



Bern, 21. Februar 2024

---

# **CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050**

Bericht des Bundesrates

in Erfüllung des Postulates 21.3973 der  
Kommission für Umwelt, Raumplanung und  
Energie des Nationalrats vom 24.08.2021

---

## Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Ausgangslage .....	3
1.1 Klimapolitik im Luftverkehr .....	3
1.2 Wirtschaftliche Bedeutung des Luftverkehrs .....	5
1.3 Klimawirkung des Schweizer Luftverkehrs .....	5
1.4 Klimaziele des Luftfahrtsektors .....	6
2 Potenzial von Massnahmen zur CO <sub>2</sub> -Reduktion .....	7
2.1 Energieeffizienz von Flugzeugen.....	8
2.2 Energieeffizienz des Flugbetriebs.....	8
2.3 Nachhaltige Flugtreibstoffe .....	9
2.4 Wasserstoff- und Elektroflugzeuge .....	10
2.5 Gesamtpotenzial der technischen Massnahmen des Luftverkehrs .....	11
2.6 Negativemissionstechnologien .....	14
2.7 Marktbasierte Massnahmen.....	14
3 Umsetzungskonzept für die Schweiz.....	16
3.1 Bestehende Instrumente .....	16
3.2 Internationaler Kontext.....	16
3.3 Geplante Instrumente bis 2030.....	17
3.4 Ausblick bis 2050 .....	18
4 CO <sub>2</sub> -neutrales Fliegen im VBS .....	19
4.1 Ausgangslage .....	19
4.2 CO <sub>2</sub> -Reduktionsmassnahmen in der militärischen Luftfahrt .....	20
4.3 Massnahmen bis 2030.....	20
4.4 Ausblick bis 2050 .....	21
4.5 Kostenfolgen .....	21
5 Fazit .....	21
Anhang: Aktualisierte Stellungnahme zu Postulat der Grünen Fraktion vom 6. Mai 2020 (20.3384 «Masterplan Flugverkehr. Neue Spielregeln für den Flugsektor»).....	23
Quellenverzeichnis.....	24
Abkürzungsverzeichnis .....	26

## Zusammenfassung

Der Luftverkehr ausgehend von Schweizer Flugplätzen verursacht aktuell rund 11 % der Treibhausgasemissionen der Schweiz. Diese Emissionen sollen bis 2050 auf Netto-Null reduziert werden – so beabsichtigen die langfristige Klimastrategie der Schweiz, die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) sowie die globale Luftfahrtindustrie. Mit dem Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) ist dieses Ziel ab 2025 auf Gesetzesstufe verankert. Der vorliegende Bericht zeigt auf, wie eine CO<sub>2</sub>-neutrale Luftfahrt bis 2050 ermöglicht werden kann.

Die wichtigste Massnahme zur Reduktion von fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen ist der Einsatz von nachhaltigen Flugtreibstoffen (Sustainable Aviation Fuels, SAF). Die weitere Steigerung der Effizienz des Betriebs und der eingesetzten Flugzeuge wird ebenfalls einen Beitrag leisten. Beschränkt ist hingegen das Potenzial von Elektro- und Wasserstoffflugzeugen, zumindest bis 2050. Mit einer Kombination dieser technischen Massnahmen kann der Luftverkehr bis 2050 einen Grossteil seiner fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren. Voraussichtlich müssen jedoch mindestens 10 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs mit Negativemissionstechnologien (NET) ausgeglichen werden.

Marktbasierte Massnahmen, wie sie im nationalen und internationalen Luftverkehr ab der Schweiz bereits in Kraft sind, können erheblich zur Reduktion von Emissionen beitragen. Gerade mit der bevorstehenden Weiterentwicklung des Schweizer Emissionshandelssystems kann dieser Anreiz noch verstärkt werden. Massnahmen, die den internationalen Luftverkehr betreffen, sollen unbedingt international abgestimmt werden.

Das effektivste Instrument zum Erreichen der Klimaziele im Luftverkehr ist eine Beimischpflicht für nachhaltige Flugtreibstoffe. Daneben ist eine Förderung von technischen Massnahmen vorgesehen, insbesondere des Markthochlaufs von SAF. Gemäss Botschaft und Erstberatung im Parlament soll das CO<sub>2</sub>-Gesetz für die Zeit nach 2024 beide Massnahmen enthalten.

In der militärischen Luftfahrt stehen ebenfalls Effizienzsteigerungen und nachhaltige Flugtreibstoffe im Fokus. Die Luftwaffe hat 2023 bereits mit dem Einsatz von SAF begonnen und will diesen kontinuierlich steigern. Damit, sowie gegebenenfalls mit dem Einsatz von NET, kann auch die militärische Luftfahrt ihre Klimaziele erreichen.

CO<sub>2</sub>-Neutralität in der Schweizer Luftfahrt kann bis 2050 erreicht werden, sofern zeitnah Massnahmen ergriffen werden. Eine entscheidende Rolle entfällt dabei auf das CO<sub>2</sub>-Gesetz für die Zeit nach 2024. Dieses kann nun – aufbauend auf den bestehenden Instrumenten – die Rahmenbedingungen schaffen, um bis 2050 über 70 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs bezogen auf die Transportleistung zu reduzieren. Die übrigbleibenden Klimawirkungen müssen in den darauffolgenden Revisionen mit Weiter- oder Neuentwicklungen von Instrumenten angegangen werden.

## 1 Ausgangslage

Mit dem vom Nationalrat am 17. März 2021 angenommenen Postulat 21.3973 der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats wird der Bundesrat beauftragt aufzuzeigen, «wie ein CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050 ermöglicht werden kann». Dieser Bericht in Erfüllung des Postulats zeigt technische und marktbasierende Massnahmen sowie politische Instrumente auf, mit welchen die Schweiz dieses Ziel erreichen kann.

### 1.1 Klimapolitik im Luftverkehr

Der Luftverkehr wurde in den vergangenen Jahren mit verschiedenen internationalen Vereinbarungen und nationalen Zielvorgaben in die Anstrengungen zur Reduktion der Klimaerwärmung einbezogen. Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (Klimarahmenkonvention, UNFCCC) enthält die für die 198 Vertragsparteien geltenden Rahmenbedingungen, um die Treibhausgas-

konzentrationen auf einem Niveau zu stabilisieren, bei dem eine gefährliche, vom Menschen verursachte Störung des Klimasystems verhindert wird. Im Dezember 2015 verabschiedeten die Vertragsstaaten das darauf basierende Abkommen von Paris. Dieses enthält das völkerrechtlich verbindliche Ziel, den Anstieg der globalen Mitteltemperatur auf deutlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Temperaturniveau zu begrenzen. Zudem sollen Anstrengungen unternommen werden, den Temperaturanstieg auf 1.5 °C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Die Schweiz ratifizierte das Abkommen von Paris 2017 und verpflichtete sich zu einem Reduktionsziel von 50 % der Treibhausgasemissionen in der Schweiz bis 2030, verglichen mit 1990. Entsprechend der Klimarahmenkonvention sind davon Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) des internationalen Luftverkehrs ausgeschlossen; der nationale Luftverkehr fällt jedoch unter dieses Ziel.

Ebenfalls vor dem Hintergrund der sich aus der Klimarahmenkonvention und dem Abkommen von Paris für die Schweiz ergebenden Verpflichtungen beschloss der Bundesrat 2019 das Ziel, dass in der Schweiz spätestens ab 2050 netto keine THG mehr emittiert werden sollen. Dazu verabschiedete er mit der langfristigen Klimastrategie der Schweiz im Jahr 2021 die Leitlinien für die Schweizer Klimapolitik (Bundesrat 2021). Teil dieser Klimastrategie ist der Einbezug von Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr in das Netto-Null-Ziel, soweit dies wissenschaftlich und technisch möglich ist.

In der Volksabstimmung vom 18. Juni 2023 wurde das Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) angenommen. Es ist geplant, dass es gemeinsam mit der dazugehörigen Verordnung per 1. Januar 2025 in Kraft tritt. Das KIG überträgt damit das Ziel von Netto-Null-THG-Emissionen der Schweiz bis 2050 in die nationale Gesetzgebung. Auch die THG-Emissionen des internationalen Luftverkehrs ab der Schweiz sind entsprechend der Klimastrategie in das KIG integriert. Art. 3 Abs. 4 KIG hält dazu fest, dass die Verminderungsziele technisch möglich und wirtschaftlich tragbar sein müssen. Sie müssen soweit möglich durch Emissionsverminderungen in der Schweiz erreicht werden. Tabelle 1 listet die Schweizer Klimaziele mit Bezug auf den Luftverkehr auf.

Grundlage	Anwendungsbereich	THG-Emissionen vs. 1990		
		2030	2040	2050
Vorlage CO <sub>2</sub> -Gesetz*	Alle Sektoren, nur nationaler Luftverkehr**	50 %		
KIG	Verkehr, nur nationaler Luftverkehr		43 %	0 %
KIG	Alle Sektoren, nur nationaler Luftverkehr***		25 %	0 %
KIG	Alle Sektoren, inkl. internationaler Luftverkehr ab Schweiz			0 %

\* gemäss Botschaft und parlamentarische Erstberatung

\*\* zudem ist zwischen 2021 und 2030 eine durchschnittliche Reduktion um 35 % zu erreichen

\*\*\* zudem ist zwischen 2031 und 2040 eine durchschnittliche Reduktion um 36 % zu erreichen sowie zwischen 2041 und 2050 eine durchschnittliche Reduktion um 89 %

**Tabelle 1** Schweizer Klimaziele mit Bezug auf den Luftverkehr, das Referenzjahr ist 1990

Das Erreichen der oben genannten Klimaziele wird entsprechend den Methoden der Klimarahmenkonvention gemessen. In der Schweiz erfolgt das Monitoring durch das jährlich nachgeführte Treibhausgasinventar. Für den Luftverkehr sind die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche aus den in der Schweiz getankten Flugtreibstoffen für sämtliche Flüge entstehen, ausschlaggebend. Unterteilt wird dabei abhängig von der Zielsetzung zwischen Flügen in die Schweiz und ins Ausland. Damit werden die vom EuroAirport Basel ausgehenden Flüge nicht mitgerechnet, da die Treibstoffversorgung des EuroAirports Frankreich angerechnet wird. Dieser Bericht verwendet dieselbe Metrik zur Abgrenzung von Emissionen. Die Begriffe «Netto-Null-CO<sub>2</sub>» respektive «CO<sub>2</sub>-neutral» beziehen sich auf diese Metrik.

## 1.2 Wirtschaftliche Bedeutung des Luftverkehrs

Der Schweizer Luftverkehr ist stark international ausgerichtet: 2019 flogen 99,7 % der Passagierinnen und Passagiere ins Ausland. Die sehr gute internationale Anbindung der Schweiz hat eine grosse Bedeutung für die Wirtschaft: Gemäss dem Bericht 2016 über die Luftfahrtpolitik der Schweiz (Lupo 2016, BBI 2016 1847) generiert der Luftverkehr in der Schweiz jährlich eine Wertschöpfung von über 12 Mrd. CHF, mit Einbezug der induzierten Effekte sogar über 24 Mrd. CHF (Bundesrat 2016, Angaben von 2014). Ein wichtiger Pfeiler davon ist die Luftfahrtindustrie mit Entwicklungs-, Hersteller- und Instandhaltungsbetrieben.

Die gute Anbindung trägt zur hohen Standortattraktivität der Schweiz bei (Bundesrat 2016). Davon profitieren internationale Firmen und Organisationen mit Sitz in der Schweiz sowie der Schweizer Tourismus. Zudem hat die Luftfracht eine hohe Bedeutung für die Exportindustrie: Nach Wert befördert der Luftverkehr fast die Hälfte der Exporte (Universität St. Gallen 2020). Der Luftverkehr deckt dabei als einziger Verkehrsträger seine Infrastruktur- und Betriebskosten grösstenteils selbst (INFRAS 2015). Dazu kommen jedoch externe Kosten von jährlich rund 1,5 Mrd. CHF<sup>1</sup>: Diese setzen sich zusammen aus sämtlichen Schäden an Gesundheit und Umwelt inklusive Lärm, Schadstoffen und Klimaeffekten (ARE 2022).

Bis zur Covid-19-Pandemie hat der Luftverkehr an Schweizer Flughäfen entsprechend der wirtschaftlichen Entwicklung stetig zugenommen. So nahmen die ab Schweizer Flughäfen (ohne EuroAirport Basel) geflogenen Personenkilometer 2009–2019 jährlich um durchschnittlich 5,5 % zu (BFS 2022). Seit 1990 haben sie sich mehr als verdreifacht. 2019 wurden im Luftverkehr ab Schweizer Flughäfen ähnlich viele Personenkilometer zurückgelegt wie im Schweizer Strassenverkehr<sup>2</sup>. Dazu kommt die Luftfracht: Seit 1990 werden jährlich 300 000 bis 500 000 Tonnen an Fracht per Flugzeug transportiert (Import und Export, BFS 2022). Bezogen auf das Gewicht entsprach dies 2019 einem Anteil von unter 1 % der Importe und Exporte über alle Verkehrsmittel (BFS 2021).

Die Covid-19-Pandemie hatte einen einschneidenden Effekt auf die Zivilluftfahrt. Über das Jahr 2020 reduzierte sich der Passagierverkehr der Schweizer Landesflughäfen um 70 % (BFS 2022). Damit entfiel auch ein wesentlicher Teil der Frachtdienstleistungen. Die wirtschaftlichen Folgen für die gesamte Industrie waren erheblich. Seit Frühjahr 2022 nimmt der Luftverkehr ab Schweiz jedoch wieder zu. Die Agentur der EU für Flugsicherheit (EASA) erwartet, dass die Anzahl Flugbewegungen 2024 wieder das Niveau von 2019 erreicht (EASA 2022). Da die Kennzahlen der Schweizer Luftfahrt von 2020 und 2021 nicht repräsentativ sind, stützt sich dieser Bericht jeweils auf die Daten von 2019.

## 1.3 Klimawirkung des Schweizer Luftverkehrs

Auf Flügen von Schweizer Flughäfen wurden 2019 5,7 Millionen Tonnen Treibhausgase ausgestossen. Davon entfielen 98 % auf den internationalen Luftverkehr und 2 % auf die zivile Luftfahrt innerhalb der Schweiz. Zwischen 1990 und 2019 nahmen die THG-Emissionen der Schweizer Luftfahrt um 75 % zu. Die THG-Emissionen des Schweizer Luftverkehrs entsprechen gemäss Treibhausgasinventar rund 11 % der gesamten THG-Emissionen der Schweiz. Weltweit entfallen rund 2,5 % der durch Menschen verursachten THG-Emissionen auf den Zivilluftverkehr. 0,5 % der THG-Emissionen des weltweiten Zivilluftverkehrs entfallen dabei auf die Schweiz. CO<sub>2</sub> ist praktisch das einzige Treibhausgas gemäss Klimarahmenkonvention, welches der Luftverkehr ausstösst<sup>3</sup>.

