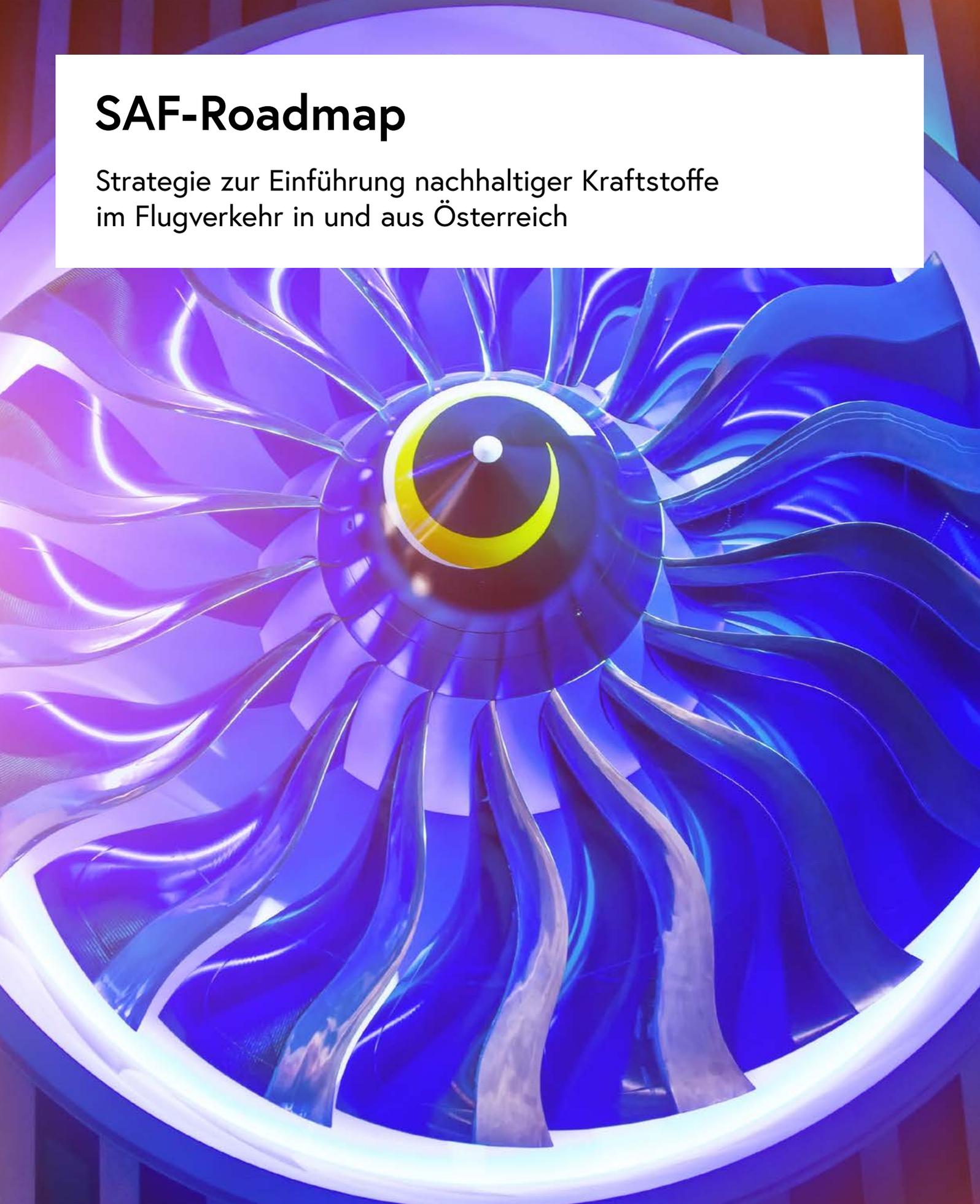


SAF-Roadmap

Strategie zur Einführung nachhaltiger Kraftstoffe
im Flugverkehr in und aus Österreich



SAF-Roadmap

Strategie zur Einführung nachhaltiger Kraftstoffe
im Flugverkehr in und aus Österreich

Wien, 2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität,

Innovation und Technologie (BMK)

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 (0) 800 21 53 59

bmk.gv.at

Autor:innen:

Holger Heinfellner, David Fritz, Anne Glatt, Gudrun Stranner, Ralf Winter (Umweltbundesamt)

Fachliche Unterstützung: Dina Bacovsky, Doris Matschegg (BEST)

Gesamtumsetzung:

Verena Cozac-Brendl (Projektleitung), Antonia Hatler, Hannah Bartels,

Abteilung L1 – Strategie und Internationales

Fotonachweis: stock.adobe.com/aapsky (Umschlag), BMK/Cajetan Perwein (Portrait FBM)

Alle Diagramme und Tabellen, so nicht anders angegeben, von Umweltbundesamt (UBA-GmbH)
Wien, 2024

Vorwort

Der Schutz unseres Klimas und die Mobilitätswende sind Jahrhundertaufgaben. Gerade der Luftverkehr ist dabei besonders gefordert. Denn der Kampf gegen den Klimawandel verlangt eine rasche Dekarbonisierung des Sektors und eine Reduktion seiner weiteren klimarelevanten Emissionen. Klar ist dabei: Auf der Langstrecke wird auch in Zukunft geflogen – dies jedoch ohne unser Klima zu zerstören.

Mit der Luftfahrtstrategie 2040+ hat das Klimaschutzministerium erstmals den Handlungsbedarf in den Bereichen Nachhaltigkeit, Umwelt- und Klimaschutz aufgezeigt und konkrete Maßnahmen definiert. Die Erstellung einer Roadmap zur Einführung nachhaltiger Treibstoffe für den Luftverkehr (Sustainable Aviation Fuels, kurz: SAF) ist auf dieser Basis der nächste Schritt.

Der Einsatz von Sustainable Aviation Fuels stellt eine zentrale Maßnahme zum Umstieg auf eine klimafreundliche Luftfahrt dar. Schon mit der 2023 beschlossenen EU-Verordnung „Refuel-EU-Aviation“ konnte durch die Verankerung verpflichtender Beimischungsquoten von SAF in den gewöhnlichen Treibstofftank ein wichtiger Meilenstein erreicht werden.

Aus dieser Verordnung resultiert bereits ein hoher Bedarf an biogenen und synthetischen SAF in Österreich. Um diesen Bedarf in Österreich bestmöglich decken zu können, hat das Klimaschutzministerium in enger Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt die vorliegende SAF-Roadmap erstellt. Wir wollen damit die Basis für die umfassende Verwendung von SAF in unserem Land schaffen.

Ziel dieser SAF-Roadmap ist es, in und für Österreich optimale Rahmenbedingungen für die Einführung und den Markthochlauf für SAF zu schaffen. Dafür sind folgende Punkte maßgeblich:

- Da alternative Antriebssysteme im besten Fall längerfristig eine Option für den Luftverkehr darstellen werden, müssen nachhaltige Treibstoffe und E-Fuels prioritär im Luftverkehr eingesetzt werden.
- Das Produktionspotential von SAF in Österreich soll maximiert werden, um bestmögliche Importunabhängigkeit zu gewährleisten.
- Die ausreichende Verfügbarkeit von SAF soll durch zusätzliche Absicherung von Importkapazitäten gesichert werden.

Mit der SAF-Roadmap bekennen wir uns im Klimaschutzministerium dazu, diese Ziele und die dazu notwendigen Schritte aktiv voranzutreiben. Dies wird ordentliche Anstrengung erfordern, auch von der Luftfahrtbranche selbst und von allen anderen Betroffenen. Ich bin angesichts der besonderen Innovationsstärke der heimischen Luftfahrtbranche jedoch zuversichtlich, dass wir diese Herausforderung gemeinsam bewältigen können und so Kurs auf eine klimafreundliche Luftfahrt nehmen.



Bundesministerin
Leonore Gewessler

Inhalt

Zusammenfassung	7
1 Regulatorische und strategische Rahmenbedingungen	9
1.1 Internationale Ebene.....	9
1.2 Europäische Ebene.....	10
1.3 Nationale Ebene.....	15
2 Technologien und Nachhaltigkeit	17
2.1 Herstellungspfade für SAF.....	17
2.2 Nachhaltigkeit von SAF.....	24
2.3 Klimaeffekte von Nicht-CO ₂ -Emissionen des Flugverkehrs.....	26
3 SAF-Bedarf in Österreich	28
3.1 Entwicklung Flugverkehrsaufkommen.....	28
3.2 Entwicklung SAF-Bedarf.....	30
4 Wirtschaftliche Potentiale	32
4.1 Produktionsstandort Österreich.....	32
4.2 Ausländische Produktion und Import.....	35
4.3 Kraftstoffkosten.....	37
4.4 Book-and-Claim-Mechanismus.....	40
5 Fokusfelder und Maßnahmen	42
5.1 Fokusfeld 1: Anreize und Impulse für den SAF-Hochlauf in Österreich.....	44
5.2 Fokusfeld 2: Sicherstellung der Verfügbarkeit und Absicherung von Importkapazitäten.....	48
5.3 Fokusfeld 3: Sicherstellung von Nachhaltigkeit.....	53
5.4 Fokusfeld 4: Kostenwahrheit und Wettbewerbsfähigkeit.....	55
5.5 Fokusfeld 5: (Politischer) Dialog und Stakeholder-Partizipation.....	59
Literaturverzeichnis	63
Rechtsvorschriften	69

Zusammenfassung

Der fortschreitende Klimawandel und seine immer deutlicher spürbaren Folgen zählen zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Um diese bewältigen zu können, müssen die durch menschliches Handeln freigesetzten Treibhausgase bis 2050 fast vollständig eliminiert werden. Im Flugverkehr ist insbesondere der Einsatz sogenannter nachhaltiger (weil potentiell klimaneutraler) Flugkraftstoffe (engl.: Sustainable Aviation Fuels, kurz: SAF) von zentraler Bedeutung. In und für Österreich die hierfür optimalen Rahmenbedingungen zu schaffen, ist Kernaufgabe der vorliegenden SAF-Roadmap.

Die existierenden strategischen und regulatorischen Rahmenbedingungen für die Produktion und den Einsatz von SAF sind umfangreich und werden in Kapitel 1 erläutert. Beispielhaft genannt werden können der Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich, die Luftfahrtstrategie 2040+ oder die FTI-Strategie für Luftfahrt 2040+ auf nationaler Ebene sowie die Aktivitäten der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO auf internationaler Ebene. Von besonderer Bedeutung ist die europäische Gesetzgebung in Form der ReFuelEU-Aviation-Verordnung, die verpflichtend zu erfüllende Beimengungsquoten sowohl für SAF biogenen als auch synthetischen Ursprungs vorgibt.

In Kapitel 2 werden jene neun Technologiepfade zur Herstellung von SAF erläutert, die mit Stand April 2023 gemäß der American Society for Testing and Materials (ASTM) zu definierten Quoten von bis zu 50 % fossilem Kerosin beigemischt werden dürfen. Dabei werden die gegenwärtig vertankten SAF-Mengen fast ausschließlich über den etablierten „HEFA-Pfad“ aus pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten erzeugt. SAF müssen sowohl bei der Auswahl der Rohstoffe als auch bei der Wahl des Herstellungspfades insbesondere in Europa strenge Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. Eine Skalierung der übrigen Technologiepfade abseits von HEFA bei gleichzeitiger Einhaltung der notwendigen Nachhaltigkeitskriterien stellt eine Herausforderung der SAF-Produktion dar.

In Kapitel 3 werden mögliche Szenarien zur Entwicklung des nationalen und internationalen Flugverkehrsaufkommens mit Start in Österreich beschrieben – die jährlichen Wachstumsraten liegen zwischen 0 % (Nullwachstum) und 1,8 %. Darauf aufbauend wird ein Bedarf an biogenen und synthetischen SAF für österreichische Flughäfen berechnet, der sich – selbst unter moderaten Annahmen für die Entwicklungen des Flugverkehrsaufkommens – auf rund 18.000 Tonnen 2025, rund 58.000 Tonnen 2030, 339.000 Tonnen 2040 und 699.000 Tonnen 2050 beläuft.¹

Dass dieser Bedarf aus heutiger Sicht nicht durch national verfügbare Rohstoffe gedeckt werden können wird, ist auf die hohe Nachfragekonkurrenz praktisch aller anderen Wirtschaftssektoren zurückzuführen und wird in Kapitel 4 erläutert. Da aus heutiger Sicht aber auch nicht die erforderlichen Produktionsanlagen in Österreich existieren, um den nationalen Bedarf an SAF vollständig zu decken, sind SAF-Importe vo

1 Die durchschnittliche Massendichte von Kerosin beträgt 0,8 kg/l

raussichtlich unumgänglich. An dieser Stelle ist jedoch festzuhalten, dass die Daten- und Informationslage zur Produktion von SAF, die die europäischen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, im derzeitigen frühen Stadium noch unübersichtlich ist. Ebenfalls wird in Kapitel 4 die mögliche Entwicklung der Kraftstoffkosten für SAF und deren Implikation auf die notwendige Preisgestaltung von fossilem Kerosin diskutiert.

Auf den Informationen und Ergebnissen der Kapitel 1 bis 4 aufbauend werden im abschließenden Kapitel 5 schließlich fünf Fokusfelder mit insgesamt 15 detailliert ausformulierten Maßnahmen angeführt. Die Fokusfelder reichen von der Schaffung von Anreizen und Impulsen für den SAF-Hochlauf in Österreich über die Sicherstellung von Verfügbarkeit durch Importe und Nachhaltigkeit der einzusetzenden SAF bis hin zur Herstellung von Kostenwahrheit und Wettbewerbsfähigkeit in der Luftfahrt und werden abgerundet durch die Gewährleistung eines nachhaltigen (politischen) Dialogs und laufender Stakeholder-Partizipation. Übergeordnetes Ziel dieser Fokusfelder und Maßnahmen ist es, das Produktions- und Wertschöpfungspotential der österreichischen Forschungs- und Industrielandschaft zu maximieren, dabei die Einhaltung der strengen Nachhaltigkeitskriterien zu sichern und darauf aufbauend schon in der derzeitigen frühen SAF-Markthochlaufphase rasch auf Veränderungen in der internationalen Produktionslandschaft reagieren zu können. Dabei gilt es Wettbewerbsverzerrungen weitmöglichst zu vermeiden.

1 Regulatorische und strategische Rahmenbedingungen

Auf EU-Ebene bilden die ReFuelEU-Aviation-Verordnung und die Richtlinien zur Förderung erneuerbarer Energieträger und Nachhaltigkeitskriterien (RED) den legislativen Rahmen für die Einführung klimaschonender Treibstoffe im Flugverkehr. Unterstützt wird dies auf nationaler Ebene durch die angestrebte sektorübergreifende Klimaneutralität Österreichs bis spätestens 2040 sowie die strategischen Ausarbeitungen im Mobilitätsmasterplan 2030 für Österreich im Allgemeinen und die Luftfahrtstrategie 2040+ im Speziellen. Marktbasierte Instrumente der EU wie das Europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS), das den Flugverkehr seit 2012 einbezieht, sowie die Klimaschutz-Initiativen der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO bilden flankierend den strategischen beziehungsweise regulatorischen Rahmen.

1.1 Internationale Ebene

SAF sind ein zentrales Element des Maßnahmenkatalogs der Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (engl.: International Civil Aviation Organization, kurz: **ICAO**). Die 193 Mitgliedstaaten der ICAO und eine große Anzahl internationaler Organisationen versammeln sich regelmäßig in einem Abstand von maximal drei Jahren. Bei der letzten Versammlung im Herbst 2022 wurde in der internationalen Luftfahrt ein globales Ziel für Net-Zero-CO₂-Emissionen bis 2050 für die internationale Luftfahrt vereinbart (**LTAG: long-term aspirational goal** agreement). Eine wesentliche Rolle beim Erreichen dieses LTAG-Zieles werden sauberere Energien, insb. Sustainable Aviation Fuels (SAF), haben. In der Resolution A41-21 mit dem Titel „Konsolidierte Erklärung über die fortlaufende Politik und Praxis der ICAO in Bezug auf Umweltschutz – Klimawandel“ wurden hinsichtlich dem Einsatz von SAF unter anderem folgende Aufforderungen an den ICAO-Rat formuliert (ICAO, 2022):

- Erleichterung des Kapazitätsaufbaus und der technischen Unterstützung von Staaten für SAF-Programme.
- Zusammenarbeit mit Stakeholdern, um den Übergang zu SAF zu definieren und zu fördern.

- Erleichterung des Zugangs zu Finanzierungen für Infrastrukturentwicklungsprojekte, die SAF gewidmet sind, um die Anreize zu entwickeln, die zur Überwindung anfänglicher Markthürden erforderlich sind.

Im November 2023 fand die dritte ICAO Conference on Aviation and Alternative Fuels (sogenannte CAAF/3) in Dubai statt. Im Rahmen dieser Konferenz wurde ein „Globaler Rahmen“ mit einem globalen Ziel von 5% CO₂-Reduktion bis 2030 mittels SAF, LCAF oder anderer „cleaner aviation energies“ vereinbart. Diese Vereinbarung eines globalen und kollektiven Ziels bis 2030 unterstützt die Erreichung des LTAG-Ziels. Die Vereinbarung sieht neben dem quantifizierten Ziel u. a. Maßnahmen hinsichtlich Unterstützung bei der Implementierung und Capacity-Building sowie zur Finanzierung vor.

Darüber hinaus wurden die ICAO-Mitgliedstaaten unter anderem dazu aufgefordert, die Kraftstoffzertifizierung und Entwicklung von SAF (einschließlich der Rohstoffproduktion) ebenso wie die Zertifizierung neuer Flugzeuge und Triebwerke für die Verwendung von 100% SAF zu beschleunigen und notwendige Änderungen der Flughafen- und Energieversorgungsinfrastruktur zu unterstützen.

Aber auch die **Luftfahrtindustrie**, vorrangig vertreten durch den Flughafenverband ACI-Europe und den Fluggesellschaften-Verband IATA, hat sich ambitionierte Ziele zur Dekarbonisierung gesetzt. Netto-Null-Emissionen sollen bis zum Jahr 2050 sowohl im Flughafenbetrieb als auch bei der Passagierbeförderung erreicht werden. SAF müssen einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung dieses Ziels leisten.

1.2 Europäische Ebene

Im Dezember 2019 wurde der **Europäische Grüne Deal** vorgestellt. Als übergeordnetes Ziel dieser Initiative sollen bis 2050 in Europa keine Netto-Treibhausgase mehr ausgestoßen und Europa damit zum ersten klimaneutralen Kontinent transformiert werden. Im Juli 2021 wurde das **Fit-for-55-Paket** mit einem unionsweiten THG-Reduktionsziel von 55% bis 2030 veröffentlicht. Dieses Paket umfasst Richtlinien und Verordnungen, auf deren Grundlage im Bereich des Klimaschutzes auch im Luftverkehr bedeutsame Schritte gesetzt werden können. Mit Bezug auf die Luftfahrt wurden im Rahmen des Fit-for-55-Pakets insbesondere eine Nachschärfung des Emissionshandels für den Luftverkehr, die Einführung von Quoten für nachhaltige Flugkraftstoffe (engl.: Sustainable Aviation Fuels, kurz: SAF) und eine Besteuerung von Kerosin auf innereuropäischen Flügen vorgeschlagen.

Mit der EU-Richtlinie 2003/87/EG wurde ab 2005 ein System für den Handel mit THG-Emissionszertifikaten in der Union geschaffen. Ziel dieses **europäischen Emissionshandelssystems** (EU ETS) ist es, kosteneffizient und wirtschaftlich auf eine Reduktion der THG-Emissionen hinzuwirken. Seit Januar 2012 ist auch der Luftverkehr innerhalb des EWR Teil dieses Systems (RL 2008/101/EG). Ankommende und abgehende Flüge fallen derzeit nicht unter den Anwendungsbereich des EU-ETS. Mit dem Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (kurz: **CORSIA**) unter der

Internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) wurde ein globales, marktbasierendes Instrument zur Begrenzung der CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs verabschiedet, welches ein CO₂-neutrales Wachstum des internationalen Luftverkehrs ab dem Jahr 2020, durch den Ausgleich von Emissionen internationaler Flüge von und zu teilnehmenden Staaten, zum Ziel hat. Im Rahmen des Fit-for-55-Pakets wurden von der EU am Beginn des Jahres 2023 weitere umfassende Anpassungen des EU-ETS beschlossen. So wird u. a. die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten bis 2026 schrittweise eingestellt. In Bezug auf SAF wird ein Unterstützungsmechanismus eingeführt, demzufolge im Rahmen des EU-ETS Flugverkehrsbetreiber kostenlose Zertifikate im Ausmaß von 20 Mio. Tonnen für das Tanken von SAF erhalten können. Der neue Mechanismus soll den Einsatz von SAF fördern und den bestehenden Preisunterschied zu herkömmlichem Kerosin überbrücken (BMK, o. J. b).

Auch zur **europäischen Energiesteuerrichtlinie** wurde im Rahmen des Fit-for-55-Pakets ein Vorschlag zur Überarbeitung vorgelegt (EK, 2021b). Mit Bezug zur Luftfahrt sieht diese vor, dass das eingesetzte Kerosin innerhalb der EU nicht mehr vollständig von der Energiesteuer befreit sein soll. Stattdessen soll für Flüge innerhalb der EU nach einer Übergangszeit von 10 Jahren mit einer schrittweisen Erhöhung ein Mindeststeuersatz von 10,75 Euro/GJ oder umgerechnet rund 460 Euro je Tonne gelten. Gegenwärtig unterliegt Kerosin keiner Besteuerung.

