



Alternative Treibstoffe in der Schweizer Zivilluftfahrt

Oktober 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Alternative Flugtreibstoffe	4
2.1	Technische Zertifizierung von Produktionsverfahren.....	4
2.2	Nachhaltige alternative Flugtreibstoffe.....	5
2.3	Potential zur Reduktion der Treibhausgasemissionen	6
2.4	Produktionskapazität und Kosten	7
3	Anrechenbarkeit von SAFs und marktbasierete Massnahmen	8
4	Schweizer Gesetzgebung	9
4.1	Situation heute	9
4.2	Situation post 2020	10
5	Einsatz von SAFs in der Schweizer Zivilluftfahrt	11
6	Literaturverzeichnis	13
7	Anhang I	15
8	Anhang II	16

Zusammenfassung

Die internationale Zivilluftfahrt ist zurzeit für 2-2.5% des durch den Menschen verursachten globalen CO₂-Ausstosses verantwortlich. In Anbetracht der prognostizierten globalen jährlichen Zunahme an Passagieren von 5% bis ins Jahr 2050, werden die durch die Aviatik verursachten Treibhausgasemissionen ansteigen. Um diesen Anstieg langfristig zu stabilisieren, strebt die Internationale Zivilluftfahrt Organisation (ICAO) ab dem Jahr 2020 ein CO₂-neutrales Wachstum an. Eine wichtige Rolle zum Erreichen dieses Ziels wird unter anderem dem kommerziellen Einsatz von alternativen Flugzeugtreibstoffen (engl. sustainable aviation fuels, SAFs) beigemessen. Je nach zugrundeliegendem Rohstoff und Produktionsverfahren beträgt die CO₂-Einsparung, welche durch den Einsatz von SAFs erzielt werden kann, bis zu 80% gegenüber konventionellem, aus fossilen Quellen stammendem Kerosin. Ein Hauptgrund, wieso sich SAFs in der internationalen Zivilluftfahrt noch nicht durchgesetzt haben, ist die limitierte Verfügbarkeit und der substantiell höhere Preis gegenüber konventionellem Kerosin. Durch die Einführung von globalen marktbasierenden Massnahmen wie CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) kann der Einsatz von SAFs gefördert werden, da der daraus resultierende geringere CO₂-Ausstoss mit entsprechend tieferen Kompensationsverpflichtungen einhergeht und damit der Preisunterschied des alternativen Treibstoffs zumindest teilweise ausgeglichen werden kann.

Dieser Bericht soll einen Überblick über die heutige und zukünftige Entwicklung der SAFs geben, sowie deren Potential und Grenzen für den Einsatz in der internationalen Zivilluftfahrt aufzeigen. Darüber hinaus enthält er einen kurzen Überblick über die Schweizer Gesetzgebung, welche für den Einsatz von SAFs in der Schweizer Zivilluftfahrt relevant ist.

1 Einleitung

Das Pariser Abkommen, welches im Dezember 2015 von den Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention verabschiedet wurde, fordert die Begrenzung des globalen Temperaturanstieges auf 1.5°C im Vergleich zur vorindustriellen Zeit. Dies hat zur Folge, dass der globale Ausstoss von CO₂ bis Mitte des 21. Jahrhunderts massiv und dauerhaft gesenkt werden muss. Schätzungen der International Energy Agency (IEA) zufolge beträgt der Anteil des internationalen Luftverkehrs an den anthropogenen globalen CO₂-Emissionen 2-2.5% [1]. In Anbetracht des schnellen Wachstums der internationalen Luftfahrt (jährlich um rund 5% bis 2050) [2] und den daraus resultierenden steigenden Treibhausgasemissionen, ist die internationale Luftfahrt gefordert, Massnahmen zu ergreifen, welche die Treibhausgasemissionen stabilisieren und langfristig reduzieren werden. Aus diesem Grund hat sich die Internationale Zivilluftfahrt Organisation (ICAO) zum Ziel gesetzt, dass der zivile Luftverkehr ab dem Jahr 2020 nur noch CO₂-neutral wachsen soll. Auch der globale Branchenverband der Fluggesellschaften, die International Air Transport Association (IATA) definiert diesbezüglich ein Ziel, nämlich bis ins Jahr 2050 die CO₂-Emissionen gegenüber 2005 zu halbieren. Dieses Ziel kann mit folgenden Massnahmen erreicht werden (vgl. Abbildung 1):

- Durch operationelle Massnahmen, wie z. B. verbessertes Air Traffic Management (ATM) und damit verbundene kürzere und optimierte Flugwege;
- durch technologischen Fortschritt, wie z. B. effizientere Triebwerke, höhere Treibstoffeffizienz, sparsamere Flugzeuge;
- durch marktbasierete Massnahmen, wie z. B. Emissionshandelssysteme oder CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme);
- oder durch den Einsatz von alternativen Flugzeugtreibstoffen (engl. **Sustainable Aviation Fuels, SAFs**).

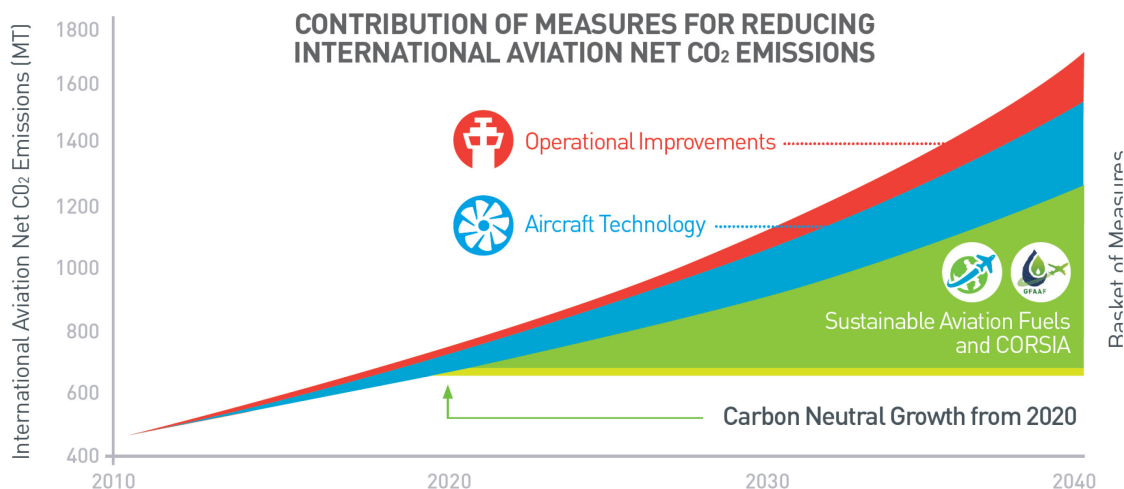


Abbildung 1: Beitrag der vier Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen im Aviatiksektor [3].