Eine CO<sub>2</sub>-neutrale Luftfahrt ab dem Jahr 2050 bedeutet also, dass die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen von Flugtreibstoffen, welche in der Schweiz vertankt werden, möglichst auf null reduziert werden. Die übrigen fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen dabei durch den Einsatz von Negativemissionstechnologien, kurz NET, ausgeglichen werden (siehe Abschnitt 2.6). Daneben treten weitere Klimawirkungen auf, die nicht direkt von Treibhausgasemissionen verursacht werden, siehe folgender Kasten.

<sup>1</sup> Diese Abschätzung bezieht sich auf das Jahr 2019, siehe Quelle.

<sup>2</sup> Gemäss BFS (2022) und <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/personenverkehr/leistungen.html> (Stand: 12.1.2024)

<sup>3</sup> Zusätzlich stösst er Spuren von Lachgas (N<sub>2</sub>O) aus, netto reduziert er die Konzentration von Methan (CH<sub>4</sub>) in der Atmosphäre.

### Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimawirkungen

Der Luftverkehr beeinflusst das Klima nicht nur durch CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern auch durch Effekte, welche nicht direkt THG zugeordnet werden können. Diese sogenannten Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte wirken grösstenteils indirekt. So führt beispielsweise der Ausstoss von Russpartikeln unter gewissen atmosphärischen Bedingungen zur Bildung von Kondensstreifen und daraus entstehenden Cirruswolken, welche in der Regel am Tag eine kühlende Wirkung, in der Nacht aber eine erwärmende Wirkung entfalten. Das bedeutet, dass nicht die Menge der direkten Emissionen des Luftverkehrs dessen gesamte Klimawirkung bestimmt, sondern für deren Beurteilung viele weitere Faktoren berücksichtigt werden müssen, die von Flug zu Flug unterschiedlich ausfallen. Während sich die Wissenschaft über die Klimawirkung von einer ausgestossenen Tonne CO<sub>2</sub> einig ist, bestehen über die Bemessung und Bewertung der Klimawirkung der sich erwärmend und kühlend auswirkenden Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte grosse Unsicherheiten (Neu 2021). Aus den historischen Emissionen wurde abgeschätzt, dass der Einfluss von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten auf das Klima bis heute rund doppelt so stark ist wie durch CO<sub>2</sub>-Emissionen (Neu 2021, Lee 2023). Diese Schätzung der bisherigen Klimawirkung kann indessen nicht für Prognosen verwendet werden. Die Wirkung von einmal ausgestossenem CO<sub>2</sub> hält über Jahrzehnte bis zu hunderten von Jahren an, die Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte jedoch nur Stunden bis Tage. Damit reagieren sie wesentlich schneller auf Änderungen im Verkehrsvolumen und insbesondere auf Massnahmen zur Reduktion von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten. Die langfristige Klimastrategie der Schweiz sieht vor, dass die Klimawirkung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten bis 2050 sinken soll (Bundesrat 2021). Der Kasten in Abschnitt 2.5 zeigt das Potenzial für Massnahmen auf, mit denen dieses Ziel erreicht werden kann.

## 1.4 Klimaziele des Luftfahrtsektors

Zwischen 2020 und 2022 setzten sich mehrere Verbände und Organisationen des Aviatiksektors Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Ziele. In der Schweiz haben die Aerosuisse, easyJet Switzerland, Swiss, Swiss Business Aviation Association sowie die Landesflughäfen eine Absichtserklärung veröffentlicht, in der sie sich zu den Zielen der langfristigen Klimastrategie der Schweiz bekennen und damit ebenfalls zu einem Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Ziel bis 2050 (siehe Abschnitt 1.1)<sup>4</sup>. Auf internationaler Ebene hat die International Air Transport Association (IATA) als Dachverband der Fluggesellschaften im Oktober 2021 ein Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Ziel für die globale Luftfahrtindustrie ab dem Jahr 2050 beschlossen<sup>5</sup>.

Die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) verabschiedete im Oktober 2022 das Ziel, dass die internationale Luftfahrt bis 2050 Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen anstreben soll (ICAO 2022b). Die Schweiz hat diese Zielsetzung wesentlich mitgeprägt und trägt sie auch mit.

### Emissionen von Flugplätzen

Neben Flugzeugen verursachen auch die Flugplätze einen relevanten Ausstoss von Treibhausgasen. Flugplätze sind verantwortlich für rund 4 % (Ecoplan 2021) der CO<sub>2</sub>-Emissionen der Schweizer Luftfahrt. Diese werden nicht direkt dem Luftverkehr zugerechnet, sondern im Treibhausgasinventar der Industrie, Gebäuden respektive dem Landverkehr zugewiesen. Die Schweizer Landesflughäfen haben sich dazu verpflichtet, diese Emissionen bis 2040 auf Netto-Null zu reduzieren, der EuroAirport Basel sogar bis 2030<sup>6</sup>. Dafür steht eine Reihe an Massnahmen bereit, darunter verbesserte Energieeffizienz, die Verwendung von erneuerbaren Energiequellen sowie die Elektrifizierung der Fahrzeugflotte. Wie die Emissionen werden diese Massnahmen auch nicht direkt der Luftfahrt zugerechnet. Entsprechend werden sie in diesem Bericht nicht weiter thematisiert.

<sup>4</sup> <https://www.arcs.aero/sites/default/files/downloads/Absichtserkl%C3%A4rung%20Sustainable%20Aviation.pdf> (Stand: 12.1.2024)

<sup>5</sup> <https://www.iata.org/en/pressroom/pressroom-archive/2021-releases/2021-10-04-03/> (Stand: 12.1.2024)

<sup>6</sup> <https://www.aci-europe.org/downloads/content/ACI%20EUROPE%20RESOLUTION%202023.pdf> (Stand: 12.1.2024)

## 2 Potenzial von Massnahmen zur CO<sub>2</sub>-Reduktion

Im Zusammenhang mit den Netto-Null CO<sub>2</sub>-Zielen der Aviatikbranche wurden in der Schweiz und global verschiedene Berichte und Strategien erarbeitet, welche die Mittel und den Weg zu einer CO<sub>2</sub>-neutralen Luftfahrt aufzeigen. Als Grundlage für das Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Ziel der ICAO wurde mit Beteiligung von mehreren hundert internationalen Expertinnen und Experten ein umfassender Bericht erarbeitet, der die Erreichbarkeit dieses Ziels untersucht (ICAO 2022a)<sup>7</sup>. Auch die Air Transport Action Group (ATAG) verfasste einen Bericht zur Erreichbarkeit von Klimazielen im internationalen Luftverkehr (ATAG 2020).

Ebenso enthält der Ausblick auf den Luftverkehr bis 2050 der Europäischen Organisation zur Sicherung der Luftfahrt (Eurocontrol) einen Überblick zur Erreichbarkeit von Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen (Eurocontrol 2022). Auch legten Verbände, welche die europäische Luftfahrtindustrie vertreten, einen entsprechenden Bericht vor (NLR 2021). Für die Schweiz gaben das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und das Aviation Research Center Switzerland (ARCS) eine Studie in Auftrag, welche einen Weg zu Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Schweizer Luftverkehr aufzeigen sollte. Die resultierende «Road Map Sustainable Aviation» wurde in Zusammenarbeit mit Expertinnen und Experten aus Industrie und Wissenschaft erarbeitet und 2021 veröffentlicht (Ecoplan 2021).

Der Bericht «Energieperspektiven 2050+» im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) zeigt die erwartete Entwicklung von Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs ohne Massnahmen sowie ein Szenario, in dem Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 erreicht werden (Prognos 2020). Im Detail werden die dafür benötigten Massnahmen jedoch nicht diskutiert. Der internationale Luftverkehr wurde in dieser Studie weitgehend ausgeklammert.

Insbesondere mit den Berichten der ICAO und der IATA liegen damit aktuelle und belastbare Studien zur Erreichbarkeit von Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Zielen in der Luftfahrt vor. Die vorliegenden Studien weisen verschiedene Geltungsbereiche auf (international, europäisch, national). Da der Luftverkehr sehr stark international geprägt ist, können die Resultate auf die Schweiz angewendet werden<sup>8</sup>, weshalb im Rahmen dieses Berichts auf die Erarbeitung zusätzlicher Grundlagen verzichtet wurde.

Dieses Kapitel arbeitet die erwähnten Berichte auf und bietet eine konsolidierte Zusammenfassung mit dem Fokus auf die Schweizer Luftfahrt. Dabei stützt es sich auch auf den ICAO-Aktionsplan zur CO<sub>2</sub>-Reduktion der Schweizer Luftfahrt, der auf Basis der ICAO-Resolution A37-19 alle drei Jahre aktuelle und geplante Massnahmen der Schweizer Luftfahrt im Klimabereich der ICAO meldet (BAZL 2021). Die Gliederung dieses Kapitels folgt den Strategien zu diesem Thema: Abschnitte 2.1 bis 2.4 zeigen die technischen Massnahmen der Luftfahrt auf: Effizientere Flugzeuge<sup>9</sup>, effizienterer Flugbetrieb, alternative Energiespeicher sowie nachhaltige Flugtreibstoffe. Abschnitt 2.5 fasst das Gesamtpotenzial dieser Massnahmen zusammen. Abschnitte 2.6 bis 2.7 gehen auf NET für das Ausgleichen der übrigbleibenden THG-Emissionen gemäss KIG sowie marktbasierende Massnahmen ein, welche Anreize zur Reduktion von Emissionen setzen.

### Lebenszyklusbetrachtungen

Der Luftverkehr verursacht neben den Klimawirkungen im Flug noch weitere Umwelt- und Klimawirkungen. Dazu gehören indirekte sowie vor- und nachgelagerte Emissionen, beispielsweise durch die Produktion des Treibstoffs oder die Herstellung von Flugzeugen. Diese Wirkungen können in der Schweiz oder im Ausland anfallen. Emissionen im Ausland fallen zwar nicht unter die Klimaziele der Schweiz, sind in diesem Kontext aber dennoch relevant: So können gewisse Massnahmen die Emissionen im

<sup>7</sup> Verwendet werden in diesem Kapitel ausschliesslich die Angaben des ambitioniertesten Szenarios «IS3».

<sup>8</sup> Der grösste Anteil des Luftverkehrs in der Schweiz ist international. Im Einsatz sind primär Flugzeuge aus ausländischer Produktion, auch in Bezug auf die Technologie ist also der internationale Raum massgebend. Auch der verwendete Flugtreibstoff wird heute wie in Zukunft praktisch ausschliesslich im Ausland produziert. Nur gut die Hälfte des Luftverkehrs ab der Schweiz wird von Schweizer Luftfahrzeugbetreibern abgewickelt. Zudem liegen beidseits der Schweizer Landesgrenzen einige Flughäfen mit internationaler Bedeutung, mit dem EuroAirport Basel auch ein Landesflughafen auf französischem Territorium. Entsprechend wird die Luftfahrtpolitik europaweit eng koordiniert.

<sup>9</sup> Dieser Bericht verwendet den Begriff Flugzeuge vereinfachend für alle Luftfahrzeuge, Helikopter und weitere Fluggeräte sind dabei mitgemeint.

Flug zwar reduzieren aber dennoch zu insgesamt negativen Umwelteffekten führen<sup>10</sup>. Aus diesem Grund zeigt dieses Kapitel jeweils den Gesamteinfluss von Massnahmen auf das Klima und auf weitere Umweltbereiche auf. Der Fokus liegt dabei auf den Flugtreibstoffen, da diese heute wie in Zukunft den überwiegenden Anteil der Umweltbelastung ausmachen (ARE 2022).

## 2.1 Energieeffizienz von Flugzeugen

Die Energieeffizienz des Luftverkehrs hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich verbessert. Pro Transportleistung (gemessen in Passagierkilometern oder Tonnenkilometern) haben die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch schrittweise Optimierungen seit 1990 um rund 50 % abgenommen<sup>11</sup>. Pro Jahr entspricht dies einer Steigerung der Effizienz um durchschnittlich rund 2,3 %. Den grössten Anteil an den Verbesserungen weisen Triebwerke auf, gefolgt von Gewichtseinsparungen und Verbesserungen der Aerodynamik. Diese Entwicklung wird sich in den nächsten Jahrzehnten fortsetzen. Teilweise können Verbesserungen auch an Flugzeugen nachgerüstet werden, welche bereits im Einsatz sind. Mit diesen Optimierungen ist bis 2035 eine Effizienzsteigerung von rund 1 % pro Jahr (verglichen mit 2019) zu erwarten.

Eine Effizienzsteigerung darüber hinaus ist möglich, dafür bedarf es jedoch neuartiger Flugzeug- und Triebwerkskonzepte. Diese sehen beispielsweise eine Anpassung der Form und Anordnung von Rumpf, Flügeln und Triebwerken vor. Damit werden theoretisch über 20 % effizientere Flugzeuge möglich (verglichen mit 2019). Teilweise würden dafür auch Anpassungen an Flughäfen notwendig, damit diese neuartigen Flugzeuge auch abgefertigt werden könnten. Infolge der hohen Anforderungen an die Flugsicherheit dauern Neuentwicklungen bis zum Flotteneinsatz in der Regel aber mindestens 10 bis 15 Jahre. Bis solche neuartigen Konzepte einen wesentlichen Beitrag zur Emissionsreduktion leisten können, müssen sie daraufhin in grossen Zahlen produziert und eingesetzt werden. Da pro Jahr nur ein kleiner Teil der Flotte ersetzt wird, dauert es Jahrzehnte, bis diese Emissionsreduktionen zum Tragen kommen. Angesichts der Tatsache, dass Flugzeuge für eine Lebensdauer von rund 30 Jahren gebaut werden, wird die globale Flugzeugflotte noch bis über das Jahr 2050 hinaus in weiten Teilen aus den aktuell vorhandenen Flugzeugtypen bestehen.