Von besonderer Bedeutung für die Luftfahrt generell und die Produktion und den Einsatz von SAF im Speziellen sind die **Richtlinien zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen**. Die EU-Richtlinie Erneuerbare Energie aus 2009 (RED I) definierte für jeden EU-Mitgliedstaat neben einem übergeordneten Ziel für den Einsatz erneuerbarer Energieträger auch ein Subziel für den Verkehrssektor. Im Dezember 2018 wurde die Neufassung der EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien (RL (EU) 2018/2001, RED II) verabschiedet, die teilweise bereits mit der aktuellen Novelle der Kraftstoffverordnung umgesetzt und mit 1. Jänner 2023 in Kraft getreten ist. Diese Richtlinie setzt Zielwerte für den Zeithorizont 2021 bis 2030 für fortschrittliche Biokraftstoffe und E-Fuels (PtX) sowie einen energetischen Zielwert von 14% (gegebenenfalls reduzierbar bis 7% bei Vermeidung von Anbaurohstoffen). Die konkrete Berechnungsmethodik sowie die Anrechnungsmodalitäten für E-Fuels sind auf EU-Ebene aktuell in Ausarbeitung. Für Biokraftstoffe, die aktuell mit Abstand den größten Beitrag zur Zielerreichung darstellen, gilt die verbindliche Einhaltung sogenannter Nachhaltigkeitskriterien (siehe Kapitel 2.2). Diese Nachhaltigkeitskriterien haben wiederum direkten Einfluss auf Art und Anzahl der möglichen Ausgangsrohstoffe, die für die Produktion biogener SAF eingesetzt werden dürfen (siehe nachfolgende Absätze). In Anbetracht des europäischen Reduktionsziels von minus 55% der gesamten THG-Emissionen bezogen auf 1990 wurde bereits eine neue EU-Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (RED III) verabschiedet. Diese enthält einen Zielwert zur Minderung der THG-Intensität von Kraftstoffen im Verkehr um 14,5% bis 2030, der gegenüber einem Referenzwert zu erzielen ist, mit einem Unterziel von 5,5% für fortschrittliche Biokraftstoffe und erneuerbare Kraftstoffe nicht biogenen

Ursprungs (RFNBOs), wovon 1% durch RFNBOs abgedeckt werden soll. Alternativ zur Minderung der THG-Intensität können die Mitgliedstaaten die Zielvorgabe wählen, bezüglich des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor bis 2030 einen Anteil erneuerbarer Energiequellen von mindestens 29% zu erreichen. Dabei ist anzumerken, dass sogenannte Recycled Carbon Fuels, also z. B. zu Kraftstoff aufbereiteter Altkunststoff, ebenso wie sogenannte Low Carbon Fuels – diese können z. B. aus via Atomstrom erzeugtem Wasserstoff stammen – nur optional beziehungsweise gar nicht auf die Ziele der RED III angerechnet werden können sollen.

Das zentrale Dokument zur Ökologisierung des europäischen Flugverkehrs bildet die sogenannte **ReFuelEU-Aviation-Verordnung** zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für den nachhaltigen Luftverkehr (EU [VO] 2023/2405). Die Verordnung bildet einen Teil des Fit-for-55-Pakets. Der Geltungsbereich der Verordnung soll mindestens 95% des gesamten Verkehrs abdecken, der von Flughäfen in der Union abfliegt und umfasst dabei insbesondere

- alle Flüge, die innerhalb der EU unterwegs sind und aus der EU starten,
- jede Fluggesellschaft, die im vorherigen Berichtszeitraum mind. 500 Flüge im gewerblichen Passagierluftverkehr oder 52 gewerbliche Flüge für den reinen Frachtverkehr von Flughäfen in der EU durchgeführt hat sowie
- jeden Flughafen der EU mit mehr als 800.000 Fluggästen oder über 100.000 Tonnen Fracht im vorherigen Berichtszeitraum, der nicht in einem Gebiet äußerster Randlage liegt.

Die Verordnung verpflichtet die Treibstofflieferanten, SAF zu vertreiben. Der Anteil, zu denen SAF herkömmlichem Kerosin beigemischt werden, soll entsprechend der erwarteten zukünftigen Verfügbarkeit von SAF im Laufe der Zeit steigen, um die Emissionen aus dem Luftverkehr im erforderlichen Ausmaß zu verringern. Die angestrebten Beimengungsquoten sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1 SAF-Beimengungsquoten

Jahr	Beimengungsziel	Davon PtL
Ab 2025	2 %	-
Ab 2030	6 %	-
2030–2031	-	1,2 % ²
2032–2034	-	2,0 % ³
Ab 2035	20 %	5 %
Ab 2040	34 %	10 %
Ab 2045	42 %	15 %
Ab 2050	70 %	35 %

Um die erforderlichen Produktionskapazitäten aufzubauen und die Logistik möglichst effizient zu gestalten, kommt bis 2034 ein Flexibilitätsmechanismus zur Anwendung: Innerhalb der ersten 10 Jahre können Flugkraftstoffanbieter eine etwaige geringere Verfügbarkeit von SAF auf einem bestimmten Flughafen mit höheren Anteilen an SAF auf anderen Flughäfen der Union ausgleichen – solange der gewichtete Durchschnittswert der Beimischverpflichtung entspricht.

SAF müssen sogenannte Drop-in-Kraftstoffe sein, d. h. sie müssen ähnlich strenge Kraftstoffspezifikationen erfüllen wie konventionelle Kraftstoffe auf fossiler Basis, beimengbar sein, ein vergleichbares Verhalten wie herkömmlicher Flugkraftstoff aufweisen und ohne Änderung der bestehenden Flugzeugflotten verwendet werden können. Wie Tabelle 1 entnommen werden kann, wird in den Beimengungsquoten zwischen biogenen und (über ein Subziel abgebildeten) synthetischen Flugkraftstoffen nicht biogenen Ursprungs (PtL) unterschieden. Dabei müssen beide Arten von SAF nach Art. 30 der RED II zertifiziert sein. Darauf aufbauend lassen sich die potentiellen Kraftstoffe beziehungsweise Rohstoffe derzeit wie folgt abgrenzen:

- Fortschrittliche Biokraftstoffe, z. B. aus land- oder forstwirtschaftlichen Reststoffen, Algen, Bioabfällen (Advanced Biofuels laut RED II Anhang IX Teil A). Diese können über den Alcohol-to-Jet oder den Fischer-Tropsch-Herstellungspfad produziert werden (vgl. Kapitel 2.1).
- Biokraftstoffe aus Altspeiseöl oder tierischen Fetten (laut RED II Anhang IX Teil B)
- Recycelte – flüssige und gasförmige – kohlenstoffhaltige Kraftstoffe aus flüssigen oder festen Abfallströmen nicht erneuerbaren Ursprungs, die für eine stoffliche Verwertung nicht geeignet sind, sowie aus Gas aus der Abfallverarbeitung

² Durchschnittlicher Anteil von PtL-Kraftstoffen bei einem Mindestanteil von 0,7% pro Jahr

³ Durchschnittlicher Anteil von PtL-Kraftstoffen bei einem Mindestanteil von 1,2% pro Jahr in den Jahren 2032 und 2033 bzw. 2,0% im Jahr 2034

und Abgas nicht erneuerbaren Ursprungs aus Produktionsprozessen in Industrieanlagen.

- In einer Übergangsfrist bis 2034 auch Biokraftstoffe aus noch nicht gelisteten Abfällen und Reststoffen, sogenannte „non-Annex feedstock“. Biokraftstoffe aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, Palmöl, Seifenstock oder Soja sind jedoch als SAF-Rohstoffe ausgenommen, da sie nicht den Nachhaltigkeitskriterien entsprechen.
- Synthetische Flugkraftstoffe nicht biogenen Ursprungs (PtL – Power to Liquid). Darunter versteht man Wasserstoff oder erneuerbaren Strom oder erneuerbare (strombasierte) Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs. Bei strombasierten synthetischen Flugkraftstoffen spricht man auch von Renewable Fuels of Non Biological Origin (kurz: RFNBO).

Biokraftstoffe müssen je nach verwendeten Rohstoffen definierten Nachhaltigkeitskriterien und Kriterien für THG-Einsparungen gem. RED II, Art. 29 entsprechen. Dabei ist festzuhalten, dass die Liste der potentiellen Rohstoffe nicht abschließend verhandelt wurde, sondern im Laufe der Zeit gegebenenfalls neue nachhaltige Rohstoffe aufgenommen werden können.

Ein zentraler Aspekt der ReFuelEU-Aviation-Verordnung betrifft zudem die Unterbindung des sogenannten „Fuel-Tankering“. Darunter versteht man die Praxis, dass ein Flugzeug mehr Treibstoff mitführt, als für den eigentlichen Flug plus Sicherheitsreserve nötig ist, um das Auftanken am Zielflughafen zu reduzieren oder zu vermeiden. Das ermöglicht es, Kerosin zum günstigeren Preis gegebenenfalls an einem außereuropäischen Flughafen zu tanken, erhöht aber das Gewicht des Flugzeugs und den Kraftstoffverbrauch und die damit verbundenen Emissionen. Aus diesem Grund sieht die Verordnung eine Betankungs- und Berichtspflicht für Fluggesellschaften vor, derzufolge Fluggesellschaften sicherstellen müssen, dass die jährliche Menge an Flugkraftstoff, die an einem Flughafen der EU getankt wird, mindestens 90 % des Jahresbedarfs an Flugkraftstoff ausmacht.

Die Europäische Zivilluftfahrt-Konferenz (engl.: European Civil Aviation Conference, kurz: **ECAC**) beschäftigt sich intensiv mit SAF und hat im Februar 2023 die „ECAC/EU Guidance on Sustainable Aviation Fuels (SAF)“ veröffentlicht (ECAC, 2023). Die darin beschriebenen wichtigsten Handlungsempfehlungen für den Hochlauf von SAF in Europa lauten wie folgt:

- Entwicklung nationaler SAF-Strategien und Umsetzungspläne,
- Entwicklung konkreter nationaler SAF-Roadmaps oder Entwicklungspfade (Anmerkung: wie die vorliegende SAF-Roadmap für Österreich), einschließlich konkreter Umsetzungsziele,
- Schaffung eines Nachhaltigkeitsrahmens mit nachvollziehbaren Emissionsminderungen und Aufbau von sozialer Akzeptanz sowie
- Auswahl beziehungsweise Kombination der geeignetsten Maßnahmen, um sowohl die SAF-Verfügbarkeit, als auch die SAF-Nachfrage zu stimulieren.

1.3 Nationale Ebene

Um die Energie- und Klimaziele der EU für 2030 zu erreichen, müssen die EU-Mitgliedstaaten für den Zeitraum 2021–2030 einen **nationalen Energie- und Klimaplan (NEKP)** erstellen, um aufzuzeigen, wie die einzelnen Mitgliedstaaten ihre Effort-Sharing-Ziele für 2030 erreichen und welchen Beitrag sie zu den europäischen Zielen für erneuerbare Energie und Energieeffizienz liefern können (BMNT, 2019). Österreich ist verpflichtet, seine THG-Emissionen (außerhalb des Emissionshandelsbereichs) bis 2030 gegenüber 2005 um 36 % zu reduzieren (VO [EU] 2018/842). Dieses Ziel ist allerdings nicht mit dem aktualisierten 2030-Ziel einer EU-weiten Treibhausgasminde rung um netto mindestens 55 % kompatibel und soll nach dem aktuellen Vorschlag auf -48 % (EU-weit -40 %) erhöht werden (EK, 2021a). Diesem Ziel folgt ein aktualisierter NEKP, der 2024 vorliegen wird.

Der **Mobilitätsmasterplan 2030** für Österreich (BMK, 2021a) bildet den strategischen Rahmen für die integrierte Mobilitäts- und Energiewende auf dem Weg zu einem klimaneutralen Österreich im Jahr 2040 gemäß Regierungsprogramm 2020–2024 (BKA, 2020). Der Mobilitätsmasterplan 2030 zeigt Wege auf, um Verkehr zu vermeiden, zu verlagern und zu verbessern. Er enthält auch für die Luftfahrt eine Reihe von Zielsetzungen, die vorrangig zur Verbesserung beitragen sollen. Dazu zählen unter anderem die Abschaffung der kostenlosen Zuteilung von Emissionsrechten im europäischen Emissionshandelssystem oder die Umsetzung von Maßnahmen zur Förderung der Kostenwahrheit im Luftverkehr. Im Rahmen der Verbesserung wird unter anderem die Einführung nachhaltiger Treibstoffe und alternativer Energieträger beziehungsweise Antriebssysteme (Wasserstoff, Batterie) vorgeschlagen. Während Letztere voraussichtlich eine relativ lange Entwicklungsphase bis zur Marktreife im Luftverkehr durchlaufen müssen, wird die Einführung nachhaltiger Treibstoffe als eine von nahezu allen Stakeholdern und der Wissenschaft realistische und graduell umsetzbare Maßnahme angesehen.

Von der übergeordneten Gesamtverkehrsstrategie des Mobilitätsmasterplans abgeleitet, konkretisieren schließlich die **Luftfahrtstrategie 2040+** (BMK, 2022b) und die **FTI-Strategie für Luftfahrt 2040+** (BMK, 2022c) die konkreten Handlungsbestrebungen des Bundes für eine nachhaltige Luftfahrt. Die „Luftfahrtstrategie 2040+“ ist das umfassende strategische Gesamtkonzept für den Luftverkehr. Es wird ein breites Themenspektrum abgedeckt und strategische Ziele und Maßnahmen werden in den verschiedenen Bereichen definiert. Die Erstellung der vorliegenden SAF-Roadmap ist eine der in der Luftfahrtstrategie 2040+ angeführten Maßnahmen. Die FTI-Strategie auf der anderen Seite gilt als Grundlage für die österreichische Forschungs- und Innovationsagenda Luftfahrt, deren Umsetzung wesentlich zum ökologischen und digitalen Systemwandel beitragen soll.

Das **Klimaschutzgesetz (KSG)** bildet den nationalen rechtlichen Rahmen für die Einhaltung von unionsrechtlich zugeteilten sektoralen Emissionshöchst mungen und Zielpfaden. Darunter fallen nationale Emissionen, die nicht dem europäischen Emissionshandelssystem unterliegen. Bei Überschreitung des Ziels kann ein Vertragsverletzungsverfahren durch die Europäische Kommission eingeleitet werden.

Ziel ist es, die Emissionsreduktionen durch Maßnahmen im Inland zu erreichen und nicht durch Zukauf von Emissionsrechten über flexible Mechanismen (Umweltbundesamt, 2022).

Schlussfolgerung – Regulatorische und strategische Rahmenbedingungen

Das Erfordernis der Ökologisierung des Flugverkehrs wird auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene sowohl in strategischen als auch in rechtsverbindlichen Dokumenten umfassend adressiert. Auf nationaler Ebene sind aktuell der Mobilitätsmasterplan 2030 und insbesondere die Luftfahrtstrategie 2040+ und die FTI-Strategie für Luftfahrt von zentraler Bedeutung. Auf Ebene der Europäischen Union bilden vor allem der Europäische Green Deal und das Fit-for-55-Paket mit der ReFuelEU-Aviation-Verordnung die regulatorische Basis. Aber auch das europäische Emissionshandelssystem (EU-ETS), die Richtlinien zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und die Handlungsempfehlungen der ECAC sind anzuführen. Auf internationaler Ebene sind insbesondere die Zielsetzungen und Aktivitäten der ICAO sowie das Instrument CORSIA zu nennen, dessen Umsetzung und Effektivität in den kommenden Jahren auf EU-Ebene überprüft und darauf aufbauend weiter verbessert werden soll.

Die ReFuelEU-Aviation-Verordnung bestimmt den Anteil der SAF, der herkömmlichem fossilen Kerosin beigemengt wird. Die Beimengungsquote steigt im Laufe der Jahre stetig (siehe Tabelle 1), um die CO₂-Emissionen aus dem Luftverkehr zu verringern. Gleichzeitig müssen die eingesetzten SAF nach Art. 30 der RED II zertifiziert sein und im Fall von Biokraftstoffen Nachhaltigkeitskriterien und Kriterien für THG-Einsparungen gem. RED II, Art. 29 entsprechen, was eine Einschränkung der potentiell einsetzbaren Rohstoffe zur Folge hat, auch weil diese Rohstoffe in Zukunft auch von anderen Wirtschaftsbereichen intensiv nachgefragt werden. So ist es aus heutiger Sicht vor allem die Verfügbarkeit einsetzbarer Rohstoffe, die für die Umsetzung der zukünftigen Rahmenbedingungen eine Herausforderung darstellt und Maßnahmen in Richtung Einsatzpriorisierung in Hard-to-abate-Bereichen, wie insbesondere dem Luftverkehr, erforderlich machen wird.

Die Einführung der vorgeschlagenen Kerosinbesteuerung von innereuropäischen Flügen ist komplex, zugleich aber erforderlich, um die notwendige Kostenwahrheit im Flugverkehr herzustellen. Die Erlöse daraus könnten, wie in der Luftfahrtstrategie 2040+ vorgeschlagen, für die Finanzierung des Hochlaufs von Sustainable Aviation Fuels (SAF) verwendet werden. Der Vorschlag, EU-ETS auf alle ankommenden und abgehenden Flüge in der EU anzuwenden, konnte bisher nicht umgesetzt werden; mit CORSIA steht aber ein alternatives Instrument zur potentiellen Querfinanzierung des SAF-Hochlaufs zur Verfügung.

2 Technologien und Nachhaltigkeit

SAF müssen für ihren Einsatz im kommerziellen Luftverkehr nach gewissen Spezifikationen zertifiziert sein. Dies gilt gleichermaßen für biogene als auch synthetische strombasierte SAF und trifft derzeit auf neun Technologie- beziehungsweise Herstellungspfade zu. Unabhängig von der Wahl des Pfades müssen SAF dabei vorgegebene Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, die insbesondere den Einsatz erneuerbarer Energiequellen über die gesamte Herstellungskette und den vollständigen Lebenszyklus erfordern. SAF, die in Europa eingesetzt werden sollen, müssen besonders hohe Anforderungen erfüllen und somit zu einer umfassenden und nachhaltigen Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen.

2.1 Herstellungspfade für SAF

Die American Society for Testing and Materials (kurz: ASTM) ist eine internationale Standardisierungsorganisation mit Sitz in den USA. Der Schwerpunkt der Arbeit der ASTM liegt in der Entwicklung von standardisierten Prüf- und Analyseverfahren. Im Zusammenhang mit der Herstellung und dem Einsatz von SAF hat die ASTM in den Standards D1655-22a (ASTM, 2022a), D4054-22 (ASTM, 2022b) und D7566-22a (ASTM, 2022c) mit Stand April 2023 neun Pfade bewertet und genehmigt. Acht weitere Pfade, darunter das ReOil-Verfahren der österreichischen OMV, mit dem Rohöl aus Kunststoffabfällen wiedergewonnen werden kann, werden derzeit geprüft. SAF können fossilem Kerosin dabei gegenwärtig bis zu 50% beigemischt werden. Optionen für den Einsatz von SAF in Reinform werden bereits geprüft.

Tabelle 2 Übersicht der durch die ASTM genehmigten SAF-Herstellungspfade (Stand: April 2023) (ICAO, 2023; EASA, o. J.)

Abk.	Beschreibung	Maximale Beimengung	TRL ⁴
FT-SPK	Fischer-Tropsch hydroprocessed synthesized paraffinic kerosens	50 %	7–8
HEFA	Synthesized paraffinic kerosene from hydroprocessed esters and fatty acids	50 %	8–9
SIP	Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars	10 %	7–8 oder 5 ⁵
FT-SKA	Synthesized kerosene with aromatics derived by alkylation of light aromatics from non-petroleum sources	50 %	6–7
ATJ-SPK	Alcohol to jet synthetic paraffinic kerosene	50 %	7–8
CHJ	Catalytic hydrothermolysis jet fuel	50 %	6
HC-HEFA-SPK	Synthesized paraffinic kerosene from hydrocarbon-hydroprocessed esters and fatty acids	10 %	5
co-processed HEFA	co-hydroprocessing of esters and fatty acids in a conventional petroleum refinery	5 %	-
co-processed FT	co-hydroprocessing of Fischer-Tropsch hydrocarbons in a conventional petroleum refinery	5 %	-

2.1.1 Fischer-Tropsch-Verfahren

FT-SPK (ASTM D7566, Annex 1), FT-SKA (ASTM D7566, Annex 4), co-processed FT (ASTM D1655, Annex A1)

Beim Fischer-Tropsch-Verfahren wird zunächst ein kohlenstoffhaltiges Material in einzelne Bausteine in Gasform (Synthesegas) zerlegt. Die FT-Synthese kombiniert diese Bausteine dann zu SAF und anderen Brennstoffen. Bisher sind zwei verschiedene FT-Verfahren von der ASTM zertifiziert worden: eines, das einen reinen paraffinischen Düsenkraftstoff (SPK) erzeugt, und eines, das zusätzlich aromatische Verbindungen (SAK) produziert. Für beide Verfahren kann gemäß der Spezifikation jedes kohlenstoffhaltige Ausgangsmaterial verwendet werden. Demnach kommen für die Gaserzeugung neben Hackschnitzeln beispielsweise auch Hausmüll oder Klärschlamm als Ausgangsstoff in Frage. Nach der Gaserzeugung kommt das Gasgemisch in einen Wasser-Gas-Shift-Reaktor, um in weiterer Folge als Synthesegas zur Synthese (Fischer-Tropsch-Synthese) geleitet zu werden. Nach dieser Synthese sind weitere Prozessschritte notwendig, wie z. B. das Cracking mit zu

4 Technology Readiness Level, TRL: Die „TRL“-Skala reicht von 1 (Basisprinzipien beobachtet) bis 9 (wettbewerbsfähige Fertigung).

5 TRL 7–8 für konventionelle Zuckerrohstoffe, TRL 5 für lignozellulosehaltige Zuckerrohstoffe

sätzlichem Wasserstoff, um die gewünschte Länge der Kohlenwasserstoffe zu erreichen beziehungsweise Isomerisierung und Destillation.

Beim Co-Processing wird beispielsweise FT-Wachs zusammen mit konventionellen Rohölen in bestehenden Raffinerien verarbeitet. Es handelt sich dabei nicht um einen SAF-orientierten Produktionsweg, sondern vielmehr um die Zulassung der Mitverwendung eines geringen Prozentsatzes von FT-Wachs in einer konventionellen Raffinerie. Die technischen Prozesse sind praktisch ident mit jenen der SAF-orientierten Produktion.

Obwohl das Verfahren mit Kohle oder Erdgas einen hohen Technologie-Reifegrad aufweist, sind auf Biomasse basierende Anlagen noch nicht kommerziell verfügbar. Herausfordernd ist beispielsweise die Aufbringung von ausreichend Biomasse für Großanlagen sowie die Synthesegasreinigung, die hohe Kosten verursacht. Ein weiterer großer Nachteil sind die hohen Kapitalkosten der Anlagen. Die FTS ist auch bei der Herstellung von synthetischen SAF (Power-to-Liquid-Verfahren) ein wesentlicher Prozessschritt.

Fischer-Tropsch-Synthese (FTS)

Die FTS ist eine etablierte Technologie, die seit fast 100 Jahren eingesetzt wird, um aus Erdgas und Kohle Kraftstoffe herzustellen. Das FT-Rohprodukt kann vielfältig hergestellt werden, wobei für die eigentliche Synthese immer Wasserstoff und Kohlenstoff erforderlich sind. Dabei kann jedes kohlenstoffhaltige Material verwendet werden, womit sich die FTS besonders für die Verarbeitung von Biomasse eignet. In der FTS wird ein Roh-Flüssigkraftstoff hergestellt, der dann raffiniert beziehungsweise veredelt wird.

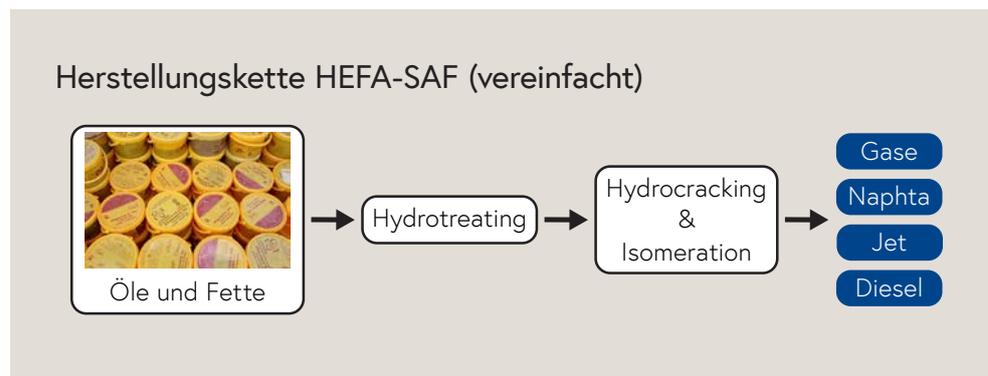
Der Wirkungsgrad der FTS liegt derzeit bei rund 70% und wird zukünftig vermutlich nur noch geringfügig erhöht. Die FTS ist stark exotherm, d. h. wenn die auftretende Wärme genutzt wird, kann der gesamte Anlagenwirkungsgrad deutlich erhöht werden. Mögliche Nutzungen sind bspw. die Einspeisung in ein Fernwärmenetz oder bei der CO₂-Abscheidung aus der Luft.

2.1.2 HEFA-Verfahren

HEFA (ASTM D7566, Annex 2), HC-HEFA-SPK (ASTM D7566, Annex 7), co-processed HEFA (ASTM D1655, Annex A1)

Die heute produzierten und vertankten SAF-Mengen werden fast ausschließlich über den etablierten HEFA-Pfad erzeugt. Beim HEFA-Verfahren kommen pflanzliche und tierische Öle und Fette verschiedener Herkunft, beispielsweise aus Algen, Jatropha, Camelina, Salzpflanzen oder Altspeiseöl, also Abfällen aus der Nahrungsmittelindustrie, zum Einsatz. Zuerst entzieht man dem Ausgangsstoff das Wasser (Hydrierung und Umesterung), um ein Öl zu erhalten, das in Folge wie Rohöl veredelt wird.

Abbildung 1
Herstellungskette HEFA-SAF
(vereinfacht dargestellt)



Es wird bei diesem Herstellungspfad zwischen sog. Stand-alone-Anlagen und Co-Processing-Anlagen unterschieden. Beim Co-Processing wird der biogene Rohstoff bereits während der Kraftstoffherzeugung in der bestehenden Raffinerieanlage zugeführt. Bei den Stand-alone-Anlagen wird das Pflanzenöl nicht co-hydriert, sondern rein pflanzliche Öle raffiniert.

Eine Spezialform stellt das HC-HEFA-SPK-Verfahren dar. Hierbei werden die biologisch gewonnenen Kohlenwasserstoffe, freien Fettsäuren und Fettsäureester ähnlich wie im HEFA-Verfahren veredelt, wobei als Ausgangsstoff auf ausgesuchte Algenarten zurückgegriffen wird.

Derzeit wird das meiste Biokerosin durch die Hydrobehandlung von Fetten und Ölen wie Altspeiseöl hergestellt. Die Technologien für alle HEFA-Pfade, einschließlich Biokerosin, sind ausgereift (TRL 8-9). Aufgrund der hohen Kosten wird jedoch in den bestehenden Anlagen zumeist kein Flugkraftstoff abgetrennt, sondern das Produkt Hydrotreated vegetable oils (HVO) als „Winterdiesel“ vermarktet. Kosten und Verfügbarkeit von Rohstoffen und deren Nachhaltigkeit sind die größten Herausforderungen (siehe Kapitel 4).

2.1.3 SIP-Verfahren

(ASTM D7566, Annex 3)

Nach FT-SPK und HEFA wurden die „Synthesized iso-paraffins from hydroprocessed fermented sugars“ (SIP) bereits im Juni 2014 als dritter Herstellungspfad genehmigt. Hierbei wandeln Mikroben im Rahmen einer fortschrittlichen Fermentierung C6-Zucker (also im Wesentlichen Glukose) in sogenannte Farnese um, die nach Behandlung mit Wasserstoff als SAF verwendet werden können. SIP nimmt im Vergleich zu anderen Herstellungspfaden aus heutiger Sicht nur eine untergeordnete Rolle für die SAF-Produktion ein. Dies auch deshalb, da die Beimengungsquote nach heutigem Stand mit 10% begrenzt ist.

2.1.4 Alkoholsynthese-Verfahren

(ASTM D7566, Annex 5)

Bei der Alkoholsynthese⁶ wird zunächst aus Wasserstoff und CO₂ flüssiger Alkohol (Methanol) hergestellt, der im Weiteren zu synthetischen Flüssigkraftstoffen (Diesel, Benzin, Kerosin) umgewandelt wird. Dazu werden Wasserstoff und CO₂ in einer reversen Wasser-Gas-Shift-Reaktion in das erforderliche Synthesegas umgewandelt, wofür hohe Temperaturen notwendig sind. Anschließend wird das Methanol separiert, wobei langkettige Kohlenwasserstoffe entstehen. Diese HC-Ketten werden dann mittels Oligomerisation und Hydrobehandlung in die gewünschte Länge für Flugkraftstoffe gebracht. Im Prinzip können sämtliche stärke- beziehungsweise zuckerhaltigen Rohstoffe als Ausgangsquelle herangezogen werden. Allerdings sind Zucker- und Stärkepflanzen als Ausgangsstoff für SAF gemäß ReFuel-EU-Aviation-Verordnung nicht zugelassen. Es müsste daher auf Zellulose-Ethanol, beispielsweise aus landwirtschaftliche Reststoffen, zurückgegriffen werden. Dieses Verfahren ist jedoch noch nicht voll kommerzialisiert, hat jedoch Potential große SAF-Mengen zu liefern, da 80 bis 90% des gesamten flüssigen Anteils als Biokerosin verwendet werden könnten.

2.1.5 CH-Verfahren

(ASTM D7566, Annex 6)

Das CH-Verfahren (auch hydrothermale Verflüssigung genannt) besteht aus hydrothermalen Umwandlungs- und Hydrotreating-Verfahren, die Fettsäureester und Fettsäuren wie Altfette oder Öle unter anderem in Flugkraftstoff umwandeln. CHJ ist eine synthetische Mischung, die im Wesentlichen aus normalem Paraffin, Cycloparaffin, Isoparaffin und aromatischen Verbindungen besteht. Für das CH-Verfahren kann eine Vielzahl von Triglycerid-basierten Rohstoffen wie Sojaöl, Jatropaöl, Leindotteröl, Carinataöl und Tungöl eingesetzt werden. Das durch den CH-Umwandlungsprozess erzeugte CH-Rohöl

⁶ Diese wird auch als „Methanol-to-Olefins“ (MeOH) sowie „Olefins-to-Distillate“-Prozess bezeichnet.

enthält Tausende von Isomeren, die über den gesamten Siedebereich von Jet- und Dieselmotoren verteilt sind.

2.1.6 PtL – Power to Liquid

Wie in Kapitel 1.2 erläutert, müssen zukünftig neben SAF biogenen Ursprungs zu definierten Quoten auch PtL-basierte SAF beigemischt werden. Diese können grundsätzlich auf unterschiedliche Arten hergestellt werden. Eine davon folgt dem Herstellungspfad FT-SPK, der auch dann noch von der ASTM genehmigt ist, wenn in der Fischer-Tropsch-Anlage anstelle des Synthesegases Wasserstoff verarbeitet wird. Dieser wird zuvor mittels Elektrolyse erzeugt, indem Wasser unter Einsatz von Strom aus erneuerbarer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten wird. Als Kohlenstoffquelle für die FTS kommen aus technischer Sicht alle kohlenstoffhaltigen Rohstoffe in Frage, entweder durch die Abscheidung aus konzentrierten Quellen oder über die direkte Extraktion von CO₂ aus der Atmosphäre.

Konkrete Beispiele für konzentrierte Kohlenstoffquellen sind Biomasse (z. B. Hackschnitzel, Abfall/Hausmüll, Stroh, Altholz, Klärschlamm), Biogasanlagen, Ethanolanlagen, CO₂-Auswaschung von Rauchgas bei fossil oder biogen betriebenen Kraft- beziehungsweise Heizwerken (z. B. durch Oxyfuel-Verfahren), Oxyfuel-Verfahren oder Kaliumkarbonatwäsche in Industrieprozessen bei der Stahl- oder Zementherstellung. Die Nutzung der letztgenannten Kohlenstoffquellen könnte unter Umständen in Zukunft als nicht „nachhaltig“ eingestuft werden, wenn sie auf nicht nachhaltigen Praktiken beruhen oder dem Ziel einer stärkeren zirkulären Ressourcennutzung entgegenwirkt (Umweltbundesamt DE, 2022).

Bei „Direct Air Capture“ (DAC) wird CO₂ direkt aus der Atmosphäre gewonnen. Dieser Vorgang ist aus ökologischer Sicht besonders wertvoll, da die CO₂-Konzentration in der Erdatmosphäre aktiv reduziert wird. Die Methode hat jedoch den Nachteil der hohen Energieintensität, mit der das CO₂ aus der Luft gefiltert werden muss, da die Konzentration von CO₂ in der Luft deutlich niedriger ist als aus industriellen Verbrennungsprozessen. Das bedeutet, dass große Mengen an Luft durch Filteranlagen geleitet werden müssen, um eine relevante Menge an CO₂ zu erzeugen. Für die Auswaschung wird auch viel Strom und Wärme benötigt.

Die Bereitstellung von konzentrierten Strömen erneuerbarem CO₂ aus etablierten großtechnischen Prozessen weist einen hohen Technologie-Reifegrad auf (TRL 9). Die direkte Gewinnung von CO₂ aus der Atmosphäre weist einen TRL von 6 bis 8 auf (Umweltbundesamt DE, 2022). In Summe ist die Herstellung von PtL-Kraftstoffen, für die allgemein der Begriff „E-Fuels“ oder im Kontext der Luftfahrt „PtL-Kerosin“ verwendet wird, mit hohen Investitions- und Kapitalkosten verbunden.

Übersicht der bedeutendsten Herstellungspfade für SAF

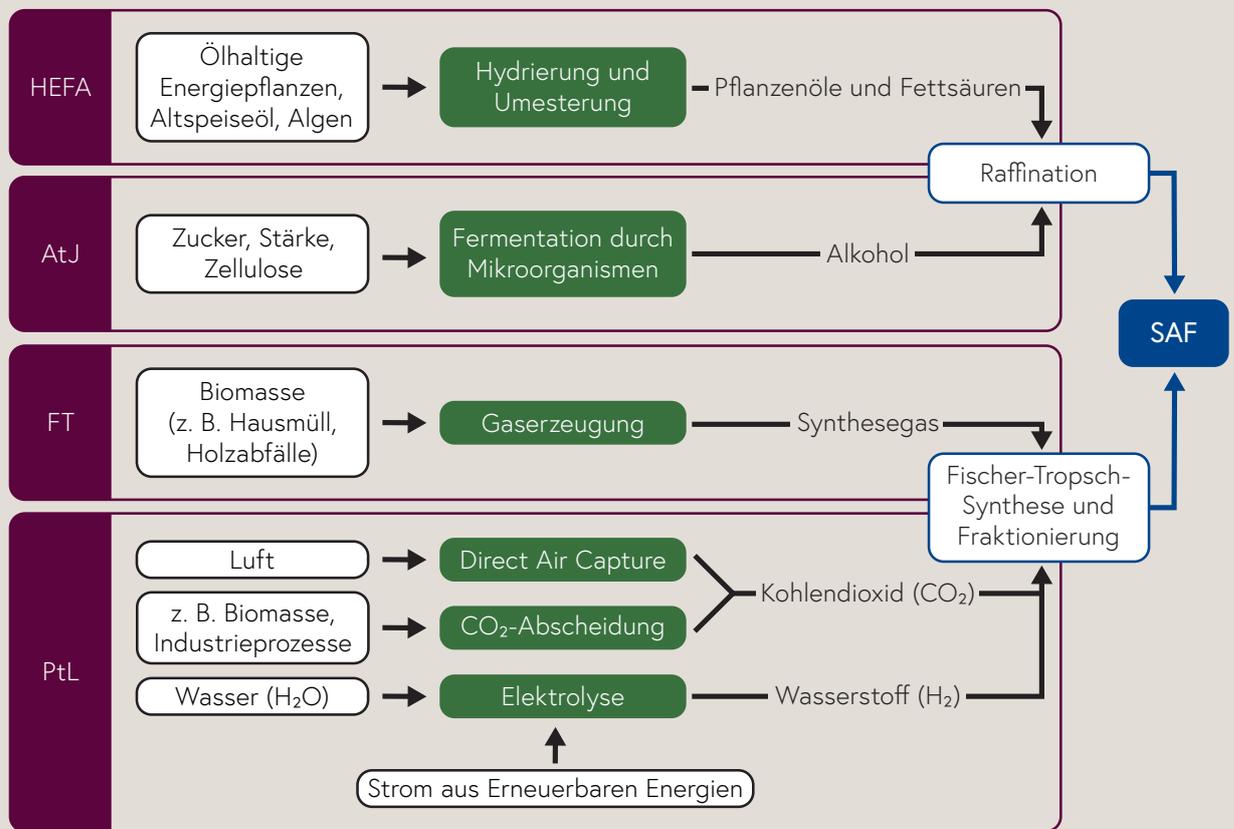


Abbildung 2
Übersicht der bedeutendsten
Herstellungspfade und Roh-
stoffe für SAF,
Quelle: Umweltbundesamt,
auf Basis von Klimaschutz-
Portal.aero o. J.

2.2 Nachhaltigkeit von SAF

Um die tatsächliche Nachhaltigkeit von SAF im Sinne der Reduktion von Treibhausgasemissionen und deren gesamten Klimanutzen bewerten zu können, wird eine Lebenszyklusanalyse (engl.: Life cycle assessment, LCA) durchgeführt. Dabei werden alle Phasen im Lebenszyklus von Flugkraftstoffen (well-to-wing) berücksichtigt. Die Ökobilanz umfasst den Anbau, die Ernte und den Transport von Rohstoffen, die Herstellung und den Transport des Kraftstoffs sowie die Verbrennung in Flugzeugen. Die THG-Emissionen von Kraftstoffen, die bei all diesen Prozessen anfallen, werden in Form von Gramm CO₂-Äquivalenten je Megajoule Energiegehalt (g CO_{2-eq}/MJ) angegeben, die mit den Emissionen von fossilen Flugkraftstoffen verglichen werden können. Bei den Nachhaltigkeitskriterien unterscheiden sich das europäische Bewertungsregime gemäß RED II und das internationale Regime CORSIA. Die wichtigsten Unterschiede sind in nachfolgender Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3 Übersicht der Nachhaltigkeitskriterien nach RED II und CORSIA (EASA, 2022)

RED II	CORSIA
THG-Emissionen von Biokraftstoffen auf Lebenszyklusbasis müssen niedriger sein als die von zu substituierenden fossilen Brennstoffen (Basiswert fossiler Brennstoffe = 94 g CO _{2-eq} /MJ): mind. 50 % niedriger für Anlagen, die älter als 5. Oktober 2015 sind, 60 % niedriger für Anlagen nach diesem Datum und 65 % niedriger für Biokraftstoffe, die in Anlagen hergestellt werden, die nach 2021 in Betrieb gehen. Für RFNBO müssen die Einsparungen mindestens 70 % betragen. Die ReFuelEU-Aviation-Verordnung schränkt die RED-II-Kriterien weiter ein, indem Kraftstoffe aus Futter- und Nahrungspflanzen ausgeschlossen sind.	Netto-THG-Emissionsreduktion für zugelassene Kraftstoffe bzw. SAF muss auf Lebenszyklusbasis mind. 10 % im Vergleich zu herkömmlichen rohölbasiertem Kerosin sein (Basiswert für fossile Kraftstoffe = 89 g CO _{2-eq} /MJ). Unterscheidung zwischen SAF und lower carbon aviation fuels (LCAFs). SAF muss aus erneuerbaren Rohstoffen oder Abfällen stammen; LCAFs können aus fossilen Quellen stammen, die THG-Emissionsreduktion von 10 % auf Lebenszyklusbasis ist nachzuweisen. Für Kraftstoff-Chargen, die ab 1. Januar 2024 hergestellt werden, gelten zusätzliche Nachhaltigkeitskriterien, unter anderem in Bezug auf Wasser, Boden, Luft, Naturschutz (Biodiversität), Menschen- und Arbeitsrechte, lokale und soziale Entwicklung oder Lebensmittelkontrolle.

Der Vergleich der beiden Regime zeigt ein deutlich höheres Ambitionsniveau beim europäischen System im Hinblick auf die Reduktion der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus. Die dort festgehaltenen Reduktionsziele, insbesondere in neueren Produktionsanlagen, können nur mehr von ausgesuchten Herstellungspfad-Rohstoff-Kombinationen erfüllt werden.

Neben der ergänzenden Berücksichtigung von Effekten der direkten Landnutzungsänderung ist beiden Regimen zudem die Berücksichtigung der Emissionen aus sogenannten indirekten Landnutzungsänderungen (engl.: Indirect Land Use Change, kurz: ILUC) gemein. ILUC beschreibt einen Substitutionseffekt, demzufolge durch den Bedarf an Rohstoffen für die Biokraftstoffproduktion eine Verlagerung von Nahrungs- und Futtermittelproduktion auf bislang ungenutzte Flächen stattfindet. Die dadurch entstehenden Emissionen sind nicht empirisch messbar und demnach schwer zu quantifizieren. Die Grundaussagen aller ILUC-Berechnungen sind jedoch relativ ähnlich. So werden die negativen Auswirkungen durch ILUC für Palm-, Soja- und Rapsöl immer höher eingestuft als für zucker- und stärkehaltige Rohstoffe wie Getreide oder Zuckerrohr.

Mit der Neufassung der Richtlinie zur Förderung der Erneuerbaren Energien (RED II) wurde ein anderes Konzept verstärkt aufgegriffen: Jene Rohstoffe, bei denen eine wesentliche Ausdehnung der Produktionsflächen auf Flächen mit hohem Kohlenstoffbestand (z. B. Moore oder Regenwälder) zu beobachten ist, werden für die Biokraftstoffproduktion ausgewiesen und deren Anrechenbarkeit beschränkt. Nach derzeitigem Stand zählt Palmöl (und dessen Nebenprodukte) zu derart ausgewiesenen Rohstoffen. Palmölbasierte Biokraftstoffe können seit Juni 2021 nicht mehr angerechnet werden. Die Anrechenbarkeit sämtlicher Biokraftstoffe mit einem hohen Risiko von Landnutzungsänderungen muss bis spätestens 2030 gänzlich auf null abgesenkt werden (BMK, 2021b).

Die veröffentlichten delegierten Rechtsakte zu Artikel 27 und 28 der RED II legen fest, was RFNBOs sind und wie sie hergestellt werden müssen, um in diese Kraftstoffkategorie und Zielerrechnung zu fallen. Die für die Herstellung des Wasserstoffs verwendete Energie muss aus zusätzlicher erneuerbarer Kapazität stammen, die ausdrücklich der erneuerbaren H₂/RFNBO- und im Allgemeinen der PtX-Produktion gewidmet ist. Andernfalls würde die Nutzung von nicht zusätzlichem Strom aus erneuerbaren Energien indirekt zu einer Erhöhung der fossilen Stromnutzung in anderen Marktsegmenten führen.

Die Kontrolle der Einhaltung der genannten Nachhaltigkeitsanforderungen durch Wirtschaftsakteure entlang der SAF-Lieferkette auf Lebenszyklusbasis (d. h. vom Rohstofflieferanten bis hin zur Beimengung) erfolgt durch Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme. Bei Erfüllung wird dies durch ein Zertifikat bestätigt, welches den Wirtschaftsakteur in die Lage versetzt, SAF aus zertifizierten Rohstoffen gemäß relevanter Nachhaltigkeitsanforderungen (z. B. RED II, CORSIA) zu produzieren (EASA, 2022). Durch das elektronische Monitoring-System der Umweltbundesamt GmbH „Elektronischer Nachhaltigkeitsnachweis – eNa“ liegen seit 2013 für Österreich Daten betreffend der Nachhaltigkeit über die verwendeten Rohstoffe der in Österreich produzierten und in Verkehr gebrachten Biokraftstoffe vor. In Zukunft soll diese Nachweisführung auch auf europäischer Ebene im Rahmen der „Union Data Base“ erfolgen.

2.3 Klimaeffekte von Nicht-CO₂-Emissionen des Flugverkehrs

In der Luftfahrt fallen neben CO₂-Emissionen auch Luftschadstoffemissionen, insbesondere Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM), dessen Hauptbestandteil Rußpartikel sind, an. Absolut gesehen haben sich die NO_x-Emissionen des Luftverkehrs in der EU seit 1990 fast verdreifacht; ihr relativer Anteil hat sich sogar vervierfacht, da andere Wirtschaftszweige deutliche Reduktionen erreichen konnten. Bei den Emissionen von PM_{2,5} beträgt der Gesamtanteil des Luftverkehrs weniger als 1%, während auf den Verkehrssektor 5% entfallen. Die Emissionen von PM_{2,5} sind seit 2000 leicht angestiegen. Die Emissionen von Kohlenmonoxid (CO) und Schwefeloxiden (SOX) aus dem Luftverkehr sind seit 1990 ebenfalls gestiegen, während diese Emissionen bei den meisten anderen Verkehrsträgern gesunken sind (EASA, 2022).

Es ist wissenschaftlicher Konsens, dass die Nicht-CO₂-Effekte insgesamt eine strahlungsverstärkende Wirkung haben (Lee, 2018). Ein Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs entfällt auf CO₂-Emissionen. Zwei Drittel der Klimawirkung werden durch Nicht-CO₂-Emissionen verursacht (DLR, o.J.). Den bedeutendsten Einfluss haben Kondensstreifen und daraus resultierende Kondensstreifen-Zirren. Die im Flugbetrieb ausgestoßenen Rußpartikel gefrieren sofort zu Eiskristallen und werden als Kondensstreifen sichtbar. Bei feuchtkalten Bedingungen können die Eiskristalle der Kondensstreifen in Höhen von 8 bis 12 Kilometern mehrere Stunden bestehen und es kommt zur Bildung hoher Wolken, sogenannter Kondensstreifen-Zirren. Diese können lokal kühlend oder wärmend wirken, global gesehen überwiegt jedoch die wärmende Wirkung. Daneben führt der Ausstoß von Stickoxiden (NO_x) zu zusätzlichem Ozon und verursacht weitere indirekte Effekte auf Treibhausgase. Auch der direkte Ausstoß von Wasserdampf (H₂O), Schwefeldioxid (SO₂) und Rußpartikeln hat Einfluss auf den Strahlungshaushalt. (DLR, o.J.)

Die Quantifizierung der Nicht-CO₂-Effekte ist komplex, da sie einander beeinflussen und ihre Wirkung stark von Ort, Tageszeit und den Wetterbedingungen abhängt. Weitere Einflussfaktoren sind die Art des eingesetzten Treibstoffs und der Triebwerke, die Flughöhe sowie Breiten- und Längengrad. Daher haben die Nicht-CO₂-Effekte je nach Flug stark unterschiedliche Wirkungen. Durch die Anpassung von Trajektorien (Flughöhe und Flugwege) ließen sich Kondensstreifen vermeiden. Voraussetzung dafür sind die genaue Kenntnis der Wettersituation, um Gebiete mit hoher Kondensstreifenbildung vermeiden zu können, sowie ökonomische Anreize für diese Optimierung, beispielsweise die Berücksichtigung der Nicht-CO₂-Effekte im EU-ETS (sowie in CORSIA) (DLR, 2023).

Der Einsatz von SAF kann einen signifikanten Beitrag zur Milderung der Nicht-CO₂-Effekte leisten. So haben Flugversuche des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit einem Airbus A350 mit 100% SAF-Betankung im November 2021 gezeigt, dass mit SAF deutlich geringere Rußpartikel-Emissionen und in Folge weniger Kondensstreifen entstehen. Es konnte nachgewiesen werden, dass bereits eine 50% SAF-Beimischung die Klimawirkung von Kondensstreifen um 20–30% reduzieren kann (DLR, 2021). Eine vollständige Eliminierung der Nicht-CO₂-Effekte kann aber auch der Einsatz von SAF nicht leisten.

Schlussfolgerung – Technologien und Nachhaltigkeit

Mit Fischer-Tropsch (FT), Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA), Synthesized iso-paraffins (SIP), Alcohol to Jet (AtJ), Catalytic hydrothermolysis (CHJ) und einigen „Unterverfahren“ stehen derzeit neun Technologiepfade zur Verfügung, die auch mit hohen Beimengungsraten von bis zu 50% für die SAF-Produktion zugelassen sind. Die einzige derzeit kommerzialisierte Technologie ist HEFA mit pflanzlichen und tierischen Ölen und Fetten (z. B. Altspeiseöl) als Ausgangsstoff. In den existierenden HEFA-Anlagen wird aktuell jedoch hauptsächlich hydriertes Pflanzenöl produziert, das als Dieselsubstitut eingesetzt wird. Die anderen Technologiepfade sind technisch umsetzbar, aber gegenwärtig noch mit sehr geringen Kapazitäten realisiert, weshalb derzeit noch hohe Produktionskosten anfallen. Eine Skalierung dieser Technologiepfade bei gleichzeitiger Einhaltung der notwendigen Nachhaltigkeitskriterien stellt eine Herausforderung der SAF-Produktion dar.

SAF müssen sowohl bei der Auswahl der Rohstoffe als auch bei der Wahl des Herstellungspfades Nachhaltigkeitskriterien erfüllen. Hier unterscheiden sich das europäische Bewertungsregime gemäß RED II und das internationale Regime CORSIA. Der Vergleich der beiden Regime zeigt ein deutlich höheres Ambitionsniveau beim europäischen System im Hinblick auf die Reduktion der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus. Die große Herausforderung beim Thema Nachhaltigkeit ist, dass unterschiedlichste Projektkonstellationen mit komplizierten Wertschöpfungsketten innerhalb und außerhalb Europas den Anforderungen genügen müssen. Die Kontrolle der Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen durch Wirtschaftsakteure entlang der SAF-Lieferkette auf Lebenszyklusbasis erfolgt durch Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme. Dies gewährleistet insgesamt ein hohes Maß an Nachhaltigkeit des eingesetzten Kraftstoffs.

Für die Beurteilung der Klimawirkung des Luftverkehrs sind auch die Nicht-CO₂-Emissionen von zentraler Bedeutung. Dabei haben Kondensstreifen und daraus resultierende Kondensstreifen-Zirren den bedeutendsten Einfluss. Gemäß ersten Forschungsergebnissen kann der Einsatz von SAF auch hier einen wertvollen Beitrag leisten. Eine vollständige Eliminierung der Nicht-CO₂-Effekte kann aber auch der Einsatz von SAF nicht leisten.

3 SAF-Bedarf in Österreich

Die zukünftigen verpflichtenden Beimengungsquoten von SAF in der EU sind in der ReFuel-EU-Aviation-Verordnung festgelegt (vergleiche Kapitel 1.2). Angesichts der zu erwartenden Steigerung des Flugverkehrsaufkommens bis 2050 und der jährlich steigenden SAF-Beimengungsquoten ergibt sich ein großer SAF-Bedarf, auch in Österreich. Dieser Anstieg des Kraftstoffabsatzes kann nur teilweise durch technologische Effizienzsteigerungen kompensiert werden.

3.1 Entwicklung Flugverkehrsaufkommen

Im bisherigen Rekordjahr 2019 wurde auf allen österreichischen Flughäfen ein Gesamtpassagieraufkommen in der Höhe von rund 36,2 Millionen Fluggästen verzeichnet, ehe das erste Pandemiejahr 2020 einen bislang nicht da gewesenen Rückgang um knapp 75% gebracht und den stetigen Anstieg der Flugverkehrsbewegungen unterbrochen hat (Statistik Austria, 2022). In den Folgejahren hat sich das Verkehrsaufkommen wieder deutlich erholt und aktuelle Zahlen für den größten Flughafen in Österreich, den internationalen Flughafen Wien-Schwechat, zeigen, dass das Flugverkehrsaufkommen im Jahr 2023 bei rd. 93,3% des präpandemischen Niveaus liegt. Dies entspricht auch einem Passagierzuwachs von 24,7% gegenüber dem Verkehrsniveau von 2022. (VIA, 2024). Die Prognose des zukünftigen Flugverkehrsaufkommens ist abhängig von unterschiedlichen europäischen beziehungsweise geopolitischen Entwicklungen, beispielsweise in Zusammenhang mit der Konjunktur, der europäischen Energiekrise oder der CO₂-Preisentwicklung und unterliegt dementsprechend großen Schwankungen.

Für den Zeitraum 2023 bis 2029 kann auf den aktuellen 7-Jahres-Forecast der EUROCONTROL zurückgegriffen werden, der für den gesamteuropäischen Flugverkehr das mögliche Wachstum der Flugverkehrsbewegungen in einem statistischen Spektrum abbildet (EUROCONTROL, 2023). Diesem zufolge wird für das Jahr 2029 ein Flugverkehrsaufkommen erwartet, das zwischen 96% (low) und 116% (high) des präpandemischen Verkehrsaufkommens im Jahr 2019 liegt. Für den Zeitraum von 2019 bis 2050 werden von der EUROCONTROL drei Szenarien in der gegenständlichen Roadmap mit unterschiedlichen Annahmen fortgeschrieben:

- Für das **HIGH**-Szenario wird die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von **1,8%** der Langzeitprognose ebenfalls von EUROCONTROL entnommen (EUROCONTROL, 2022).
- Im mittleren **BASE**-Szenario wird die jährliche Wachstumsrate dem realen Wirtschaftswachstum von durchschnittlich **1,2%** pro Jahr im Zeitraum 2023–2060

gemäß der langfristigen Budgetprognose 2022 des Bundesministeriums für Finanzen gleichgesetzt (BMF, 2022). Dieser Wert ist zudem ident mit der mittleren durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate gemäß EUROCONTROL.

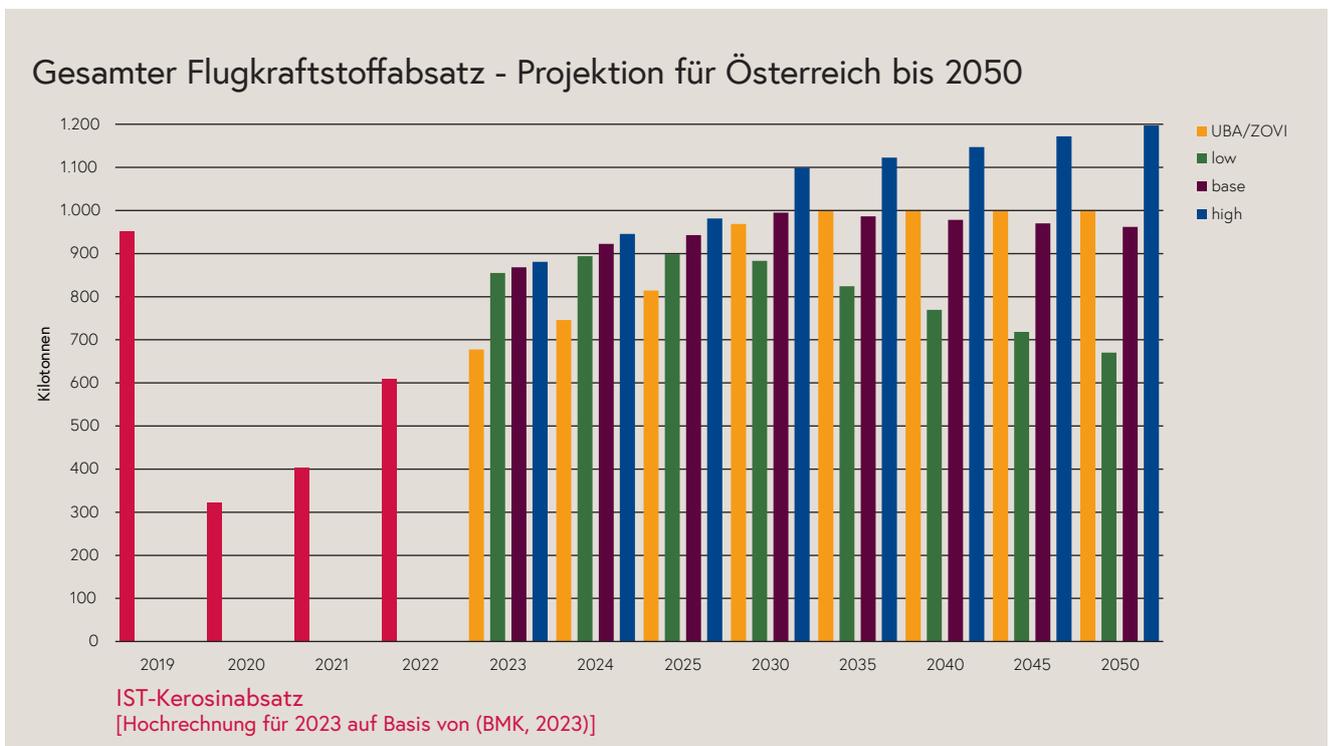
- Im **LOW**-Szenario wird ab 2025 ein Nullwachstum angenommen.

Diese Wachstumsraten werden schließlich mit der relativen Entwicklung des Flugkraftstoffabsatzes in Österreich gleichgesetzt und mit einem konservativen Effizienzgewinn des eingesetzten Flugmaterials in der Höhe von 1,37% pro Jahr überrechnet (ICAO, 2019). Dieser Effizienzgewinn ergibt sich unter anderem durch effizientere Flugzeugturbinen, Leichtbau und Verbesserungen in der Aerodynamik bei Neuflygezeugen, die eine stetige Verbesserung der eingesetzten Flugzeugflotte zur Folge haben.

Ergänzend zu den drei genannten Szenarien wurde in Abstimmung mit der sektorübergreifenden Unternehmensallianz Zukunftsoffensive Verkehr & Infrastruktur (ZOVI) im Umweltbundesamt ein viertes Szenario entwickelt. Dieses Szenario Umweltbundesamt/ZOVI berücksichtigt explizit die österreichspezifischen Entwicklungen der vergangenen Jahre, bildet einen schwächeren Hochlauf der Flugbewegungen und damit des Kraftstoffabsatzes in den kommenden Jahren ab und liegt ab 2027 nahe am BASE-Szenario.

Wie den Berechnungsergebnissen in Abbildung 3 entnommen werden kann, steigt der Kraftstoffabsatz von 0,95 Mio. Tonnen 2019 beziehungsweise 0,32 Mio. Tonnen 2020 im Szenario HIGH bis 2050 auf 1,2 Mio. Tonnen an. Demgegenüber stehen 0,96 beziehungsweise 1,0 Mio. Tonnen 2050 in den Szenarien BASE beziehungsweise Umweltbundesamt/ZOVI sowie ein Rückgang auf 0,67 Mio. Tonnen im Szenario LOW.

Abbildung 3
Szenarienergebnisse zum gesamten Flugkraftstoffabsatz in Österreich, 2019–2050, eigene Berechnung IST-Kerosinabsatz: Hochrechnung für 2023 auf Basis von (BMK, 2023)

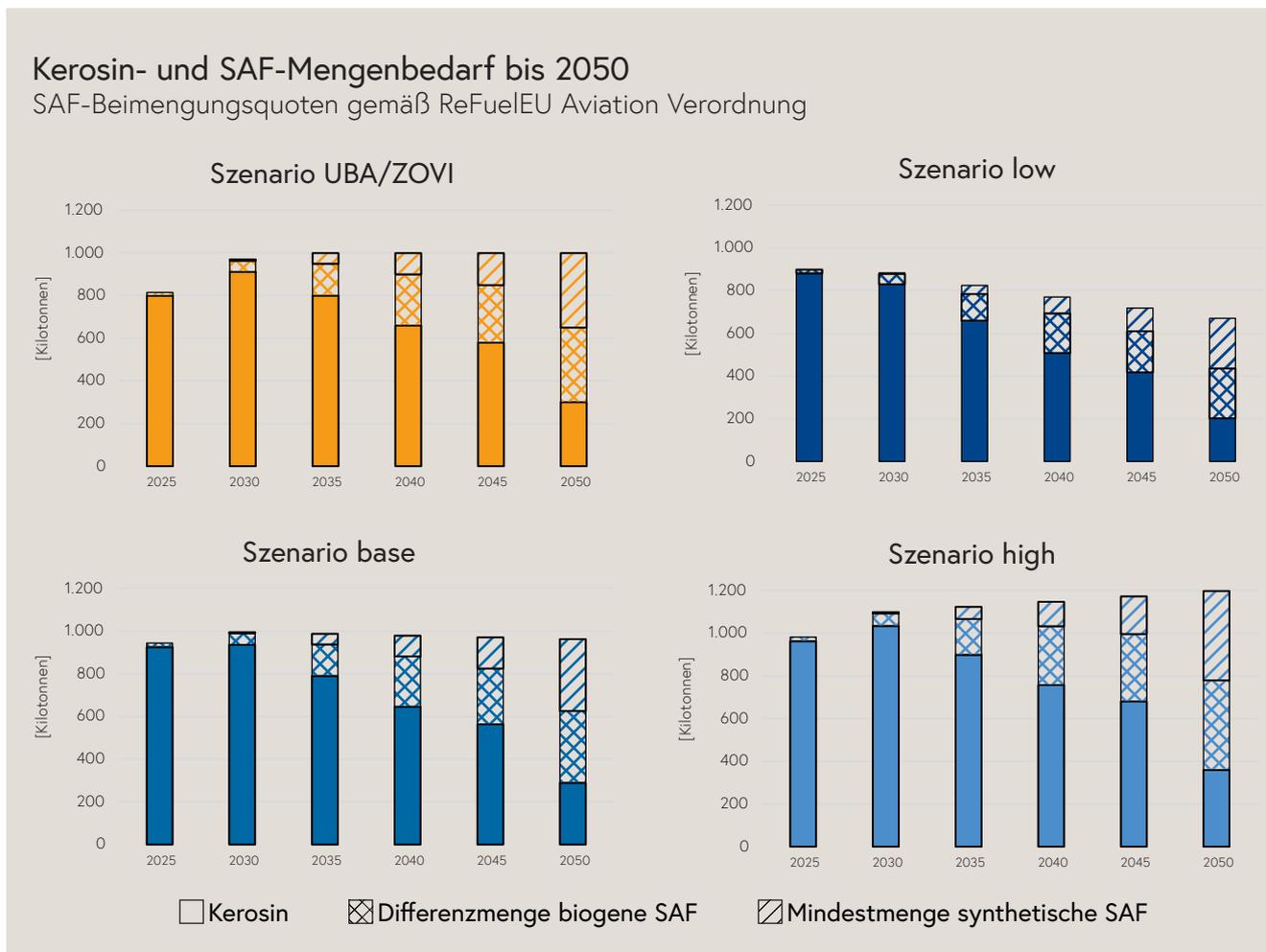


3.2 Entwicklung SAF-Bedarf

Aufbauend auf den abgeschätzten Gesamtluftkraftstoffabsatzmengen einerseits und den Beimengungsquoten andererseits kann der absolute SAF-Bedarf, getrennt für biogene und synthetische SAF, berechnet werden. Durch die Multiplikation der Beimengungsquoten (vgl. Kapitel 1.2) mit den vier Szenarien zur Entwicklung des Flugverkehrsaufkommens ergeben sich ebenso viele unterschiedliche Hochlaufkurven für den Bedarf an SAF in Österreich.

Wie den Ergebnissen in Abbildung 4 entnommen werden kann, berechnet sich der Bedarf an synthetischen SAF im Szenario Umweltbundesamt/ZOVI auf mindestens 6.800 Tonnen 2030, 100.000 Tonnen 2040 beziehungsweise 349.000 Tonnen 2050; 2025 ist der Einsatz von synthetischen SAF noch nicht vorgeschrieben (vergleiche Tabelle 1). Wird dieser Bedarf nicht durch ein höheres Angebot an synthetischen SAF übererfüllt – höhere Mengen synthetischer SAF bei konstanten Gesamtquoten würden die Bedarfsmengen für biogene SAF reduzieren –, bleiben erforderliche Mindestmengen für biogene SAF in der Höhe von 18.000 Tonnen 2025, 51.000 Tonnen 2030, 240.000 Tonnen 2040 beziehungsweise 349.000 Tonnen 2050 zu erfüllen.

Abbildung 4
Szenarienergebnisse zum absoluten Kerosin- und SAF-Mengenbedarf in Österreich, 2025–2050, eigene Berechnung



Schlussfolgerung – SAF-Bedarf in Österreich

Das Luftverkehrsaufkommen und damit die flugverkehrsbedingten CO₂-Emissionen erfuhr bis 2019 weltweit ein starkes Wachstum. In Österreich wurden in diesem Jahr knapp 0,95 Mio. Tonnen Flugkraftstoffe abgesetzt. Die Pandemie hatte einen historischen Einbruch dieser Entwicklung zur Folge. In den Folgejahren hat sich das Verkehrsaufkommen wieder deutlich erholt und im Jahr 2023 lag das Flugverkehrsaufkommen am Flughafen Wien bei rund 93% des präpandemischen Niveaus.

Eine Szenarienberechnung zur Entwicklung des Flugverkehrsaufkommens in Europa kommt zu dem Ergebnis, dass bis 2028 mit einem Aufkommen zwischen 96% und 116% des Niveaus von 2019 zu rechnen ist. Für den Zeitraum zwischen 2029 und 2050 wurde der Szenarienbetrachtung ein durchschnittliches jährliches Wachstum in der Höhe von 0% (Nullwachstum) beziehungsweise 1,8% zugrunde gelegt. Daraus lässt sich ein zukünftiger Flugkraftstoffabsatz in Österreich im Jahr 2050 von 0,67 Mio. Tonnen – der Rückgang im Vergleich zu 2019 ist primär auf technologische Effizienzgewinne zurückzuführen – bis 1,2 Mio. Tonnen abschätzen.

Unter Berücksichtigung der SAF-Beimengungsquote gemäß der ReFuelEU-Aviation-Verordnung ergibt sich daraus ein zukünftiger Bedarf an synthetischen SAF von min. 6.800 Tonnen 2030, 100.000 Tonnen 2040 beziehungsweise 349.000 Tonnen 2050. Der Bedarf an biogenen SAF beläuft sich demnach auf 18.000 Tonnen 2025, 51.000 Tonnen 2030, 240.000 Tonnen 2040 und 349.000 Tonnen 2050. Insgesamt kann also selbst unter moderaten Annahmen im Jahr 2050 ein Bedarf an biogenen und synthetischen SAF im Ausmaß von knapp 699.000 Tonnen für Österreich abgeschätzt werden.