Schätzungen von Air Transport Action Group (ATAG) und ICAO zufolge liegt die geplante jährliche Steigerung der Treibstoffeffizienz bei 1.5% bis 2020 [4] resp. 2% bis 2050 [2]. Da diese Steigerung deutlich unter der erwarteten globalen Zuwachsrates des Treibstoffverbrauchs liegt, müssen weitere Bestrebungen unternommen werden, um ein CO₂-neutrales Wachstum oder gar eine Reduktion des CO₂-Ausstosses der Luftfahrt zu erreichen. Grosse Hoffnung liegt diesbezüglich in der Entwicklung und im Einsatz von SAFs. Zu SAFs werden in der Aviatik Treibstoffe gezählt, welche nachhaltig aus weitgehend nicht-fossilen Rohstoffen synthetisch hergestellt werden. Als Ausgangsmaterial für die Produktion kommen Biomasse (pflanzliches Fett/Öl, Zucker), tierische Fette, Abfall-/Reststoffe oder gar Elektrizität aus erneuerbarem Strom in Frage. Unter CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) wird zwischen 'CORSIA lower carbon aviation fuels' und 'CORSIA

sustainable aviation fuels' unterschieden. Für weitere Details siehe Kapitel 3. Die Umwandlung von fossiler Kohle (coal-to-liquid) und fossilem Gas in Kerosin (gas-to-liquid) gehört demnach nicht in die Kategorie der zu diskutierenden SAFs, da sie nicht nachhaltiger sind als herkömmliches Kerosin. Diese fossilen Rohstoff-Umwandlungen werden in diesem Bericht ausgeklammert.

Alternative und nachhaltig produzierte Treibstoffe unterscheiden sich von herkömmlichem (aus fossilen Quellen stammenden) Kerosin lediglich im zugrundeliegenden Rohstoff und dem damit verbundenen Produktionsprozess. Das heisst, durch den Einsatz von alternativen oder synthetischen Treibstoffen kommt die CO₂-Einsparung lediglich durch den nachhaltigeren Rohstoff oder Produktionsprozess zustande und nicht durch einen substantiell geringeren CO₂-Ausstoss bei der Verbrennung. Wie stark die CO₂-Emissionen durch den Einsatz von alternativen Treibstoffen gegenüber herkömmlichem Kerosin gesenkt werden kann, hängt demnach stark vom Ausgangsmaterial und dem Produktionsprozess ab und kann bis zu 80% betragen [5]. Der Einsatz von alternativen Treibstoffen wirkt sich neben der Reduktion der CO₂-Emissionen positiv auf die lokale Luftqualität aus, da alternative Treibstoffe weniger Schwefel und Aromate enthalten als herkömmliches Kerosin und daher eine Reduktion der von den Triebwerken ausgestossenen Russ- und Feinstaubpartikel und Schwefeldioxid zur Folge haben [2]. Bis heute wurden SAFs hauptsächlich für Pilotprojekte eingesetzt, um die Produktionskette, die Logistik und den operationellen Einsatz in der kommerziellen Luftfahrt zu testen (z. B. ITAKA-Projekt, Initiative towards sustainable kerosene for aviation) [6]. Diese Pilotprojekte zeigten alle sehr deutlich, dass der Einsatz von SAFs mit ‚drop-in‘ Qualität in der Fliegerei möglich ist, ohne grössere Anpassungen an der bestehenden Betankungsinfrastruktur vornehmen zu müssen. Der Hauptgrund für den bislang ausbleibenden grossflächigen Einsatz von SAFs ist deren Preis und deren Verfügbarkeit. Je nach zugrundeliegendem Rohstoff und Produktionsprozess variiert die Preisdifferenz stark. Aktuell ist z. B. eine Tonne SAF, hergestellt aus Alt-Speiseöl, etwa 1.5 mal teurer als fossiles Kerosin [5]. Ein kontinuierlicher und globaler Einsatz von SAFs bedingt demnach einerseits einen wachsenden Markt mit einer grösseren und kontinuierlichen Verfügbarkeit, sowie politisch-wirtschaftliche Anreizsysteme für die Operators, damit diese die (noch) vorherrschende Preisdifferenz in Kauf nehmen.

2 Alternative Flugtreibstoffe

2.1 Technische Zertifizierung von Produktionsverfahren

Eine der ersten Hürden jedes neu entwickelten AAF (aviation alternative fuel) ist dessen technische Zulassung. Seit 2009 wurden durch verschiedene internationale Organisationen wie ASTM (American Society for Testing and Materials) oder «U.K. Defence Standard» Richtlinien entwickelt, welche die Zulassungskriterien von AAF klar festlegen. Ein weltweit anerkannter Standard für die Entwicklung und Produktion von AAF ist der ASTM D7566 Standard [7]. Zurzeit sind AAF, welche durch einen der sechs folgenden Produktionsprozesse hergestellt werden, nach ASTM D7566 zugelassen und dürfen somit konventionellem Treibstoff beigemischt werden:

- **FT-SPK:** Fischer-Tropsch (FT) Synthetic Paraffinic Kerosene (SPK);
- **FT-SPK/A:** variation of FT-SPK, synthesized kerosene with aromatics derive by alkylation of light aromatics from non petroleum sources;
- **HEFA:** Hydroprocessed Fatty Acid Esters and Free Fatty Acid;
- **HFS-SIP:** Hydroprocessing of Fermented Sugars - Synthetic Iso-Paraffinic Kerosene;
- **ATJ-SPK:** Alcohol-to-Jet Synthetic Paraffinic Kerosene;
- **Co-processing** of HEFA feedstocks with Petroleum Hydrocarbons.

Die sechs bisher zugelassenen Produktionsverfahren haben gemeinsam, dass als Rohstoff Biomasse (pflanzliches Fett/Öl, Zellulose, Zucker), tierische Fette oder Abfall-/Reststoffe verwendet wird. Da synthetische AAF nicht exakt die gleichen chemischen Zusammensetzungen/ Eigenschaften wie fossiles Kerosin aufweisen, kann herkömmliches Kerosin nicht vollständig durch AAF ersetzt werden. Da-

mit ein bestimmtes AAF in der Luftfahrt eingesetzt werden kann, wird es dem herkömmlichen Kerosin zu einem bestimmten Anteil beigemischt. Das maximale Beimisch-Verhältnis hängt dabei stark vom raffinierten Ausgangsmaterial des AAF ab und wird in ASTM D7566 [7] für jeden Produktionsprozess festgelegt. Für die bis heute zugelassenen Produktionsprozesse liegt die beigemischte Menge von AAF zwischen 10-50% [7]. Zurzeit prüft ASTM weitere Produktionsverfahren für AAF, unter anderem die Zulassung von Green Diesel für die Luftfahrt. Ein weiteres vielversprechendes AAF-Produktionsverfahren ist Power-to-Liquid [8]. Hierbei wird nachhaltig produzierte elektrische Energie (z. B. Solarenergie, Windenergie) und CO₂ zusammen mit Wasserstoff in AAF umgewandelt. Das Interesse an diesem Produktionsprozess ist sehr gross, da bei diesem Verfahren (in Abhängigkeit der Stromproduktion) nahezu keine CO₂-Emissionen anfallen [9]. Bis zum heutigen Zeitpunkt schaffte dieses Produktionsverfahren den Sprung von der Forschung (EU-Projekt «SOLAR-JET» [10], Horizon2020-Projekt «Sun to Liquid» [11]) auf den Markt jedoch noch nicht, da solche Elektrotreibstoffe zum heutigen Zeitpunkt drei- bis sechsmal so teuer sind wie herkömmliches Kerosin [12].