Eine vergleichsweise geringe Klimawirkung haben die Produktion, Wartung und Entsorgung von Flugzeugen. Geschätzt werden die Emissionen daraus auf rund 2 % der Treibhausgasemissionen des Schweizer Luftverkehrs<sup>12</sup>. Dennoch können auch hier Fortschritte erzielt werden. Studien gehen für 2050 insgesamt von einer technischen Effizienzsteigerung der gesamten Flotte zwischen 10 und 21 % aus (vgl. Abbildung 1). Die technologische Verbesserung wird dabei immer näher an physikalische Grenzen kommen<sup>13</sup>. Gleichzeitig müssen die hohen Sicherheitsstandards des Luftverkehrs erfüllt werden. Solche Entwicklungen bringen für Hersteller hohe Innovationsrisiken und Kosten mit sich: Die ICAO geht in diesem Bereich bis 2050 von einem Investitionsbedarf von rund 350 Mrd. USD aus. Demgegenüber stehen jedoch bis 2050 insgesamt 740 Mrd. USD an Einsparungen durch geringeren Treibstoffverbrauch.

## 2.2 Energieeffizienz des Flugbetriebs

Die Energieeffizienz des Luftverkehrs hängt jedoch nicht nur von den verwendeten Flugzeugtypen ab. Emissionen können auch beim Betrieb dieser Flugzeuge eingespart werden. Möglich sind hier Massnahmen wie eine optimierte Flugplanung mit möglichst kurzen Routen oder Anpassung an die Wetterlage (Ecoplan 2021). Flugzeugbetreiber können zudem via Gewichtsreduktion Emissionen vermeiden – sei dies durch eine leichtere Ausstattung oder auch das Mitführen von geringeren Treibstoff-, Wasser- oder Nahrungsmittelvorräten. Auch geringere Fluggeschwindigkeiten sowie optimierte Gewichtsverteilung der Ladung (insbesondere Fracht) im Flugzeug können zur Reduktion der Klimawirkung beitragen.

<sup>10</sup> Möglich ist dies beispielsweise beim Einsatz von nicht erneuerbaren Energiequellen für die Produktion von alternativen Treibstoffen, Wasserstoff oder Strom für Elektroflugzeuge.

<sup>11</sup> Dies gilt für die Schweiz (BAFU 2023) und für Europa (EASA 2022).

<sup>12</sup> [https://www.sccer-mobility.ch/export/sites/sccer-mobility/capacity-areas/dwn\\_capacity\\_areas/Jemiolo\\_Thesis\\_Final.pdf](https://www.sccer-mobility.ch/export/sites/sccer-mobility/capacity-areas/dwn_capacity_areas/Jemiolo_Thesis_Final.pdf) (Stand: 12.1.2024)

<sup>13</sup> Eine Übersicht zu neuartigen Technologien, welche die Effizienz steigern können, bieten die IATA Technology Net Zero Roadmap 2050, abrufbar unter <https://www.iata.org> > Programs & Policy > Sustainability > Net Zero Roadmaps (Stand: 12.1.2024) sowie der Anhang M3 im Bericht zum Netto-Null-CO<sub>2</sub> Ziel der ICAO (ICAO 2022a).



Möglichkeiten zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs bestehen auch bei der Wartung (Ecoplan 2021). Ein grosses Potenzial hat zudem ein flexibleres Flugverkehrsmanagement, zur Reduktion von Umwegen und Wartezeiten (ICAO 2022a). Einen direkten Einfluss auf die Emissionen pro Passagier/in hat die Auslastung von Flügen. Diese nahm seit 1990 um rund 20 % zu und liegt aktuell bei rund 80 %. Zuletzt ist auch am Boden eine Optimierung möglich; so können in Zukunft gegebenenfalls Rollbewegungen elektrifiziert werden.

Um das in diesem Abschnitt beschriebene Potenzial ausschöpfen zu können, müssen einige Hürden überwunden werden. Zumeist handelt es sich dabei um zusätzliche administrative Aufwendungen für Zivilluftfahrtbehörden, Flugsicherungsdienstleister und Fluggesellschaften. Als Herausforderung hat sich dabei insbesondere die internationale Zusammenarbeit zwischen diesen Beteiligten erwiesen. So ist der Luftraum insbesondere in Europa stark fragmentiert. Zudem muss die Robustheit des Systems bei Anpassungen beibehalten und die hohe Sicherheitsperformance darf nicht tangiert werden. Bislang bestehen teilweise die falschen Anreize, welche Effizienzgewinne nicht belohnen, sondern sogar bestrafen. Beispiele dafür sind Bedingungen für das Halten von Slots an Flughäfen und Gebührensysteme, welche das Fliegen von Umwegen und damit erhöhte CO<sub>2</sub>-Emissionen begünstigen. Initiativen zur Verbesserung dieser Rahmenbedingungen gibt es einige. Insbesondere beteiligt sich die Schweiz an der Initiative «Single European Sky», welche die Lufträume und ihre Bewirtschaftung optimieren soll. Die dadurch erhofften Verbesserungen sind jedoch bisher nur in beschränktem Mass eingetreten.

Berichte gehen bis 2050 von einer betrieblichen Effizienzsteigerung von total 6–11 % gegenüber heute aus (vgl. Abbildung 1). Die ICAO rechnet bis 2050 mit einem Investitionsbedarf von insgesamt rund 180 Mrd. USD, welcher primär bei den Fluggesellschaften anfällt. (ICAO 2022a)<sup>14</sup>. Demgegenüber stehen jedoch bis 2050 insgesamt 490 Mrd. USD an Einsparungen durch geringeren Treibstoffverbrauch.

## 2.3 Nachhaltige Flugtreibstoffe

Nachhaltige Flugtreibstoffe können die Emissionen von fossilem CO<sub>2</sub> des Luftverkehrs deutlich reduzieren. Dafür dürfen diese jedoch nicht aus fossilen, sondern nur aus erneuerbaren Quellen hergestellt werden und müssen gewisse Nachhaltigkeitseigenschaften erfüllen<sup>15</sup> (BAZL 2022). Nur dann handelt es sich um sogenannte nachhaltige Flugtreibstoffe (Sustainable Aviation Fuels, SAF). SAF verursachen im Flug grundsätzlich keine Emissionen von fossilem CO<sub>2</sub>. Dazu kommen jedoch gewisse Emissionen bei der Produktion: Heute entsprechen diese rund 20 % der Lebenszyklusemissionen von fossilem Kerosin, in Zukunft ist bestenfalls eine Reduktion auf unter 10 % möglich (BAZL 2022). Diese Werte können jedoch nicht in jedem Fall erreicht werden. Deshalb sehen Nachhaltigkeitskriterien stets eine Mindestreduktion vor.

Für die Herstellung von SAF gibt es bereits verschiedene Produktionspfade. Bis 2021 wurden deren neun zertifiziert und weitere werden in den nächsten Jahren dazukommen (EASA 2022). Einige dieser Pfade nutzen biogene Quellen, wobei für die Nachhaltigkeit der Treibstoffe die Herkunft der eingesetzten Biomasse ausschlaggebend ist. Staaten und Organisationen wenden hier unterschiedliche Kriterien an. Die Schweiz regelt diese zurzeit über das Bundesgesetz über den Umweltschutz (USG, SR 814.01) und das Mineralölsteuergesetz (MinöStG, SR 641.61). Gemäss Botschaft sollen sie im Rahmen der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes überarbeitet werden, angelehnt an die praktisch gleichwertigen Bestimmungen der EU (siehe Abschnitt 3.2). So dürfen bei der Herstellung bspw. keine Nahrungs- oder Futtermittel eingesetzt werden.

Nachhaltige Flugtreibstoffe können auch ohne Nutzung von Biomasse als Energiequelle hergestellt werden, dann werden sie als synthetische SAF bezeichnet. Die Energie für deren Herstellung muss aus erneuerbaren Quellen wie Wasserkraft, Sonnen- oder Windenergie stammen. SAF aus Biomasse werden bereits im industriellen Massstab hergestellt, die Produktion von synthetischen SAF ist dagegen noch vergleichsweise gering.

<sup>14</sup> Eine Übersicht zu kurzfristig umsetzbaren Massnahmen bietet der Massnahmenkatalog der Aerosuisse von 2021, abrufbar unter [https://www.aerosuisse.ch/fileadmin/documents/Klima/20210319\\_AG\\_Aerosuisse\\_CO2\\_Massnahmen\\_Luftverkehr\\_Version2\\_final.pdf](https://www.aerosuisse.ch/fileadmin/documents/Klima/20210319_AG_Aerosuisse_CO2_Massnahmen_Luftverkehr_Version2_final.pdf) (Stand: 12.1.2024) sowie der Anhang M4 im Bericht zum Netto-Null-CO<sub>2</sub> Ziel der ICAO (ICAO 2022a).

<sup>15</sup> In der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes (siehe Abschnitt 3.2) werden Flugtreibstoffe aus erneuerbaren Quellen kurz als erneuerbare Flugtreibstoffe bezeichnet.

Reine SAF sind meist frei von sogenannten aromatischen Kohlenwasserstoffen (Aromaten). Dies hat neben der CO<sub>2</sub>-neutralen Verbrennung den Vorteil, dass die Abgase auch wesentlich weniger schädliche Verbrennungsrückstände enthalten (insbesondere Feinstaub). SAF können bereits in heutigen Flugzeugen und mit der bestehenden Infrastruktur an Flugplätzen eingesetzt werden. Dafür müssen sie aus technischen Gründen zurzeit noch mit mindestens 50 % fossilem Kerosin gemischt werden<sup>16</sup>. Die Flugzeugindustrie stellt in Aussicht, dass ab 2030 ausgelieferte Flugzeuge zum Betrieb mit 100 % SAF bereit sein werden<sup>17</sup>. Flugzeuge, die heute bereits im Einsatz sind, können dafür auch nachgerüstet werden. In Bezug auf die Sicherheit sind SAF mindestens gleichwertig mit fossilem Kerosin.

Die globale Produktion von SAF in 2023 wird auf 480 000 Tonnen geschätzt und damit auf die doppelte Menge verglichen mit 2022<sup>18</sup>. Dies entspricht 0,2 % des aktuellen Verbrauchs von Flugtreibstoffen und damit erst einem kleinen Schritt zum Erreichen der angestrebten Ziele. Verschiedene Roadmaps kommen zum Schluss, dass SAF die vielversprechendste Massnahme sind, um die fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftfahrt zu reduzieren. So sollen sie 50–56 % des Beitrags zu Netto-Null-CO<sub>2</sub> leisten, einzelne Studien gehen sogar von bis zu 70 % aus (vgl. Abbildung 1). Die Herausforderung dabei liegt in den bisher kaum vorhandenen Produktionskapazitäten. Auch die Produktionskapazitäten welche sich heute in Planung befinden, sind noch unzureichend für das rechtzeitige Erreichen dieses Potenzials<sup>19</sup>. Für den Aufbau solcher Kapazitäten müssen global rasch erhebliche Investitionen getätigt werden und die erneuerbare Energiegewinnung an geeigneten Standorten deutlich ausgebaut werden. Dabei steht dieser Ausbau im Wettbewerb mit dem Bedarf von erneuerbarer Energie in anderen Sektoren. Da die Herstellung von SAF aufwändiger ist als die Herstellung fossiler Treibstoffe, sind die Endverkaufspreise von SAF entsprechend höher. Die ICAO erwartet bis 2050 global einen Investitionsbedarf von 3110 Mrd. USD für die Produktion von SAF (ICAO 2022a).

Nähere Informationen zu nachhaltigen Flugtreibstoffen bietet der Bericht zur Förderung von SAF des BAZL (BAZL 2022). Dieser zeigt insbesondere auf, dass die Schweiz nicht über ausreichend Ressourcen und erneuerbare Energie verfügt, um ihren SAF-Bedarf mit eigener Produktion wirtschaftlich decken zu können. Wirtschaftlich und ökologisch vorteilhafter ist eine Produktion in geeigneteren Gebieten im Ausland.

## 2.4 Wasserstoff- und Elektroflugzeuge

CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flug können vermieden werden, wenn keine kohlenstoffhaltigen Treibstoffe verwendet werden. In Frage kommen als alternative Energiespeicher deshalb entweder Wasserstoff oder elektrische Batterien. Für einen wasserstoffbasierten oder batterieelektrischen Betrieb muss die Konstruktion von Flugzeugen angepasst werden: Anstelle des Kerosintanks treten Wasserstofftanks oder Batterien, die Triebwerke müssen entweder angepasst oder durch Elektromotoren ersetzt werden. Flugzeuge mit Batterien setzen Elektromotoren ein, wasserstoffbetriebene Flugzeuge werden entweder mit Brennstoffzellen zur Umwandlung von Wasserstoff in Strom und Elektromotoren angetrieben, oder mit einem für den Betrieb mit Wasserstoff angepassten Verbrennungsmotor. Beide Antriebsarten bringen grössere technische Risiken mit sich als konventionelle Luftfahrzeuge. Die grösste Herausforderung ist jedoch das zusätzliche Volumen respektive Gewicht von Wasserstofftanks und Batterien (ICAO 2022a).

Zwar gibt es bereits einen kleinen batterieelektrisch betriebenen Flugzeugtyp, welcher für den Betrieb zertifiziert ist und bei verschiedenen Herstellern sind weitere Wasserstoff- und Elektroflugzeuge in Entwicklung (EASA 2022). Sämtliche Prototypen können jedoch in Bezug auf Reichweite, Nutzlast und Geschwindigkeiten nicht mit konventionell angetriebenen Luftfahrzeugen konkurrenzieren. Tabelle 2 zeigt die Beurteilung einer Studie, in welcher Flugzeugkategorie und ab welchem Zeitpunkt der Einsatz von Wasserstoff- und Elektroflugzeugen denkbar ist (ATAG 2020). Für die Lang- und Mittelstrecke, die zusammen 73 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen, stehen demzufolge bis 2050 keine Alternativen zum Antrieb mit Gasturbinen und kerosinähnlichen Treibstoffen bzw. SAF zur Verfügung.

<sup>16</sup> Grund dafür sind einzelne Materialien der Flugzeuge, die noch einen Mindestanteil von Aromaten im Treibstoff benötigen, siehe <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Conversion-processes.aspx> (Stand: 12.1.2024)

<sup>17</sup> <https://iccaia.org/wp-content/uploads/2023/09/Public-Statement-100-SAF-Commitment-Final.pdf> (Stand: 12.1.2024)

<sup>18</sup> <https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-12-06-02/> (Stand: 12.1.2024)

<sup>19</sup> <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/SAF-Projections.aspx> (Stand: 12.1.2024)

Kategorie	Jahr						
	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Nahverkehr</b> bis 15 Plätze und 1 h Flugzeit <1 % der CO <sub>2</sub> -Emissionen	SAF						
						Elektroflugzeuge	
<b>Regional</b> bis 100 Plätze und 1,5 h Flugzeit ~3 % der CO <sub>2</sub> -Emissionen	SAF						
						H <sub>2</sub> -/Elektroflugzeuge	
<b>Kurzstrecke</b> bis 150 Plätze und 2 h Flugzeit ~24 % der CO <sub>2</sub> -Emissionen	SAF						
				H <sub>2</sub> (ev.)		H <sub>2</sub> -Flugzeuge	
<b>Mitteldistanz</b> bis 250 Plätze und 2,5 h Flugzeit ~43 % der CO <sub>2</sub> -Emissionen	SAF						
							H <sub>2</sub> (ev.)
<b>Langstrecke</b> ab 250 Plätzen und 2,5 h Flugzeit ~30 % der CO <sub>2</sub> -Emissionen	SAF						

**Tabelle 2** Überblick zum Einsatzpotenzial von Wasserstoff- (H<sub>2</sub>) und Elektroflugzeugen nach Kategorien und Jahr (adaptiert aus ATAG 2020).

