatik. Die Schweizer Flughäfen haben sich selbst verpflichtet diese CO₂-Emissionen bis 2050 auf Netto-Null zu bringen (durch energiesparende Gebäude, Energieeffizienz, nichtfossile Heizung und Kühlung, Elektrifizierung der Fahrzeuge auf dem Rollfeld, Produktion nachhaltiger Energien).⁹⁴

Durch eine geeignete Wahl der Flugrouten kann differenziert für jeden einzelnen Flug in Abhängigkeit des Wetters eine klimaefiziente Flugroute gewählt werden und damit der **Nicht-CO₂-Effekt** (Bildung von Kondensstreifen und Zirren) reduziert werden. Dass dabei die CO₂-Emissionen nicht ansteigen dürfen, erhöht die Komplexität weiter. Eine direkte Reduktion der Nicht-CO₂-Effekte kann bei bestehenden Flotten hingegen durch die Verwendung von SAF erzielt werden. Da es bzgl. der Nicht-CO₂-Effekte noch sehr viele Unsicherheiten gibt, ist zuerst das notwendige Wissen zur Kausalkette der Nicht-CO₂-Emissionen auf die Klimawirkung und

⁹⁴ Die Organisation ACI EUROPE (ACI = Airport Council International) bündelt die Anstrengungen von 336 Flughäfen (Stand 11.3.2021) über ein Akkreditierungsfahren, welches die Minderung der CO₂-Emissionen zum Ziel hat (vgl. www.airportco2.org).

zur Herleitung einer Metrik/Funktion zur Messung der Klimawirkung zu vertiefen und eine operable Umsetzung des klima-optimierten Routings zu entwickeln. Da die Nicht-CO₂-Emissionen und deren Wirkung sich nicht proportional zu den CO₂-Emissionen verhalten, sollte die Messung der Klimawirkung auf Basis der effektiv ausgestossenen Nicht-CO₂-Emissionen und nicht auf Basis der CO₂-Emissionen erfolgen.

Minderungspotenziale

Der Beitrag der operationellen und infrastrukturellen Massnahmen an die **Reduktion der CO₂-Emissionen** wird im Jahr 2050 zwischen 5%⁹⁵, 6%⁹⁶ bis 10%⁹⁷ geschätzt.

Was eine klima-optimierte Routenwahl bzgl. der **Nicht-CO₂-Effekte** im Jahr 2050 bringt, kann aufgrund vieler Unsicherheiten zu den Zusammenhängen zwischen den Emissionen und der Klimawirkung sowie der Entwicklung der relevanten Emissionen noch nicht abgeschätzt werden. Es darf vermutet werden, dass mit einer klima-optimierten Routenwahl ein Beitrag zur Reduktion der Nicht-CO₂-Effekte geleistet werden kann. Dies kann aber auch auf Kosten von höheren CO₂-Emissionen gehen. Eine Studie⁹⁸ zeigt, dass selbst kleine, aber nachhaltige Änderungen der Streckenführung auf der Nordatlantik-Route zu erheblichen Reduktionen der Klimawirkung um 10%⁹⁹ führen – dies allerdings auf Kosten höherer Betriebskosten von 1%, dies vor allem aufgrund höherem Treibstoffverbrauch und damit höheren CO₂-Emissionen. Bei einer klima-optimierten Routenwahl muss somit immer eine gesamthafte Abwägung von Nicht-CO₂-Emissionen und CO₂-Emissionen unter Einrechnung von vielen Einflussfaktoren (Wetterbedingungen, eingesetzter Treibstoff, Flugzeugtyp usw.) vorgenommen werden.

Massnahmenliste

Die nachfolgende Liste stellt die wichtigsten Massnahmen im operationellen und infrastrukturellen Bereich zusammen.

⁹⁵ Sustainable Aviation (2020).

⁹⁶ Royal Netherlands Aerospace Centre NLR; SEO Amsterdam Economics (2020).

⁹⁷ ATAG (2020).

⁹⁸ Grewe; Matthes; Frömming; u. a. (2017).

⁹⁹ Grewe; Matthes; Frömming; u. a. (2017) bestimmen die Klimawirkung aus der durchschnittlichen globalen und zeitlichen Reaktion der oberflächennahen Temperatur über 20 Jahre nach Einführung der klima-optimierten Routing-Strategie.

Abbildung 3-7: Massnahmenliste operationelle und infrastrukturelle Massnahmen

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
•Treibstoff-optimierter Flugbetrieb der Fluggesellschaften		
Treibstoff-effiziente Flugplanung und -ausführung (CO₂-Reduktionspotenzial rund 3%)		
Airlines streben die wirtschaftlichste Route an, was nicht unbedingt die treibstoffeffizienteste Route ist. Hindernisse für ein treibstoffeffizientes Routing können die geforderte Pünktlichkeit (insbesondere bei Fluggesellschaften mit relevantem Transitannteil), die Slot-Verfügbarkeit, aber auch unterschiedliche Fluggebühren der nationalen Flugsicherer sein.		
– Nutzung modernster Flugplanungssoftware	– Airlines zusammen mit der Flugsicherung	bis 2025
– Teilweise Harmonisierung der Fluggebühren , damit die Fluggebühren keine Anreize mehr bieten, längere Routen zu wählen.	– EU-Kommission	bis 2030
Gewichtsreduktion (CO₂-Reduktionspotenzial rund 1%)		
– Gewichtsreduktion durch weniger/leichtere Ausrüstung (leichtere Sitze, Kabinentrolleys, bedürfnisgerechte Füllung der Wassertanks, Optimierung beim Cargo über bspw. leichtere Container usw.).	– Airlines	Daueraufgabe
– Vermeiden von Tankering ¹⁰⁰ (freiwillig/selbstverpflichtend durch Airlines oder durch Preisangleichung innerhalb Europas) ¹⁰¹	– Airlines bzw. EU-Kommission	bis 2025/30
Wartung (CO₂-Reduktionspotenzial <1%)		
– Häufigere Spezialreinigung der Triebwerke	– Airlines	Daueraufgabe
Windschattenfliegen (bspw. Formationsflüge auf der Nordatlantikroute)¹⁰² (CO₂-Reduktionspotenzial rund 3%)		
	Airlines im Zusammenspiel mit Flugsicherern	nach 2030
Flugverkehrsmanagement (ATM Air Traffic Management)		
Single European Sky (CO₂-Reduktionspotenzial 5% innerhalb EU+, 1.5% für Flüge in/aus EU+)		
Umsetzung eines einheitlichen europäischen Luftraums mit	Umsetzung im Rahmen von FABEC ¹⁰⁴	bis 2030
– Flexibler militärischer Luftraum		
– Free Route Airspace (freie Streckenführung)		
Vgl. dazu auch den ARCS/ACR-Bericht «Opportunity for Change in Swiss Aviation» ¹⁰³		
Verbesserung aussereuropäischen ATM-Effizienz (u.a. Nordatlantik-Route) (CO₂-Reduktionspotenzial >1%)		
	Umsetzung via Single European Sky bzw. FABEC, unterstützt in ICAO-Gremien	bis 2030

¹⁰⁰ Das Treibstoff-Tankering ist zu 90% auf Treibstoffpreis-Differenzen zwischen Quell- und Zieldestination zurückzuführen. Eurocontrol schätzt, dass mit dem Tankering in Europa 265 Millionen Euro an Netto-Einsparung erzielt und durch das vermehrte Gewicht insgesamt zusätzliche 900'000 Tonnen CO₂ emittiert werden (vgl. Eurocontrol (2019)).

¹⁰¹ Vgl. bspw. „Dual tax rate“ in Transport & Environment (2020), Seite 87f.

¹⁰² Es wird mit erheblichen Treibstoffeinsparungen von einigen Prozent gerechnet. Sehr herausfordernd wird aber die Formierung der Flüge sein.

¹⁰³ ARCS, ACR (2020), Seiten 42ff und 64.

¹⁰⁴ Functional Airspace Block Europe Central (FABEC).

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
Bodenmassnahmen		
Dekarbonisierung des Flughafenbetriebs (energieeffiziente Gebäude und Fahrzeuge, Nutzung und Produktion erneuerbarer Energie)		
– Erstellung und Kommunikation eines Masterplans zur vollständigen Dekarbonisierung des Flughafens bis 2050	– Flughäfen	2023 bis 2050
– Umsetzung des Masterplans und rollende Anpassung des Masterplans	– Flughäfen	
Taxi-Emissionen und APU-Einsatz (CO₂-Reduktionspotenzial < 1%)		
– Reduzierung Taxi-Emissionen (elektr. Taxiing, Installation von Taxi-Elektromotoren -> Sekundärnutzen am Flughafen selber durch weniger NOx)	– Airlines, Flughäfen	Daueraufgabe
– Reduzierter APU-Einsatz (APU Auxiliary Power Unit): Die Hilfsturbine für die Versorgung der Bordsysteme wird ersetzt durch CO ₂ -neutrale Stromversorgung (in der Schweiz schon weitgehend umgesetzt)	– Flughäfen	Daueraufgabe
Klima-optimierter Flugbetrieb (unter Einbezug der Nicht-CO₂-Effekte) (Reduktionspotenzial noch offen)		
– Atmosphärenforschung zur Kausalkette der Nicht-CO ₂ -Emissionen auf die Klimawirkung und zur Herleitung einer Metrik/Funktion zur Messung der Klimawirkung und einer Äquivalenz mit den CO ₂ -Emissionen	– ARCS, Wissenschaft	bis 2030/35
– Entwicklung einer operablen Umsetzung des klima-optimierten Routings	– ARCS, Wissenschaft	bis 2030/35
– Umsetzung eines klima-optimierten Routings	– ICAO, EU	nach 2035

Fazit: Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen können einen beachtlichen Teil - 5% bis 10% - an das Netto-Null-Ziel für die CO₂-Emissionen und an die Verminderung der Nicht-CO₂-Effektes des Luftverkehrs bei. Auch wenn es sich bei den operationellen und infrastrukturellen Massnahmen um viele kleinere Massnahme handelt, die teils eine langwierige Abstimmung zwischen Staaten oder einzelnen Stakeholdern verlangen, lohnt sich die Umsetzung, da viele dieser Massnahmen zu relativ tiefen CO₂-Vermeidungskosten umgesetzt werden können.

3.4 Effizientere Flugzeuge

Umfeld und Überblick

Immer effizientere Flugzeuge haben viel dazu beigetragen, dass die CO₂-Emissionen aus dem Flugverkehr auf Grund von Wirtschaftswachstum und damit stark zunehmender Nachfrage nicht noch stärker gewachsen sind. Der technische Fortschritt in Bezug auf die Treibstoffeffizienz wird weitergehen und es darf weiter mit deutlichen Effizienzsteigerungen gerechnet werden, so weisen neue Flugzeuge eine bis 20% bessere Treibstoffeffizienz auf als die heute in Betrieb stehenden Flugzeuge. Wie stark sich diese positive Entwicklung noch beschleunigen lässt, muss offen bleiben. In der Schweiz wurde der Treibstoffbedarf pro Passagierkilometer von 1990 bis heute um mehr als 40% gesenkt, jedoch durch die starke Nachfrage überkompensiert. Eine absolute Reduktion des Treibstoffbedarfs z.B. jährlich in der Schweiz getankt, hängt massgeblich von der Entwicklung der Menge bzw. dem gesamten Gewicht der transportierten Personen und Waren und den Flugdistanzen ab. Auf disruptive, riesige Effizienzsteigerungen bei den konventionellen, mit flüssigen Flugtreibstoffen betriebenen Flugzeugen darf aufgrund der langen Entwicklungshistorie dieser Technologie jedoch nicht gehofft werden.

Neue Flugzeug- und Antriebskonzept, welche neben dem völlig CO₂-freien Betrieb auch eine starke bis fast vollständige Senkung der weiteren klimarelevanten Emissionen ermöglichen, werden längerfristig einen wichtigen Beitrag zum klimaneutralen Fliegen beitragen. Die aktuell diskutierten Konzepte sind:

- *Elektroflugzeuge*: Reiner Elektroflug über die heute üblichen Distanzen im Passagier- und Frachtverkehr wird ohne technische Quantensprünge in den kommenden Jahrzehnten unrealistisch bleiben.¹⁰⁵ Die Batterien sind viel zu schwer: Es braucht rund 30-mal mehr Batteriegewicht als Kerosin für dieselbe Flugdistanz. Auch wenn die Batterietechnologie riesige Fortschritte macht, sind höchstens Flüge bis 500 km vorstellbar. Dieses Kurzstreckensegment macht aber nicht einmal 5% der CO₂-Emissionen des globalen Flugverkehrs aus.¹⁰⁶ Weiter dürfte es 40 bis 65 Jahre dauern vom Beginn einer technologischen Neuentwicklung bis zur vollständigen Flottendurchdringung.¹⁰⁷ Elektrisches Fliegen wird also bis 2050 nur ein Nischendasein (bspw. Elektrotaxis, Drohnen usw.) fristen und nur einen sehr kleinen Beitrag an die Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs leisten können.
- *Wasserstoffflugzeuge*: Wasserstoff kann aus erneuerbarer Energie hergestellt werden und enthält in Bezug auf das Gewicht fast drei Mal so viel Energie wie Kerosin. Das Problem bei Wasserstoff liegt nicht im Gewicht, sondern beim Speichervolumen. Selbst in flüssigem Zustand benötigt Wasserstoff ein etwa vier Mal so grosses Volumen wie Kerosin. Verflüssigen lässt sich Wasserstoff nur mit hohem Druck und/oder extrem tiefen Temperaturen. Für Wasserstoffflugzeuge müsste somit eine völlig neue Logistik und Betankungsinfrastruktur aufgebaut werden, was Jahrzehnte in Anspruch nimmt.¹⁰⁸ Airbus will ab 2035 Wasserstoffflugzeuge auf den Markt bringen.
- *Brennstoffzellenflugzeug*:¹⁰⁹ In diesem Antriebskonzept wird Wasserstoff getankt, daraus mittels Brennstoffzellen Strom erzeugt, welcher Elektromotoren antreibt. Das DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) will mit dem Projekt BALIS, einen Brennstoffzellen-Antriebsstrang mit einer Leistung von rund 1.5 Megawatt entwickeln und erproben. Damit liesse sich ein Regionalflugzeug mit 40 bis 60 Sitzen und einer Reichweite von 1'000 Kilometern realisieren.

Die Schweiz ist kein Produktionsstandort für den Bau von Flugzeugen für den Linien- und Charterverkehr, sie ist aber ein wichtiger Zulieferer. Der grösste Flugzeughersteller sind die Pilatus Flugzeugwerke AG in Stans mit einem Umsatz von über 1 Mrd. CHF. Die Pilatuswerke stellen Trainings- und kleinere Mehrzweckflugzeuge her.

¹⁰⁵ Vgl. Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020a).

¹⁰⁶ Reimers (2018).

¹⁰⁷ Larsson; Eloffsson; Sterner; u. a. (2019).

¹⁰⁸ Larsson; Eloffsson; Sterner; u. a. (2019).

¹⁰⁹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR (2021).

Exkurs: Wasserstoff-Flugzeug-Projekte von Airbus

Airbus will ab 2035 Wasserstoff-Flugzeuge auf den Markt bringen. 2020 hat Airbus drei Konzepte mit verschiedenen Technologien und aerodynamischen Konfigurationen vorgestellt. So wurde ein Modell für Interkontinentalflüge (Turbofan-Konzept) mit Platz für 120-200 Passagiere und einer maximalen Reichweite von etwa 3'000 km präsentiert. Hier soll sich der flüssige Wasserstoff in Tanks im Heck befinden. Ein kleineres Modell (Turboprop-Konzept) für ca. 100 Passagiere und einer Reichweite bis etwa 1'500 km mit einem anderen Triebwerk könnte gemäss Airbus für Kurzstreckenflüge prädestiniert sein. Das dritte Konzept (Blended-Wing-Body) hätte die Wasserstoffspeicherung und -verteilung auf einem breiten Rumpf und soll für bis zu 200 Passagiere Platz haben. Dieses Modell könnte gemäss Airbus auf Interkontinentalflügen eingesetzt werden.¹¹⁰



Blended-Wing-Body



Turboprop-Konzept



Turbofan-Konzept

Technische Minderungspotenziale durch geänderte Antriebssysteme und Energieträger (klima-effizientere Flugzeuge)

Auf Langstreckenflügen, welche global für rund 80% der CO₂-Emissionen verantwortlich sind, wird es bis 2050 noch keinen Einsatz von Elektro- oder Wasserstoffflugzeuge geben. Ab 2035 könnten Elektroflugzeuge Kurzstrecken bis maximal 500 km mit wenigen Sitzplätzen und Wasserstoffflugzeuge Kurz- und Mittelstrecken bis maximal 3'000 km abdecken. Ob und wie schnell das Phase-in dieser neuen Flugzeugtypen gelingt, ist noch nicht klar:

- «Destination 2050» geht davon aus, dass der kommerzielle Einsatz von Elektro- und Wasserstoffflugzeuge ab 2035 erfolgt. «Destination 2050» rechnet für die gesamte europäische Luftfahrt mit einem Beitrag der Wasserstoffflugzeuge an die Reduktion der CO₂-Emissionen im Jahr 2050 von 20%. Dabei werden vor allem die innereuropäischen Flüge mit Wasserstoffflugzeuge betrieben. Der Minderungsbeitrag der Wasserstoffflugzeuge an die Reduktion der CO₂-Emissionen im innereuropäischen Flugverkehr wird im Jahr 2050 auf über 50% geschätzt. Es wird also bis 2050 bereits mit einer hohen Durchdringung mit Wasserstoffflugzeuge auf Kurz- und Mittelstrecken gerechnet.
- «Waypoint 2050» geht ebenfalls davon aus, dass Elektro- und Wasserstoffflugzeuge ab 2035 bis 2040 auf dem Markt sind. «Waypoint 2050» schätzt, dass durch eine beschleunigte Entwicklung alternativer Antriebstechnologien bis 2050 die CO₂-Emissionen um 14% gesenkt werden könnten.¹¹¹ Mit einer aggressiven Entwicklung neuer Flugzeugtypen (inkl. Brennstoffzellenflugzeuge) könnte die CO₂-Emissionsminderung im Jahr 2050 auf 29% erhöht werden.

¹¹⁰ Airbus (2020).

¹¹¹ Differenz zwischen dem Scenario 0 (baseline) und Scenario 1 (pushing technology and operation).

Bei einer forcierten Entwicklung und einem ambitionierten Phase-In der neuen Flugzeugtechnologien könnten diese bis 2050 zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen in der Grössenordnung von 10% bis 20% beitragen.

Massnahmenliste

Die Schweiz wird bei der Entwicklung und Produktion neuer, emissionsarmer Flugzeugkonzepte für den Linien- und Charterverkehr aufgrund der fehlenden Produktionsstandorte nur eine marginale Rolle spielen können.

Die Schweizer Forschung könnte – vorzugsweise international vernetzt – zumindest gewisse Nischen bei der Entwicklung und der Umsetzung neuer Flugzeugkonzepte besetzen.¹¹² Diese Nischen könnten beispielsweise im Schnittstellenbereich zur benötigten Infrastruktur (Betankungsprozesse), zum Unterhalt neuer Flugzeugtypen usw. liegen. Zur Positionierung der Schweizer Forschung wird als Massnahme vorgeschlagen, eine Forschungsstrategie und ein entsprechender Aktionsplan zu entwickeln.

Der zweite Ansatzpunkt betrifft die Flughäfen, welche sich im Hinblick auf die allfällige Erweiterung ihrer Betankungsinfrastruktur (Wasserstoff und Strom) schon heute konzeptionell und planerisch (bspw. Vorhaltung der notwendigen Flächen) mit dieser Thematik auseinandersetzen müssen. Ein dritter Ansatzpunkt ist die Setzung von Anreizen zum Einsatz von treibstoffeffizienten Flugzeugen. Im Vordergrund stehen hier vor allem die Flugzeuge für den Langstreckenverkehr, da dieser rund 80% der CO₂-Emissionen verursacht.

Die nachfolgende Liste stellt die aus Schweizer Sicht wichtigsten Massnahmen zur Unterstützung der Nutzung möglichst effizienter Flugzeuge zusammen.

Abbildung 3-8: Massnahmenliste Einsatz effizientere Flugzeuge

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
Nischen-Forschungsstrategie und Aktionsplan «Effiziente Flugzeugkonzepte» Positionierung der Schweizer Forschung im Bereich der Entwicklung und Umsetzung neuer Flugzeugkonzepte und deren Schnittstellen zur Infrastruktur, zum Unterhalt, ATM usw. Im Rahmen dieser Strategie soll die Rolle der Schweiz bei der Entwicklung alternativer Antriebstechnologien dargelegt werden.	ARCS	2021
Bereitstellung der Betankungsinfrastruktur (Wasserstoff, Strom)		
– Konzeptstudien für die neue Betankungsinfrastruktur	– Flughäfen	2030
– Umsetzung der neuen Betankungsinfrastruktur	– Flughäfen	ab 2035/40
Einsatz treibstoff-effizienter Flugzeuge		
– Anreize für den Einsatz von treibstoff-effizienteren Flugzeugen (bspw. via Start-, Landegebühren, Branchenvereinbarungen im Rahmen der Ticketabgabe)	– Airlines, Flughäfen, BAZL/BAFU,	ab 2022

¹¹² Gemäss Luftfahrtpolitischem Bericht, Schweizerischer Bundesrat (2016), könnte die Schweiz eine führende Rolle beispielsweise bei der Weiterentwicklung von Drohnen oder im Bereich Air Traffic Management und Flughäfen einnehmen.

Fazit: Im Langstreckenverkehr, der 80% der CO₂-Emissionen des globalen Luftverkehrs ausmacht, sind auch nach 2050 keine alternativen Flugzeugkonzepte in Sicht. Bis 2050 spielen daher die auf flüssigem Treibstoff basierenden Flugzeugantriebe die massgebende Rolle.

Völlig neue Antriebskonzepte (Elektro- und Wasserstoffflugzeuge) werden sich bis 2050 auf die Kurz- und Mittelstrecke beschränken und versprechen bis 2050 einen Minderungsbeitrag an die CO₂-Emissionen zwischen 10% bis 20%.

Ob und welchen Beitrag die Schweizer Forschung zur Entwicklung und Umsetzung effizienterer Flugzeuge liefern kann, muss zuerst geklärt werden. Klar ist, dass sich die Flughäfen mit der Bereitstellung der neuen Betankungsinfrastruktur auseinandersetzen müssen.

3.5 Offsetting

Umfeld und Überblick

Carbon Offsetting hat theoretisch das Potenzial, die CO₂-Emissionen da zu mindern, wo es am kostengünstigsten ist. Dabei ist sicherzustellen, dass es sich um eine zusätzliche Reduktion von CO₂-Emissionen handelt.¹¹³ Das heutige, klassische Offsetting wird als zusätzliche, freiwillige Massnahme jenseits von CORSIA in der Übergangsphase begrüsst. Dieses klassische Offsetting kann indirekt mit Anreizen, wie bspw. Start-, Lande- und Passagiergebühren, gefördert werden. Eine direkte Förderung ist im Rahmen der «Road Map Sustainable Aviation» aber nicht vorgesehen.