Diese enormen Kraftstoffmengen erfordern große Mengen an Rohstoffen ebenso wie einen raschen Hochlauf der SAF-Produktion in Österreich, Europa und dem Rest der Welt. Die Verfügbarkeit der dafür erforderlichen Rohstoffe, die zugleich die vorgegebenen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen müssen, stellt dabei eine besondere Herausforderung dar.

4 Wirtschaftliche Potentiale

Das derzeitige SAF-Angebot ist mit weniger als 0,05% des gesamten Flugkraftstoffverbrauchs in der EU nach wie vor gering. Dies liegt an industriellen und kommerziellen Herausforderungen, insbesondere hohen Produktionskosten und konkurrierender Nachfrage nach Rohstoffen und erneuerbarem Strom, risikoreichen Investitionen zur Ausweitung der Produktion und den bestehenden und noch nicht ausreichend spezifizierten regulatorischen und steuerlichen Rahmenbedingungen. Auf europäischer Ebene werden für die kommenden Jahre und Jahrzehnte verpflichtende SAF-Beimengungsquoten vorgegeben. Unter Berücksichtigung der zu erwartenden Entwicklung des Flugverkehrsaufkommens ergibt sich für Österreich daraus ein SAF-Bedarf in der Höhe von knapp 699.000 Tonnen im Jahr 2050. Eine Kraftstoffmenge, die der heimischen Wirtschaft Chancen bietet, aber auch internationale Partnerschaften erfordert, um nachhaltige Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

4.1 Produktionsstandort Österreich

Rohstoffe für SAF müssen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, die Art und Menge der nutzbaren Rohstoffe teilweise stark reduzieren. Für das Jahr 2019 wurde die verfügbare Gesamtmenge nutzbarer Rohstoffe aus Österreich für biogene SAF in einer Studie des Forschungsinstituts BEST auf rund 6,3 Mio. Tonnen (absolut trocken) geschätzt (vgl. Abbildung 5) (Bioenergy 2020+, 2019). Die größten Anteile entfallen dabei auf ungenutzten Holzzuwachs (45%) (jene Biomasse, die im Wald nachwächst und theoretisch als Biomassepotential zur Verfügung stünde, aber bisher nicht genutzt wird) und Sägenebenprodukte (38%). Für 2050 wird in derselben Studie ausgewiesen, dass sich das Potential unter optimalen Rahmenbedingungen auf rund 12,9 Mio. Tonnen verdoppeln ließe.

Dabei ist festzuhalten, dass bei einem signifikanten Ausbau des Biomassepotentials in Österreich auch Aspekte der Biodiversität zu berücksichtigen sind, die sich gegebenenfalls wieder limitierend auf das zukünftige Potential auswirken können. So findet sich in der Biodiversitätsstrategie Österreich 2030+ unter anderem das Ziel der Umsetzung synergistischer Lösungen beim Ausbau von erneuerbarer Energie und Biodiversitätsschutz. Als Maßnahme wird unter anderem die Sicherstellung eines naturverträglichen Ausbaus der erneuerbaren Energien durch entsprechende Anreize und Vorgaben genannt (BMK, 2022d). Darüber hinaus wurde auf europäischer Ebene eine Verschärfung der Zielvorgaben zum CO₂-Abbau auf Waldflächen beschlossen, was ebenfalls einer intensiveren Nutzung von Biomasse entgegensteht (EK, 2021e).

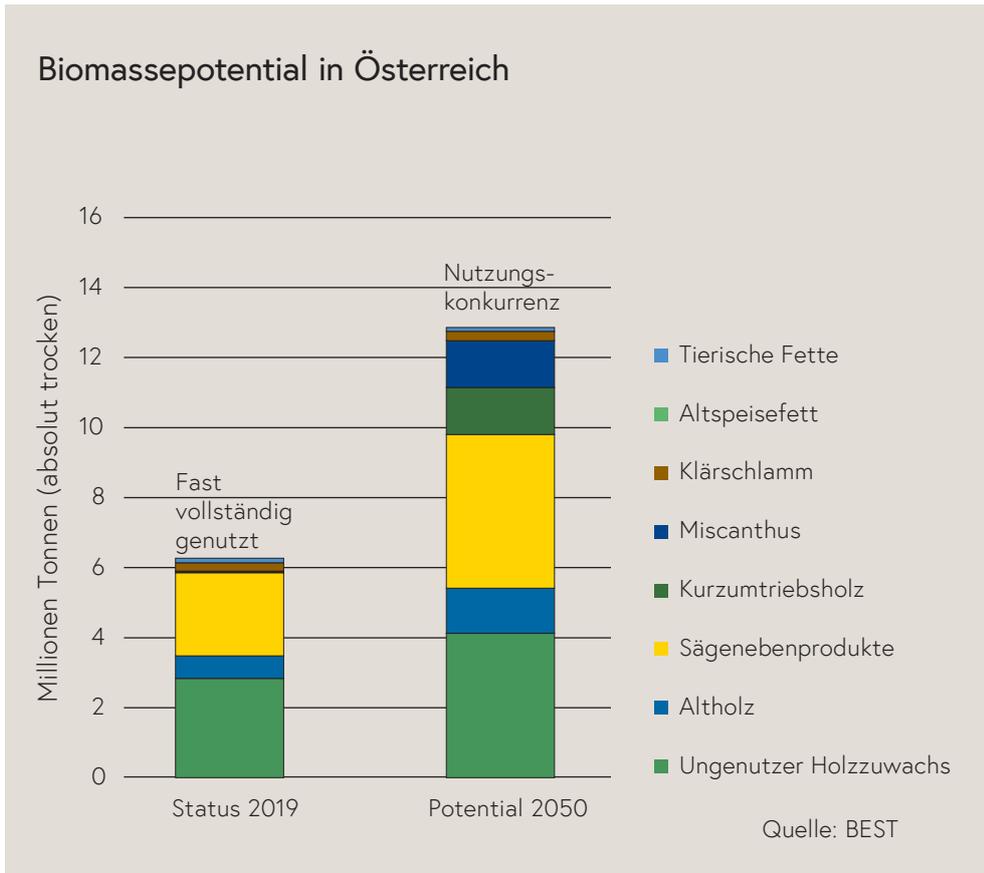


Abbildung 5
 Biomassepotential in
 Österreich (Berechnungen
 BEST auf Basis [Bioenergy
 2020+, 2019])

Diesem Potential steht ein Rohstoffbedarf für die Produktion der erforderlichen 349.000 Tonnen biogener SAF gegenüber, der sich aus den eingesetzten Rohstoffen selbst und in weiterer Folge den angewendeten Technologiepfaden ergibt: Der HEFA-Herstellungspfad ist deutlich rohstoffeffizienter als die Pfade BtJ oder AtJ. Die Verfügbarkeit an dafür erforderlichen Rohstoffen (Altspeisefett und tierische Fette) ist heute und auch in Zukunft aber stark beschränkt. Unter der Annahme des Einsatzes ausschließlich österreichischer Rohstoffe, wovon 100% des verfügbaren Altspeisefetts und einem Drittel der verfügbaren tierischen Fette für die SAF-Produktion verwendet werden, berechnet die Bioenergy and Sustainable Technologies GmbH (BEST) für die vorliegende SAF-Roadmap einen Rohstoffbedarf von rund 2,6 Millionen Tonnen (absolut trocken). Dem liegt ein HEFA-Anteil von 1,6% am gesamten Rohstoffinput für die SAF-Produktion zugrunde. Je höher dieser Anteil ist, desto mehr HEFA-Rohstoffe müssen importiert werden, aber desto stärker kann auch der erforderliche Rohstoffeinsatz zur SAF-Produktion reduziert werden.

Unabhängig vom tatsächlich realisierbaren Potential in Österreich besteht jedenfalls hohe Nutzungskonkurrenz. Anders gesagt: Praktisch alle Wirtschaftssektoren, insbesondere der Bereich Verbrennung, stoffliche Holznutzung und eventuell die Biogasproduktion werden in unterschiedlichem Ausmaß Bedarf an diesen Rohstoffen, vor allem Holz und Sägenebenprodukten, anmelden. Aufgrund dieser Nutzungskonkurrenz ist davon auszugehen, dass diese Rohstoffe nicht oder in nur sehr geringem Ausmaß

für die SAF-Produktion zur Verfügung stehen. Tierische Fette und Altspeisefett werden heute bereits eingesetzt, u. a. zur Biodieselproduktion, weshalb auch hier davon auszugehen ist, dass zukünftig nur geringe Mengen für die SAF-Produktion zur Verfügung stehen werden. Diese sektorübergreifenden Fragen der Verteilung erneuerbarer Energie, insbesondere im Zeithorizont bis 2050, werden im Hinblick auf eine allfällige Umlenkung der Stoffströme auch als Folge der zukünftigen Preisgestaltung beantwortet werden. Aus heutiger Sicht muss davon ausgegangen werden, dass für die SAF-Produktion nur eine geringe Rohstoffmenge in Österreich bereitgestellt werden wird.

Auch für die Herstellung der 349.000 Tonnen synthetischer SAF in 2050 sind große Rohstoffmengen erforderlich; in diesem Fall in Form von rund 156.000 Tonnen „grünem“ Wasserstoff (beziehungsweise originär dem dafür notwendigen erneuerbaren Strom und Wasser) und 1,12 Mio. Tonnen CO₂. Das Abscheiden beziehungsweise Einfangen und Weiterverwenden von CO₂ mittels Direct Air Capture (vgl. Kapitel 2.1) erfolgt derzeit weltweit noch ausschließlich in Pilotanlagen. Aus ökologischer Sicht ist eine mittelfristige Skalierung auf einen industriellen Maßstab für die Produktion synthetischer SAF unumgänglich, kurzfristig (insbesondere in Österreich) aber noch nicht absehbar.

Zum Ausbau der Produktion von grünem Wasserstoff findet sich in der österreichischen Wasserstoffstrategie das Ziel, die Elektrolysekapazität in Österreich bis 2030 auf ein Gigawatt auszubauen (BMK, 2022a). Wird dieses Ziel erreicht, können 2030 theoretisch 3,75 TWh oder 125.000 Tonnen „grüner“ Wasserstoff produziert werden⁷. Ähnlich wie bei den biogenen Rohstoffen besteht aber auch hier eine hohe Nutzungskonkurrenz im Bereich des Wasserstoffs, insbesondere durch die Industrie. Für 2040 wird für Österreich ein Wasserstoffbedarf von 16 bis 25 TWh prognostiziert (BMK, 2022a). Aus diesem Grund muss aus heutiger Sicht auch bei synthetischen SAF davon ausgegangen werden, dass vom dafür benötigten Wasserstoff nur eine geringe Menge in Österreich bereitgestellt werden kann.

Zu geringe national verfügbare Rohstoffmengen können theoretisch durch Rohstoffimporte kompensiert werden. Die Sinnhaftigkeit solcher Rohstoffimporte erschließt sich aber erst bei ergänzender Betrachtung der gegenwärtigen und zukünftig geplanten Produktionskapazitäten in Österreich und diese beschränken sich derzeit auf drei Organisationen beziehungsweise Einrichtungen:

In der Startphase der SAF-Produktion in Österreich wurden 2022 in der OMV-Raffinerie in Schwechat mit regional gesammeltem Altspeiseöl 1.500 Tonnen SAF hergestellt und am Flughafen Wien-Schwechat vertankt (OMV, 2022a), im Jahr 2023 waren es 3.800 Tonnen SAF. Laut Unternehmensstrategie 2030 der OMV möchte der Konzern führender SAF-Anbieter in der Region werden und wird dafür in neue Anlagen und Umbauten in Rumänien, Österreich und Deutschland investieren. Das mittelfristige Konzernziel liegt bei einer Skalierung der konzernweiten SAF-Produktion auf

⁷ Annahme: Auslastung von 5.000 h/a, Umwandlungseffizienz von 75 %, Stromeinsatz von 5 TWh

700.000 Tonnen im Jahr 2030 (OMV, 2022b). Diese Kraftstoffmenge wird nur anteilig in Österreich hergestellt werden.

Pläne für eine SAF-Produktion in Österreich hat auch der Nahrungsmittel- und Industriegüterkonzern AGRANA am Standort im niederösterreichischen Pischelsdorf, wo aus konzentriertem CO₂ aus der Bioraffinerie via Alkoholsynthese (AtJ) bis zu 28.000 Tonnen biogene SAF hergestellt werden könnten (AGRANA, 2022).

Die Produktion von synthetischen SAF wird seit Anfang 2023 pilothaft von AVL List in einer Demonstrationsanlage zur Hochtemperaturelektrolyse am Standort in Graz getestet. Im ersten Jahr ist ein Output von 100.000 Litern oder 80 Tonnen synthetischen flüssigen Kraftstoffs, davon rd. 32 % SAF geplant (AVL, 2021). Zu einer Ausweitung dieser Anlage auf den zwanzigfachen Kraftstoffoutput werden bereits Überlegungen angestellt.

4.2 Ausländische Produktion und Import

Wie in Kapitel 4.1 erläutert, lässt sich die zukünftig potentiell verfügbare Menge an Rohstoffen, die auch für die SAF-Produktion eingesetzt werden können, in ihrer Größenordnung abschätzen. Welcher Anteil davon tatsächlich für die SAF-Produktion eingesetzt werden kann, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden. Dennoch steht schon heute außer Frage, dass je nach Ausbau der Produktionskapazitäten in Österreich auch eine große Menge an SAF importiert werden müssen wird.

Was die Produktionskapazitäten und die Nachfrage anbelangt, befindet sich die globale SAF-Industrie heute noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Gesicherte Aussagen zum globalen Produktionspotential sind daher gegenwärtig noch nicht möglich. Eine umfassende Übersicht aktuell bereits in Betrieb befindlicher beziehungsweise zukünftig geplanter Produktionsanlagen kann einer Datenbank⁸ der ICAO entnommen werden. Im Februar 2024 listete diese Datenbank 46 Unternehmensprojekte weltweit. Aussagekräftiger als die Anzahl der Unternehmen sind aber Anzahl und Umfang der Abnahmeverträge, die diese Unternehmen bereits mit unterschiedlichen Kund:innen weltweit abgeschlossen haben. Die Anzahl der Verträge beläuft sich derzeit auf über 100 Verträge über die zukünftige Produktion und Abnahme von circa 30 Mio. Tonnen SAF⁹ – diese Angaben sind gegenwärtig aber noch sehr unbeständig. Unter Berücksichtigung der Vertragslaufzeiten von bis zu zehn Jahren und unter der Annahme eines in diesem Zeitraum exponentiell steigenden SAF-Produktionsvolumens wird abgeschätzt, dass im Jahr 2030 rund 3,7 Mio. Tonnen SAF zur Verfügung stehen können. Dies entspricht etwa 1,3 % des weltweiten Gesamtkerosinverbrauchs kommerzieller Airlines im präpandemischen Jahr 2019 (288 Mio. Tonnen) (Statista, 2023). Die in der ReFuelEU-Aviation-Verordnung vorgesehene Beimengungsquote von 6 % ab 2030 (siehe Tabelle 1) lässt

8 [Initiatives and Projects \(icao.int\)](https://www.icao.int)

9 [icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Offtake-Agreements.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Offtake-Agreements.aspx)

schließen, dass es zur Erreichung der EU-Ziele stärkerer Anstrengungen bedarf, die über die derzeit aktiven Verträge hinausgehen.

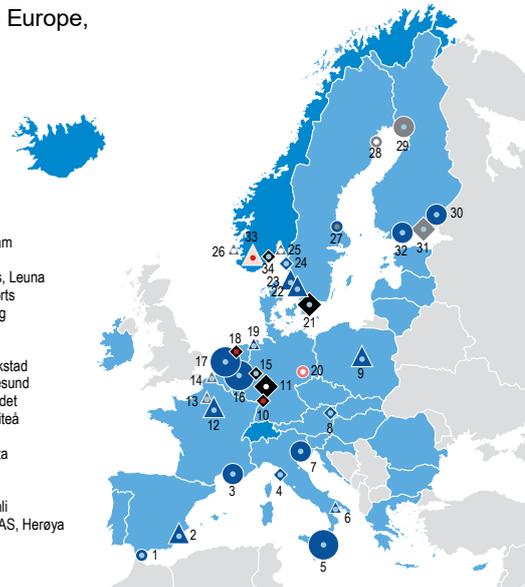
Viele der in der ICAO-Datenbank angeführten Unternehmen produzieren nicht in Europa und auch nicht oder nicht primär für den europäischen Markt, in dem vergleichsweise strenge Nachhaltigkeitskriterien zu erfüllen sind. Das bedeutet, dass dort in der Produktion Rohstoffe eingesetzt werden (können), die in Europa nicht für die SAF-Produktion verwendet werden dürfen. Dies wirkt limitierend auf die Verfügbarkeit von importfähigen und potentiell in Österreich und Europa einsetzbaren SAF. Bei europäischen Anlagen kann hingegen davon ausgegangen werden, dass die hier produzierten SAF die erforderlichen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen werden.

Unabhängig von der konkreten Verortung der Produktionsanlage (in Europa) stellen sich weiterführende Fragen, die es vor dem physischen Import von SAF nach Österreich zu diskutieren gilt. So gilt es die Frage zu beantworten, ob beziehungsweise zu welchem Zeitpunkt strategische Partnerschaften oder gar konkrete Abnahmeverträge auch zur Deckung des österreichischen SAF-Bedarfs abgeschlossen werden sollten. Aber auch der tatsächliche physische Import von SAF nach Österreich beziehungsweise der Transport des Kraftstoffs in Österreich und die dafür notwendige Infrastruktur sind zu analysieren. Eine Übersicht über aktuell angekündigte SAF-Produktionsprojekte in Europa kann Abbildung 6 entnommen werden.

Abbildung 6
Aktuell angekündigte
SAF-Produktionsprojekte in
Europa (EASA, 2022)

Current announced SAF projects within Europe,
March 2022

- | | |
|--|--|
| <p>Facility state:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1) Cepsa, San Roque 2) Repsol, Cartagena 3) TotalEnergies, Marseille 4) ENI, Livorno 5) ENI, Gela 6) ENI, Taranto 7) ENI, Venice 8) OMV, Schwechat 9) PKN ORLEN, Plock 10) Gevo/HCS Group, Speyer 11) Capphenia, Frankfurt1 12) TotalEnergies/NextChem, Grandpuits 13) Avril, Venette 14) TotalEnergies, Dunkirk 15) Shell, Wesseling 16) Neste, Rotterdam 17) Shell, Rotterdam | <ul style="list-style-type: none"> 18) Synkero, Amsterdam 19) SkyNRG, Deilzijl 20) Global Bioenergies, Leuna 21) Copenhagen Airports 22) Preem, Gothenburg 23) ST1, Gothenburg 24) Preem, Lysekil 25) Quantafuel, Fredrikstad 26) Quantafuel, Haugesund 27) Colabitoil, Norrsundet 28) LTU Greenfuels, Piteå 29) Kaldi, Kemi 30) UPM, Lappeenranta 31) UPM, Kotka3 32) Neste Oil, Porvoo 33) Biozin Holding, Ämli 34) Nordic Electrofuel AS, Herøya |
|--|--|



planned	in construction	in operation	Production [ton/yr]	HEFA-SPK	ATJ-SPK	PtL	G+FT	IH2*	Commercial	Demo	Pilot	EU	EFTA
500k – 1000k	100k – 500k	<100k											

* Production pathway currently in approval process.

Die begleitende Folgenabschätzung zum ReFuelEU-Aviation-Verordnungsvorschlag stellt fest, dass bis 2030 in der EU 7 zusätzliche SAF-Produktionsanlagen und 104 zusätzliche Anlagen bis 2050 benötigt würden. Um die Nachfrage nach PtL-Kraftstoffen zu decken, würden schätzungsweise 0,4% beziehungsweise 5,5% der erneuerbaren Stromerzeugung bis 2030 beziehungsweise bis 2050 benötigt werden (EK, 2021c). Andere Studien deuten auf einen noch größeren Bedarf hin, mit etwa 30 zusätzlichen SAF-Anlagen bis 2030 und 250 Anlagen bis 2050 (World Economic Forum 2021) und einem höheren Anteil des Strombedarfs der EU zur Herstellung der geschätzten Menge an PtL-Kraftstoffen (T&E, 2022). Diese Prognosen zeigen das Ausmaß der Hochskalierung, die bei der SAF-Produktion erreicht werden muss, um die Dekarbonisierung des Luftfahrtsektors zu unterstützen.

Andererseits führen Ankündigungen erheblicher Kapazitätssteigerungen bestehender SAF-Hersteller zusammen mit Plänen neuer Marktteilnehmer zum Schluss, dass die SAF-Ziele für 2030 ehrgeizig, aber machbar sind (EASA, 2022) und der europaweite SAF-Bedarf (und damit auch jener Österreichs) dann gedeckt werden können wird, wenn entsprechende Lenkungsmaßnahmen zum Einsatz der produzierten Kraftstoffe gesetzt werden. Wenn beispielsweise alle bestehenden Biokraftstoffanlagen in Europa so kalibriert würden, dass die SAF-Produktion maximiert wird, könnten 2,3 Mio. Tonnen SAF produziert werden. Dabei werden 2030 voraussichtlich mehr als 60% des europäischen SAF-Angebots durch Kraftstoffe des HEFA- und des AtJ-Herstellungspfads gedeckt werden, gefolgt von Importen und PtL-Kraftstoffen. Daher wird erwartet, dass der Großteil der benötigten Rohstoffe aus gebrauchten Speiseölen, tierischen Fetten und Altölen, Deckfrüchten und anderer nachhaltiger Biomasse besteht (EASA, 2022).

4.3 Kraftstoffkosten

Bei der Bestimmung der Kosten für SAF sind mehrere Aspekte zu beachten: die zukünftige Entwicklung der Strom- und Energiepreise, aber auch technologische Fortschritte in den einzelnen Herstellungspfaden, beispielsweise eine Erhöhung des Wirkungsgrades der Elektrolyse. Daher ist eine Abschätzung im Zeithorizont bis 2050 mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Gemäß Studien des International Council on Clean Transportation (ICCT) variieren die Produktionskosten von SAF erheblich, wobei die prozentualen Anteile von Investitionskosten, Betriebskosten und Rohstoffpreis je nach Herstellungspfad variieren.