Für den Einsatz von alternativen Energiespeichern muss auch die bestehende Infrastruktur an jedem bedienten Flughafen wesentlich angepasst werden. Elektroflugzeuge benötigen Hochleistungsladestationen und Wasserstoffflugzeuge eine lokale Versorgung mit Wasserstoff (ATAG 2020). Die benötigten Anpassungen an Infrastruktur und Energieversorgung führen zu zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und Kosten. Um die Emissionen effektiv zu reduzieren, müssen für die Wasserstoff- und Stromproduktion erneuerbare Quellen eingesetzt werden. Unter Berücksichtigung dieses Aspekts können auch Wasserstoff- und Elektroflugzeuge und deren Einsatz damit über den Lebenszyklus betrachtet nie gänzlich CO<sub>2</sub>-neutral sein.

Aufgrund dieser Herausforderungen ist es unwahrscheinlich, dass alternative Energiespeicher einen grossen Beitrag zu CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen bis 2050 leisten können. Studien gehen zumeist von einem Beitrag zu Emissionsreduktionen von 0 bis maximal 3 % aus (vgl. Abbildung 1). Einzelne Studien gehen auch von höheren Werten aus (NLR 2021), diese sind aber aufgrund der geringen Reife der Technologien nicht belastbar (vgl. Tabelle 2). Die Kosten für den Einsatz von alternativen Energieträgern sind noch mit grossen Unsicherheiten behaftet, die ICAO schätzt den Investitionsbedarf auf rund 180 Mrd. USD (ICAO 2022a). Für die Zeit nach 2050 geht die ICAO von einem höheren Potenzial für diese Technologien aus. Damit bleibt mehr Zeit für die Entwicklung technischer Lösungen und Bereitstellung von Infrastruktur und Flotte. Das europäische Forschungsprogramm «Clean Aviation» verfolgt dabei das Ziel, das Potenzial für sämtliche nachhaltige Energieträger im Luftverkehr auszuloten und umzusetzen<sup>20</sup>.

## 2.5 Gesamtpotenzial der technischen Massnahmen des Luftverkehrs

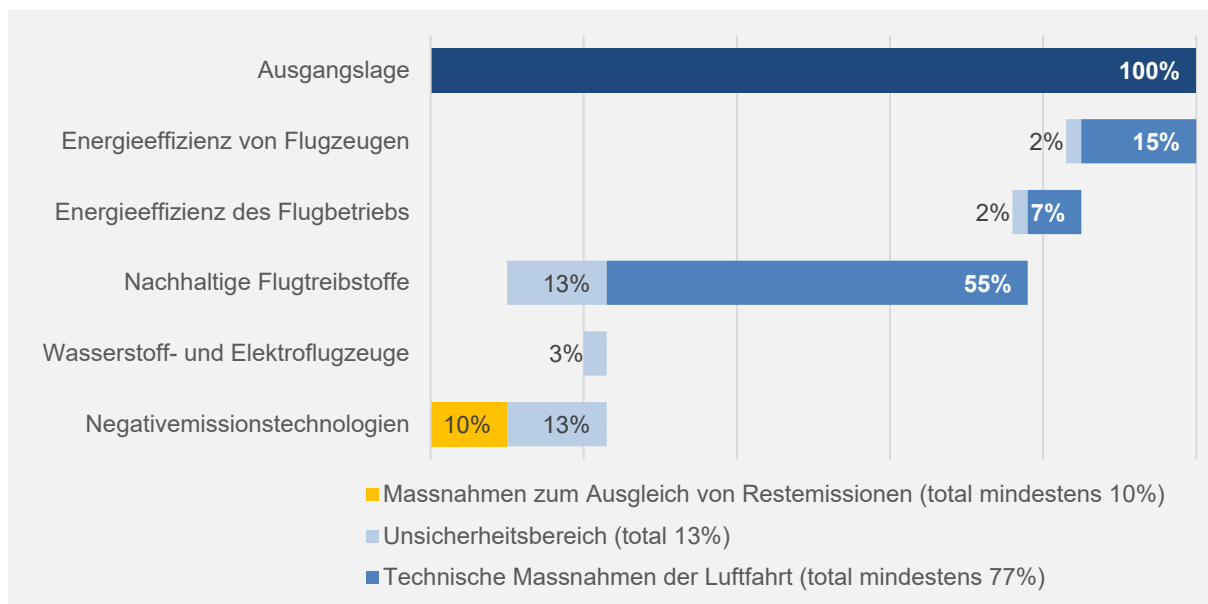
Die vorangehenden Abschnitte haben das Potenzial von technischen Massnahmen in der Luftfahrt zur Reduktion ihrer THG-Emissionen aufgezeigt. Diese Massnahmen können und müssen kombiniert werden, um CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen zu erreichen. Abbildung 1 zeigt das Potenzial der technischen Massnahmen auf. Da die Nachfrage nach Flugtransporten im Jahr 2050 noch unsicher ist (siehe Abschnitte 2.7 und 3.3), wurde dafür eine von der Nachfrageentwicklung unabhängige Darstellung gewählt. Gezeigt wird das Reduktionspotenzial für die CO<sub>2</sub>-Intensität des Luftverkehrs, also der Emissionen pro Transportleistung, relativ zur Ausgangslage 2019. Heute kann davon ausgegangen werden, dass bis

<sup>20</sup> [https://clean-aviation.eu/sites/default/files/2022-01/CAJU-GB-2021-12-16-SRIA\\_en.pdf](https://clean-aviation.eu/sites/default/files/2022-01/CAJU-GB-2021-12-16-SRIA_en.pdf) (Stand 12.1.2024)

## CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050

2050 eine Reduktion von 77 % der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen durch technische Massnahmen der Luftfahrt möglich ist. Gesteigerte Energieeffizienz von Luftfahrzeugen und Flugbetrieb tragen dazu 22 % bei. Das grösste Potenzial weisen mit 55 % jedoch nachhaltige Flugtreibstoffe auf<sup>21</sup>.

Technische Massnahmen der Luftfahrt können CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050 also nicht alleine ermöglichen. Der komplette Ersatz von fossilen Flugtreibstoffen wird auf jeden Fall länger dauern. Mindestens 10 % der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen müssen durch NET ausgeglichen werden, siehe Abschnitt 2.6. Was die verbleibenden 13 % angeht, stimmen die referenzierten Studien nicht überein: Die Emissionen in diesem Unsicherheitsbereich können je nach Studie entweder durch technische Massnahmen der Luftfahrt reduziert werden oder müssen durch zusätzliche NET ausgeglichen werden. Entscheidend ist hier die Entwicklung der kommenden Jahre, insbesondere wird die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Massnahmen ausschlaggebend sein.



**Abbildung 1** Mögliche Beiträge zu CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen im Jahr 2050, bezogen auf die Transportleistung<sup>22</sup>, verglichen mit 2019

Mit allen verfügbaren technischen Massnahmen der Luftfahrt kann in Kombination mit NET also CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050 erreicht werden. Um das aufgezeigte Potenzial zu realisieren, gilt es vier zentrale Herausforderungen zu überwinden:

### 1. Bedarf an Energie und Ressourcen

Der Schweizer Luftverkehr benötigt rund 10 % des Endenergieverbrauchs in der Schweiz. In Anbetracht der Klimaziele aller Sektoren stellt das Bereitstellen dieser Energiemenge aus erneuerbaren Quellen eine grosse Herausforderung dar. Der grösste Teil des Energiebedarfs des Schweizer Luftverkehrs wird auch in Zukunft mit Importen abgedeckt werden (siehe Abschnitt 2.3). Damit einher geht auch ein entsprechend grosser Bedarf an Ressourcen.

### 2. Ambitionierter Zeitrahmen

Technologien benötigen Zeit, bis sie sich in der Aviatik etablieren können. Vor einem ersten Einsatz muss zuerst im Rahmen aufwändiger Zertifizierungsprozesse nachgewiesen werden, dass neue Technologien die gesetzlich festgelegten hohen Sicherheitsanforderungen erfüllen. Da Flugzeuge während mehrerer Jahrzehnte genutzt werden, dauert es ebenfalls Jahrzehnte bis zur vollständigen Marktdurchdringung neuer Technologien. Dasselbe gilt für die benötigte Infrastruktur und dabei insbesondere der Produktion von Treibstoffen. Um CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050 zu erreichen, muss die Skalierung der benötigten Technologien rasch erfolgen. Dies gilt für technische Massnahmen der Luftfahrt wie auch für NET (siehe Abschnitt 2.6).

<sup>21</sup> Effizienzsteigernde Massnahmen reduzieren den Treibstoffverbrauch und damit CO<sub>2</sub>-Emissionen bereits um mindestens 22 %. Ein SAF-Anteil von 70 % (gemäss geplanter Beimischpflicht, siehe Abs. 3.3) reduziert die verbleibenden Emissionen um 70 %, was 55 % der gesamten Emissionen entspricht.

<sup>22</sup> Zusammengeführte Daten aus ICAO (2022a), ATAG (2020), NLR (2021), Eurocontrol (2022), Ecoplan (2021)

### 3. Gesamtwirkung auf Umwelt und Wirtschaft

Das zentrale Ziel in der Schweizer Klimapolitik im Bereich Luftverkehr ist das Erreichen von Netto-Null-THG-Emissionen, gemessen an den direkten Emissionen von Flugtreibstoffen, die in der Schweiz verbrannt werden. Beim Ergreifen von Massnahmen gilt es jedoch nicht nur auf die Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flug zu achten. Sämtliche Massnahmen führen zu weiteren Wirkungen auf das Klima. Zum einen sind dies beispielsweise vorgelagerte THG-Emissionen bei der Herstellung sämtlicher Treibstoffe. Diese fallen zumeist nicht unter die Schweizer Klimaziele, da die Herstellung vor allem im Ausland stattfindet. Entsprechend wichtig sind die Kriterien für die Zulassung von SAF (siehe Abschnitt 2.3). Zu beachten sind auch Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte (siehe Kasten unten) sowie weitere Umweltwirkungen. Gemäss Art. 3 Abs. 4 KIG müssen Verminderungsziele (respektive Massnahmen um diese zu erreichen) wirtschaftlich tragbar sein. Entsprechend gilt es ökonomische und auch soziale Auswirkungen zu beachten.

### 4. Investitionsbedarf

Eine fristgerechte Skalierung der benötigten Technologien bringt einen hohen Investitionsbedarf mit sich. Insgesamt rechnet die ICAO weltweit mit einem jährlichen Investitionsbedarf von rund 120 Mrd. USD zwischen 2020 und 2050 (ICAO 2022a)<sup>23</sup>. Entsprechend dem Anteil an Flugverkehr wären dies für die Schweiz rund 600 Mio. CHF. Dies steht einem weltweiten jährlichen Umsatz der kommerziellen Fluggesellschaften von 838 Mrd. USD gegenüber<sup>24</sup>. Dabei gilt es zu beachten, dass den insgesamt entstehenden Kosten insbesondere im Betrieb auch Kostenreduktionen gegenüberstehen wie beispielsweise durch reduzierten Treibstoffbedarf infolge gesteigerter Effizienz.

Bei einem fortgesetzten schnellen Wachstum des Sektors sind diese Herausforderungen besonders ausgeprägt (ICAO 2022a). Ein geringeres Wachstum würde das Erreichen des Ziels begünstigen, da ein geringerer Bedarf an Energie und Ressourcen resultieren würde (ICAO 2022a, IEA 2021, IEA 2023, Sacchi 2023). Die Skalierung der involvierten Technologien müsste weniger schnell gelingen, die Wirkung auf Umwelt und Wirtschaft wäre geringer und der Investitionsbedarf wäre tiefer. Abschnitte 2.7 und 3.3 enthalten eine Diskussion zur Entwicklung der Nachfrage und Möglichkeiten zur Einflussnahme darauf.

#### Einflussnahme auf Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte

Zurzeit kann die Gesamtwirkung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten aufs Klima noch nicht genau bestimmt werden (vgl. Kasten Abschnitt 1.3). Höchst unsicher ist auch, wie Massnahmen Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte verändern. Grundsätzlich führt eine Reduktion von CO<sub>2</sub>-Emissionen auch zu einer Reduktion von Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen. Dazu gehören Massnahmen für effizientere Flugzeuge oder deren effizienteren Betrieb. Bei gewissen Massnahmen ist darüber hinaus ein zusätzlicher Effekt zu erwarten: Nachhaltige Flugtreibstoffe emittieren im Durchschnitt deutlich weniger Feinstaub, was die lokale Luftqualität verbessert und Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimawirkungen reduzieren kann (EASA 2022). Diese Massnahmen sind also durch ihre zusätzliche Wirkung auf das Klima noch wirksamer, als wenn CO<sub>2</sub> alleine betrachtet wird.

Andere Massnahmen hingegen können zwar Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte reduzieren, erhöhen dabei aber potenziell CO<sub>2</sub>-Emissionen. Bei Anpassungen in Triebwerken besteht beispielsweise ein Zielkonflikt zwischen Emissionen von CO<sub>2</sub> und Stickoxiden (NO<sub>x</sub>). Umfliegen von Zonen, welche bezüglich Wolkenbildung kritisch sind, führt zumeist zu einer Zunahme von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Batterieelektrisches Fliegen kann Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte im Flug gänzlich verhindern, aber indirekt zu einer Zunahme von CO<sub>2</sub>-Emissionen führen (siehe Abschnitt 2.4). Die Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte von Wasserstoffflugzeugen sind noch ungewiss. Massnahmen mit solchen Zielkonflikten sollten erst dann ergriffen werden, wenn ein belastbares Verständnis über die involvierten Zielkonflikte besteht (Lee 2023). Arbeiten dazu laufen bspw. zurzeit in der EU, mit dem Ziel, Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte getrennt von CO<sub>2</sub>-Emissionen in das Emissionshandelssystem einzubeziehen (siehe Abschnitt 3.2).

<sup>23</sup> Der Bericht der ICAO zur Erreichbarkeit eines Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Ziels enthält eine detaillierte Aufschlüsselung der Kostenpunkte nach Stakeholder (ICAO 2022a).