Wichtig ist die Feststellung, dass sich mit einem Netto-Null-Ziel längerfristig keine klassischen Offsetting-Projekte mehr realisieren lassen. Das Offsetting wird im Luftverkehrsbereich trotzdem relevant bleiben, allerdings wird sich das Offsetting (und vermutlich auch CORSIA ab 2035) ändern.

Offsetting von CO₂-Emissionen¹¹⁴

CORSIA, welches bis 2035 läuft, will u.a. mit Offsetting ein CO₂-neutrales Wachstum des Luftverkehrs erreichen. Kurz- und mittelfristig wird auf globaler Ebene das Offsetting von CO₂-Emissionen an Bedeutung gewinnen.

Bei einem Netto-Null-Szenario stehen allerspätestens 2050 keine «klassischen» Offsettingprojekte mehr zur Verfügung und schon früher wird der Nachweis der Zusätzlichkeit kaum mehr zu erbringen sein. Die Luftverkehrsbranche wird sich daher schon frühzeitig darauf vorbereiten und das Offsetting «klassischer» Projekte durch andere Minderungsmaßnahmen ersetzen. Als Alternative kommt die SAF-Nutzung oder die Kompensation mit NET (Negative Emission Technologies wie BECCS oder DACCS) in Frage.

¹¹³ Diese Zusätzlichkeit wird teilweise kritisch beurteilt: Bspw. Comes; Harthan; Füssler; u. a. o. J.

¹¹⁴ Wir behandeln hier nur das Offsetting der Luftfahrtunternehmen. Das „freiwillige“ Offsetting der Passagiere spielt eine marginale Rolle und wird nicht weiter thematisiert.

Offsetting von Nicht-CO₂-Effekten

Die Nicht-CO₂-Effekte können durch operationelle Massnahmen (veränderte Streckenführung, vgl. Kapitel 3.3) oder durch neue, emissionsfreiere Flugzeuge (vgl. Kapitel 3.4) oder auch durch den Einsatz von SAF¹¹⁵ gemindert werden. Vermutlich lässt sich der Nicht-CO₂-Effekt mit der Reduktion der entsprechenden Emissionen bis 2050 nicht gänzlich reduzieren. Zu beachten ist allerdings, dass wegen der kurzfristigen Wirkung der Nicht-CO₂-Effekte eine Stabilisierung der Emissionen reicht, um keine Erwärmung mehr zu erzeugen. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zu fossilem CO₂, dessen Emissionen auf null gebracht werden müssen, um eine Erwärmung zu stoppen. Deshalb müsste neben der fossilen CO₂-Reduktion zumindest eine Stabilisierung der Nicht-CO₂-Emissionen angestrebt werden. Ob 2050 in Bezug auf die Nicht-CO₂-Effekte ein Handlungsbedarf besteht und wie gross dieser ist, kann im Moment noch nicht abschliessend beurteilt werden.

Sollte längerfristig ein Handlungsbedarf nach Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Reduktion der Emissionen, die für den Nicht-CO₂-Effekt, verantwortlich sind, besteht für die Luftfahrtbranche gemäss aktuellem Wissensstand einzig die Möglichkeit über eine Kompensation mittels NET.¹¹⁶ Aus heutiger, globaler Sicht dürften für dieses Offsetting BECCS¹¹⁷ (Bio-energy with Carbon Capture and Storage) und DACCS¹¹⁸ (Direct Air Capture with Carbon Storage) im Vordergrund stehen.¹¹⁹

Minderungspotenziale Offsetting

BECCS und DACCS sind im grossen Stil in der Schweiz nicht einsetzbar. Dies aus zwei Gründen:

- Die Standortvoraussetzungen für BECCS und DACCS sind in der Schweiz nicht optimal.
- Gemäss den Energieperspektiven 2050+ sind die Speicherkapazitäten für CCS in der Schweiz restringiert (jährlich ca. 3 Mio. t CO₂)¹²⁰ und werden bereits von der Industrie (Ze-

¹¹⁵ SAF verursacht bspw. weniger Russ-Emissionen, bietet also weniger Kristallisationskerne zur Bildung von Kondensstreifen.

¹¹⁶ ATAG (2020).

¹¹⁷ Beim BECCS wandeln Pflanzen CO₂ in Biomasse um, welche Energie liefert. Das CO₂ wird aufgefangen und im Untergrund gespeichert. Die Standorte von BECCS sind bevorzugt in der Nähe von Energieverbrauchern, Bepflanzungsflächen und einem für die Speicherung geeigneten Untergrund zu erstellen, um die Transporte zu minimieren. Zu beachten ist, dass bei BECCS in Bezug auf den Boden eine Nutzungskonkurrenz besteht (bspw. Nahrungsmittelkonkurrenz).

¹¹⁸ Beim DACCS wird das CO₂ der Umgebungsluft durch chemische Prozesse entzogen und im Untergrund gespeichert. Dazu ist eine grosse Menge an erneuerbarer Energie notwendig, um maschinell CO₂ aus der Luft zu filtern. DACCS kann also in Gebieten mit viel Sonne zur Erzeugung von Solarstrom und wenn möglich einem geeigneten Untergrund eingesetzt werden.

¹¹⁹ Diese erste Einschätzung kann sich aber im Laufe der Zeit auch noch ändern. Mögliche weitere Ansätze für negative Emissionen sind: (Wieder-)Aufforstung und Holznutzung durch Speicherung in langlebigen Holzprodukten, Einbringung von Kohlenstoff in den Boden (bspw. Pflanzenkohle), Ozeandüngung zur Erhöhung der CO₂-Aufnahme der Algen, beschleunigte Verwitterung durch Verkleinerung von Mineralien und damit grösserer Oberfläche, welche CO₂ bindet.

¹²⁰ Infrac, TEP, Prognos (2021).

mentindustrie, Chemie, Pharma, Eisen und Stahl) und der Kehrlichtverbrennungs- und Biomasseanlagen beansprucht. Weiter rechnen die Energieperspektiven 2050+ damit, dass im Jahr 2050 THG-Emissionen im Umfang von rund 5 Mio. t CO₂-eq (vorwiegend aus der Landwirtschaft) über NET-Technologien im Ausland (unterstellt wurden DACCS) kompensiert werden müssen, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen – dies ohne den internationalen Luftverkehr.

Dies zeigt klar, dass es nicht sinnvoll ist, eine allfällige Kompensation des Nicht-CO₂-Effekts des Luftverkehrs nur auf nationaler Ebene organisieren zu wollen. Dazu braucht es ein international koordiniertes Vorgehen und einen globalen Markt für BECCS und DACCS und allenfalls weitere NET. Die Schweiz kann mit der Förderung der Forschung rund um das Direct Air Capturing (DAC) ein zukunftssträchtiges Standbein entwickeln.

Massnahmenliste

Wie oben dargelegt, sollte die Integration der Nicht-CO₂-Effekte in einen effizienten Klimaschutzmechanismus global erfolgen. Dazu sind zuerst weitere Forschungen notwendig, um die notwendigen wissenschaftlichen Datenbasis zu schaffen bspw. im Rahmen eines Nachfolge-mechanismus von CORSIA, einem newMBM (new Market Based Measures für den internationalen Luftverkehr), den Nicht-CO₂-Effekt zu integrieren.

Bleibt der internationale Konsens aus, könnte ein solcher Mechanismus auch in Vorreiterregionen – z. B. im Rahmen des EU-ETS in Europa – eingeführt werden.¹²¹

Die nachfolgende Liste stellt die Massnahmen im Bereich Offsetting zusammen.

Abbildung 3-9: Massnahmenliste Offsetting

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
– Klassisches Offsetting als freiwillige Massnahme / indirekte Anreize zur Förderung des klassischen Offsettings (Start-, Lande- und Passagiergebühren)	– Airlines, Flughäfen	ab 2021
– <i>Pro Memoria</i> - unter operationelle Massnahmen bereits aufgeführt: Atmosphärenforschung zur Kausalkette der Nicht-CO ₂ -Emissionen auf die Klimawirkung und zur Herleitung einer Metrik/Funktion zur Messung der Klimawirkung und einer Äquivalenz mit den CO ₂ -Emissionen	– ARCS, Wissenschaft	bis 2030/35
– Entwicklung eines globalen marktbasierten Mechanismus (newMBM) zur Kompensation des Nicht-CO ₂ -Effekts (oder im Rahmen EU-ETS, sofern die EU eine Vorreiterrolle einnehmen wird) -> Entwicklung von globalen bzw. min. europaweiten NET-Märkten	– ARCS, Wissenschaft, Airlines	bis 2035

¹²¹ Gemäss Bopst; Herbener; Hölzer-Schopohl; u. a. (2019) müssen künftig auch die vom EU-ETS bisher nicht erfassten Nicht-CO₂-Effekte in die Abgabeverpflichtung einbezogen werden. Dies würde eine erweiterte Abgabeverpflichtung im Luftverkehr bedeuten. In der Verordnung (EU) Nr. 2017/239240 wird in Erwägungsgrund 13 erläutert, dass die EU-Kommission trotz der technischen und politischen Schwierigkeiten im Bereich der Nicht-CO₂-Effekte ihre Arbeiten beschleunigen und soweit wie möglich alle Auswirkungen des Luftverkehrs berücksichtigen sollte. Das Umweltbundesamt von Deutschland bereitet durch entsprechende Forschung, u. a. im Forschungsvorhaben «Möglichkeiten der Einbindung von Nicht-CO₂-Treibhausgas-Effekten im Luftverkehr am Beispiel des EU-ETS und von CORSIA» Vorschläge vor, wie diese Effekte analog zum CO₂ in marktbasierter Massnahmen wie den Emissionshandel eingebunden werden können.

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
– Umsetzung des marktbasierten Kompensationsmechanismus (newMBM oder allenfalls EU-ETS)	– ICAO, EU, Airlines	ab 2035
– Forschungsförderung DAC-Technologie und Verbesserung der Effizienz. Diese Forschung liegt nicht nur im Interesse der Luftfahrt. Die Luftfahrt soll aber im Forschungsverbund im Bereich der angewandten Forschung mitmachen.	– ARCS, Wissenschaft	Bis 2030
– Förderung der Skalierung der industriellen Produktion / Marktentwicklung (bspw. Finanzierungshilfen via Beteiligungsgesellschaften)	– CCU-, SAF-Produzenten	Bis 2030

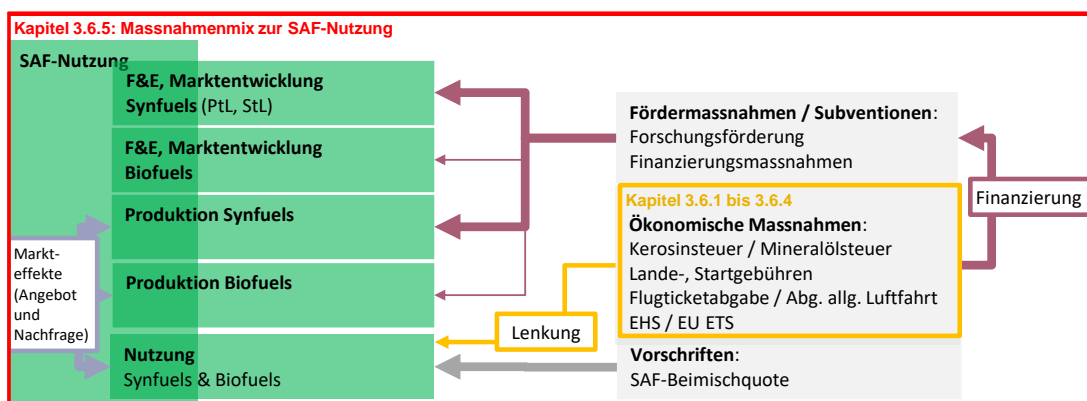
Fazit: Das «klassische» Offsetting von CO₂-Emissionen wird aufgrund von CORSIA und aufgrund von freiwilligem, über CORSIA hinausgehendem Engagement noch zunehmen, lässt sich aber bei einem Netto-Null-Pfad längerfristig nicht mehr aufrechterhalten. Das Offsetting könnte längerfristig für die Kompensation der CO₂-Emissionen und des Nicht-CO₂-Effekts an Bedeutung gewinnen. Für diese Kompensation sind sogenannte NET notwendig (im Vordergrund stehen BECCS und DACCS). Dazu braucht es ein international koordiniertes Vorgehen und einen globalen Markt für NET (bspw. als newMBM ab 2035).

3.6 Ökonomische Massnahmen und Massnahmenmix zur SAF-Nutzung

Die nachfolgende Abbildung zeigt, wie wir die Ausführungen zu den ökonomischen Massnahmen und den Massnahmenmix zur SAF-Nutzung strukturieren. In den Kapiteln 3.6.1 bis 3.6.4 stellen wir die wichtigsten ökonomischen Instrumente bzw. Massnahmen kurz vor und diskutieren ihre Lenkungswirkung sowie die Einschränkungen, die sich aus dem aktuellen bzw. künftigen Rechtsrahmen, der das allenfalls totalrevidierte CO₂-Gesetz geben. Im Kapitel 3.6.5 diskutieren wir kurz die Beimischquote.

Steuern und Abgaben, welche unter die ökonomischen Massnahmen fallen, generieren Einnahmen, welche zur Finanzierung der Staatskasse oder für Förderungszwecke benutzt werden können. Im Kapitel 3.6.6 diskutieren wir den Einsatz ökonomischer Massnahmen im Hinblick auf die SAF-Nutzung unter Beachtung ihrer Lenkungswirkung und der Finanzierungsseite. In diesem Kapitel wird auch eine Massnahmenliste zur SAF-Nutzung präsentiert.

Abbildung 3-10: Struktur und Inhalt des Kapitels 3.6



3.6.1 Kerosinsteuer / Mineralölsteuer

Umfeld und Überblick

Fast alle Länder kennen substanzielle Abgaben auf **Diesel** und **Benzin** im Strassenverkehr. Die Schweiz erhebt auf Benzin und Diesel eine Mineralölsteuer (von rund 0.75 CHF pro Liter)¹²², die Mehrwertsteuer, eine Treibstoffabgabe zur Erfüllung der Kompensationspflicht und eine Abgabe zur Alimentierung des NAF (Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrs-Fonds). Die Abgabebelastung betrug 2019 rund 55%¹²³ des Endkonsumentenpreises an der Zapfsäule.

Dagegen wird **Kerosin** für den internationalen gewerbsmässigen Verkehr steuerlich nicht belastet – weder mit der Mineralölsteuer noch der Mehrwertsteuer. Treibstoff für den nationalen

¹²² Mineralölsteuer inkl. Zuschlag.

¹²³ Wert für das Jahr 2019.

Verkehr hingegen schon.¹²⁴ Ein Teil der jährlich generierten 40 bis 60 Mio. CHF fliessen in die Spezialfinanzierung Luftverkehr (Art. 87b Bundesverfassung).¹²⁵

Unter dem aktuellen ICAO-Regelwerk kann die Schweiz auf dem Kerosin-Verbrauch des internationalen gewerbsmässigen Flugverkehrs keine Abgabe erheben. Im Verkehr mit den EU-Ländern wäre es allenfalls, über bilaterale Abkommen mit jedem einzelnen EU-Staat, möglich, eine Abgabe auf dem internationalen Flugverkehr zu erheben.¹²⁶

Lenkungswirkung einer Kerosin- oder Mineralölsteuer

Würde eine spürbare Kerosinsteuer auf globaler Ebene eingeführt, wäre dies in Bezug auf ihre Lenkungswirkung ein effizientes Instrument zur Reduktion der CO₂-Emissionen, da es einen direkten Konnex zwischen Kerosinverbrauch und CO₂-Emissionen gibt. Eine Kerosinabgabe setzt auf der Nachfrage- und der Angebotsseite an:

- *Nachfrageseite:* Die Kerosinsteuer würde zumindest teilweise auf den Ticketpreis durchschlagen und damit die Nachfrage, längerfristig auch die Flugbewegungen und damit die CO₂-Emissionen senken.
- *Angebotsseite:* Die Airlines würden vermehrt auf treibstoffeffiziente Flugzeuge setzen, es gäbe – bei einer entsprechend hohen Kerosinsteuer – einen Anreiz SAF zu tanken und vor allem würde ein starker dynamischer Anreiz gesetzt, treibstoffeffiziente Flugzeuge auf den Markt zu bringen.

Die Europäische Kommission hat abgeschätzt, welchen Effekt eine Kerosinsteuer von 330 Euro pro 1'000 Liter für alle Flüge in und aus der EU hätte.¹²⁷ Eine solche Kerosinsteuer würde den Kerosinpreis um 60% bis 70% und die Ticketpreise um 10% anheben. Dies würde zu einer Reduktion der Flugbewegungen und der CO₂-Emissionen von 11% führen.

Qualitativ - dafür differenzierter - zeigt eine Studie von Transport & Environment,¹²⁸ dass eine Kerosinsteuer, die auf innereuropäische Flüge begrenzt wäre, einen deutlich geringeren Effekt auf die Nachfrage und die CO₂-Emissionen hätte.

¹²⁴ <https://www.ezv.admin.ch/ezv/de/home/information-firmen/steuern-und-abgaben/einfuhr-in-die-schweiz/mineraloelsteuer/treibstoff-fuer-die-versorgung-von-luftfahrzeugen.html>.

¹²⁵ Bundesverfassung Art. 87b Verwendung von Abgaben für Aufgaben und Aufwendungen im Zusammenhang mit dem Luftverkehr
Für die folgenden Aufgaben und Aufwendungen im Zusammenhang mit dem Luftverkehr werden die Hälfte des Reinertrags der Verbrauchssteuer auf Flugtreibstoffen und der Zuschlag auf der Verbrauchssteuer auf Flugtreibstoffen verwendet:

- a. Beiträge an **Umweltschutzmassnahmen**, die der Luftverkehr nötig macht;
- b. Beiträge an Sicherheitsmassnahmen zur Abwehr widerrechtlicher Handlungen gegen den Luftverkehr, namentlich von Terroranschlägen und Entführungen, soweit diese Massnahmen nicht staatlichen Behörden obliegen;
- c. Beiträge an Massnahmen zur Förderung eines hohen technischen Sicherheitsniveaus im Luftverkehr

¹²⁶ Die EU Energiesteuerdirektive (2003/96/ES, Artikel 14.2, European Union (2003)) erlaubt die Besteuerung von Flugtreibstoffen zwischen zwei EU-Ländern, sofern beide Länder einverstanden sind. Diese bilateralen Abkommen innerhalb der EU wären auch ICAO-kompatibel.

¹²⁷ European Commission. Directorate General for Mobility and Transport.; CE Delft. (2019), Seiten 25ff.

¹²⁸ Transport & Environment (2020).

Soweit die Theorie der Wirkung einer Kerosinsteuer, wenn sie auf der «grünen Wiese» eingeführt wird. Angesichts des bereits bestehenden EU-ETS ist eine einheitliche Besteuerung von Flugtreibstoff im innereuropäischen Flugverkehr wenig sinnvoll, da sich per Saldo die CO₂-Reduktion aus der Steuer durch das EU-ETS wieder neutralisiert (siehe die Ausführungen zum «Wasserbetteffekt» im Kapitel 3.6.2).

Fazit: Eine Besteuerung von in der Schweiz abgesetzten Flugtreibstoffen ist aufgrund des internationalen rechtlichen Rahmens keine Option zur Verminderung der Klimawirkung aus dem nationalen und internationalen Flugverkehr der Schweiz. Eine globale oder europäische Lösung zur Besteuerung von Flugtreibstoffen ist unwahrscheinlich bzw. bei einer europäischen Lösung aufgrund des Zusammenspiels mit dem EU-ETS wenig wirksam.

3.6.2 Emissionshandelssystem

Umfeld und Überblick

Das Schweizer Emissionshandelssystem, welchem der Flugverkehr bereits unterstellt ist, ist mit dem EU-ETS verknüpft und gilt für inländische Flüge und Flüge von der Schweiz in Länder des EWR.

Im Moment werden verschiedene Optionen¹²⁹ geprüft, ob und wie sich das EU-ETS im Flugverkehrsbereich weiterentwickeln soll, denn eine – ab 2024 mögliche - Doppelbelastung durch CORSIA und EU-ETS ist nicht ICAO-kompatibel und auch nicht kompatibel mit der Schweizer Gesetzgebung, die keine Doppelbelastung auf Basis völkerrechtlicher Abkommen zulässt. Die Optionen reichen von einer Ausdehnung auf alle internationalen Flüge, also auch auf Flüge zwischen EWR-Staaten und Drittstaaten – so wie es ursprünglich beabsichtigt war, bis zur Begrenzung des EU-ETS auf rein inländische Flüge (vgl. Kapitel 2.4.2). Die definitiven Entscheidungen werden nicht vor Dezember 2023 gefällt. Es ist allerdings nach einhelliger Meinung unter Experten und Expertinnen nicht zu erwarten, dass auf eine Ausdehnung des ETS über den EWR-CH-UK-Raum entschieden wird. Ebenso wenig kommt wohl eine Einschränkung des EU EHS auf rein inländische Flüge in Frage.

Lenkungswirkung des EHS / EU-ETS¹³⁰

Die grundsätzliche Lenkungswirkung des EHS / EU-ETS ist dieselbe wie bei der Kerosinsteuer. Das EHS / EU-ETS bepreist die CO₂-Emissionen und führt zu höheren Treibstoffkosten. Diese schlagen zumindest teilweise auf den Ticketpreis und damit auf die Nachfrage durch, und sen-

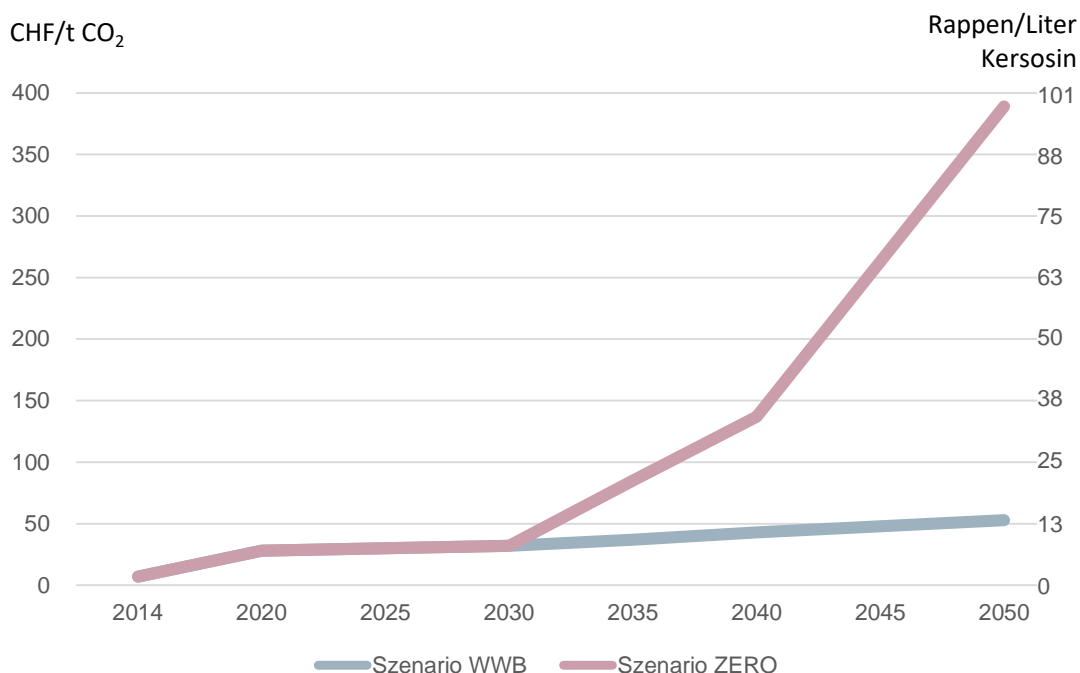
¹²⁹ European Commission (2020b).