Nebst einer gültigen ASTM-Zertifizierung sind für einen kosteneffizienten operationellen Einsatz von AAF in der kommerziellen Luftfahrt die technologische Ausgereiftheit der Produktionsprozesse (der sogenannte «Technology readiness level» TRL) sowie der sogenannte «fuel readiness level» (FRL) von grosser Bedeutung. So haben zum Beispiel nur sogenannte 'drop-in' Treibstoffe, welche kompatibel mit der bestehenden Infrastruktur befördert und vertankt werden können, langfristig Potential für den operationellen Einsatz. Zurzeit ist HEFA der am weitesten entwickelte Produktionsprozess. In Europa sind daher ausschliesslich HEFA basierte SAFs kommerziell verfügbar.

2.2 Nachhaltige alternative Flugtreibstoffe

Damit ein bestimmtes AAF als nachhaltig und somit als SAF klassifiziert werden kann, werden die ökonomische, soziale und ökologische Nachhaltigkeit des Treibstoffes beurteilt. Nachhaltigkeitsnachweise des Rohstoffs sind für Produzenten von SAF wichtig, um überhaupt Zugang zum SAF-Markt zu erhalten. Für die Konsumenten wie z. B. Fluggesellschaften sind Nachhaltigkeitsnachweise der gesamten Wertschöpfungskette unerlässlich, um von Anreizsystemen und staatlichen Subventionen wie z. B. einer Steuererleichterung profitieren zu können. Eine Möglichkeit, die Nachhaltigkeit eines SAF zu beurteilen sind beispielsweise die Kriterien gemäss der Initiative GBEP (Global Bioenergy Partnership)¹ [13]. Da die Luftfahrt ein globaler Wirtschaftssektor ist, wäre für die Zertifizierung von SAFs eine internationale Richtlinie, welche die zu verwendenden Nachhaltigkeitskriterien festlegt, aus Sicht der Stakeholder wünschenswert. So wird z. B. immer wieder diskutiert, wie indirekte und längerfristige Auswirkungen, welche durch die grossskalige Produktion von SAFs entstehen, in der Ökobilanz akkurat berücksichtigt werden können. Dazu gehören z. B. die indirekte Landumnutzung (indirect land use change, ILUC) oder die längerfristige Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion. Rechtliche Grundlagen, wie dieser Nachhaltigkeitsnachweis zu erbringen ist, finden sich in Gesetzen und Verordnungen wie z. B. die EU Renewable energy directive (EU-RED) [14], der US Renewable fuel standard (RFS) [15] oder die Schweizer Verordnung des UVEK über den Nachweis der Erfüllung der ökologischen Anforderungen an biogene Treibstoffe (BTRV) [16]. Seit dem Inkrafttreten der EU-RED im Jahr 2009 wurden diverse Zertifizierungssysteme entwickelt, welche bestätigen, dass das zertifizierte AAF mit den rechtlichen Grundlagen der EU-RED konform ist. Etablierte und von der EU-RED anerkannte Zertifizierungssysteme sind u.a.:

- International Sustainability & Carbon Certification (ISCC) [17];
- Bonsucro EU [18];
- Roundtable on Sustainable biomaterials (RSB) [19];
- Biomass Biofuel Sustainability voluntary scheme (2BSvs) [20].

Die RED-Varianten dieser Zertifizierungssysteme müssen mindestens die Vorgaben der EU einhalten, können jedoch weitergehende Anforderungen berücksichtigen (z. B. zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien oder strengere Grenzwerte der verwendeten Nachhaltigkeitskriterien). Entscheidend für Anerken-

¹ Ein Auszug dieser Kriterien und deren Indikatoren kann dem Anhang I entnommen werden.

nung und Einsatz von einem bestimmten Schema für die Nachhaltigkeitszertifizierung von SAF ist einerseits, dass die zu beurteilenden Kriterien/Indikatoren messbar, robust, und glaubwürdig sind. Zudem erfordert das Entwickeln eines Standards den Einbezug aller Stakeholder, um die Akzeptanz zu gewährleisten und ihn schlussendlich zu etablieren. Des Weiteren ist die Kompatibilität dieser Standards untereinander entscheidend, um lückenlose Nachhaltigkeitsnachweise innerhalb der gesamten Produktionskette zu gewährleisten. Neben dem hohen Preis ist eine weitere Schwierigkeit entlang der Produktionskette zurzeit, dass die nationalen Gesetzgebungen zu den Nachhaltigkeitsanforderungen nicht harmonisiert sind. Eine Vereinheitlichung wäre ein wichtiger Schritt, damit sich SAFs weiter im Markt etablieren könnten.

Die ICAO erarbeitet zurzeit Nachhaltigkeitskriterien, welche unter CORSIA für die Definition von 'CORSIA eligible fuels' zur Anwendung kommen werden. Unter 'CORSIA eligible fuels' werden sowohl CORSIA lower carbon aviation fuel' (fossile Treibstoffe) und 'CORSIA sustainable aviation fuel' (Treibstoffe, die aus erneuerbaren Ressourcen oder Abfallstoffen hergestellt wurden) zusammengefasst. Folgende Nachhaltigkeitskriterien wurden bis anhin festgelegt (weitere können bis zum Ende der Pilotphase von CORSIA noch folgen):

1. 'CORSIA eligible fuels' müssen eine Treibhausgasemissionsreduktion von mindestens 10% gegenüber konventionellem Kerosin aufweisen.
2. 'CORSIA eligible fuels' dürfen nicht aus Biomasse hergestellt werden, welche auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand angebaut wurden (z. B. Regenwald). Die Landumnutzung darf nicht nach 1. Januar 2008 erfolgt sein. Bei erlaubter Landumnutzung nach 1. Januar 2008 müssen die daraus resultierenden Emissionen berechnet werden.

2.3 Potential zur Reduktion der Treibhausgasemissionen

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, werden SAFs in der Aviatik eingesetzt, um die Treibhausgasemissionen zu senken. Dabei resultiert die Reduktion der Treibhausgasemissionen primär aus der Wahl des für die Herstellung von SAF zugrundeliegenden Rohstoffs. Bei biogenen Rohstoffen wird davon ausgegangen, dass das Wachstum der Biomasse die gleiche Menge an CO₂ absorbiert, wie bei der Verbrennung ausgestossen wird. Die Treibhausgasemissionen von SAFs kommen somit durch die Kultivierung und Ernte des Rohstoffs, sowie durch den gesamten Produktionsprozess inklusive Transport zustande. Deutliche Unterschiede bezüglich der Reduktion der Treibhausgasemissionen existieren demnach je nach Produktionsverfahren, sowie innerhalb eines Produktionsverfahrens je nach verarbeitetem Rohstoff (siehe Abbildung 2).

Wie gross die Treibhausgas-Emissionsreduktion eines SAFs gegenüber konventionellem Kerosin ist, wird durch die Methodik des 'Life cycle assessments (LCA)' ²quantifiziert. Zurzeit herrscht kein internationaler Konsens über die Berechnungsmethode. Ausserdem werden indirekte Effekte, die schwer zu quantifizieren sind, oftmals von der Berechnung ausgeklammert. Eine Möglichkeit diese Schwierigkeit zu umgehen ist die ausschliessliche Verwendung von Abfällen und Reststoffen als Ausgangsmaterial für die Herstellung von SAFs, weil diesen Ursprungsmaterialien keine CO₂-Emissionen aus der Kultivierung der Ausgangsbiomasse angerechnet werden müssen.