<sup>24</sup> Stand 2019, abrufbar unter <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/airline-industry-economic-performance-june-2020-data-tables/> (Stand 12.1.2024)

## 2.6 Negativemissionstechnologien

Art. 3 Abs. 1 KIG hält fest, dass zum Erreichen des Netto-Null-Ziels die Wirkung der verbleibenden THG-Emissionen durch die Anwendung von NET in der Schweiz und im Ausland auszugleichen ist. Die Verminderung von THG-Emissionen hat jedoch gemäss Art. 3 Abs. 1 Bst. a KIG Priorität. NET sollen nur dort eingesetzt werden, wo Emissionen nicht oder nur schwer vermeidbar sind (Bundesrat 2022). Art. 2 Bst. a KIG definiert NET als «biologische und technische Verfahren, um CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen und dauerhaft in Wäldern, in Böden, in Holzprodukten oder in anderen Kohlenstoffspeichern zu binden». Der Bericht des Bundesrates «CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativeemissionstechnologien (NET). Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können» weist den Bedarf für NET in verschiedenen Sektoren aus (Bundesrat 2022). Der Bedarf in der Luftfahrt wird darin nicht analysiert. Mit den erwarteten Entwicklungen gemäss Abbildung 1 und der Nachfrageentwicklung gemäss Kasten in Abschnitt 2.7 würde ein jährlicher Bedarf in der Grössenordnung von 1-2 Millionen Tonnen resultieren. Der Bericht des Bundesrates zum Postulat 18.4211 enthält eine Übersicht zu den aktuell zur Verfügung stehenden Technologien (Bundesrat 2020).

Zum Potenzial von NET macht der Bericht die folgenden Aussagen: «Viele grundlegende Fragen an die Umsetzung von NET, wie Kosten, Umweltauswirkungen oder Zielkonflikte, sind auf nationaler wie auch internationaler Ebene nicht ausreichend geklärt. Entsprechend können kaum belastbare Aussagen zu den *nachhaltig realisierbaren* Potenzialen einzelner NET in der Schweiz gemacht werden. Zudem sind alle diskutierten Verfahren entweder in der Praxis noch nicht erprobt oder nicht einsatzbereit in dem Ausmass, das für die Klimaziele benötigt wird. Um diesen Wissensdefiziten zu begegnen, müssten die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu NET massiv hochgefahren werden» (Bundesrat 2020). Bereits klar ist, dass das Gesamtpotenzial für NET ist in der Schweiz wie auch im Ausland limitiert ist. Der Einsatz von NET bringt einen Bedarf an Energie, Ressourcen und Investitionen mit sich. Die Kostenschätzungen verschiedener Technologien gehen weit auseinander und weisen eine hohe Unsicherheit auf (Bundesrat 2020).

Zentral ist der Unterschied zwischen heute üblichen Kompensationen von CO<sub>2</sub>-Emissionen und NET: Das Kompensieren von Emissionen entspricht einem Handel mit zertifizierten Emissionsreduktionen. Dabei wird die Reduktion mit dem Ausgangszustand verglichen und entsprechend angerechnet. Anders als bei NET handelt es sich dabei in der Regel nicht um negative Emissionen. Im Kontext der Netto-Null-Ziele sämtlicher Sektoren werden solche klassischen Kompensationen bis 2050 voraussichtlich kaum mehr in grösserem Ausmass verfügbar sein.

## 2.7 Marktbasierte Massnahmen

Marktbasierte Massnahmen für den Umweltbereich wurden entwickelt, um Umweltziele mit möglichst tiefen Kosten und hoher Flexibilität zu erreichen. Im Grundsatz setzen sie marktwirtschaftliche Anreize für den Luftfahrzeugbetreiber, Emissionen zu reduzieren. In der Schweizer Luftfahrt sind mehrere markt-basierte Massnahmen im Hinblick auf CO<sub>2</sub>-Emissionen in Kraft: Art. 16a des Bundesgesetzes über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Gesetz, SR 641.71) verpflichtet Flugzeugbetreiber seit 2020 zur Teilnahme am Emissionshandelssystem (EHS) der Schweiz. Es sieht eine Obergrenze für die Emissionen auf nationalen Flügen sowie auf internationalen Flügen ab der Schweiz in den europäischen Wirtschaftsraum und das Vereinigte Königreich vor. In der Gegenrichtung werden die jeweiligen Flüge von den Emissionshandelssystemen der EU und des UK erfasst. 2023 beträgt diese Obergrenze rund 1,2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>. Seit 2021 wird diese Obergrenze jährlich um 2,2 % reduziert. Flugzeugbetreiber müssen für ihre CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den einbezogenen Routen Emissionsrechte erwerben. Beim durchschnittlichen Marktpreis in 2023 von rund 90 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub> liegt der Marktwert dafür bei über 100 Mio. CHF. 82 % dieser Emissionsrechte werden aktuell frei zugeteilt, 15 % werden versteigert und 3 % einer Reserve zugeführt. Das Schweizer EHS ist durch ein Verknüpfungsabkommen mit dem EHS der EU verbunden<sup>25</sup>. Damit haben sich auch beide Seiten verpflichtet, das jeweilige EHS im Einklang mit dem EHS der Gegenseite weiterzuentwickeln. Im EHS der EU besteht eine Zweckbindung für

<sup>25</sup> Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Union zur Verknüpfung ihrer jeweiligen Systeme für den Handel mit Treibhausgasemissionen vom 23. November 2017 (SR 0.814.011.268)



die Versteigerungserlöse sämtlicher Sektoren von 2021 bis 2030. Diese fliessen in einen Fonds, welcher wiederum innovative Technologien zur Erreichung von Klimazielen unterstützt. In der EU wurde am 10. Mai 2023 eine Revision des EHS verabschiedet, welche auch Auswirkungen auf die aktuelle Ausgestaltung des EHS der Schweiz hat (siehe Abschnitt 3.2).

Ein weiteres marktbasierendes System ist das Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) der ICAO<sup>26</sup>. Dieses dient zur Umsetzung des ICAO-Ziels von einem CO<sub>2</sub>-neutralen Wachstum des globalen internationalen Luftverkehrs ab 2020. Ab 2027 schreibt es eine Kompensation derjenigen Emissionen vor, welche 85 % der Emissionen von 2019 überschreiten. Der nachgewiesene Einsatz von SAF führt dabei zu einer (proportionalen) Reduktion der Kompensationsverpflichtung. Die Schweiz nimmt auf freiwilliger Basis bereits früher an diesem System teil: Seit 2021 müssen Emissionen erfasst und kompensiert werden, sobald sie den Grenzwert überschreiten. Aufgrund der Auswirkungen der Covid-19-Pandemie und dem damit verbundenen Rückgang des Luftverkehrs sind erste Kompensationen aber erst für 2024 zu erwarten. Die Kosten dafür werden pro Tonne CO<sub>2</sub> auf weniger als 10 Franken geschätzt<sup>27</sup>.

Marktbasierende Massnahmen können Anreize setzen zur Reduktion von Emissionen<sup>28</sup>. Pro Tonne CO<sub>2</sub> ist dabei der Anreiz von CORSIA deutlich geringer als beim EHS. Hinderlich sind zudem Marktverzerrungen gegenüber Unternehmen und Staaten, die nicht eingebunden sind. Die Verknüpfung der EHS der Schweiz und der EU vermeidet eine Marktverzerrung nur zwischen der Schweiz und den umliegenden Staaten. Anders sieht dies an den Aussengrenzen des Europäischen Wirtschaftsraums aus: So unterliegen Flüge aus der Schweiz zu Destinationen ausserhalb des Europäischen Wirtschaftsraums und dem Vereinigten Königreich nicht dem EHS. CORSIA hingegen ist die erste marktbasierende Massnahme mit globalem Geltungsbereich und deckt praktisch sämtliche Emissionen des zivilen internationalen Luftverkehrs ab. Hier ist keine signifikante Marktverzerrung zu erwarten. Bei nationalen Instrumenten, welche internationale Flüge nicht betreffen, ist dieser Effekt ebenfalls gering (siehe Abschnitt 3.1).

### Entwicklung der Nachfrage

Die komplexe Abhängigkeit von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen erschweren zuverlässige Prognosen zur Nachfrage von Flugreisen bis 2050. Nach der Covid-19-Pandemie wurden bestehende Prognosen zur Nachfrage nach Flugtransporten meist nach unten korrigiert, zumindest nach dem Erreichen des Niveaus von 2019. Die ICAO geht für Europa für den Passagierverkehr von einem jährlichen Wachstum von 2,3 % bis 3,1 % aus (rund 10 % weniger als vor Covid-19)<sup>29</sup> und die EASA geht für Europa von einem jährlichen Wachstum von -0,3 % bis 1,7 % aus, rund 40 % weniger als vor Covid-19 (EASA 2019, EASA 2022). Damit liegen die Prognosen weit unter dem jährlichen Wachstum des Schweizer Luftverkehrs von 8,5 % zwischen 1990 und 2019. Bereits heute ist die Kapazität auf den Schweizer Flughäfen limitiert, aufgrund von Betriebszeiten (generelles Nachtflugverbot) und Einschränkungen in Betriebsreglementen. Langfristig schränkt auch die begrenzte Infrastruktur das Wachstumspotenzial ein. Eine weitere Steigerung der Kapazität ist dadurch mit grossen Hindernissen verbunden.

Eine Reduktion der Nachfrage im Luftverkehr könnte beispielsweise durch eine Umlagerung gewisser Flüge auf den Schienenverkehr erfolgen. Dafür kommen ausschliesslich innereuropäische Flüge mit einer Distanz von unter 1000 km in Frage. Diese Flüge entsprechen 14 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Luftverkehrs in Europa (T&E 2020). Eine Studie kommt zum Schluss, dass das Potenzial für Emissionsreduktionen des Luftverkehrs ab Europa durch eine Umlagerung auf die Schiene mit maximal rund 3 % eher gering ist (T&E 2020, Eurocontrol 2021). Für viele der Reiseziele in dieser Distanzklasse gibt es keine wettbewerbsfähigen Zugverbindungen (BAV 2023). Diese zu erschliessen, würde einen Ausbau der Infrastruktur primär im Ausland erfordern (BAV 2023).

<sup>26</sup> <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/themen/umwelt/klima/oekonomische-massnahmen/corsia.html> (Stand: 12.1.2024)

<sup>27</sup> [https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA\\_Newsletter\\_Nov\\_2021.pdf](https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Documents/CORSIA_Newsletter_Nov_2021.pdf) (Stand: 12.1.2024)

<sup>28</sup> Da marktbasierende Massnahmen keine direkte Emissionsreduktion pro Transportleistung bewirken, taucht ihr Beitrag nicht in Abbildung 1 auf.

<sup>29</sup> <https://www.icao.int/sustainability/Documents/Post-COVID-19%20forecasts%20scenarios%20tables.pdf> (Stand: 12.1.2024)

## 3 Umsetzungskonzept für die Schweiz

### 3.1 Bestehende Instrumente

In der Schweiz sind bezogen auf die Luftfahrt bereits mehrere markbasierte Massnahmen in Kraft. Dazu gehören das EHS sowie CORSIA (siehe Abschnitt 2.7). CORSIA betrifft den internationalen Luftverkehr, das EHS den nationalen und einen Teil des internationalen Luftverkehrs.

Für die Luftfahrt innerhalb der Schweiz besteht mit der Mineralölsteuer ein Instrument mit Auswirkungen auf die Klimawirkung des Luftverkehrs der Schweiz. Zu leisten sind dabei je 1000 Liter Flugtreibstoff gemäss Art. 12 MinöStG die Mineralölsteuer von aktuell Fr. 439.50 sowie ein Mineralölsteuerzuschlag von 300 Franken. Ein Teil dieser Einnahmen wird gemäss Art. 37a des Bundesgesetzes über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer und weiterer für den Strassen- und Luftverkehr zweckgebundener Mittel (MinVG) für Sicherheits- und Umweltmassnahmen im Luftverkehr eingesetzt, die sogenannte Spezialfinanzierung Luftverkehr. Das MinöStG hat damit eine mehrfache, wenngleich geringe Wirkung zugunsten des Klimas: Einerseits besteht durch die Steuer ein Anreiz zur Reduktion des Treibstoffverbrauchs auf Inlandflügen, andererseits können mit der Spezialfinanzierung Luftverkehr Klimamassnahmen gefördert werden. Zudem können Luftfahrzeugbetreiber eine Steuererleichterung beantragen, wenn sie auf Inlandflügen SAF einsetzen. Der verwendete Treibstoff muss die Kriterien gemäss Art. 12b und c MinöStG einhalten. Die Steuererleichterung ist aktuell bis Ende 2024 befristet, gemäss Erstberatung des Parlaments zum CO<sub>2</sub>-Gesetz für die Zeit nach 2024 soll sie bis Ende 2030 verlängert werden.

Für Flüge im Inland besteht zudem gemäss Art. 26 CO<sub>2</sub>-Gesetz eine Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure. So muss ein gewisser Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Verkehr durch Bescheinigungen kompensiert werden. Die Kosten dafür dürfen maximal fünf Rappen pro Liter Treibstoff betragen. Die Umsetzungsbestimmungen enthalten Art. 86 bis 92 der Verordnung über die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Verordnung, SR 641.711).

### 3.2 Internationaler Kontext

2021 stellte die Europäische Kommission das «Fit for 55»-Paket vor. Dieses enthält Massnahmen, um das EU-Klimaziel einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 55 % bis 2030 gegenüber 1990 zu erreichen. Darunter sind auch Massnahmen mit einer direkten Auswirkung auf die Schweiz. Bereits beschlossen wurde eine Verschärfung des EHS<sup>30</sup>: Die Obergrenze der zulässigen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird pro Jahr stärker als bisher gesenkt, nämlich ab 2024 um 4,3 % und ab 2028 um 4,4 %. Die kostenlose Zuteilung von Emissionsrechten wird gekürzt und ab 2026 gestoppt. Per Anfang 2024 wurden Gebiete in äusserster Randlage der EU Teil des Anwendungsbereichs des EHS der EU. Zudem sollen von 2024 bis 2030 insgesamt 20 Mio. Emissionsrechte (mit einem geschätzten Gegenwert von knapp 2 Mrd. EUR in 2023) als Vergütungen für den Einsatz von SAF eingesetzt werden können, um den Aufpreis von SAF zu reduzieren. Weiter ist ab 2028 ein Einbezug von Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten in das EU EHS geplant. Die Grundlagen dafür sollen in den kommenden Jahren erarbeitet werden. Mit einer Anpassung der «Energy Taxation Directive», einer weiteren Massnahme des «Fit for 55»-Pakets, sieht die Europäische Kommission die Erhebung einer Steuer auf Flugtreibstoffe auch im internationalen Flugverkehr innerhalb der EU vor<sup>31</sup>. Mitgliedstaaten sollen dabei auch Flugtreibstoffe für Flüge ausserhalb der EU besteuern können. Die Beratungen dazu sind noch nicht abgeschlossen, eine allfällige Annahme und gegebenenfalls das Inkrafttreten sind noch ungewiss.