Der HEFA-Herstellungspfad ist aufgrund der vergleichsweise niedrigen Investitionskosten am kostengünstigsten (rund 1.250 Euro je Tonne). Circa 50% der Kosten entfallen auf die Rohstoffe. Laut internationalen Studien ist es unwahrscheinlich, dass der zukünftige Preis – selbst bei technologischen Verbesserungen – aufgrund der Kosten für die Rohstoffbeschaffung wesentlich sinken wird. Der BtJ-Herstellungspfad mit FTS ist der zweitgünstigste, insbesondere für SAF aus festen Siedlungsabfällen. Danach folgt der AtJ-Herstellungspfad zunächst mit Mais oder Zuckerrohr als Rohstoff

– diese Rohstoffe entsprechen nicht den europäischen Nachhaltigkeitskriterien – und als nächstes mit Lignozelluloserohstoffen (landwirtschaftliche Abfälle). Ein wesentlicher Teil der AtJ-Produktionskosten für aus Lebensmittelpflanzen gewonnenen Kraftstoffen ist auf die laufenden Rohstoff- und Energiekosten zurückzuführen, während bei AtJ-Pfaden mit Lignozellulose die Vorabinvestitionskosten der Anlage den größten Anteil (etwa 40%) ausmachen (ICCT, 2019).

Bezogen auf PtL-Kerosin wurden bei der Analyse von (ICCT, 2022) die enormen Preissteigerungen z. B. für Strom in den letzten Monaten nicht berücksichtigt. Für Strom wurde ein durchschnittlicher Preis von rund 120 Euro je MWh hinterlegt. In Österreich lag der durchschnittliche gehandelte Preis für Strom im August 2022 sogar deutlich über 400 Euro je MWh, im Jänner 2024 allerdings bei über 80 Euro je MWh (Bricklebrit, o. J.). Dies hat starke Auswirkung auf die Herstellungskosten auf dem PtL-Pfad, da bei PtL-Kerosin der Strombedarf die wesentliche Kostenkomponente darstellt. Auf Basis von (ICCT, 2022) ergeben sich PtL-Kerosin-Herstellungskosten in Europa für 2020 von durchschnittlich 3.600 Euro je Tonne und 1.950 Euro je Tonne für 2050. Im Vergleich dazu lag der Preis für fossiles Kerosin 2022 im Jahresdurchschnitt bei 1.063 Euro je Tonne (IndexMundi, 2022). Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, lagen die Produktionskostenschätzungen 2020 für den PtL-, den AtJ- und den BtJ-Herstellungspfad in der Literatur nur in großen Bandbreiten vor.

Tabelle 4 SAF-Preisspannen im Jahr 2020, Quelle: Umweltbundesamt, basierend auf Daten von (EK, 2021c)

Herstellungspfad	Fossiles Kerosin	HEFA	BtJ	AtJ	PtL
Geschätzte Produktionskosten 2020 (Euro/Tonne)	600	950 bis 1.140	1.700 bis 2.500	1.900 bis 3.900	1.800 bis 3.500

In Abbildung 7 ist die mögliche Entwicklung der Produktionskosten von PtL-, HEFA und fossilem Kerosin für den Zeitraum bis 2050 dargestellt. Bei HEFA wurde vom günstigsten Rohstoff, nämlich Altspeiseöl, ausgegangen. Es ist ersichtlich, dass die Produktionskosten von PtL-Kerosin im Jahr 2020 auf mehr als das Dreifache derer von HEFA geschätzt werden. Diese Kostendifferenz wird sich bis 2050 verringern, jedoch werden die PtL-Kerosin-Produktionskosten dann immer noch auf mehr als das Doppelte von denen von HEFA geschätzt. Außerdem sei angemerkt, dass hier in der Prognose bei PtL mit CO₂ durch Abscheidung aus konzentrierten Quellen gerechnet wird. Die Anwendung von CO₂ aus DAC dürfte die Produktionskosten zusätzlich erhöhen. Auch ist hohe Konkurrenz in der Verfügbarkeit und Nutzung von Wasserstoff und Strom aus erneuerbaren Quellen mit anderen Sektoren gegeben und wird sich ebenfalls in den Kosten niederschlagen. Die Kostendifferenz zwischen HEFA und fossilem Kerosin könnte bis 2050 annähernd

Mögliche Entwicklung der Produktionskosten

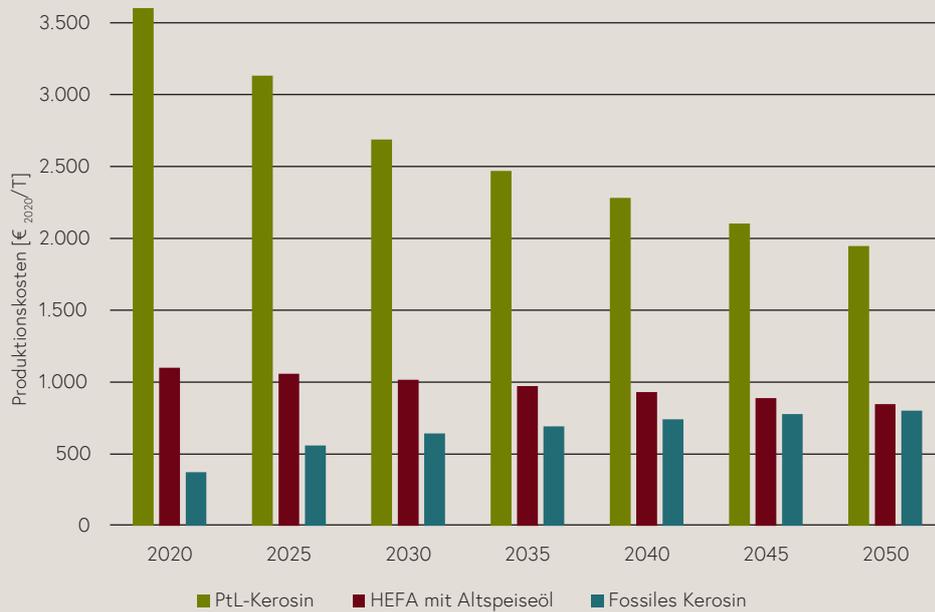


Abbildung 7
Mögliche Entwicklung der Produktionskosten von PtL-Kerosin in der EU im Vergleich zu HEFA und fossilem Kerosin bis 2050, Quelle: Umweltbundesamt, basierend auf Daten von ICCT, 2022, ICCT, 2019 und U. S. Energy Information Administration, 2020.

4.4 Book-and-Claim-Mechanismus

Der Transport von SAF zu einem bestimmten Flughafen oder Flug ist nicht immer möglich und könnte zu höheren THG-Emissionen führen. Eine Lösung für diese Herausforderung könnte das Book-and-Claim-System bieten.

Für SAF bedeutet das, dass SAF nicht physisch transportiert und in ein spezifisches Flugzeug getankt wird, sondern stattdessen an einem Flughafen in der Nähe der SAF-Produktionsstätte in das Kraftstoffsystem einfließt. Die produzierte und in das Hydrantensystem eingegebene SAF-Menge wird nachverfolgt und verifiziert, woraufhin die entsprechenden CO₂-Emissionsfaktoren berechnet und der Person/Organisation zugewiesen werden, die die Prämie übernimmt. Die wichtigsten Argumente für ein Book-and-Claim-System für SAF lauten wie folgt:

1. Nachhaltigere Lieferketten: SAF wird derzeit in sehr begrenzten Mengen und nur an wenigen Orten weltweit produziert. Um die Nachhaltigkeit von SAF zu optimieren, sollte die Lieferkette so effizient wie möglich gehalten werden. Durch die Zugabe von SAF in das Kraftstoffsystem eines Flughafens in der Nähe der Produktionsstätte werden die THG-Emissionen der Lieferkette minimiert.
2. Kosten niedrig halten: SAF kostet mehr als fossiles Kerosin. Für die Marktentwicklung ist es entscheidend, die Kosten zu minimieren. Würden Hersteller SAF in der Lieferkette von fossilem Kerosin trennen, wäre zusätzliche Infrastruktur erforderlich. Dies wäre ineffizient sowie kostspielig und würde den SAF-Preis erheblich erhöhen.
3. Unabhängig von Fluggesellschaft und Location: Das Book-and-Claim-System ermöglicht es (Unternehmens-)Käufern, SAF basierend auf ihrem gesamten Luftverkehrsfußabdruck in einer Transaktion zu beschaffen, anstatt SAF für jede Fluggesellschaft einzeln zu beschaffen. Das bedeutet, dass SAF für Flüge mit Fluggesellschaften oder von Flughäfen ohne verfügbare SAF-Versorgung bezogen werden kann.
4. Die Beschaffung von SAF auf Book-and-Claim-Basis ermöglicht es Unternehmen, eine beliebige Menge an SAF zu kaufen, einschließlich 100 % des Kraftstoffbedarfs, ohne technische Einschränkungen wie Mischgrenzen.

Für das Funktionieren eines solchen Systems ist Transparenz in allen Bereichen von zentraler Bedeutung, damit die gewünschten hohen Umwelt-, aber auch Sozialstandards nicht untergraben werden.

Die ReFuel-EU-Aviation-Verordnung sieht vor, dass die Umsetzung von Flexibilitätsmechanismen wie dem Book-and-Claim-System in den kommenden Monaten durch die Europäische Kommission evaluiert wird. Bis 1. Juli 2024 soll ein Bericht vorgelegt werden, der die wichtigsten Ergebnisse dieser Evaluierung erläutert und dem gegebenenfalls ein Gesetzgebungsvorschlag beigefügt ist. Evaluierung und Vorschlag werden im Anschluss daran auch von nationalstaatlicher Seite durch das BMK geprüft werden.

Book-and-Claim-Modell

Book-and-Claim ist eine gängige Praxis, bei der ein Nachhaltigkeitsanspruch eines Unternehmens vom physischen Warenfluss getrennt wird. Das bekannteste Beispiel ist Ökostrom: Strom kann nicht entlang des Netzes nachverfolgt werden, da der gesamte aus den verschiedenen Energiequellen erzeugte Strom im Stromnetz gemischt wird. Mithilfe von Book-and-Claim-Systemen können Produzenten die Menge und Art des von ihnen generierten Stroms in einer Datenbank registrieren, verbrauchen und eine bestimmte Menge an Ökostrom als ihren eigenen beanspruchen.

Schlussfolgerung – Wirtschaftliche Potentiale

Die in Österreich produzierbare SAF-Menge ist abhängig sowohl von der Verfügbarkeit der erforderlichen Rohstoffe als auch von den Kapazitäten der einsetzbaren Produktionsanlagen. Der Bedarf an nutzbaren Rohstoffen aus Österreich ist sowohl hinsichtlich Biomasse als auch in Bezug auf „grünen“ Wasserstoff praktisch nicht gedeckt aufgrund der hohen Nutzungskonkurrenz mit anderen Wirtschaftssektoren. Zudem sind nach heutigem Stand auch die Produktionskapazitäten in Österreich begrenzt, weshalb insbesondere der Bedarf an synthetischem SAF, aber auch an biogenem SAF, zu großen Teilen mit Importen gedeckt werden müssen wird. Am Beispiel der Abscheidung des CO₂ aus der Atmosphäre als erforderlicher Rohstoff für die Herstellung synthetischer SAF ist davon auszugehen, dass dies in Österreich noch viele Jahre nicht in industriellem Maßstab erfolgen wird.

Bezüglich möglicher SAF-Importe ist festzuhalten, dass die Daten- und Informationslage zur Produktion von SAF, die die europäischen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen, im derzeitigen frühen Stadium noch relativ unübersichtlich ist. Eine konkrete Importstrategie lässt sich auf Basis dieser Informationen noch nicht festlegen. Umso wichtiger ist ein kontinuierliches Monitoring, insbesondere der europäischen Produktionslandschaft, damit die ausreichende Verfügbarkeit von SAF für die Inverkehrbringung auf österreichischen Flughäfen mittelfristig gesichert werden kann.

Insbesondere synthetische SAF, aber auch biogene SAF, sind vor allem aufgrund der niedrigen Produktionsmengen derzeit noch deutlich teurer als fossiles Kerosin. Dabei werden die geschätzten Produktionskosten noch in großen Bandbreiten ausgewiesen. Allgemein wird davon ausgegangen, dass die Kosten für SAF durch Marktentwicklung und resultierende Lern- und Skaleneffekte in Zukunft noch deutlich sinken werden. Synthetische SAF werden aber auch langfristig erst dann wirtschaftlich konkurrenzfähig sein, wenn auf fossiles Kerosin ein vergleichsweise hoher CO₂-Preis aufgeschlagen wird. Können die Nachhaltigkeitsziele zudem auch getrennt von physischem Warenfluss erreicht werden (Book-and-Claim-Mechanismus) reduziert dies die Kosten für die Produktion und Nutzung von SAF weiter.

5 Fokusfelder und Maßnahmen

Aus der Szenarienanalyse zur Entwicklung des Flugverkehrsaufkommens in Österreich ergibt sich ein enormer zukünftiger Bedarf an SAF. Dieser Bedarf erfordert große Mengen an Rohstoffen ebenso wie einen raschen Hochlauf der SAF-Produktion in Österreich, Europa und dem Rest der Welt. Die in Österreich produzierbare SAF-Menge ist zum einen von der Verfügbarkeit der erforderlichen Rohstoffe und zum anderen von den Kapazitäten der einsetzbaren Produktionsanlagen abhängig.

Der Bedarf an nutzbaren Rohstoffen aus Österreich ist sowohl hinsichtlich Biomasse als auch in Bezug auf „grünen“ Wasserstoff aufgrund der hohen Nutzungskonkurrenz mit anderen Wirtschaftssektoren praktisch nicht gedeckt. So wird aus heutiger Sicht vor allem die Verfügbarkeit der erforderlichen Rohstoffe, die zugleich die vorgegebenen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen müssen, eine besondere Herausforderung darstellen. Dies erfordert Maßnahmen zur Lenkung der verfügbaren Stoffströme beziehungsweise zur Priorisierung des Rohstoffeinsatzes in schwer substituierbaren Einsatzbereichen wie dem Luftverkehr.

Auch sind nach heutigem Stand die Produktionskapazitäten in Österreich begrenzt, weshalb der Bedarf an synthetischen, aber auch an biogenen SAF, zu großen Teilen mit Importen gedeckt werden müssen wird. Die Festlegung einer entsprechenden Importstrategie ist aufgrund der derzeit noch unübersichtlichen Daten- und Informationslage nur bedingt möglich. Wichtig ist daher ein kontinuierliches Monitoring der Entwicklung, insbesondere der europäischen Produktionskapazitäten für SAF.

Schlussendlich ist die Unterstützung des Hochlaufs von Produktion und Einsatz sowohl von biogenen als auch synthetischen SAF unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten erforderlich, um Kostenparität mit anderen konventionellen Treibstoffen zu erreichen und gleichzeitig die gewünschte Nachhaltigkeit dieser Kraftstoffe zu gewährleisten. Die größten Herausforderungen, die es für einen Markthochlauf zu adressieren gilt, betreffen die hohen Investitionen in die Produktionsanlagen und die Sicherstellung der Verfügbarkeit der erforderlichen nachhaltigen Ausgangsrohstoffe beziehungsweise der SAF selbst. Für die Einführung nachhaltiger Kraftstoffe im Flugverkehr in und aus Österreich werden demnach fünf übergeordnete Fokusfelder mit 15 Detailmaßnahmen identifiziert und abgegrenzt.

Tabelle 5: Übersicht Fokusfelder und Maßnahmen

Fokusfeld		Maßnahmen	
Nr.	Titel	Nr.	Beschreibung
1	Anreize und Impulse für den SAF-Hochlauf in Österreich	1.1	Unterstützung von Forschung und Entwicklung
		1.2	Förderung inländischer Verwertung von heimischem Altspeiseöl
		1.3	Prüfung der Beanreizung der SAF-Produktion für den Standort Österreich
2	Sicherstellung der Verfügbarkeit und Absicherung von Importkapazitäten	2.1	Priorisierung von PtL-Kraftstoffen für den Einsatz im Non- und Off-Road-Bereich
		2.2	Kontinuierliches Monitoring der realisierten bzw. geplanten internationalen Produktionskapazitäten von SAF
		2.3	Auf- und Ausbau strategischer Partnerschaften auf europäischer und internationaler Ebene
		2.4	Auf- und Ausbau der Infrastruktur für den SAF-Transport nach bzw. in Österreich
3	Sicherstellung von Nachhaltigkeit	3.1	Einführung von (elektronischen) Nachhaltigkeitsnachweisen für SAF
		3.2	Einsatz auf Europäischer Ebene für die Einrichtung eines Überwachungs-, Berichterstattungs- und Prüfsystems für Nicht-CO ₂ -Emissionen in der Luftfahrt
4	Kostenwahrheit und Wettbewerbsfähigkeit in der Luftfahrt	4.1	Einsatz für eine faire Kerosinbesteuerung in der EU und auf globaler Ebene
		4.2	Prüfung der Berücksichtigung eines SAF-Einsatzes in einschlägigen bzw. relevanten Gesetzen
		4.3	Sicherstellung der Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen
5	(Politischer) Dialog und Stakeholder-Partizipation	5.1	Einrichtung eines SAF-Competence-Circles in und für Österreich
		5.2	Fortsetzung der Teilnahme in relevanten internationalen Fachgremien
		5.3	Kommunikation und Bewusstseinsbildung

5.1 Fokusfeld 1: Anreize und Impulse für den SAF-Hochlauf in Österreich

Die erforderliche integrierte Energie- und Mobilitätswende ist für alle Verkehrsträger vom Einsatz nachhaltiger alternativer Technologien und Kraftstoffe geprägt, die in vielen Fällen auch für den Wirtschaftsstandort Österreich ein hohes Wertschöpfungspotential bieten. Auch SAF werden in Österreich bereits in geringen Mengen in ersten Pilotanlagen hergestellt und im Flugverkehr eingesetzt. Die Maximierung des Produktions- und Wertschöpfungspotentials der österreichischen Forschungs- und Industrielandschaft soll einen Mindestgrad an Importunabhängigkeit gewährleisten und ist die Kernaufgabe der Maßnahmen in Fokusfeld 1.

Maßnahme 1.1: Unterstützung von Forschung und Entwicklung

Laut der FTI-Strategie für Luftfahrt 2040+ stehen Nachhaltigkeit, Effizienz und Sicherheit im Mittelpunkt der Forschungs- und Technologieentwicklungsaktivitäten in der Luftfahrt. Hier können Forschungs- und Technologieentwicklungsaktivitäten im Bereich der SAF einen besonders wertvollen Beitrag leisten. Es gilt, bestehende SAF-Herstellungspfade weiterzuentwickeln und zu optimieren. Dies betrifft sowohl die Erforschung etwaiger Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung entlang des technisch bereits etablierten HEFA-Pfades, als auch die Optimierung und Skalierung der Produktion von synthetischen SAF. Damit hier nachhaltige Ergebnisse erzielt werden können, soll die Forschung und Entwicklung im Bereich SAF entsprechend unterstützt werden.

Bereits heute bestehen daher im BMK mehrere Förderprogramme zu SAF und Wasserstoff. Im Rahmen von Take Off, dem FTI-Förderungsprogramm für Luftfahrt des BMK, werden insbesondere folgenden drei Transformationsstränge unterstützt:

- Neue Flugzeuggeometrien und neue Flugzeugmodelle inklusive Recycling und Wiederverwertung (Flugzeugintegration)
- Forschung am Kraftstoff selbst, dessen Herstellung und Hochskalierung sowie CO₂- und Nicht-CO₂-Effekte
- Auswirkungen und Veränderungen auf die Infrastruktursysteme Luftfahrt, Energie und Wasserstoff inklusive der damit einhergehenden logistischen Herausforderungen

Alleine durch Take Off konnten bereits 9 Mio. Euro an Investitionen in Forschungstätigkeit im Bereich SAF und nachhaltiger Luftfahrt ermöglicht werden. Diese Unterstützung gilt es zu intensivieren und auszubauen.

Eine Beteiligung Österreichs an EU-Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich SAF sowie der Austausch mit internationalen Expert:innen z. B. im Rahmen von IEA-Forschungsk Kooperationen sind ebenfalls zu forcieren. Auch der Erkenntnisgewinn in Zusammenhang mit der Klimawirkung von Nicht-CO₂-Emissionen ist hier zu berücksichtigen. Die Maßnahme zielt unter anderem darauf ab, den FTI-Standort Österreich zu stärken sowie die Forschungs- und Technologieinfrastruktur auszubauen.

Koordination

BMK

Kooperation

FFG, AEA bzw. IEA, KLIEN, Industrie, Forschungseinrichtungen, CLEAN AVIATION, CLEAN HYDROGEN, SESAR

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 1.2: Förderung inländischer Verwertung von heimischem Altspeiseöl

Eine der größten Herausforderungen beim HEFA-Herstellungspfad ist die Verfügbarkeit von Rohstoffen und deren Nachhaltigkeit. Die Verfügbarkeit von heimischem Altspeiseöl wird zusätzlich dadurch eingeschränkt, dass große Mengen an Altspeiseöl oder Produkten aus Altspeiseöl aus Österreich exportiert werden.

Mit der Novelle der nationalen Kraftstoffverordnung (KVO) ist indirekt der monetäre Wert von Altspeiseöl auch in Österreich deutlich gestiegen. Ob dies bereits eine eindämmende Wirkung auf den Export von aus Altspeiseöl produzierten Biokraftstoffen hat, wird sich in den kommenden Monaten und Jahren zeigen. In Deutschland und anderen Ländern übersteigt der Wert von Altspeiseöl aber schon heute jenen von frischem Speiseöl, was aus Sicht der Nachhaltigkeit als problematisch einzustufen ist. Parallel zur Wirkung der aktuellen KVO-Novelle werden daher mögliche (u. a. auch steuerrechtliche) Instrumente geprüft, die direkt oder indirekt die inländische Verwertung von heimischem Altspeiseöl fördern. Zur weiteren Optimierung der Stoffströme kann eine Aufbringungsbeziehungswise Einsatzanalyse von heimischem Altspeiseöl dienen.

Koordination

BMK

Kooperation

BMAW, BMF, Industrie

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 1.3: Prüfung der Beanreizung der SAF-Produktion für den Standort Österreich

Um den Produktionshochlauf von SAF auch in Österreich zu unterstützen, zukünftige Wertschöpfungspotentiale in Österreich beziehungsweise für österreichische Unternehmen zu sichern und ein Mindestmaß an Importunabhängigkeit zu gewährleisten, werden verschiedene Möglichkeiten der Beanreizung der SAF-Produktion für den Standort Österreich geprüft. Dies geschieht stets unter Berücksichtigung der relevanten europäischen und nationalen rechtlichen Rahmenbedingungen, wie beispielsweise dem österreichischen Umweltförderungsgesetz (UFG). Geprüft werden können beispielsweise:

- Die Schaffung von Anreizen für Betreiber von SAF-Produktionsanlagen in Österreich; derzeit ist HEFA die einzige kommerzialisierte Technologie zur Herstellung von SAF und vermutlich der einzige kurz- bis mittelfristig verfügbare Herstellungspfad in Österreich.
- Die Gewährung von Finanzierungshilfen (Garantien etc.) für die Umrüstung bestehender beziehungsweise die Errichtung neuer Demonstrations- beziehungsweise Großanlagen, die oft mit hohen Investitionskosten verbunden sind.
- Die Notwendigkeit beziehungsweise potentielle Wirksamkeit sogenannter Contracts for Difference; diese dienen dazu, Investitionssicherheit zu gewährleisten, indem Kraftstoffproduzenten SAF zu Festpreisen abgenommen werden. Die Kostendifferenz würde von der öffentlichen Hand getragen.
- Die Nutzbarkeit bestehender nationaler (FFG-Basisprogramm, Energieforschung des Klima- und Energiefonds etc.) und europäischer (Horizon Europe, Eureka, NextGenerationEU etc.) Förderprogramme sowie die Unterstützung österreichischer Unternehmen bei der Einreichung entsprechender Förderanträge. Ebenso das Erfordernis der Einrichtung neuer Fördermittel und -programme.

Die konkreten Beanreizungserfordernisse werden gemeinsam mit allen relevanten Stakeholdern diskutiert und identifiziert. Als Plattform kann der nationale SAF-Competence-Circle (siehe Maßnahme 5.1) dienen.

Koordination

BMK

Kooperation

BMAW, BMF, Industrie, KPC, FFG, Klima- und Energiefonds, europäische Förderstellen etc.

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2030

5.2 Fokusfeld 2: Sicherstellung der Verfügbarkeit und Absicherung von Importkapazitäten

Die Arbeiten im Rahmen der SAF-Roadmap haben gezeigt, dass der hohe Bedarf an biogenen und synthetischen SAF mittel- und langfristig weder durch österreichische Rohstoffe noch durch nationale Produktionskapazitäten zur Gänze gedeckt werden kann. Kernaufgabe der Maßnahmen in Fokusfeld 2 ist demnach die Intensivierung von Tätigkeiten im Verantwortungsbereich der öffentlichen Hand, die zur Absicherung der notwendigen Importkapazitäten beitragen können. Dies geschieht vor dem Hintergrund, die Verfügbarkeit ausreichender SAF-Mengen (u. a. auch zur Erfüllung rechtlicher Vorgaben) in Österreich zu unterstützen.

Maßnahme 2.1: Priorisierung von PtL-Kraftstoffen für den Einsatz im Non- und Off-Road-Bereich

Synthetische flüssige Kraftstoffe, sogenannte „E-Fuels“ oder Power-to-Liquid-Kraftstoffe, erfordern fünf- bis zehnmals mehr erneuerbare Primärenergie als im Falle einer Direktverstromung, beispielsweise in einem Elektromotor.

Strom aus erneuerbaren Energiequellen wird in den kommenden Jahren und Jahrzehnten von allen Wirtschaftssektoren intensiv nachgefragt werden. Dies erfordert einen möglichst effizienten Einsatz dieser Energie. Dort, wo technische Alternativen bereits entwickelt und etabliert sind – als Beispiel ist der batterieelektrische Antrieb im Straßenverkehr zu nennen –, soll der Einsatz von PtL-Kraftstoffen auf ein absolut notwendiges Mindestmaß reduziert werden. Dadurch wird gewährleistet, dass PtL-Kraftstoffe vorrangig dort eingesetzt werden, wo sie aus unterschiedlichen Gründen, beispielsweise aufgrund der Energiedichte oder der Spitzenlastanforderungen, alternativlos sind. Dazu zählt insbesondere der Non- und Off-Road-Bereich und hier im Speziellen der Flugverkehr.

Geprüft werden potentielle rechtliche beziehungsweise marktwirtschaftliche Instrumente, die eine Fokussierung des Einsatzes von PtL-Kraftstoffen, zumindest aus nationaler Produktion und insbesondere in der Markthochlaufphase, im Non- und Off-Road-Bereich im Allgemeinen und im Flugverkehr im Speziellen zur Folge haben.

Koordination

BMK

Kooperation

BMAW, BMF

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 2.2: Kontinuierliches Monitoring der realisierten beziehungsweise geplanten internationalen Produktionskapazitäten von SAF

Die Daten- und Informationslage zur Produktion von SAF ist gegenwärtig noch relativ unübersichtlich. Organisationen, die teilweise noch vor wenigen Monaten geplante Produktionskapazitäten ausgewiesen haben, existieren einige Zeit später nicht mehr. Andererseits melden laufend neue Unternehmen eine geplante SAF-Produktion an. Hinzu kommt, dass für den Einsatz in Europa nur solche Unternehmen als Vertragspartner in Frage kommen, deren SAF auch die europäischen Nachhaltigkeitskriterien erfüllen.

Gleichzeitig ist der Import von SAF aus heutiger Sicht unumgänglich, um die Versorgungssicherheit der österreichischen Flughäfen mit SAF, zumindest in der vorgegebenen Beimengungsquote gemäß ReFuelEU-Aviation-Verordnung zu erfüllen. Zwar bestünde mit dem Book-and-Claim-Mechanismus eine Möglichkeit, sich von physischen Warenströmen zu entkoppeln, aber auch in diesem Fall muss zumindest die Anrechenbarkeit gewisser SAF-Mengen gesichert werden.

Aus diesem Grund wird ein kontinuierliches Monitoring der realisierten beziehungsweise geplanten internationalen Produktionskapazitäten von SAF durchgeführt beziehungsweise weitergeführt, um zeitnahe auf Änderungen in der internationalen Produktionslandschaft reagieren und die Versorgungssicherheit für Österreich unterstützen zu können. Dies erfolgt vorrangig anhand der Daten, die die ICAO regelmäßig aktualisiert und auf ihrer Homepage zur Verfügung stellt, gegebenenfalls ergänzt um Aktivitäten zur Plausibilisierung dieser Angaben.

Koordination

BMK

Kooperation

Forschungseinrichtungen

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 2.3: Auf- und Ausbau strategischer Partnerschaften auf europäischer und internationaler Ebene

Unabhängig von derzeit verfügbaren Produktionskapazitäten werden schon heute große Mengen an SAF mittels sogenannter Abnahmeverträge gehandelt. Dies reduziert einerseits das Investitionsrisiko für SAF-Produzenten und sichert andererseits jenen Unternehmen, die zukünftig zur Beimengung von SAF verpflichtet sein werden, zumindest auf dem Papier die notwendigen Kraftstoffmengen.

Auch Österreich beziehungsweise die in Österreich tätigen und zukünftig direkt oder indirekt zum Absatz beziehungsweise zur Inverkehrbringung von SAF verpflichteten Unternehmen sollten in Abhängigkeit der notwendigen Kraftstoffmengen zu gegebener Zeit strategische Partnerschaften aufbauen – dies sowohl hinsichtlich der Zurverfügungstellung geeigneter Rohstoffe für eine nationale SAF-Produktion als auch hinsichtlich des Imports von SAF selbst. Dabei ist besonderes Augenmerk auf synthetische SAF zu legen, deren Produktion im Vergleich zu biogenen SAF weltweit noch sehr gering ausgeprägt ist.

Der Aufbau strategischer Partnerschaften sollte an bestehenden Partnerschaften (z. B. zu grünem Wasserstoff) anknüpfen und könnte aufbauend auf dem Monitoring der internationalen Produktionslandschaft von SAF (siehe Maßnahme 2.1) und vor dem Hintergrund der abgeschätzten Kraftstoffmengen erfolgen. Der Fokus der Maßnahme liegt auf synthetischen SAF, aus heutiger Sicht mit einem nationalen Bedarf im Ausmaß von rund 6.800 Tonnen 2030, rund 100.000 Tonnen 2040 beziehungsweise rund 349.000 Tonnen 2050. Hier wird auch dem Import von klimaneutralem Wasserstoff eine zentrale Rolle zuteil, dessen benötigte Mengen voraussichtlich ebenfalls nicht allein durch Produktionskapazitäten in Österreich abdeckbar sind. Auf die Importzielsetzung von klimaneutralem Wasserstoff wird in der Wasserstoffstrategie detailliert eingegangen (BMK, 2022a).

Aus heutiger Sicht ist noch unklar, aus welchen Regionen die erforderlichen SAF-Importe versorgungssicher und leistbar für den heimischen Markt geliefert werden. Jedenfalls soll sich die Entwicklung der Importbeziehungen auf jene Länder konzentrieren, die sich als potentielle Nettoexporteure von SAF erweisen. Dabei soll vor allem auf die Kompatibilität mit den internationalen Klimazielen, die Dekarbonisierungsanstrengungen der jeweiligen Partnerländer, die langfristige, nachhaltige Versorgungssicherheit sowie auf Importkosten und mögliche kosteneffiziente Transportkorridore geachtet werden.

Es wird festgehalten, dass mit dieser Maßnahme auch strategische politische Partnerschaften abgedeckt werden können. Der tatsächliche Handel konkreter Kraftstoffmengen und diesbezügliche Vertragsabschlüsse sind Aufgabe der Wirtschaftspartner.

Koordination

BMK

Kooperation

Industrie, Flughäfen, Airlines, EU- und Drittstaaten

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2050

Maßnahme 2.4: Auf- und Ausbau der Infrastruktur für den SAF-Transport nach beziehungsweise in Österreich

Vorbehaltlich des physischen Einsatzes von SAF in Österreich, also die Möglichkeit der Nutzung eines Book-and-Claim-Mechanismus ausklammernd, könnten 2050 neben einer stark reduzierten Menge an fossilem Kerosin große Mengen an SAF-tauglichen Rohstoffen beziehungsweise SAF selbst von bis zu 699.000 Tonnen nach beziehungsweise in Österreich transportiert werden.

Zwar sind Art und Menge der Rohstoffe für eine nationale Produktion ebenso wie die tatsächliche physische SAF-Menge in diesem frühen Stadium des SAF-Hochlaufs in Europa und weltweit noch mit vielen Fragezeichen behaftet, dennoch erfordert der zukünftige Transport dieser Rohstoff- und Kraftstoffmengen schon heute einen umfassenden Wissensaufbau, um adäquat und zeitgerecht auf die so entstehenden Anforderungen reagieren zu können.

Es wird analysiert, inwiefern beziehungsweise in welchem Ausmaß die vorhandene Infrastruktur zum Transport von Flugkraftstoffen, insbesondere via Pipelines, den zukünftigen Anforderungen gerecht wird und ob beziehungsweise welche Schritte gesetzt werden müssen, um den zukünftigen Rohstoff- und Kraftstofftransport nach beziehungsweise in Österreich zu ermöglichen und zu sichern – dies insbesondere vor dem Hintergrund der strategischen Ziele auf europäischer (EK, 2021d) und nationaler Ebene (BMK, 2021a), wie das Güterverkehrsaufkommen auf der Straße zu stabilisieren und große Teile der zukünftigen Güterverkehrsleistung auf klimaverträglichere und energieeffiziente Verkehrsträger wie die Schiene oder Schifffahrt zu verlagern.

Dazu kann bei Bedarf eine Studie ausgeschrieben werden, die die genannten Fragestellungen beleuchtet und gegebenenfalls als Grundlage für die Entwicklung einer Roadmap zum Auf- beziehungsweise Ausbau der notwendigen Infrastruktur und damit konkreter Umsetzungsschritte dienen kann.

Koordination

BMK

Kooperation

Industrie, Flughäfen, Airlines

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2040

5.3 Fokusfeld 3: Sicherstellung von Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit im europäischen und internationalen Flugverkehr ist der Hauptgrund für die Forcierung und den verpflichtenden Einsatz von SAF. Die Berücksichtigung entsprechender Kriterien wird in den verbindlichen Rechtsakten der Europäischen Union intensiv vorangetrieben und eine Harmonisierung beziehungsweise eine Angleichung der Ambitionsniveaus wird derzeit durchgeführt. Wesentliche Aspekte zur Nachhaltigkeit der eingesetzten Flugkraftstoffe werden den Mitgliedstaaten der Europäischen Union damit in den kommenden Monaten und Jahren vorgegeben. Ergänzend dazu werden nachfolgend zwei Maßnahmen angeführt, die in der nationalen Zuständigkeit umgesetzt werden sollen.

Maßnahme 3.1: Einführung von (elektronischen) Nachhaltigkeitsnachweisen für SAF

Zur Sicherstellung der tatsächlichen Nachhaltigkeit der zukünftig eingesetzten SAF ist die Überprüfung der Rohstoffe und Produktionsprozesse unerlässlich. Dies könnte analog am Beispiel der im österreichischen Straßenverkehr eingesetzten Biokraftstoffe im Rahmen des sogenannten elektronischen Nachhaltigkeitsnachweises (eINa), aber auch im Hinblick auf einen Mengennachweis erfolgen.

Mit dieser Maßnahme sollen eine Einbindung der nationalen SAF-Produktion und das Inverkehrbringen von SAF in ein elektronisches Nachweissystem unterstützt werden, nach dem Vorbild des eINa-Systems für den Straßenverkehr. Dabei sind die Entwicklungen der derzeit im Hochlauf befindlichen Unionsdatenbank (UDB) zu berücksichtigen. Das Ziel besteht darin, Klarheit und Transparenz in Bezug auf die Zertifizierung von national produzierten beziehungsweise in Österreich in Verkehr gebrachten SAF zu erreichen. Die Sinnhaftigkeit beziehungsweise das Erfordernis einer Koppelung einer etwaigen nationalen Kraftstoffzertifizierung mit dem sogenannten „Eco-Label“ der European Union Aviation Safety Agency (EASA) wird geprüft.

Koordination

BMK

Kooperation

EASA, Umweltbundesamt, Industrie

Wirkung

Hoch (in Bezug auf die Ökologisierung des Luftverkehrs)

Zeithorizont

2024–2026

Maßnahme 3.2: Einsatz auf EU-Ebene für die Einrichtung eines Überwachungs-, Berichterstattungs- und Prüfsystems für Nicht-CO₂-Emissionen in der Luftfahrt

Zwei Drittel der Klimawirkung des Luftverkehrs entfallen auf Emissionen abseits von Kohlenstoffdioxid. Den bedeutendsten Einfluss haben Kondensstreifen und daraus resultierende Kondensstreifen-Zirren. Die Quantifizierung der Nicht-CO₂-Effekte ist komplex, da sie sich gegenseitig beeinflussen und ihre Wirkung stark von Ort, Tageszeit und den Wetterbedingungen abhängt.

Der Einsatz von SAF kann einen signifikanten Beitrag zur Milderung dieser sogenannten Nicht-CO₂-Effekte leisten. Gleichzeitig können auch SAF die Nicht-CO₂-Effekte nicht vollständig eliminieren. Im Bewusstsein der Bedeutung dieser Nicht-CO₂-Emissionen für einen nachhaltigen und klimaverträglicheren Luftverkehr, der im Einklang mit dem Klimaübereinkommen von Paris steht, bedarf es eines Überwachungs-, Berichterstattungs- und Prüfsystems für Nicht-CO₂-Emissionen aus der Luftfahrt gemäß Richtlinie 2003/87/EG (RL 2003/87/EG; Art. 14).

Das BMK hat sich für die Einrichtung eines solchen Systems auf EU-Ebene erfolgreich eingesetzt.

Koordination

BMK

Kooperation

EU und internationale Partner

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

5.4 Fokusfeld 4: Kostenwahrheit und Wettbewerbsfähigkeit

Wirtschaftlichkeit und Kostenparität im Vergleich mit fossilem Kerosin sind ergänzend zu den rechtlich verankerten Beimengungspflichten die wesentlichen Treiber für einen raschen Hochlauf der SAF-Produktion sowie die wesentlichen Erfolgsfaktoren für einen über die absehbaren EU-rechtlichen Verpflichtungen hinausgehenden breiten Einsatz von SAF im Flugverkehr. Die Maßnahmen in Fokusfeld 4 haben in diesem Zusammenhang das Ziel, die Kostenwahrheit und Wettbewerbsfähigkeit im Flugverkehr nachhaltig zu fördern beziehungsweise zu festigen.

Maßnahme 4.1: Einsatz für eine faire Kerosinbesteuerung in der EU und auf globaler Ebene

Entscheidend für den Hochlauf der SAF-Produktion ist unter anderem die wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit dieser Kraftstoffe im Vergleich zu fossilem Kerosin. Insbesondere bei PtL-Kraftstoffen wird sich diese aufgrund der hohen Produktionskosten auch bei großindustrieller Produktion ohne flankierende Maßnahmen nicht einstellen. Verstärkt wird dieser Effekt durch kontraproduktive Steuersysteme, wie beispielsweise generelle Steuerbefreiung, die CO₂-Intensität oder andere klimarelevante Faktoren nicht berücksichtigen und damit langfristig Wettbewerbsnachteile für SAF mit sich bringen. Im Zusammenhang mit dem Flugverkehr kann die Mineralölsteuerbefreiung von Luftfahrtbetriebsstoff für die gewerbliche Luftfahrt genannt werden (WIFO, 2022). Der Einsatz für eine faire Besteuerung im gesamten EU-Raum mit Vorteilen für SAF ist daher wesentlich für den weiteren Hochlauf von SAF.

Die Zuständigkeit für entsprechende Steuerangelegenheiten liegt beim BMF. Österreich unterstützt gemäß Regierungsprogramm 2020-2024 die Umsetzung einer EU-weiten Kerosinbesteuerung. Im Rahmen des Fit-for-55-Pakets wurde ein Vorschlag zur Überarbeitung der europäischen Energiesteuerrichtlinie vorgelegt (EK, 2021b), der derzeit im ECOFIN-Rat behandelt wird. So soll gemäß Europäischer Kommission für konventionelle innereuropäische Passagierflüge die Besteuerung stufenweise über zehn Jahre eingeführt werden, bis die Mindestsätze für Treibstoffe erreicht sind. Für alternative Treibstoffe soll hingegen für zehn Jahre ein Mindestsatz von Null gelten. Die Einführung einer solchen Steuer muss einheitlich auf europäischer Ebene erfolgen, um innereuropäischen Wettbewerbsverzerrungen entgegenzuwirken. Auch bedarf es Begleitmaßnahmen auf europäischer Ebene, die „Umweltflüge“ und eine preisinduzierte Verlagerung zu Drittstaatenanbietern vermeiden. Eine Gleichziehung auf globaler Ebene ist anzustreben. Die Verwendung der Erlöse aus einer EU-Kerosinbesteuerung für die Finanzierung des Markthochlaufs von SAF wird unterstützt.

Positiv zu bewerten sind in diesem Zusammenhang die Anfang 2023 erfolgten Nachschärfungen des EU-Emissionshandels für den Luftverkehr. So wird u. a. die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten bis 2026 schrittweise eingestellt. In Bezug auf SAF wird ein Unterstützungsmechanismus eingeführt, demzufolge für Luftfahrzeugbetreiber kostenlose Zertifikate im Ausmaß von 20 Mio. Tonnen zum Ausgleich der Preisdifferenz zwischen SAF und fossilem Kerosin zur Verfügung stehen.

Koordination

BMK

Kooperation

BMF, EU, ECAC, ICAO

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 4.2: Prüfung der Berücksichtigung eines SAF-Einsatzes in einschlägigen Gesetzen

Die Berücksichtigung des SAF-Einsatzes in einschlägigen Gesetzen (auch über den Luftverkehrsbereich hinaus) wird geprüft und erforderlichenfalls umgesetzt, soweit damit eine Steigerung beziehungsweise Incentivierung des Einsatzes von SAF bewirkt werden kann. Dies könnte beispielsweise im Rahmen einer Berücksichtigung bei Flughafenentgelten der Fall sein. Ebenso könnte eine Incentivierung bei behördlichen Entscheidungen für positive Maßnahmen im Umweltbereich (wie z. B. hoher SAF-Einsatz) angedacht werden.

Koordination

BMK

Kooperation

BMWA, BMF

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 4.3: Sicherstellung der Vermeidung von Wettbewerbsverzerrungen

Die ReFuelEU-Aviation-Verordnung ist zukünftig in allen Mitgliedstaaten der Europäischen Union und den dort verorteten Flughäfen umzusetzen. Werden keine zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen für außereuropäische Flüge gesetzt, kann das Wettbewerbsverzerrungen zur Folge haben. Dies kann sich beispielsweise in Form des sogenannten Fuel Tankerings bemerkbar machen, bei dem Fluglinien mehr Kraftstoff mitführen als notwendig, um geringere Mengen des vergleichsweise teureren europäischen SAF tanken zu müssen.

Das BMK setzt sich dafür ein, auf europäischer Ebene Ausgleichsmechanismen zu installieren, die dem beschriebenen Fuel Tankering entgegenwirken. Dies kann beispielsweise in Form einer Einführung von verpflichtenden CO₂-Zertifikaten für außereuropäische Fluglinien oder spezielle CO₂-Grenzausgleichsmechanismen erfolgen und ist in weiterer Folge im Detail zu prüfen. Darüber hinaus setzt sich das BMK für die Einführung vergleichbarer SAF-Beimengungsquoten auf internationaler Ebene beziehungsweise die Aufnahme entsprechender Umweltbestimmungen in zukünftigen Luftverkehrsabkommen ein, um Wettbewerbsverzerrungen zwischen der europäischen und der globalen Luftfahrt entgegenzuwirken

Koordination

BMK

Kooperation

EK, ECAC, ICAO, Drittstaaten

Wirkung

Hoch

Zeithorizont

2024–2030

5.5 Fokusfeld 5: (Politischer) Dialog und Stakeholder-Partizipation

Ein gemeinsames Vorgehen und eine Bündelung aller Kräfte aus Forschung, Industrie, Verwaltung und Politik sind Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche nationale Implementierung der europarechtlichen Vorgaben und eine Optimierung der damit verbundenen ökologischen und wirtschaftlichen Potentiale für Österreich. Mit den Maßnahmen im abschließenden Fokusfeld 5 soll die wirkungsvolle Zusammenarbeit aller beteiligten Organisationen unterstützt werden.