² Unter life cycle assessment versteht man eine vollumfängliche und systematische Analyse der Umweltwirkung eines Produkts während seines ganzen Lebenszyklus. Im Fall von alternativen Treibstoffen bedeutet dies, dass die Umweltwirkungen des Rohstoffanbaus, der Ernte, des Transports und der Herstellung bis zum Verbrauch berücksichtigt werden.

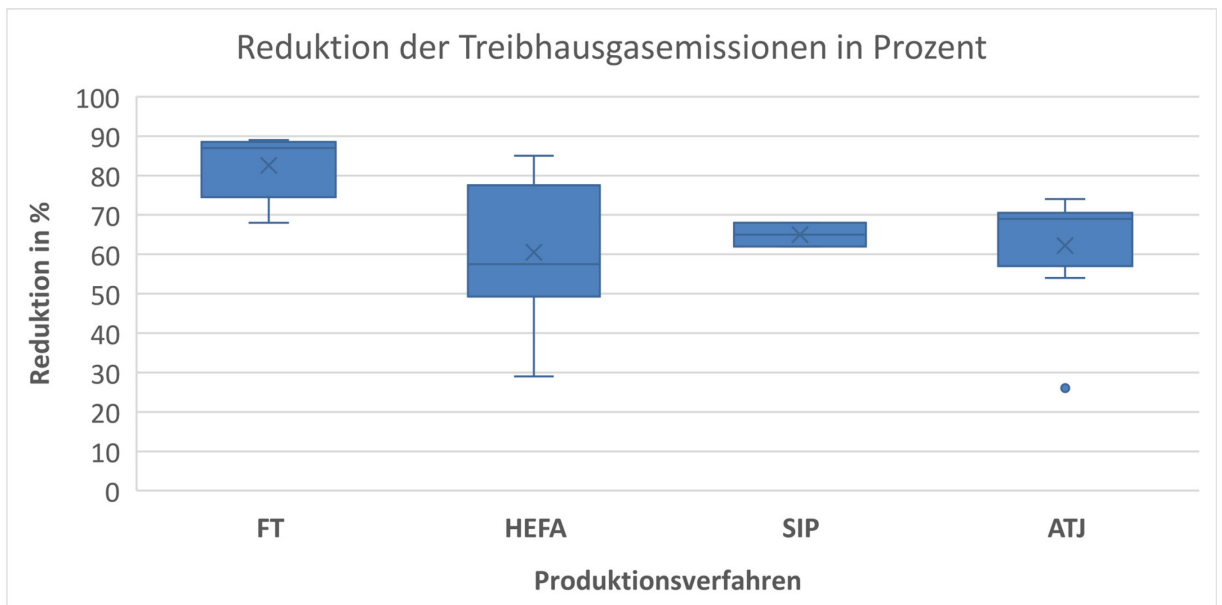


Abbildung 2: Reduktion der Treibhausgasemissionen in Prozent für verschiedene Produktionsverfahren. Die Spannweite innerhalb der Produktionsverfahren kommt durch die unterschiedlichen Rohstoffzustände. Die prozentualen Angaben stellen die Einsparungen der jeweiligen SAFs gegenüber fossilem Treibstoff mit einem Referenzwert von 89 gCO₂ eq/MJ dar. Indirekte Effekte wurden nicht berücksichtigt (Graphik basierend auf Werten des EASA Environmental Report, 2019 [5]).

2.4 Produktionskapazität und Kosten

Ob und in welchem Mass konventionelles Kerosin in Zukunft durch SAFs ersetzt wird, hängt im Wesentlichen von mehreren wechselwirkenden Faktoren ab. Das Hauptproblem liegt zurzeit im beträchtlichen Preisunterschied. Während konventionelles Kerosin im Europäischen Markt ca. €600/t [5] kostet, liegt der Preis von SAF (hergestellt aus gebrauchtem Speiseöl) bei ca. €950-€1'015/t [5]. Die Preisunterschiede variieren je nach Produktionsprozess und zugrundeliegendem Rohstoff. Dieser wiederum unterliegt starken Preisschwankungen auf dem Rohstoffmarkt, und steht in ständigem Wettbewerb mit der Herstellung von biogenen Treibstoffen für den Strassenverkehr. Solange der Preisunterschied zwischen SAFs und konventionellem Kerosin beträchtlich bleibt und dieser nicht durch Anreizsysteme ausgeglichen werden kann, wird die Nachfrage nach SAFs klein bleiben. Dies wiederum bedeutet, dass keine Investitionen in den Bau neuer Raffinerien getätigt werden, welche benötigt würden, um die Produktionskapazität zu erhöhen. Damit jedoch die internationale Zivilluftfahrt unter Einbezug von SAF ab 2020 CO₂-neutral wachsen kann, ist eine Steigerung der Produktionskapazität von SAF unerlässlich. Konkret würde dies – unter Berücksichtigung von wachsendem technologischem Fortschritt und verbessertem Air Traffic Management – bedeuten, dass der gesamte Anteil von konventionellem Kerosin, welcher per 2050 im internationalen Luftverkehr verbraucht wird (570 Millionen Tonnen pro Jahr [21]), komplett durch SAFs ersetzt wird³. Gemäss Schätzungen der ICAO würde daraus eine Reduktion von 63% der CO₂-Emissionen resultieren [21]. Dieses 'best-case' und eher unwahrscheinliche Szenario setzt jedoch eine maximale Steigerung der landwirtschaftlichen Produktivität zu diesem Zweck, höchste Verfügbarkeit von Land für die Kultivierung von Rohstoffen, höchste Effizienz in der Umwandlung der Rohstoffe in SAFs, einen starken Markt, sowie die ausschliessliche Verwendung aller nachhaltig produzierten Treibstoffe in der Luftfahrt voraus. Zudem müssten für dieses hochgesteckte Ziel zwischen 2020 und 2050 weltweit **jährlich** 170⁴ neue SAF-Raffinerien gebaut werden [21]. Dies entspricht Schätzungen der ICAO zufolge einer jährlichen Investition von 15-60 Milliarden US-Dollar [21]. Zum Vergleich, zwischen 2001 und 2011 entstanden weltweit jährlich 60 neue SAF-Raffinerien [21]. Weitaus realistischer scheint jedoch ein mittleres Szenario,

³ Annahme: 50% Beimischverhältnis

⁴ Unter Annahme eines linearen Wachstums.

bei welchem rund die Hälfte des konventionellen Kerosins durch SAF ersetzt werden (285 Mt/Jahr) und somit rund 33% der CO₂-Emissionen eingespart werden könnten [23]. Europa verfügt weltweit über einen wichtigen SAF-Produktionssektor mit mehreren grossen Raffinerien. Diese Anlagen produzierten 2017 zwischen 0.35-2.3 Millionen Tonnen SAFs pro Jahr [5], je nach Annahme, wie gross der Anteil der alternativen Treibstoffe ist, welcher für die Aviatik produziert wird⁵. Die Menge von 2.3 Mio. Tonnen SAF entspricht ca. 4% [5] des heutigen totalen Kerosinbedarfs der europäischen Zivilluftfahrt. Der zukünftige Verbrauch von SAF in Europa wird kurz- und mittelfristig tief bleiben (ca. 1% des totalen Treibstoffverbrauchs [5]). Eine langfristige Vorhersage über den zukünftigen Konsum ist sehr schwierig, da wie beschrieben sehr hohe Investitionen getätigt werden müssen und derzeit grosse politische und wirtschaftliche Unsicherheiten bezüglich Anreizsystemen existieren.

3 Anrechenbarkeit von SAFs und marktbasierende Massnahmen

Um das ambitionierte Ziel des CO₂-neutralen Wachstums ab 2020 zu erreichen, sind marktbasierende Massnahmen nebst operationellen und technischen Fortschritten oder SAFs wirkungsvolle Instrumente, um die steigenden Treibhausgasemissionen der internationalen Zivilluftfahrt zu reduzieren. Dies kann einerseits durch Emissionshandel (EU EHS) oder durch ein Kompensationssystem (CORSIA) erreicht werden. Beide Massnahmen verfolgen das gleiche Ziel, unterscheiden sich jedoch in der Funktionalität. Während der Emissionshandel zum Ziel hat, die Treibhausgasemissionen im Aviatiksektor längerfristig mit einer begrenzten Anzahl von Zertifikaten, welche über die Zeit kontinuierlich abnimmt, zu reduzieren (sog. 'cap and trade'), wird mit einem Kompensationssystem die emittierte Menge an CO₂ in einem anderen Sektor rasch und kosteneffizient kompensiert und somit reduziert. Möchte ein Operator die zu leistenden Kompensationszahlungen unter CORSIA reduzieren, so kann er dies gezielt durch den Einsatz eines sogenannten 'CORSIA eligible fuel (CEF)' erreichen⁶. Jedes CEF unterliegt während der Produktion einer Zertifizierung, welche die Nachhaltigkeit des CEFs bestätigt und den sogenannten 'Life cycle emission value' des CEFs festlegt (durch ICAO festgelegten Standardwert des CEF oder direkte Berechnung). Wird dieser Wert in Relation zum Referenzwert von fossilem Treibstoff von 89 gCO₂ eq/MJ gesetzt, so erhält man die prozentuale Einsparung von CO₂, welche durch den Einsatz von CEFs resultiert. Beim Emissionsreport gibt der Operator die Anzahl Tonnen CO₂ an, welche durch den Einsatz von CEFs eingespart wurden, die Art und Menge des CEFs, den 'Life cycle emission value', sowie der Nachweis, dass das CEF die Nachhaltigkeitskriterien von CORSIA erfüllt. Zum heutigen Zeitpunkt ist CORSIA in der Schweiz implementiert und in Kraft. Mit dem Inkrafttreten des Abkommen zur Verknüpfung des Schweizer EHS mit dem Europäischen EHS vom 23. November 2017 werden Schweizer Airlines voraussichtlich ab 2020 verpflichtet sein, die CO₂-Emissionen ihrer Flüge innerhalb des europäischen Wirtschaftsraums mit einer entsprechenden Anzahl Emissionsrechten abzudecken. Die auf diesen Flügen aus der Verbrennung von SAF stammenden CO₂-Emissionen können dabei vollumfänglich abgezogen werden. Ob Schweizer Operators in Zukunft sowohl unter dem EHS und/oder CORSIA Kompensationsleistungen zu erbringen haben, ist unklar und Gegenstand der politischen Diskussion.

⁵ Basierend auf der Annahme, dass 15-100% des total hergestellten biogenen Treibstoffes Verwendung in der Aviatik findet.

⁶ Unter dem Begriff CEF werden 'CORSIA lower carbon aviation fuel' (fossile Treibstoffe) und 'CORSIA sustainable aviation fuel' (Treibstoffe, die aus erneuerbaren Ressourcen oder Abfallstoffen hergestellt wurden) zusammengefasst.

4 Schweizer Gesetzgebung

4.1 Situation heute

Die Schweiz verpflichtete sich mit der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls sowie des Übereinkommens von Paris einen aktiven Beitrag zur Reduktion der CO₂-Emissionen zu leisten. Die gesetzliche Grundlage ist das Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz) vom 23. Dezember 2011 (641.71). Es hat zum Ziel, die Inland-Emissionen bis 2020 um 20% gegenüber 1990 zu senken. Zur Zielerreichung sieht das Gesetz folgende Massnahmen vor:

- CO₂-Abgaben;
- Emissionshandel;
- Kompensation von CO₂-Emissionen;
- CO₂-Emissionsvorschriften für Personenwagen;
- Förderung von Innovation über Technologiefonds.

Zum Erreichen der Reduktionsziele können auch Massnahmen aus anderen Bereichen beitragen, wie z. B. das Mineralölsteuergesetz (MinöStG) vom 21. Juni 1996 (641.61), welches die Besteuerung von Erdöl, Mineralöl und Erdgas festlegt.

Weil der internationale Luftverkehr von den Zielen des Kyoto-Protokolls ausgenommen ist, definiert das CO₂-Gesetz nur ein Inlandziel (welches die Emissionen des nationalen Luftverkehrs einschliesst). D. h. lediglich Inlandflüge werden einbezogen und lediglich Treibstoffe, welche für Inlandflüge eingesetzt werden, unterliegen den gesetzlichen CO₂-Abgaben, der Mineralölsteuer, der Mehrwertsteuer und der Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure. Flugzeugtreibstoffe, welche für den internationalen Linienverkehr eingesetzt werden, sind gemäss Art. 17 des MinöStG von den Steuern befreit, sofern sie die Kriterien nach Art. 33 der Mineralölsteuerverordnung (MinöStV) vom 20. November 1996 (641.61) erfüllen. Möchte ein Operator dennoch von einer Steuererleichterung für den Treibstoff für Inlandflüge profitieren, so kann er dies durch den Einsatz von biogenen Treibstoffen erreichen. Von einer vollumfänglichen Steuererleichterung, gemäss Art. 12b¹¹ des MinöStG profitieren biogene Treibstoffe, d. h. Treibstoffe, welche aus Biomasse oder anderen erneuerbaren Energieträgern hergestellt werden, falls die ökologischen Anforderungen gemäss Art. 19c der MinöStV und die sozialen Anforderungen gemäss Art. 19d der MinöStV erfüllt sind (siehe Anhang II). Damit die Steuererleichterung durch die Oberzolldirektion (OZD) gewährt werden kann, müssen alle Kriterien kumulativ erfüllt sein. Gemäss Art. 12b des MinöStG gelten die Anforderungen als erfüllt, sofern der Biotreibstoff nach dem Stand der Technik aus biogenen Abfällen oder Produktionsrückständen hergestellt wurde. Welche Stoffe im Sinne des Art. 12b MinöStG als Abfälle und Rückstände gelten, ist in einer Positivliste der OZD aufgeführt. Ob eine Steuererleichterung gewährleistet werden kann, obliegt der OZD, welche das Gesuchverfahren leitet. Innerhalb des Verfahrens ist das Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO) für die Überprüfung der sozialen Kriterien und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) für die Kontrolle der ökologischen Kriterien verantwortlich. Damit die ökologischen Anforderungen von Treibstoffen, welche nicht aus Abfällen oder Reststoffen hergestellt wurden, vollumfänglich überprüft werden können, muss der Gesuchsteller dem BAFU mittels eines amtlichen Formulars diverse Angaben gemäss Verordnung des UVEK über den Nachweis der Erfüllung der ökologischen Anforderungen an biogene Treibstoffe (BTrV) vom 15. Juni 2016 (SR 641.611.21) liefern:

- Angaben über die Art und Qualität des biogenen Treibstoffes;
- Angaben über die genutzten Flächen;
- Angaben über den Anbau und die Ernte der Rohstoffe;
- Angaben über die Herstellung des biogenen Treibstoffes;
- Angaben über die Verarbeitungsorte und die Transporte.

Zur Bilanzierung der Treibhausgasemissionen und der Gesamtumweltbelastungen, welche durch die Herstellung und den Transport von biogenen Treibstoffen entstehen, verwendet das BAFU hauptsäch-

lich Daten der Ökoinventardatenbank von Ecoinvent [22], sowie die Methode der ökologischen Knappheit [23]. Die OZD wird nach abgeschlossener Prüfung der Anforderungen durch das BAFU und das SECO dem Gesuchsteller (Importeur, Herstellungsbetrieb) das Ergebnis mit einer rechtskräftigen Verfügung mitteilen. Bei einer positiven Beurteilung wird dem Gesuchsteller eine Steuererleichterung für eine Periode von vier Jahren ab Verfügungsdatum bis maximal zum Auslaufen der Steuererleichterung (aktuell: 30. Juni 2020) zugesichert⁷. Eine Schwierigkeit für die Steuererleichterung von SAFs in die Schweiz stellt das zollrechtliche Kriterium der segregierten Warenflüsse⁸ dar. Die OZD fordert, dass alle Treibstoffe physisch immer aus jenem Rohstoff hergestellt werden, welcher im Rahmen des Gesuchverfahrens beantragt resp. bewilligt wurde. Dabei darf es zu keinem Zeitpunkt der Produktion, des Transports oder der Zwischenlagerung zu einer Vermischung mit anderen Rohstoffen, resp. Treibstoffen kommen. Massenbilanzierte Warenflüsse⁹, welche innerhalb der EU zollrechtlich dank der EU-RED akzeptiert sind, werden in der Schweiz nicht akzeptiert. Der Importeur muss zu jedem Zeitpunkt nachweisen können, dass die Deklaration des importierten Treibstoffes mit der physischen Zusammensetzung des Treibstoffes übereinstimmt. Mit der heutigen Gesetzgebung (MinöStG, Art. 12b Steuererleichterung für biogene Treibstoffe) wird vollumfänglich sichergestellt, dass Agrotreibstoffe, d. h. Treibstoffe deren Rohstoffe auf Ackerflächen produziert werden und somit die Nahrungsmittelsicherheit konkurrieren, nicht von einer Steuererleichterung profitieren können. Der aktuelle Vollzug im Bereich der Abfälle und Rückstände gewährleistet somit, dass das Teller-Trog-Tank-Prinzip eingehalten werden kann. Dieses Prinzip stellt sicher, dass jeder Rohstoff nur dann für die Treibstoffproduktion verwendet wird, wenn er weder primär als Nahrungs-/ noch sekundär als Futtermittel verwendet werden kann.

4.2 Situation post 2020

Mit der Zustimmung des Parlaments zur Ratifizierung des Pariser Abkommens im Juni 2017, legte der Bund den rechtlich verbindlichen Rahmen für die internationale Klimapolitik nach 2020 fest. Ein wichtiger Bestandteil bildet dabei die Verknüpfung des Schweizerischen und des Europäischen Emissionshandelssystems. Das entsprechende Abkommen wurde im November 2017 zwischen der Schweiz und der Europäischen Union unterzeichnet und vom Parlament im März 2019 inklusive der nötigen Änderung am geltenden CO₂-Gesetz genehmigt. Dies umfasst unter anderem der Einbezug der Zivilluftfahrt in das EHS bis einschliesslich 2020.

Am 31. August 2018 eröffnete der Bundesrat im Rahmen der zukünftigen Klimapolitik der Schweiz die Vernehmlassung über drei Vorlagen: die Genehmigung des Klima-Übereinkommens von Paris, das Abkommen mit der EU zur Verknüpfung des Emissionshandels und die Totalrevision des CO₂-Gesetzes. Damit das Abkommen von Paris umgesetzt werden kann und die festgesetzten Ziele erreicht werden können, ist eine Totalrevision des CO₂-Gesetzes nötig. Der Bundesrat legte am 1.12.2017 eine Botschaft zur 'Totalrevision des CO₂-Gesetzes nach 2020' [24] vor, welche im Dezember 2018 vom Nationalrat in der Gesamtabstimmung abgelehnt wurde. Momentan befindet sich diese Vorlage zur Debatte im Ständerat (UREK-S). Die Botschaft [24] sieht unter anderem vor, die Steuererleichterung für biogene Treibstoffe per 30.06.2020 aufzuheben und biogene Treibstoffe über das Instrument der CO₂-Kompensation zu fördern. Als Ablösung der Steuererleichterung sieht der Bundesrat folgende Nachfolgeregelung vor:

⁷ Die Pa. Iv. Burkhart (17.405) forderte eine Verlängerung der Steuererleichterung bis Ende 2030. Der Nationalrat hat am 09.09.2019 eine Verlängerung der Steuererleichterung bis Ende 2021 beschlossen.

⁸ Der physisch vorliegende Treibstoff entspricht exakt den deklarierten Nachhaltigkeitseigenschaften der zugrundeliegenden Rohstoffe.

⁹ Der physisch vorliegende Treibstoff unterscheidet sich von den buchhalterischen Nachhaltigkeitseigenschaften, d.h. Treibstoffe mit unterschiedlichen Nachhaltigkeitseigenschaften können gemischt werden.

«Aus klimapolitischer Sicht ist eine Zunahme erneuerbarer Treib- und Brennstoffe erwünscht, sofern diese fossile Energieträger ersetzen und die Umwelt gesamthaft nicht stärker belasten. In Ablösung der Steuererleichterungen schlägt der Bundesrat vor, dass die Importeure fossiler Treibstoffe mindestens fünf Prozent der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen über das Inverkehrbringen von erneuerbarer Treibstoffen kompensieren müssen. Diese Treibstoffe sollen an die EU-Gesetzgebung angelehnte ökologische Anforderungen erfüllen und weiterhin vorwiegend aus Abfällen und Rückständen stammen. Mit der Anrechnung erneuerbarer Treibstoffe können die Kompensationspflichtigen einfache Massnahmen zu vertretbaren Kosten innerhalb des Mobilitätssektors umsetzen. Die Orientierung an der EU lässt die Einführung massenbilanzierter Gemische¹⁰ zu und ist daher gegenüber der heutigen relativ restriktiven Regelung marktfreundlicher.» [24]