<sup>30</sup> Richtlinie (EU) 2023/958 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 10. Mai 2023 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG in Bezug auf den Beitrag des Luftverkehrs zum gesamtwirtschaftlichen Emissionsreduktionsziel der Union und die angemessene Umsetzung eines globalen marktbasiereten Mechanismus ABl. L 130 vom 16.5.2023, S. 134.

<sup>31</sup> Vorschlag für eine Richtlinie des Rates vom 14. Juli 2021 zur Restrukturierung der Rahmenvorschriften der Union zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (Neufassung)



Der für die Klimawirkung des Luftverkehrs bedeutsamste Rechtsakt aus dem «Fit for 55»-Paket ist die «ReFuelEU Aviation»-Verordnung<sup>32</sup>. Über diese Verordnung wird eine Beimischpflicht für SAF eingeführt. Diese beginnt mit einer verpflichtenden Beimischung von 2 % SAF ab 2025, welche bis 2050 auf 70 % ansteigen wird. Um frühzeitig synthetische SAF zu fördern, wird ab 2030 eine Subquote für diese Treibstoffe eingeführt. Der Einsatz von Wasserstoff kann dabei auch an diese Ziele angerechnet werden. Teil der «ReFuelEU Aviation»-Verordnung ist auch eine Beschränkung von Tankering, also dem Mitführen von überschüssigem Treibstoff, damit bei Rückflügen zu Zielen ausserhalb der EU die Beimischpflicht nicht umgangen werden kann. Global sind in mehreren Staaten ähnliche Regulierungen in Arbeit oder bereits in Kraft<sup>33</sup>.

### 3.3 Geplante Instrumente bis 2030

Die bestehenden Massnahmen setzen erste Anreize für eine Effizienzsteigerung der Luftfahrt und führen zu Kompensation und Reduktion eines Teils ihrer fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Im Hinblick auf die Herausforderungen (siehe Abschnitt 2.5) sind jedoch zeitnah weitere Massnahmen notwendig, um CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050 zu ermöglichen. So macht es der ambitionierte Zeitrahmen erforderlich, rasch die Rahmenbedingungen für den Markthochlauf von SAF zu schaffen. Dies soll mit einem Schweizer Anschluss an die europäisch harmonisierte Beimischpflicht umgesetzt werden. Darüber hinaus sieht der Bundesrat vor, die Entwicklung und den Einsatz innovativer Technologien zur Reduktion der Klimawirkung des Luftverkehrs subsidiär zu fördern. Zudem soll die Weiterentwicklung von international abgestützten marktbasierenden Massnahmen das Erreichen von CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen unterstützen. So wird die Schweiz die Anpassungen des EU EHS spiegeln, basierend auf der Verknüpfung der beiden Systeme. Das überarbeitete EHS wird ohne kostenlose Zuteilung von Emissionsrechten ab 2026 den Anreiz zur Effizienzsteigerung von Flugzeugen und Betrieb verstärken, damit aber auch Kosten für Luftfahrzeugbetreiber erhöhen.

Eine SAF-Beimischpflicht für die Schweiz legte der Bundesrat im September 2021 in der Botschaft zur Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes vor. Die Botschaft enthält den Grundsatz, dass sich die Beimischpflicht an der Regulierung in der EU orientiert. Damit soll eine Marktverzerrung verhindert werden. Seit der Publikation dieser Botschaft wurde die Umsetzung in der EU konkretisiert und durch das Europäische Parlament verabschiedet. Die Bestimmungen aus der «ReFuelEU Aviation»-Verordnung und die dem CO<sub>2</sub>-Gesetz stimmen im Kern miteinander überein. Die Verwaltung schlug entsprechend eine Übernahme dieser Verordnung im Rahmen des Luftverkehrsabkommens zwischen der Schweiz und der EU<sup>34</sup> vor, da dieses Vorgehen für die Schweiz vorteilhafter wäre als eine eigene Umsetzung via CO<sub>2</sub>-Gesetz. Insbesondere würde damit der Vollzug wesentlich vereinfacht und Wettbewerbsverzerrungen direkt verhindert. Experten der EU haben der Schweiz gegenüber signalisiert, dass die EU die Übernahme im Rahmen des Luftverkehrsabkommens begrüssen würde. Der Nationalrat hat diesen Weg bestätigt, die Beratung im Ständerat dazu ist für die Frühlingssession 2024 vorgesehen. Mit den Quoten der «ReFuelEU Aviation»-Verordnung wird bis 2050 eine Reduktion der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 70 % ermöglicht. Durch stringente Nachhaltigkeitskriterien wird dabei die Gesamtwirkung auf die Umwelt berücksichtigt.

Zur Förderung des Markthochlaufs von SAF sowie weiteren Technologien zum Erreichen von CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen will der Bundesrat zusätzliche Mittel zugänglich machen. So enthält die Botschaft zur Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes Fördermittel im Umfang von 150 Mio. CHF bis 2030. Der Ständerat brachte analog eine Zweckbindung für das Schweizer EHS in die Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes ein. Dabei sollen Versteigerungserlöse grundsätzlich für die Förderung von Massnahmen im selben Sektor eingesetzt werden. Zudem kann der Bundesrat einen Mechanismus analog zum EU EHS mit Vergütungen für die Vertankung von SAF vorsehen. Zuletzt sollen – bei Übernahme der EU-Beimischpflicht – allfällige Sanktionsgelder

<sup>32</sup> Verordnung (EU) 2023/2405 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Oktober 2023 zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr (Initiative „ReFuelEU Aviation“), ABl. L, 2023/2405, 31.10.2023, ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj>

<sup>33</sup> Eine Übersicht dazu bietet <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Policies.aspx> (Stand 12.1.2024)

<sup>34</sup> Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Luftverkehr vom 21. Juni 1999 (SR 0.748.127.192.68)

ebenfalls in den Markthochlauf fliessen. Diese neuen Mittel gilt es koordiniert über ein Instrument umzusetzen. Der Fokus liegt dabei auf einer möglichst effektiven Unterstützung von Massnahmen, welche bereits nahe an der Marktreife sind. Dazu gehören innovative Schweizer Technologien, welche die Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft verbessern können. Eine Strategie zur Förderung inklusive einer Roadmap zur Skalierung der benötigten Optimierungen in Technologie und Flugbetrieb wird derzeit unter Führung des BAZL erarbeitet, damit die Förderung zeitnah nach dem Inkrafttreten zielgerichtet ihre Wirkung entfalten kann. Die Grundlagen für eine effektive Förderung des SAF-Markthochlaufs enthalten die Berichte des BAZL, der ICAO und der Europäischen Zivilluftfahrtkonferenz ECAC zu diesem Thema (BAZL 2022, ICAO 2022a, ECAC 2023).

### **Einflussnahme auf Nachfrage**

In den vergangenen Jahren forderten mehrere parlamentarische Vorstösse, die Befreiung von Flugtreibstoffen für den internationalen Luftverkehr von der Mineralölsteuer aufzuheben<sup>35</sup>. Dies sollte die Nachfrage nach Flugtransporten senken. Hier hat die Schweiz jedoch kaum rechtlichen Spielraum: Die Steuerbefreiung von Flugtreibstoffen für den internationalen Luftverkehr ist weltweit etabliert. Konkret enthalten bilaterale Luftverkehrsabkommen der Schweiz diese Bestimmung, im Einklang mit auf der Konvention von Chicago basierenden Empfehlungen der EU. Diese Praxis unilateral anzupassen ist daher nicht möglich, dies müsste international geschehen. Dazu hielt der Bundesrat in der Stellungnahme auf die Motion Masshardt (20.3523 «Chicagoer Abkommen von 1944 anpassen und. Flugverkehr endlich besteuern») fest: «Sollte es international Spielraum bei der Frage der allgemeinen Besteuerung von Flugtreibstoffen im globalen Verkehr geben, wird der Bundesrat entsprechende Bemühungen unterstützen» (vgl. Abschnitt 3.2).

Eine Möglichkeit, Einfluss auf die Nachfrage zu nehmen, wäre das Erheben von Abgaben auf Flugtickets. Die Nachbarstaaten der Schweiz weisen geringe Abgaben für Flugpassagiere auf, diese liegen für internationale Flüge durchschnittlich bei 5–20 Euro (EU-Kommission 2019). Die Wirkung eines nationalen Abgabearguments für den internationalen Luftverkehr wäre jedoch fraglich: Eine Schweizer Regelung mit signifikant höheren Abgaben als bei Flughäfen im nahen Ausland würde automatisch zu einer entsprechenden Wettbewerbsverzerrung führen. In der Folge ist mit Ausweichverkehr zu rechnen, was mit einer Zunahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden ist und damit die Wirksamkeit von hohen Abgaben in Frage stellt. Geringe Abgaben hingegen haben hinsichtlich der tiefen Preiselastizität kaum eine nennenswerte Wirkung auf die Nachfrage (Ecoplan 2021).

Der Bundesrat sieht mit der Botschaft zum revidierten CO<sub>2</sub>-Gesetz grundsätzlich keine neuen oder höheren Abgaben vor. Seit der Volksabstimmung zur letzten Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes lehnte auch das Parlament sämtliche Vorstösse für zusätzliche Abgaben im Flugverkehr ab. Damit behält der Bund die Abgrenzung zwischen nationalen und internationalen Instrumenten bei: Mit der Kompensationspflicht und der Mineralölsteuer greifen nationale Massnahmen ausschliesslich für die Luftfahrt innerhalb der Schweiz. Hier kann eine direkte Wirkung erzielt werden und eine Marktverzerrung ist nicht zu befürchten. Mit CORSIA und dem EHS sind die Instrumente für den internationalen Luftverkehr international abgestimmt. Hier beteiligt sich der Bund aktiv an deren Weiterentwicklung und im Fall des EHS an einer entscheidenden Verstärkung (siehe Abschnitt 3.2).

## **3.4 Ausblick bis 2050**

Art. 12 Abs. 1 des KIG hält fest, dass Bundeserlasse in verschiedenen Bereichen, darunter im Luftverkehr, so ausgestaltet und angewendet werden sollen, dass sie zur Erreichung der Klimaziele beitragen. Abschnitt 3.3 zeigt den Bedarf dafür auf: Mit den bestehenden und geplanten Instrumenten können über

<sup>35</sup> Ip. 19.3508 Schneider Schüttel «Die Befreiung des Kerosins von der Mineralölsteuer ist nicht mehr zeitgemäss. Änderung des Chicagoer Abkommens», Mo. 20.3383 Grüne Fraktion «Der Bundesrat muss sich auf internationaler Ebene für die Einführung einer Kerosinsteuer einsetzen», Mo. 20.3523 Masshardt «Chicagoer Abkommen von 1944 anpassen und. Flugverkehr endlich besteuern».

70 % der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftfahrt bis 2050 reduziert werden. Dafür müssen diese Instrumente beibehalten und weiterentwickelt werden, insbesondere die Beimischpflicht gekoppelt mit gezielter Förderung, das EHS (im Einklang mit der EU) sowie CORSIA.

Für die Reduktion der übrigbleibenden Emissionen bestehen auch mit den geplanten Gesetzesänderungen noch nicht ausreichend Anreize. Diesem Bedarf kann mit Weiterentwicklung bestehender Instrumente (Beimischpflicht, EHS, CORSIA) oder mit neuen Instrumenten begegnet werden. Zuerst muss sich jedoch die Wirksamkeit der vorgesehenen Massnahmen und Instrumente bestätigen. Die Umsetzung davon fällt in den Zeitraum der Überarbeitung des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für die Zeit nach 2030. Eine spätere Verabschiedung relevanter Beschlüsse würde entweder das fristgerechte Erreichen des Ziels von Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen gefährden, oder zu wirtschaftlich untragbaren Konsequenzen führen. Dies gilt insbesondere für NET. In diesem Bereich sieht der Bundesrat eine gezielte Skalierung ab 2031 vor (Bundesrat 2022). Dafür müssen klare Rahmenbedingungen geschaffen werden, mit einer möglichst verursachergerechten Finanzierung und einer Koordination zwischen allen Sektoren mit entsprechendem Bedarf. Bis Ende 2024 wird der Bundesrat konkrete Vorschläge dazu prüfen (Bundesrat 2022).

Bei sämtlichen Instrumenten muss eine Gesamtschau aller Effekte auf Wirtschaft und Umwelt vorgenommen werden, also auch von vorgelagerten Emissionen und Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekten. Berücksichtigt werden muss auch die Internationalität des Luftverkehrs, einschliesslich den ökonomischen und ökologischen Folgen von Marktverzerrungen durch nationale Instrumente. Damit liegt ein klarer Fokus auf internationaler Abstimmung. Zum einen gilt es, die Entwicklungen in der EU für die Zeit nach 2030 zu berücksichtigen, zum anderen die Entwicklungen in der ICAO zu begleiten und mitzugestalten. Mit der Umsetzung des Ziels von Netto-Null-CO<sub>2</sub>-Emissionen der ICAO sowie einer allfälligen Verlängerung oder Nachfolge des auf 2035 terminierten Instruments CORSIA stehen wegweisende Entscheidungen an. Hier kann sich der Bund aktiv einbringen und damit eine Wirkung über die Schweiz hinaus erreichen. Dies ist auch für die Schweizer Luftfahrtindustrie möglich: Sie kann ein klares Nachfragesignal für effizientere Technologien über die Schweiz hinaus senden.

## 4 CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen im VBS

### 4.1 Ausgangslage

Die Schweizer Luftwaffe verbraucht rund 2 % des insgesamt in der Schweiz vertankten Kerosins. Ihr Anteil an den CO<sub>2</sub>-Emissionen aller in der Schweiz energetisch genutzten Brenn- und Treibstoffe beträgt rund 0,3 %. 2022 verursachten die durch die Luftwaffe vertankten Flugtreibstoffe rund die Hälfte der zurzeit jährlich vom Eidgenössischen Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport (VBS) bilanzierten rund 200 000 t CO<sub>2eq</sub>. Gemäss Bundesratsbeschluss von 2019 hat das VBS den Auftrag, seinen CO<sub>2</sub>-Ausstoss bis 2030 um mindestens 40 % gegenüber 2001 zu reduzieren.