Maßnahme 5.1: Einrichtung eines SAF-Competence-Circles in und für Österreich

Österreichische Unternehmen verfügen über umfassende Kompetenzen in der SAF-Produktion. Die Produktion auf Basis regionalen Altspeiseöls in der Raffinerie Schwechat oder der pilothafte Einsatz einer Hochtemperaturelektrolyse zur Produktion synthetischen SAF sind eindrucksvolle Realisierungen dieser Kompetenzen. Darüber hinaus besteht in Österreich umfassendes Know-how betreffend Errichtung und Betrieb von Produktionsanlagen für erneuerbaren Strom sowie eine weite Forschungslandschaft.

Die Bündelung dieser Kompetenzen kann wesentlich dazu beitragen, die unterschiedlichen Herausforderungen in Zusammenhang mit dem Hochlauf der Produktion beziehungsweise des Einsatzes von SAF effektiv und effizient zu bewältigen. Daher wird die Bildung eines nationalen SAF-Competence-Circles angestoßen. Dieser Arbeitskreis soll sich aus Vertretern aller österreichischen Organisationen zusammensetzen, die sich mit der Zurverfügungstellung von Rohstoffen, der Produktion von SAF selbst, der Erforschung und Entwicklung relevanter Technologien und Prozesse sowie der Schaffung der strategischen und politischen Rahmenbedingungen in Österreich und Europa beschäftigen.

Der SAF-Competence-Circle wird vom BMK eingerichtet, trifft sich in noch festzulegenden, aber regelmäßigen Abständen und dient insbesondere dem Wissensaustausch und der Absicherung und Fortführung des fachlichen und politischen Dialogs zwischen allen betroffenen Stakeholdern.

Koordination

BMK

Kooperation

Industrie, Forschung, Politik, Verwaltung

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 5.2: Fortsetzung der Teilnahme in relevanten internationalen Fachgremien

Das ICAO Assistance, Capacity-building and Training for Sustainable Aviation Fuels programme (ACT-SAF) zielt darauf ab, Staaten in verschiedenen Stadien der SAF-Entwicklung und -Einführung maßgeschneiderte Unterstützung zu bieten, Partnerschaften und die Zusammenarbeit bei SAF-Initiativen unter der Koordination der ICAO zu erleichtern und als Plattform zu dienen, um den Wissensaustausch und die Anerkennung aller SAF-Initiativen weltweit zu erleichtern. Österreich ist 2023 dem ACT-SAF-Programm beigetreten. Zudem hat Österreich in diesem Rahmen eine freiwillige finanzielle Unterstützung in der Höhe von 40.000 Euro an die ICAO für den globalen Markthochlauf zur Verfügung gestellt.

Die International Aviation Climate Ambition Coalition (IACAC) wurde auf dem COP26-Klimagipfel im November 2021 in Glasgow ins Leben gerufen und verpflichtet sich in ihrer Deklaration zur Zusammenarbeit, um die Erreichung eines ehrgeizigen globalen Ziels für die CO₂-Emissionen des internationalen Luftverkehrs durch die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) zu unterstützen. Dabei verpflichtet sie sich, spezifische Maßnahmen zur Verringerung der Luftverkehrsemissionen, wie beispielsweise die Einführung nachhaltiger Flugkraftstoffe, zu setzen.

Das BMK prüft Möglichkeiten zur aktiven Teilnahme an den genannten und gegebenenfalls weiteren relevanten internationalen Gremien und Arbeitsgruppen. Dies geschieht mit dem vorrangigen Ziel, die österreichischen Interessen in diese Gremien einzubringen und insbesondere den Themenbereich möglicher Wettbewerbsverzerrungen im internationalen Luftverkehr zu adressieren.

Koordination

BMK

Kooperation

ICAO, IACAC

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Maßnahme 5.3: Kommunikation und Bewusstseinsbildung

Die Maßnahmen 1.1 bis 5.2 beschreiben ein umfangreiches und tiefgreifendes Tätigkeitsfeld in Zusammenhang mit der Produktion und dem Einsatz von SAF in Österreich. Die Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt durch unterschiedliche Kooperationspartner aus Verwaltung, Wirtschaft und Forschung und wird federführend vom BMK koordiniert.

Die Maßnahme 5.3 zielt darauf ab, jene Aktivitäten und Entwicklungen dieses Gesamtprozesses, die für die Öffentlichkeit in Österreich relevant und interessant sind, über geeignete Kanäle des BMK (beispielsweise die BMK-Infothek) und ausgesuchter Kooperationspartner zu kommunizieren. Dies soll dazu beitragen, die Anstrengungen aller beteiligten Stakeholder zur Ökologisierung des Flugverkehrs, insbesondere durch den Einsatz von SAF, sichtbar zu machen und so zur notwendigen Bewusstseinsbildung für einen klimaverträglicheren Flugverkehr beizutragen.

Koordination

BMK

Kooperation

Politik, Verwaltung, Industrie, Forschungseinrichtungen, Flughäfen, Airlines

Wirkung

Mittel

Zeithorizont

2024–2030

Literaturverzeichnis

AGRANA, 2022: Gelebte Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Bioraffinerie Pischelsdorf; Vortrag Josef Schuberth beim National networking workshop zu Task 63 “Sustainable Aviation Fuels” des Technology Collaboration Programme on Advanced Motor Fuels (IEA-AMF). iea-amf.org/app/webroot/files/file/Workshop_Task63/9_Schuberth_Agrana_Gelebte%20Kreislaufwirtschaft%20am%20Beispiel%20der%20Bioraffinerie%20Pischelsdorf.pdf (05.03.2023).

ASTM - American Society for Testing and Materials, 2022a: ASTM D1655-22a; Standard Specification for Aviation Turbine Fuels.

ASTM - American Society for Testing and Materials, 2022b: ASTM D4054-22; Standard Practice for Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives.

ASTM - American Society for Testing and Materials, 2022c: ASTM D7566-22a; Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons.

AVL, 2021: Der Beitrag von E-Fuels zur Erreichung der Klimaziele; Vortrag Martin Rothbart bei der Fachveranstaltung “E-Fuels Teil der Energiewende Österreichs” der WKO Salzburg. wko.at/branchen/sbg/handel/energiehandel/10.11.2021-Praesentation-Martin-Rothbart.pdf (05.03.2023).

Bioenergy 2020+, 2019: Machbarkeitsuntersuchung Methan aus Biomasse. Wieselburg, 2019. best-research.eu/files/publications/pdf/Machbarkeitsuntersuchung_Methan%20aus%20Biomasse_VO3.docx%20-%20BioEnergy2020.pdf (05.03.2023).

BKA - Bundeskanzleramt, 2020: Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020–2024. Wien, 2020. bundeskanzleramt.gv.at/dam/jcr:7b9e6755-2115-440c-b2ec-cbf64a931aa8/RegProgramm-lang.pdf (13.02.2023).

BMF - Bundesministerium für Finanzen, 2022: Langfristige Budgetprognose 2022, Bericht der Bundesregierung gemäß § 15 Abs. 2 BHG 2013. Wien, 2022. bmf.gv.at/dam/jcr:195757e3-ed8a-41d7-90dc-541db37a8c5e/Langfristige_Budgetprognose_2022.pdf (14.02.2023).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021a: Mobilitätsmasterplan 2030. Wien, 2021. bmk.gv.at/themen/mobilitaet/mobilitaetsmasterplan/mmp2030.html (29.8.2022).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2021b: Biokraftstoffbericht 2021. Wien, 2021. bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/biokraftstoffbericht.html (29.8.2022).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022a: Wasserstoffstrategie für Österreich. Wien, 2022. bmk.gv.at/themen/energie/energieversorgung/wasserstoff/strategie.html (29.8.2022).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022b: Luftfahrtstrategie 2040+. Wien, 2022. bmk.gv.at/themen/verkehr/luftfahrt/roadmap/lfs_2040.html (21.11.2022).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022c: Klimafreundliche Luftfahrtinnovationen. Die Strategie für Forschung, Technologie und Innovation für die österreichische Luftfahrt 2040+. Wien, 2022. bmk.gv.at/dam/jcr:84b1c8cb-96b3-4f8f-9319-e27969ef275b/FTI-Strategie-Luftfahrt-2040plus_SCREEN_DE.pdf (13.02.2023).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, 2022d: Biodiversitäts-Strategie Österreich 2030+. Wien, 2022. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/naturschutz/biol_vielfalt/biodiversitaetsstrategie_2030.html (05.03.2023).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, o. J. a: Take Off. Österreichisches FTI-Förderungsprogramm für Luftfahrt. bmk.gv.at/themen/innovation/aktivitaeten/luftfahrttechnologie/takeoff.html (20.07.2023).

BMK - Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, o. J. b: Aktuelle Entwicklung. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/eu_emissionshandel/aktuelle_entwicklung.html (19.09.2023).

BMNT - Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus, 2019: Integrierter nationaler Energie- und Klimaplan für Österreich, Wien, 2019. bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html (29.8.2022).

Bricklebrit: Spotmarktpreise (Day-Ahead Fixing) Österreich. bricklebrit.com/strompreis_boerse_oesterreich.html (08.02.2023).

DLR – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2021: 100 Prozent nachhaltiger Kraftstoff zeigt Perspektive für Passagierflugzeuge. [dlr.de/content/de/artikel/news/2021/04/20211129_100-prozent-saf-kraftstoff-zeigt-perspektive-fuer-passagierflugzeuge.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2021/04/20211129_100-prozent-saf-kraftstoff-zeigt-perspektive-fuer-passagierflugzeuge.html) (14.02.2023).

DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2023: Aktuelle Erkenntnisse zu den Nicht-CO₂-Effekten des Luftverkehrs. Präsentation bei der 1. Sitzung des Strategiausschusses Luftfahrtstrategie 2040+. 01.02.2023.

DLR - Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, o. J.: Ein Drittel CO₂- und zwei Drittel Nicht-CO₂-Effekte (14.02.2023).

EASA - European Union Aviation Safety Agency, 2022: European Aviation Environmental Report 2022. easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2022-09/220723_EASA%20EAER%202022.pdf (15.10.2022).

EASA - European Union Aviation Safety Agency, o. J.: What are Sustainable Aviation Fuels? Table 4.1 Drop-in SAF approved production pathways. easa.europa.eu/eco/eaer/topics/sustainable-aviation-fuels/what-are-sustainable-aviation-fuels#definition (11.07.2023).

ECAC - European Civil Aviation Conference, 2023: ECAC Guidance on Sustainable Aviation Fuels (SAF) – First Edition. ecac-ceac.org/activities/environment/european-aviation-and-environment-working-group-eaeg/saf-task-group (05.03.2023).

EIB - Europäische Investitionsbank (2020): Climate Bank Roadmap 2021–2025. [eib.org/attachments/thematic/eib_group_climate_bank_roadmap_en.pdf](https://www.eib.org/attachments/thematic/eib_group_climate_bank_roadmap_en.pdf) (05.03.2023).

EK - Europäische Kommission, 2021a: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/842 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris. COM/2021/555 final. Brüssel, 14.07.2021. eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=COM%3A2021%3A555%3AFIN (25.07.2023).

EK - Europäische Kommission, 2021b: Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Restrukturierung der Rahmenvorschriften der Union zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom (Neufassung). COM(2021) 563 final. Brüssel, 14.07.2021. eur-lex.europa.eu/legal-content/de/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563 (13.02.2023).

EK - Europäische Kommission, 2021c: Commission Staff Working Document. Impact Assessment. Accompanying the Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. SWD/2021/633 final. Brüssel, 14.07.2021. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=SWD:2021:633:FIN (13.02.2023).

EK - Europäische Kommission, 2021d: Sustainable and Smart Mobility Strategy, Putting European transport on track for the future. Brüssel, 20.07.2021. transport.ec.europa.eu/system/files/2021-04/2021-mobility-strategy-and-action-plan.pdf (13.02.2023).

EK - Europäische Kommission, 2021e: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/841 hinsichtlich des Geltungsbereichs, der Vereinfachung der Compliance-Vorschriften, der Festlegung der Zielwerte der Mitgliedstaaten für 2030 und der Verpflichtung, bis 2035 gemeinsam Klimaneutralität im Sektor Landnutzung, Forstwirtschaft und Landwirtschaft zu erreichen, und zur Änderung der Verordnung (EU) 2018/1999 hinsichtlich der Verbesserung der Überwachung, der Berichterstattung, der Verfolgung der Fortschritte und der Überprüfung. COM(2021) 554 final. Brüssel, 14.07.2021. eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0554 (17.08.2023).

EUROCONTROL, 2019: Fuel Tankering: economic benefits and environmental impact. Think Paper #1. eurocontrol.int/sites/default/files/2020-01/eurocontrol-think-paper-1-fuel-tankering.pdf (12.12.2022).

EUROCONTROL, 2022: Aviation Outlook 2050. eurocontrol.int/publication/eurocontrol-aviation-outlook-2050 (16.5.2022).

EUROCONTROL, 2023: Aviation Intelligence Unit, Performance 2022 – Outlook 2023. Brüssel, 2023. eurocontrol.int/sites/default/files/2023-01/eurocontrol-analysis-paper-2022-review-2023-outlook.pdf-corrigendum.pdf (14.02.2023).

ICAO – International Civil Aviation Organization, 2019: 2019 Environmental Report, Aviation and Environment; Destination Green – The Next Chapter. Montreal, 2019. [icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB%20\(1\).pdf](https://icao.int/environmental-protection/Documents/ICAO-ENV-Report2019-F1-WEB%20(1).pdf) (14.02.2023)

ICAO – International Civil Aviation Organization, 2022: Resolutions adopted by the Assembly – 41st Session. icao.int/Meetings/a41/Documents/Resolutions/a41_res_prov_en.pdf (05.03.2023).

ICAO – International Civil Aviation Organization, 2023: Global Framework for Aviation Alternative fuels (GAAAF) / Conversion processes. [icao.int/environmental-protection/GAAAF/Pages/Conversion-processes.aspx](https://www.icao.int/environmental-protection/GAAAF/Pages/Conversion-processes.aspx) (23.04.2023).

ICCT, 2019: The cost of supporting alternative jet fuels in the European Union. Working paper 2019-5. 2019. [theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Alternative_jet_fuels_cost_EU_2020_06_v3.pdf](https://www.theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/Alternative_jet_fuels_cost_EU_2020_06_v3.pdf) (08.02.2023).

ICCT, 2022: Current and future cost of e-kerosene in the United States and Europe. Working paper 2022-14. 2022. [theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/fuels-us-europe-current-future-cost-ekerosene-us-europe-mar22.pdf](https://www.theicct.org/wp-content/uploads/2022/02/fuels-us-europe-current-future-cost-ekerosene-us-europe-mar22.pdf) (08.02.2023).

IEA-AMF – Advances Motor Fuels, 2021: Sustainable Aviation Fuels. [iea-amf.org/content/projects/map_projects/63/](https://www.iea-amf.org/content/projects/map_projects/63/) (12.12.2022).

IndexMundi, 2022: Kerosin monatlicher Preis. [indexmundi.com/de/rohstoffpreise/?ware=kerosin&monate=12&wahrung=eur](https://www.indexmundi.com/de/rohstoffpreise/?ware=kerosin&monate=12&wahrung=eur) (08.02.2023).

Klimaschutz-Portal.aero, o. J.: Kerosin bleibt Kerosin, unabhängig von der Herstellungsart. [klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-herstellen/](https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-herstellen/) (01.03.2023).

Lee, D.S., 2018: The current state of scientific understanding of the non-CO2 effects of aviation on climate. Manchester, 2018. assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/813342/non-CO2-effects-report.pdf (14.02.2023).

OMV, 2022a: OMV Blog: Sustainable Aviation Fuels – wohin geht die Reise? [omv.com/de/blog/sustainable-aviation-fuels-wohin-geht-die-reise](https://www.omv.com/de/blog/sustainable-aviation-fuels-wohin-geht-die-reise) (05.03.2023).

OMV, 2022b: Strategy 2030 – From value Chain to value circle. Online: [omv.com/services/downloads/00/omv.com/1522216124811/capital-markets-day-2022-presentation-ceo.pdf](https://www.omv.com/services/downloads/00/omv.com/1522216124811/capital-markets-day-2022-presentation-ceo.pdf) (05.03.2023).

Statistik Austria, 2022: Personenverkehr Luftfahrt. Wien, 2022. [statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/personenverkehr/personenverkehr-luftfahrt](https://www.statistik.at/statistiken/tourismus-und-verkehr/personenverkehr/personenverkehr-luftfahrt) (14.02.2023).

T&E - Transport & Environment, 2022: Roadmap to climate neutral aviation in Europe. [transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/03/TE-aviation-decarbonisation-roadmap-FINAL.pdf](https://www.transportenvironment.org/wp-content/uploads/2022/03/TE-aviation-decarbonisation-roadmap-FINAL.pdf) (15.10.2022).

open4aviation, o. J.: Österreich leitet internationales Forschungsprojekt zu Bedingungen und Möglichkeiten von Sustainable Aviation Fuels. open4aviation.at/de/highlights/IEA-SAF-ANNEX.php (12.12.2022).

Statista, 2023: Total fuel consumption of commercial airlines worldwide between 2005 and 2021, with a forecast until 2023. [statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide](https://www.statista.com/statistics/655057/fuel-consumption-of-airlines-worldwide) (16.08.2023).

Umweltbundesamt, 2022: Klimaschutzbericht 2022. Wien, 2022. [umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0816.pdf](https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0816.pdf); (29.8.2022).

Umweltbundesamt.de, 2022: Power-to-Liquids. A scaleable and sustainable fuel supply perspective for aviation. [umweltbundesamt.de/publikationen/power-to-liquids](https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/power-to-liquids) (30.08.2022).

U. S. Energy Information Administration, 2020: Real Petroleum Prices – Transportation – Jet Fuel. [eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2021®ion=0-0&cases=ref2021~highprice~lowprice&start=2019&end=2020&f=A&linechart=~~~ref2021-d113020a.31-12-AEO2021-highprice-d113020a.31-12-AEO2021-lowprice-d113020a.31-12-AEO2021~~~&chartindexed=0&sourcekey=0](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/data/browser/#/?id=12-AEO2021®ion=0-0&cases=ref2021~highprice~lowprice&start=2019&end=2020&f=A&linechart=~~~ref2021-d113020a.31-12-AEO2021-highprice-d113020a.31-12-AEO2021-lowprice-d113020a.31-12-AEO2021~~~&chartindexed=0&sourcekey=0) (27.02.2023).

VIA – Vienna International Airport, 2023: Flughafen Wien AG mit 23,7 Mio. Passagieren mehr als Verdoppelung des Passagieraufkommens im Gesamtjahr 2022 – 75% des Rekordniveaus von 2023 erreicht. Presseausendung vom 19.01.2023. [viennaairport.com/unternehmen/presse_news/presseausendungen_news_2?news_beitrag_id=1674051696325](https://www.viennaairport.com/unternehmen/presse_news/presseausendungen_news_2?news_beitrag_id=1674051696325) (14.02.2023).

WIFO – Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, 2022: Analyse klimakontraproduktiver Subventionen in Österreich. [wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=69687&mime_type=application/pdf](https://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=69687&mime_type=application/pdf) (24.04.2023).

World Economic Forum, 2021: Clean Skies for Tomorrow. Guidelines for a sustainable aviation fuel blending mandate in Europe. www3.weforum.org/docs/WEF_CST_EU_Policy_2021.pdf (15.10.2022).

Rechtsvorschriften

COM(2021) 561. Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr, 2021/0205/COD. eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52021PC0561R%2801%29 (12.12.2022).

Klimaschutzgesetz (KSG; BGBl. I Nr. 106/2011 i. d. F. BGBl. I Nr. 58/2017).

Bundesgesetz zur Einhaltung von Höchstmengen von Treibhausgasemissionen und zur Erarbeitung von wirksamen Maßnahmen zum Klimaschutz.

RL 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates. Abl. Nr. L 275. S. 32

RL 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Abl. Nr. L 312. S. 3

RL 2008/101/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Einbeziehung des Luftverkehrs in das System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft. Abl. Nr. L 8. S. 3

RL (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. Abl. Nr. L 328. S. 82

VO (EU) 2018/842. Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Festlegung verbindlicher nationaler Jahresziele für die Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2021 bis 2030 als Beitrag zu Klimaschutzmaßnahmen zwecks Erfüllung der Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris sowie zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 525/2013. SWD/2021/633 final. Brüssel, 2018. Abl. Nr. L 156. S. 26

Verordnung über tierische Nebenprodukte (VO (EG) 1069/2009). Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 mit Hygienevorschriften für nicht für den menschlichen Verzehr bestimmte tierische Nebenprodukte und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 1774/2002. Abl. Nr. L 300. S. 1

Abkürzungen

AtJ	Alcohol to Jet (Technologiefad)
ASTM	American Society for Testing and Materials
BtJ	Biomass to Jet (Technologiefad)
DAC	Direct air Capture
EASA	European Union Aviation Safety Agency
ECAC	European Civil Aviation Conference
ETS	Emissions Trading System
FTS	Fischer-Tropsch-Synthese
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (Technologiefad)
HTL	Hydrothermal Liquefaction
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICCT	International Council on Clean Transportation
ILUC	Indirect Land Use Change
LCA	Life Cycle Assessment
MJ	Megajoule
PtL	Power to Liquid (Technologiefad)
RED	Renewable Energy Directive
SAF	Sustainable Aviation Fuel
TRL	Technology Readiness Level
TWh	Terrawattstunde
ZOVI	Zukunftsoffensive Verkehr & Infrastruktur