Mit der Botschaft spricht sich der Bund somit klar für eine Nachfolgeregelung bezüglich Import von nachhaltigen Treibstoffen aus, welche dieselbe Wirkung entfalten soll, wie die heutige Regelung (Ausschluss von Agrotreibstoffen, primär Treibstoffe aus Abfällen und Produktionsrückständen). Zudem wird der Branche mit der Möglichkeit, massenbilanzierte Gemische in die Schweiz einzuführen, einen erleichterten Zugang zum europäischen Markt gewährt. Darüber hinaus soll durch die Anlehnung an die Europäische Gesetzgebung (EU-RED) [14] der Vollzug vereinfacht werden, indem freiwillige Standards, wie z.B. ISCC [17] oder RSB EU RED [19] von EU-Mitgliedstaaten anerkannt werden. Als Folge der Aufhebung der bis Ende Juni 2020 befristeten Steuererleichterung werden auch die gesetzlich verankerten ökologischen und sozialen Anforderungen an biogene Treibstoffe entfallen. Als Nachfolgeregelung ist geplant, ökologische Anforderungen an erneuerbare Treibstoffe im Art. 35d des Umweltschutzgesetzes (USG) zu verankern. Eine Übernahme der ökologischen Kriterien der EU-RED ist nicht vorgesehen, da in der Schweiz ohnehin nur alternative Treibstoffe, welche aus Abfällen und Produktionsrückständen hergestellt wurden, in Verkehr gebracht werden sollen (Anerkennung bestimmter Treibstoff aus Anhang IX, EU-RED [14]). Diese erfüllen heute bereits die in der Schweiz geltenden ökologischen und sozialen Anforderungen. Der Bundesrat hält in der Botschaft fest, dass der Einsatz von strombasierten Treibstoffen (Power-to-liquid) begrüsst wird, wenn dieser basierend auf Strom aus erneuerbaren Energien produziert wurde. Aus Sicht des Bundes können strombasierte Treibstoffe jedoch eine negative Klimabilanz aufweisen, wenn für die Treibstoffproduktion erneuerbarer Strom verwendet wird, der anderswo durch fossil erzeugten Strom ersetzt wird. In der Botschaft schlägt der Bundesrat vor, dass lediglich Elektrizität für die Treibstoffproduktion eingesetzt werden soll, welche nicht zu positiven Preisen verkauft werden könnte oder wenn die Verwendung der Elektrizität zur Vermeidung von Netzengpässen beiträgt.

5 Einsatz von SAFs in der Schweizer Zivilluftfahrt

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, wurden SAFs weltweit bis anhin v. a. für Pilotprojekte eingesetzt, um die Produktionskette, die Logistik und den operationellen Einsatz in der kommerziellen Luftfahrt zu testen. Der 'proof of concept' wurde durch diverse Projekte, wie z. B. das EU-Projekt ITAKA (Initiative towards sustainable kerosene for aviation) [6] vollumfänglich erbracht. Möchte eine Fluggesellschaft oder ein Flughafen heute SAF flächendeckend und kontinuierlich einsetzen, müssen hohe Zusatzkosten, welche auf die beträchtliche Preisdifferenz zwischen alternativen und konventionellen Treibstoffen zurückzuführen ist, in Kauf genommen werden. In der Schweiz besteht die Möglichkeit, dass Fluggesellschaften oder Flughafenbetreiber im Rahmen der Spezialfinanzierung Luftverkehr (Art.

¹⁰ Die EU Richtlinie 2009/28/EG schreibt die Verwendung eines Massenbilanzsystems vor, welches es erlaubt, Lieferungen von Rohstoffen oder biogenen Treibstoffen mit unterschiedlichen Nachhaltigkeitseigenschaften zu mischen. Bei einer Massenbilanz hat die Summe sämtlicher Lieferungen, die dem Gemisch entnommen werden, dieselben Nachhaltigkeitseigenschaften in denselben Mengen wie die Summe sämtlicher Lieferungen, die dem Gemisch zugefügt werden.

87b der Bundesverfassung) den Bund um Finanzhilfe ersuchen können ¹¹, um die durch den Einsatz von SAFs entstehenden Zusatzkosten zu decken. Der Flughafen Genf ersuchte das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) mit der Eingabe des Umwelt-Projekts «Distribution de carburants alternatifs durables» vom 30. November 2017 als erster Schweizer Aviatikbetrieb um substantielle finanzielle Unterstützung für den Einsatz von SAFs. Dabei plante der Flughafen während des fünfjährigen Pilotprojekts bei der Betankung aller Flugzeuge in Genf ein Treibstoffgemisch bestehend aus konventionellem Kerosin und mindestens einem Prozent SAF zu verwenden. Das Hauptziel war, den Einsatz von SAF in Genf zu operationalisieren und den jährlichen CO₂-Ausstoss um rund 10'000 t bis maximal 14'500 t zu reduzieren. Der Flughafen Genf ging davon aus, dass sich der SAF-Markt nach Ablauf der fünfjährigen Pilotphase soweit entwickelt hat, dass sich die vorherrschende Preisdifferenz zwischen fossilem Kerosin und SAF verringert und die weiterhin bestehenden Mehrkosten selbsttragend gedeckt werden können. Das Gesuch wurde von verschiedensten Fachexperten des Bundesamts für Zivilluftfahrt (BAZL), des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und der Eidgenössischen Finanzverwaltung (EFV) eingehend geprüft. Grundsätzlich begrüsst der Bund den Einsatz von SAFs, insbesondere, wenn diese aus Abfällen und Reststoffen hergestellt wurden (wie es in diesem Projekt der Fall gewesen wäre). Das BAFU und die EFV kritisierten jedoch die geringe Signalwirkung (lediglich 1% SAF), sowie die geringe Kosteneffizienz des Projekts. Zudem zweifelte die EFV daran, dass sich der SAF-Markt innerhalb der nächsten Jahre derart weiterentwickeln werde, sodass die Preisunterschiede drastisch sinken würden. Aus diesen Gründen erachtete die EFV dieses Projekt im Jahr 2018 als finanziell nicht unterstützungswürdig. Zum heutigen Zeitpunkt sowie in naher Zukunft ist die Förderung von SAFs in der Schweizer Zivilluftfahrt über das Instrument 'Spezialfinanzierung Luftverkehr' (Art. 87b der Bundesverfassung) aus den oben genannten Gründen unmöglich. Ob und in welchem Mass sich der Bund in Zukunft für eine Förderung der SAF in der Zivilluftfahrt entscheidet, hängt massgeblich von der Ausgestaltung des neuen CO₂-Gesetzes ab.

¹¹ Im Rahmen der Spezialfinanzierung Luftverkehr (Art. 87b der Bundesverfassung) können Gesuchsteller um Finanzhilfen für die Unterstützung von Projekten in den Bereichen Umwelt, Security und Safety nach Art. 37d-f des Bundesgesetzes über die Verwendung der zweckgebundenen Mineralölsteuer und weiterer für den Strassen- und Luftverkehr zweckgebundener Mittel (MinVG) ersuchen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] International Energy Agency, [Online]. Available: <https://www.iea.org/statistics/co2emissions/>. [Zugriff am 12. 06. 2019].
- [2] ICAO, "Environmental Report," 2016.
- [3] International Civil Aviation Organisation (ICAO), „CORISIA IMPLEMENTATION PLAN Brochure,“ [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORISIA/Pages/CORISIA-communication.aspx>. [Zugriff am 17. 06. 2019].
- [4] Air Transport Action Group, „Facts and Figures,“ [Online]. Available: <https://www.atag.org/facts-figures.html>. [Zugriff am 12. 06. 2019].
- [5] EASA, „European Aviation Environmental Report,“ 2019.
- [6] Initiative Towards sustainable Kerosene for Aviation, [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/rcn/106229/reporting/en>. [Zugriff am 12. 06. 2019].
- [7] ASTM, „D7566, Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons,“ 2018.
- [8] Umwelt Bundesamt UBA, „Power-to-Liquids (PtL): Sustainable alternative fuels produced from renewable electricity,“ 2016.
- [9] Roth und Schmidt, „Power-to-Liquids: A new pathway to renewable jet fuel,“ 2017.
- [10] „SOLAR-JET,“ [Online]. Available: <http://www.solar-jet.aero/>. [Zugriff am 28. 3. 2019].
- [11] „Sun to Liquid,“ [Online]. Available: <https://www.sun-to-liquid.eu/>. [Zugriff am 28. 3. 2019].
- [12] F. Müller-Langer, S. Hausschild, C. Marquardt, T. Schripp und C. Wolf, „Research and Demonstration Project on the Use of Renewable Jet fuel at Airport Leipzig/Halle,“ 2018.
- [13] Global Bioenergy Partnership, „The Global Bioenergy Partnership Sustainability Indicators for Bioenergy,“ 2011.
- [14] European Parliament and of the Council, *Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources*, 2018.
- [15] United States Environmental Protection Agency (EPA), „renewable-fuel standard program,“ [Online]. Available: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program>. [Zugriff am 13. 06. 2019].
- [16] Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), *Verordnung des UVEK über den Nachweis der Erfüllung der ökologischen Anforderungen an biogene Treibstoffe (BTrV)*, 2016.
- [17] International Sustainability & Carbon Certification (ISCC), [Online]. Available: <https://www.iscc-system.org/>. [Zugriff am 13. 06. 2019].
- [18] Bonsucro, [Online]. Available: <https://www.bonsucro.com/>. [Zugriff am 13. 06. 2019].
- [19] Roundtable on Sustainable biomaterials (RSB), [Online]. Available: <https://rsb.org/>. [Zugriff am 13. 06. 2019].
- [20] Biomass Biofuel Sustainability voluntary scheme (2BSvs) , [Online]. Available: <https://www.2bsvs.org/>. [Zugriff am 13. 06. 2019].
- [21] International Civil Aviation Organization (ICAO), „Conference on Aviation and Alternative fuels,“ in *Trends and Scenarios on alternative fuels*, Mexico City, Mexico,, 2017.
- [22] International Civil Aviation Organization (ICAO), „Committee on aviation environmental protection (CAEP), 10th Meeting,“ in *Short-term and long-term alternative jet fuel production and associated GHG emissions reduction*, Montréal, Canada, 2016.
- [23] International Civil Aviation Organization (ICAO), „Conference on Aviation and Alternative Fuels,“ in *Proposed ICAO Vision on Aviation Alternative Fuels*, Mexico City, Mexico, 2017.
- [24]ecoinvent, „The ecoinvent Database,“ [Online]. Available: <https://www.ecoinvent.org/database/database.html>. [Zugriff am 20. 6. 2019].

[25] Bundesamt für Umwelt (BAFU), „Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit,“ Bundesamt für Umwelt BAFU, Öbu – Netzwerk für nachhaltiges Wirtschaften, 2013.

[26] „Botschaft des Bundesrates zur Totalrevision des CO2-Gesetzes nach 2020 vom 1.12.2017,“ 17.071.

7 Anhang I

Die Kriterien und Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit wurden seit 2008 in enger Zusammenarbeit mit mehreren Regierungen und internationalen Institutionen durch die GBEP Initiative erarbeitet.

Tabelle 1: Hauptkriterien und -indikatoren für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Biotreibstoffen nach GBEP (Global Bioenergy Partnership) [13].

	Kriterien	Indikatoren
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> • Treibhausgasemissionen • Produktionskapazität • Luftqualität • Wasserverfügbarkeit • Biologische Diversität • Landnutzungsänderung und daraus resultierende indirekte Effekte 	<ul style="list-style-type: none"> • Treibhausgasemissionen über gesamten Life-cycle • Emissionen von nicht Treibhausgasen, inkl. Schadstoffe • Bodenqualität • Wassernutzung/-qualität • Biologische Diversität • Landnutzung und -änderung im Zusammenhang mit Rohstoffproduktion für Biotreibstoffe
Ökonomie	<ul style="list-style-type: none"> • Rohstoffverfügbarkeit und Nutzungseffizienz • Wirtschaftliche Entwicklung & Wettbewerbsfähigkeit von Biotreibstoffen • Energiesicherheit /- Diversifikation 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktivität • Netto-Energiebilanz • Bruttomehrwert • Ausbildung von Arbeitskräften • Infrastruktur und Logistik für den Vertrieb von Bioenergie • Kapazität und Flexibilität
Gesellschaft	<ul style="list-style-type: none"> • Nahrungsmittelverfügbarkeit und deren Preis • Zugang zu Land, Wasser und anderen natürlichen Ressourcen • Arbeitsbedingungen • Soziale und räumliche Entwicklung • Zugang zu Elektrizität • Gesundheit und Sicherheit 	<ul style="list-style-type: none"> • Vergabe und Besitz von Land für die Produktion von Biotreibstoffen • Lokaler Preis und Verfügbarkeit von Nahrungsmittel • Arbeitsplätze in Bioenergie-Sektor • Einkommen • Anteil an unbezahlter Arbeit, verrichtet durch Kinder und Frauen • Häufigkeit von Krankheit und Unfällen und Todesfällen

8 Anhang II

Tabelle 2: Nachhaltigkeitsanforderungen an Biotreibstoffe nach Artikel 12b Absatz 1 des MinöStG sind erfüllt, wenn folgende Anforderungen der MinöStV (Art. 19c-d Absatz 1) erfüllt sind:

Ökologische Kriterien	Soziale Kriterien
Die Treibhausgasemissionen, welche durch die biogenen Treibstoffe (vom Anbau der Rohstoffe bis zu ihrem Verbrauch) verursacht werden, müssen mindestens 40 % niedriger sein, als jene von fossilem Benzin	Die Flächen, auf denen die für die biogenen Treibstoffe benötigten Rohstoffe angebaut werden, wurden rechtmässig erworben, wobei sich der rechtmässige Erwerb nach dem nationalen Recht und den internationalen Verpflichtungen des Staats, in dem sich die Anbauflächen befinden, sowie nach den von ihm anerkannten internationalen Standards richtet; und
Die Gesamtumweltbelastung vom Anbau bis zum Verbrauch darf im Vergleich zu fossilem Benzin nicht grösser als 25% sein; und	beim Anbau der Rohstoffe und bei der Herstellung der biogenen Treibstoffe die am Anbau-/und am Herstellungsort anwendbare soziale Gesetzgebung, mindestens aber die Kernübereinkommen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) eingehalten werden
Der Anbau der Rohstoffe darf keine Umnutzung von Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (insb. Wälder, Torfmoore, Feuchtgebiete) oder mit grosser biologischer Vielfalt (insb. Schutzgebiete) erfordern	