2021 hat das VBS den Aktionsplan Energie und Klima in Kraft gesetzt<sup>36</sup>. Darin sind neben dem Reduktionsziel bis 2030 weitere Zielsetzungen verankert. So soll der Selbstversorgungsgrad durch den Einsatz erneuerbarer Energiequellen gesteigert und Energiespeichermöglichkeiten entwickelt werden. Innovative Lösungen sollen in den kommenden Jahren auch im Bereich der Treibstoffe und Antriebsarten gefördert werden.

Mit der Annahme des KIG am 18. Juni 2023 muss die zentrale Bundesverwaltung bis zum Jahr 2040 mindestens Netto-Null-THG-Emissionen aufweisen. Die ab 1. Januar 2025 geltende gesetzliche Vorgabe zur CO<sub>2</sub>-Reduktion ist somit strenger als die zurzeit im Aktionsplan Energie und Klima festgehaltene Vision des VBS von Netto-Null-THG-Emissionen 2050. Gemäss Art. 10 Abs. 3 KIG kann der Bundesrat «Ausnahmen im Zusammenhang mit der Sicherheit des Landes und dem Schutz der Bevölkerung vorsehen». Die Umsetzungsbestimmungen zum KIG sind zurzeit noch in Arbeit.

<sup>36</sup> <https://www.vbs.admin.ch/de/aktionsplan-energie-klima> (Stand: 12.1.2024)

## 4.2 CO<sub>2</sub>-Reduktionsmassnahmen in der militärischen Luftfahrt

Der Schweizer Luftwaffe stehen zum Erreichen eines CO<sub>2</sub>-neutralen Fliegens grundsätzlich dieselben technischen Massnahmen zur Verfügung wie der zivilen Luftfahrt: Effizientere Flugzeuge, effizienterer Flugbetrieb inklusive Ausbildung, der Einsatz von nachhaltigen Flugtreibstoffen, der Einsatz von Wasserstoff- und Elektroflugzeugen sowie die Anwendung von NET.

Der Ersatz von alten Luftfahrzeugen durch neue, effizientere Luftfahrzeuge ist eine mögliche Massnahme zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Nutzungsdauer von Fluggeräten ist in der Luftwaffe oft länger als in der zivilen Luftfahrt. Deshalb kann die Luftwaffe weniger rasch als die zivile Luftfahrt von technologischen Innovationen und effizienteren Luftfahrzeugen profitieren. Bei der Beschaffung von neuen Fluggeräten werden die Vorgaben der neuen Beschaffungsstrategie VBS vom 1. Februar 2023 umgesetzt (VBS 2023). Diese Strategie gibt vor, dass Wirtschaftlichkeit, Ökologie und soziale Aspekte über den gesamten Lebenszyklus und entlang des gesamten Beschaffungsablaufs berücksichtigt und die Beschaffungsverfahren für innovative Lösungen geöffnet werden müssen.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Luftwaffe können niedrig gehalten werden, indem die Flugstunden so niedrig wie nötig gehalten werden. Dazu werden bereits heute, wenn möglich, Simulatoren in der Flugausbildung eingesetzt. Weiter sind die benötigten Flugbewegungen und Flugstunden abhängig von der Flugzeugflotte. So wird die neue F-35A-Flotte einen tieferen Flugstundenbedarf und einen um rund 25 % geringeren Jahreskerosinverbrauch haben als die gegenwärtige Kampfflugzeugflotte.

Analog zur zivilen Luftfahrt sind SAF auch für die militärische Aviatik zertifiziert, bis zu einer maximalen Zumischung von 50 %. Eingesetzt werden sie auch im militärischen Bereich bereits von mehreren Staaten, darunter der Schweiz. Es wird davon ausgegangen, dass Hersteller von militärischen Luftfahrtsystemen längerfristig den Einsatz von 100 % SAF zulassen werden.

Der Einsatz von Wasserstoff- und Elektroflugzeugen im militärischen Bereich ist aus verschiedenen Gründen herausfordernd: Das Aufgaben- und Leistungsspektrum von Kampfflugzeugen kann durch Flugzeuge mit diesen Antriebstechnologien nicht erfüllt werden. Möglicherweise besteht ein gewisses Potenzial für einen Einsatz in der Ausbildung oder im Bereich unbemannter Luftfahrzeuge (Drohnen). Insgesamt ist es unwahrscheinlich, dass diese Antriebsarten in naher Zukunft einen relevanten Beitrag zu einem CO<sub>2</sub>-neutralen militärischen Flugbetrieb leisten können.

Klimaschutzmassnahmen des VBS müssen so ausgestaltet werden, dass die Erfüllung des Auftrags der Armee nicht eingeschränkt wird. Entsprechend wird die Umsetzung des KIG voraussichtlich zum Ausgleich von gewissen Klimawirkungen des VBS mit NET führen.

## 4.3 Massnahmen bis 2030

Der Aktionsplan Energie und Klima VBS verpflichtet die Luftwaffe, bis 2030 einen substantiellen Beitrag zur Reduktion der Emissionen von fossilem CO<sub>2</sub> des VBS zu leisten. Zu diesem Ziel trägt der Einsatz von SAF sowie der Flottenersatz bei, insbesondere die schrittweise Einführung der F-35A-Flotte. Voraussichtlich bis 2040 wird die heutige Flugzeugflotte der Luftwaffe vollständig erneuert sein. Zudem soll eine Verbesserung von Prozessen am Boden und in der Luft dazu beitragen, den Treibstoffbedarf zu reduzieren.

2023 begann die Gruppe Verteidigung, SAF zu fossilem Kerosin beizumischen. In den Jahren 2023 bis und mit 2027 sollen jährlich rund 700 Tonnen SAF (vorgemischt mit fossilem Treibstoff) beschafft werden, was rund 2 % des Kerosinverbrauchs der Luftwaffe entspricht. Ab 2027 ist geplant, dass der SAF-Anteil bis 2030 auf ca. 10 % steigt, also rund 4000 Tonnen SAF pro Jahr.

Im Zeitraum 2020–2030 werden die verbleibenden THG-Emissionen gemäss dem Bundesratsbeschluss zum Klimapaket vollständig durch entsprechende Bescheinigungen kompensiert.

## 4.4 Ausblick bis 2050

Um die Vorgaben des KIG einhalten zu können – und so auch das Ziel von CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen bis 2050 zu unterstützen –, muss die Luftwaffe über 2030 hinaus Massnahmen ergreifen. Der Flottenersatz wird auch in Zukunft voraussichtlich zu Effizienzgewinnen führen. Die hauptsächliche Massnahme zur Reduktion der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen wird voraussichtlich der Einsatz von nachhaltigen Treibstoffen sein. Übrigbleibende Emissionen müssen mit NET ausgeglichen werden. Das konkrete Potenzial für die Reduktion von fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen der einzelnen Massnahmen zwischen 2030 und 2050 lässt sich noch nicht beziffern, da es von der Entwicklung verschiedener Technologien abhängt. Besonders entscheidend ist die ausstehende Zertifizierung militärischer Luftfahrtsysteme für den Einsatz von 100 % SAF.

## 4.5 Kostenfolgen

Die Herausforderungen zur Reduktion der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen im VBS liegen nicht nur bei der Verfügbarkeit von Technologie, sondern auch bei deren Finanzierung. So ist SAF aktuell schwer verfügbar und teuer. Durch die Beimischung von 2 % SAF von 2023 bis 2027 ist mit jährlichen Mehrkosten zwischen 1,1 und 2,2 Mio. CHF zu rechnen. Bei einer Beimischung von ca. 10 % SAF ab 2030 entstehen Mehrkosten von 5 bis 10 Mio. CHF, mit der Einführung der «ReFuelEU Aviation»-Verordnung wird die Situation bezüglich Verfügbarkeit und Preis unvorhersehbarer. Es ist damit zu rechnen, dass der Einsatz von SAF den finanziellen Mittelbedarf der Luftwaffe bis 2050 substantiell erhöht.

## 5 Fazit

Der Luftverkehr kann mit neuartigen Technologien bis 2050 fossile CO<sub>2</sub>-Emissionen weitgehend vermeiden und damit seine externen Kosten reduzieren. Die wichtigste Massnahme dafür sind nachhaltige Treibstoffe. Fossile Treibstoffe komplett zu ersetzen wird jedoch länger als bis 2050 dauern, entsprechend können bis dann voraussichtlich 10 % bis maximal 23 % der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vermieden werden. Um diese übrigbleibenden Emissionen auszugleichen, werden also NET benötigt. Mit einer Kombination dieser Massnahmen kann der Luftverkehr ab Schweiz bis 2050 CO<sub>2</sub>-Neutralität erreichen.

Herausfordernd sind dabei mehrere Aspekte. Zum einen bringen sowohl SAF als auch NET einen hohen Bedarf für Rohstoffe und Energie aus erneuerbaren Quellen mit sich. Dabei steht die Luftfahrt in Konkurrenz mit Bedarf aus weiteren Sektoren. Insgesamt ist das Potenzial für NET aus heutiger Sicht limitiert. Eine weitere Herausforderung stellt der ambitionierte Zeitrahmen dar. Die Skalierung der benötigten Technologien für die SAF-Produktion wie auch der benötigte Fortschritt im Bereich der technischen und operationellen Massnahmen muss international rasch gelingen. Dies geht mit verschiedenen Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft einher, welche es dabei zu minimieren gilt. Eine zentrale Voraussetzung für das Ermöglichen von CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen ist die rechtzeitige und ausreichende Finanzierung der Massnahmen.

Bereits in Kraft sind in der Schweizer Luftfahrt mehrere marktbasierende Massnahmen, insbesondere das EHS und CORSIA mit Berücksichtigung der internationalen Luftfahrt. Während diese bereits gewisse Anreize für eine Effizienzsteigerung setzen, sind diese alleine nicht ausreichend für das Erreichen von CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen. Das CO<sub>2</sub>-Gesetz für die Zeit nach 2024 enthält (vor der Differenzbereinigung im Parlament) weiter- und neuentwickelte Instrumente, welche bei den grössten Herausforderungen ansetzen. Mit den Beimischquoten für nachhaltige Flugtreibstoffe sollen verpflichtende, langfristige Rahmenbedingungen geschaffen werden für deren Skalierung. Dazu gehört der subsidiäre und zeitlich begrenzte Einsatz von zusätzlichen Fördermitteln, um das Investitionsrisiko in neuartige Technologien zu senken. Verschärft wird zudem das EHS. Mit diesen Instrumenten stellt der Bund die Weichen für eine Reduktion von über 70 % der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Luftverkehr.

Mit diesen Massnahmen kann der Luftverkehr seine externen Kosten teilweise internalisieren, was das Fliegen entsprechend verteuert. Damit wird als sekundärer Effekt eine gewisse Dämpfung der steigenden Nachfrage nach Flugtransporten erwartet, was das Erreichen der Klimaziele begünstigt. Eine internationale Abstimmung der Massnahmen verhindert dabei Marktverzerrungen. Um die verbleibenden Emissionen zu reduzieren oder auszugleichen, sind Vorkehrungen in der Revision für das CO<sub>2</sub>-Gesetz nach 2030 zu treffen. Aufgrund der internationalen Ausrichtung des Schweizer Luftverkehrs muss auch hier auf den Abgleich im internationalen Kontext geachtet werden.

Der militärischen Aviatik stehen zum Erreichen eines CO<sub>2</sub>-neutralen Flugbetriebs im Wesentlichen dieselben Massnahmen zur Verfügung wie der Zivilluftfahrt. Aufgrund des Einsatzspektrums militärischer Luftfahrzeuge sind nachhaltige Treibstoffe dabei für die militärische Aviatik besonders wichtig. Die technologische Entwicklung zur Reduktion der THG-Emissionen des militärischen Flugbetriebs schreitet möglicherweise nicht so rasch voran wie im zivilen Bereich.

Das Erreichen von CO<sub>2</sub>-Neutralität in der Luftfahrt ist stark abhängig von neuartigen Technologien in allen Bereichen. Da sich diese heute vielfach noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium befinden, ist ihr Potenzial sowie ihre Kosten noch mit Unsicherheit behaftet. Sobald diesbezüglich mehr Klarheit herrscht, ist eine Aktualisierung dieses Berichts angezeigt. Analog wird sich in den kommenden Jahren auch die Wirkung der heute geplanten und bis dahin eingeführten Massnahmen zeigen, genauso wie die Entwicklung von weiteren Instrumenten im internationalen Kontext. Bis dahin wird auch die Wirksamkeit von Massnahmen zur Reduktion der Nicht-CO<sub>2</sub>-Effekte genauer bekannt sein, was deren Einbezug ermöglichen wird.

## **Anhang: Aktualisierte Stellungnahme zu Postulat der Grünen Fraktion vom 6. Mai 2020 (20.3384 «Masterplan Flugverkehr. Neue Spielregeln für den Flugsektor»)**

Das Postulat der Grünen Fraktion vom 6. Mai 2020 (20.3384 «Masterplan Flugverkehr. Neue Spielregeln für den Flugsektor») forderte die Erarbeitung von Massnahmen, damit der Flugverkehr mit den Klimazielen von Paris vereinbar wird. Der Bundesrat beantragte die Ablehnung des Postulats. In seiner Stellungnahme verwies er auf bestehende Massnahmen und die Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes. Am 9. Mai 2022 wurde das Postulat zurückgezogen, mit der Auflage, dass der Bundesrat im Bericht zum Postulat der Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrats (21.3973 «CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050») auf die zentralen acht Erwägungen des Postulats 20.3384 eingeht. Dieser Abschnitt erfüllt diese Auflage im Hinblick auf die Entwicklungen seit der Einreichung summarisch.

### **Einbezug der Fluggesellschaften und Flughafenbetreiber zum Erreichen der Pariser Klimaziele mit Zielvereinbarungen**

Mit dem Inkrafttreten des KIG besteht gemäss Art. 5 für alle Unternehmen eine gesetzliche Verpflichtung zum Erreichen von Netto-Null-THG-Emissionen bis 2050. Dies betrifft auch schweizerische Fluggesellschaften und Flughafenbetreiber. Damit betrachtet der Bundesrat dieses Anliegen als erfüllt.

### **Vorgaben zur Förderung und zum Einsatz synthetischer Treibstoffe und effizienterer Flugzeuge, insbesondere bei der Flottenerneuerung**

Vorgaben zum Einsatz von nachhaltigen und insbesondere nachhaltigen synthetischen Treibstoffen sind mit der Beimischpflicht bereits in Arbeit. Der technologische Fortschritt und der hohe Anteil der Treibstoffkosten an den Betriebskosten der Fluggesellschaften führen zu einer laufenden Modernisierung der in der Schweiz operierenden Flugzeugflotte und damit zum Einsatz von effizienteren Flugzeugen.