¹³⁰ Das EHS ist ein Cap and Trade System, welches die Menge an CO₂-Emissionen in einem Absenkepfad mittels dem sogenannten Cap fixiert. Der resultierende Preis im EHS sorgt dann dafür, dass da, wo die CO₂-Vermeidung am günstigsten ist, die CO₂-Emissionen reduziert werden. Nachfolgend diskutieren wir nicht die generellen Wirkungsmechanismen des EHS / EU ETS, sondern zeigen auf, welche Auswirkung bzw. Lenkungswirkung das EHS / EU ETS letztlich auf die CO₂-Emissionen in der Luftfahrt hat. Wenn festgestellt wird, dass das EHS / EU ETS zu geringen Auswirkungen auf die Luftfahrt hat, dann ist das keine Kritik am EHS / EU ETS, sondern eine wichtige Feststellung in Bezug auf den Wirkungsbeitrag des EHS / EU ETS zur Erreichung des Netto-Null-Ziels in der Luftfahrt und der allfälligen Erkenntnis, dass neben EHS / EU ETS weitere Massnahmen notwendig sind.

ken somit die Flugbewegungen und die CO₂-. Auf der Angebotsseite setzen die Airlines vermehrt auf treibstoffeffiziente Flugzeuge und es gibt – bei entsprechend hohem CO₂-Preis – einen Anreiz SAF zu tanken. Ausserdem wird ein starker dynamischer Anreiz gesetzt, treibstoffeffiziente Flugzeuge auf den Markt zu bringen – dies vor allem bei Erwartung von hoher CO₂-Preise. Wie hoch die Lenkungswirkung ist, hängt somit von der Entwicklung der CO₂-Preise im EU-ETS ab.

Entwicklung des CO₂-Preises im EU-ETS

Die Entwicklung des CO₂-Preises im EU-ETS hängt von vielen Faktoren ab: Cap-Absenkpfad, technologischer Fortschritt, Entwicklung der Energiepreise und der Weiterentwicklung bzw. Ausgestaltung des künftigen EU-ETS. Die Unsicherheiten zur künftigen Entwicklung der CO₂-Preise im EU-ETS sind gross. Die nachfolgende Abbildung zeigt, dass bei einem ambitionierten Netto-Null-Ziel die CO₂-Preise im EU-ETS bis 2050 sehr stark ansteigen: Bis 2030 bleiben die Preise noch tief (unter 50 CHF/t CO₂) und liegen deutlich unter der aktuellen Schweizer CO₂-Abgabe (96 CHF/t CO₂). Ab 2030 steigen die CO₂-Preise im Szenario Zero moderat bis 140 CHF/t CO₂ im Jahr 2040. Erst nach 2040 wird erwartet, dass der CO₂-Preis deutlich ansteigt – bis auf gegen 400 CHF/t CO₂ (entspricht rund 1 CHF/Liter Kerosin).

Abbildung 3-11: Entwicklung des CO₂-Preises im EU-ETS¹³¹

Quelle: Bundesamt für Energie.¹³² Diese Preisentwicklung wurden den Schweizer Energieperspektiven 2050+ unterstellt. Das Szenario WWB entspricht einem «Weiter wie bisher» - also einem Business-as-usual-Szenario. Im Szenario Zero wird auf 2050 das Netto-Null-Ziel erreicht.

Lenkungswirkung auf die Nachfrage

Gehen wir von einem EU-ETS-Preis von 28 CHF/t CO₂¹³³ aus, was rund 7 Rappen pro Liter Kerosin entspricht, verteuern sich die Treibstoffkosten um rund 14% (vgl. nachfolgende Abbildung 3-12). Dies führt insgesamt zu Mehrkosten von 3%. Bei sehr vereinfachenden Annahmen einer Kostenüberwälzung von 80% auf den Ticketpreis und einer langfristigen Preiselastizität der Nachfrage von -1, würden sich das Passagieraufkommen, die Flugbewegungen und die CO₂-Emissionen um rund -2% reduzieren.¹³⁴ Dies aber nur auf innereuropäischen Flügen. Die Lenkungswirkung auf die *gesamte* Nachfrage inkl. aussereuropäische Flüge, auf die Flugbewegungen und schliesslich die CO₂-Emissionen dürfte damit mit den heutigen EU-ETS-Preisen marginal sein.

¹³¹ Gemäss Bundesamt für Energie BFE (2020), basierend auf dem World Energy Outlook 2018 (WEO) der International Energy Agency IEA (2018). Für das Szenario WWB kommt die Preisentwicklung des Szenarios New Policy (NPS) des WEO 2018 zur Anwendung. Dem Szenario ZERO werden die Preisentwicklungen des Szenarios Sustainable Development Szenario SDS des WEO 2018 zugrunde gelegt (Annahme: Wechselkurs USD/CHF = 0.98).

¹³² Bundesamt für Energie BFE (2020).

¹³³ Die Preise im EU-ETS steigen momentan und liegen im März 2021 bereits bei 40 Euro/t CO₂.

¹³⁴ Die Annahmen wurden so gewählt, dass sie in etwa kompatibel sind mit den Abschätzungen der Europäischen Kommission zur Wirkung einer Einführung einer Kerosinsteuer, vgl. European Commission. Directorate General for Mobility and Transport.; CE Delft. (2019).

Abbildung 3-12: Illustratives Beispiel zur Lenkungswirkung des EU-ETS-Systems: Vergleich des EU-ETS-Preises des Jahres 2020 mit dem Jahr 2050 unter sonst gleichen Annahmen (ceteris paribus)

		Jahr 2020	EU-ETS-Preis Jahr 2050, heutige Kerosinpreise
Preise für Kerosin und EU-ETS			
Kerosinpreis	Rp./Liter	50	50
EU-ETS-Preis	CHF/t CO ₂	28	389
EU-ETS-Preis	Rp./Liter	7	98
Kosten pro Flug und Sitzplatz			
Kerosinkosten	CHF	80	80
Übrige Kosten	CHF	320	320
Gesamtkosten exkl. EU-ETS-Preis	CHF	400	400
<i>Anteil Kerosinkosten an gesamten Flugkosten exkl. Abgaben</i>		20%	20%
EU-ETS-Kosten	CHF	11	157
Gesamtkosten inkl. EU-ETS-Preis	CHF	411	557
Erhöhung der Kerosinkosten durch EU-ETS-Preis		14%	196%
Erhöhung der Gesamtkosten		3%	39%
Wirkung auf innereurop. Flugbewegungen und CO ₂ -Emissionen		-2%	-31%

**) Annahme: 80% Kosten-Überwälzung auf Ticketpreis, langfr. Preiselastizität von -1.0*

Eine australische Studie¹³⁵ kommt aufgrund einer empirischen Analyse zum selben Schluss: Sie fand keine Hinweise darauf, dass ein CO₂-Preis von 24 AUD/t CO₂ (rund 20 CHF/t CO₂) das Niveau des Inlandsflugverkehrs in Australien reduziert hat. Der CO₂-Preis müsste höher sein, um eine Verhaltensänderung zu bewirken.

Auch längerfristig wird sich – abhängig von der Weiterentwicklung des EU-ETS – die Lenkungswirkung vermutlich auf die innereuropäischen Flüge beschränken und bei der Nachfrage eine gewisse Wirkung zeigen. Würde ein EU-ETS-Preis von rund 400 CHF/t CO₂ auf den heutigen Kerosinpreis zugeschlagen und die übrigen Kosten blieben unverändert, würden sich die gesamten Flugkosten um 39% erhöhen. In Analogieschluss zu den Berechnungen der Europäischen Kommission zur Wirkung der Einführung einer Kerosinsteuer,¹³⁶ ergäbe sich daraus eine Reduktion der Flugbewegungen und der CO₂-Emissionen von -31% – allerdings beschränkt auf innereuropäische Flüge.

Dieser Vergleich greift aber zu kurz, da sich die Kerosinpreise mit und ohne ambitionierte Klimapolitik unterschiedlich entwickeln und die Treibstoffe immer effizienter eingesetzt werden. Die nachfolgende Abbildung 3-13 zeigt an einem illustrativen Beispiel, unter Preisannahmen

¹³⁵ Markham; Young; Reis; u. a. (2018).

¹³⁶ European Commission. Directorate General for Mobility and Transport.; CE Delft. (2019).

für Kerosin und EU-ETS wie sich auch den Energieperspektiven 2050+ unterstellt wurden, dass bei unveränderten übrigen Kosten die Gesamtkosten innereuropäischer Flüge im Szenario ZERO nur um 6% höher liegen als im Szenario WWB.

Abbildung 3-13: Illustratives Beispiel zur Lenkungswirkung des EU-ETS-Systems: Vergleich zweier Szenarien WWB (Weiter wie bisher) und ZERO (Einhaltung der Netto-Null-Ziele)

		Jahr 2020	Jahr 2050 Szenario WWB	Jahr 2050 Szenario ZERO
Preise für Kerosin und EU-ETS				
Kerosinpreis	Rp./Liter	50	93	31
EU-ETS-Preis	CHF/t CO ₂	28	53	389
EU-ETS-Preis	Rp./Liter	7	13	98
Kosten pro Flug und Sitzplatz				
Kerosinkosten (Treibstoffeffizienz +20%)	CHF	80	120	39
Übrige Kosten	CHF	320	320	320
Gesamtkosten exkl. EU-ETS-Preis	CHF	400	440	359
<i>Anteil Kerosinkosten an gesamten Flugkosten exkl. Abgaben</i>		20%	23%	9%
EU-ETS-Kosten	CHF	11	17	125
Gesamtkosten inkl. EU-ETS-Preis	CHF	411	457	485
			im Vgl. zu 2020	im Vgl. zu 2020
Erhöhung der Gesamtkosten im Vergleich zum Jahr 2020			11%	18%
Wirkung auf innereurop. Flugbewegungen und CO ₂ -Emissionen*)			-11%	-18%
				im Vgl. zu Szenario WWB
Erhöhung der Gesamtkosten im Vergleich zum Szenario WWB				6%
Wirkung auf Flugbewegungen und CO ₂ -Emissionen*)				-6%

*) Annahme: 100% Kosten-Überwälzung auf Ticketpreis, langfr. Preiselastizität von -1.0

Lenkungswirkung auf den Einsatz emissionsärmerer Flugzeuge

Das EU-ETS zeigt aber heute schon Wirkung in Bezug auf den Einsatz von Flugzeugen mit geringerem Treibstoffverbrauch. In Erwartung steigender EU-ETS-Preise kaufen die Airlines emissionsärmere Flugzeuge und um das Kundenbedürfnis zu befriedigen, fokussieren die Flugzeugproduzenten ihre Innovationskraft in die Herstellung verbrauchsärmerer Flugzeuge. Diese dynamischen Anreizwirkungen des EU-ETS sind in Bezug auf die Minderung der CO₂-Emissionen vermutlich wichtiger als die Nachfragereaktion. Die Nicht-CO₂-Emissionen (Stickoxide, Feinstaub, usw.), welche für zusätzliche Klimawirkungen verantwortlich sind, werden jedoch durch verbrauchsärmere Flugzeuge nicht automatisch reduziert. Insbesondere die Reduktion von Stickoxiden steht im Zielkonflikt mit möglichst tiefem Treibstoffverbrauch. Aus die-

sem Grunde sind die existierenden globalen Schadstoffnormen der ICAO für Flugzeugtriebwerke und deren zukünftige Verschärfung wichtig. Airlines haben im EU-ETS keinen Anreiz, speziell feinstaub- oder stickoxidarme Flugzeuge einzusetzen, insbesondere dann, wenn diese leicht höheren Treibstoffverbrauch aufweisen.

Lenkungswirkung zur Nutzung von SAF

EU-ETS-Preise von gegen 400 CHF/t CO₂ können starke Anreize bieten, SAF zu tanken. So wäre zumindest ein Teil der Biofuels konkurrenzfähig und bei sehr ambitionierten Kostensenkungen der Synfuels-Herstellung, könnten auch diese im besten Fall knapp konkurrenzfähig werden.

Zusammenspiel von EHS und EU-ETS mit anderen Massnahmen (Regulierungsüberlagerung)

Können nationale Massnahmen überhaupt Wirkung zeigen für Flüge im EU-ETS?¹³⁷

Im Jahr 2017 betragen die vom Emissionshandel erfassten Emissionen des Flugverkehrs 64 Millionen Tonnen CO₂. Die für den Flugverkehr zusätzlich bereitgestellte Menge an Zertifikaten («Flugverkehrs-Cap») betrug im gleichen Jahr jedoch nur 38 Millionen Tonnen CO₂. Mit dem Flugverkehrssektor entsteht also netto eine zusätzliche Nachfrage; so wurden im Jahr 2017 26 Millionen Zertifikate des stationären ETS vom Flugverkehrssektor genutzt.

Vor der Reform des EU-Emissionshandels vom April 2018 wäre jegliche nationale Massnahme von EU-Staaten zur Verminderung der Klimawirkung durch den Luftverkehr verpufft, weil durch die Festlegung des Caps im Emissionshandel immer eine feste Menge an Emissionsberechtigungen in den Markt gegeben und letztlich auch verbraucht würde. Zusätzliche Massnahmen führten somit nicht zu einer Reduktion der Gesamtemissionen, sondern lediglich zu einer Verschiebung der Emissionen – entweder geografisch auf Emittenten anderswo in Europa und/oder auf einen Emittenten zu einem späteren Zeitpunkt. Dieser Effekt wird als «Wasserbetteffekt» bezeichnet. Mit der Reform vom April 2018 wurde der Lösungsmechanismus von Überschusszertifikaten aus der Marktstabilitätsreserve eingeführt, damit wird das EU-ETS eng mit anderen Klimaschutzmassnahmen verschränkt. Entstehen also im EU-ETS Zertifikatsüberschüsse – ganz gleich ob aufgrund von Überallokation, Wirtschaftskrisen oder zusätzlichen Instrumenten – oberhalb der Marktstabilitätsreserve-Grenze, erfolgt über diesen Mechanismus eine dynamisierte Anpassung des Caps und die Zertifikatsüberschüsse werden dauerhaft gelöscht. Dieser Mechanismus führt jedoch nicht ganz zu einer 1:1-Reduktion der Zertifikatmenge entsprechend den Emissionsminderungen, da die Marktstabilitätsreserve nie direkt den vollständigen Überschuss aufnimmt. Zudem dürfte es durch zusätzliche nationale Massnahmen einen kleinen dämpfenden Effekt auf den gesamteuropäischen CO₂-Preis geben, was die Nachfrage nach Zertifikaten leicht erhöhen dürfte. Da aber der Zertifikateüberschuss aktuell

¹³⁷ Für eine ausführliche Diskussion vgl. Agora Energiewende; Öko-Institut (2018). Im Vgl. zu Agora Energiewende; Öko-Institut (2018) nehmen wir in Bezug auf die längerfristige zusätzliche Wirkung nationaler Flugverkehrsmassnahmen in den vom EU-ETS abgedeckten Flüge eine kritischere Haltung ein.

sehr gross ist, gilt zumindest bis 2024, dass jede nationale Klimaschutzmassnahme, die ergänzend zum EU-ETS eingeführt wird, auch zu einer Löschung der entsprechend freiwerdenden Zertifikate in Höhe von etwa 80 Prozent führt. Es ist aber nicht so, dass dieser Lösungsmechanismus auch in Zukunft immer greift. Sinken die «unbeeinflussten» CO₂-Emissionen (Business-as-usual-Emissionsminderungen) nämlich weniger stark als der Absenkpfad des Caps, dann begrenzt der Cap die CO₂-Emissionsentwicklung – nicht wie in der Vergangenheit – wirksam nach oben. Bei ambitioniertem Cap-Absenkpfad bzw. relativ hohen Business-as-usual-Emissionen haben zusätzliche nationale Massnahmen, welche direkt die CO₂-Emissionen im Flugverkehr reduzieren, keinen Effekt auf die gesamthaften CO₂-Emissionen. Mit den vorgegebenen ambitionierten Netto-Null-Zielen ist zu erwarten, dass nationale Flugverkehrsmassnahmen für die dannzumal im EU-ETS erfassten Flüge, keine Wirkung zeigen werden. Auch wenn versucht wird, mit weiteren EU-ETS-Reformen die nationalen Klimaschutzinstrumente im EU-ETS in irgendeiner Form adäquat «anzurechnen», dürfte längerfristig ein Teil der Klimawirkung von nationalen Flugverkehrsmassnahmen verpuffen.

Fazit: Der Schweizer Luftverkehr ist indirekt Teil des EU-ETS und erfasst alle inländischen und alle Flüge zwischen der Schweiz und dem EWR. Das EU-ETS-System entfaltet seine Wirkung vor allem über den Anreiz, treibstoffeffizientere Flugzeuge einzusetzen, und längerfristig mit steigenden EU-ETS-Preisen durch einen – wenn auch beschränkten – Effekt auf die Nachfrage. Wie stark diese Anreize im EU-ETS sind, hängt von der Entwicklung des CO₂-Preises im EU-ETS ab, welcher von verschiedensten Einflussfaktoren abhängt und daher nur mit grosser Unsicherheit prognostizierbar ist.

Eigenständige, zusätzliche Massnahmen zur Minderung der CO₂-Emissionen im Luftverkehrsbereich zeigen zumindest kurzfristig (bis sicher 2024) für die im EU-ETS erfassten Flüge zwischen der Schweiz und dem EWR Wirkung. Längerfristig muss aber damit gerechnet werden, dass die Wirkung dieser eigenständigen Massnahmen für die vom EU-ETS betroffenen Flüge mehrheitlich verpufft, da durch die Festlegung des Caps im Emissionshandel immer eine feste Menge an Emissionsberechtigungen in den Markt gegeben und letztlich auch verbraucht würde («Wasserbetteffekt»).

3.6.3 Start- und Landegebühren

Umfeld und Überblick

Im Grundsatz wäre eine nach CO₂-Emissionen differenzierte Lande- und Startgebühren eine diskutabile Massnahme. Das ICAO-Regelwerk erlaubt aber keine direkt nach CO₂-Emissionen differenzierten und die Kosten für die CO₂-Emissionen berücksichtigenden Lande- und Startgebühren, da diese unter anderem auf den aktuellen Betriebs- und Infrastrukturkosten oder auch auf den Kosten für Lärmschutzmassnahmen basieren müssen. Grossbritannien wollte 2010 die Passagierabgabe durch eine Abgabe auf dem Flugzeuggewicht ersetzen – hatten das Begehren aber nach gründlicher Prüfung der internationalen Rechtslage zurückgezogen.¹³⁸ Norwegen, welche eine Beimischquote auf SAF kennt, wollte eine nach dem betankten

¹³⁸ Larsson; Elofsson; Sterner; u. a. o. J., Seite 792.

SAF-Anteil differenzierte Landegebuhr einfuehren, um das «Tankering» zu verhindern.¹³⁹ Auch diese norwegische Initiative wurde wieder verworfen.

Eine Alternative dazu ist, dass das Gebuehrensysteem (Lande- und Passagiergebuhren) durch ein Systeem mit finanziellen Anreizen ersetzt wird. Die Anreize werden so gesetzt, dass die Gebuehren **rueckerstattet** werden, wenn spezifische Konditionen, wie z.B. die Benutzung von neusten Flugzeugen mit geringeren CO₂-Emissionen, erfuellt sind. Dies kann auch auf andere Konditionen mit Klimawirkung erweitert werden.

Dies wurde so z.B. in der letzten Flughafengebuehrenverordnung des **Genfer Flughafens** einverstaendlich mit den Verhandlungspartnern abgeschlossen (Fluggesellschaften und BAZL, Abschluss Anfang Dezember 2020, Inkrafttreten Juli 2021). In Genf wird bspw. bei einer Steigerung der Bewegungen mit neusten Flugzeugen in einem Jahr von 10% auf 30%, einen finanziellen Anreiz in der Hoehe von 30% der jaehrlich gezahlten Landegebuhren gesetzt.

Lenkungswirkung von anreizorientierten «rabattierten» Start- und Landegebuhren

Solche «rabattierte» Start- und Landegebuhren duerften in aller erster Linie einen Anreiz auf den Einsatz emissionsarmer Flugzeuge haben. So zeigen sich bspw. am Genfer Flughafen, dass im Rahmen der Verhandlungen zur Einfuehrung des neuen Gebuehrensystems bereits Entwicklungen bezueglich Aufstockung der Flotte mit neuesten Flugzeugen angesagt wurden. Die CO₂-Emissionen von den ueber den Genfer Flughafen verkehrenden Flugzeuge duerften entsprechend sinken. Ob insgesamt die CO₂-Emission kurzfristig sinken, muss aber offen bleiben. Es ist gut vorstellbar, dass die emissionsintensiveren Flugzeuge vor allem im Verkehr ueber andere Flughaeften eingesetzt werden. Aus dynamischer, laengerfristiger Sicht setzen solche anreizorientierten «rabattierten» Start- und Landegebuhren aber die richtigen Signale fuer den Kauf und Produktion effizienteren Flugzeuge.

Fazit: Eine direkt nach CO₂-Emissionen differenzierte und die Kosten fuer die CO₂-Emissionen beruecksichtigende Start- und Landegebuhr ist aufgrund des internationalen rechtlichen Rahmens keine Option zur Verminderung der CO₂-Emissionen aus dem nationalen und internationalen Flugverkehr der Schweiz. Direkt kann somit die Lande- und Startgebuehr nicht zur «Korrektur» von falschen Anreizen (bspw. «Tankering») oder zur Herstellung eines Level-Playing-Fields (bspw. Kostenwahrheit im Vergleich zu anderen Verkehrstraegern) eingesetzt werden, aber es ist moeglich eine solchen Effekt indirekt durch finanzielle Anreize, wie in Genf umgesetzt, zu erzielen. Dieses Systeem von finanziellen Anreizen kann zumindest laengerfristig auch zu einer positiven Wirkung auf CO₂-Emissionen beitragen.

¹³⁹ Larsson; Elofsson; Sterner; u. a. o. J., Seite 796.

3.6.4 Flugticketabgabe und Abgabe allgemeine Luftfahrt

Im Gegensatz zur Kerosinsteuer oder klimadifferenzierte Start- und Landegebühren sind Passagierabgaben, wie bspw. die Flugticketabgabe, gemäss internationalem Regelwerk zulässig. Die Flugticketabgabe darf bspw. nach Distanz oder anderen Kriterien (Business, Economy, First) differenziert werden, nicht aber diskriminierend zwischen den Destinationen sein. Die Flugticketabgabe ist aber in Bezug auf die CO₂-Emissionen deutlich weniger effizient als eine Kerosinsteuer oder – zumindest für innereuropäische Flüge – das EU-ETS, da sie für die Fluggesellschaften keine Anreize zum Einsatz treibstoffeffizienter Flugzeuge setzt.¹⁴⁰ Weiter setzen die Flugticketabgaben auch keine dynamischen Anreize zur Herstellung von immer treibstoffeffizienteren Flugzeugen. Die Flugticketabgabe setzt damit nicht beim eigentlichen Problem – der Minderung der CO₂-Emissionen – an, sondern bei der Nachfrage. Nachfolgend werden wir schrittweise auf die Flugticketabgabe eingehen:

- Zuerst geben wir einen **Überblick** über die Flugticketabgabe in anderen Ländern,
- dann wenden wir uns der **Lenkungswirkung** in Bezug auf die **Nachfrage und die CO₂-Emissionen** zu
- und zeigen danach, dass die Hauptwirkung der Flugticketabgabe nicht auf der Lenkungsseite, sondern auf der **Finanzierungsseite** liegen muss
- und die Ergänzung der Flugticketabgabe mit der Möglichkeit **Branchenvereinbarung** abzuschliessen, ein **Anreizmechanismus** zur Förderung der SAF-Nutzung zur Verfügung steht.

Umfeld und Überblick

Distanzabhängige Flugticketabgaben sind ein von den einzelnen Staaten eigenständig einsetzbares Instrument, welches gemäss internationalem Regelwerk rechtlich zulässig ist. Daher wird dieses Instrument von einigen Ländern auch eingesetzt. Die nachfolgende Abbildung 3-14 zeigt die Flugticketabgabe ausgewählter Länder und zeigt am Schluss die geplante Flugticketabgabe der Schweiz.

¹⁴⁰ Über die Möglichkeit von Branchenvereinbarungen und die Möglichkeit einer Reduktion der Flugticketabgabe bei entsprechenden CO₂-Minderungs-Massnahmen seitens der Flugverkehrsunternehmen können Anreize für treibstoffeffiziente Flugzeuge gesetzt werden.

Abbildung 3-14: Abgaben pro Flugpassagier in ausgewählten Ländern

Österreich		in Schweizer Franken	
Flugabgabe	Strecken unter 350 km		33
(ab. 1.9.2020)	Strecken > 350 km		13
Deutschland			
Luftverkehrssteuer (2021)	EU, EWR, CH, Maghreb, Balkan, Osteuropa (inkl. Russland), Türkei		14
	Langstrecken unter 6000 km		36
	Langstrecken > 6000 km		65
Niederlande			
(2021)	Alle Flüge, distanzunabhängig		9
Schweden			
(2021)	EU, EWR, CH		7
	Mittelafrika, Mittelasien, Nordamerika		29
	Restliche Länder		46
Norwegen			
Air Passenger Tax (2020 *)	EU, EWR, CH		8
	Aussereuropäisch		23
Frankreich		Eco	Business
TAC (taxe de l'aviation civile) + Solidaritätstax	EU, EWR, CH		8
	Restliche Länder		18
			79
UK		Eco	Business
Air Passenger Duty (ab. 1.4.2021)	EU, EWR, CH, Maghreb, Balkan, Osteuropa (inkl. Russland), Türkei		17
	Langstrecken		106
			234
Schweiz			
Flugticketabgabe (evtl. ab 1.1.2022)	von...		30
	...bis (abhängig von Distanz und Beförderungsklasse)		120

*) für das Jahr 2021 wurde Steuer wegen COVID-19 ausgesetzt

Wie die vorhergehende Abbildung zeigt, erheben einige Länder eine Abgabe pro Flugpassagier. Die höchsten Abgaben erhebt Grossbritannien, gefolgt von Frankreich und Deutschland. Die geplante Schweizer Flugticketabgabe ist bezüglich Abgabehöhe mit derjenigen von Grossbritannien vergleichbar. Die anderen Länder haben tiefere Abgabesätze.

Lenkungswirkung der Flugticketabgabe auf die Nachfrage und die CO₂-Emissionen

Die Schweizer Flugticketabgabe ist als «Lenkungsabgabe» konzipiert, da sie ansonsten nicht verfassungskonform wäre. Die Begründung einer solchen Abgabe könnte sich auf bestehende Marktverzerrungen stützen (vgl. dazu den nachfolgenden Exkurs). Die Frage ist nun, ob allfällige Marktverzerrung durch eine Flugticketabgabe reduziert werden kann. Da die Flugticketabgabe einzig über die Nachfrage nach Flugreisen eine Wirkung erzielen kann, wäre dies nur dann der Fall, wenn es aufgrund der Flugticketabgabe weniger Flugbewegungen gäbe.

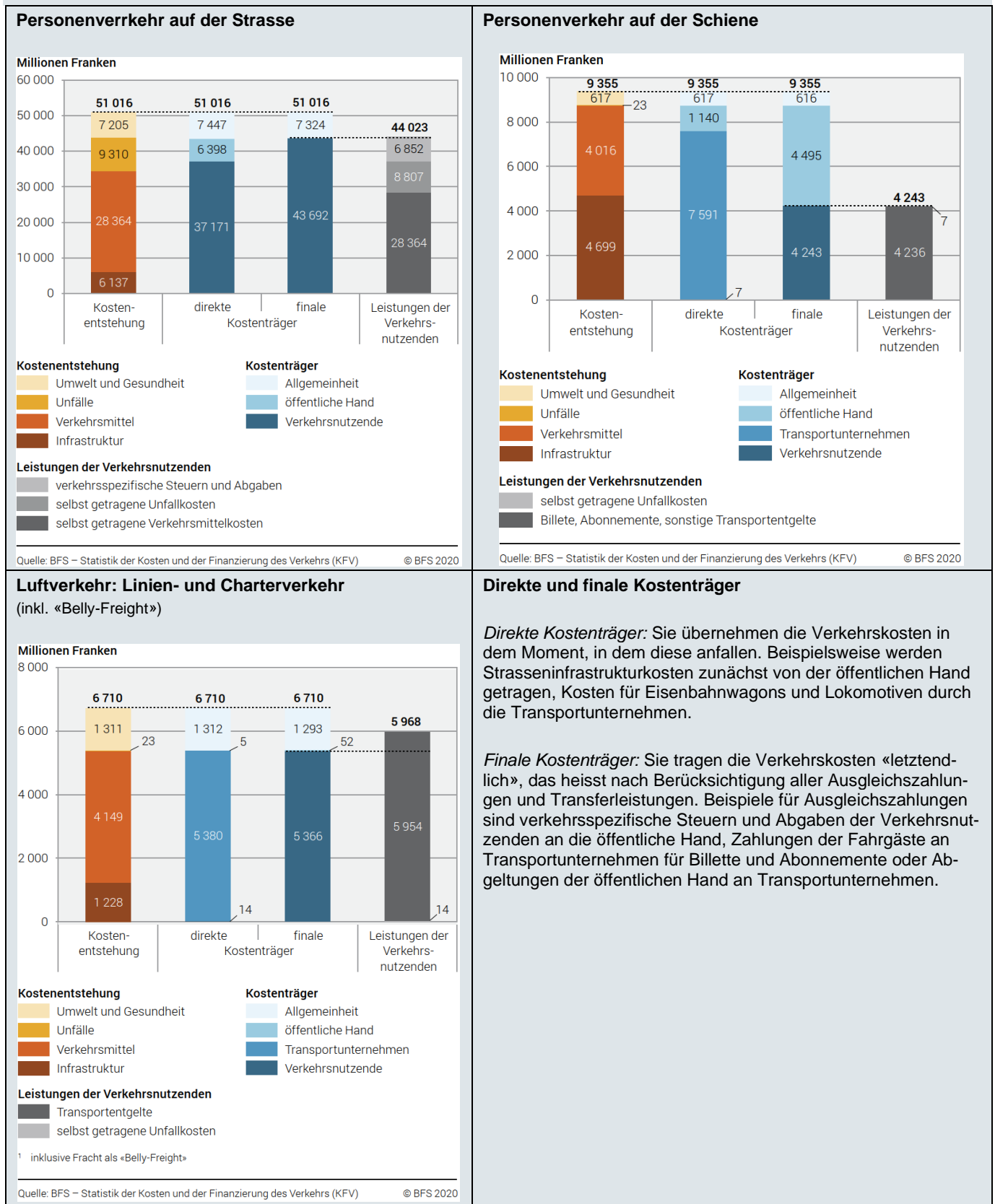
Nachfolgend analysieren wir die Wirkung der Flugticketabgabe auf die Nachfrage, die Flugbewegungen und letztlich auf die uns interessierenden CO₂-Emissionen. Die anderen Umweltaspekte (Lärm, Luftverschmutzung usw.) bleiben aussen vor.

Exkurs: Externe Kosten und Marktverzerrungen im Flugverkehr

Wie die nachfolgende Abbildung 3-15 zeigt, deckt der Luftverkehr – wie auch die anderen Verkehrsträger – nicht alle seine Kosten. Von den Gesamtkosten des Luftverkehrs wurden 5,4 Milliarden Franken von den Fluggästen in Form von Ausgaben für die Flugtickets getragen, während 1,3 Milliarden Franken als externe Umwelt- und Gesundheitskosten auf die Allgemeinheit überwältigt wurden. Die öffentliche Hand kam lediglich für 52 Millionen Franken auf, hauptsächlich indem sie die Flugsicherheit unterstützte. Die von den Flugreisenden nicht getragenen und auf die Allgemeinheit abgewälzten Kosten – insbesondere also die Umwelt- und Gesundheitskosten¹⁴¹ – führen zu einer «Marktverzerrung»: Die Preise für Flugreisen sind tiefer als die verursachten Kosten, was eine zu hohe Nachfrage zur Folge hat.

¹⁴¹ In den Berechnungen des Bundesamts für Statistik sind u.a. folgende Kosten infolge von Beeinträchtigungen der menschlichen Gesundheit oder der Umwelt berücksichtigt: Luftverschmutzung, Lärm, Klimaeffekte, Bodenverunreinigung, Zerschneidung von Ökosystemen oder Landschaften.

Abbildung 3-15: Kosten und Finanzierung des Verkehrs 2017: Personenverkehr auf der Strasse, der Schiene und Luftverkehr



Quelle: Bundesamt für Statistik (2020)

Qualitative Diskussion zur theoretischen Lenkungswirkung

Es soll hier noch einmal erwähnt werden, dass die Flugticketabgabe einzig über die Nachfrage nach Flugreisen einen Effekt auf die CO₂-Emissionen haben kann. Sie setzt aber keinerlei Anreize für die Airlines, effizientere Flugzeuge einzusetzen. Die Lenkungswirkung können wir schrittweise nach folgendem Wirkungsmechanismus diskutieren:

- 1) Erhöhung der Flugkosten durch Flugticketabgabe
- 2) Überwälzung der Flugkosten auf die Ticketpreise («pass through»)
- 3) Ausweichreaktionen der Flugreisenden auf die erhöhten Ticketpreise
- 4) Auswirkungen der Angebotsreaktion auf die CO₂-Emissionen

Eine – auf internationale Preiselastizitäten – basierende Studie¹⁴² schätzt eine sehr hohe Lenkungswirkung der Schweizer Flugticketabgabe: Rückgang der Passagierzahlen um bis zu 20% und der Treibhausgasemissionen um gut 10%. Aus unserer Sicht dürfte die Lenkungswirkung der Schweizer Flugticketabgabe in Bezug auf die beförderten Passagiere eine gewisse Lenkungswirkung erzeugen, aber sehr viel weniger ausgeprägt als in der obigen Studie geschätzt. Im Hinblick auf die eigentliche Absicht, die Verminderung der CO₂-Emissionen, wird die Lenkungswirkung sehr bescheiden sein. Nachfolgend wollen wir dies kurz begründen und zeigen unsere Argumente aufbauend auf dem Elastizitätenansatz, der in der erwähnten Studie verwendet wurde. Die nachfolgende Abbildung 3-16 zeigt die stark vereinfachte Ausgangslage gemäss der Studie von Brühlhart; Cocker; Rohner; u. a. (2020).

Abbildung 3-16: Ausgangslage – ohne Flugticketabgabe

	Anteile	Distanz [km]	Flugkosten [CHF für Hin-, Retour- Flug]	Passagiere [Mio. PAX]	Passagier- kilometer [Mio. Pkm]	CO ₂ - Emissionen [Mio. Tonnen]
Kurzstrecke	78%	670	170	15.6	10'467	1.6
Langstrecke	22%	8000	783	4.4	35'251	5.3
Total				20.0	45'718	6.9

1) Erhöhung der Flugkosten durch Flugticketabgabe

Wenn wir davon ausgehen, dass auf Kurzstreckenflüge eine Flugticketabgabe von 30 CHF und auf Langstreckenflüge 90 CHF pro startenden Passagier erhoben wird, dann erhöhen sich in diesem illustrativen Beispiel die Flugkosten für Kurzstreckenflüge um 18% und für Langstreckenflüge um 11% (vgl. Abbildung 3-17).

¹⁴² Brühlhart; Cocker; Rohner; u. a. (2020).

Abbildung 3-17: Erhöhung der Flugkosten durch die Flugticketabgabe

	Flugticketabgabe [CHF/PAX]	Erhöhung der Flugkosten durch Flugticket-abgabe
Kurzstrecke	30	18%
Langstrecke	90	11%

2) Überwälzung der Flugkosten auf die Ticketpreise («pass through»)

Die Flugticketabgabe wird bei den Airlines erhoben und muss auf dem Flugticket ausgewiesen werden – unabhängig davon, ob die Abgabe an die Passagiere weitergegeben wurde oder nicht. Es wird argumentiert, dass die Ausweisung der Abgabe auf den Tickets für die Konsumentinnen und Konsumenten einen über die Preiserhöhung hinausgehender Anreiz bietet, weniger zu fliegen. Wir sind in Bezug auf diese Argumentation aus zwei Gründen skeptisch:

- Für die Konsumentinnen und Konsumenten spielt der gesamte Flugticketpreis, der auch in den Metasuchmaschinen auf dem Internet ausgewiesen wird, die entscheidende Rolle für ihren Entscheid, ob sie fliegen oder nicht.
- Ob die Flugticketabgabe einen zusätzlichen Anreiz auslösen kann, hängt von der Wahrnehmung der Flugticketabgabe durch die Konsumentinnen und Konsumenten ab. Es kann auch Konsumentinnen und Konsumenten geben, welche die positiven Seiten der Flugticketabgabe, also die relativ soziale Rückverteilung oder die Innovationsförderung über die Abgabeneinnahmen, als moralische Rechtfertigung für ihren Flug ansehen. Der Anreiz könnte also sogar sein, mehr zu fliegen.

Längerfristig kann man davon ausgehen, dass bei kompetitiven Märkten und völlig freiem Marktzugang bzw. -eintritt die Flugticketabgabe an die Reisenden weitergereicht werden kann («pass through» von 100%).¹⁴³ Die nachfolgende Abbildung 3-18 zeigt, dass in unserem Beispiel bei einer «üblichen» Wahl der Preiselastizitäten¹⁴⁴ das Passagieraufkommen um 14%, die Passagierkilometer und die in diesem Beispiel damit direkt verknüpften CO₂-Emissionen um -10% zurückgehen.

¹⁴³ Transport & Environment (2020), Seite 27.

¹⁴⁴ Diese Preiselastizitäten stammen aus der internationalen Literatur, welche eine sehr grosse Bandbreite zeigt. Inwieweit diese Preiselastizitäten für die Schweiz übernommen werden können, ist fraglich und hängt auch davon ab, ob es attraktive Substitute gibt zur Flugreise. Das könnten bspw. Ferien in der Schweiz sein, oder es wird mit der Bahn anstelle des Flugzeugs gereist. Das Ausweichen auf die Bahn dürfte sich allerdings in Grenzen halten, da bspw. der Genfer Flughafen nur wenige Destinationen hat, in denen die Bahn als Substitut konkurrenzfähig ist (Paris und Zürich).

Es gibt aber gute Gründe dafür, dass die Flugticketabgabe nicht voll auf den Ticketpreis überwältzt werden (können).

- *Kapazitätsrestriktionen bei den Slots:* In den Schweizer Flughäfen gibt es zumindest in gewissen Zeiten Kapazitätsrestriktionen bei den verfügbaren Slots. Wenn nun eine Flugticketabgabe in einen Markt mit Kapazitätsrestriktionen eingeführt wird, dann wird die Airline die Ticketabgabe nicht weitergeben. Die Airline trägt also die Ticketabgabe und ihre sogenannte «Kapazitätsrente» wird entsprechend reduziert.
- *Hub-Effekte:* Für ausländische Fluggesellschaften, die CH-Passagiere auf ihre Hubs holen, kann es durchaus sinnvoll sein, die Flugticketabgabe nicht oder nur teilweise auf die Passagiere zu überwälzen, um den Weiterflug ab ihrem Hub zu füllen. Die Flugpreise würden sich für solche Flüge also nicht oder nur wenig verändern. Ein unerwünschter Nebeneffekt ist, dass sich der Preisdruck für die Swiss erhöhen wird: Im obigen Beispiel würde ein Flug von ZRH mit Zwischenstopp in Frankfurt nach Johannesburg nicht teurer. Die Swiss müsste für alle ihre Passagiere auf ihrem Flug von ZRH nach Johannesburg eine Flugticketabgabe bezahlen und da der Anteil von Schweizer und Schweizerinnen auf diesem Flug höher ist als auf dem Frankfurt-Johannesburg-Flug, verschlechtert sich die Wettbewerbsposition der Swiss. In dieser Konstellation würde die Nachfrage nach dem Direktflug abnehmen und die Nachfrage nach dem Flug mit Zwischenstopp zunehmen. Auf das Passagieraufkommen hätte die Flugticketabgabe keinen Effekt, die CO₂-Emissionen könnten jedoch sogar steigen.

Wie hoch letztendlich der langfristige «pass through» sein wird, ist schwierig einzuschätzen. Er wird aber sicher unter 100% liegen. Für die weiteren Berechnungen gehen wir beispielhaft von einem «pass through» von 80% aus (siehe untere Tabelle in Abbildung 3-18).¹⁴⁵

¹⁴⁵ Wie gross der „pass through“ der Flugticketabgabe sein wird, können wir aktuell nur annahmenbasiert festlegen. Ob sich der „pass through“ nach Einführung der Ticketabgabe genauer empirisch bestimmen lässt, ist fraglich, da vermutlich nicht jedes Ticket von den preissetzenden Flugunternehmen gleich belastet wird und es in der grossen Bandbreite der Preisgestaltung je nach Zeitpunkt der Buchung, dem ganzen Reisearrangement usw. schwierig feststellbar sein wird, welches nun der Anteil der weiterverrechneten Flugticketabgabe ist.

Abbildung 3-18: Effekt der Flugticketabgabe bei 100%-iger bzw. 80%-iger Überwälzung auf den Ticketpreis

	Anteil Überwälzung ("pass through")	Preis- elastizität der Nachfrage	Passagiere [Mio. PAX]	Passagier- kilometer [Mio. Pkm]	CO ₂ - Emissionen [Mio. Tonnen]
Kurzstrecke	100%	-0.90	13.1	8'805	1.3
Langstrecke	100%	-0.70	4.1	32'415	4.9
Total			17.2	41'220	6.2
Effekt der Flugticketabgabe			-14%	-10%	-10%

	Anteil Überwälzung ("pass through")	Preis- elastizität der Nachfrage	Passagiere [Mio. PAX]	Passagier- kilometer [Mio. Pkm]	CO ₂ - Emissionen [Mio. Tonnen]
Kurzstrecke	80%	-0.90	13.6	9'137	1.4
Langstrecke	80%	-0.70	4.1	32'982	4.9
Total			17.8	42'119	6.3
Effekt der Flugticketabgabe			-11%	-8%	-8%

3) Ausweichreaktionen auf die erhöhten Ticketpreise

Ausweichreaktionen der Flugreisenden

Wird die Flugticketabgabe – wie in unserem Beispiel für die Schweiz – unilateral und differenziert nach Kurz- und Langstrecken eingeführt, dann können wir folgende beiden grundsätzlichen Ausweichreaktionen der Flugreisenden beobachten:

- Die Schweizer Flughäfen sind Einfallstore für ausländische Touristen («Incoming-Verkehr»). Ein Teil dieser könnte von den höheren Ticketpreisen abgehalten werden in die Schweiz zu fliegen – fliegen würden sie aber höchstwahrscheinlich immer noch – nicht in die Schweiz, sondern in andere Destinationen. Für die ausländischen Touristen wäre entsprechend mit einem gewissen Nachfragerückgang zu rechnen, ohne dass die CO₂-Emissionen aus dem Flugverkehr reduziert würden. In unserem Beispiel gehen wir davon aus, dass die Hälfte der von der Flugticketabgabe abgehaltenen Touristen anstelle der Schweiz in andere Destination in derselben Distanz fliegen. Unter diesen Annahmen reduziert sich das Passagieraufkommen nur noch um -8% und die Passagierkilometer und CO₂-Emissionen um -76%.
- Mit der in diesem Beispiel angenommenen Differenzierung der Flugticketabgabe in Kurz- und Langstrecke erhöht sich die relative Attraktivität der Langstreckenflüge: Vor Einführung der Flugticketabgabe entsprachen die Kosten für einen Langstreckenflug 4.6

Kurzstreckenflügen, nach Einführung der Flugticketabgabe nur noch 4.4. Diese relative Attraktivitätssteigerung könnte also gar dazu führen, dass zwar weniger, dafür längere Distanzen geflogen werden. Die CO₂-Emissionen könnten dadurch sogar zunehmen, wie es bspw. eine Studie für die Erhöhung der britischen Air Passenger Tax berechnet hatte.¹⁴⁶ Diesen Effekt haben wir in der nachfolgenden Abbildung nicht berücksichtigt.

Abbildung 3-19: Effekt der Flugticketabgabe nach Berücksichtigung von Flugverkehrsverlagerungen

	Anteil Überwälzung ("pass through")	Preis- elastizität der Nachfrage	Anteil Incoming	Anteil Incoming, die andere Flug- Destination wählen	Passagiere [Mio. PAX]	Passagier- kilometer [Mio. Pkm]	CO ₂ - Emissionen [Mio. Tonnen]
Kurzstrecke	80%	-0.90	50%	50%	14.1	9'470	1.4
Langstrecke	80%	-0.70	50%	50%	4.2	33'549	5.0
Total					18.3	43'019	6.5
Effekt der Flugticketabgabe					-8%	-6%	-6%

Ausweichreaktionen am EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg

Sollte die Flugticketabgabe zu einem ausgeprägten Nachfragerückgang führen, würden die Flüge ab dem EuroAirport vom Schweizer Recht zum französischen Recht wechseln, um dadurch der Schweizer Flugticketabgabe zu entgehen. Die Schweizer Flugticketabgabe hätte somit auf die Nachfrage im EuroAirport keine nennenswerten Auswirkungen. Es besteht zudem die Möglichkeit, dass gewisse Flüge von Schweizer Flughäfen auf den EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg ausweichen, um die Flugticketabgabe zu umgehen.

4) *Auswirkungen der Angebotsreaktion auf die CO₂-Emissionen*

Kurzfristig wird sich relativ wenig verändern: Der Rückgang der Nachfrage von Flugreisenden wird zuerst den Sitzladefaktor der Airlines reduzieren. Für die Airline reduzieren sich die Einnahmen und damit die Deckungsbeiträge an die Fixkosten. Geflogen wird aber immer noch, sofern die Deckungsbeiträge noch positiv sind, der Passagierückgang also im Rahmen bleibt. Kurzfristig ändert die Flugticketabgabe an den CO₂-Emissionen nichts.

Längerfristig wird aber auch ein Rückgang der Passagiernachfrage einen Effekt auf die Flugbewegungen haben, indem das Wachstum verzögert wird und weniger schnell neue Destinationen erschlossen oder Frequenzen erhöht werden.

¹⁴⁶ Mayor; Tol (2007).

Die **Regulierungsüberlagerung** der Flugticketabgabe mit dem EU-ETS und CORSIA führt dazu, dass auch bei einem Rückgang der Flugbewegungen nur ein marginaler Effekt der Flugticketabgabe auf die CO₂-Emissionen zu erwarten ist. Je nach Wirksamkeit der Kompensationsprojekte von CORSIA kann in unserem illustrativen Beispiel ein Rückgang der CO₂-Emissionen von 0% bis maximal 4% erwartet werden.

Abbildung 3-20: Effekt der Flugticketabgabe nach Berücksichtigung des «Wasserbetteffekts» durch das EU-ETS und die Wirksamkeit von CORSIA

EU-ETS	Keine CO ₂ -Emissionsreduktion für Europaflüge wegen "Wasserbetteffekt" (frühestens ab 2024)			
	Wirksamkeit CORSIA	0%	50%	100%
	CO ₂ -Emissionen [Mio. Tonnen]	CO ₂ -Emissionen [Mio. Tonnen]	CO ₂ -Emissionen [Mio. Tonnen]	CO ₂ -Emissionen [Mio. Tonnen]
Kurzstrecke	1.6	1.6	1.6	1.6
Langstrecke	5.0	5.2	5.3	5.3
Total	6.6	6.7	6.9	6.9
Effekt der Flugticketabgabe	-4%	-2%	0%	0%

Zusammenfassend können wir festhalten, dass die **längerfristige** Lenkungswirkung der Schweizer Flugticketabgabe zu einem leicht verminderten Passagiernachfragewachstum führt, auf die CO₂-Emissionen aber einen sehr bescheidenen Effekt hat. **Kurzfristig** wird die Auslastung der Flugzeuge sinken. An den Flugbewegungen und somit den CO₂-Emissionen ändert sich aber nichts.

Finanzierungsseite der Schweizer Flugticketabgabe

Wie bereits ausgeführt, wird mindestens die Hälfte der Einnahmen aus der Flugticketabgabe an die Bevölkerung und die Wirtschaft zurückverteilt. Weniger als die Hälfte kann teilweise für Forschungszwecke oder Massnahmen mit innovativem Charakter im Flugverkehrsbereich eingesetzt werden. Über die Finanzierungsseite kann die Flugticketabgabe also Wirkung erzielen, die schlussendlich auch zu einer Reduktion der CO₂-Emission führt.

Anreizwirkung durch Branchenvereinbarungen

Die Lenkungswirkung der Flugticketabgabe besteht über einen möglichen verminderten Abgabebesatz für die Airlines infolge einer Branchenvereinbarung (siehe Abschnitt 2.5.1). Damit es zu einer Lenkungswirkung kommt, muss die Verminderung der Abgabe aber so gross sein, dass sich der Kauf von SAF lohnt.

Anmerkung: Im totalrevidierten CO₂-Gesetz wird neben der Flugticketabgabe auch eine «Abgabe Allgemeine Luftfahrt» gesetzlich verankert. Diese Abgabe betrifft in erster Linie die Businessjets. Die Abgabe Allgemeine Luftfahrt wird voraussichtlich direkt beim Abflug und nicht quartalsweise im Nachhinein erhoben. Flüge, die der Mineralölsteuer unterstehen (Inlandflüge), sind nicht abgabepflichtig.

Gemäss einer ersten Experteneinschätzung verhält es sich mit der «Abgabe Allgemeine Luftfahrt» ähnlich wie mit der Flugticketabgabe. Die Abgabe dürfte aufgrund der relativ hohen Zahlungsbereitschaft der Kundschaft einen sehr geringen Effekt auf die Flugbewegungen haben.

Fazit: Die Flugticketabgabe ist effektiv und effizient bei der Mittelbeschaffung, nicht aber in Bezug auf die Reduktion der CO₂-Emissionen. Die Flugticketabgabe kann aber über zwei Wege Wirkung im Hinblick auf die Reduktion der CO₂-Emissionen des Flugverkehrs entfalten:

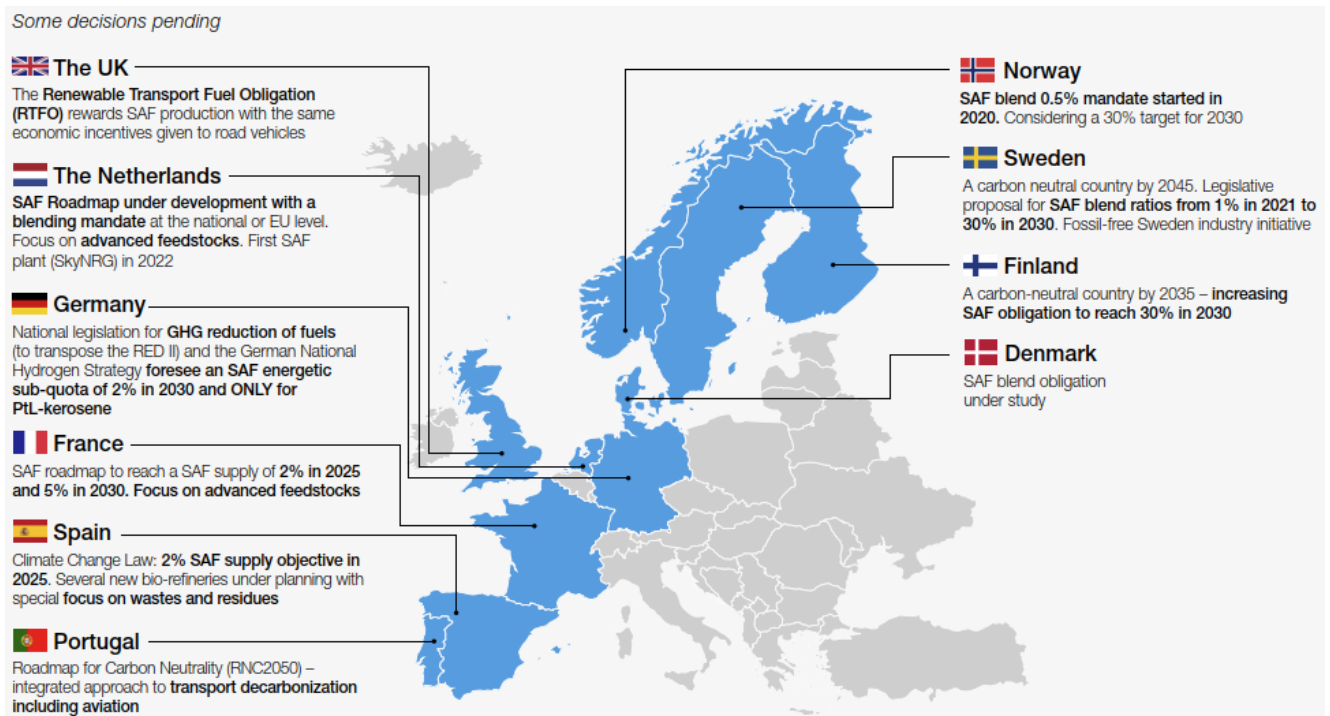
- Mittelbeschaffung zur Förderung von innovativen Vorhaben
- Anreiz zum Kauf von SAF über die Branchenvereinbarungen

3.6.5 Beimischquote für SAF

Umfeld und Überblick

Mit einer Beimischquote wird ein Mindestanteil von SAF vorgeschrieben, der beigetankt oder in Verkehr gebracht werden muss. Die EU diskutiert im Rahmen der Initiative ReFuelEU die Einführung einer Beimischquote für SAF (vgl. dazu die Ausführungen im Kapitel 2.4.3). Norwegen kennt bereits eine Beimischquote von 0.5%. Weitere EU-Länder diskutieren im Moment die Einführung einer eigenen, nationalen Beimischquote (vgl. nachfolgende Abbildung 3-21). Eine Beimischquote für SAF wäre als eigenständige Massnahme für die Schweiz ohne Konflikt mit dem internationalen Regelwerk einführbar.

Abbildung 3-21: Die Entwicklung des SAF-Marktes in ausgewählten Ländern Europas



Quelle: World Economic Forum; McKinsey & Company (2020), Seite 9.

Wirkung der Beimischquote

Die Beimischquote sorgt dafür, dass eine minimale Nachfrage nach SAF besteht. Da SAF teurer ist als fossiles Kerosin, steigen die Kosten für den Treibstoff in dem Land, welche eine Beimischquote eingeführt hat. Je nach Höhe der Beimischquote können Treibstoff-Preisunterschiede zwischen den Ländern entstehen, die zu vermehrten «Tankering» führen.

Fazit: Eine Beimischquote für SAF wäre als eigenständige Massnahme für die Schweiz ohne Konflikt mit dem internationalen Regelwerk einführbar. Das Hauptproblem einer «isolierten», nationalen Beimischquote liegt beim «Tankering». Eine europaweite Beimischquote, welche im Rahmen der Initiative ReFuelEU diskutiert wird, könnte das «Tankering» massiv reduzieren und wäre der bevorzugte Weg.

3.6.6 Massnahmenmix zur SAF-Nutzung

Aktive Rolle der Schweiz

Der Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF) ist die erfolgsversprechende Möglichkeit, den Flugverkehr längerfristig weitgehend ohne CO₂-Emissionen abzuwickeln. Biofuels werden heute schon eingesetzt, wenn auch heute anteilmässig noch im Promillebereich. Bei den Synfuels weiss man, wie sie herzustellen wären, aber bis zu einer effizienten, grossindustriellen Herstellung ist es noch ein steiler Weg. Grundsätzlich ist die Marktentwicklung für SAF ein globales Problem. Die Frage ist, welche Rolle die Schweiz spielen kann. Die nachfolgenden

Ausführungen gehen davon aus, dass die Schweiz eine **aktive Rolle** in der SAF-Marktentwicklung spielen will und so einerseits einen Beitrag an die globalen CO₂-Emissionen leistet, andererseits aber auch die heimische Forschung stärkt.

Klärungs- und Abstimmungsbedarf mit anderen Sektoren

Wie wir im Exkurs im Kapitel 3.1 dargelegt haben, setzt gemäss «Destination 2050» die EU und gemäss «Sustainable Aviation» auch UK auf die heimische Produktion von Biofuels und Synfuels. Die Schweiz hat im Vergleich zur EU oder UK aber keine guten Standortvoraussetzungen für die Massenproduktion von Biofuels – die Biofuel-Rohstoffe fehlen, bzw. werden schon anderweitig vereinnahmt: Biomasse (Holz) für thermische Netze und Stromerzeugung, Biogas für die Industrie und Abfall wird in den KVA's verbrannt und energetisch verwertet (thermische Netze und Stromerzeugung).¹⁴⁷ Trotzdem ist es sinnvoll, jetzt schon zu klären, ob ein (vermutlich kleinerer) Teil der in der Schweiz vorhandenen Biofuel-Rohstoffe für die Produktion von «Schweizer» Biofuels für den Flugverkehr eingesetzt werden kann (→Massnahme «*Klärung der Allokation der Biofuel-Rohstoffe auf die Sektoren*»).

Bei den Synfuels (insbesondere PtL) zeigt sich eine ähnliche Problemstellung im Hinblick auf den für die Herstellung von Synfuel notwendigen erneuerbaren Strom. Die Energieperspektiven 2050+ gehen davon aus, dass Wasserstoff in der Schweiz aus erneuerbarem Strom hergestellt wird und dieser Wasserstoff vom Strassengüterverkehr eingesetzt wird. Auch hier gilt es zu klären, ob heimisch produzierter erneuerbarer Strom auch zur Produktion von Synfuel eingesetzt werden könnte (→Massnahme «*Möglichkeiten zum Einsatz heimisch produziertem, erneuerbarem Strom zur Produktion von Synfuels (PtL inkl. Wasserstoff)*»).

Synfuels sollen künftig nicht nur im Luftverkehr, sondern auch im Strassenverkehr¹⁴⁸ einen Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen leisten. Für die Synfuel-Marktentwicklung wäre somit nicht alleine der Luftverkehr-, sondern auch der Strassentransportsektor in die Pflicht zu nehmen (→Massnahme «*Möglichkeiten zum Einsatz heimisch produziertem erneuerbarem Strom zur Herstellung von Synfuels (PtL inkl. Wasserstoff)*»).

Schwerpunktsetzung

Wie erwähnt ist die Schweiz arm an Rohstoffen für die Biofuel- und Synfuel-Produktion. Die Stärken der Schweiz zur SAF-Marktentwicklung liegen in folgenden Punkten:

- Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der SAF-Herstellungs-Technologien (Einbringen des «Faktors» Wissen)
- (Mit-)Finanzierung der Skalierung der SAF-Produktion (Einbringen des «Faktors» Kapital)

¹⁴⁷ In den Energieperspektiven 2050+ werden die Biomasse-Potenziale für die Sektoren Haushalt, Dienstleistungen, Industrie und Stromerzeugung eingesetzt.

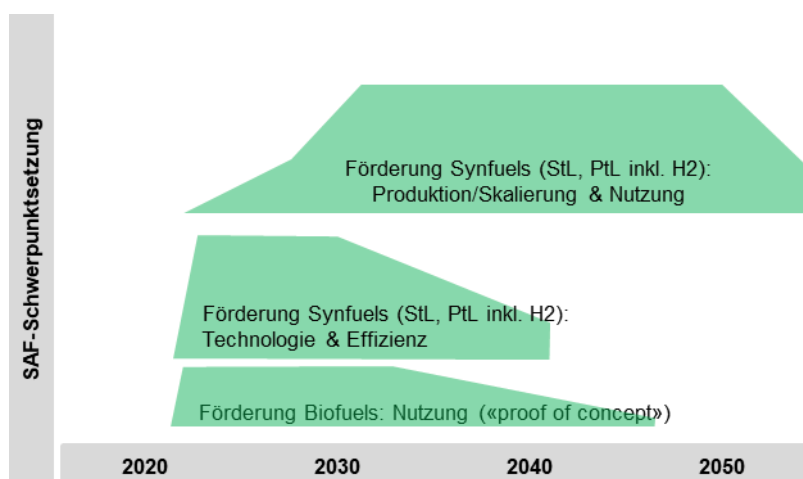
¹⁴⁸ Synfuel wird neben dem Luft- und Strassenverkehr künftig auch in kleineren Mengen auch in Spezialfahrzeugen oder industriellen Prozessen eingesetzt.

PtL und StL sind sehr vielversprechende Technologien, die noch ein grosses Effizienzverbesserungspotenzial haben. Es ist daher sinnvoll, wenn die Schweiz ihr Wissen und Kapital für diese neueren und innovativeren Technologien einsetzt. Also ihre Schwerpunkte setzt bei der

- Förderung der Technologie zur Herstellung von Synfuels (StL und PtL inkl. Wasserstoff). Das Hauptaugenmerk soll auf die Effizienzverbesserung und die Kostenreduktion gelegt werden.
- Förderung der Skalierung der Herstellung von Synfuel (StL und PtL inkl. Wasserstoff) bis zur grossindustriellen Herstellung. Hier kann die Schweiz als Kapitalgeber, Finanzierer oder bei der Übernahme von Risiken eine zentrale Rolle einnehmen – und zwar auch dann, wenn die Anlagen im Ausland gebaut werden.
- Nutzung von Biofuels und Synfuels. Da Synfuels zu Beginn noch nicht zur Verfügung stehen, sollen die Abläufe und Prozesse von der Herstellung, über die Zertifizierung, dem Transport, der Lagerung, der Buchung, der Betankung, der gesamten (Finanz-)Transaktionen am «Beispiel» Biofuels «hochgefahren» werden («proof of concept»).

Die nachfolgende Abbildung 3-22 fasst die obige Diskussion grafisch zusammen.

Abbildung 3-22: Schwerpunktsetzung bei den Sustainable Aviation Fuels (SAF)



Zusammenspiel der Massnahmen - Massnahmenmix

Bei der SAF-Marktentwicklung sind zwei zentrale Punkte zu beachten:

- Nachfrage- UND angebotsseitige Massnahmen: Es braucht ein Zusammenspiel zwischen nachfrage- und angebotsseitigen Massnahmen, damit SAF, welches kurz- und auch mittelfristig noch viel teurer ist als fossiles Kerosin, auf dem Markt bestehen kann.
- Internationale, staatenübergreifende UND eigenständige staatliche Massnahmen: International koordinierte Massnahmen – auf globaler oder europäischer Ebene – haben Priorität. Die eigenständigen staatlichen Massnahmen sollen regelkonform sein in Bezug auf das internationale Regelwerk und subsidiär wirken, da wo die internationalen Massnahmen nicht ausreichen.

Weiter ist zu beachten, dass wir uns in einem extrem dynamischen Umfeld bewegen – sowohl was die Technologieentwicklung als auch die Politik anbelangt. Allein auf europäischer Ebene sind mit der Weiterentwicklung des EU-ETS und der Abstimmung auf CORSIA und der Initiative ReFuelEU mit der Einführung einer europaweiten Beimischquote zwei zentrale Instrumente in Diskussion, die sich massgeblich auf die Ausgestaltung der eigenständigen staatlichen Massnahmen der Schweiz auswirken können. Die nachfolgend diskutierten Vorschläge für mögliche Massnahmen sind daher periodisch dem sich dynamisch entwickelnden technologischen und politischen Umfeld anzupassen.

Die nachfolgende Abbildung 3-23 zeigt den vorgeschlagenen Massnahmenmix zur Entwicklung eines SAF-Marktes. Nachfolgend gehen wir kurz auf die vorgeschlagenen nachfrage- und angebotsseitigen Massnahmen ein.

Angebotsseitige Massnahmen

Bei den angebotsseitigen Massnahmen liegt der Fokus bis 2030 auf der Förderung der Forschung und Entwicklung im Bereich Synfuel (StL und PtL inkl. Wasserstoff). Vorgelagert ist ein Forschungskonzept zu erstellen, bei dem alle wesentlichen Akteure mitwirken können. (→Massnahme «*Forschungskonzept / Förderung der Forschung und Entwicklung zur effizienten und kostengünstigen Produktion von Synfuels (StL, PtL inkl. Wasserstoff)*»).

Mittels Finanzierungshilfen soll die Skalierung von Klein- zu industriellen Grossanlagen für die Herstellung von Synfuels (StL, PtL inkl. Wasserstoff) gefördert werden. Der global zu etablierende Markt für Synfuels wird durch Grossanlagen im Ausland geprägt sein. In der Aufbauphase dieses Marktes sollen aber auch die Möglichkeiten von grösseren Anlagen in der Schweiz ausgelotet werden, damit die Produktionstechnik mit Schweizer Knowhow im Inland verbessert und getestet und dann im Ausland hochgefahren und skaliert werden kann. Als Beispiel könnte während einer Übergangsperiode der abgeschiedene Kohlenstoff aus Kehrichtverbrennungsanlagen zur Herstellung von Synfuel genutzt werden (also zuerst eine CCU-Strategie fahren (Carbon Capture and Usage) und erst später auf CCS (Carbon Capture and Storage) setzen. Auch hier ist vorgängig ein Finanzierungskonzept zu erstellen, bei dem alle wesentlichen Akteure mitwirken können. (→Massnahme «*Finanzierungskonzept / Förderung der Skalierung von Synfuel-Produktionsanlagen (StL, PtL inkl. Wasserstoff)*»).

Die Treibstoffbranche übernimmt den Aufbau der ganzen SAF-Prozesskette (von Zertifizierung, über den Handel, zum Transport, zur Lagerung bis zur Betankung). Gefördert wird einzig der Aufbau von Buchungs- und Transaktionsplattformen (bspw. im Rahmen eines Book-and-Claim-Systems). (→Massnahme «*Förderung des Aufbaus von Buchungs- und Transaktionsplattformen (bspw. Book-and-Claim-System)*»).¹⁴⁹

¹⁴⁹ Die Einfuhr von massenbilanzierten Treibstoffen (als ein Gemisch aus Biotreibstoffen und fossilem Kerosin) ist zollrechtlich zurzeit noch nicht möglich. Die Einfuhr von Biotreibstoffen müsste bis anhin separat erfolgen um dann erst in der Schweiz mit fossilem Kerosin zu Flugtreibstoff vermischt und zertifiziert zu werden. Aufgrund der kleinen Mengen wären die Kosten dafür zu hoch. Die eidgenössische Zollverwaltung hat für die nahe Zukunft jedoch eine Lösung dieses Problems in Aussicht gestellt.

Nachfrageseitige Massnahmen

Die Schweiz führt eine Beimischquote nur auf gesamteuropäischer Ebene koordiniert ein. Mit der Initiative ReFuelEU könnte sich auf gesamteuropäischer Ebene eine Beimischquote, differenziert nach Bio- und Synfuels, durchsetzen, an der sich die Schweiz anhängen könnte. Dazu wären die notwendigen rechtlichen Grundlagen zu schaffen. Es sei noch einmal erwähnt, dass ein international koordiniertes Vorgehen zentral ist, um «Tankering» in grösserem Ausmass zu verhindern. (→Massnahme «*Rechtliche Grundlagen schaffen für eine Teilnahme an einer europäisch harmonisierten Beimischquote*»)

Als eigenständige Massnahme könnten die Flughäfen ihre Start- und Landegebühren mittels Rabatten so ausgestalten, dass ein Anreiz zur SAF-Betankung besteht. Dasselbe gilt auch für die Passagiergebühren. (→Massnahme «*Start-, Lande- und Passagiergebühren mit SAF-Betankungs-Anreiz*») ¹⁵⁰

Angebots- und Nachfrageseitige Massnahmen

Für die vorgängig vorgeschlagenen Fördermassnahmen wären ohne Flugticketabgabe Steuergelder einzusetzen. Mit dem Instrument der Flugticketabgabe können Einnahmen aus der Flugverkehrsbranchen erzielt werden, ohne gegen das internationale Regelwerk zu verstossen. Die Einnahmen sollen, wie oben dargelegt, zugunsten der Dekarbonisierung der Flugverkehrsbranche eingesetzt werden. Die Flugticketabgabe nimmt also im Rahmen dieser Road Map eine Sonderstellung ein. Ohne Flugticketabgabe könnten einige der vorgeschlagenen Massnahmen nicht finanziert werden. Wir schlagen vor die Flugticketabgabe (und die Abgabe allg. Luftfahrt), zusammen mit der Branchenvereinbarung wie folgt einzusetzen.

- bis ca. 2030:
 - Abschliessen von Branchenvereinbarung mit der Verpflichtung der Airlines eine gewisse Menge SAF zu tanken, um eine entsprechende Reduktion der Flugticketabgabe zu bewirken.
 - Die reduzierte Flugticketabgabe soll aber immer noch Einnahmen generieren, mit denen die Forschungsförderung PtL (inkl. Wasserstoff) und StL finanziert werden kann.
 (→Massnahme «*Flugticketabgabe mit Branchenvereinbarung: Verpflichtung für die Airlines SAF zu tanken*»)
- ab ca. 2030:
 - Die als Lenkungsabgabe konzipierte Flugticketabgabe (und Abgabe allg. Luftfahrt) soll in Bezug auf den Anteil, der an die Bevölkerung und Wirtschaft rückverteilt wird, flexibilisiert werden, so dass auch ein Rückverteilungsanteil von unter 50% möglich wäre. Dies würde eine Änderung der Bundesverfassung bedingen. Die Gründe für diese Umwandlung der Lenkungsabgabe in eine Finanzierungsabgabe sind Folgende:

¹⁵⁰ Im Detail ist noch nicht klar, wie die Anreize zu setzen sind, wie die Umsetzung genau zu erfolgen hat und wie die längerfristige Kostendeckung der Flughäfen in einem solchen Rabattsystem sichergestellt werden kann.

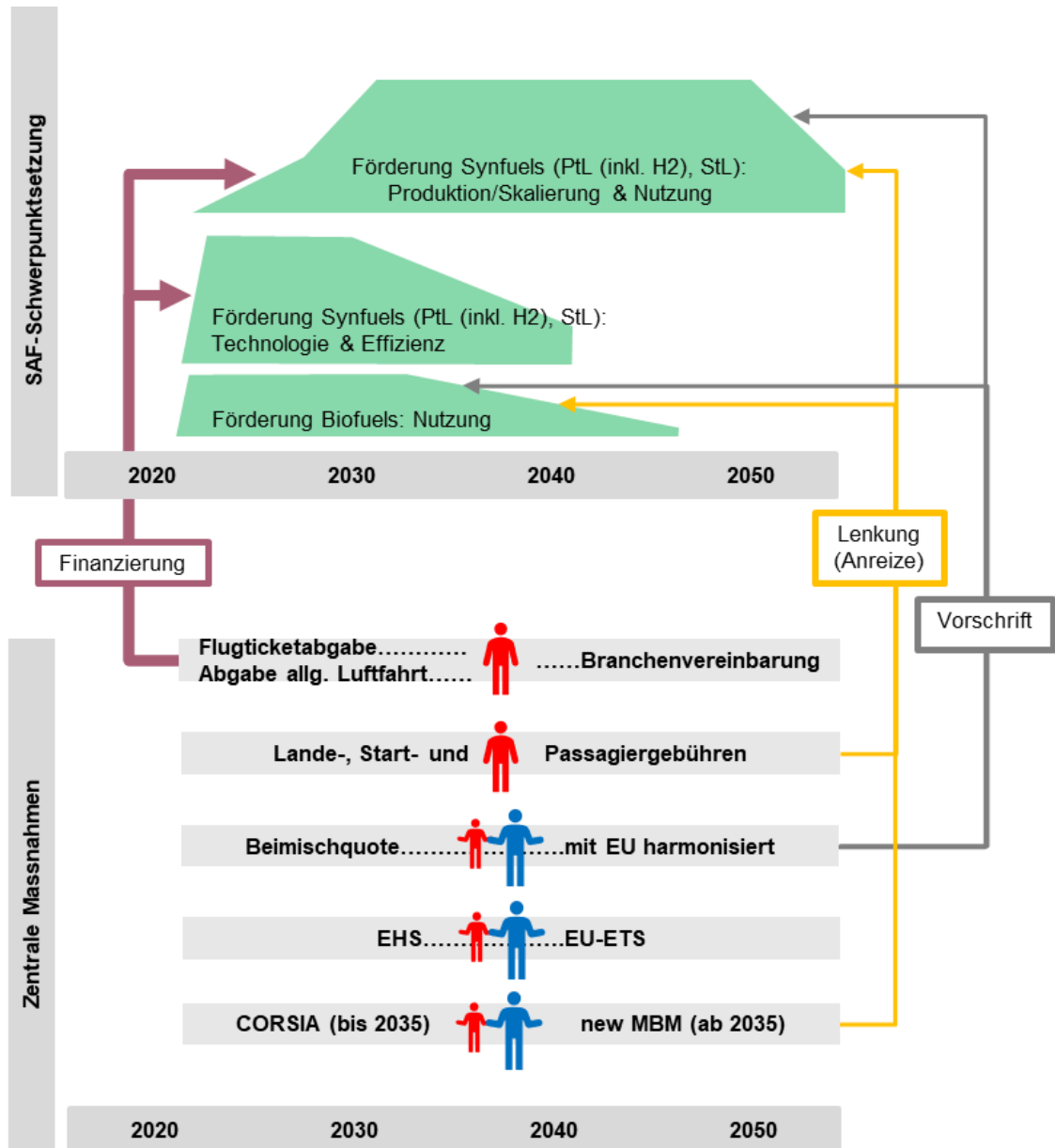
- Die Lenkungswirkung der Flugticketabgabe in Bezug auf die CO₂-Emissionen ist bescheiden
- Der Flugverkehr wird mit der Umsetzung der beabsichtigten Massnahmen immer «sauberer», die externen Kosten werden sinken
- Kann ein grösserer Anteil der Einnahmen aus der Flugticketabgabe für den Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin verwendet, kann der SAF-Markt schneller entwickelt werden und die CO₂-Emissionen auf den Flügen mit Destinationen ausserhalb EU/EWR schneller reduziert werden.¹⁵¹

Hauptmotivation für die Finanzierungsabgabe ist das grössere Fördervolumen zur SAF-Nutzung, das ab 2030 für das «Hochfahren» des SAF-Marktes zur Verfügung stehen würde. Wie die Förderung der SAF-Nutzung ausgestaltet wird, ist noch offen: Es könnte bspw. über eine direkte Subventionierung von SAF oder auch über Branchenvereinbarungen erfolgen.



(→ Massnahme «Flugticketabgabe mit Fokus auf Finanzierung und Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin (bedingt Änderung des rechtlichen Rahmens)»)

¹⁵¹ In den innereuropäischen Flügen verhindert der „Wasserbetteffekt“ des EU-ETS, dass die CO₂-Emissionen sinken (gilt unter gewissen Prämissen bezüglich der Marktstabilisierungsreserven des EU-ETS, vgl. dazu die Ausführungen im Kapitel 2.4.2).

Abbildung 3-23: Massnahmenmix zur Förderung, Marktentwicklung und Nutzung von SAF



Legende:

-  = eigenständige staatliche CH-Massnahmen
-  = staatenübergreifende Massnahme, Schweiz "macht mit"

Die nachfolgende Liste stellt den Massnahmenmix zur SAF-Nutzung zusammen.

Abbildung 3-24: Massnahmenliste SAF-Nutzung

Massnahme	Stakeholder	Zeithorizont
Klärungs- und Abstimmungsbedarf zwischen den Sektoren		
– Klärung der Allokation der Biofuel-Rohstoffe auf die Sektoren inkl. Luftverkehr	– BFE (BAFU/BAZL)	bis 2022
– Möglichkeiten zum Einsatz heimisch produziertem erneuerbarem Strom zur Herstellung von Synfuels (PtL)	– BFE (BAFU/BAZL)	bis 2022
– Abstimmung und faire Lastenteilung zwischen dem Strassen- und Luftverkehrssektor bei der Förderung von Synfuel	– BFE (BAFU/BAZL)	bis 2022
Angebotsseitige Massnahmen		
– Forschungskonzept / Förderung der Forschung und Entwicklung zur effizienten und kostengünstigen Produktion von Synfuels (PtL (inkl. H ₂), StL)	– ARCS, alle betroffenen Stakeholder	Konzept bis Ende 2022 Förderung bis 2035/40
– Finanzierungskonzept / Förderung der Skalierung von Synfuel-Produktionsanlagen (PtL (inkl. H ₂), StL)	– Synfuel-Produzenten, alle betroffenen Stakeholder	Konzept bis 2025 Finanzierung bis 2045/50
– Förderung des Aufbaus von Buchungs- und Transaktionsplattformen (bspw. Book-and-Claim-System)	– Airlines, BAFU/BAZL	bis 2025/30
Nachfrageseitige Massnahmen		
– Rechtliche Grundlagen schaffen für eine Teilnahme an einer europäisch harmonisierten Beimischquote	– UVEK	bis 2025/30
– Start-, Lande- und Passagiergebühren mit SAF-Betankungs-Anreiz	– Flughäfen / evtl. Flugsicherung	bis 2025
Angebots- und nachfrageseitige Massnahmen		
– Flugticketabgabe mit Branchenvereinbarung: Verpflichtung für die Airlines SAF zu tanken	– Airlines, BAFU/BAZL	bis 2030
– Flugticketabgabe mit Fokus auf Finanzierung und Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin (bedingt Änderung des rechtlichen Rahmens)	– BAFU/BAZL, UVEK	ab 2030

Fazit: Die Sustainable Aviation Fuels (SAF) müssen insbesondere im Langstreckenverkehr bis 2050 den Hauptbeitrag an die Reduktion der CO₂-Emissionen im Flugverkehr liefern. Eine schnelle SAF-Marktentwicklung ist nötig und erste Schritte, wie die Technologieförderung für Synfuels (PtL (inkl. H₂) und StL) sind umgehend an die Hand zu nehmen.

4 Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Bevor wir aufbauend auf den Massnahmenlisten im vorgängigen Kapitel die Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» darstellen, sollen die übergeordneten Grundsätze und Leitlinien dargelegt werden, an welche sich die Road Map ausrichten soll.

4.1 Grundsätze und Leitlinien

In seiner **langfristigen Klimastrategie** setzt der Bundesrat für den internationalen Luftverkehr ab der Schweiz das Ziel, dass bis im Jahr 2050 die fossilen CO₂-Emissionen Netto-Null betragen und die übrigen Klimawirkungen (Nicht-CO₂-Effekt) sinken oder mit anderen Massnahmen ausgeglichen werden. Für die Umsetzung dieser Ziele orientiert sich die vorliegende Road Map an folgenden Grundsätzen und Leitlinien:

- *Das Netto-Null-Ziel ist erreichbar.* Es bedarf aber sehr grosser Anstrengungen, umgehen- des Handeln und eine intensive internationale Zusammenarbeit. Die Schweiz ist auf diese Zusammenarbeit angewiesen – alleine kann sie das Ziel nicht erreichen.
- *Emissionen reduzieren – Nutzen beibehalten:* Die CO₂-Emissionen sind auf Netto-Null zu bringen und die Nicht-CO₂-Effekte sind zu reduzieren, nicht der Nutzen, welcher die Luft- fahrt für die Schweiz bringt. Die Reduktion der Nachfrage nach Flugreisen ist somit nicht Selbstzweck, sondern kann sich als Folge der zu treffenden, auf die CO₂-Emissionen und Nicht-CO₂-Effekte ausgerichteten Massnahmen ergeben.
- *Prioritäre internationale Massnahmen:* International koordinierte Massnahmen – auf globa- ler oder europäischer Ebene – haben Priorität. Die Schweiz beteiligt sich an den EU-Mass- nahmen und übernimmt diese. Die eigenständigen staatlichen Massnahmen sollen regel- konform sein in Bezug auf das internationale Regelwerk und subsidiär wirken, da wo die internationalen Massnahmen nicht ausreichen.
- *Internationale Wettbewerbsfähigkeit:* Mit den eigenständigen staatlichen Massnahmen darf die internationale Wettbewerbsfähigkeit des aus der Schweiz operierenden Linien- und Charterverkehrs sowie des Geschäftsverkehrs nicht gefährdet werden.
- *Handlungsspielraum nutzen:* Die Schweiz hat neben den staatenübergreifenden Massnah- men, die sie mitträgt, einen *erheblichen Handlungsspielraum für eigenständige Massnah- men*, den es zu nutzen gilt.
- *Fokus auf Emissionsreduktion im Luftfahrtsektor:* Prioritär sind die Emissionen innerhalb des Luftfahrtsektor zu reduzieren. Offsetting kann mittelfristig sinnvoll sein, bleibt aber län- gerfristig den nicht reduzierbaren Emissionen vorbehalten. Längerfristig soll beim Offsetting auf die negativen Emissionstechnologien (NET wie BECCS oder DACCS) gesetzt werden.
- *Technologieneutralität und -offenheit:* Alle klimawirksamen Technologien sollen ihren Bei- trag zur Emissionsminderung leisten können und ein faires Konkurrieren zwischen den Technologien ermöglicht werden. Die Massnahmen sollen sich an der Emissionsminderung ausrichten und nichtdiskriminierend in Bezug auf die Technologiewahl ausgestaltet werden.

- *Schwerpunkte setzen:* Die Schweiz setzt vier Schwerpunkte in ihrem Handeln: Das Engagement für globale SAF-Märkte und NET-Offsetting-Märkte, die Synfuel-Forschung und -Finanzierung sowie die Vorreiterrolle bei der Dekarbonisierung der Bodeninfrastruktur. Der erste Schwerpunkt liegt im Eigeninteresse der Schweiz, mit den drei restlichen Schwerpunkten will die Schweiz eine Vorreiterrolle spielen.
- *Kostenwahrheit im Luftverkehr:* Die Massnahmen sind darauf auszurichten, dass der Luftfahrtsektor seine vollen Kosten – und damit auch die Kosten der Dekarbonisierung – trägt.
- *Transparenz und Glaubwürdigkeit:* Die Fortschritte sollen dokumentiert (Monitoring) und die Massnahmenausrichtung periodisch überprüft werden (Aktualisierung der Road Map). Monitoring und Road Map werden kommuniziert.

4.2 Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Nachfolgend werden die im Kapitel 3 erarbeiteten Erkenntnisse und Massnahmenliste zusammengefasst und zu einer Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» verdichtet.

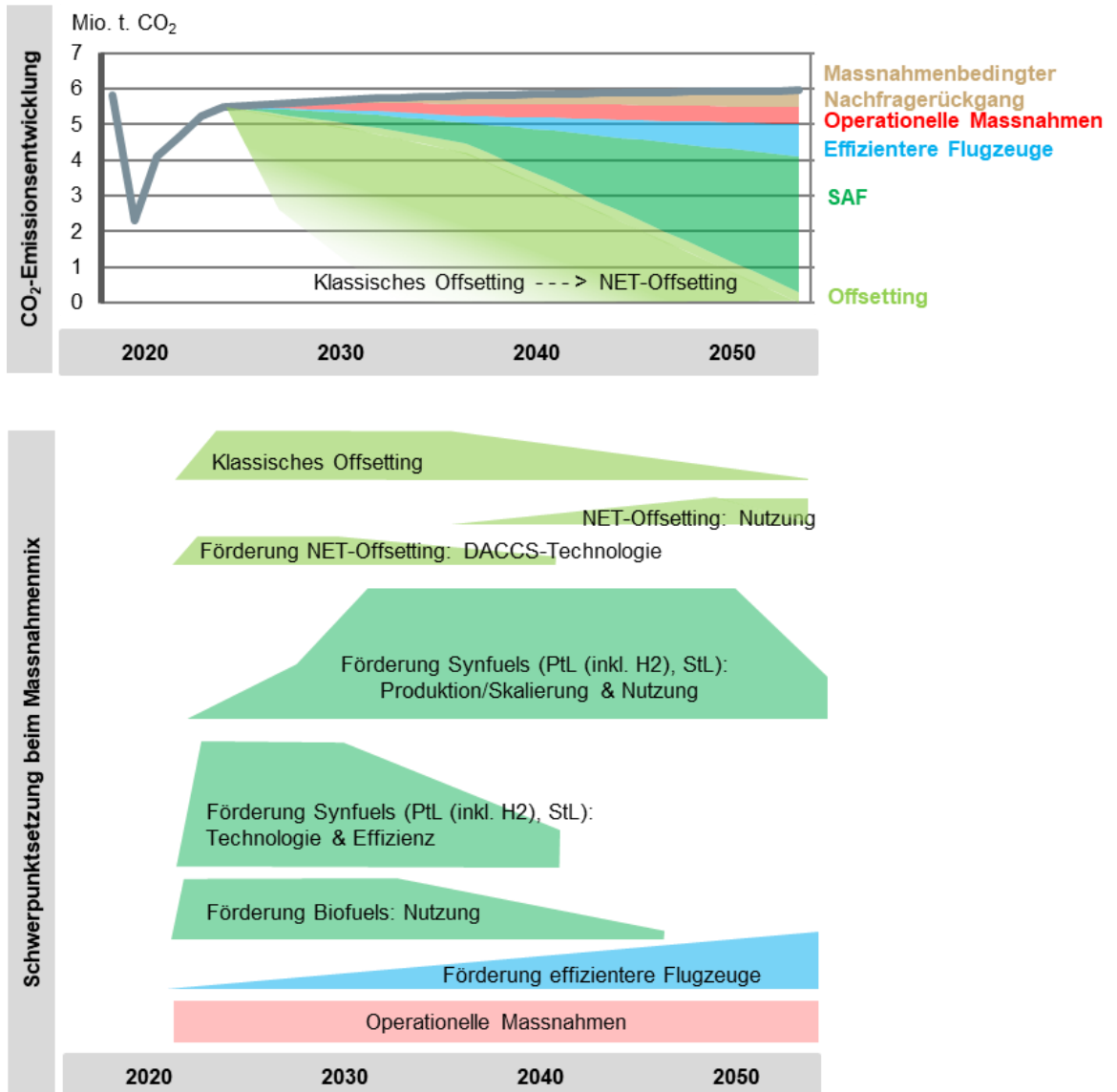
Erreichung Netto-Null-Ziel bei den CO₂-Emissionen

Die durch den Einsatz von fossilem Kerosin entstehenden CO₂-Emissionen, sind bis ins Jahr 2050 gemäss langfristiger Klimastrategie des Bundesrats auf Netto-Null zu reduzieren. Damit dieses ambitionierte Ziel erreicht werden kann, ist das «volle Register» aller möglicher Massnahmen zu mobilisieren. Die Hauptbeiträge sind in den folgenden Massnahmenbereichen zu erwarten (vgl. obere Grafik in der Abbildung 4-1):

- **Nutzung von SAF** (Biofuels und Synfuels aus PtL und StL) anstelle von fossilem Kerosin. Die SAF-Nutzung ist der wichtigste Ansatzpunkt für die Langstreckenflüge und bringt den Hauptbeitrag an die Reduktion der CO₂-Emissionen.
- **Offsetting** (Kompensation der CO₂-Emissionen aus fossilem Kerosin mit CORSIA, allfällige Kompensation von Nicht-CO₂-Effekten): Das «klassische» Offsetting von CO₂-Emissionen wird aufgrund von CORSIA noch zunehmen, lässt sich aber bei einem Netto-Null-Pfad längerfristig nicht mehr aufrechterhalten. Das Offsetting könnte längerfristig für die Kompensation von CO₂-Emissionen und des Nicht-CO₂-Effekts an Bedeutung gewinnen. Für diese Kompensation sind sogenannte NET notwendig (im Vordergrund stehen BECCS und DACCS).
- **Effizientere Flugzeuge** (über den Trend der technologischen Entwicklung hinausgehende Technologien, wie bspw. der Einsatz von Elektro- oder Wasserstoffflugzeuge). Neue Flugzeugkonzepte kommen frühesten 2035 auf den Markt und sind nur bis Distanzen von maximal 3000 km einsetzbar. Noch effizientere Flugzeuge leisten einen Beitrag von -10% bis -20% an die Reduktion der CO₂-Emissionen.
- **Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen** (treibstoffeffizientere Abwicklung des Flugverkehrs am Boden und in der Luft) sind eine Daueraufgabe und leisten einen Beitrag von -5% bis -10% an die Reduktion der CO₂-Emissionen.

- **Nachfrageseitige Effekte** (Minderung der Nachfrage bzw. des Nachfragerückgangs im Flugverkehr). Die Nachfrage nach Flugreisen nimmt als Folge der Umsetzung der CO₂-Minderungsmaßnahmen ab, da die Flugkosten und damit die Preise für Flugtickets steigen.

Abbildung 4-1: **Schwerpunktsetzung beim Massnahmenmix für eine Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» mit Fokus auf Sustainable Aviation Fuels (SAF)**



Schwerpunktsetzung

Die Schweiz ist arm an Rohstoffen für die Biofuel- und Synfuel-Produktion. Die Stärken der Schweiz zur SAF-Marktentwicklung liegen in folgenden Punkten:

- *Synfuel-Forschung*: Forschung und Entwicklung zur Verbesserung der SAF-Herstellungstechnologien wie Power to Liquid (PtL) oder Sun to Liquid (StL) (Einbringen des «Faktors» Wissen)
- *Finanzierung Synfuel-Produktion*: (Mit-)Finanzierung der Skalierung der SAF-Produktion (Einbringen des «Faktors» Kapital)

Weiter sollen sich die Schweizer Akteure für *globale SAF-Märkte und NET-Offsetting-Märkte* einsetzen. Einen Beitrag kann die Schweiz in der Förderung des Direct Air Capturing leisten, das sowohl bei der Produktion von Synfuel als auch beim NET-Offsetting (DACCS) künftig eine bedeutende Rolle spielen kann. Auch die Schweizer Flughäfen sollen eine Vorreiterrolle bei der *Dekarbonisierung der Bodeninfrastruktur* einnehmen (in der obigen Abbildung 4-1 unter operationellen Massnahmen subsummiert).

Abbildung 4-2: Die vier Schwerpunkte der Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»



Zusammenspiel der Massnahmen - Massnahmenmix

Der Massnahmenmix aus Anreizen und Förderungen soll nach Massgabe der vermiedenen CO₂-Emissionen ausgerichtet werden. Dies bedeutet bspw. für

- *SAF – H₂*: Anreize und Förderungen, die für SAF vorgesehen sind, gelten auch für H₂.
- *SAF – NET*: Auch hier gilt die Technologieneutralität, wobei Folgendes zu beachten ist: (i) Zum umsetzbaren NET-Potenzial herrscht noch eine sehr grosse Unsicherheit. Die momentane Sichtweise ist, dass nur ein beschränkt nutzbares NET-Potenzial künftig zur Verfügung stehen wird – NET also dann zum Einsatz kommen soll, wenn Emissionen nicht anderweitig zu vermeiden sind. Dies entspricht der Sichtweise der langfristigen Klimastrategie des Bundesrats. (ii) NET wird frühestens ab 2035/2040 im grösseren Umfang zur Verfügung stehen. (iii) Die noch unsichere Aussicht auf erst längerfristig zur Verfügung stehende NET darf nicht als Vorwand genutzt werden, um nicht umgehend auf die Marktentwicklung von SAF / H₂ und effiziente Flugzeuge zu setzen.

- *SAF – Einsatz effiziente Flugzeuge*: Es ist aus Kosten-Nutzen-Überlegungen effizient, nicht nur SAF, sondern auch der Einsatz effizienter Flugzeuge zu fördern. Die CO₂-Minderungskosten werden dann am tiefsten sein, wenn SAF in effizienten Flugzeugen eingesetzt wird. Es gilt auch hier, dass die Massnahmen wie indirekte finanzielle Anreize oder direkte Förderungen auf einen möglichst effizienten Mitteleinsatz im Hinblick auf die CO₂-Minderung einzusetzen sind.

Bei der SAF-Marktentwicklung sind zwei zentrale Punkte zu beachten:

- Nachfrage- UND angebotsseitige Massnahmen: Es braucht ein Zusammenspiel zwischen nachfrage- und angebotsseitigen Massnahmen, damit SAF, welches kurz- und auch mittelfristig noch viel teurer ist als fossiles Kerosin, auf dem Markt bestehen kann.
- Internationale, staatenübergreifende UND eigenständige staatliche Massnahmen: International koordinierte Massnahmen – auf globaler oder europäischer Ebene – haben Priorität. Die eigenständigen staatlichen Massnahmen sollen regelkonform sein in Bezug auf das internationale Regelwerk und subsidiär wirken, da wo die internationalen Massnahmen nicht ausreichen.

Weiter ist zu beachten, dass wir uns in einem extrem dynamischen Umfeld bewegen – sowohl was die Technologieentwicklung als auch die Politik anbelangt. Allein auf europäischer Ebene sind mit der Weiterentwicklung des EU-ETS und der Abstimmung auf CORSIA und der Initiative ReFuelEU mit der Einführung einer europaweiten Beimischquote zwei zentrale Instrumente in Diskussion, die sich massgeblich auf die Ausgestaltung der eigenständigen staatlichen Massnahmen der Schweiz auswirken können. Die nachfolgend diskutierten Vorschläge für mögliche Massnahmen sind daher periodisch dem sich dynamisch entwickelnden technologischen und politischen Umfeld anzupassen.

Die nachfolgende Abbildung 4-3 zeigt den vorgeschlagenen Massnahmenmix für eine «Road Map Sustainable Aviation» mit Fokus auf Sustainable Aviation Fuels (SAF).

Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

Die nachfolgende Abbildung 4-4 fasst alle in Kapitel 3 diskutierten Massnahmen in einer synoptischen Darstellung zusammen. Für die Details zu den einzelnen Massnahmen wird auf die entsprechenden Kapitel und Massnahmenlisten verwiesen.

Abbildung 4-3: Massnahmenmix für eine Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

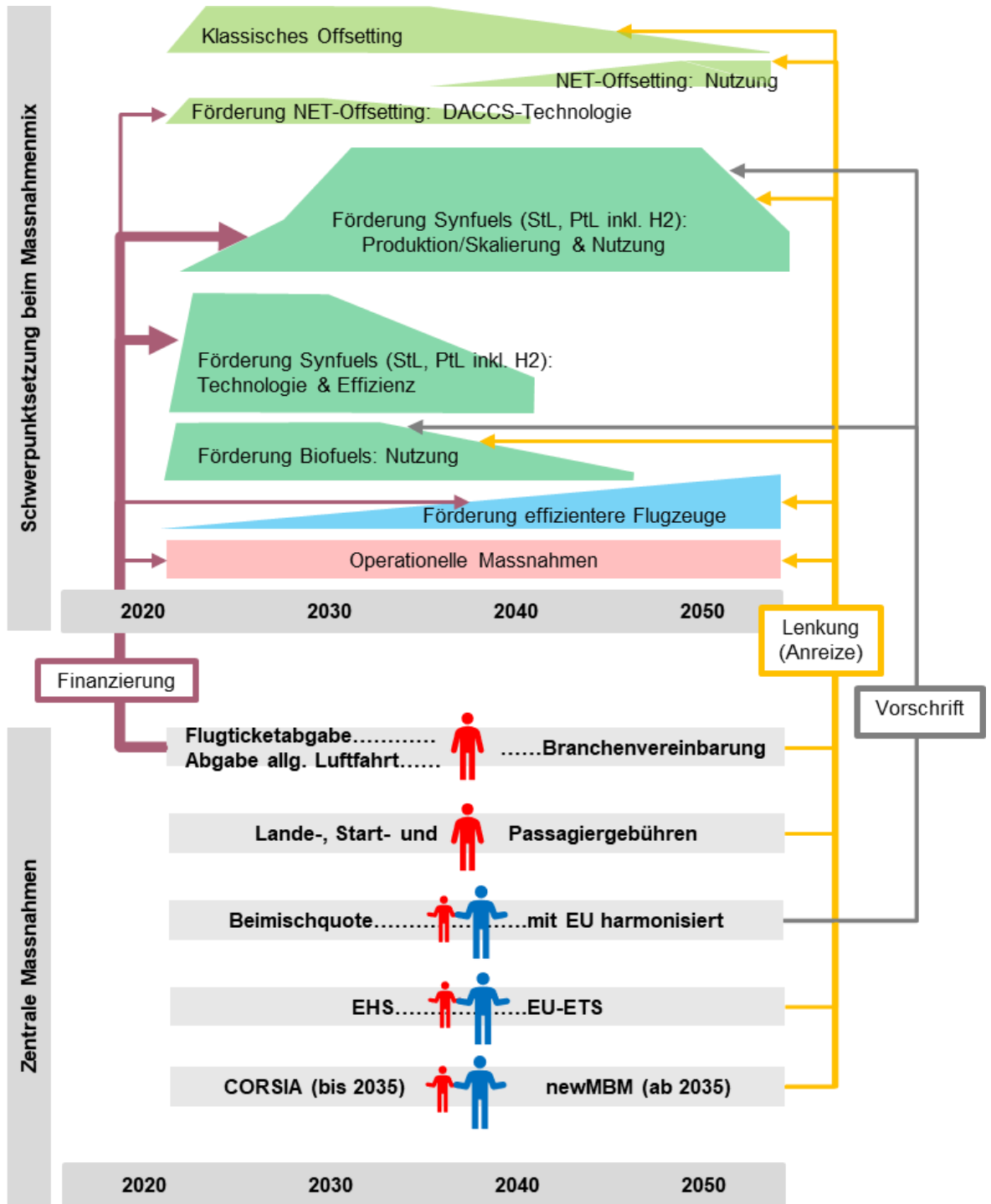


Abbildung 4-4: Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»

2020	2025	2030	2040	2050	primäre Akteure	sekundäre Akteure
Offsetting (→ Kapitel 3.5, Abbildung 3-9)					primäre Akteure sekundäre Akteure	sekundäre Akteure
Klassisches Offsetting als freiwillige Massnahme / indirekte Anreize zur Förderung des klassischen Offsettings						
Entwicklung eines globalen marktbasierten Mechanismus (newMBM) zur Kompensation von CO ₂ -Emissionen und Nicht-CO ₂ -Effekten						
Umsetzung des marktbasierten Kompensationsmechanismus für CO ₂ -Emissionen und Nicht-CO ₂ -Effekte (NET-Märkte wie newMBM)						
Forschungsförderung DAC-Technologie						
Förderung der Skalierung der industriellen DAC-Produktion						
SAF-Nutzung (→ Kapitel 3.6, Abbildung 3-24)						
Klärungs- und Abstimmungsbedarf mit anderen Sektoren						
Klärung der Allokation der Biofuel-Rohstoffe auf die Sektoren inkl. Luftverkehr						
Möglichkeiten zum Einsatz heimisch produziertem erneuerbarem Strom zur Herstellung von Synfuel (PtL, H ₂)						
Abstimmung und faire Lastenteilung zwischen dem Strassen- und Luftverkehrssektor bei der Förderung von Synfuel						
Angebotsseitige Massnahmen						
Forschungskonzept / Förderung der Forschung, Entwicklung zur effizienten, kostengünstigen Synfuel-Produktion (PtL, StL)						
Finanzierungskonzept / Förderung der Skalierung von Synfuel-Produktionsanlagen (PtL, StL)						
Förderung des Aufbaus von Buchungs- und Transaktionsplattformen (bspw. Book-and-Claim-System)						
Nachfrageseitige Massnahmen						
Rechtliche Grundlagen schaffen für eine Teilnahme an einer europäisch harmonisierten Beimischquote						
Start-, Lande- und Passagiergebühren mit SAF-Betankungs-Anreiz						
Angebots- und nachfrageseitige Massnahmen						
Flugticketabgabe mit Branchenvereinbarung: Verpflichtung für die Airlines SAF zu tanken						
Flugticketabgabe mit Fokus auf Finanzierung und Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin						
Effizientere Flugzeuge (→ Kapitel 3.4, Abbildung 3-8)						
Nischen-Forschungsstrategie und Aktionsplan «Effiziente Flugzeugkonzepte» / Rolle der Schweiz bei der Entwicklung alternativer Antriebskonzepte						
Bereitstellung der Betankungsinfrastruktur (Wasserstoff, Strom)						
Einsatz treibstoff-effizienter Flugzeuge (Anreizmechanismus)						
Operationelle und infrastrukturelle Massnahmen (→ Kapitel 3.3, Abbildung 3-7)						
Treibstoff-optimierter Flugbetrieb der Fluggesellschaften (Flugplanung, Gewichtsreduktion, Wartung,...)						
Flugverkehrsmanagement (Single European Sky, aussereuropäische ATM-Effizienz)						
Bodenmassnahmen (Dekarbonisierung Flughafensbetrieb, Taxi-Emissionen und APU-Einsatz)						
Klima-optimierter Flugbetrieb (unter Einbezug der Nicht-CO ₂ -Effekte) (Atmosphärenforschung, operable Umsetzung)						
2020	2025	2030	2040	2050		
Periodische Aktualisierung der Road Map Sustainable Aviation / Monitoring und Kommunikation						

Legende:

rot = Schweizer Akteur

blau = europäischer, globaler Akteur



= Wissenschaft (unterstützt durch CH-Gelder), in der Regel im Verbund mit europäischen oder globalen Forschungsnetzwerken



= Schweizer Flughäfen



= Airlines

ARCS = Aviation Research Center Switzerland



= Schweizer Institutionen (Bund, Bundesämter usw.)



= ICAO



= EU-Gremien



= Schweizer, europäisches oder globales Unternehmen (mit Schweizer Finanzierungshilfen)

Anhang A: Flugverkehr Schweiz

Luftfahrtinfrastruktur

Die zivile Luftfahrtinfrastruktur der Schweiz wird in die drei Kategorien Flughäfen, Flugfelder und Flugsicherungsanlagen eingeteilt. Innerhalb dieser Kategorien gibt es wiederum verschiedene, nach der Nutzung sortierte, Anlagen. Die Schweiz verfügt insgesamt über drei Landesflughäfen und elf Regionalflugplätze und 45 Flächenflugfelder, wobei davon sechs ehemalige Militärflugplätze sind. Zusätzlich gibt es 24 Heliports, 42 Flugsicherungsanlagen ausserhalb von Flugplätzen und 40 Gebirgslandeplätze der Zivilluftfahrt. Hinzu kommen 6 Militärflugplätze, welche jedoch nur bedingt zivil genutzt werden können.

Die **Landesflughäfen** sind Zürich (ZRH), Genf (GVA) und Basel-Mulhouse (BSL), wobei bei Basel-Mulhouse der Einfluss der Schweiz auf die betriebliche Entwicklung beschränkt ist. Die Genehmigung von Infrastruktur und Betriebsreglement obliegt bei Basel-Mulhouse den französischen Behörden. Die Landesflughäfen sind von nationaler Bedeutung und bieten kontinentale und interkontinentalen Linienverkehr an. Teilweise haben sie Hubfunktionen und sind in der Regel mit einer Helikopterbasis ausgestattet. Sie sind auch für den grössten Teil der Fracht zuständig.¹⁵²

Die **Regionalflugplätze** sind von regionaler Bedeutung mit Luftverkehr wie Geschäftsreiseverkehr oder fliegerische Aus- und Weiterbildungen, teilweise gibt es auch Linienverkehr.

Abbildung A-1: Fluginfrastruktur der Schweiz

Flugplatzkategorie	Anzahl
Landesflughäfen	3
Regionalflugplätze	11
Flug- und Segelflugfelder ¹⁵³	45
Heliports ¹⁵⁴	24
Militärflugplätze	6
Gebirgslandeplätze	40
Flugsicherungsanlagen	42

Quelle Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL¹⁵⁵

¹⁵² Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020c).

¹⁵³ Inkl. 4 Winterflugfelder, 1 Wasserflugplatz und 6 ehemalige Militärflugplätze, die heute nur noch zivilaviatisch genutzt werden.

¹⁵⁴ Inkl. 2 Winterheliports.

¹⁵⁵ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020c).

Luftverkehrsaufkommen 2019

Die Landesflughäfen unterscheiden sich relativ stark in der Grösse bzw. der Anzahl der beförderten Passagiere. Der Flughafen Zürich ist mit über 31 Mio. Passagieren im Jahr 2019 der mit Abstand grösste Landesflughafen der Schweiz, Genf folgt mit knapp 18 Mio., Basel-Mulhouse hatte gut 9 Mio. Passagiere im Jahr 2019.

Abbildung A-2: Die Schweizer Flughäfen und -plätze¹⁵⁶

Flugplatz	Bewegungen (2019)	Passagiere (2019)
Landesflughäfen		
Basel-Mulhouse ¹⁵⁷	76'388	9'068'206
Genf	145'527	17'826'513
Zürich	243'115	31'478'748
Total Landesflughäfen	465'030	58'373'467
Regionalflugplätze		
Bern-Belp	326	22'233
Lugano-Agno	2'107	56'201
Sion	129	2'381
St. Gallen-Altenrhein	2'075	107'637
Restliche Flugplätze		
Birrfeld		
Bressaucourt		
Ecuvillens		
Grenchen		
La Chaux-de-Fonds–Les Eplatures		
Lausanne– La Blécherette		
Samedan		
Total Regionalflugplätze	4'637	188'452
Total Schweiz	469'667	58'561'919

Quelle Bundesamt für Statistik ¹⁵⁸

¹⁵⁶ Die Zahlen für die Flugbewegungen und die Passagiere beziehen sich jeweils auf den Linien- und Charterverkehr.

¹⁵⁷ Die Zahlen umfassen den schweizerischen und französischen Verkehr.

¹⁵⁸ Bundesamt für Statistik BFS (2020c); (b).

Anhang B: EU-ETS und CH-EHS

Das Emissionshandelssystem der Schweiz (EHS) startete 2008 mit einer vierjährigen Probe-phase. Seit dem Inkrafttreten des Abkommens zur Verknüpfung zwischen dem EHS der Schweiz und den EU-ETS¹⁵⁹, sind seit 1.1.2020 auch die Luftfahrzeugbetreiber in das EHS integriert. Mit dieser Verknüpfung sind die jeweiligen Zertifikate in **beiden Systemen anerkannt**. Flüge, welche aus dem EWR-Raum in die Schweiz kommen, werden vom EU-ETS abgedeckt. Im EHS der Schweiz sind Inländische Flüge und Flüge aus der Schweiz in den EWR-Raum.¹⁶⁰

Abbildung B-1: Ausgestaltung und Zuteilung im EU-ETS und CH-EHS, Bereich Luftverkehr
(Handelsperiode 2021-2030)

	EU-ETS ¹⁶¹	CH-EHS ¹⁶²
Absenkpfad ab 2021	Jährlich -2.2 %-Punkte in Bezug auf das Cap 2020	
Preise	Ca. 23-25 Euro/t CO ₂ (2020), 40 Euro/t CO ₂ (März 2021) Die Preise der beiden Systeme können sich unterscheiden. Da die Zertifikate in beiden Systemen vollumfänglich handelbar sind, gleicht sich der Preis jedoch an. Kleine Arbitragegewinne sind jedoch möglich.	
Zuteilung 2021	<ul style="list-style-type: none"> – 82% für die kostenlose Zuteilung – 15% für Versteigerungen – 3% für die Sonderreserve – 	
Kostenlose Zuteilung	Kostenlose Zuteilung wird aufgrund Transportleistung berechnet (Transportleistung Jahr 2018 für die Schweiz, Jahr 2011 für die EU) (unter Berücksichtigung des Absenkpfad)	
Zuständigkeiten innerhalb Europas		
– Flüge innerhalb EWR	X	
– Flüge innerhalb Schweiz		X
– Flüge aus der Schweiz		X
– Flüge in die Schweiz	X	

¹⁵⁹ Die Verknüpfung wurde 2016 paraphiert und im November 2017 unterzeichnet. Im Dezember 2019 wurde das Abkommen von der EU und der Schweiz ratifiziert. Seit Januar 2020 ist es in Kraft.

¹⁶⁰ Bundesamt für Umwelt BAFU (2019).

¹⁶¹ European Commission (2021).

¹⁶² Bundesamt für Umwelt BAFU (2020).

Anhang C: CO₂-Gesetz – den Luftverkehr betreffende Artikel

Artikel	Gesetzestext
Allgemeines	
1 Zweck	<p>¹ Mit diesem Gesetz sollen die Treibhausgasemissionen, insbesondere die CO₂-Emissionen, die auf die energetische Nutzung fossiler Brenn- und Treibstoffe zurückzuführen sind, vermindert werden. Dieses Gesetz bezweckt, einen Beitrag zu leisten:</p> <ol style="list-style-type: none"> den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur deutlich unter 2 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu halten, und Anstrengungen zu unternehmen, um den Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen; die Treibhausgasemissionen auf ein Ausmass zu reduzieren, das die Aufnahmefähigkeit von Kohlenstoffsenken nicht übersteigt; die Fähigkeit zur Anpassung an die nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderungen zu erhöhen; die Finanzmittelflüsse in Einklang zu bringen mit der angestrebten emissionsarmen und gegenüber Klimaänderungen widerstandsfähigen Entwicklung. <p>² Der Bundesrat bezeichnet die Treibhausgase.</p>
3 Verminderungsziele	<p>¹ Die Treibhausgasemissionen dürfen im Jahr 2030 höchstens 50 Prozent der Treibhausgasemissionen im Jahr 1990 betragen. Im Durchschnitt der Jahre 2021–2030 müssen die Treibhausgasemissionen um mindestens 35 Prozent gegenüber 1990 vermindert werden.</p> <p>² Die Verminderung der Treibhausgasemissionen nach Absatz 1 soll zu mindestens Dreivierteln mit im Inland durchgeführten Massnahmen erfolgen.</p> <p>³ Emissionsverminderungen im Ausland, die nicht an das Ziel nach Absatz 1 angerechnet werden und die einen Beitrag dazu leisten, den globalen Temperaturanstieg CO₂-Gesetz BBl 2020 7849 im Sinne von Artikel 1 zu begrenzen, sollen möglichst den von der Schweiz im Ausland mitverursachten Emissionen entsprechen.</p> <p>⁴ Der Bundesrat kann Ziele und Zwischenziele für einzelne Sektoren und Emissionen aus fossilen Brennstoffen festlegen. Dabei werden die Vorleistungen und das wirtschaftlich realisierbare Verminderungspotenzial berücksichtigt.</p> <p>⁵ Die Gesamtmenge der Treibhausgasemissionen berechnet sich nach Massgabe der in der Schweiz ausgestossenen Treibhausgase, abzüglich der Emissionen aus fossilen Treibstoffen für internationale Flüge und für internationale Schifffahrten.</p> <p>⁶ Der Bundesrat legt fest, in welchem Umfang internationale Bescheinigungen bei der Verminderung mit im Ausland durchgeführten Massnahmen berücksichtigt werden.</p> <p>⁷ Der Bund kann mit Organisationen der Wirtschaft oder mit einzelnen Unternehmensgruppen Verminderungsziele vereinbaren. Der Bundesrat legt fest, inwieweit zur Erreichung der vereinbarten Verminderungsziele internationale Bescheinigungen berücksichtigt werden.</p> <p>⁸ Der Bundesrat unterbreitet der Bundesversammlung rechtzeitig Vorschläge zu Verminderungszielen für die Zeit nach 2030. Dazu hört er vorgängig die betroffenen Kreise an.</p>
4 Massnahmen	<p>¹ Die Verminderungsziele sollen in erster Linie durch Massnahmen nach diesem Gesetz erreicht werden.</p> <p>² Zur Erreichung der Verminderungsziele sollen auch Massnahmen nach anderen Erlassen beitragen, welche die Treibhausgasemissionen vermindern oder die Senkenleistung erhöhen, namentlich in den Bereichen Umwelt, Energie-, Abfall-, Land-, Wald-, Finanz- und Holzwirtschaft, Strassenverkehr und Mineralölbesteuerung, sowie freiwillige Massnahmen.</p> <p>³ Bei der Ausgestaltung der Massnahmen werden unter anderem die Wettbewerbsfähigkeit und die wirtschaftliche Machbarkeit berücksichtigt.</p>

Emissionshandelssystem

- 22 Verpflichtung zur Teilnahme: Betreiber von Luftfahrzeugen
- ¹ Betreiber von Luftfahrzeugen, die in der Schweiz starten oder landen, sind nach Massgabe völkerrechtlicher Verträge zur Teilnahme am EHS verpflichtet.
- ² Der Bundesrat regelt:
- a. die Ausnahmen für Flüge, die von einem vom Bundesrat anerkannten EHS erfasst werden;
 - b. die Ausnahmen für Flüge, die nicht im Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) ankommen oder abgehen, sowie weitere Ausnahmen; dabei berücksichtigt er die Regelungen der EU.
- ³ Die Betreiber müssen dem Bund jährlich im Umfang der von den Luftfahrzeugen verursachten Emissionen abgeben:
- a. Emissionsrechte für Luftfahrzeuge; oder
 - b. Emissionsrechte für Anlagen oder internationale Bescheinigungen, soweit die EU dies vorsieht.
- ⁴ Wenn aufgrund völkerrechtlicher Verträge mehrere internationale Systeme zur Verminderung von Treibhausgasemissionen von Luftfahrzeugen bestehen, so sorgt der Bundesrat dafür, dass die Betreiber von Luftfahrzeugen diesen Systemen für Treibhausgasemissionen aus Flügen nicht kumulativ unterliegen.
-
- 27 Ausgabe von Emissionsrechten für Luftfahrzeuge
- ¹ Die Emissionsrechte für Luftfahrzeuge werden jährlich ausgegeben.
- ² Ein Teil der Emissionsrechte wird kostenlos zugeteilt. Die übrigen Emissionsrechte werden versteigert.
- ³ Der Umfang der einem Betreiber von Luftfahrzeugen kostenlos zugeteilten Emissionsrechte bestimmt sich insbesondere nach Massgabe der in einem bestimmten Jahr geleisteten Tonnenkilometer.
- ⁴ Der Bundesrat regelt die Einzelheiten; er berücksichtigt dabei die Regelungen der EU.
-

Flugticketabgabe

- 42 Gegenstand
- ¹ Der Bund erhebt im Hinblick auf die Emissionsverminderungsziele nach Artikel 1 Absatz 1 eine Lenkungsabgabe auf Flugtickets von Luftverkehrsunternehmen, die an Flugpassagierinnen und -passagiere ausgegeben werden, die mit einem Flugzeug abfliegen, das mit fossilen Energieträgern betrieben wird und dessen Abflug nach schweizerischem Recht erfolgt (Flugticketabgabe).
- ² Ausgenommen sind:
- a. Flugpassagierinnen und -passagiere, die:
 1. sich im Transit oder im Transfer befinden,
 2. das zweite Lebensjahr noch nicht vollendet und keinen eigenen Sitzplatz haben,
 3. mit der Sicherheit im Luftverkehr beauftragt sind (Art. 21a Luftfahrtgesetz vom 21. Dezember 1948);
 - b. militärische und andere hoheitliche Flüge;
 - c. Flüge, die ausschliesslich aus zwingenden medizinischen Gründen erfolgen.
- ³ Der Bundesrat kann weitere Ausnahmen vorsehen.
-
- 43 Abgabepflichtige Personen
- ¹ Abgabepflichtig sind die Luftverkehrsunternehmen.
- ² Erfüllt das Luftverkehrsunternehmen seine Pflichten nicht oder kann es nicht mit vernünftigem Aufwand ermittelt werden, so werden zusätzlich der Luftfahrzeughalter und der Luftfahrzeugeigentümer abgabepflichtig. Das Luftverkehrsunternehmen, der Luftfahrzeughalter und der Luftfahrzeugeigentümer haften in diesem Fall solidarisch.
- ³ Luftverkehrsunternehmen mit Sitz im Ausland müssen ein schweizerisches Zustellungsdomizil bezeichnen.
- ⁴ Auf die Abgabenschuld und die Mithaftung sind überdies die Artikel 10 und 11 MinöStG anwendbar.
-
- 44 Abgabehöhe
- ¹ Die Flugticketabgabe beträgt pro Flugticket mindestens 30 Franken und höchstens 120 Franken.
-

		<p>² Der Bundesrat legt die Flugticketabgabe innerhalb des Rahmens nach Absatz 1 und allenfalls gestaffelt nach Beförderungsklassen und Reisedistanz so fest, dass die Erhebung der Abgabe und deren Überwälzung auf die Fluggpassagierinnen und -passagiere eine Lenkungswirkung im Hinblick auf die Emissionsverminderungsziele nach Artikel 1 Absatz 1 entfaltet. Er berücksichtigt dabei die Auswirkungen des Flugverkehrs auf das Klima, welche durch die abgabepflichtigen Luftverkehrsunternehmen verursacht werden, und die internationale Abgabesituation.</p> <p>³ Der Bundesrat kann von Luftverkehrsunternehmen getroffene Massnahmen, die zu einer substantziellen Verminderung der Treibhausgasemissionen führen, bei der Festsetzung der Abgabehöhe dieser Luftverkehrsunternehmen angemessen berücksichtigen.</p> <p>⁴ Die Flugticketabgabe ist in den Flugangeboten und auf den Flugtickets auszuweisen.</p> <p>⁵ Auf Flugangeboten sind die durch den jeweiligen Flug voraussichtlich verursachten Emissionen in CO₂-Äquivalenten auszuweisen.</p>
45	Entstehung und Fälligkeit	¹ Die Flugticketabgabebeforderung entsteht und wird fällig mit dem Abflug.
46	Abgabeanmeldung	<p>Die abgabepflichtigen Personen reichen dem Bundesamt für Umwelt (BAFU) quartalsweise eine Abgabeanmeldung ein. Diese Meldung erfolgt innerhalb 30 Tage nach Quartalsende. Das BAFU gestattet in begründeten Fällen auf Antrag des abgabepflichtigen Luftverkehrsunternehmens andere Abrechnungsperioden. Der Bundesrat setzt die Bedingungen dafür fest und regelt die erforderlichen Angaben der Abgabemeldung.</p> <p>² Die Anmeldung ist für die abgabepflichtige Person, die die Anmeldung ausgestellt hat, als Grundlage für die Festsetzung des Abgabebetrags verbindlich. Das Ergebnis einer amtlichen Prüfung bleibt vorbehalten.</p>
47	Veranlagungsverfügung, Zahlungsfrist und Verzugszins	<p>¹ Das BAFU setzt aufgrund der Abgabeanmeldung den Abgabebetrag fest und stellt den abgabepflichtigen Personen die Veranlagungsverfügung zu.</p> <p>² Die Zahlungsfrist beträgt 30 Tage.</p> <p>³ Bei verspäteter Zahlung ist ohne Mahnung ein Verzugszins geschuldet. Das Eidgenössische Finanzdepartement setzt den Zinssatz fest.</p>
48	Sicherstellung, Nachforderung und Rückzahlung sowie Verjährung	Auf die Sicherstellung, Nachforderung und Rückzahlung sowie die Verjährung der Flugticketabgabe sind die Artikel 23–25 und 37 MinöStG anwendbar. Vollzugsbehörde ist das BAFU.
Allgemeine Luftfahrt		
49	Gegenstand	<p>¹ Der Bund erhebt im Hinblick auf die Emissionsverminderungsziele nach Artikel 1 Absatz 1 eine Lenkungsabgabe auf abgehenden Flügen, die nicht von der Flugticketabgabe erfasst werden und die mit Luftfahrzeugen mit einer höchstzulässigen Startmasse von über 5700 kg durchgeführt werden, die mit fossilen Energieträgern betrieben werden und deren Abflug nach schweizerischem Recht erfolgt (Abgabe Allgemeine Luftfahrt).</p> <p>² Er erhebt keine Abgabe auf:</p> <ol style="list-style-type: none"> Flügen, die nach Artikel 42 Absätze 2 und 3 von der Flugticketabgabe ausgenommen sind; Schulungsflügen; Frachtflügen; Werk- und Arbeitsflügen; Flügen, sofern die verwendeten Flugtreibstoffe der Mineralölsteuer unterliegen. <p>³ Der Bundesrat kann weitere Ausnahmen von der Abgabe Allgemeine Luftfahrt vorsehen.</p> <p>⁴ Der Bundesrat kann die von Luftfahrzeughaltern oder Luftfahrzeugbetreibern getroffenen Massnahmen, die zu einer substantziellen Verminderung der Treibhausgasemissionen führen, bei der Festsetzung der Abgabehöhe angemessen berücksichtigen.</p>

50	Abgabepflichtige Personen	<p>¹ Abgabepflichtig sind die Luftfahrzeughalter, mit deren Luftfahrzeugen Flüge nach Artikel 49 Absatz 1 durchgeführt werden.</p> <p>² Erfüllt der Luftfahrzeughalter seine Pflichten nicht oder kann er nicht mit vernünftigen Aufwand ermittelt werden, so wird zusätzlich der Luftfahrzeug-eigentümer abgabepflichtig. Der Luftfahrzeughalter und der Luftfahrzeug-eigentümer haften in diesem Fall solidarisch.</p> <p>³ Auf die Abgabennachfolge und die Mithaftung sind überdies die Artikel 10 und 11 MinöStG anwendbar.</p>
51	Abgabehöhe, Entstehung und Fälligkeit	<p>¹ Die Abgabe Allgemeine Luftfahrt beträgt pro abgehenden Flug mindestens 500 Franken und höchstens 3000 Franken.</p> <p>² Der Bundesrat legt diese Abgabe innerhalb des Rahmens nach Absatz 1 fest. Er berücksichtigt dabei insbesondere die höchstzulässige Startmasse, die Reisedistanz und die Wettbewerbsfähigkeit der Flugplätze.</p> <p>³ Die Abgabeforderung entsteht und wird fällig mit dem Abflug.</p>
Klimafonds		
53	Klimafonds	<p>¹ Der Bundesrat errichtet einen Spezialfonds nach Artikel 52 des Finanzhaushaltsgesetzes vom 7. Oktober 2005 (Klimafonds) und legt in diesen einen Teil der in den Absätzen 2 und 3 genannten Erträge ein. Dieser Klimafonds ist rechtlich unselbständig und führt eine eigene Rechnung.</p> <p>² Ein Drittel des Ertrags der CO₂-Abgabe, höchstens aber 450 Millionen Franken pro Jahr, und weniger als die Hälfte des Ertrags aus der Flugticketabgabe und aus der Abgabe Allgemeine Luftfahrt werden für Massnahmen zur wesentlichen Verminderung von Treibhausgasemissionen eingesetzt.</p> <p>³ Der Ertrag aus den Versteigerungen von Emissionsrechten nach den Artikeln 26 Absatz 2 und 27 Absatz 2, die Hälfte des Ertrags aus den Ersatzleistungen nach Artikel 19 sowie der Ertrag aus den Ersatzleistungen nach den Artikeln 29, 32 und 37 werden für Massnahmen zur Vermeidung von Schäden an Personen und Sachen von erheblichem Wert, die sich als Folge der erhöhten Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre ergeben können, eingesetzt. Die andere Hälfte des Ertrags aus den Ersatzleistungen nach Artikel 19 wird dem Fonds für die Nationalstrassen und den Agglomerationsverkehr zugewiesen.</p> <p>⁴ Die Mittel des Klimafonds werden unter Berücksichtigung der Wirksamkeit der Massnahmen eingesetzt. Eine angemessene Forschungs- und Innovationsförderung, insbesondere im Bereich der Luftfahrt, ist zu gewährleisten. Nicht finanziert werden dürfen Massnahmen, die auf der Grundlage anderer Spezialerlasse ergriffen werden.</p> <p>⁵ Der Klimafonds wird im UVEK verwaltet. Die zuständigen Stellen sind so mit Mitteln zu versorgen, dass sie in ihrem Vollzugszuständigkeitsbereich die nötigen Zahlungen leisten können.</p> <p>⁶ Die Eidgenössische Finanzverwaltung legt die Mittel des Klimafonds an.</p> <p>⁷ Der Klimafonds darf sich nicht verschulden.</p> <p>⁸ Der Klimafonds bildet angemessene Reserven. Übersteigen die Mittel des Klimafonds die angemessenen Reserven, werden sie gemäss Artikel 60 an die Bevölkerung und Wirtschaft verteilt. Der Bundesrat regelt die Einzelheiten.</p>
57	Weitere Massnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen	<p>¹ Aus dem Klimafonds können weitere Massnahmen finanziert werden, welche die Zielerreichung gemäss Artikel 1 Absatz 1 unterstützen oder einen Beitrag an das Verminderungsziel nach Artikel 3 Absatz 3 leisten.</p> <p>² Aus dem Klimafonds kann höchstens der Betrag, der aus der Flugticketabgabe in den Klimafonds eingelegt wurde, für Massnahmen zur verbindlichen, wirksamen, innovativen und direkten Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs eingesetzt werden. Der Bundesrat kann dazu mit der Branche entsprechende Vereinbarungen abschliessen.</p> <p>³ Mit höchstens 25 Millionen Franken pro Jahr können aus dem Klimafonds den Kantonen, Gemeinden oder deren Plattformen Finanzhilfen gewährt werden für Projekte, die die Verminderung von Treibhausgasemissionen verfolgen.</p>

⁴ Mit höchstens 30 Millionen Franken pro Jahr können aus dem Klimafonds Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs Finanzhilfen gewährt werden zur Förderung des grenzüberschreitenden Schienenpersonenverkehrs, einschliesslich Nachtzüge.

⁵ Wird mit den finanzierten Massnahmen ein Gewinn erwirtschaftet, so legt der Bund seinen Anteil daran in den Klimafonds ein.

⁶ Der Bundesrat legt die Kriterien und Modalitäten der Unterstützung sowie den jährlichen Höchstbetrag der Finanzhilfen fest.

Anhang D: Optionen für die Beimischquote - EU¹⁶³

Optionen		Umfang	Ziel	Hinweise
Angebotsseitig	Option A1	Inner- und Ausser-EWR	Erhöhung SAF-Volumen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Lieferanten sind verpflichtet, einen Mindestanteil an SAF in einheitlicher Form auf allen EU-Flughäfen zu anzubieten. – Ab 2025 wird in jedem Liter Kraftstoff ein Mindestanteil an SAF beigemischt. Die Fluggesellschaften haben keine Alternativen, als die Beimischung zu tanken. – Ab 2030 müssen Synfuels beigemischt werden.
	Option A2	Inner- und Ausser-EWR	Reduktion der Treibhausgas-Intensität von Kraftstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Lieferanten sind verpflichtet, an allen Flughäfen mit SAF gemischten Treibstoff bereitzustellen, welcher eine vorgegebene Einsparung an THG-Emissionen erreicht. – Ab 2025 wird in jedem Liter Kraftstoff ein Mindestanteil an SAF beigemischt. Die Fluggesellschaften haben keine Alternativen, als die Beimischung zu tanken. – Ab 2030 müssen Synfuels beigemischt werden.
Nachfrageseitig	Option N1	Inner- und Ausser-EWR	Erhöhung SAF-Volumen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Fluggesellschaften sind verpflichtet, einen Mindestanteil von SAF zu betanken. – Ab 2030 müssen Synfuels beigemischt werden. – Book and Claim-System
	Option N2	Inner-EWR	Erhöhung SAF-Volumen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Fluggesellschaften sind verpflichtet, einen Mindestanteil von SAF für alle Flüge innerhalb des EWR-Raumes zu betanken. – Ab 2030 müssen Synfuels beigemischt werden. – Book and Claim-System
Angebots- und Nachfrageseitig	Option AN1	Inner- und Ausser-EWR angebotsseitig und Inner-EWR nachfrageseitig	Erhöhung SAF-Volumen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Lieferanten sind verpflichtet, einen Mindestanteil von SAF für inner- und ausser-EWR Flüge beizumischen. – In der Ausgestaltung der Logistik sind die Lieferanten frei. – Ab 2030 müssen Synfuels beigemischt werden. – Die Fluggesellschaften sind verpflichtet, einen Mindestanteil von SAF für alle Flüge innerhalb des EWR-Raumes zu betanken. – Book and Claim-System

¹⁶³ Die Optionen der Beimischquote wurden direkt von einem Hintergrund-Bericht der Europäischen Kommission (European Commission (2020d)) übersetzt und übernommen.

Option AN2	Inner- und Ausser-EWR angebotsseitig und Inner-EWR nachfrageseitig	Reduktion der Treibhausgas-Intensität von Kraftstoffen	<ul style="list-style-type: none">– Die Lieferanten sind verpflichtet, an allen Flughäfen mit SAF gemischten Treibstoff bereitzustellen, welcher eine vorgegebene Einsparung an THG-Emissionen erreicht.– In der Ausgestaltung der Logistik sind die Lieferanten frei.– Anreize für Synfuels sind vorgesehen.– Fluggesellschaften sind verpflichtet, ein Minimum an THG-Reduktionen auf Flügen innerhalb des EWR-Raumes zu erreichen– Book and Claim-System
------------	--	--	---

Literaturverzeichnis

Aerosuisse (2021): CO₂-Reduktionsmassnahmen im Luftverkehr. Zusammenstellung von Massnahmen zur unmittelbaren Reduktion der CO₂-Emissionen im Luftverkehr. Entwurf Stand März 2021.

Agora Energiewende und Öko-Institut (2018): Vom Wasserbett zur Badewanne. Die Auswirkungen der EU-Emissionshandelsreform 2018 auf CO₂-Preis, Kohleausstieg und den Ausbau der Erneuerbaren.

Airbus (2019): Cities, Airports & Aircraft. 2019-2038.

Airbus (2020): Unbemannt gegen den Klimawandel. URL <https://www.airbus.com/public-affairs/berlin/de/unsere-themen/klima-und-umweltschutz.html>, abgerufen am 26. Februar 2021.

ARCS, ACR (2020): Opportunity for Change in Swiss Aviation.

Assembled European Aviation Sector (2020): Aviation Round Table Report on the Recovery of European Aviation.

ATAG (2016): Governments urged to settle on key aviation climate package. URL <https://www.atag.org/our-news/press-releases.html?view=pressrelease&id=87>, abgerufen am 26. Februar 2021.

ATAG (2020): WayPoint 2050.

Bopst, Juliane; Herbener, Reinhard; Hölzer-Schopohl, Olaf; u. a. (2019): Umweltschonender Luftverkehr.

Brühlhart, Marius; Cocker, Fleance; Rohner, Dominic; u. a. (2020): Einführung einer Flugticketabgabe in der Schweiz: Schätzungen zu den Nachfragewirkungen.

Bundesamt für Energie BFE (2020): Energieperspektiven 2050+ Kurzbericht.

Bundesamt für Gesundheit BAG (2021): Coronavirus: häufig gestellte Fragen (FAQ). URL <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/krankheiten/ausbrueche-epidemien-pandemien/aktuelle-ausbrueche-epidemien/novel-cov/information-fuer-die-aerzteschaft/faq-gesundheitsfachpersonen.html#1965821384>.

Bundesamt für Statistik (2020): Kosten und Finanzierung des Verkehrs 2017.

Bundesamt für Statistik BFS (2020a): Schweizerische Zivilluftfahrt 2019.

Bundesamt für Statistik BFS (2020b): Schweizerische Zivilluftfahrtstatistik 2019 - 4. Bewegungen. URL <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/querschnittsthemen/zivilluftfahrt.html>.

Bundesamt für Statistik BFS (2020c): Schweizerische Zivilluftfahrtstatistik 2019 - 5. Passagiere. URL <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/querschnittsthemen/zivilluftfahrt.html>, abgerufen am 25. Januar 2021.

Bundesamt für Statistik BFS (2020d): Zivilluftfahrt – Übersicht. URL <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/querschnittsthemen/zivilluftfahrt.as-setdetail.13607521.html>.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2019): Faktenblatt Emissionshandel.

- Bundesamt für Umwelt BAFU (2020): Emissionshandelssystem für Luftfahrzeugbetreiber. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/ehs/luftfahrt.html>, abgerufen am 25. Januar 2021.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2019): Alternative Treibstoffe in der Schweizer Zivilluftfahrt.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020a): Faktenmaterial Elektrisches Fliegen.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020b): Faktenmaterial Wege zu fossilfreiem Fliegen.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020c): Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Luftfahrt (SIL): Konzeptteil.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL: Welche Emissionen der Luftfahrt sind „schweizerisch“?
- Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft BDL (2020): CORSIA: Globales marktbasiertes Klimaschutzinstrument für den internationalen Luftverkehr.
- CAIT Climate Data Explorer (2021): Climate Watch - Historical GHG Emissions. URL <https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions>, abgerufen am 5. März 2021.
- Cames, Dr Martin; Harthan, Dr Ralph O; Füssler, Dr Jürg; u. a.: How additional is the Clean Development Mechanism?
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR (2021): Projekt BA-LIS - DLR entwickelt und testet Brennstoffzellen im Megawatt-Bereich für die Luftfahrt. URL https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2021/01/20210121_balis-foerderbescheid.html, abgerufen am 11. März 2021.
- Ecoact: What is Carbon Offsetting.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2007): Bericht des UVEK über die zukünftige Klimapolitik der Schweiz.
- Eurocontrol (2019): Fuel Tankering: economic benefits and environmental impact.
- Eurocontrol (2021): Flying the „perfect green flight“. Aviation Intelligence Unit - Think Paper #10.
- Europäische Kommission (2020): Emissionshandelssystem (EU-EHS). URL https://ec.europa.eu/clima/policies/ets_de.
- European Commission (2019): Horizont Europa: Das nächste Investitionsprogramm der EU für Forschung und Innovation (2021 - 2027).
- European Commission (2020a): 12 2020 | A European Green Deal | ReFuelEU Aviation - Sustainable Aviation Fuels.
- European Commission (2020b): Inception Impact Assessment.
- European Commission (2020c): Inception Impact Assessment ReFuelEU Aviation European Commission.
- European Commission (2020d): SAF Roundtable 2 - Background Paper.
- European Commission (2021): Allocation to aviation. URL https://ec.europa.eu/clima/policies/ets/allowances/aviation_en.

- European Commission. Directorate General for Mobility and Transport. und CE Delft. (2019): Taxes in the field of aviation and their impact: final report. LU, Publications Office.
- European Union (2003): EU Steuerrichtlinie.
- Gabrielli, Paolo; Gazzani, Matteo und Mazzotti, Marco (2020): The Role of Carbon Capture and Utilization, Carbon Capture and Storage, and Biomass to Enable a Net-Zero-CO₂ Emissions Chemical Industry. In: *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59, 15, 7033–7045.
- Grewe, Volker; Matthes, Sigrun; Frömming, Christine; u. a. (2017): Feasibility of climate-optimized air traffic routing for trans-Atlantic flights. In: *Environmental Research Letters*, 12, 3, 034003.
- ICAO: Corsia Brochure.
- Infras, TEP, Prognos (2021): Negativemissionstechnologien und CCS. Potenziale, Kosten und Einsatz von Negativemissions-technologien und CCS in den Energieperspektiven 2050+.
- International Air Transport Association IATA (2020a): Industry Statistics: Fact Sheet.
- International Air Transport Association IATA (2020b): Outlook for Air Transport and the Airline Industry.
- International Air Transport Association IATA (2020c): PAX Forecast 2020.
- International Air Transport Association IATA: What is SAF?
- International Civil Aviation Organization ICAO (2016): Results of Technical Analyses by CAEP.
- International Civil Aviation Organization ICAO (2017): ICAO Council adopts new CO₂ emissions standard for aircraft. URL <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/ICAO-Council-adopts-new-CO2-emissions-standard-for-aircraft.aspx>, abgerufen am 11. Januar 2021.
- International Energy Agency IEA (2018): World Energy Outlook 2018.
- Larsson, Jörgen; Elofsson, Anna; Sterner, Thomas; u. a. (2019): International and national climate policies for aviation: a review. In: *Climate Policy*, 19, 6.
- Larsson, Jörgen; Elofsson, Anna; Sterner, Thomas; u. a.: International and national climate policies for aviation: a review.
- Lee, D.S.; Fahey, D.W.; Skowron, A.; u. a. (2021): The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. In: *Atmospheric Environment*, 244, 117834.
- Markham, Francis; Young, Markham; Reis, Arianne; u. a. (2018): Does carbon pricing reduce air travel - Evidence from the Australian Clean Energy Future policy. In: 24.
- Mayor, Karen und Tol, Richard S.J. (2007): The impact of the UK aviation tax on carbon dioxide emissions and visitor numbers. In: *Transport Policy*, 14, 6, 507–513.
- Neu, Urs (2020): Die Auswirkungen der Flugverkehrsemissionen auf das Klima. Swiss Academies Communications 15. Zenodo.

- Reimers, Jan Otto (2018): Introduction of Electric Aviation in Norway.
- Royal Netherlands Aerospace Centre NLR und SEO Amsterdam Economics (2020): Destination 2050.
- Schweizerischer Bundesrat (2016): Bericht 2016 über die Luftfahrtpolitik der Schweiz (Lupo 2016). In: 90.
- Schweizerischer Bundesrat (2020): Erläuternder Bericht zur Volksinitiative «Für ein gesundes Klima (Gletscher-Initiative)» und zum direkten Gegenentwurf (Bundesbeschluss über die Klimapolitik).
- Schweizerischer Bundesrat (2021): Langfristige Klimastrategie der Schweiz.
- Sustainable Aviation (2020): Decarbonisation Road-Map: A Path to Net Zero.
- The International Council on Clean Transportation ICCT (2020): CO2 emissions from commercial aviation: 2013, 2018, and 2019.
- Timperley, Jocelyn (2019): Corsia: The UN's plan to „offset“ growth in aviation emissions, CarbonBrief. URL <https://www.carbonbrief.org/corsia-un-plan-to-offset-growth-in-aviation-emissions-after-2020>, abgerufen am 11. März 2021.
- Transport & Environment (2020): Taxing Aviation Fuel in Europe. Back to the Future?
- Umweltbundesamt UBA (2019): Wohin geht die Reise? Luftverkehr der Zukunft: umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm.
- Wirtschaftsdienst - Zeitschrift für Wirtschaftspolitik (2017): Klimaschutz im Luftverkehr: vom EU-Emissionshandel zu CORSIA. URL <https://www.wirtschaftsdienst.eu/inhalt/jahr/2017/heft/8/beitrag/klimaschutz-im-luftverkehr-vom-eu-emissionshandel-zu-corsia.html>.
- World Economic Forum und McKinsey & Company (2020): Clean Skies for Tomorrow.