### **Eine proaktive Rolle in internationalen Verhandlungen zur Einführung einer CO<sub>2</sub>-Steuer auf Kerosin und der Integration des Flugverkehrs ins zukünftige Klimaabkommen**

Im Bereich des internationalen Luftverkehrs ist die Einführung einer Steuer auf Flugtreibstoffen aktuell unwahrscheinlich, da international keine Mehrheiten dafür gefunden werden können. Abschnitte 2.7, 3.1 und 3.2 gehen näher darauf ein. Als Mitglied der «friends of fossil fuel subsidy reform» setzt sich die Schweiz im Rahmen der UNFCCC (Klimarahmenkonvention) für die Eliminierung von Subventionen im Bereich fossiler Brenn- und Treibstoffe ein. Sollte es international Spielraum bei der Frage der allgemeinen Besteuerung von Flugtreibstoffen im globalen Verkehr geben, wird der Bundesrat entsprechende Vorhaben prüfen und sie gegebenenfalls unterstützen. Dies hielt der Bundesrat in seiner Antwort auf die Interpellation Schneider Schüttel (19.3508 «Die Befreiung des Kerosins von der Mineralölsteuer ist nicht mehr zeitgemäss. Änderung des Chicagoer Abkommens») so fest.

### **Ein Moratorium für den Ausbau der Flughafeninfrastruktur, bis nachgewiesen werden kann, dass sich diese mit der notwendigen Reduktion der Treibhausgasemissionen des Sektors vereinbaren lassen**

Die Entwicklung der Flughafeninfrastruktur ist im Sachplan Verkehr, Teil Infrastruktur Luftfahrt (SIL) geregelt. Derzeit sind in der Schweiz keine Ausbauten der Flughäfen geplant, welche die Spitzenkapazitäten deutlich erhöhen würden. Aktuell von den Flughäfen geplante Optimierungen dienen einem pünktlicheren Betrieb. Allfällige Ausbauten mit Auswirkungen auf Kapazitäten würden auf Stufe Sachplanung sowie in den entsprechenden Plangenehmigungsverfahren auf ihre Umweltverträglichkeit hin überprüft. Damit ist aus Sicht des Bundesrats dieses Anliegen bereits hinreichend erfüllt.

### **Die Einführung einer Nachtflugsperre von mindestens acht Stunden**

Die Nachtflugordnungen der Schweizer Flughäfen sind zum Schutz der Bevölkerung vor Nachtfluglärm schon heute streng. Der Lupo 2016 hält dazu fest: «Weitere Einschränkungen der Betriebszeiten der Landesflughäfen sollen nur dann geprüft werden, wenn sich auch im europäischen Umfeld verlängerte



Nachruhezeiten durchsetzen, die über das in der Schweiz bestehende Regime hinausgehen» (Bundesrat 2016). Der Bundesrat hat dies mehrfach bestätigt, namentlich in seiner Antwort auf die Motion Schlatter (20.3275 «Neustart Luftfahrt. Nachtflugverbot»). Eine Verlängerung von Nachruhezeiten hätte – bei gleichbleibender Kapazität über den Tag – insgesamt eine Reduktion der Kapazität zur Folge. Die Klimawirkung einer solchen Massnahme ist fraglich (vgl. auch Abschnitt 3.3), da damit ein wesentlicher Ausweichverkehr ins nahe Ausland zu erwarten wäre, während wirtschaftliche Nachteile in Kauf genommen werden müssen.

### **Die Verlagerung von kommerziellen Transit- und weiteren Inlandflügen auf die Schiene**

Kommerzielle Zubringerflüge im Inland haben einen Anteil von unter 1 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schweizer Luftverkehrs. Weitere Inlandflüge haben ebenfalls einen Anteil von rund 1 %. Bei Letzteren ist nicht davon auszugehen, dass äquivalente Angebote im Schienenverkehr bestehen, insbesondere da ein wesentlicher Teil davon auf Helikoptertransporte entfällt. Die Verlagerung auf die Schiene wird im Abschnitt 2.7 diskutiert.

### **Ein Unterstützungspaket für die Bahn, insbesondere für die Entwicklung der internationalen Linien und der Nachtzüge**

Eine Förderung des grenzüberschreitenden Schienenverkehrs ist gemäss Botschaft in der Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes enthalten. So sollen aus den Erlösen des EHS im Luftverkehr zwischen 2025 und 2030 insgesamt 180 Mio. CHF plafondserhöhend dafür eingesetzt werden. Weiter wird diese Frage im Bericht des Bundesrats «Fossilfreien Verkehr bis 2050 ermöglichen» thematisiert.

### **Die Einrichtung eines Umschulungs- und Weiterbildungsfonds, um den Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern Perspektiven in klimaverträglichen Sektoren des öffentlichen Verkehrs zu bieten**

Dieser Bericht zeigt auf, wie auch der Luftverkehr klimaverträglich werden kann. Eine Umschulung von Personal zugunsten anderer Sektoren trägt dazu nicht bei. Entsprechend wird in diesem Bericht nicht weiter darauf eingegangen.

## **Quellenverzeichnis**

Agentur der EU für Flugsicherheit EASA (2019): *European Aviation Environmental Report 2019*. Abrufbar unter: <https://www.eurocontrol.int> > Library (Stand: 12.1.2024).

Agentur der EU für Flugsicherheit EASA (2022): *European Aviation Environmental Report 2022*. Abrufbar unter: <https://www.eurocontrol.int> > Library (Stand: 12.1.2024).

Air Transport Action Group ATAG (2020): *Waypoint 2050*. Abrufbar unter <https://aviationbenefits.org/> > Download Waypoint 2050 report (Stand: 12.1.2024).

Bundesamt für Energie BFE (2020): *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019*. Abrufbar unter <https://www.bfe.admin.ch> > Versorgung > Statistik und Geodaten > Energiestatistiken > Gesamtenergiestatistik (Stand: 12.1.2024).

Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2022): *Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs in der Schweiz - Strassen-, Schienen-, Luft- und Schiffsverkehr 2019*. Abrufbar unter <https://www.are.admin.ch> > Mobilität > Grundlagen und Daten > Externe Kosten und Nutzen des Verkehrs (Stand: 12.1.2024).

Bundesamt für Statistik BFS (2021): *Güterverkehr in der Schweiz 2019*. Abrufbar unter <https://www.bfs.admin.ch> > Statistiken finden > Kataloge und Datenbanken > Publikationen (Stand: 12.1.2024).

Bundesamt für Statistik BFS (2022): *Schweizerische Zivilluftfahrtstatistik 2021*. Abrufbar unter <https://www.bfs.admin.ch> > Statistiken finden > Mobilität und Verkehr > Querschnittsthemen (öffentlicher Verkehr, Zivilluftfahrt) > Zivilluftfahrt (Stand: 12.1.2024).

Bundesamt für Verkehr BAV (2023): *Perspektive BAHN 2050. Hintergrundbericht Vision, Ziele und Stossrichtung*. Abrufbar unter <https://www.bav.admin.ch> > Verkehrsmittel > Eisenbahn > Bahninfrastruktur > Ausbauprogramme > Perspektive BAHN 2050 (Stand: 12.1.2024).



## CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050

- Bundesamt für Umwelt BAFU (2020): *Negative Emissionen: Die wichtigsten Ansätze. Faktenblatt*. Abrufbar unter <https://www.bafu.admin.ch> > Themen > Thema Klima > Fachinformationen > CO<sub>2</sub>-Entnahme und -Speicherung (Stand: 12.1.2024).
- Bundesamt für Umwelt BAFU (2023): *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz (1990-2021)*. Abrufbar unter <https://www.bafu.admin.ch> > Themen > Thema Klima > Daten, Indikatoren und Karten > Daten > Treibhausgasinventar (Stand: 12.1.2024).
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2021): *ICAO Aktionsplan zur CO<sub>2</sub> Reduktion der Schweizer Luftfahrt*. Abrufbar unter <https://www.bazl.admin.ch> > Themen > Umwelt > Klima > ICAO Aktionsplan (Stand: 12.1.2024).
- Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2022): *Bericht des BAZL betreffend die Förderung der Entwicklung und den Einsatz von nachhaltigen Flugtreibstoffen*. Abrufbar unter <https://www.bazl.admin.ch> > Themen > Umwelt > Klima > Nachhaltige Treibstoffe (Stand: 12.1.2024).
- Bundesrat (2016): *Bericht 2016 über die Luftfahrtpolitik der Schweiz (Lupo 2016)*. Abrufbar unter <https://www.fedlex.admin.ch> > Bundesblatt > Ausgaben des Bundesblattes > 2016 > März > 29 > BBl 2016 1847 (Stand: 12.1.2024).
- Bundesrat (2020): *Von welcher Bedeutung könnten negative CO<sub>2</sub>-Emissionen für die künftigen klimapolitischen Massnahmen der Schweiz sein? Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 18.4211 Thorens Goumaz vom 12. Dezember 2018*. Abrufbar unter <https://www.parlament.ch> > Ratsbetrieb > Suche Curia Vista (Stand: 12.1.2024).
- Bundesrat (2021): *Langfristige Klimastrategie der Schweiz*. Abrufbar unter <https://www.bafu.admin.ch> > Themen > Thema Klima > Fachinformationen > Strategie und Ziele der Klimapolitik > Verminderungsziele > Nello-Null-Ziel 2050 > Klimastrategie 2050 (Stand: 12.1.2024).
- Bundesrat (2022): *CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET). Wie sie schrittweise zum langfristigen Klimaziel beitragen können*. Abrufbar unter <https://www.bafu.admin.ch> > Themen > Thema Klima > Fachinformationen > CO<sub>2</sub>-Entnahme und -Speicherung (Stand: 12.1.2024).
- Ecoplan (2021): *Schweizer «Road Map Sustainable Aviation»*. Abrufbar unter <https://arcs.aero> > Projekte > Schweizer «Road Map Sustainable Aviation» (Stand: 12.1.2024).
- Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport VBS (2023): *Beschaffungsstrategie VBS*. Abrufbar unter: <https://www.vbs.admin.ch> > Sicherheit > Beschaffungsstrategie (Stand: 12.1.2024).
- Eurocontrol (2021): *Plane and train: Getting the balance right*. Abrufbar unter: <https://www.eurocontrol.int> > Library (Stand: 12.1.2024).
- Eurocontrol (2022): *Eurocontrol Aviation Outlook 2050*. Abrufbar unter: <https://www.eurocontrol.int> > Library (Stand: 12.1.2024).
- Europäische Kommission, DG MOVE (2019): *Taxes in the field of aviation and their impact. Final report*. Abrufbar unter <https://op.europa.eu> (Stand: 12.1.2024).
- Europäische Zivilluftfahrt-Konferenz ECAC (2023): *ECAC Guidance on Sustainable Aviation Fuels (SAF)*. Abrufbar unter <https://www.ecac-ceac.org/> > Activities > Environment > European Aviation and Environment Working Group (EAEG) > SAF Task Group (Stand: 12.1.2024).
- Internationale Energieagentur IEA (2021): *Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector*. Abrufbar unter <https://www.iea.org> > Reports > Net Zero by 2050 (Stand: 12.1.2024)
- Internationale Energieagentur IEA (2023): *World Energy Outlook 2023*. Abrufbar unter <https://www.iea.org> > Reports > World Energy Outlook 2023 (Stand: 12.1.2024)

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO (2022a): *Report on the feasibility of a long-term aspirational goal (LTAG) for international civil aviation CO<sub>2</sub> emission reductions*. Abrufbar unter <https://www.icao.int> > Global Priorities > Environmental Protection > Climate Change > LTAG > LTAG Report (Stand: 12.1.2024).

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO (2022b): *Resolution A41-21: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection – Climate change*. Abrufbar unter <https://www.icao.int> > Global Priorities > Environmental Protection (Stand: 12.1.2024).

INFRAS (2015): *Luftverkehr und Nachhaltigkeit. Update 2015*: Abrufbar unter <https://www.bazl.admin.ch> > Themen > Umwelt > Weitere Themen > Nachhaltige Entwicklung (Stand: 12.1.2024).

Lee, David S. et al. (2023): *Uncertainties in mitigating aviation non-CO<sub>2</sub> emissions for climate and air quality using hydrocarbon fuels*. Environmental Science: Atmospheres. <https://doi.org/10.1039/D3EA00091E> (Stand: 12.1.2024).

Neu, Urs (2021): *Die Auswirkungen der Flugverkehrsemissionen auf das Klima*. Swiss Academies Communications 16 (3). Abrufbar unter <https://scnat.ch> > Publikationen > Swiss Academies Communications (Stand: 12.1.2024).

Prognos AG (2020): *Energieperspektiven 2050+. Kurzbericht*. Abrufbar unter <https://www.bfe.admin.ch> > Politik > Energieperspektiven 2050+ (Stand: 12.1.2024).

Royal Netherlands Aerospace Centre NLR (2021): *Destination 2050*. <https://www.destination2050.eu> (Stand: 12.1.2024).

Sacchi, Romain et al. (2023): *How to make climate-neutral aviation fly*. Nature Communications. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39749-y> (Stand: 12.1.2024).

Transport & Environment (2020): *Maximising air to rail journeys*. Abrufbar unter <https://www.transportenvironment.org> > Latest > Select Priority: Planes > Select sub-topics: Passenger rail (Stand: 12.1.2024).

Universität St. Gallen, Institut für Supply Chain Management (2020): *Luftfrachtlogistik-Studie Schweiz 2020*. <https://iqaircargo.ch> > Projects > Swiss Air Freight Logistics Study 2020 (Stand: 12.1.2024).

## Abkürzungsverzeichnis

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
EASA	Europäische Agentur für Flugsicherheit
ECAC	Europäische Zivilluftfahrt-Konferenz (European Civil Aviation Conference)
EHS	Emissionshandelssystem
Eurocontrol	Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt
IATA	International Air Transport Association
ICAO	Internationale Zivilluftfahrtorganisation

## CO<sub>2</sub>-neutrales Fliegen bis 2050

KIG	Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit, Klimaschutzgesetz
Lupo 2016	Bericht 2016 über die Luftfahrtpolitik der Schweiz (BBI 2016 1847)
MinöStG	Mineralölsteuergesetz (SR 641.61)
MinVG	Bundesgesetz über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer und weiterer für den Strassen- und Luftverkehr zweckgebundener Mittel (SR 725.116.2)
NET	Negativemissionstechnologien
SAF	Sustainable Aviation Fuels, Nachhaltige Flugtreibstoffe
UNFCCC	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, Klimarahmenkonvention
USG	Bundesgesetz über den Umweltschutz (SR 814.01)
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport