



Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr

Vorreiter unter ReFuelEU Aviation

Was ist für Baden-Württemberg möglich?





**Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr**

Impressum

Auftraggeber:



**Baden-Württemberg
Ministerium für Verkehr**

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg (VM)
Dorotheenstraße 8
70173 Stuttgart

Auftragnehmer:

d-fine

d-fine GmbH
An der Hauptwache 7
60313 Frankfurt am Main

Stand Quellen: Dezember 2024

Management Summary

Baden-Württemberg (BW) hat sich mit seinem Klimaschutzgesetz das ehrgeizige Ziel gesetzt, Klimaneutralität bereits bis 2040 zu erreichen. Die ReFuelEU Aviation-Verordnung ist Bestandteil des umfassenden EU-Gesetzespakets „Fit for 55“, das darauf abzielt, die Klimaziele des European Green Deals zu verwirklichen, insbesondere die Klimaneutralität bis 2050. Um hier Vorreiter zu sein sind weitergehende Aktivitäten notwendig. Den Spielraum des Landes soll diese Studie aufzeigen.

Die Verordnung fokussiert den Hochlauf von nachhaltigen Kraftstoffen und Antrieben in der kommerziellen Luftfahrt und betrifft (relevante) Kraftstoffanbieter, Flughäfen und Fluggesellschaften. Nachhaltige Flugkraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels = SAF) unterscheiden sich nach ihren Herstellungswegen: biogene SAF aus nicht-fossilen Rohstoffen sind bereits kommerziell verfügbar, während strombasierte – sogenannte Power-to-Liquid-Kraftstoffe (PtL) – hinsichtlich Skalierung und Effizienz Entwicklungsbedarf haben. SAF ähneln auf molekularer Ebene fossilem Kerosin. Daher können sie als drop-in-fähige Kraftstoffe in herkömmlichen Triebwerken verwendet werden, wobei eine Beimischung von SAF zu fossilem Kerosin bis zu 50 Prozent zugelassen ist.

ReFuelEU Aviation legt SAF-Beimischungsquoten für Kraftstoff an EU-Flughäfen fest

Die ReFuelEU Aviation Verordnung führt konkrete SAF-Beimischungsquoten für an den Flughäfen der Europäischen Union durch „Inverkehrbringer“ bereitgestellte Flugkraftstoffe ein. Konkret startet die Quote im Jahr 2025 bei 2 Prozent und steigt an bis auf 70 Prozent im Jahr 2050. Bis 2035 kann sie gemittelt über alle Flughäfen der Union erfüllt werden (Flexibilitätsmechanismus). Zudem muss die SAF-Quote ab 2030 zu einem Teil durch erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs (PtL-Kraftstoffe) erreicht werden: Durchschnittlich 1,2 Prozent im Zeitraum 2030-31, jedoch mind. 0,7 Prozent pro Jahr, und steigend bis auf 35 Prozent im Jahr 2050. Fluggesellschaften müssen an jedem Flughafen der Union mind. 90 Prozent des Jahreskraftstoffbedarfs für alle Abflüge von diesem Flughafen vertanken. Damit sollen klimaschädliche Praktiken wie Tankering - Mitnahme von mehr Kraftstoff als für den Folgeflug notwendig - verhindert werden. Flughäfen der Union müssen zudem die Infrastruktur bereitstellen.

BW sollte auf eine rasche nationale Umsetzung der ReFuelEU Aviation einwirken

Die Definition der „Inverkehrbringer“ von Flugkraftstoffen muss geklärt werden, um insbesondere Fluggesellschaften und Kraftstoffanbietern Klarheit zu bieten. Zudem gelten in Deutschland aktuell nach §37a BImSchG noch ambitioniertere nationale SAF-Quoten, mit

einer PtL-Quote von 0,5 Prozent ab 2026. Der im Mai 2025 unterzeichnete Koalitionsvertrag der Bundesregierung sieht die Abschaffung der über EU-Vorgaben hinausgehenden PtL-Quote vor, was von Stakeholdern aus der Luftfahrt aufgrund der geringen PtL-Verfügbarkeit als notwendig angesehen wird.

An Flughäfen in BW ist keine zeitnahe Bereitstellung von SAF geplant

Betroffene „Flughäfen der Union“ im Sinne der Verordnung in Baden-Württemberg sind die Flughäfen Stuttgart und Karlsruhe/Baden-Baden. Beide Flughäfen verfügen über die technischen Voraussetzungen und Bereitschaft zur SAF-Vertankung, doch fehlt bisher die Nachfrage. Der Flexibilitätsmechanismus der EU führt dazu, dass auch nach Inkrafttreten der EU-Quoten keine SAF-Vertankung geplant ist. Weitere Herausforderungen sind geringe nationale SAF-Produktionskapazitäten, logistische Nachteile fern von Seehäfen und fehlende Pipelines sowie stärkere Anreize im europäischen Ausland. Das Land wirkt im Aktionsplan reFuels BW, einem mit Wirtschaft, Industrie, Verbänden sowie Forschung und Entwicklung abgestimmten Forderungskatalog an die EU-Kommission, auf den Hochlauf der Kraftstoff und SAF-Produktion hin und sollte diese Aktivitäten verstärken. Im Rahmen der vom Ministerium für Verkehr initiierten „Allianz Neues Fliegen“ soll zudem die SAF-Nachfrage gestärkt werden – im ersten Schritt mit dem Fokus auf Geschäftsreisen von Unternehmen. Hier wird als weitere Hürde das Fehlen standardisierter Mechanismen zur Anrechenbarkeit von SAF im Rahmen der Nachhaltigkeitsberichterstattung von Unternehmen genannt. Das Ministerium für Verkehr sollte sich hier weiterhin unterstützend einsetzen, die Einführung von praktikablen und kompatiblen Standards durch die EU einfordern und eventuell Projekte fördern, die diese Hürden beseitigen, z.B. indem ein übertragbares Konzept für die vollständige Nachweisführung der nachhaltigen Lieferkette entwickelt wird.

Förderung der Produktion und unterstützender Rechtsrahmen sind zentral

Die Verfügbarkeit von SAF zu wettbewerbsfähigen Preisen ist eine zentrale Herausforderung. Eine Unterstützung beim Ausbau lokaler Produktionskapazitäten muss First-Mover-Nachteile abfedern – wie im Aktionsplan reFuels gefordert, da durch fehlende langfristige Abnahmeverträge und regulatorische Unsicherheit Investitionsrisiken bestehen. Die Bundesregierung kann Sicherheit bieten, indem sie Investitionen und Renditen absichert und überschüssige Gewinne abschöpft, ähnlich dem H2Global-Mechanismus. Regulatorische Risiken können durch Bestandsschutz für Erstanlagen mit langfristiger Anerkennung als nachhaltige Kraftstoffe gemildert werden. Hierauf kann das Land im Bundesrat hinwirken.

Rechtssicherheit und finanzielle Anreize für SAF auf Bundes- und EU-Ebene

Baden-Württemberg sollte sich weiter gegenüber der Bundesebene und EU-Ebene für Rechtssicherheit einsetzen, um den SAF-Hochlauf zu fördern:

1) Eine rasche nationale Ausgestaltung ReFuelEU Aviation-Verordnung mit Fokus auf der Definition der „Inverkehrbringer“ und Anpassung des BImSchG wie im Koalitionsvertrag der Bundesregierung vorgesehen sind notwendig. 2) Auf EU-Ebene sollte darauf eingewirkt werden, die Quotenentwicklung der ReFuelEU Aviation zu einem lineareren Verlauf anzupassen, um den Produktionshochlauf zu unterstützen. 3) Ein schneller Abschluss der Novelle der Energiesteuerrichtlinie sollte auf EU-Ebene unterstützt werden, um nachhaltige Flugkraftstoffe steuerlich zu begünstigen. 4) Klare Regelungen zur Anrechenbarkeit von SAF aus Drittländern sollten auf EU-Ebene umgesetzt werden.

Einführung eines mit bestehender Regulatorik kompatiblen Book-and-Claim-Systems

Baden-Württemberg sollte sich für ein mit der bestehenden EU-Regulatorik kompatibles Book-and-Claim-System einsetzen. Dieses kann kurz- bis mittelfristig Flexibilität bieten, indem Airlines SAF unabhängig von lokaler Verfügbarkeit nachfragen und verbuchen können. Die Harmonisierung von Nachhaltigkeitskriterien und Schaffung einer virtuellen Handelsplattform für SAF-Zertifikate kann den Markteintritt neuer Akteure erleichtern. Zur Förderung des SAF-Hochlaufs können Anreize für Fluggesellschaften dienen, darunter die Anrechnung von SAF-Zertifikaten auf die EU ETS-Verpflichtungen. Hier sind noch Hilfestellungen notwendig.

Nationale Anreizsysteme für SAF sollten anstatt lokaler Maßnahmen geprüft werden

Lokale Anreize an Flughäfen wie in Amsterdam und London können den Einsatz von SAF fördern. Aus Klimasicht ist der physische Einsatz von SAF jedoch vor allem an solchen Flughäfen zu bevorzugen, an die SAF aus logistischen Gründen wirtschaftlich günstig und emissionsarm geliefert werden kann. Dies ist derzeit an Flughäfen in BW aufgrund fehlender Pipeline-Anbindungen und Nähe zu Seehäfen und fehlender Eigenproduktion noch nicht gegeben. Das Land Baden-Württemberg sollte auf Bundesebene die Prüfung einer Opt-in-Möglichkeit von SAF ähnlich des niederländischen HBE-Handelssystems im Rahmen der RED III Umsetzung anstoßen. In der Praxis bedeutet dies, dass Kraftstoffproduzenten durch einen Opt-in Mechanismus für die Erzeugung zertifizierter SAF bestimmte Zertifikate erhalten, die sie an Verpflichtete zur Erfüllung der Quote – z. B. des straßengebundenen Verkehrs – verkaufen können. Das hergestellte SAF wird als "konventioneller" Flugkraftstoff bereitgestellt und der Nachhaltigkeitsanspruch erlischt. Dies kann den Zugang zum Markt – vor allem für verfügbare biogene SAF – ermöglichen und bietet einen Anreiz zur Produktion.

BW kann Beitrag durch regulatorische Mitwirkung und Forschungsförderung leisten

Es zeigt sich, dass die geografische Lage Baden-Württembergs mit der großen Entfernung zu potentiellen Produktionsanlagen und den langen Lieferwegen per Tankwagen sowie den vergleichsweise kleinen Flughäfen den physischen Einsatz von SAF später ermöglichen wird als an anderen europäischen Hubs. Zudem ist offen, ob und inwieweit sich das Book-and-Claim-Modell durchsetzen wird, was den physischen Einsatz von SAF zumindest für einige Jahre weiter verzögern könnte. Dennoch kann BW seine starke Position zum Vorteil nutzen, insbesondere in der Fortsetzung des regulatorischen Engagements gegenüber der EU u.a. mit dem Aktionsplan reFuels. Außerdem unterstützt das Land die Forschung und Entwicklung mit verschiedenen Aktivitäten zur Förderung eines klimaneutralen Luftverkehrs. Dazu zählen u.a. eine laufende Studie zu Szenarien für den Bedarf an SAF und Wasserstoff im Luftverkehr sowie die Konzeption für einen freiwillig höheren Einsatz von SAF im Rahmen einer Industrieallianz.



Inhaltsverzeichnis

Impressum	II
Management Summary	III
1. Ziel der Studie	1
2. Methodisches Vorgehen	3
2.1. Marktrecherche	3
2.2. Stakeholderbefragung	3
3. Sustainable Aviation Fuels (SAF)	10
3.1. Hintergrund: Europäische Richtlinien für Erneuerbare Kraftstoffe.....	10
3.2. Herstellung von SAF	17
3.3. SAF-Hochlauf – Status Quo und Ausblick	25
3.4. Nachhaltigkeitskriterien und Anrechenbarkeit von SAF	32
4. Die ReFuelEU Aviation Verordnung	39
4.1. Anwendungs- und Geltungsbereich.....	40
4.2. Inhalt der ReFuelEU Aviation Verordnung	41
4.3. Durchsetzungsmechanismen.....	44
4.4. Ausblick	45
5. Anreizmechanismen für den Einsatz von SAF	50
5.1. Nationale Anreizmechanismen	50
5.2. Lokale Anreizsysteme	59
5.3. Situation in Deutschland	62
6. Stakeholdereinblicke – Herausforderungen und Chancen beim Einsatz von SAF	65
6.1. Stakeholder in Baden-Württemberg.....	66
6.2. Voraussetzungen und Herausforderungen für den Einsatz von SAF aus Stakeholderperspektive	70
7. Handlungsempfehlungen zur Einsatzsteigerung von SAF	78
7.1. Sicherstellung der lokalen SAF-Verfügbarkeit durch Förderung der Produktionskapazitäten	79
7.2. Einwirkung auf Bundes- und EU-Gesetzgebung zur Klärung regulatorischer Unsicherheiten.....	81



7.3.	Einführung eines Book-and-Claim-Systems und kompatible Einbettung in bereits bestehende Mechanismen	83
7.4.	Lokale Maßnahmen in Baden-Württemberg	85
8.	Fazit.....	88
	Abkürzungen	92
	Abbildungen	95
	Literatur.....	98

1. Ziel der Studie

Das Land Baden-Württemberg hat sich ehrgeizige Klimaziele gesteckt mit dem Bestreben bis 2040 klimaneutral zu werden. Die „Roadmap reFuels für Baden-Württemberg“ aus dem Jahr 2022 soll das Angebot und die Nachfrage nach erneuerbaren Kraftstoffen in verschiedenen Bereichen fördern und somit einen Beitrag zur Erreichung der Klimaneutralität leisten [3]. Ein besonderes Anliegen ist der Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen in der Luftfahrt – sogenannte Sustainable Aviation Fuels (SAF).

Der Fokus der vorliegenden Studie liegt auf der 2023 beschlossenen Verordnung „ReFuelEU Aviation“ des Europäischen Parlaments, welche ein Teil des EU-Gesetzespakets „Fit for 55“ zur Umsetzung des European Green Deals ist. Die ReFuelEU Aviation Verordnung führt konkrete SAF-Beimischungsquoten für an den Flughäfen der Union bereitgestellte Flugkraftstoffe ein. Konkret startet diese Quote im Jahr 2025 bei 2 Prozent und steigt mit den Jahren an bis auf 70 Prozent im Jahr 2050, wobei sie bis 2035 gemittelt über alle Flughäfen der Union erfüllt werden kann (Flexibilitätsmechanismus). Zudem muss ab 2030 die SAF-Quote zu einem gewissen Teil durch nicht-biogenen SAF erreicht werden: Durchschnittlich 1,2 Prozent im Zeitraum 2030-31, jedoch mind. 0,7 Prozent pro Jahr, und anschließend ebenfalls steigend bis auf 35 Prozent im Jahr 2050. Für die Fluggesellschaften wird außerdem festgelegt, dass an jedem Flughafen der Union mind. 90 Prozent des Jahresbedarfs an Flugkraftstoff für alle Abflüge von diesem Flughafen vertankt werden muss. Eine der Hauptmotivationen für die Einführung der ReFuelEU Aviation ist die Schaffung eines "Level Playing Fields": Es sollen einheitliche Mindeststandards und Anforderungen sichergestellt werden, die einen fairen und ausgeglichenen Wettbewerb fördern.

Im Rahmen dieser Studie wird der aktuelle rechtliche Rahmen im Bereich nachhaltiger Luftfahrt analysiert. Dabei sollen konkrete Handlungsempfehlungen für das Land Baden-Württemberg entwickelt werden, wobei die spezifischen Gegebenheiten des Landes berücksichtigt werden. Die entwickelten Maßnahmen sollen zur Förderung des Einsatzes von SAF an den Flughäfen in Baden-Württemberg und darüber hinaus dienen. Hierzu werden im ersten Schritt national und international interagierende Rechtsrahmen beleuchtet und anschließend die ReFuelEU Aviation Verordnung fokussiert. Zur weiteren Einordnung wird zudem der aktuelle Stand der SAF-Produktion, rechtliche Bedingungen für deren Nachhaltigkeitskriterien und Herstellung sowie bestehende (inter-)nationale Anreizmechanismen für den lokalen SAF-Einsatz in einer umfassenden Marktrecherche betrachtet. Im Kern der Studie werden die relevanten Stakeholder der Luftfahrt in Baden-Württemberg und ihre Prämissen und Herausforderungen beim Einsatz von SAF dargestellt. Hierzu



werden semi-strukturierte Interviews mit den drei Verkehrsflughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen, dem Flugplatz Mannheim sowie ausgewählten relevanten Fluggesellschaften, Kraftstoffherstellern und -verbänden durchgeführt. Darauf aufbauend werden konkrete Handlungsoptionen zur Stärkung des Hochlaufs von SAF abgeleitet – sowohl durch regulatorische Maßnahmen als auch weitere Anreizmechanismen.

2. Methodisches Vorgehen

Um einerseits eine wissenschaftliche und regulatorische Analyse des Status quo zum Thema Sustainable Aviation Fuels mit besonderem Augenmerk auf der ReFuelEU Aviation Verordnung zu gewährleisten und andererseits konkrete umsetzbare Handlungsoptionen basierend auf aktuellen Herausforderungen abzuleiten, wird ein zweiphasiger Ansatz gewählt.

In Schritt 1 wird in einer umfassenden Markt- und Literaturrecherche der Stand zu Produktion und Einsatz von SAF sowie die nationale und europäische Regulatorik im Bereich nachhaltiger Luftfahrt zusammengestellt und eingeordnet. Ergänzend hierzu werden in Schritt 2 Stakeholder der Luftfahrt in Baden-Württemberg (u.a. Flughäfen und -plätze, Fluggesellschaften sowie Kraftstoffanbieter und -verbände) in semi-strukturierten Interviews nach ihren Prämissen und Herausforderungen befragt. Die Informationen aus beiden Quellen bilden die Basis für die Ableitung der Handlungsoptionen.

2.1. Marktrecherche

Im ersten Schritt wird eine umfassende Analyse zum Status Quo der für Baden-Württemberg relevanten Regulatorik im Bereich nachhaltiger Luftfahrt durchgeführt. Hierbei werden die originalen Gesetzestexte oder Veröffentlichungen auf nationaler und internationaler Ebene (u.a. ReFuelEU Aviation, RED II/III, CORSIA) als grundlegende Quellen verwendet und durch weitere Informationen, z. B. aus Konsultationsprozessen und Ankündigungen der Europäischen Kommission, des Europäischen Parlaments oder der Bundesregierung, ergänzt. Für weitere Informationen und Anregungen werden beispielhaft Anreizmechanismen innerhalb der EU (Niederlande), außerhalb der EU (Großbritannien) und außerhalb Europas (USA) betrachtet. Zudem wird eine Marktrecherche zu Status Quo und Prognose der SAF-Produktion und -kosten sowie des Einsatzes an Flughäfen durchgeführt und hierbei neben Statistiken der IATA (International Air Transport Association) oder ICAO (International Civil Aviation Organization) auch Informationen aus Pressemitteilungen zu geplanten Produktionsanlagen oder dem SAF-Monitor¹ [4] verwertet.

2.2. Stakeholderbefragung

Um die Situation und die Herausforderungen am Markt hinsichtlich der Produktion und des Einsatzes von SAF sowie der Erfüllung der regulatorischen Anforderungen umfassend

¹ Ein Projekt der NOW GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) in enger Zusammenarbeit mit CENA Hessen.

aufzunehmen, werden neben der Auswertung diverser öffentlicher Positionspapiere der Marktteilnehmer auch Befragungen relevanter Stakeholder in der Luftfahrt in Baden-Württemberg durchgeführt. Konkret werden die drei baden-württembergischen Verkehrsflughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden bzw. Baden-Airpark und der Bodensee-Airport Friedrichshafen, ein ausgewählter Flugplatz sowie eine Auswahl an Luftverkehrsgesellschaften, Tankinfrastrukturbetreibern, Kraftstoffanbietern und -verbänden mit einbezogen.

Die Befragung findet in Form von semi-strukturierten Interviews statt. Dieser teilstandardisierte Ansatz stellt sicher, dass sich der durch die Studie gegebene Relevanzrahmen in den Experteninterviews wiederfindet, aber auch die Expertenmeinungen zu den relevanten Themen gehört werden. Die Schlüsselfragen werden den Teilnehmenden vor dem Interviewtermin zur Verfügung gestellt. Im Rahmen der Interviews wurden hauptsächlich überregionale Aspekte vor allem im europäischen Kontext berücksichtigt aber auch lokale Bedingungen thematisiert.

Unter den Gesprächspartnern befanden sich sowohl Personen mit technischem Expertenwissen (u. a. aus der Forschung) als auch aus den Bereichen Kraftstoffbeschaffung und -einkauf, Public Affairs, sowie Nachhaltigkeitsmanagement. Somit wurde eine ganzheitliche Sicht des Status Quo und der Herausforderungen – von der Beschaffung über Nachhaltigkeitszertifikate und den operationellen Einsatz und bis hin zu Regulatorik und Reporting – abgedeckt.

Zur Wahrung der Vertraulichkeit der in den Interviews besprochenen (sensiblen) Informationen werden die Erkenntnisse und Hauptaussagen in einer anonymisierten Form aufgenommen, die keinen Rückschluss auf Geschäftszwecke oder Investitions-Roadmaps der beteiligten Unternehmen ermöglicht.

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Entwicklung einer umfassenden Übersicht der Herausforderungen und Prämissen der verschiedenen Stakeholdergruppen beim Einsatz von SAF. Auf dieser Basis können Gemeinsamkeiten und Differenzen analysiert und Handlungsoptionen abgeleitet werden. In Tabelle 1 sind die Fokusthemen und Hauptaussagen der befragten Stakeholder (anonymisiert) dargestellt:

Stakeholder	Fokusthemen
Flugplatz /-hafen A	<ul style="list-style-type: none"> ■ Positive Grundhaltung zum Einsatz von SAF geprägt durch Austausch mit Lieferanten nachhaltiger Kraftstoffe ■ Etablierung von Einkaufsgemeinschaften zusammen mit anderen Flughäfen /-plätzen ■ Stärkung der Nachfrage bezüglich SAF seitens der Kunden getrieben durch Nachhaltigkeitsberichterstattung und Emissionshandel ■ Stufenweise und direkte Umstiegsoptionen auf den Betrieb mit SAF ■ Herausforderungen bei Zertifizierungsprozessen in Nabisy und über ISCC ■ Potentielle Unterstützungsmaßnahmen der Landesregierung
Flugplatz /-hafen B	<ul style="list-style-type: none"> ■ Etablierte Kooperation mit namentlichem Lieferanten nachhaltiger Flugkraftstoffe im Rahmen eines Agenturmodells ■ Umsetzung eines Book-and-Claim-Systems vor Ort nicht absehbar ■ Zusätzlicher Tankwagen für SAF-Blend als potentielle Unterstützungsmaßnahme der Landesregierung ■ Potentiale emissionsabhängiger Start- und Landegebühren ■ Kosten von SAF als Hürde für den Markthochlauf und lokale Produktion der erneuerbaren Flugkraftstoffe als Gegenmaßnahme
Flugplatz /-hafen C	<ul style="list-style-type: none"> ■ Erweiterung der Betankung nachhaltiger Kraftstoffe durch Einführung eines Book-and-Claim-Systems ■ Unsicherheit hinsichtlich EU-Vorgaben zu Book-and-Claim-Systemen aufgrund potentieller Greenwashing-Vorwürfe sowie möglichen Auswirkungen auf das Emissions-Reporting ■ Review- und Flexibilitätsmechanismus der ReFuelEU Aviation ■ Kurzfristiges Potential von SAF und langfristiger Stellenwert von Wasserstoff ■ Synergien zwischen Flughafenverbänden hinsichtlich der Einsatzpotentiale nachhaltiger Flugkraftstoffe



Flugplatz /-hafen D	<ul style="list-style-type: none">■ Vertrieb von Flugkraftstoffen im Rahmen eines Agenturmodells■ Kurzfristige Belieferung des Flughafens mit SAF nicht geplant■ Angebot verschiedener SAF-Blend-Quoten aufgrund örtlicher Infrastruktur schwierig■ Sorge um unzureichende Produktionskapazitäten von SAF■ Erhöhtes Absatzpotential erneuerbarer Flugkraftstoffe bei Geschäftsreisenden■ Kritik an mangelnder Nachverfolgbarkeit von Book-and-Claim-Systemen
Global agierende Fluggesellschaft A	<ul style="list-style-type: none">■ Bisher noch keine Praxiserfahrung mit SAF, die kurzfristige Quoteneinhaltung ist jedoch bereits vertraglich abgesichert■ Begrüßung von Flexibilitätsmechanismen bei der Betankung mit SAF aufgrund deutlich vereinfachter Logistik an großen Flughäfen■ Strategische Partnerschaften mit PtL-Pilotproduktionsanlagen■ Differenz bei Interessensbekundungen zu nachhaltigen Flugkraftstoffen von Geschäftskunden und Privatkunden■ Kritik an im Vergleich zu EU-Vorgaben ambitionierteren PtL-Quoten im BlmSchG■ Incentivierung von Quoten statt Sanktionierung bei Nichterfüllung■ Kritik an emissionspezifischen Start- und Landegebühren■ Fokus auf Emissionen des Gesamtsystems und nicht auf die lokale Betankung■ Unterstützungsmaßnahmen in Hinblick auf SAF-Produktion und Book-and-Claim-Systemen



Global agierende
Fluggesellschaft B

- Notwendigkeit höherer und preisgünstigerer Mengen von SAF durch die Intensivierung des Anlagenbaus
- Kritik an deutscher PtL-Quote ab 2026 aufgrund unzureichender Verfügbarkeit
- Profiteure der EU-Regulatorik sind die Türkei und die Golfstaaten als Umsteigeorte bei Langstreckenreisen v.a. in den Osten
- Kritik an mangelndem Gehör der Politik zu eingebrachten Vorschlägen der Fluggesellschaften
- Hohe Aufwände durch Dokumentation der gesamten Lieferkette und physische Nachweise für SAF-Vertankung
- Potentielle preissenkende Wirkung kostenloser SAF-Zertifikate im Rahmen des EU ETS
- Eignung insbesondere innereuropäisch angeflogener Flughäfen für den Einsatz von SAF
- Potentiale und Hürden bei wasserstoffbetriebenen und elektrifizierten Flugzeugen

Global agierende
Fluggesellschaft C

- Hervorgebrachte Zweifel an der Umsetzbarkeit verpflichtender SAF- und PtL-Quoten aufgrund von Verfügbarkeit und Kosten
- Linearerer Anstieg der Quoten wäre im Sinne der Marktdynamik gegenüber dem sprunghaften Anstieg zu bevorzugen
- Breite Datenbanklandschaft (CORSIA, EU-ETS, UK-ETS, Swiss-ETS) erhöhen die bürokratischen Hürden für das Reporting
- Kritik an vollständiger Flexibilisierung eines Book-and-Claim-Systems aufgrund eines zu befürchtenden Preismonopols
- Schaffung von finanziellen Anreizen zur Beseitigung des First-Mover-Dilemmas



Global agierende
Fluggesellschaft D

- Bestehendes SAF-Engagement der Fluggesellschaft in Deutschland
- Unternehmensinterner Fokus liegt aufgrund nicht verfügbarer PtL-Kraftstoffe auf biogenem SAF
- Geschäftskunden haben die Option freiwillig für einen Aufpreis SAF-Kraftstoffe zu kaufen
- Kritik an verfehlter Wirkung der zu geringen und zu sprunghaft ansteigenden SAF-Quoten, deren Wirkung in der Realität einer „Deckelung“ gleicht und an der Sprungstelle zu nicht erfüllbaren Quoten führt
- Strafen bei verfehlten SAF-Quoten werden als sinnvoll erachtet und müssen im Business Case berücksichtigt werden
- Wettbewerbsverzerrung im internationalen Passagiergeschäft besonders ausgeprägt
- Ausgestaltung eines Book-and-Claim-Systems ist notwendig für breiten Einsatz von SAF-Kraftstoffen

Namhafter Produzent von Flugkraftstoffen

- Produktionskapazitäten und Umrüstungszeiten bestehender Anlagen auf die SAF-Produktion
- Fokus liegt auf biogenen Flugkraftstoffen, es existieren global erst wenige PtL-Initiativen
- Produktionsstätten und Lieferketten erneuerbarer Flugkraftstoffe global denken
- Forschung und Erschließung hinsichtlich neuer Rohstoffe für die Produktion nachhaltiger Kraftstoffe
- Keine absehbare Kostenreduktion bei dem technologisch bereits weit ausgereiften HEFA-Prozess absehbar
- Geringer Einfluss der Transport- und Logistikkosten auf den Marktpreis nachhaltiger Flugkraftstoffe
- Erwartete Änderung der Kundenstruktur und Marktdynamik aufgrund verbindlicher Mindestquoten von SAF ab 2025
- Linearerer Verlauf der SAF-Quote wäre dem sprunghaften Anstieg zu bevorzugen
- Kritik an inhomogenen nationalen Umsetzungen der EU-Regelungen hinsichtlich der Definition von Inverkehrbringern
- Begrüßung des Flexibilitätsmechanismus sowie Book-and-Claim-Systemen
- Globale Rohstoffoffenheit für nachhaltige Kraftstoffe in der initialen Marktphase



Namhafter Produzent von Flugkraftstoffen	<ul style="list-style-type: none">■ Fehlende politische Anreizmaßnahmen für die Erbauung von Produktionsanlagen nachhaltiger Kraftstoffe■ Herausforderung bei Rohstoffbezug in Deutschland aufgrund zu anderer Staaten differenter Nachhaltigkeitseinstufung■ Bereitstellung von reinem SAF würde ein paralleles Versorgungsnetz erfordern■ First-Mover-Nachteile bei der Errichtung von PtL-Anlagen■ Einführung und Betrieb der Union Database, Parallelität und Inkompatibilität zu Nabisy (siehe Abschnitt 3.1.1) vermeiden■ Co-Processing und Rohstoffoffenheit in Bezug auf SAF als politische Unterstützungsmaßnahme
Wirtschaftsvertreterband der Kraftstoffindustrie	<ul style="list-style-type: none">■ Investitions- und Betriebsausgaben beim Betrieb von PtL-Produktionsstätten und die Rolle von Co-Processing in bestehenden Anlagen■ Finanzielle Auswirkungen der THG-Quotierung auf die Kraftstoffproduzenten und die potentiellen Effekte von Offtake Agreements
Namentliches Betankungsunternehmen für den Flugbetrieb	<ul style="list-style-type: none">■ Nachfrage der belieferten Fluggesellschaften nach SAF■ Tankprozess mit SAF stellt keine logistische Herausforderung dar■ Etwaige Softwareanpassungen aufgrund mitunter verschiedener Dichte von SAF sind bereits vorgenommen■ Kritik an Unschärfe der Definition von Inverkehrbringern

Tabelle 1: Übersicht der Fokusthemen und Hauptaussagen aus der Stakeholderbefragung

3. Sustainable Aviation Fuels (SAF)

Sustainable Aviation Fuels (SAF) sind Kraftstoffe aus nachhaltigen Rohstoffen für Luftfahrzeuge mit signifikant geringeren Treibhausgasemissionen als fossile Kraftstoffe. Die Studie fokussiert sich auf sogenannten Drop-In SAF, der sich unter bestimmten Bedingungen und zu gewissen Anteilen mit herkömmlichem, fossilem Kerosin mischen lässt, und schließt andere Antriebsarten wie Elektromotoren oder Wasserstoffantriebe aus. Hierzu wird eine separate Studie erstellt. In Art. 4 der ReFuelEU Aviation Verordnung werden den Flugkraftstoffanbietern für die an Flughäfen der Union zur Verfügung gestellten Flugkraftstoffe konkrete SAF-Beimischungsquoten auferlegt. Die Definition und die damit verbundene Anerkennung von SAF und den entsprechenden Produktionspfaden sind von entscheidender Bedeutung für den Hochlauf der SAF-Produktion und damit die Umsetzung der Verordnung sowie der Erreichung der damit verbundenen Klimaziele. Die Abgrenzung verschiedener Flugkraftstoffe auf Grundlage der verwendeten Rohstoffe, des Produktionspfades, sowie des Energiegehalts und Emissionsprofils wird EU-weit aktuell im Wesentlichen von der Renewable Energy Directive II (RED II) vorgenommen, überlässt den Mitgliedstaaten aber einige Freiheiten bei der Überführung in die nationale Gesetzgebung. Auf internationaler Ebene legt die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) mit CORSIA Nachhaltigkeitsregeln für Biokraftstoffe in der Luftfahrt fest.

3.1. Hintergrund: Europäische Richtlinien für Erneuerbare Kraftstoffe

Die konkreten Nachhaltigkeitskriterien und quantitativen Zielvorgaben zur Erreichung der EU-Klimaziele werden für den Verkehrssektor, insbesondere für den Straßen- und Schienenverkehr, durch die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive, RED) vorgegeben. Aktuell gültig und von den Mitgliedstaaten umgesetzt ist die 2018 beschlossene RED II bzw. ihre bis 2023 eingeführten delegierten Rechtsverordnungen. Im Rahmen des Fit-for-55-Programms wurden diese Vorgaben im Jahr 2023 durch die RED III weiter verschärft und mit der ReFuelEU Aviation Verordnung durch konkrete Auflagen für den Luftverkehr ergänzt.

3.1.1. Renewable Energy Directive II (RED II)

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (Renewable Energy Directive, Richtlinie 2009/28/EG) von 2009 verpflichtete die Mitgliedstaaten der EU dazu, bis zum Jahr 2020 einen Anteil von mindestens 20 Prozent erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch der Union zu erreichen. In der überarbeiteten und aktualisierten Fassung (Richtlinie (EU)

2018/2001, RED II) wird nun bis zum Jahr 2030 ein Anteil von 32 Prozent festgeschrieben und die Nutzung erneuerbarer Energiesysteme konkret im Verkehrssektor (Straßen- und Schienenverkehr) gefördert, insbesondere, weil der Verkehrssektor im Europäischen Emissionshandelssystem (EU ETS) nicht vorgesehen war. Von den Mitgliedstaaten wird verlangt, in diesem Sektor bis 2030 einen Mindestanteil von 14 Prozent an erneuerbaren Energien zu erreichen (EE-Anteil), wobei ihnen bei der Erreichung dieser Ziele wesentliche Freiheiten und Flexibilitäten eingeräumt werden. Beispielweise können nach Art. 27, Abs. 2 im Straßen- oder Schienenverkehr eingesetzte erneuerbare Elektrizität, aber auch in der Luft- und Schifffahrt genutzte erneuerbare Energien, also insbesondere der Einsatz von SAF, optional für dieses Ziel angerechnet werden. Eine entsprechende Unterquote o. Ä. ist für diese Untersektoren jedoch nicht vorgesehen.

In Art. 29, Abs. 10 der RED II werden für die Anrechenbarkeit Emissionskriterien für THG-Einsparungen für Biokraftstoffe, flüssige Brennstoffe und Biomasse-Brennstoffe festgelegt (mind. 50 Prozent bis mind. 65 Prozent, je nach Baujahr der Produktionsanlage). Dies sind die Voraussetzungen, unter denen biogener SAF im Sinne der ReFuelEU Aviation Verordnung auch auf den EE-Anteil anrechenbar sind. Für diese Anrechnungen werden außerdem Faktoren für den Energiegehalt eingeführt, mit dem die entsprechende Energiemenge für die Zielmenge erneuerbarer Energien angerechnet werden kann, beispielsweise Faktor 4 und 1,5 für erneuerbare Elektrizität im Straßen- und Schienenverkehr und Faktor 1,2 für erneuerbare Energien in der Luft- und Schifffahrt. In Deutschland wurde die RED II durch das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) national umgesetzt.

Ein zentrales Thema bei der Produktion von Biokraftstoffen stellen direkte und indirekte Landnutzungsänderungen (dLUC bzw. iLUC) dar. Bei dLUC wird Land in Anbauflächen von Pflanzenrohstoffen umgewandelt. Die indirekte Landnutzungsänderung beschreibt den Prozess, dass Nahrungs- und Futtermittelproduktion durch den Anbau von Energiepflanzen (z. B. Raps und Mais in Deutschland, Soja und Ölpalmen in anderen Regionen der Welt) ersetzt werden, wodurch „landwirtschaftliche Nutzflächen auf Gebiete mit hohem Kohlenstoffbestand, wie Wälder, Feuchtgebiete und Torfmoorflächen ausgedehnt werden und dadurch zusätzliche Treibhausgasemissionen entstehen“. Die erste Fassung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie hatte dLUC aber nicht iLUC erfasst (Erwägungsgrund 81 der RED II) und zu starken indirekten Landnutzungsänderungen geführt [5]. In der RED II wurde daraufhin z. B. das Roden von Urwäldern und das Trockenlegen von Mooren, um Biokraftstoffe anzubauen, verboten (u.a. Art. 29) und stattdessen auf „fortschrittliche Biokraftstoffe“ gesetzt mit festen Unterquoten für den Verkehrssektor ab 2022 und einer Steigerung bis auf 3,5 Prozent im Jahr 2030 (Art. 25 Abs. 1). Die Treibhausgasemissionen aus indirekter Landnutzungsänderung sind allerdings schwierig zu quantifizieren und das

Konzept wird unter anderem vom Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie (VDB) kritisiert [6]. Es sollen aber laut RED II Rohstoffquellen mit hohem iLUC-Risiko, also Nahrungs- und Futtermittelpflanzen, begrenzt, und Rohstoffe mit geringem Einfluss auf die iLUC gefördert werden (Erwägungsgrund 91).

In Erwägungsgrund 36 der RED II wird darauf hingewiesen, dass mittelfristig fortschrittliche Biokraftstoffe und Biokraftstoffe nicht biogenen Ursprungs besonders wichtig für den Luftverkehr sind. Fortschrittliche Biokraftstoffe sind in Anhang IX Teil A der RED II Richtlinie durch die verwendeten Rohstoffe definiert, die von Algen über Stroh und Gülle bis zu Abfällen und Reststoffen aus der Forstwirtschaft reichen. Die Produktion von Kraftstoffen basierend auf diesen Rohstoffen können sich Kraftstoffanbieter auf die oben erwähnten Mindestanteile bei der Produktion erneuerbarer Kraftstoffe anrechnen lassen. Begrenzte Beiträge können auch Kraftstoffe basierend auf den in Anhang IX Teil B gelisteten Rohstoffen wie gebrauchtes Speiseöl und gewisse tierische Fette leisten.

Weiterhin wird in Art. 28, Abs. 2 die Einrichtung einer Unionsdatenbank (UDB) für flüssige und gasförmige Kraftstoffe angekündigt und deren Wichtigkeit für die Transparenz und Rückverfolgbarkeit nachhaltiger Kraftstoffe betont (Erwägungsgrund 84). Diese soll Nachhaltigkeitszertifikate für Biokraftstoffe und die entsprechenden Rohstoffe erfassen. Ziel ist es dabei, Doppelanrechnungen zu vermeiden und das Risiko von Unregelmäßigkeiten und Betrug zu minimieren.

In Deutschland kann für den Nachhaltigkeitsnachweis von Biomasse nach RED II die von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) gehostete staatliche Web-Anwendung „Nabisy“ (Nachhaltiges Biomassesystem) genutzt werden. Nabisy bietet diverse Funktionen für Produzenten und Lieferanten, wie die Eingabe von Nachhaltigkeitsdaten für Biomasse, sowie die Anträge für Teilung, Umschreibung und Sammelumschreibung von Nachhaltigkeitsnachweisen. Die Plattform bietet den deutschen Hauptzollämtern, der Biokraftstoffquotenstelle, der Deutschen Emissionshandelsstelle, den Netzbetreibern und den zuständigen Behörden anderer EU-Mitgliedstaaten direkten Zugang, falls die Biomasse nicht für eine lokale Verwendung in Deutschland gedacht ist.

3.1.2. Delegierte Verordnungen zur RED II

Die allgemeinen Vorgaben in der RED II wurden im Februar 2023 durch die delegierten Verordnungen 2023/1184 und 2023/1185 ergänzt und hinsichtlich der Erreichung der vorgegebenen Ziele konkretisiert. Dabei spezifiziert die delegierte Verordnung 2023/1184 Rahmenbedingungen, die eine nachhaltige Nutzung erneuerbarer Energien voraussetzen. Sie konzentriert sich dabei auf die Erzeugung flüssiger oder gasförmiger erneuerbarer

Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs, die besonders für den Verkehr von Bedeutung sind. Sie definiert dabei auch, wie der erneuerbare Strom generiert werden kann, insbesondere in Bezug auf Elektrolyseure, und stellt sicher, dass dieser Strom sinnvoll für die Erzeugung dieser Kraftstoffe verwendet wird. Dazu gehört auch die Vermeidung von Netzengpässen zwischen dem Elektrolyseur, der grünen Wasserstoff erzeugt, und der Anlage von erneuerbarem Strom. Aus diesem Grund wird der Begriff der Gebotszone eingeführt und vorgeschrieben, dass Elektrolyseur und Anlage sich in derselben Gebotszone befinden (Art. 4), um eine effiziente Synchronisierung der Wasserstoff- und Stromerzeugung zu ermöglichen. Alternativ werden Kriterien der Zusätzlichkeit sowie der zeitlichen und geografischen Korrelation eingeführt (Art. 6-8). Dazu gehört auch die Regulierung der Strompreise in miteinander verbundenen Gebotszonen sowie die Berücksichtigung nationaler Besonderheiten.

Die delegierte Verordnung 2023/1185 legt Mindeststandards für die Treibhausgaseinsparungen von kohlenstoffhaltigen Kraftstoffen fest. Diese Regelungen helfen dabei, messbare und nachverfolgbare Fortschritte in Bezug auf die Reduzierung von Emissionen sicherzustellen. Zudem werden Methoden zur Berechnung dieser Einsparungen definiert, die notwendig sind, um die Einhaltung der RED II Richtlinie zu gewährleisten und die Transparenz in der Berichterstattung zu fördern. In den Erwägungsgründen 5 und 6 wird betont, dass die Nutzung von CO₂ aus der Verbrennung nicht nachhaltiger Brennstoffe wie beispielsweise bei der Zementproduktion nicht mit den Klimaneutralitätszielen bis 2050 vereinbar ist und dass Emissionen aus diesen Quellen bis 2035 für die Stromerzeugung und bis 2040 für andere Verwendungszwecke als vermiedene Emissionen betrachtet werden sollten. Diese Fristen stehen im Einklang mit den Vorgaben der Richtlinie 2003/87/EG, die die Rahmenbedingungen für die Emissionshandelssysteme in der EU festlegt.

Die Filterung von CO₂ aus Luft (Direct Air Capture, DAC) ist dabei die nachhaltigste Quelle, steht jedoch noch nicht in skalierbarem Ausmaß zur Verfügung. Als Übergang sollen daher bis 2040 unvermeidbare Emissionen etwa aus der Industrie dienen. Kritik am Ausschluss solcher unvermeidbaren Emissionen und insbesondere am Zeitpunkt 2040 kommt u.a. am Deutschen Wasserstoffverband (DWV). Gerade weil DAC noch nicht im geeigneten Maße zur Verfügung steht, sind unvermeidbare Emissionen eine entscheidende Quelle für die Erreichung der Klimaziele. Weiterhin ist der Zeitpunkt mit 2040 zu früh für die Amortisation notwendiger Investitionen [7].

Die Vorgaben der RED und der delegierten Rechtsakte werden von der Bundesregierung aufgenommen, die wiederum entsprechende Anreize für den Markthochlauf erneuerbarer

Kraftstoffe durch gezielte Anpassungen des BImSchG sowie mehrerer Bundesimmissionschutzverordnungen umsetzt. Die 37. BImSchV schafft eine Neuregelung der Anrechenbarkeit strombasierter Kraftstoffe auf die THG-Quote. Sie erhöht den Anrechnungsfaktor auf drei und betont damit die Bedeutung dieser Technologien für die Klimaziele. Die 38. BImSchV regelt insbesondere die Anrechnung von biogenen Kraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermittelpflanzen sowie von abfallbasierten Kraftstoffen und setzt Obergrenzen für deren Anrechenbarkeit auf die THG-Quote. Gleichzeitig werden Mindesteinbringungsquote fortschrittlicher Biokraftstoffe eingeführt, die von 0,7 Prozent im Jahr 2025 bis auf 2,6 Prozent im Jahr 2030 ansteigen.

3.1.3. Renewable Energy Directive III (RED III)

Im Rahmen des 2021 vorgestellten Fit-for-55-Programms wurde Ende des Jahres 2023 die Revision der Erneuerbare-Energien-Richtlinie RED III von den Gesetzgebungsorganen der Europäischen Union beschlossen und in diesem Zusammenhang die Zielmarke von 32 Prozent erneuerbare Energien am Bruttoendverbrauch der Union auf 42,5 Prozent erhöht. Im Verkehrssektor wird eine Erhöhung von 14 Prozent auf 29 Prozent vorgenommen, die alternativ jedoch auch durch eine Verringerung der Treibhausgasintensität um mindestens 14,5 Prozent erreicht werden kann. Weiterhin können für die Luft- und Schifffahrt genutzte biogene erneuerbare Energien mit einem Faktor von 1,2 zu diesen Zielen beitragen. Dagegen werden mit Art. 29a erneuerbare Kraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs (Renewable Fuels of Non-Biological-Origin, RFNBOs) gesondert behandelt und können bei erzielten THG-Emissionseinsparungen von mind. 70 Prozent mit dem Faktor 1,5 zu den Zielen beitragen. Außerdem wird der Hochlauf des Anteils an fortschrittlichen Biokraftstoffen angezogen und bis auf 5,5 Prozent im Jahr 2030 erhöht, wovon der Anteil an RFNBOs im Jahr 2030 mind. 1 Prozent betragen muss. Nach Art. 5, Abs 1 sind die Mitgliedstaaten zur Umsetzung bis zum 21.05.2025 verpflichtet.

Im neu eingefügten Artikel 31a wird außerdem konkreter auf die angekündigte Unionsdatenbank eingegangen, das als klärendes und benutzerfreundliches System konzipiert die gesetzlichen Anforderungen erfüllen und gleichzeitig den Datenschutz respektieren soll. Die Mitgliedstaaten sollen relevante Akteure erfassen und die rechtzeitige Bereitstellung genauer Datentransaktionen und Nachhaltigkeitseigenschaften in der UDB verlangen. Dies umfasst insbesondere die Lebenszyklus-emissionen der genutzten Brennstoffe, die von der Produktion bis zur Verwendung in der Union verfolgt werden müssen. Die Kommission hat dabei die zentrale Rolle, die Integrität der in der Unionsdatenbank gespeicherten Daten zu gewährleisten und entsprechend die Datenqualität und -richtigkeit zu über-

wachen. Die nationalen Datenbanken der Mitgliedstaaten müssen zusammen mit der Unionsdatenbank arbeiten, so dass die Daten über nachhaltige Energieversorgung nahtlos verfolgt werden können. Die Kommission plant, jährlich Berichte über die in der Unionsdatenbank gespeicherten Daten zu veröffentlichen, um die Öffentlichkeit über die Mengen und Herkunft der Kraftstoffe zu informieren und damit das Vertrauen in nachhaltige Energiequellen zu stärken. Für die Einrichtung der UDB wurde der 21.11.2024 als spätmöglichstes Datum angegeben, das allerdings nicht eingehalten werden konnte. Im Dezember 2024 stand lediglich eine Testversion zur Verfügung [8].

3.1.4. Energiesteuerrichtlinie (ETD)

Die Besteuerung energetischer Erzeugnisse, wie Kraftstoffe, wird auf EU-Ebene durch die Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG (Energy Taxation Directive, ETD) reguliert, welche Mindestsätze für die Besteuerung von Energieträgern zur Nutzung im Verkehr und der Wärmeerzeugung vorgibt. In der aktuell gültigen Fassung sind Lieferungen von Energieerzeugnissen zur Verwendung als Kraftstoff für die Luftfahrt mit Ausnahme der privaten nichtgewerblichen Luftfahrt nach Art. 14, Abs. 1 b) von der Energiesteuer befreit. Die Umsetzung in Deutschland erfolgt u.a. durch das Energiesteuergesetz EnergieStG, das in §27, Abs. 2 Kerosin entsprechend von der Steuer befreit.

Diese Regelung steht damit im Widerspruch zu der im Kontext des Fit-for-55-Pakets verfolgten Besserstellung nachhaltiger Kraftstoffe gegenüber deren fossilen Äquivalenten. Gemäß einem Vorschlag der EU-Kommission (Verfahren 2021/0213/CNS) soll von der bisherigen Besteuerung nach volumetrischen Kennzahlen, welche erneuerbare Kraftstoffe geringerer Dichte wie Wasserstoff und batterieelektrische Anwendungen benachteiligt, zukünftig auf eine Besteuerung nach dem tatsächlichen Energiegehalt umgestellt werden.

Die Europäische Kommission nennt zwei Instrumente, welche den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe fördern sollen: Zum einen eine neue Struktur für Steuersätze, die auf dem Energiegehalt und der Umweltverträglichkeit der Kraft- und Brennstoffe und des elektrischen Stroms beruht, und zum anderen eine Erweiterung der Steuerbemessungsgrundlage insbesondere auf den EU-internen Luft- und Seeverkehr [9]. Statt der bisherigen Besteuerung, welche auf dem Volumen der in Verkehr gebrachten Kraftstoffe beruht, sollen nun Kriterien wie die Umweltfreundlichkeit in den Fokus der Besteuerung gerückt werden.

Ein wesentlicher Aspekt des Vorschlags der EU-Kommission ist, die Besteuerung der Kraftstoffe dahingehend abzuwandeln, dass nicht länger die Volumina, sondern vielmehr der tatsächliche Energiegehalt der in den Verkehr gebrachten Kraftstoffe, sowie Strom, als

Grundlage der Besteuerung verwendet wird. Hierbei ist eine Unterteilung in vier Kategorien vorgesehen, die gemäß dem Vorschlag der Kommission von den Nationalstaaten anzuwenden sind. Eine Auflistung der Kategorien ist in Tabelle 2 gegeben. Im Rahmen eines Experteninterviews, welches mit einem Wirtschaftsvertreterverband der Energie- und Kraftstoffindustrie geführt wurde, betonte der Interviewpartner die begrüßende Haltung des Verbands hinsichtlich des Reformativsvorschlags der Kommission. Der Verband sieht in der Besteuerungsmethodik ein effektives Mittel, erneuerbare Kraftstoffe gegenüber ihrem fossilen Pendant steuerlich und somit wirtschaftlich besserzustellen.

Besteuerungs-kategorie	Beispielhafte Kraftstoffe	Mindestbesteuerungssätze* [€/GJ] ab Inkrafttreten	Mindestbesteuerungssätze* [€/GJ] ab 2033
Konventionelle fossile Energieträger	Gasöle, Benzin, Diesel sowie nicht nachhaltige Biokraftstoffe	10,75	10,75
Nicht erneuerbare Brennstoffe nicht biogenen Ursprungs	Erdgas, Flüssiggas, Gas-to-Liquid-Kraftstoffe	7,17	10,75
Nachhaltige, aber nicht fortgeschrittene Biokraftstoffe	PtL-Kraftstoffe, Methanol, Biodiesel & HVO aus nachhaltigen Rohstoffen	5,38	5,38
Fortschrittliche, nachhaltige Biokraftstoffe und Strom	Wasserstoff, elektrischer Strom, sowie PtL-Kraftstoffe, Methanol und HVO aus Abfallstoffen	0,15	0,15

Tabelle 2: Mindestbesteuerungssätze verschiedener nachhaltiger Kraftstoffgruppen aus dem Vorschlag der EU-Kommission zur Restrukturierung der Energiesteuer [9, 10]. *bei Einsatz als Kraftstoff

Zusätzlich zur Restrukturierung der Messzahlen zur Besteuerung von Energieträgern sieht die Kommission in ihrem Vorschlag von 2021 auch die Reduktion von bislang gültigen Ermäßigungen und Befreiungen vor. Hierbei ist sie der Auffassung, dass das große Spektrum nationaler Steuerermäßigungen sowie -befreiungen zu einer begünstigten Nutzung fossiler Kraftstoffe führt. Den Nationalstaaten soll gemäß dem Vorschlag zukünftig ein geringerer Rahmen zur Festlegung individueller Steuerbegünstigungen von Energieträgern eingeräumt werden. Der Vorschlag der Kommission sieht jedoch Ausnahmen vor, die für

elektrischen Strom, fortschrittliche Energieerzeugnisse aus erneuerbaren Energiequellen sowie Wirtschaftszweige des Primärsektors wie der Landwirtschaft, weiterhin nationale Steuerbegünstigungen und Steuerbefreiungen zulassen [9].

Da Steuerfragen ausschließlich in die Kompetenzen der nationalen Regierungen der Mitgliedstaaten fallen, muss diese Neuregelung einstimmig ausfallen, was bis zum heutigen Zeitpunkt, über drei Jahre nach dem Vorschlag, immer noch nicht gelungen ist [11]. Die ohnehin hohen Energiekosten sowie gegenteilige Forderungen nach einer Höchstgrenze für Steueraufschläge im Draghi-Report vom September 2024 sorgen dafür, dass eine Einigung gegenwärtig auch nicht in Sicht ist [12]. Dabei gehören insbesondere die Vorschläge zur Mindestbesteuerung von konventionellen, fossilen Energieträgern im Luft- und Seeverkehr zu den umstrittenen Punkten [13]. Auch die Bundesregierung (Koalition SPD, Grüne, FDP) ist, Stand Dezember 2024, in dieser Frage unentschieden gewesen [14]. Eine uneinige Position eines Mitgliedstaates ist für die Positionierung gegenüber der Kommission ein klarer Nachteil.

3.2. Herstellung von SAF

In der Luftfahrt kommen überwiegend Flugturbinen mit kerosinbasierten Treibstoffen zum Einsatz, speziell die Sorte Jet A-1 (oder Jet A in den USA). Zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen wird SAF aus nachhaltigen Rohstoffen produziert, die teilweise mit konventionellem Kerosin gemischt werden können. ASTM International (American Society for Testing and Materials) zertifiziert unter der Spezifikation D7566 verschiedene Herstellungsverfahren für diese Mischstoffe, um sicherzustellen, dass sie den hohen Anforderungen an Sicherheit und Nachhaltigkeit gerecht werden. Technisch macht es dann keinen Unterschied, ob reines Jet A oder Jet A-1 oder mit solchen zertifizierten Kraftstoffen vermisches Jet A oder Jet A-1 vertankt wird [15].

Aktuell sind bis Ende 2024 acht Produktionspfade und drei Co-Processing-Verfahren für die Herstellung von SAF zugelassen, die unter biogen und nicht-biogen kategorisiert werden. Derzeit wird hauptsächlich biogener SAF produziert, oft basierend auf dem HEFA-Verfahren, während PtL-Kraftstoffe ebenfalls in Entwicklung sind. Die Zertifizierung nachhaltiger Kraftstoffe in der EU erfolgt gemäß RED II bzw. RED III und in Deutschland gemäß dem Bundes-Immissionsschutzgesetz. Auf internationaler Ebene bringt die Internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization, ICAO) mit dem CORSIA-Programm Nachhaltigkeitsstandards für Biokraftstoffe voran.

3.2.1. Herstellungsverfahren von biogenem SAF

Die gegenwärtig und in naher Zukunft bedeutendsten Herstellungsverfahren für biogenen SAF sind das HEFA-Verfahren, das Alcohol-to-Jet (AtJ)-Verfahren und das Fischer-Tropsch-Verfahren (FT) [16]. Dabei hat HEFA (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) mit 90 Prozent den größten Anteil an der weltweiten SAF-Produktion und beruht nach ASTM D7566 auf der Hydroprocessing-Technologie von Estern und Fettsäuren. Die Produktion dieser Kraftstoffe steht jedoch im Wettbewerb mit Dieselprodukten, was Anreize für die Flugkraftstoffproduktion erforderlich macht. Die Ausgangsstoffe für HEFA können pflanzliche und tierische Fette wie Rapsöl oder Altspeiseöl, aber auch Palmöl sein, dessen Verwendung aus Nachhaltigkeitsgründen kritisiert wird [17, 18]. In der RED II wird der bei der Berechnung des Bruttoendverbrauchs von Energie aus erneuerbaren Quellen zulässige Anteil an Rohstoffen mit hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderungen wie Palmöl bis 2030 stufenweise auf 0 Prozent gesenkt. Darüber ist das Inverkehrbringen von Palmöl, das auf nach 2020 entwaldeten Flächen erzeugt wurde, und Erzeugnissen daraus gemäß der Deforestation Regulation von 2023 (Verordnung 2023/1115) verboten.

Im Allgemeinen ist für die Zulassung der Kraftstoffe der Anteil der SAF-Beimischung aktuell bei 50 Prozent gedeckelt, da im Kerosin enthaltene Aromaten benötigt werden, um die Dichtheit des Tanks sicherzustellen. Unter den in der ASTM D7566 zugelassenen Herstellungspfaden sind auch solche, die synthetische Aromaten enthalten, für die aktuell allerdings ebenfalls die 50 Prozent-Obergrenze gilt [19]. Untersuchungen und Testkampagnen mit 100 Prozent SAF als Kraftstoff werden jedoch bereits durchgeführt [20, 21].

Das Alcohol-to-Jet-Verfahren nutzt Alkohole wie Ethanol oder Isobutanol als Ausgangsmaterial. Zunächst werden die Alkohole dehydratisiert und zu ungesättigten Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt (Oligomerisierung), gefolgt von einer Hydrierung, um gesättigte Kohlenwasserstoffe zu erzeugen [22]. Der Prozess bietet Potential für emissionsreduzierende Rohstoffe, die aus biogenen Abfallstoffen gewonnen werden können, jedoch sind diese Verfahren komplexer und kostenintensiver. Das AtJ-Verfahren ist vielversprechend, weil der auf diesem Weg hergestellte SAF durch die Aromaten im Kraftstoff theoretisch keiner weiteren Beimischung fossilen Kerosins bedarf und damit prinzipiell als vollständig biogener Kraftstoff verwendet werden kann. Methanol, als ein weiterer potentieller Ausgangsstoff, ist bisher nicht zugelassen, weist jedoch ein hohes Potential für die Entwicklung von SAF auf. [23] [24]

Das Co-Processing-Verfahren vereint fossile und erneuerbare Rohstoffe bereits in der Raffinerie. Bei dieser Methode können fossile Rohstoffe anteilig durch biogene ersetzt wer-

den, so dass hier bereits bestehende Verarbeitungsanlagen auch mit alternativen Rohstoffen verwendet werden können. Das Co-Processing folgt spezifischen Vorgaben, die den Anteil der biogenen Rohstoffe aktuell auf 5 Prozent begrenzen. Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass sie geringere Investitionskosten mit sich bringt, da bestehende Anlagen weiter genutzt werden können [25]. Expertinnen und Experten bewerten den Einsatz von Kraftstoffen aus Co-Processing-Verfahren kurzfristig als sinnvoll, solange diese günstig sind. Für die langfristig angestrebten höheren Quoten von verwendetem SAF sei Co-Processing keine Lösung. Ein Nachteil ist, dass neben CO₂ auch andere Schadstoffe emittiert werden wie u.a. Stickoxide, der langfristige Einsatz von Co-Processing in Frage gestellt wird. Der Bundesverband Bioenergie e.V. spricht sich gegen die weitere Zulassung von Co-Processing mit biogenen Ölen aus, da diese Öle in bestehenden Biodiesel-Anlagen verarbeitet werden könnten und die Verwendung im Co-Processing mittelständische Investitionen, Arbeitsplätze und Wertschöpfung im Bereich der Biodieselproduktion gefährden [26]. Gegenwärtig können Kraftstoffe, die mittels Co-Processing hergestellt wurden, via Nabisy nicht zertifiziert werden.

Die Fischer-Tropsch-Synthese wurde als erstes Verfahren zur Herstellung von SAF zugelassen und produziert paraffinische Kohlenwasserstoffe aus Synthesegas. Die Technologie

Übersicht zugelassener Herstellungsverfahren

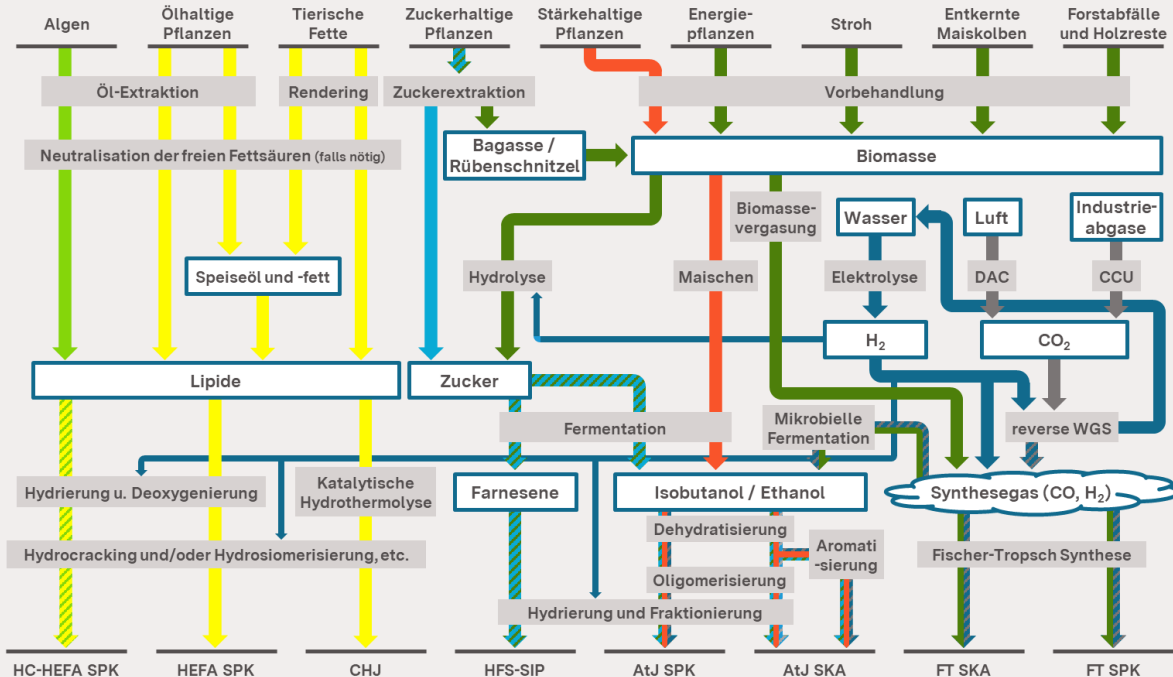


Abbildung 1: Grober Überblick über die nach ASTM D7566-24B zugelassenen Herstellungspfade aus verschiedenen Rohstoffen nach [127] und [122] mit zusätzlichen Details aus [22]. Diese Abbildung zeigt schematisch die wichtigsten Herstellungsschritte und Zwischenprodukte und ist nicht vollständig.

kommt seit Jahrzehnten vor allem in Südafrika zum Einsatz, dort aber mit fossilen Energien. Das Synthesegas wird durch die Vergasung von Biomasse unter bestimmten Bedingungen erzeugt. Trotz der Technologiefortschritte steht der biogene FT-Pfad vor Herausforderungen wie der Etablierung zuverlässiger Lieferketten und der saisonalen Verfügbarkeit der biomassenbasierten Ausgangsstoffe, einschließlich der geringen Energiedichten von landwirtschaftlichen Reststoffen [22].

Obwohl die anderen erwähnten Herstellungsverfahren derzeit keinen nennenswerten Einfluss auf die SAF-Produktion haben, skizziert eine schematische Übersicht die verschiedenen Verfahren und deren Prozessschritte. Es wird deutlich, dass die Bioenergiebranche kontinuierlich daran arbeitet, die Herstellungsverfahren zu optimieren und das Produktionsvolumen für biogenen SAF zu erhöhen.

3.2.2. Herstellungsverfahren für nicht-biogenen SAF - RFNBO

Erneuerbare Kraftstoffe ohne biogenen Anteil (Renewable Fuels of Non-Biological Origin, RFNBO) gewinnen langfristig an Bedeutung, da sie aus einer Nachhaltigkeitsperspektive

und wegen ihres geringen Rohstoffbedarfs dem biogenen SAF vorgezogen werden. Allerdings befindet sich die Produktion dieser Kraftstoffe noch nicht auf kommerziellem Niveau und ist technologisch hinter Verfahren wie dem HEFA-Pfad zurück. Ein bedeutendes Hindernis ist der hohe Bedarf an grünem Strom sowie die geringe Energieeffizienz bei der Herstellung, was zu hohen Produktionskosten führt, die momentan über den Kosten für biogenen SAF liegen. Unter den RFNBOs sind die PtL-Kraftstoffe (Power-to-Liquid) die häufigste Form, während auch Sun-to-Liquid-Kraftstoffe (StL) hierzu zählen.

Kohlenstoffkreislauf bei der Herstellung von PtL SAF

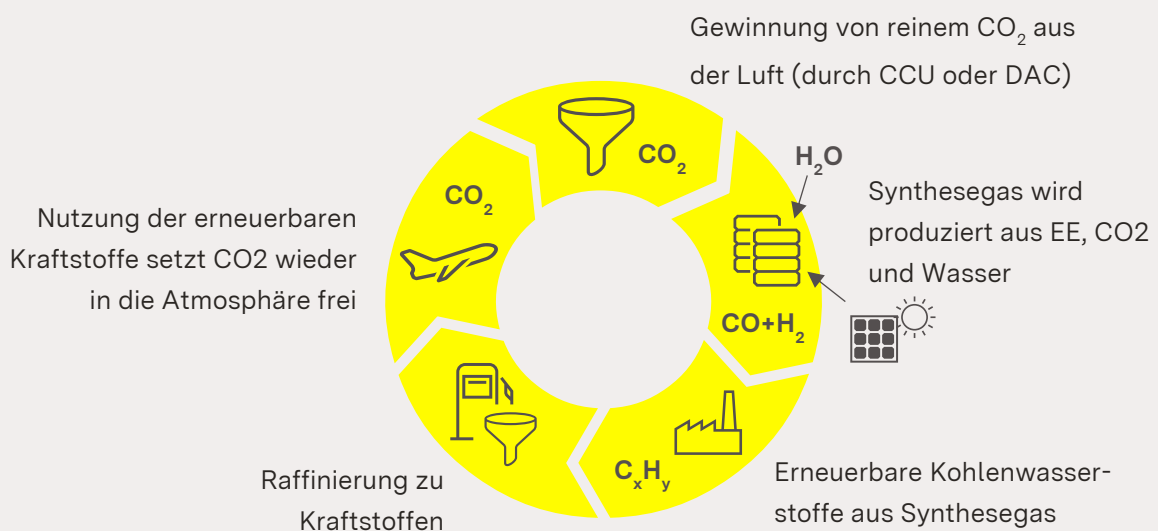


Abbildung 2: Schritte im Kohlenstoffkreislauf bei der Herstellung von SAF nicht-biogenen Ursprungs angelehnt an Abbildung 4.1 aus [125]

Die Herstellung von PtL-Kraftstoffen beginnt mit der Erzeugung von grünem Strom, der zur Elektrolyse von Wasser verwendet wird, um Wasserstoff zu gewinnen. Dieser Wasserstoff wird anschließend mit Kohlenstoffdioxid (CO₂) kombiniert, das aus industriellen Prozessen oder durch Direct Air Capture (DAC) gewonnen wird, um Kohlenwasserstoffe zu entwickeln. Die CO₂-Quelle ist dabei entscheidend für die Nachhaltigkeit des produzierten Kraftstoffs. Das daraus resultierende Synthesegas kann durch Verfahren wie der Fischer-Tropsch-Synthese in PtL-Kraftstoff umgewandelt werden, was als Produktionspfad auch bereits zertifiziert ist. Im Gegensatz dazu ist die Methanolsynthese als Methode zur Herstellung von SAF noch nicht normiert.

Bei der Methanolsynthese ist keine Umwandlung von CO_2 in CO nötig: Aus H_2 und CO_2 wird Methanol synthetisiert. Das Methanol kann dann durch Konversions- und Upgrading-schritte in Fluggasturbinenkraftstoff umgewandelt werden. Dieser Prozess heißt Methanol-to-Jet (MtJ) und ist derzeit im Gegensatz zu zwei anderen AtJ-Verfahren noch nicht in der ASTM D7566 Norm zertifiziert [27].

Das Sun-to-Liquid-Verfahren stellt eine neuere Option dar, bei der direkt Solarenergie genutzt wird, um Synthesegas zu erzeugen. Dieses Verfahren ist damit potentiell energieeffizienter als das PtL-Verfahren, da es einen Schritt weniger benötigt [28]. PtL-Kraftstoffe bieten nachhaltigere Alternativen zu fortschrittlichen Biokraftstoffen, da sie nicht auf Biomasse basieren und weniger Land und Wasser verbrauchen. Durch ihren geringeren bis keinen Aromaten- und Schwefelgehalt ermöglichen sie eine sauberere Verbrennung und verursachen damit weniger Feinstaubemissionen [17]. Sowohl in der ReFuelEU Aviation Verordnung als auch im BImSchG sind bis 2030 Mindestanteile für PtL-Kraftstoffe festgelegt.

Obwohl PtL-Kraftstoffe ein hohes Potential aufweisen, stehen sie vor Herausforderungen wie hohen Produktionskosten, geringer Effizienz und mangelnder Verfügbarkeit. Diese Probleme werden verstärkt durch den hohen Energiebedarf für Verfahren wie Elektrolyse und DAC. Eine effizientere Produktion könnte erreicht werden, wenn CO_2 aus Quellen mit höherer Konzentration statt aus der Atmosphäre gewonnen wird, was jedoch Abhängigkeiten schafft. Eine nachhaltige Produktion hängt davon ab, dass der Energiebedarf durch zusätzlich erzeugten grünen Strom gedeckt wird und nicht auf konventionellen Strom zurückgegriffen werden muss. Auch die Verfügbarkeit von Elektrolyseuren ist ein limitierender Faktor.

Die technische Reife der PtL-Technologien variiert stark. Während einige Prozesse wie die Fischer-Tropsch-Synthese bereits fest etabliert sind, steht bei vielen Schritten, z. B. der Umwandlung von CO_2 in Kohlenstoffmonoxid (CO), die großtechnische Erprobung noch aus. Es gibt auch neue Ansätze wie die Festoxid-Elektrolyse, die für die Wasserstoffproduktion eingesetzt werden könnte, jedoch noch nicht so weit fortgeschritten ist. Die grundlegenden Herausforderungen, die restriktive Regulierung und der verschärfte Energiebedarf bedeuten, dass PtL-Kraftstoffe wohl erst ab Mitte der 2030er Jahre in nennenswertem Maßstab zum Einsatz kommen können.

3.2.3. Power-and-Biogas-to-Liquid (PBtL): CAPHENIA

Das bayerische Clean-Tech-Unternehmen CAPHENIA hat ein Power-and-Biogas-to-Liquid (PBtL) Verfahren entwickelt, das es ermöglicht, aus Bio-Methan, CO_2 , Wasser und Strom

ein Synthesegas herzustellen, das wiederum als Ausgangsstoff für erneuerbare Kraftstoffe und chemische Produkte dient. Im Gegensatz zu herkömmlichen PtL-Verfahren benötigt der PBtL-Prozess nur ein Sechstel der erforderlichen Strommenge und erreicht eine signifikante CO₂-Reduktion von bis zu 92 Prozent, da alle Kohlenstoffmoleküle aus nachhaltigen Quellen stammen. Diese Effizienz ermöglicht es CAPHENIA, erneuerbare Kraftstoffe zu wettbewerbsfähigen Preisen anzubieten.

Eine Schlüsselkomponente des PBtL-Prozesses ist ein innovativer 3-in-1-Zonenreaktor, der Methan in Kohlenstoff und Wasserstoff zerlegt, um ein ressourcenschonendes Synthesegas zu erzeugen. Diese Technologie verspricht eine schnelle und großflächige Produktion von erneuerbaren Kraftstoffen, die sich nahtlos in bestehende Infrastrukturen integrieren lassen. Ein solcher Reaktor wurde in der Pilotanlage GERMANY I im Industriepark Höchst installiert und soll in der Anfangsphase 600.000 Liter synthetischen Treibstoff pro Jahr produzieren, mit dem Ziel, die Produktion auf 18 Millionen Liter zu steigern.

Die Plasma-Boudouard-Technologie (PBR) hinter diesem Prozess weist einen Wirkungsgrad von etwa 86-90 Prozent auf und funktioniert ohne fossile Energieträger. Die Pilotanlage wird durch finanzielle Unterstützung des 7. Energieforschungsprogramms des BMWi und des Landes Hessen gefördert und ist das Ergebnis von fast 15 Jahren Planung und

Veranschaulichung der Plasma-Boudouard-Technologie

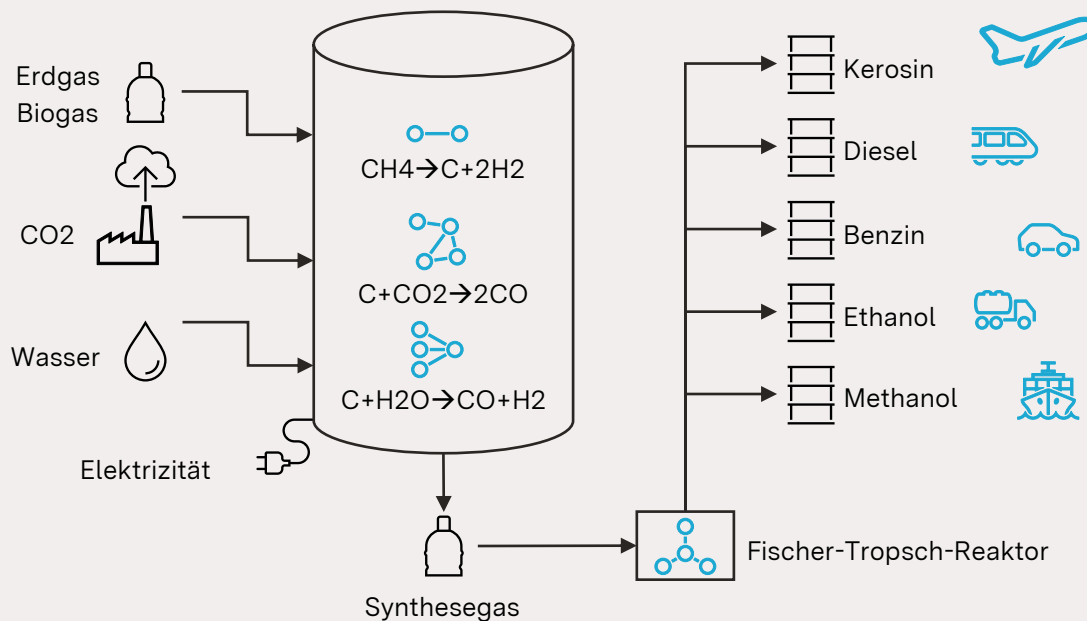


Abbildung 3: Der Reaktor ist in drei übereinander liegende Räume aufgeteilt. Der Prozess beginnt in der Plasma-Stufe, hier wird Methan (CH₄) eingeleitet und auf 2.000 Grad Celsius erhitzt, wodurch es den Plasmazustand annimmt. In der Boudouard-Stufe wird Kohlenstoffdioxid (CO₂) eingeleitet, um Kohlenmonoxid (CO) zu erzeugen. In der WGS-Stufe wird Wasser eingeleitet, das zu Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) reagiert – den beiden Bestandteilen des Synthesegases. [124]

Forschung, die mit der Implementierung des Reaktors im Sommer 2024 abgeschlossen

wurde [29]. Die Standortwahl berücksichtigt die Nähe zu wichtigen Ressourcen und einem Flughafen, was eine effektive Produktion ermöglicht [30].

3.3. SAF-Hochlauf – Status Quo und Ausblick

Entwicklung der bisherigen globalen SAF sowie fossilen Jet Fuel Produktion

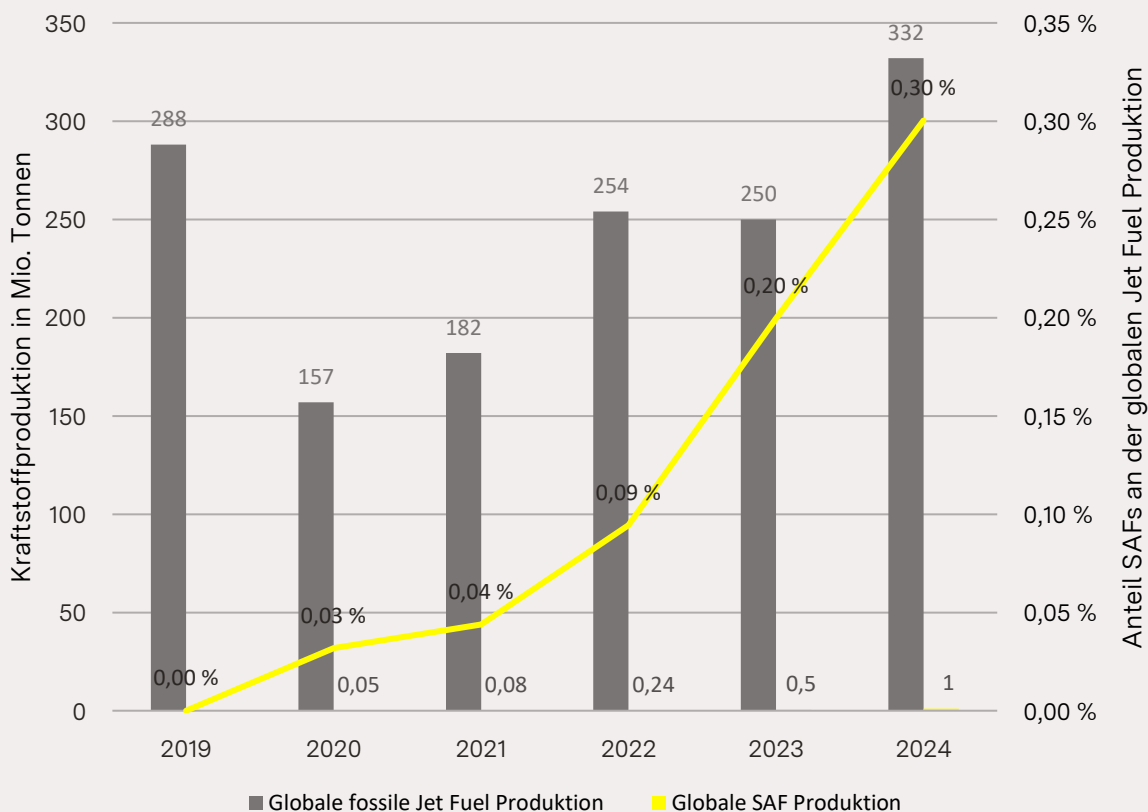


Abbildung 4: Entwicklung der globalen SAF-Produktion seit 2019 (mit einer Schätzung für 2024) [117, 128, 4].

Als nächstes wird ein Überblick über den aktuellen Status quo des SAF-Hochlaufs und ein umfassender Ausblick auf zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich gegeben. Der Abschnitt beleuchtet auch die spezifischen Herausforderungen, die mit der Kostenentwicklung von SAF verbunden sind, sowie die technologischen und betrieblichen Voraussetzungen, die zur Erhöhung der Herstellung erforderlich sind.

3.3.1. Produktionskapazitäten

Die weltweite SAF-Produktion ist in den Jahren von 2020 bis 2024 um das 20-fache gestiegen und lag im Jahr 2023 bei ungefähr 600 ML (Millionen Liter), was etwa 0,5 Mt (Millionen Tonnen) entspricht. Die ursprüngliche Prognose der International Air Transport

Association (IATA) einer Verdreifachung der globalen Produktion im Jahr 2024 auf einen Anteil von ca. 0,3 Prozent am gesamten Flugkraftstoffbedarf musste Ende 2024 auf etwa eine Verdoppelung korrigiert werden. Grund dafür ist vor allem die Verschiebung des SAF-Produktionshochlaufs in US-Anlagen in die erste Jahreshälfte 2025. Für das Jahr 2025 wird eine Produktion von 2,1 Mt bzw. 2,7 Milliarden Liter erwartet, was einem Anteil von 0,7 Prozent an der Gesamtproduktion von Flugkraftstoff entsprechen würde [31]. Allein um in Deutschland die SAF-Quote der EU im Jahr 2030 zu erfüllen sind ca. 200.000 Tonnen SAF notwendig. Das verdeutlicht, dass noch eine gewaltige Produktionssteigerung notwendig ist.

Entwicklung der zukünftigen globalen SAF sowie fossilen Jet Fuel Produktion

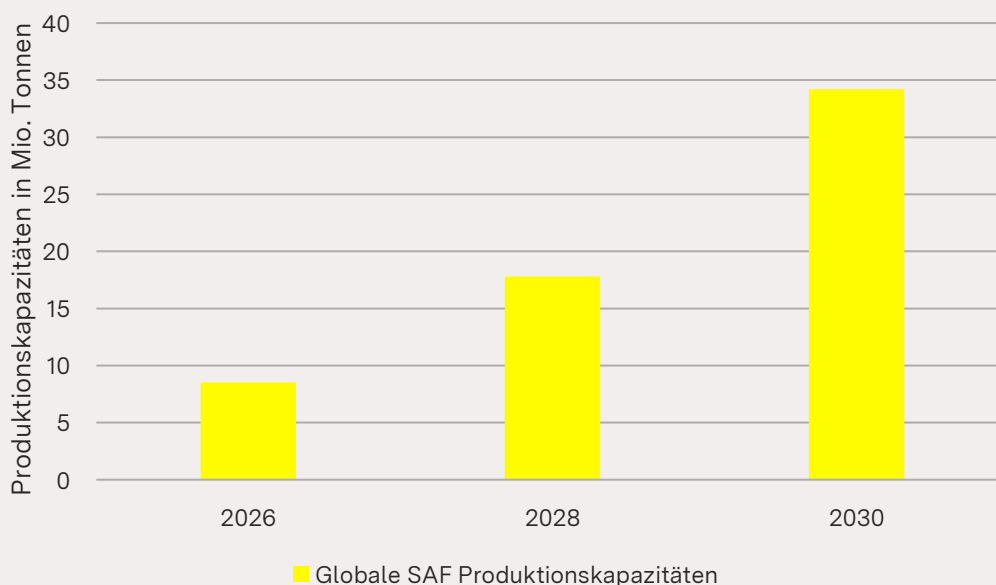


Abbildung 5: Ausblick der jährlichen globalen SAF-Produktionskapazitäten bis 2030 auf Grundlage von Angaben zur Kapazität aktueller und geplanter Produktionsanlagen [117, 128, 4]. Diese Schätzungen sind mit großer Unsicherheit versehen und daher stark unterschiedlich. So wird in [130] für 2030 eine Produktionsmenge von nur 18 Mt vorausgesagt.

Gründe für die aktuell noch niedrigen SAF-Produktionsmengen liegen einerseits in den deutlich höheren Produktionskosten, nicht nur verglichen mit fossilem Flugkraftstoff, sondern auch verglichen mit anderen nachhaltigen Kraftstoffen wie z. B. erneuerbarem Diesel. Darüber hinaus sind Investitionen einem komplexen Zusammenspiel diverser Risiken ausgesetzt. Innovative und noch nicht ausgereifte Prozesse tragen technologische Risiken bei der Inbetriebnahme und Funktionalität des Prozesses. Hinsichtlich Entwicklung von Rohstoff- und Produktionskosten sowie der letztendlichen Abnahmepreise bringen ebenso Planungsrisiken mit sich wie komplexe und langwierige Genehmigungsprozesse beim Bau

von Produktionsanlagen. Regulatorische Risiken sind bedingt durch eine Vielzahl divergierender nationaler Rechte, Förderungen und Anrechnungsmöglichkeiten (siehe dazu Kapitel 5). Hier spielt auch die Flexibilität der regulatorischen Rahmenbedingungen eine Rolle beispielsweise durch eine mögliche Änderung der SAF-Vorgaben bedingt durch die Überprüfungsklausel in der ReFuelEU Aviation Verordnung (siehe Kapitel 4). Schließlich tragen Investitionen ein systemisches Risiko, da langfristige Investitionen in Produktionsanlagen über 20-30 Jahre den kurzfristigen Kaufzyklen von 6-12 Monaten der Abnehmer gegenüberstehen. Kostensenkungsoptionen bestehender Anlagen sind stark begrenzt und meist erst durch wiederum neue Anlagen realisierbar, so dass sich die ursprüngliche Investition in die dann alte Anlage nicht rentiert (First Mover Dilemma) [32].

Komplexität ist ebenfalls ein zentrales Thema: Die SAF-Industrie umfasst eine Vielzahl von Interessengruppen mit stark unterschiedlichen Anforderungen, Erwartungen und Herausforderungen, wie Landwirte, Abfallentsorger, Logistikdienstleister, Wissenschaftler, Projektentwickler, Fluggesellschaften, Flughäfen und viele andere. Diese Vielfalt an Akteuren und die damit verbundenen komplexen Lieferketten führen zu zusätzlichen Unsicherheiten und Herausforderungen beim Hochlauf der Produktion [33].

Zur Produktionssteigerung schlägt die International Air Transport Association (IATA) Maßnahmen vor wie die Vergrößerung des für Co-Processing zugelassenen Feedstock oder die Schaffung eines globalen Systems zur Anrechnung von eingesetztem SAF auf die Verpflichtungen der Airlines. Ein weiterer Vorschlag ist die Diversifikation der SAF-Produktion: Ein Großteil der weltweiten SAF-Produktion nutzt den HEFA-Produktionspfad und auch bis Ende der 2020er Jahre wird von einem Anteil von etwa 80 Prozent an der Gesamtproduktion ausgegangen. HEFA-SAF beruht auf Altspeiseöl, Tierfetten und ähnlichen Lipiden, was nur einen kleinen Ausschnitt des potentiellen SAF-Feedstocks wie land- und forstwirtschaftlicher Reststoffe sowie kommunaler Abfälle ausmacht [34].

Der Hauptgrund für die Marktreife der HEFA-Technologie ist die Ähnlichkeit zur Herstellung von HVO (erneuerbarem Diesel). Es werden die gleichen Rohstoffe verwendet, so dass bestehende Lieferketten genutzt werden können und HVO-Anlagen leicht auf SAF umgestellt werden können. Trotz der Begrenztheit der notwendigen Rohstoffe, könnte der

HEFA-Anteil auch 2030 noch 70 Prozent betragen. Bei der SAF-Herstellung mittels FT-Synthese und beim AtJ-Verfahren entsteht zwar auch erneuerbarer Diesel als Nebenpro-

Anteil erneuerbarer Kraftstoffe bei verschiedenen SAF-Produktionspfaden

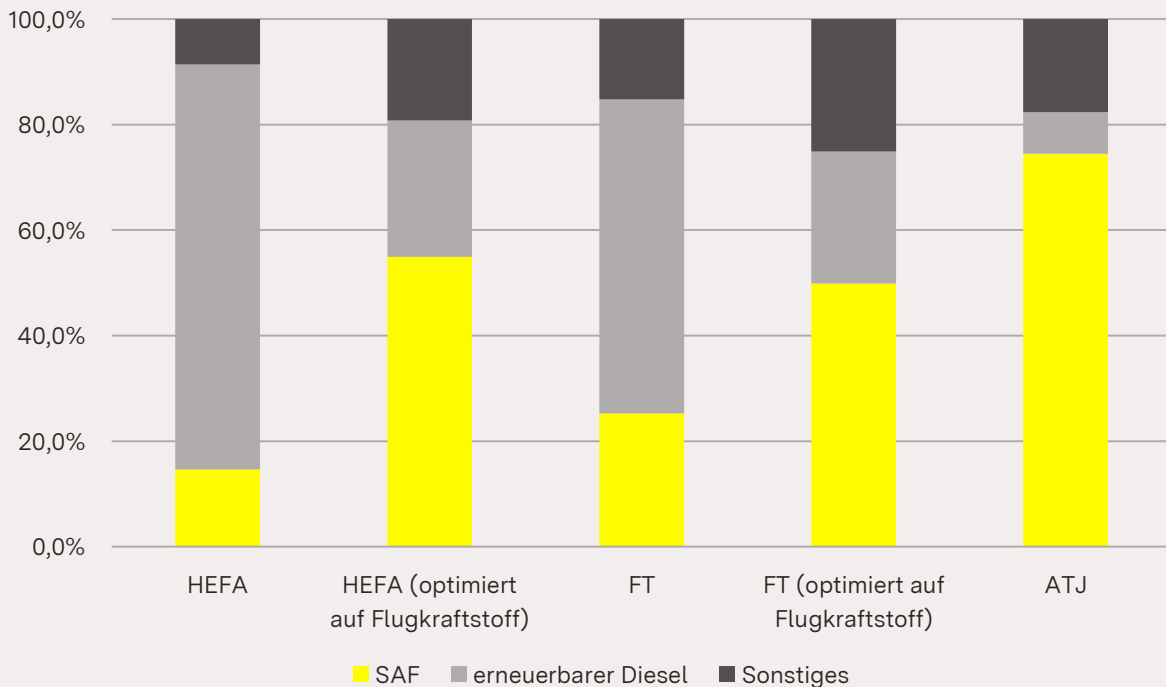


Abbildung 6: Anteil erneuerbarer Kraftstoffe bei verschiedenen Produktionspfaden. Beim HEFA und FT-Verfahren entstehen je nach Durchführung zwischen 15 Prozent und 55 Prozent SAF [118].

dukt, diese Herstellungspfade sind jedoch noch nicht so weit entwickelt wie das HEFA-Verfahren. AtJ wird Prognosen zu Folge in den nächsten ein bis zwei Jahren so weit sein, dass hier die Produktion kommerzielle Zwecke in größerem Stil beginnt. FT und PtL befinden sich aktuell noch hauptsächlich in der Forschungsphase. Eine ausgeweitete, kommerzielle Produktion wird für FT Anfang und für PtL Mitte der 2030er Jahre erwartet [33].

Der SAF-Monitor der NOW GmbH im Auftrag des deutschen Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) in Zusammenarbeit mit CENA Hessen bietet eine Darstellung aller weltweit angekündigten SAF-Projekte [4]. Laut diesem SAF-Monitor sind derzeit in Deutschland lediglich drei SAF-Produktionsanlagen in Betrieb, darunter eine Demonstrationsanlage in Dresden, eine Forschungsanlage in Werlte und eine Co-Processing-Anlage in Lingen. Für Europa weist die Karte 19 SAF-produzierende Anlagen aus. Als Datengrundlage wurden ausschließlich deutsch- und englischsprachige Quellen herangezogen, so dass kein Anspruch auf Vollständigkeit besteht. Darüber hinaus sind viele SAF-Projekte im Bau oder in Planung und sind ohne endgültige

Investitionsentscheidung ebenfalls entsprechend mit Vorsicht zu behandeln. Einige angekündigte Projekte mussten aus wirtschaftlichen oder regulatorischen Gründen bereits wieder abgesagt werden [35, 36, 37].

Produktion von SAF in Deutschland und Europa









In Deutschland sind **drei Anlagen in Betrieb**, davon wird in einer **HEFA im Co-Processing-Verfahren** hergestellt. Die beiden anderen Anlagen produzieren nach der **FT-Synthese** und dienen Forschungs- und Demonstrationszwecken.

Neben dem Baubeginn wird das Vorliegen einer **finalen Investitionsentscheidung** als wesentlicher Schritt zur Umsetzung einer weiteren SAF-Anlage gesehen.

Bei den Darstellungen ist zu beachten, dass Produktionen nach der FT-Synthese auch für biogene CO₂-Quellen als PtL zu den synthetischen Kraftstoffen und somit eines nicht-biogenen Ursprungs zählen.

Legende

- Flugkraftstoffe nicht-biogenen Ursprungs
- Flugkraftstoffe biogenen Ursprungs
-  geschlossen
-  Idee
-  in Planung
-  im Bau / in Inbetriebnahme
-  in Betrieb
-  vorläufig pausiert

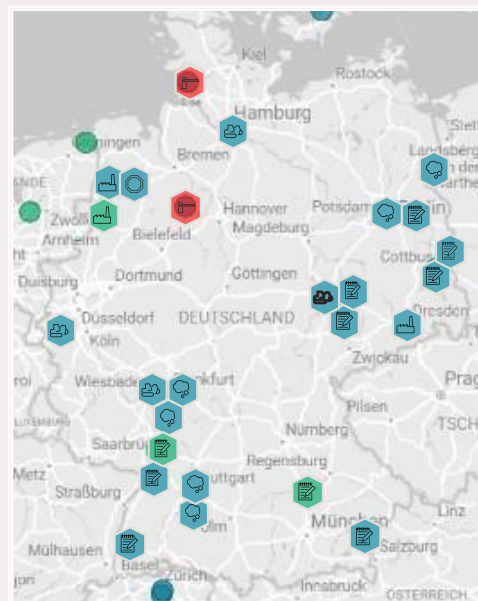


Abbildung 7: Aktuelle und zukünftige Produktionsstandorte von SAF in Deutschland und Europa aus [4], ergänzt um weitere Informationen und grafische Elemente in der Legende aus [16].

3.3.2. Kostenentwicklung

Abhängig vom Herstellungspfad und verwendetem Feedstock schätzen Experten, darunter die IATA, den SAF-Preisen zwei- bis fünfmal so hoch wie für fossiles Kerosin ein. Gründe dafür sind in erster Linie die hohen Rohstoff- und Produktionskosten, aber auch Hochlaufbedingte Kosten wie der Aufbau von Produktionsanlagen und standortabhängig auch höhere Logistikkosten [25].

Preisliche Entwicklung von SAF und fossilem Flugtreibstoff

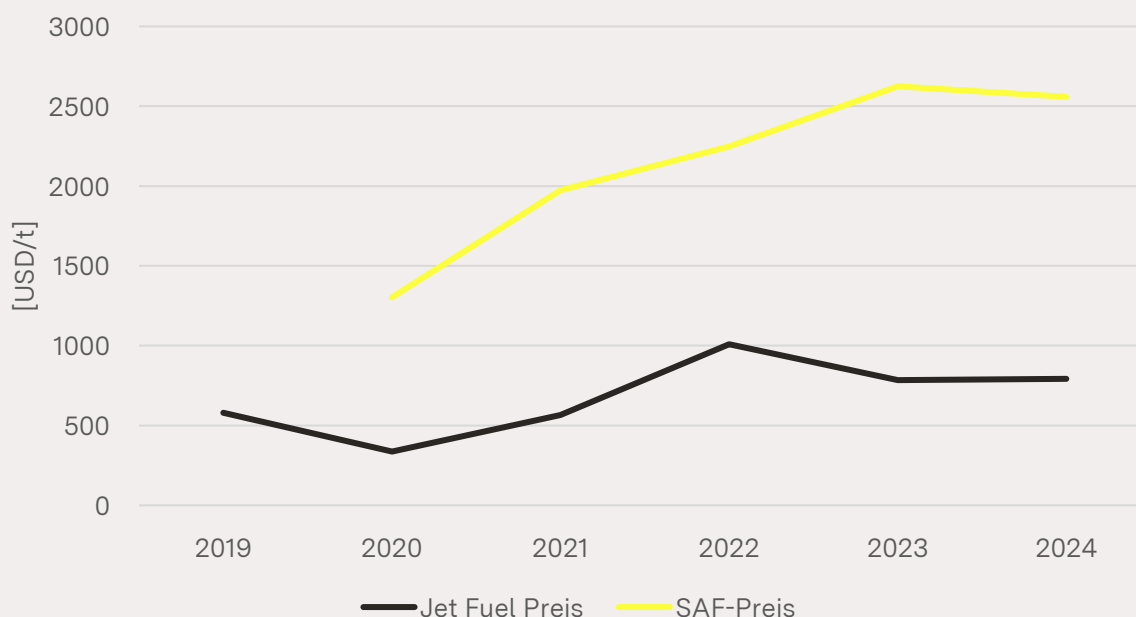


Abbildung 8: Entwicklung des Preises für SAF und fossiles Kerosin von 2019 bis 2024 [117, 128]

Dabei sind schon für den minimalen Verkaufspreis (Minimum Selling Price, MSP) die Kostenfaktoren wie Rohstoffpreise, Produktionskosten oder notwendiger Investitionsumfang für jeden Produktionspfad sehr unterschiedlich. Einzig der HEFA-Produktionspfad ist technologisch so weit ausgereift, dass hier keine weiteren wesentlichen Effizienz- und Skalengewinne erwartet werden, so dass hier aufgrund der Rohstoffpreise durch die zunehmende Produktion sogar eher eine Steigerung der Kosten prognostiziert wird. Dagegen entstehen beispielsweise für die SAF-Produktion via AtJ, PtL und FT aktuell zahlreiche neue Produktionsanlagen. Verglichen mit HEFA sind die Rohstoffpreise bei der SAF-Produktion via AtJ, PtL und FT geringer, da für die Produktion abfallbasierte Rohstoffe, Industrieabwasser oder Direct Air Capture (DAC) genutzt werden kann. Auf der anderen Seite entstehen hierfür gerade zahlreiche neue Produktionsanlagen, so dass sich die Investitionskosten ebenfalls auf die Preise auswirken. Zusätzlich zum MSP kommen weitere Kosten wie Transport, Zertifizierungen und Aufschläge innerhalb der Lieferkette, die den letztendlich vom Abnehmer zu zahlenden Preis ebenfalls stark beeinflussen [25, 38].

Die Gestaltung dieses Endpreises ist dabei zusätzlich komplex und häufig undurchsichtig, da er Gegenstand individueller Vertragsverhandlungen und Abnahmemengen ist. Beispielsweise können Zuschläge auf den aktuellen fossilen Kerosinpreis vereinbart werden, insbe-

Entwicklung des minimalen Verkaufspreises (2020 bis 2045)

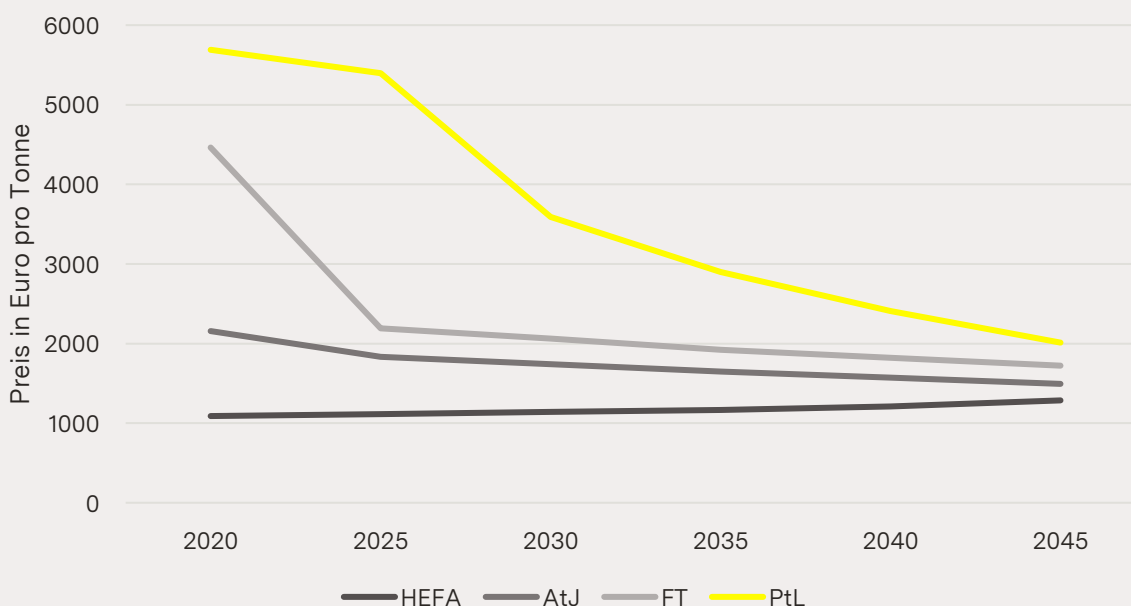


Abbildung 9: Prognose zur MSP-Entwicklung nach Herstellungspfad [38]

sondere wenn kleinere Mengen kurzfristig abgenommen werden. Alternativ gehen vor allem Fluggesellschaften eher langfristige Offtake-Agreements ein oder investieren direkt in den Hersteller, um SAF in der Zukunft zu produktionsnahen Preisen beziehen zu können. Durch zusätzliche Berücksichtigung individueller Zuschläge lassen sich für die verschiedenen Herstellungspfade Preisspannen ableiten, die maßgeblich durch den entsprechenden SAF-Anteil und die prognostizierten Produktions- und Preisentwicklungen bestimmt werden. Die Preise für HEFA- und AtJ-SAF sind verglichen mit FT- und PtL-SAF niedriger. HEFA ist bereits weit entwickelt und kommerziell einsetzbar, AtJ verwendet günstige Rohstoffe und der SAF-Anteil ist im Produktionsergebnis hoch. FT- und PtL-Verfahren sind weniger weit entwickelt und optimiert, somit sind die Preise aktuell höher. Diese Preisspannen spiegeln sowohl die minimalen Produktionspreise als auch Einschätzungen der Abnehmer wider. Für alle Verfahren außer HEFA ist in Zukunft noch mit Effizienzgewinnen und Skaleneffekten zu rechnen, was durch eine höhere maximale Preise berücksichtigt

wird. Dies gilt insbesondere für den am wenigsten fortgeschrittenen FT-Herstellungspfad [33].

3.4. Nachhaltigkeitskriterien und Anrechenbarkeit von SAF

Aktuelle Preisspannen von SAF nach verschiedenen Herstellungspfaden



Abbildung 10: Preisspannen für verschiedene Herstellungspfade von SAF unter Berücksichtigung des MSP nach [129], ergänzt um die Prognosen von Abnehmern inklusive verschiedener Zuschläge und des MSP von etablierten Produktionsanlagen, also insb. keinen neuen Forschungs- oder Demonstrationsanlagen [33].

Die Regulatorik für die Zulassung und Nachhaltigkeit von SAF ist äußerst streng und wird umfassend überprüft. Jeder zugelassene Kraftstoff durchläuft strikte Tests und Prüfverfahren, um sicherzustellen, dass er sowohl die hohen Sicherheitsanforderungen als auch die strengen Nachhaltigkeitskriterien erfüllt. Dies gewährleistet, dass SAF ohne Anpassungen in bestehenden Fluggeräten ohne Sicherheitsbedenken eingesetzt werden können, während gleichzeitig die Nachhaltigkeit der Luftfahrt vorangetrieben wird. Derzeit werden fast ausschließlich SAF biogenen Ursprungs produziert. Die rein strombasierte Herstellung nachhaltiger Flugkraftstoffe, sogenannter PtL-Kraftstoffe, ist bereits möglich. Allerdings im Forschungsmaßstab und in sehr geringen Mengen.

3.4.1. Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS)

Das Europäische Emissionshandelssystem EU-ETS (Richtlinie 2003/87/EG) wurde 2003 beschlossen mit Einführung am 01.01.2005 und ist das zentrale Klimaschutzinstrument der EU. Sein Ziel ist die Reduktion der Treibhausgasemissionen der teilnehmenden Energiewirtschaft und der energieintensiven Industrie. Seit 2012 wird auch der Luftverkehr im Rahmen des EU-ETS erfasst und anfangs direkt auf alle Flüge, die in der EU starten oder landen, ausgeweitet. Dies stieß jedoch auf Widerstand von Drittstaaten, so dass die EU den Handelsbereich auf innereuropäische Flüge beschränkte.

Das EU-ETS funktioniert nach dem Prinzip des sogenannten „Cap & Trade“. Dabei wird eine Obergrenze („Cap“) gesetzt, die festlegt, wie viele Treibhausgas-Emissionen insgesamt von den im System erfassten Anlagen ausgestoßen werden dürfen. Diese Obergrenze wird in Form von Emissionsberechtigungen (EU Allowances, EUA) ausgegeben, wobei jede Berechtigung den Ausstoß einer Tonne Kohlendioxid-Äquivalent (CO₂Äq) erlaubt. Die Mitgliedstaaten der EU legen in Abstimmung mit der Europäischen Kommission die Menge an Emissionsberechtigungen, die an die einzelnen Anlagen vergeben wird, fest. Diese Berechtigungen können teilweise kostenlos zugeteilt, aber auch über Versteigerungen angeboten werden. Die Obergrenze wird im Laufe der Zeit schrittweise reduziert bis auf null im Jahr 2050, was die teilnehmenden Unternehmen dazu zwingt, ihre Emissionen insgesamt zu senken. Emissionsberechtigungen können darüber hinaus gehandelt werden („Trade“), was einerseits zusätzliche Emissionsreduktionsanreize schafft, andererseits aber auch eine gewisse Flexibilität bei der langfristigen Reduktionsstrategie zulässt.

Das System wurde entwickelt, um Anreize für Unternehmen zu schaffen, ihre Emissionen zu reduzieren. Wenn der Preis für CO₂-Emissionen hoch ist, haben die Unternehmen einen starken Anreiz, in Technologien zu investieren, die ihre Emissionen senken. Historisch gesehen haben eine Kombination aus wenig ambitionierten Caps und externen Faktoren zu

Preisentwicklung für Emissionsberechtigungen (EUA) seit 2008

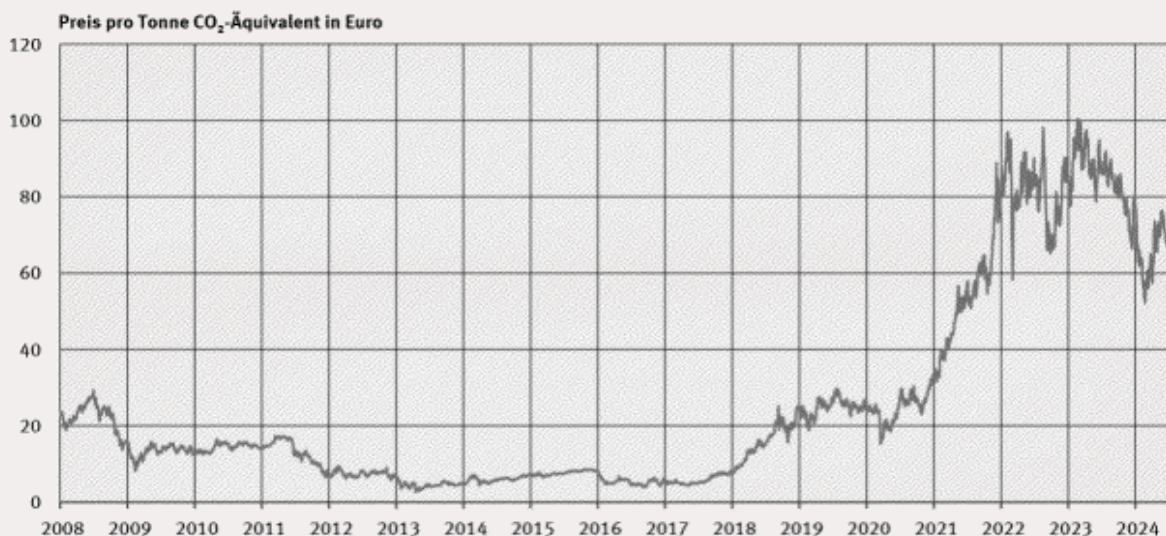


Abbildung 11: Preisentwicklung für Emissionsberechtigungen seit 2008. Abbildung angepasst aus [39]

einem Überangebot an Emissionsberechtigungen geführt, was die Preise gesenkt hat. Um diesem Überangebot entgegenzuwirken, wurden Mechanismen wie das „Backloading“, bei dem einige Berechtigungen zurückgehalten werden, sowie die Marktstabilitätsreserve (MSR) eingeführt [39].

Im Rahmen der Fit for 55-Initiative beschloss die EU mit der Richtlinie (EU) 2023/959 eine Erhöhung der jährlichen Absenkungen von 2,2 Prozent auf 4,3 Prozent ab 2024 und auf 4,4 Prozent ab 2028 und damit eine deutliche Verschärfung der Klimaziele des EU-ETS. In diesem Zusammenhang wurde 2024 auch der Seeverkehr als Sektor integriert. Darüber hinaus werden ab dem Jahr 2026 Emissionsberechtigungen nur noch versteigert, mit Ausnahme einer antragsbasierten Zuteilung von 20 Millionen kostenlosen Berechtigungen für den Einsatz von SAF (Art. 30h). Um Carbon Leakage zu vermeiden, also die Verlagerung von industrieller Produktion, Investitionen und damit verbundenen Emissionen ins Ausland, wurde außerdem ein Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM) für den CO₂-Preis des EU-ETS eingeführt, der energieintensive Importe

und Produkte aus dem Ausland mit dem gleichen CO₂-Preis belegt wie in der EU. Ab Oktober 2023 ist eine Berichtspflicht für Importeure bezüglich der eingebetteten Emissionen in CBAM-Produkten vorgesehen, gefolgt von der Verpflichtung, ab 2026 entsprechende Zertifikate zu erwerben und abzugeben [40].

3.4.2. ICAO und CORSIA

Die International Civil Aviation Organization (ICAO) ist als Internationale Zivilluftfahrtorganisation eine Unterorganisation der Vereinten Nationen (UN) mit 193 Mitgliedsstaaten. Bereits im Jahr 2010 hatte sie das Ziel formuliert, die CO₂-Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr ab 2020 stabil zu halten, verbunden mit verschiedenen Maßnahmen wie technische Fortschritte und nachhaltige Treibstoffe. Ein zentraler Bestandteil dieses Ansatzes ist das Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA), das 2016 beschlossen und in mehreren Phasen eingeführt wurde: Zunächst fand von 2019 bis 2020 ein Monitoring zur Bestimmung von Emissions-Referenzwerten statt, gefolgt von einer Pilotphase (2021–2023) und Phase 1 (2024–2026), an der die Teilnahme freiwillig war bzw. ist. Ab 2027 wird die Teilnahme für Staaten, deren Luftfahrzeugbetreiber mehr als 0,5 Prozent der globalen Luftverkehrsleistung im Jahr 2018 ausmachten, verpflichtend, wobei bereits 119 Staaten ihre freiwillige Teilnahme zwischen 2022 und 2026 zugesagt haben. Diese Staaten repräsentieren über drei Viertel der globalen Luftverkehrsleistung und schließen Deutschland sowie alle anderen europäischen Länder ein. Ausnahmen gelten für am wenigsten entwickelte Länder und kleine Inselentwicklungsländer. Die Regeln für Überwachung, Berichterstattung und Verifizierung wurden 2018 in den Standards and Recommended Practices (SARP) festgelegt, und seit 2019 sind alle ICAO-Vertragsstaaten verpflichtet, die CO₂-Emissionen zu überwachen. In Deutschland geschieht dies durch Meldungen an die Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt [41, 42].

Die Fluggesellschaften unterliegen dabei jeweils in ihren Heimatländern einer Berichts- und Löschungspflicht. Die Berichtspflicht gilt seit 2019 und seit 2021 löschen die Fluggesellschaften Zertifikate für einen Teil ihrer Emissionen auf Routen zwischen an der CORSIA-Löschungspflicht teilnehmenden Ländern, um das Emissionswachstum im Sektor auszugleichen. Ein weiteres zentrales Element von CORSIA sind die Nachhaltigkeitskriterien für „CORSIA Eligible Fuels“ (CEF), die in 14 Themenkategorien für die Produktion definiert sind. Diese Kriterien verlangen unter anderem eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von mindestens 10 Prozent im Vergleich zu den Lebenszyklusemissionen von fossilem Kerosin und, ähnlich wie die RED II, dass die ursprüngliche Biomasse

nicht von Flächen stammt, die nach dem 1. Januar 2008 umgewandelt wurden, was insbesondere die Rodung von Urwäldern für die Palmölproduktion einschränkt. Die Kriterien von CORSIA garantieren weiterhin, dass verschiedene Umweltfaktoren wie Wasser-, Boden- und Luftqualität nicht negativ beeinflusst werden. Zudem müssen in der Lieferkette Menschenrechte gewahrt bleiben und die Ernährungssicherheit darf nicht gefährdet werden [43].

3.4.3. Nachhaltigkeit und Zertifizierungen gemäß RED und CORSIA

Insgesamt sind die von der RED formulierten Kriterien an nachhaltige Kraftstoffe gegenüber CORSIA strenger, beispielsweise bei den verlangten THG-Emissionseinsparungen (mind. 50 Prozent gegenüber 10 Prozent) oder der erlaubten indirekten Landnutzung (i-LUC). Gerade die viel geringere THG-Quote führt allerdings zu einem größeren Anreiz für die Fluggesellschaften, CEF zu tanken, da sie die Menge der Emissionen, die sie ausgleichen müssen, dadurch deutlich einfacher senken können. Auf der anderen Seite berücksichtigt CORSIA im Gegensatz zur RED die gesamte CEF-Produktions- und -Mischkette und damit auch indirekte Emissionen. Eine entsprechende Nachhaltigkeitszertifizierung muss daher eine lückenlose Nachverfolgbarkeit der eingesetzten Materialien sicherstellen und damit höheren Anforderungen genügen als für die RED [44].

Es gibt verschiedene Nachhaltigkeitszertifizierungssysteme für RED und CORSIA, wobei üblicherweise im EU- bzw. RED-Kontext vom „Voluntary Scheme“ (VS) und im Zusammenhang mit ICAO bzw. CORSIA vom „Sustainability Certification Scheme“ (SCS) die Rede ist [45]. Aufgrund der höheren Anforderungen erkennt die ICAO zur Zeit nur drei verschiedene SCS an: die International Sustainability & Carbon Certification (ISCC), den Roundtable on Sustainable Biomaterials (RSB) und seit kurzem auch das Nippon Kaiji Kyōkai (ClassNK) [46]. Dagegen gibt es für die RED gegenwärtig 15 von der Europäischen Kommission anerkannte VS für biogene Kraftstoffe, darunter auch ISCC und RSB. Zertifizierungssysteme für RFNBOs können dagegen aktuell nicht anerkannt werden, solange die durch die delegierte Verordnung 2023/1184 verschärften Nachhaltigkeitskriterien für RFNBOs nicht offiziell vom Europäischen Parlament und dem Europäischen Rat gebilligt sind [47]. Mehrere VS haben bereits ein positives technisches Assessment erlangt, z. B. ISCC, CertifHy und REDcert [48], bzw. eine vorläufige Anerkennung in einzelnen Mitgliedstaaten [49, 50].

Das ISCC ist weit verbreitet, wird von zahlreichen Airlines, Unternehmen in der SAF-Produktion sowie Luftfahrtorganisationen genutzt und entwickelt Zertifizierungen auch für die Berichterstattung gemäß RED II innerhalb der EU. Beispielsweise benutzt Nabsys für den Nachhaltigkeitsnachweis von Biomasse nach RED II das ISCC-Zertifizierungssystem

[51]. Der RSB bietet hingegen mehr Flexibilität, da die zugehörigen Zertifikate für mehrere Standorte einer gemeinsamen Lieferkette verwendet werden können, während ISCC-Zertifikate auf einen einzelnen Standort einer Rechtseinheit ausgestellt werden. Dennoch sind beide Systeme entscheidend für die Anrechnung von nachhaltig produzierten Kraftstoffen im Rahmen des Greenhouse Gas Protocols (GHGP), das von verschiedenen Akteuren zur Berichterstattung ihrer Treibhausgasemissionen genutzt wird.

3.4.4. Anwendungsbereiche des EU-ETS und CORSIA

Mit dem "Fit for 55"-Paket wird der EU-Emissionshandel (EU-ETS) im Luftverkehr durch Regelungen, die im Einklang mit CORSIA stehen, ergänzt. Die überarbeitete EU-ETS-Richtlinie sieht außerdem vor, dass die CO₂-Emissionen von Flügen je nach Flugstrecke unterschiedlichen Regelungen unterliegen. Die zeitweilige Beschränkung des EU-ETS auf Strecken innerhalb des EWR endet 2026; ab 2027 wird jeder Flug von EWR-Betreibern entweder unter CORSIA oder dem EU-ETS fallen mit Ausnahme von Inlandsflügen in Nicht-EWR-Ländern und Flüge in bestimmte Entwicklungsländer [52].

Der EU-ETS sieht eine höhere Abgabeverpflichtung vor als die CORSIA-Löschungsverpflichtungen, sodass internationale Flüge innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraums

Zeitraum/Routen	2021-2023	2024-2026	Ab 2027
Flüge innerhalb und zwischen EWR-Ländern sowie nach Großbritannien und der Schweiz	Alle Betreiber: EU-ETS Nicht-EWR-Betreiber: Ggf. zusätzlich CORSIA auf internationalen Routen		
Flüge von EWR-Ländern von/zu Gebieten in äußersten Randlagen (ohne Festlandverbindung)	Ausgenommen	Alle Betreiber: EU-ETS Nicht-EWR-Betreiber: Ggfs. zusätzlich CORSIA	
Flüge von/zu und zwischen Drittstaaten, die an CORSIA teilnehmen	Alle Betreiber: CORSIA (Verwaltung jeweils im Heimatland)		
Flüge von/zu Drittstaaten, die nicht an CORSIA teilnehmen	Ausgenommen		Alle Betreiber: EU-ETS
Flüge von/zu am wenigsten entwickelten Ländern und kleinen Inselstaaten	Ausgenommen		

Abbildung 12: Anwendungsbereiche des EU-ETS und CORSIA nach [52]

(EWR) weiterhin den EU-Emissionshandelsregeln unterliegen. Luftfahrzeugbetreiber aus dem EWR und Drittländer werden auf denselben Routen gleichbehandelt, wobei die Abgabepflichten für EWR-Routen gelten und CORSIA für internationale Routen zwischen Drittstaaten Anwendung findet.

3.4.5. ASTM International und EASA

Die Standardisierungsorganisation ASTM International ist für die Festlegung dieser Standards verantwortlich, insbesondere in der Spezifikation D1655, die die Mindestanforderungen für die Kraftstoffe Jet A und Jet A-1 sowie akzeptierte Zusatzstoffe beschreibt. Diese Spezifikation stellt sicher, dass die Qualitätskriterien der Flugkraftstoffe eingehalten werden, um eine sichere und effiziente Nutzung in der Luftfahrt zu garantieren. Die Richtlinien sind entscheidend, um die Leistungsfähigkeit und Sicherheit der Kraftstoffe in Luftfahrzeugen zu gewährleisten.

Die Herstellung von Flugkraftstoffen, insbesondere von solchen, die sowohl konventionelle als auch synthetische Komponenten enthalten, unterliegt den Regelungen der ASTM-Spezifikation D7566. Um als D1655-konformer Flugkraftstoff anerkannt zu werden, muss ein neuer Kraftstoff alle erforderlichen Phasen durchlaufen, die in der Spezifikation D4054 festgelegt sind. Zunächst werden die chemischen und physikalischen Eigenschaften des neuen Kraftstoffs geprüft, gefolgt von Fit-for-Purpose-Tests, die zusätzliche Eigenschaften bewerten. Die Ergebnisse dieser Tests werden den Fluggturbinen-OEMs (Original Equipment Manufacturers) zur Überprüfung vorgelegt, was eine wichtige Phase im Zulassungsprozess darstellt. Nach erfolgreichem Testeinsatz in Triebwerken und Luftfahrzeugen wird ein detaillierter Forschungsbericht erstellt, der für die finale Genehmigung und Integration des neuen SAF in die D7566-Spezifikation erforderlich ist.

Die European Union Aviation Safety Agency (EASA) spielt eine zentrale Rolle bei der Förderung der Einführung von SAF in der europäischen Luftfahrtindustrie [53]. Sie ist verantwortlich für die Entwicklung und Überwachung von Sicherheits- und Umweltstandards, ist aktiv am Zulassungsprozess für neuen SAF beteiligt und arbeitet eng mit den OEMs zusammen, um Sicherheitsfreigaben zu unterstützen. In einer Studie aus dem Jahr 2019 hat sie mögliche Wege untersucht, um den Einsatz von SAF in Europa zu steigern [54]. Darüber hinaus kooperiert die EASA mit internationalen Organisationen wie der ICAO bei der Entwicklung von Leitlinien zur Nutzung von SAF und deren Technologien sowie zur Überwachung der Umsetzung des EU-ETS. Ihre Forschung zu den Auswirkungen von Nicht-CO₂-Emissionen soll in die Regulierung der EU einfließen und so die Luftfahrtindustrie nachhaltiger gestalten [55].

4. Die ReFuelEU Aviation Verordnung

Die Verordnung (EU) 2023/2405 „ReFuelEU Aviation“ (RFEUA) wurde zeitgleich mit der RED III beschlossen und ist ebenfalls Teil des Fit-for-55-Gesetzespakets, allerdings mit besonderem Fokus auf die Luftfahrt. Der in der RED verfolgte sektorenübergreifende Ansatz zur Förderung erneuerbarer Energien wurde als unzureichend beurteilt, um einen effektiven Übergang von fossilen Kraftstoffen zu SAF im Luftverkehr herbeizuführen (Erwägungsgrund 13). Auch bisherige internationale Vorgaben wie beispielsweise CORSIA setzen zwar Anreize, jedoch fehlen verbindliche Vorgaben um den Einsatz von SAF herbeizu-

Überblick über die regulatorische Landschaft

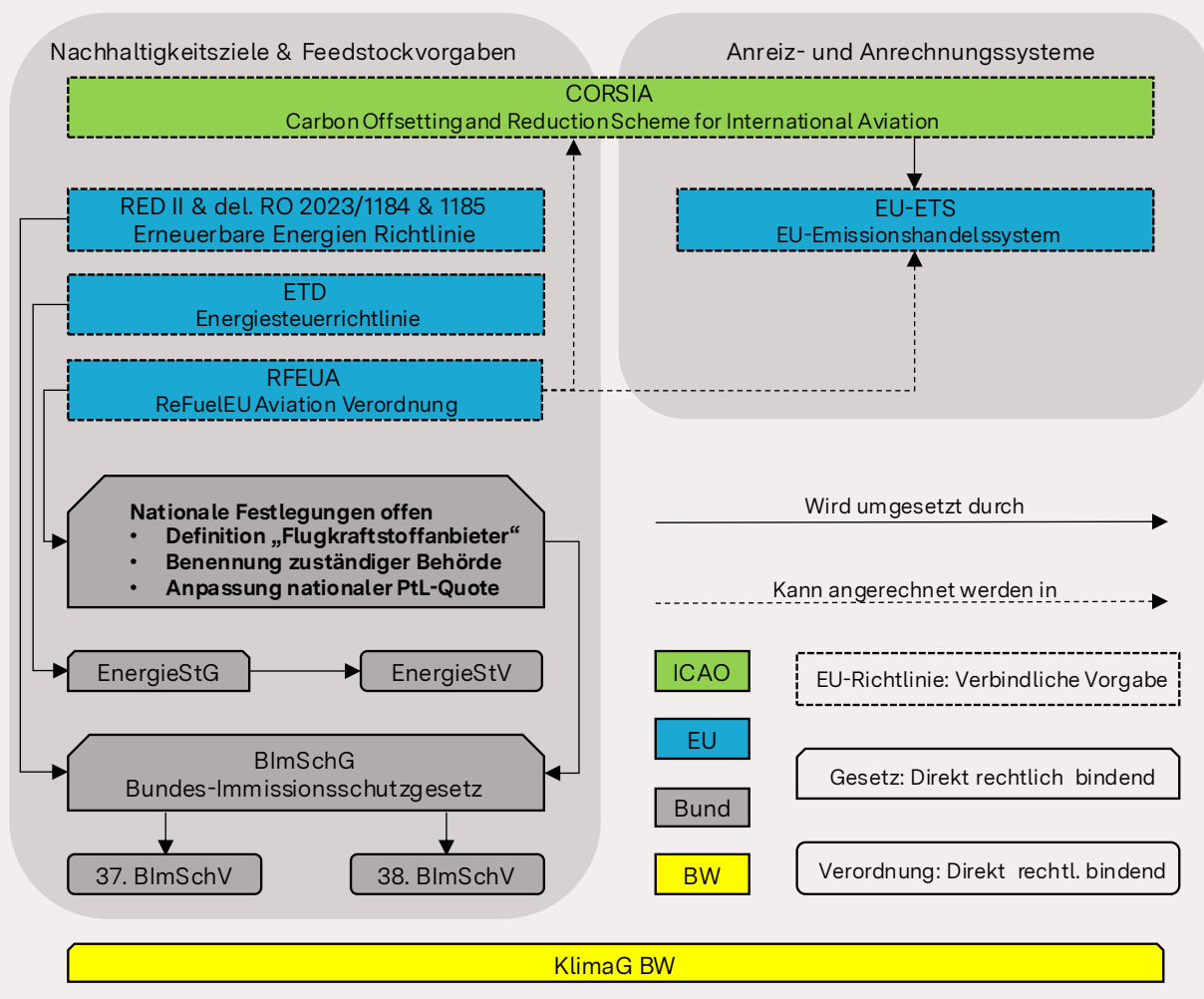


Abbildung 13: Zusammenspiel internationaler, nationaler und regionaler Richtlinien, Gesetze, Verordnungen und Programme

führen (Erwägungsgrund 11). Die RFEUA ergänzt daher RED II bzw. III durch spezifische

Regelungen für den Luftverkehrsmarkt in der EU, die auf einen Hochlauf des SAF-Einsatzes abzielen. Damit soll ein solider und stabiler Rechtsrahmen geschaffen werden, um die schrittweise Bereitstellung und Akzeptanz von SAF in der EU zu fördern.

Angesichts der speziellen Situation des Luftfahrtsektors, der durch ein hohes Maß an internationaler Wettbewerbsintensität und Integration geprägt ist, ist einerseits ein stärker zielgerichteter Ansatz notwendig, um fortschrittliche Technologien und nachhaltige Kraftstoffe effektiv einzuführen und deren Verwendung zu steigern. Andererseits wird die Bedeutung einer einheitlichen Regulierung innerhalb der EU betont, um Fragmentierung und Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Hinzu kommt, dass emissionsfreie Technologien wie Elektro- oder Wasserstoffantriebe technologisch für den Einsatz in der Luftfahrt noch nicht ausgereift sind und SAF vor allem für die kurz- und mittelfristigen Emissionseinsparungen, aber auch voraussichtlich langfristig noch eine hohe Relevanz haben werden.

Als Drop-in-Kraftstoff erfordert der Einsatz von SAF im Wesentlichen keine Umrüstung der bestehenden Flotten und wird daher als kurzfristige bzw. für mittlere und lange Strecken auch als langfristige Lösung priorisiert. Allerdings besteht auch hier die Herausforderung, dass der Markt für strombasierten SAF derzeit noch in der Entwicklung ist und die Produktions- und somit auch Beschaffungskosten im Vergleich zu traditionellen Flugkraftstoffen sehr viel höher sind. Durch die gezielte Einführung von Mindestanteilen für die Beimischung von SAF wird angestrebt, die Marktbedingungen für Anbieter und Betreiber zu verbessern und so den Übergang zu einer nachhaltigeren Luftfahrt zu unterstützen. Die entsprechenden Nachhaltigkeitskriterien für SAF werden dabei direkt von der RED II übernommen, womit eine Kohärenz zwischen den Regelwerken sichergestellt und der Hochlauf von SAF unterstützt werden soll. Ab 2027 sollen zudem die Auswirkungen der RFEUA auf andere Energiequellen sowie verschiedene Arten synthetischer Kraftstoffe bewertet werden, um mögliche Anpassungen rechtzeitig vornehmen zu können.

4.1. Anwendungs- und Geltungsbereich

Als von der RFEUA betroffene Stakeholder werden in Art. 2, Abs. 1 die Flugkraftstoffanbieter, die Flughäfen und die Fluggesellschaften identifiziert. Zur Definition der betroffenen Flughäfen und Fluggesellschaften werden in Art. 3, Abs. 1, Nr. 1-3 entsprechende quantitative Kriterien formuliert. Nach Art. 2, Abs. 2-3 können außerdem Stakeholder, die diese Kriterien nicht erfüllen, auf Antrag als von der Verordnung betroffen behandelt werden. Die in Art. 2, Abs. 4 angekündigten Listen der betroffenen Flughäfen der Union und Luftfahrzeugbetreiber wurden inzwischen zur Verfügung gestellt [56], darunter beispielsweise die Flughäfen Stuttgart und Karlsruhe Baden-Baden.

Von der RFEUA betroffene sogenannte Flughäfen der Union sind solche mit einem Passagierverkehrsaufkommen von über 800.000 Personen oder einem Frachtverkehrsvolumen von über 100.000 Tonnen pro Jahr, die sich nicht in einem in Artikel 349 AEUV² aufgeführten Gebiet in äußerster Randlage befinden. Luftfahrzeugbetreiber im Sinne der Verordnung sind Fluggesellschaften, die mindestens 500 Flüge im gewerblichen Personenluftverkehr oder 52 Nurfracht-Flüge im gewerblichen Luftverkehr pro Jahr (bzw. im vorherigen Berichtszeitraum) von Flughäfen der Union durchführen, wobei mit gewerblichen Flügen solche zur entgeltlichen Beförderung von Fluggästen, Fracht oder Post sowie Geschäftsflüge zu gewerblichen Zwecken gemeint sind. Flugkraftstoffanbieter werden als Kraftstoffanbieter im Sinne der RED II definiert, die Flugkraftstoff oder Wasserstoff für die Luftfahrt an einem Flughafen der Union bereitstellen, was die Benennung von Flugkraftstoffanbietern im Wesentlichen in die Hand der Mitgliedstaaten legt.

Die RFEUA ist seit dem 1. Januar 2024 in Kraft, mit Ausnahme der Artikel 4, 5, 6, 8 und 10, die am 1. Januar 2025 in Kraft treten. Die ausgenommenen Artikel betreffen dabei die Betankungspflicht für Luftfahrzeugbetreiber (Art. 5), die Verfügbarkeits- und Zugangserleichterungspflicht für Flughäfen der Union sowie deren Leitungsorgane (Art. 4 & 6) sowie Berichtspflichten für Luftfahrzeugbetreiber (Art. 8) und Flugkraftstoffanbieter (Art. 10).

4.2. Inhalt der ReFuelEU Aviation Verordnung

Die RFEUA verfolgt zwei zentrale Ziele: 1) die Einforderung des Beitrags der Luftfahrtbranche zur Dekarbonisierung und Erreichung der Klimaziele der Union bis 2030 und 2050 und 2) die Bewältigung potentieller Wettbewerbsverzerrungen zwischen Fluggesellschaften, die EU-Flughäfen nutzen, und solchen, die Flughäfen außerhalb der Union ansteuern können. Dies kann prinzipiell zu einer Verlagerung internationaler Verbindungen zu Gunsten von Nicht-EU-Flughäfen führen, was sowohl die CO₂-Emissionen als auch die Wettbewerbsbedingungen ungünstig beeinflussen würde. Die Verordnung betont die Notwendigkeit einheitlicher Vorschriften, da unterschiedliche nationale Zielvorgaben zur Verwendung von SAF zu einer Fragmentierung des Luftverkehrsmarktes führen können (Erwägungsgründe 14 und 50).

4.2.1. Mindestquoten für SAF-Beimischung für Flugkraftstoffanbieter

In Art. 4 werden den Flugkraftstoffanbietern ab 2025 konkrete SAF-Beimischungsquoten für Lieferungen an die Flughäfen auferlegt, die nach einem in Art. 10 formulierten Flexibili-

² Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union

tätsmechanismus bis zum 31.12.2034 gemittelt über alle Flughäfen der Union erfüllt werden können. Diese Quoten können im Wesentlichen durch Beimischung von synthetischen Flugkraftstoffen, d.h. Biokraftstoffen für die Luftfahrt und wiederverwertbaren kohlenstoffhaltigen Flugkraftstoffen im Sinne von Art. 2, Abs. 2, Nr. 33-36 der RED II erfüllt werden, wobei Sonderregeln z. B. für den Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff, kohlenstoffarmem Kohlenstoff und nicht-fortschrittlichen Biokraftstoffen im Sinne der RED II formuliert werden.

Da es aktuell und auch in der näheren Zukunft nicht überall möglich sein wird, nachhaltigen Flugkraftstoff zu tanken, führt die RFEUA in Art. 15, Abs. 1 einen entsprechenden Flexibilitätsmechanismus ein, der auf Grundlage weiterer Untersuchungen in Zukunft noch ergänzt werden soll. Danach können Flugkraftstoffanbieter für den festgelegten Mindestanteil von SAF einen gewichteten Durchschnittswert über den betreffenden Berichtszeitraum für den von ihnen an den Flughäfen der Union bereitgestellten Flugkraftstoff ansetzen. Zentrales Ziel des Flexibilitätsmechanismus ist es, der Luftfahrtindustrie die Gelegenheit zu geben, ihre Produktions- und Lieferkapazitäten für SAF auszubauen, ohne dass es zu Versorgungsengpässen kommt. Die festgeschriebene Flexibilitätsperiode von 10 Jahren soll es ermöglichen, die entsprechende Infrastruktur zu entwickeln und gleichzeitig das SAF-Angebot auf dem Markt zu erhöhen.

In Prozent	2025	2030-31	2032-34	2035	2040	2045	2050
Anteil SAF	2	6	6	20	34	42	70
Unterquote strombasierte Flugkraftstoffe (PtL)		1,2	2	5	10	15	35

Tabelle 3: Hochlauf der SAF-Beimischungsquoten bis 2050 mit PtL-Unterquote nach der ReFuelEU Aviation Verordnung. Im Zeitraum 2030-2034 gibt es für den Einsatz von PtL außerdem jährliche Untergrenzen von 0,7 Prozent in 2030/31, 1,2 Prozent in 2032/33 und 2 Prozent in 2034.

In Art. 10 werden Flugkraftstoffanbieter in Form von konkreten Berichtspflichten für die Transparenz und Nachhaltigkeit ihrer Produkte verantwortlich gemacht, wobei sie für den Nachweis der Erfüllung ihrer Verpflichtungen das Massenbilanzsystem benutzen können. Entsprechende Informationen wie die Menge des bereitgestellten Flugkraftstoffs und SAF-Anteils an jedem Flughafen der EU, Details zu den verwendeten Rohstoffen und z. B. deren Lebenszyklusemissionen, sowie die chemischen Zusammensetzungen und Energiegehalte der jeweiligen Produkte sind in die angekündigte Unionsdatenbank einzutragen.

Sollte ein Flugkraftstoffanbieter seinen Quoten- oder Berichtspflichten nicht angemessen nachkommen, ist er verpflichtet, die fehlenden Mengen in den folgenden Berichtszeiträumen nachzuholen.

4.2.2. Betankungspflicht für Luftfahrzeugbetreiber

Luftfahrzeugbetreiber sind gemäß Art. 5 Abs. 1 an jedem Flughafen der Union dazu verpflichtet, im Wesentlichen nur den für den folgenden Flug benötigten Flugkraftstoff zu tanken. Konkret muss über das Jahr an jedem Flughafen der Union insgesamt mindestens 90 Prozent des Jahresbedarfs an Flugkraftstoff für alle Abflüge von diesem Flughafen getankt werden. Diese Regelungen sollen übermäßige Emissionen durch zusätzliches Gewicht vermeiden und das Risiko einer Verlagerung von CO₂-Emissionen durch „Tankering“-Praktiken, also die Mitnahme von mehr Flugkraftstoff aus Drittländern als nötig, minimieren. In den nachfolgenden Absätzen der RFEUA werden Ausnahmesituationen wie z. B. im Fall von Unvereinbarkeit mit Sicherheitsvorschriften oder schwerwiegende betriebliche bzw. strukturelle Schwierigkeiten an einem Flughafen und entsprechende Rechte und Pflichten der Luftfahrzeugbetreiber in solchen Fällen geregelt. Weiterhin sind sie nach Art. 8 zu detaillierten Berichten über ihre Flugkraftstoffnutzung verpflichtet, die für jeden angeflogenen Flughafen der Union folgende Informationen enthalten müssen: vertankte Menge Flugkraftstoff und Kraftstoffjahresbedarf, nicht-vertankte Mengen für den Nachweis der 90 Prozent-Quote, sowie den SAF-Anteil des vertankten Kraftstoffs inkl. vom Kraftstoffhersteller erhaltene Informationen über die Merkmale, Herkunft und Herstellungsdetails des Kraftstoffs.

Luftfahrzeugbetreiber müssen nach Art. 9 außerdem sicherstellen, dass dieselbe SAF-Charge nicht mehrfach in verschiedenen THG-Minderungssystemen wie dem EU-ETS oder CORSIA geltend gemacht wird. Sie sind verpflichtet, der EASA Informationen über ihre Teilnahme an diesen Systemen sowie an finanziellen Förderprogrammen vorzulegen, um Missbrauch und Doppelzählungen zu vermeiden. Flugkraftstoffanbieter müssen den Luftfahrzeugbetreibern die erforderlichen Informationen zur Verfügung stellen, um deren Berichterstattung zu unterstützen und sicherzustellen, dass der Emissionsfaktor für SAF gemäß den Vorgaben des EU-ETS eingehalten wird. Zusätzlich können Luftfahrzeugbetreiber die kostenlose, rechtzeitige und effiziente Bereitstellung weiterer Informationen und Daten von den Flugkraftstoffanbietern anfordern, um zusätzliche Berichtspflichten zu erfüllen, einschließlich der Verpflichtungen nach nationalem Recht.

4.2.3. SAF-Zugangserleichterung durch Flughäfen und deren Leitungsorgane

Schlussendlich werden die Flughäfen der Union bzw. deren Leitungsorgane in Art. 6 dazu verpflichtet, die erforderlichen infrastrukturellen und betrieblichen Voraussetzungen zu schaffen bzw. entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, um den Zugang zu SAF für die Luftfahrzeugbetreiber zu gewährleisten. Sollten Luftfahrzeugbetreiber Schwierigkeiten beim SAF-Zugang melden, sind die für den Flughafen zuständigen Behörden des jeweiligen Mitgliedstaats befugt, relevante Informationen über die Einhaltung der Vorschriften in Bezug auf den Zugang zu SAF zu verlangen.

4.3. Durchsetzungsmechanismen

Nach Art. 11 müssen die Mitgliedstaaten zuständige Behörden für die Durchsetzung der RFEUA benennen, die beispielsweise für die Durchsetzung der Verordnung und die Verhängung von Bußgeldern verantwortlich sind und dafür sorgen, dass diese transparent und unparteiisch agieren. Der zuständige Mitgliedstaat wird dabei auf Grundlage der jeweiligen örtlichen Zuständigkeit (Flughäfen), des Hauptgeschäftssitzes bzw. der höchsten Belieferung (Flugkraftstoffanbieter) und der mit Verordnung (EG) Nr. 748/2009 herausgegebenen Zuordnung von Luftfahrzeugbetreibern bestimmt. Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass die Behörden über ausreichende Ressourcen verfügen, wobei die Übermittlung aggregierter Daten über die Luftfahrzeugbetreiber, die Flughäfen der Union und ihre Leitungsorgane sowie die Flugkraftstoffanbieter an die zuständigen Behörden der EASA obliegt.

Die Mitgliedstaaten müssen Vorschriften über Sanktionen bei Verstößen gegen die RFEUA erlassen, die wirksam, verhältnismäßig und abschreckend sind, wobei sie die Kommission bis zum 31. Dezember 2024 über ihre Regeln und spätere Änderungen informieren müssen. Die Einnahmen aus Bußgeldern sollen zur Förderung von Forschungs- und Innovationsprojekten im Bereich nachhaltiger Flugkraftstoffe verwendet werden. Zudem müssen die Mitgliedstaaten alle fünf Jahre einen Bericht über die Verwendung dieser Einnahmen und die Förderung entsprechender Projekte veröffentlichen.

Die Mitgliedstaaten müssen sicherstellen, dass jeder Luftfahrzeugbetreiber, jedes Leitungsorgan eines Flughafens der Union und jeder Flugkraftstoffanbieter, der seinen Verpflichtungen nicht nachkommt, ein solches Bußgeld zu zahlen hat. Im Fall eines Luftfahrzeugbetreibers muss dieses Bußgeld für jede Tonne vertankten Kraftstoff, der nicht den

Flexibilisierung des SAF-Potentials durch Book & Claim

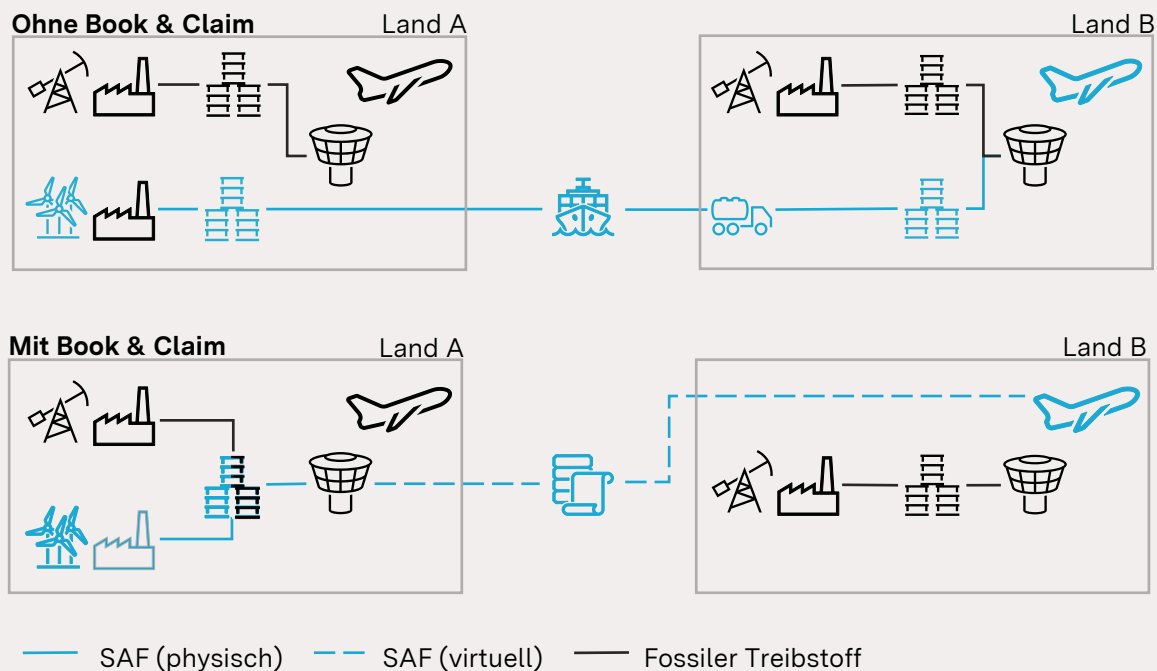


Abbildung 14: Flexibilisierung des Einsatzes von SAF durch Book-and-Claim aus [123].

Anforderungen entspricht, mindestens dem doppelten Preisunterschied zwischen konventionellem und dem jeweiligen nachhaltigen Flugkraftstoff betragen. Im Fall eines Flugkraftstoffanbieters gilt diese Mindesthöhe für jede Tonne gelieferten Kraftstoff, der nicht den Anforderungen entspricht oder über den irreführende oder unzutreffende Daten übermittelt wurden.

4.4. Ausblick

Mit der RFEUA ist der regulatorische Anreiz für den SAF-Hochlauf gesetzt. Um die für die Quotenerfüllung notwendige Verfügbarkeit und Wettbewerbsfähigkeit von SAF sicherzustellen, sind außerdem konkrete wirtschaftliche Anreize unerlässlich. Nur durch eine harmonische Kombination von regulatorischen Vorgaben und wirtschaftlichen Anreizen kann ein nachhaltiger Markthochlauf von SAF gewährleistet werden. Darüber hinaus enthält die RFEUA klare Handlungsaufträge und -empfehlungen an die Europäische Kommission wie die Einführung eines Book-and-Claim-Systems und die Einrichtung der Unionsdatenbank. Hier ist eine zügige und fristgerechte Umsetzung entscheidend, um Vertrauen in die Märkte zu schaffen und Planungssicherheit zu gewährleisten.

4.4.1. Einführung eines Book-and-Claim-Systems

Der gewährte Flexibilitätsmechanismus könnte dazu führen, dass Fluggesellschaften auch nach Inkrafttreten der Verordnung an bestimmten Flughäfen keinen physischen Zugang zu SAF haben und benachteiligt wären, wenn eine physische Lieferung von SAF an jeden Flughafen in der EU erforderlich wäre. Art. 15, Abs. 2 soll daher auf Grundlage einer von der Kommission bis zum 1. Juli 2024 durchgeführten Ermittlung und Bewertung durch weitere Systeme und Mechanismen wie etwa der Handelbarkeit von SAF mit Book-and-Claim-Elementen ergänzt werden. Somit sollen die Kauftransaktionen von nachhaltigen Kraftstoffen von ihrer physischen Nutzung entkoppelt werden. Solche Elemente würden es den Fluggesellschaften ermöglichen, „virtuellen SAF“ zu kaufen ("book"), das an anderen Flughäfen innerhalb der EU physisch geliefert wird, und dies auf ihre Klimaziele anzurechnen ("claim") – auch wenn sie keinen direkten Zugriff auf den SAF an ihrem spezifischen Flughafen haben. Die Verordnung gibt der EU-Kommission den Auftrag, ein solches System mit Book-and-Claim-Elementen für den Handel mit SAF zu entwickeln, das auch die Rückverfolgbarkeit von SAF sicherstellen kann. Die Veröffentlichung des angekündigten technischen Berichts zur durchgeführten Untersuchung von Seiten der EU-Kommission ist noch ausstehend [57].

Die Einführung eines solchen Book-and-Claim-Systems würde die Voraussetzungen schaffen, um die Hauptziele der RFEUA zu erreichen: Die Schaffung gleicher Wettbewerbsbedingungen und die Förderung der Nutzung von SAF in der Luftfahrt. Das System würde den europäischen Luftfahrtmarkt stabilisieren und gleichzeitig zur Reduktion der CO₂-Emissionen mit Blick auf den gesamten europäischen Sektor beitragen. Den besten Effekt hätte dabei ein maximal flexibles System, das die physische SAF-Vertankung von den SAF-Zertifikaten trennen und deren Anrechnung auf die Erfüllung der RFEUA-Vorgaben ermöglichen würde. Auf diese Weise wäre eine virtuelle Vertankung mit SAF möglich an Flughäfen, an denen SAF physisch nicht verfügbar ist. Gleichzeitig würde dies die SAF-Produktionsprojekte an den geeignetsten Produktionsstandorten unterstützen, unabhängig vom Standort des Bedarfs. Darüber hinaus gewährt die erweiterte Definition Marktzugang für neue Akteure, wodurch die Chancen für den Eintritt in den SAF-Markt, insbesondere für grüne Kraftstoffproduzenten, steigen.

In Bezug auf die konkrete Umsetzung eines solchen Mechanismus wird in [58] auf die folgenden Schlüsselpunkte hingewiesen:

- 01. Definition eines Flugkraftstoffanbieters:** Die Definition eines Flugkraftstoffanbieters im Sinne der Verordnung wird durch nationale Gesetzgebungen festgelegt, mit denen

die Mitgliedstaaten RED II bzw. RED III umsetzen. Diese Bestimmungen müssen harmonisiert werden, damit EU-weit einheitlich und konsistent geklärt ist, wer an einem solchen SAF-Zertifikatehandel teilnimmt. Beispielsweise sollten die Mitgliedstaaten dieser Definition nicht unterschiedliche Grenzen für das Produktionsvolumen zu Grunde legen. Dies würde eine Markteintrittsbarriere für neue Akteure schaffen und könnte zu einem Flickenteppich unterschiedlicher Definitionen und Interpretationen führen. Die Definition sollte im Gegenteil idealerweise auch solche Produzenten einschließen, die den Kraftstoff nicht direkt an Flughäfen oder Luftfahrzeugbetreiber liefern.

02. **Nachweis und Tracking der Nachhaltigkeit:** Flugkraftstoffanbieter müssen nachweisen, dass der gelieferte SAF die Nachhaltigkeitskriterien gemäß RED II bzw. III erfüllt. Gemäß Art. 30 RED III müssen Betreiber ein Massenbilanzsystem für E-Kerosin verwenden (das sowohl unter die RFNBO- als auch die SAF-Definition fällt), damit es auf die RED III-Transportziele angerechnet werden kann. Dasselbe gilt für Luftfahrzeugbetreiber, die die Nutzung von SAF im Rahmen des EU ETS geltend machen möchten, da sie ebenfalls die Nachhaltigkeit gemäß RED III nachweisen müssen. Die Einführung eines Book-and-Claim-Mechanismus könnte regulatorische Herausforderungen mit sich bringen in Form von Konflikten zwischen den Verpflichtungen von Kraftstofflieferanten unter RED III und den Verpflichtungen von Luftfahrzeugbetreibern unter EU ETS sowie dem Book-and-Claim-Tracking-Modell gemäß der ReFuelEU Aviation Verordnung. Eine weitere Schwierigkeit könnte sein, dass ein Teil der Lieferkette (z. B. bis zur SAF-Mischung) durch Massenbilanz verfolgt wird, während jeder nachfolgende Schritt durch ein Book-and-Claim-basiertes Tracking-Modell abgedeckt wird. Hier sollte die bestehende regulatorische Landschaft für SAF (biogen und nicht-biogen), bestehend aus ReFuelEU Aviation, RED III, EU ETS und CORSIA, sorgfältig auf potentielle Unvereinbarkeiten geprüft werden.
03. **Virtuelle SAF-Handelsplattform:** Einführung einer virtuellen SAF-Handelsplattform, die die Rückverfolgbarkeit von SAF-Zertifikaten und der damit verbundenen Informationen gewährleistet. Diese Plattform sollte es den Lieferanten ermöglichen, SAF-Zertifikate für einen bestimmten Flughafen direkt an Fluggesellschaften zu verkaufen. Die entsprechenden, ggfs. virtuellen, SAF-Mengen müssen sowohl für die Erfüllung der Quotenverpflichtung gemäß ReFuelEU Aviation als auch für die Anrechnung auf die RED III-Ziele im Verkehrssektor anwendbar sein. Dazu ist eine Verbindung dieser Plattform mit der Unionsdatenbank notwendig, um z. B. das Risiko einer Doppelzählung zu verringern.

04. **Kompatibilität und Anrechenbarkeit EU ETS:** Um den Übergang zu nachhaltigem Flugkraftstoff zu beschleunigen, müssen in erster Linie Anreize für die Fluggesellschaften geschaffen werden, die wiederum zu erhöhten Produktionsanreizen führen. Aus diesem Grund sollten SAF-Zertifikate, also auch nicht unbedingt physisch vertankte SAF-Mengen, auf die EU ETS-Verpflichtungen anrechenbar sein.

4.4.2. Nachfolgende regulatorische Maßnahmen

Die im Juni 2024 beschlossene Verordnung (EU) 2024/1735 („Net Zero Industrial Act“, NZIA) komplementiert die RFEUA, indem der lokale Produktionshochlauf von Net-Zero-Technologien (NZE), beispielsweise SAF, angereizt werden soll. Diese Vorhaben sollen durch die Schaffung eines Regelungsrahmens unterstützt werden, der die Herstellungskapazitäten in der Union stärken und damit die Abhängigkeit von importierten Brennstoffen verringern soll. Ein zentrales Element des NZIA ist die Festlegung von Benchmarks, um das ehrgeizige Ziel von 40 Prozent NZE-Produktion innerhalb der EU bis 2030 zu erreichen. Eine effizientere Planung und Investitionssicherheit sollen dazu beitragen, dass Projekte zur Fertigung von Netto-Null-Technologien so schnell wie möglich durchgeführt werden können. Dies schließt Maßnahmen ein, die den Verwaltungsaufwand für Projektträger verringern. Mit der Einführung eines „One-Stop-Shops“ zur Verkürzung von Genehmigungszeiträumen für geplante Projekte soll der Einstieg vor allem auch kleinerer Unternehmen in die SAF-Produktion erleichtert werden [59].

Der NZIA wird oft als europäische Antwort auf den US-amerikanischen Inflation Reduction Act (IRA) von 2022 betrachtet, jedoch zeigen sich grundlegende Unterschiede in ihren Ansätzen und Zielsetzungen. Der IRA ist ein umfassendes Subventionsprogramm, das darauf abzielt, massive finanzielle Anreize für grüne Technologien zu schaffen und damit Investitionen in die US-amerikanische Industrie zu fördern. Im Gegensatz dazu konzentriert sich der NZIA hauptsächlich auf die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren für Netto-Null-Technologien und die Verringerung des Verwaltungsaufwands, ohne jedoch konkret zusätzliche Fördermittel oder Änderungen in der vorhandenen EU-Regulierung vorzusehen, die für viele Akteure der eigentliche Grund für das Fehlen des Markthochlaufes ist. Der Unterschied im Ansatz spiegelt sich in der Einschätzung wider, dass der NZIA nicht den gleichen Einfluss haben wird wie der IRA für die US-amerikanische Industrie, da er nicht die dringend benötigten finanziellen Anreize oder attraktive Geschäftsmodelle bietet, um signifikante Investitionen anzuziehen [60].

In seiner Anhörung kündigte der am 01.12.2024 angetretene EU-Kommissar für Nachhaltigen Verkehr und Tourismus, Apostolos Tzitzikostas, am 04.11.2024 den Sustainable Trans-

port Investment Plan (STIP) an mit Fokus auf der Förderung von SAF als Teil seiner Investitionsstrategie. Ziel ist es, gezielte Anreize und Klarheit für Investoren zu schaffen, um die Entwicklung und den Einsatz von SAF zu beschleunigen [61]. Diese Anreize bedürfen jedoch auch einer umgehenden Prüfung und Anpassung der Delegierten Rechtsakte.

5. Anreizmechanismen für den Einsatz von SAF

Für die globale Herausforderung der THG-Emissionsreduktion hat eine große Zahl von Staaten Klimaziele formuliert, verbunden mit unterschiedlichen nationalen Strategien diese zu erreichen. Diese Regulierungen und gesetzgeberischen Maßnahmen sind nicht nur auf nationaler Ebene von Bedeutung, sondern erfordern auch ein koordiniertes Vorgehen auf internationaler Ebene, um gesamtheitlich nachhaltige Fortschritte zu erzielen.

5.1. Nationale Anreizmechanismen

Bei den mittel- und langfristigen Emissionszielen einschließlich dem Netto-Null-Ziel bis zur Mitte des Jahrhunderts gibt es weltweit große Einigkeit. Vergleichbare Zielvorgaben und Nachhaltigkeitskriterien wie die RED wurden beispielsweise im Vereinigten Königreich durch die Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) und in den Vereinigten Staaten durch den Renewable Fuel Standard (RFS) eingeführt. Demgegenüber stehen insbesondere in der Luftfahrt die Maßnahmen, die zur Erreichung dieser Ziele ergriffen und geplant worden sind. Hierbei setzt die Europäische Union mit der ReFuelEU Aviation Verordnung stark auf Regulatorik mit SAF-Beimischungsquoten, verbunden mit restriktiven Anforderungen an die beigemischten Kraftstoffe und strengen Strafen bei Nichterfüllung der Quoten. Demgegenüber steht der Ansatz in den USA, der auf Mindestquoten verzichtet und stattdessen den Fokus auf steuerliche Anreize und Förderung legt [62]. Synonym dafür wird bei den betroffenen Stakeholdern vom „stick“- (EU) oder „carrot“-Ansatz (USA) gesprochen [63, 64].

Zeitraum/Routen	Kurzfristige Ziele	Langfristige Ziele
Europäische Union	55 Prozent Emissionsreduktion gegenüber 1990 bis 2030	Nettoklimaneutralität bis 2050
Vereinigtes Königreich	81 Prozent Emissionsreduktion gegenüber 1990 bis 2035	Nettoklimaneutralität bis 2050
Vereinigte Staaten von Amerika	50-52 Prozent Emissionsreduktion gegenüber 2005 bis 2030	Nettoklimaneutralität bis 2050
China	30 Prozent Emissionsreduktion bis 2035 gegenüber erwartetem Höchstwert 2030	Nettoklimaneutralität bis 2060

Tabelle 4: Kurzfristige und langfristige Klimaziele im internationalen Vergleich [65, 66, 67, 68]

Im Folgenden wird eine Auswahl bestehender nationaler Anreizmechanismen für den Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe in der Luftfahrt betrachtet. Dabei werden die Niederlande als europäischer Vorreiter, die Jet Zero Strategy in Großbritannien sowie die auf Incentivierung fokussierten Maßnahmen in den USA beleuchtet. Ein zentrales Thema dieses Kapitels ist die Notwendigkeit, innovative regulatorische Initiativen und wirtschaftliche Anreize zu schaffen, um sowohl Hersteller als auch Fluggesellschaften zum Umstieg auf SAF zu bewegen. Darüber hinaus wird die Schaffung eines stabilen SAF-Marktes zur Erreichung der Klimaziele betont, ebenso wie die Relevanz eines synchronisierten Vorgehens zwischen den Stakeholdern, um nachhaltige Fortschritte zu erzielen. Abschließend wird die Situation in Deutschland betrachtet sowie Herausforderungen und Möglichkeiten im Hinblick auf die Produktion und den Einsatz von SAF.

5.1.1. Die Niederlande als Vorreiter beim Hochlauf der SAF-Produktion

Verschiedene Arten von SAF benötigen große Mengen an Rohstoffen, beispielsweise pflanzliche Öle, Abfallöle oder Fette für den aktuell am weitest verbreiteten HEFA-Produktionspfad. Die Niederlande verfügen über eine Vielzahl von Seehäfen, die eine direkte Anbindung an internationale Lieferketten bieten und damit den Zugang zu Rohstofflieferungen sicherstellen und vereinfachen. Außerdem bietet das Land direkten Zugang zu mehreren großen Flughäfen in Europa über die CEPS-Pipeline [69], was den sichersten, kostengünstigsten und nachhaltigsten Transport für SAF ermöglicht.

Darüber hinaus verfügen die Niederlande über ein hochentwickeltes Chemie-Cluster mit tiefgehender Expertise in Bioraffination und chemischen Prozessen, das Unternehmen im Bereich SAF entscheidende Vorteile bietet. Forschungseinrichtungen wie die Wageningen University & Research und die Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung (TNO) treiben Innovationen in der SAF-Herstellung voran, etwa durch die Nutzung neuer Rohstoffe wie Algen und landwirtschaftlicher Abfälle oder durch die Elektrifizierung chemischer Prozesse. Dies wird ergänzt durch entsprechende ambitionierte regulatorische Ziele der niederländischen Regierung, die deutlich über die Vorgaben der ReFuelEU Aviation Verordnung hinausgehen: Bis zum Jahr 2030 sollen 14 Prozent und bis 2050 100 Prozent des genutzten Flugkraftstoffs nachhaltig sein [70].

In den Niederlanden ist der Handel mit Einheiten für erneuerbare Brennstoffe (Herneuewbare Brandstof Eenheden, HBE) ein wichtiger Bestandteil der Strategie zur Förderung von erneuerbaren Energien im Transportsektor. Diese können von Unternehmen verwendet werden, um ihre jährlichen Verpflichtungen zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen zu erfüllen. Eine HBE repräsentiert 1 Gigajoule (GJ) erneuerbarer Energie, die dem niederländischen Transportmarkt bereitgestellt wird. Es gibt drei Arten von HBE:

HBE Advanced, HBE Conventional und HBE Other, wobei die Art der HBE von der eingesetzten Rohstoffquelle abhängt. Im Handelssystem der niederländischen Regierung können Unternehmen ihre Verpflichtungen kosteneffektiv erfüllen, entweder indem sie selbst erneuerbare Energie liefern oder HBEs kaufen. Der Handel mit HBEs erfolgt auf nationaler Ebene und nicht international, basierend auf den europäischen Richtlinien, die in niederländisches Recht umgesetzt wurden [71].

In der RED II sind ab 2022 verpflichtende Quoten für den Einsatz von nachhaltigen Kraftstoffen im Verkehrssektor vorgeschrieben, wobei Flugkraftstoffhersteller nicht unter diese Regelung fallen. Jedoch erlaubt das RED II-Rahmenwerk, dass z. B. der Einsatz von SAF zur Erreichung des 14 Prozent-Ziels für den Straßenverkehr beitragen kann, wobei diese

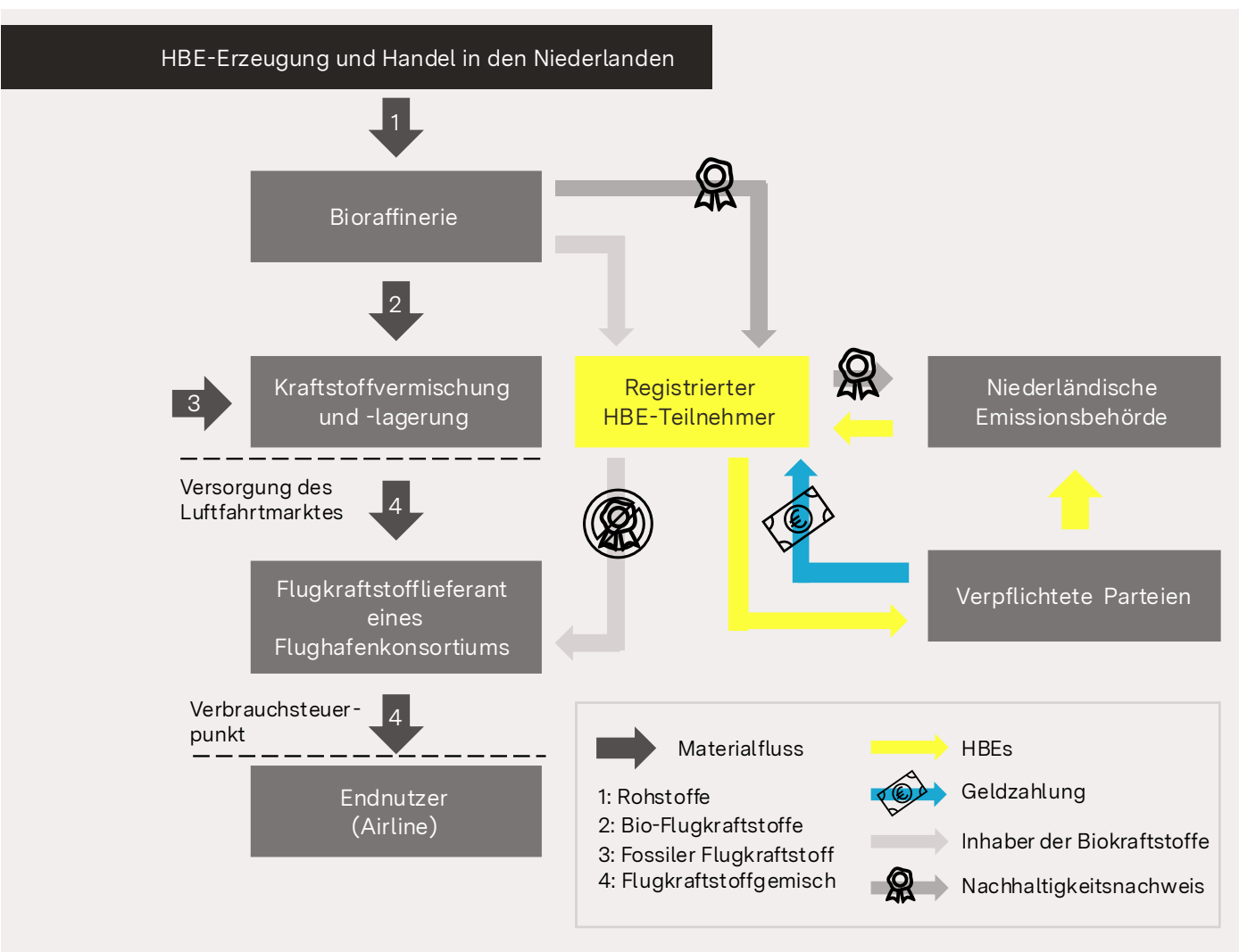


Abbildung 15: HBE-Erzeugung und -Handel in den Niederlanden [115]: Ein RED-registrierter Teilnehmer am HBE-System (Kraftstofflieferant) erhält Kraftstoff und Herkunftsnachweis von RED-zertifizierter Raffinerie, kontrolliert die Massenbilanz bei einer zertifizierten Stelle und beliefert den Luftmarkt. Kraftstofflieferungen und HBE-Handel werden von Emissionsbehörde geprüft (Liefer- und Nachhaltigkeitsnachweis) und angerechnet.

Beiträge um den Faktor 1,2 erhöht werden. In den Niederlanden wird dies durch einen freiwilligen Beitrag zum jährlichen Verpflichtungssystem umgesetzt, bekannt als "Opt-in"-Schema, das bisher innerhalb der EU nur von den Niederlanden implementiert wurde. Das Ziel der "Opt-in"-Möglichkeit ist, einen zusätzlichen Anreiz zur Nutzung erneuerbarer Energien in den maritimen und luftfahrtbezogenen Sektoren zu schaffen, da hier erhebliche Treibhausgasemissionen reduziert werden müssen. Dies hat sich bereits positiv auf die Verwendung von Biokraftstoffen in der Schifffahrt ausgewirkt. In der Praxis bedeutet dies, dass Unternehmen, die erneuerbare Energien für den maritimen Bereich oder die Luftfahrt bereitstellen, die dafür handelbaren Energieeinheiten (HBEs) erhalten können, ohne die jährlichen Verpflichtungen erfüllen zu müssen. Diese HBEs können dann von Unternehmen, die Verpflichtungen haben, genutzt werden, um die Einhaltung der jährlichen Vorgaben nachzuweisen [72].

5.1.2. Jet Zero Strategy und Revenue Certainty Mechanism (RCM) in Großbritannien

Obwohl das Vereinigte Königreich nach dem Brexit nicht mehr an die Ziele für erneuerbaren Energien der RED II gebunden ist, enthält das Handels- und Kooperationsabkommen zwischen der EU und dem Vereinigten Königreich eine Verpflichtung zur Förderung der Energieeffizienz und der Nutzung erneuerbarer Energien. Zudem wird hierin eine Bestätigung der EU-Ziele für 2030 und der britischen „Ambitionen“ für 2030 in Bezug auf erneuerbare Energien und Energieeffizienz vermerkt. Die aktuelle Politik und Regulierung im Bereich erneuerbarer Energien basiert weiterhin auf übernommenem EU-Recht und nationalen Gesetzen und somit insbesondere auf verbindlichen Verpflichtungen wie der Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2035 und dem Netto-Null-Ziel im Jahr 2050 [73].

Die Jet-Zero-Strategie des britischen Ministeriums für Verkehr verfolgt das Ziel, bis 2050 eine emissionsfreie Luftfahrt zu erreichen. Die Strategie ist gegliedert in 3 Grundprinzipien und 6 zentrale Maßnahmen, darunter der Aufbau einer britischen SAF-Industrie zur Erreichung der Emissionsziele und zur Förderung der Kraftstoffsicherheit im Vereinigten Königreich. In diesem Zusammenhang ist der Bau von mindestens fünf kommerziellen SAF-Anlagen in Großbritannien geplant sowie ein SAF-Mandat, das verpflichtet, bis 2030 mindestens 10 Prozent der totalen Flugkraftstoffe aus SAF zu beziehen. Dieser Produktionshochlauf wird durch erhebliche Investitionen und Regierungsinitiativen flankiert wie z. B. der Einsatz von 180 Millionen GBP für die Kommerzialisierung von SAF-Anlagen, bis zu 400 Millionen GBP durch eine Partnerschaft mit Breakthrough Energy Catalyst zur Stärkung privater Investitionen in grüne Technologien, sowie 165 Millionen GBP aus dem Advanced

Fuels Fund zur Unterstützung kommerzieller und Demonstrationsanlagen sowie der Einrichtung eines SAF-Clearinghouse zur Finanzierung frühzeitiger Kraftstofftests und innovativer Projekte [74].

Dabei spielt die Renewable Transport Fuel Obligation (RTFO) zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Kraftstoffe im Verkehr eine zentrale Rolle. Um den RTFO-Verpflichtungen nachzukommen, erhalten die Kraftstoffanbieter Renewable Transport Fuel Certificates (RTFCs), die als Nachweis für die Einhaltung der Biokraftstoffanteile fungieren und die anschließend gehandelt werden können [75]. Wiederverwertete kohlenstoffhaltige Kraftstoffe (recycled carbon fuels, RCFs) spielen eine entscheidende Rolle bei der Unterstützung der Ziele der Dekarbonisierung im Verkehrssektor und sollen daher im Rahmen von Jet Zero in die RTFO integriert werden [76].

Vereinfachte Darstellung des RTFC-Handelssystems

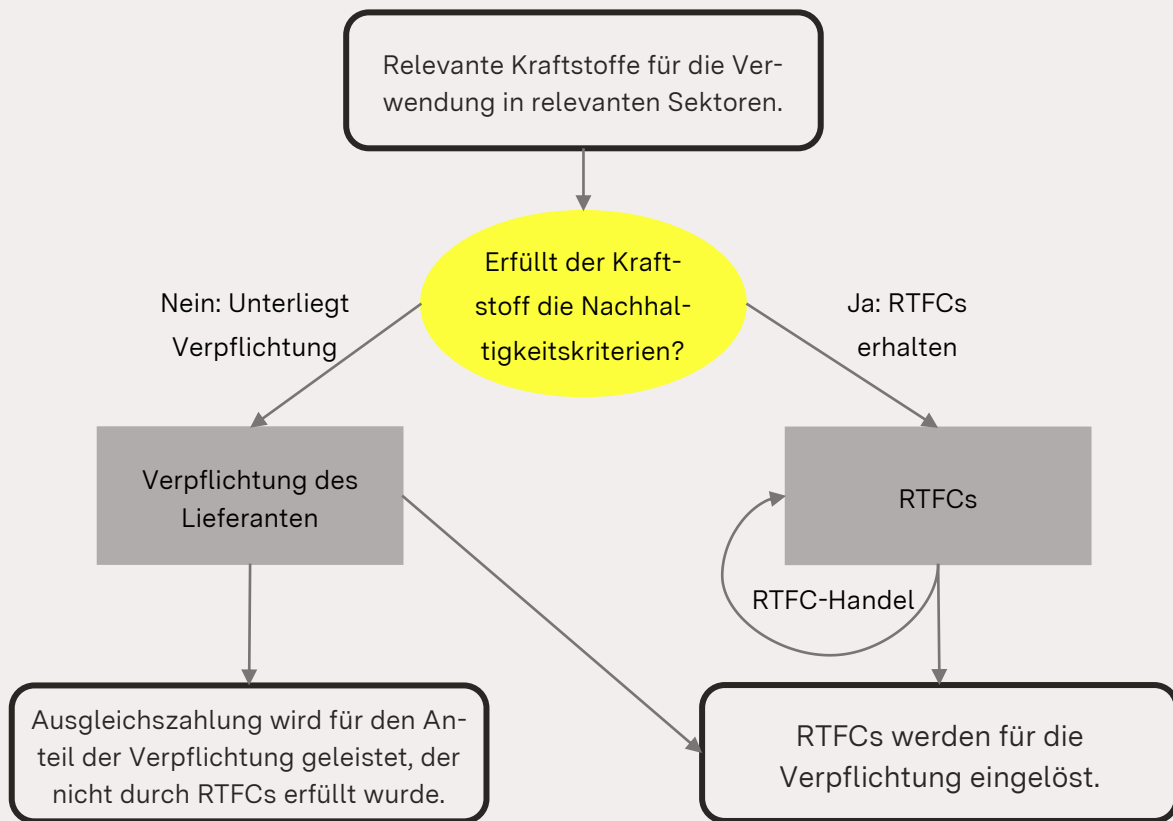


Abbildung 16: Vereinfachte Darstellung des RTFC-Handels aus [75]: Hersteller beantragt RTFC für hergestellte Kraftstoff. Falls bewilligt, kann das RTFC gehandelt werden, z. B. Hersteller von fossilem Kerosin kaufen von reinen SAF-Herstellern um Klimaziele zu erreichen.

Als zentrale Plattform für die Zusammenarbeit zwischen Regierung, Industrie und akademischen Institutionen wird der Jet Zero Council eingerichtet. Dieser wird gemeinsam vom Transport- und Wirtschaftsministerium geleitet und besteht aus Vertretern aus Industrie, Regierung sowie Experten aus der Luftfahrtindustrie und Wissenschaft. Seine Aufgabe ist es u.a., die Entwicklung von SAF-Produktionseinrichtungen im Vereinigten Königreich zu beschleunigen, SAF effektiv auf den Markt zu bringen und die SAF-Nutzung im Luftverkehr zu erhöhen [77].

Am 25. April 2024 kündigte die britische Regierung das UK SAF Mandat an, das am 1. Januar 2025 nach der parlamentarischen Prüfung in Kraft treten soll. Das Mandat setzt steigende Ziele für den Einsatz von SAF durch Anbieter von Luftfahrtkraftstoff, beginnend mit einer Anforderung von 2 Prozent SAF im Jet-Kraftstoff bis 2025, steigend auf 10 Prozent bis 2030 und 22 Prozent bis 2040. Zusätzlich wird ein handelbares Zertifikatsystem eingeführt, das Anbieter auf Grundlage von Treibhausgasreduktionen durch ihren SAF belohnt,

während Fluggesellschaften durch die Einhaltung des britischen Emissionshandelssystems (UK ETS) betroffen sind. Während die Schwelle des UK SAF Mandats weniger streng als die der ReFuelEU Aviation Verordnung ist, erleichtert sie den Import von in den USA produziertem SAF. Ab 2027 wird eine Obergrenze für durch die HEFA-Methode produzierten SAF eingeführt, um Investitionen beispielsweise in nicht-HEFA- oder PtL-Herstellungspfade zu fördern. Eine neue Verpflichtung für PtL-Kraftstoffe wird ebenfalls ab 2028 in Kraft treten und schrittweise erhöht werden [78].

	GSP (Guaranteed Strike Price) – garantierter Grundpreis	BOLR (Buyer of Last Resort) - Kreditgeber letzter Instanz
Pro	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Höchstes Vertrauen für Investoren ▪ Erfolgreicher Vorgänger im Bereich erneuerbare Energien ▪ Privatrechtlicher Vertrag, der Ausrichtung des Mechanismus auf lokale Produzenten ermöglicht ▪ Finanzierung via Industrie bietet Kostensicherheit für die Branche ▪ Da der Mechanismus auf den Kraftstoff anwendbar ist, bietet er ein höheres Maß an Sicherheit für zukünftige Cashflows 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Hohes Maß an Preissicherheit ▪ Privatrechtlicher Vertrag, der Ausrichtung des Mechanismus auf lokale Produzenten ermöglicht ▪ Geringeres Risiko für Unterzeichner des Programms, da der Mindestpreis unter dem GSP-Strike-Preis liegt
Kontra	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfordert primärgesetzliche Anpassung ▪ Komplexer Vergabeprozess ▪ Festlegung von Strike- und Referenzpreisen sowie Preisfindung kompliziert 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weniger Sicherheit als GSP, da es nur auf SAF-Zertifikate anwendbar ist ▪ Erfordert primärgesetzliche Anpassung ▪ Komplexer Vergabeprozess ▪ Festlegung von Strike- und Referenzpreisen sowie Preisfindung kompliziert

Tabelle 5: Abwägung verschiedener Umsetzungen eines Revenue Certainty Mechanism (RCM): Gegenüberstellung der Einnahmensicherungsmechanismen GSP und BOLR [79]

Das SAF-Mandat enthält eine Ausstiegsmöglichkeit für Anbieter, die ihre Verpflichtungen nicht erfüllen können, sowie den Vorschlag für einen RCM, der Investitionen in die heimische SAF-Produktion fördern soll. Die britische Regierung prüft verschiedene Optionen, einschließlich garantierter Grundpreise (Guaranteed Strike Price, GSP) und eines "Buyer-

of-last-resort"-Prinzips (BOLR), um sicherzustellen, dass SAF trotz der aktuellen hohen Kosten im Vergleich zu herkömmlichen Flugkraftstoffen wirtschaftlich tragbar bleibt. Mit einer Überprüfung des SAF-Mandats, die für Januar 2030 geplant ist, und laufenden Konsultationen zu Umsatzmechanismen passt die britische Regierung weiterhin ihre Politik an, um die Emissionsreduktion mit den finanziellen Auswirkungen auf Verbraucher und die Luftfahrtindustrie in Einklang zu bringen [80].

5.1.3. Fueling Aviation's Sustainable Transition in den USA

Mit ihrem **Aviation Climate Action Plan 2021** verfolgen die Vereinigten Staaten das Ziel, die Treibhausgasemissionen des US-Luftfahrtsektors bis 2050 auf netto null zu reduzieren. Dabei wird auf einen ganzheitlichen Ansatz mit einer engen Zusammenarbeit zwischen Luftfahrtbranche, Herstellern, Flughäfen, Energieunternehmen und verschiedenen Regierungsebenen gesetzt. Im Rahmen dieses Plans wird eine Kombination aus verschiede-

Sustainable Aviation Fuel Strategie der FAA



Abbildung 17: FAST Grants als Teil der US-SAF-Strategie [116]

denen Maßnahmen angestrebt, von denen die Produktion und der Einsatz von SAF sowie die Untersuchung, ob und wie es in ausreichender Menge bereitgestellt werden kann, eine

herausgehobene Rolle spielt [81]. Ein zentrales Element des Plans ist die **SAF Grand Challenge**, die 2022 den Hochlauf der SAF-Jahresproduktion auf 3 Milliarden Gallonen³ bis 2030 und 35 Milliarden Gallonen bis 2050 als Ziel ausgegeben hat, verbunden mit einer Reduktion der Treibhausgasemissionen von 50 Prozent (2030) bzw. 100 Prozent (2050) im Vergleich zu fossilem Kerosin [82]. Bisher liegen keine Informationen vor, wie das Thema unter der Administration von Donald Trump ab 2025 weiterverfolgt wird.

Der Fokus für den Hochlauf bis 2030 liegt bei bereits kommerziell verfügbaren Rohstoffen und Produktionspfaden (in erster Linie HEFA, mittelfristig auch AtJ). Ein wesentlicher Impuls hierfür ist das Fueling Aviation's Sustainable Transition (FAST) Grant Program im Rahmen des Inflation Reduction Acts von 2022 (Section 40007), das eine Förderung der SAF-Produktion vorsieht in Form von Steuervergünstigungen für das Mischen und Produzieren von SAF sowie einen 290-Millionen-Dollar-Förderfonds für SAF-bezogene Projekte [83, 84]. Eine weitere Maßnahme ist der SAF Credit, der vom Finanzministerium und der Bundessteuerbehörde der Vereinigten Staaten (Internal Revenue Service, IRS) verwaltet wird und in den Kalenderjahren 2023 und 2024 für SAF gilt, für das eine THG-Emissionsreduktion von mind. 50 Prozent nachgewiesen werden kann. Er beträgt 1,25\$ pro Gallone SAF plus 1 Cent für jeden Prozentpunkt Emissionseinsparung über die avisierten 50 Prozent hinaus, also maximal 1,75\$ [85]. Für die Erreichung der Ziele für 2050 sind fortlaufende Innovationen in Forschung, Entwicklung und Demonstration neuer Technologien für Rohstoffe und Umwandlung vorgesehen, um nach 2030 Produktionskapazitäten, Emissionsreduktionen und Kosteneffizienz drastisch zu steigern und eine breite Palette von Technologien wie Alkohol-, Abfall-, Lignozellulosebasierte und CO₂-Rückgewinnungspfade auszubauen [86].

In den USA spielt der Renewable Fuel Standard 2 (RFS2) eine zentrale Rolle als regulatorisches Instrument für erneuerbare Kraftstoffe, ähnlich den Nachhaltigkeitsstandards, die durch die Renewable Energy Directive (RED) in der EU definiert werden. Der RFS2 legt verbindliche Vorgaben für die Beimischung erneuerbarer Kraftstoffe fest und kann, obwohl primär auf den Straßenverkehr ausgerichtet, auch Einfluss auf den Luftverkehrssektor ausüben. Die jährlichen Ziele des RFS2 werden in Volumenprozentsätzen angegeben und unter den in den USA ansässigen Raffinerien, Mischbetrieben und Importeuren verteilt, um ihre Verpflichtungen zur Menge erneuerbarer Kraftstoffe zu bestimmen [87]. Darüber hinaus gilt beispielsweise im Bundesstaat Kalifornien der Low Carbon Fuel Standard (LCFS),

³ Umrechnung US-Gallone: 1 gal = 3,785 l

der im Gegensatz zum RFS keine Volumen- sondern Emissionsziele in CO₂-Äquivalenten formuliert [88].

Zur Erleichterung der Einhaltung dieser Vorgaben kommen die Renewable Identification Numbers (RINs) zum Einsatz, die als handelbare Zertifikate fungieren. Diese RINs dienen als Nachweis über die Herkunft und den Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen und werden in Höhe von einem RIN pro Gallone ausgestelltem Treibstoff vergeben. Unternehmen, die SAF verwenden und dabei die RFS-Anforderungen erfüllen, können entsprechende RINs generieren. Die Menge der benötigten RINs hängt dabei von der Menge an SAF ab, die ein Unternehmen in Übereinstimmung mit den RFS2-Vorgaben nutzt. Wenn ein Unternehmen mehr SAF verwendet als erforderlich, hat es die Möglichkeit, überschüssige RINs zu verkaufen. Dieses System ermöglicht es den Unternehmen, ihre Verpflichtungen flexibel zu gestalten und fördert den Handel mit RINs zwischen Unternehmen, die wiederum dadurch die weitere Möglichkeit haben, ihre gesetzlichen Vorgaben zu erfüllen [89].

Sowohl die RED II als auch der RFS2 erkennen SAF als nachhaltigen Flugkraftstoff an, der dazu beiträgt, die Klimaziele zu erreichen. Ein wesentlicher Unterschied ist dagegen die Formulierung der Quotenverpflichtungen: Einerseits erlaubt die RED II ein breiteres Spektrum an erneuerbaren Energien, während der RFS2 spezifische, quantifizierbare Ziele verfolgt, die einen stärkeren Fokus auf die Erfüllung von Quoten für bestimmte Biokraftstoff-Kategorien legen. Andererseits beinhaltet die RED II spezifischere und strengere Vorgaben zur Erreichung der Ziele während der RFS2 durch flexiblere Standards den Herstellern mehr Möglichkeiten bietet, um ihre Quoten zu erreichen und den Markt dynamischer zu gestalten. Ein weiterer Unterschied besteht auch in der Handhabung von Co-Produkten. Die RED II allokiert die Emissionen auf Basis des Energiegehalts, während der RFS2 ein System der Erweiterung (Displacement-Methode) verwendet, was zu unterschiedlichen Berechnungsmethoden der Treibhausgasemissionen führt [90, 19].

5.2. Lokale Anreizsysteme

Abschließend soll noch die Möglichkeit lokaler Anreize beleuchtet werden. Durch den Flexibilitätmechanismus wäre dies unabhängig von der physischen SAF-Vertankung vor Ort und damit der lokalen SAF-Verfügbarkeit möglich. Dazu werden exemplarisch die Flughäfen Schiphol und Heathrow sowie die von Swedavia AB betriebenen Flughäfen Stockholm und Göteborg betrachtet und die wesentlichen Ergebnisse aus [91].

5.2.1. Amsterdam Schiphol

Die Schiphol Group setzt sich aktiv für die Förderung nachhaltiger Luftfahrt durch den Einsatz von SAF ein. Zwischen 2022 und 2024 stellt der Amsterdam Airport Schiphol dafür 15 Millionen Euro bereit, um Airlines Anreize zur Nutzung von SAF zu bieten. Ziel ist es, die Kohlenstoffemissionen der niederländischen Luftfahrtindustrie bis 2030 auf das Niveau von 2005 oder tiefer zu senken. Die Kooperation mit Neste und KLM hat bereits zu kontinuierlichen Lieferungen von SAF geführt, und eine Partnerschaft mit weiteren Unternehmen zielt auf die Entwicklung einer SAF-Produktionsanlage in Amsterdam ab.

Das Programm erlaubt es Airlines, 500 Euro pro vertankte (metrische) Tonne SAF und 1.000 Euro für synthetisches Kerosin zu erhalten, wobei der SAF in Europa produziert werden und eine Treibhausgasreduktion von mindestens 70 Prozent erzielt werden muss. Airlines müssen ihre prognostizierte SAF-Menge bis zum 1. April melden und bis zum 1. Oktober aktualisieren. Wenn die geschätzte Menge die Fördermittel übersteigt, wird die Unterstützung anteilig verteilt [92].

Das Programm wird als erfolgreich angesehen, da im Jahr 2022 bereits 5.000 Tonnen SAF subventioniert wurden, was fast 25 Prozent des am Flughafen gelieferten SAF entspricht. Im Jahr 2023 wurden sogar 12.500 Tonnen SAF subventioniert, mehr als doppelt so viel wie im Vorjahr. Mehr als 10 Airlines haben Interesse an dem Programm gezeigt. Zusätzlich arbeiten die Schiphol Group und ihre Partner im EU TULIPS-Projekt daran, neue Versorgungswege für E-Fuels zu entwickeln und möglicherweise SAF-Anreize an anderen europäischen Flughäfen einzuführen. Im Jahr 2022 wurden insgesamt 20.000 Tonnen SAF am Flughafen Amsterdam bereitgestellt, was den Zielen der Vereinten Nationen für nachhaltige Entwicklung entspricht [93].

5.2.2. London Heathrow

Der Flughafen London Heathrow, betrieben von Heathrow Airport Holdings Ltd, war 2023 mit über 470.000 Flugbewegungen und 79,2 Millionen Passagieren der größte Flughafen Europas und der viertgrößte weltweit [94]. Das Unternehmen verfolgt ehrgeizige Klimaziele, u.a. mit einem seit 2022 wirksamen SAF-Förderprogramm, das etwa 50 Prozent der Preisunterschiede zwischen SAF und fossilem Kerosin abdecken und dadurch den Airlines eine wirtschaftliche Nutzung von SAF ermöglichen sollte. Im Wesentlichen erhalten Airlines für die Lieferung und Vertankung von SAF am Flughafen Heathrow SAF-Credits im Wert von 920 Britische Pfund multipliziert mit dem Anteil SAF im Kraftstoff (mind. 50 Prozent). Die Förderziele von 0,5 Prozent bzw. 1,5 Prozent SAF-Anteil am vertankten Flugkraftstoff wurden in den Jahren 2022 und 2023 erreicht [95].

Für 2024 standen den Airlines insgesamt 71 Millionen GBP zur Verfügung, um den Einsatz von bis zu 2,5 Prozent SAF zu fördern, was einer Menge von etwa 155.000 Tonnen entspricht. Für das Jahr 2025 wird das Programm aufgestockt auf 86 Millionen GBP für den Einsatz von bis zu 3 Prozent SAF. Ein ähnliches Programm gilt für Frachtairlines: Der Cargo SAF Incentive Fördertopf bietet dabei eine maximale Zuteilung von 0,32 Millionen GBP für das Jahr 2025. Heathrow plant die Nutzung von SAF bis 2030 auf 11 Prozent zu steigern, was das von der britischen Regierung vorgegebene UK SAF Mandat übertrifft. Hierfür wird allerdings eine weniger restriktive Obergrenze für den Einsatz von auf dem HEFA-Produktionspfad gewonnenem SAF gefordert [96].

5.2.3. Swedavia AB - Anreize an den Flughäfen Stockholm und Göteborg

Das schwedische Unternehmen Swedavia AB, das eine Reihe von Flughäfen im Land betreibt, hat als Ziel eine Quote von 5 Prozent erneuerbare Quellen für die Herkunft der an seinen Flughäfen genutzten Flugkraftstoffe bis 2025 ausgegeben. Ein zentraler Bestandteil dabei ist dabei das Anreizprogramm zur SAF-Förderung, im Rahmen dessen bis zu 50 Prozent der SAF-Prämienkosten für genehmigte Anträge abdeckt, mit einer Förderungsspanne zwischen 125.000 Schwedischen Kronen (SEK) und 6 Millionen SEK pro Fluggesellschaft. Die Gesamtmittel für 2022 beliefen sich auf 20 Millionen SEK, wobei nur Mengen gefördert werden, die über die nationalen Emissionsminderungsanforderungen hinausgehen. Dieses Programm basiert auf dynamischen Preisunterschieden zwischen SAF und fossilen Kraftstoffen und stellt sicher, dass SAF nachhaltig bezogen wird.

Neben der direkten Förderung hat Swedavia ein innovatives Modell für die CO₂-Emissionsgebührenmodulation eingeführt. Dieses System berücksichtigt den SAF-Einsatz bei Flügen nach/von Stockholm Arlanda und Göteborg Landvetter und belohnt Fluggesellschaften mit einem Bonus für emissionsärmeren Betrieb. Basierend auf Flugzeug- und Motorzertifizierungen aus der ICAO-Datenbank wird für jeden Flug eine spezifische Gebühr berechnet. SAF-Einsätze können die Gebühren deutlich senken, wie das Beispiel eines mit 20 Prozent SAF betriebenen Airbus A320 zeigt, bei dem ein Vorteil von rund 526 SEK entsteht. Dieses Modell ist besonders attraktiv für Kurzstreckenflüge, da hier die prozentuale SAF-Nutzung effektiver in Emissionsvorteile umgewandelt wird, während Langstreckenflüge größere Mengen SAF erfordern würden, um den gleichen Anteil zu erreichen.

Swedavia verfolgt mit diesem komplexen, aber kostenneutralen Mechanismus klare Ziele: Die intelligente Verteilung von SAF auf emissionsintensive Flugzeugtypen und Strecken sowie eine umfassende Berücksichtigung der Scope-3-Emissionen in den eigenen Nachhaltigkeitsberichten. Die Reduzierung von Emissionen im Start- und Landezyklus ist nicht nur ein wichtiger Schritt zur Verbesserung der Umweltbilanz, sondern auch eine Strategie,

um die Nachhaltigkeitsbestrebungen transparenter zu kommunizieren. Angesichts der Tatsache, dass die luftverkehrsbedingten Scope-3-Emissionen die eigenen Scope-1-Emissionen des Unternehmens bei weitem übersteigen, ist Swedavias Ansatz ein Modell dafür, wie Flughäfen aktiv zur Emissionsminderung beitragen können.

Jahr	Luftverkehr	Bodenverkehr	Swedavia	Gesamt
2021	82	30	0	112
2020	77	31	0,05	109

Tabelle 6: CO₂-Fußabdruck in ktCO₂ am Flughafen Stockholm-Arlanda.

5.3. Situation in Deutschland

In Deutschland wird die Renewable Energy Directive im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) umgesetzt. Die praktischen und technischen Einzelheiten werden in den Bundes-Immissionsschutzverordnungen (BImSchV) festgelegt, während im BImSchG nur grundsätzliche Anforderungen definiert werden. Die 38. BImSchV („Verordnung zur Festlegung weiterer Bestimmungen zur Treibhausgas-minderung bei Kraftstoffen“) dient unter anderem der Umsetzung der RED II Richtlinie der EU. In §13b Absatz 1 wird ab dem Jahr 2023 der Einsatz von Rohstoffen mit hohem Risiko indirekter Landnutzungsänderung zur Produktion von Biokraftstoffen verboten. Damit dürfen in Deutschland keine Biokraftstoffe, insbesondere kein SAF, mit oder aus Palmöl produziert oder verkauft werden.

5.3.1. Fehlende Umsetzung der ReFuelEU Aviation Verordnung

In der ReFuelEU Aviation Verordnung werden in Art. 3, Abs. 1 Nr. 1 & 3 nach klaren quantitativen Kriterien die betroffenen Flughäfen der Union und, darauf aufbauend, die betroffenen Fluggesellschaften definiert und benannt. Darüber hinaus bietet Art. 2 die Möglichkeit der Aufnahme weiterer Flughäfen und Fluggesellschaften durch die betroffenen Stakeholder selbst oder durch den entsprechenden Mitgliedstaat, in dessen Hoheitsgebiet der Flughafen bzw. in dessen Verantwortung die Fluggesellschaft fällt. Die Definition von Flugkraftstoffanbietern hingegen wird im Wesentlichen den Mitgliedstaaten überlassen (Art. 3, Abs. 1, Nr. 19 ReFuelEU Aviation und Art. 2, Abs. 2, Nr. 38 RED II). Ferner obliegt es nach Art. 11 den Mitgliedstaaten, die Behörde zu benennen, die für die Durchsetzung der Anwendung dieser Verordnung und damit auch für die Verhängung von Bußgeldern zuständig ist.

Diese Entscheidungen sind in Deutschland zum jetzigen Zeitpunkt noch offen. Eine nahe-
 liegende Charakterisierung der Flugkraftstoffanbieter wären Inverkehrbringer von Kraft-
 stoffen im Sinne von §37a, Nr. 1-3, BImSchG als Steuerschuldner im Sinne des EnergieStG.
 Auf der anderen Seite wird diese Definition insbesondere von Fluggesellschaften kritisch
 gesehen, da sie je nach Flughafen nicht die Mineralölunternehmen als Hersteller von Flug-
 kraftstoffen, sondern stattdessen die Fluggesellschaften zur Erfüllung der Quoten ver-
 pflichtet.

5.3.2. Nationale PtL-Beimischungsquote

Darüber hinaus legt §37a BImSchG ebenfalls Mindestquoten fest und geht dabei mit einer
 PtL-Beimischungsquote von 0,5 Prozent bereits im Jahr 2026 deutlich über die Forderun-

PtL-Mindestquoten in BImSchG und RFEUA

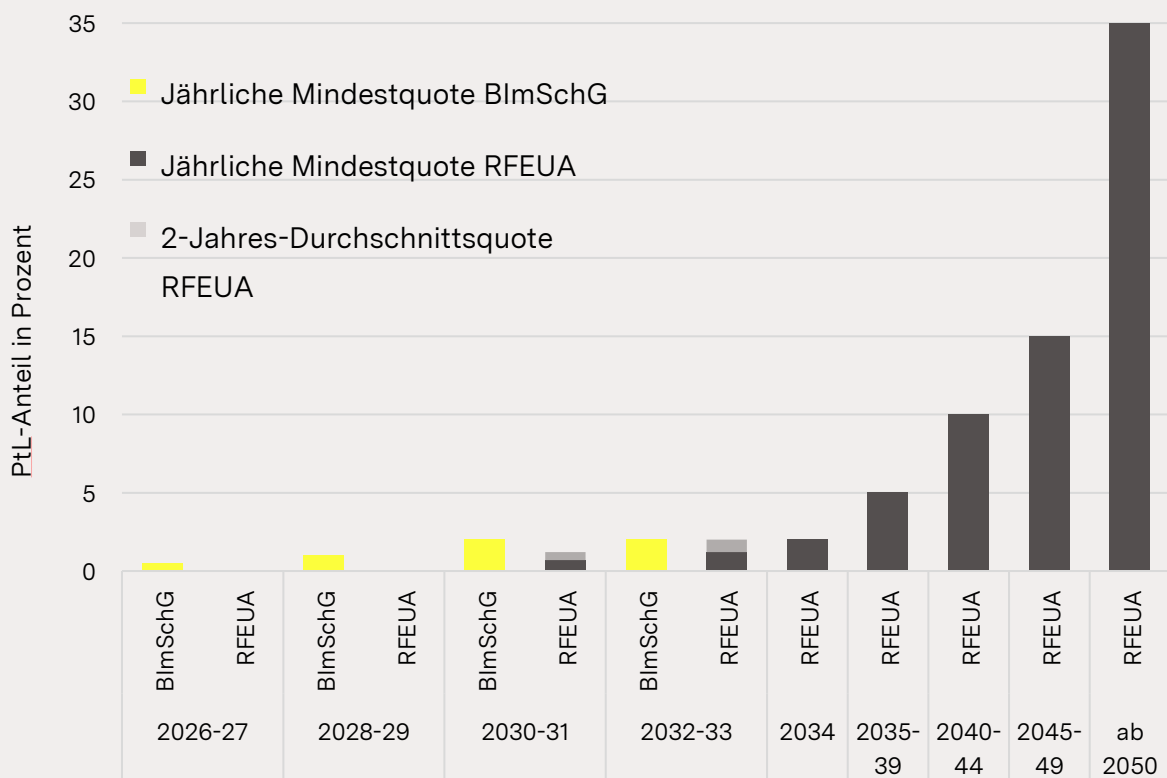


Abbildung 18: Entwicklung der PtL-Beimischungsquoten in Deutschland (BImSchG) und in der EU (RFEUA)

gen in der ReFuelEU Aviation Verordnung hinaus.

Insbesondere diese Beimischungsquote von nicht-biogenem SAF (siehe Abbildung 18) wird aufgrund mangelnder Verfügbarkeit vom Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) und allen befragten Fluggesellschaften als unrealistisch abgelehnt [97]. Es wird im Gegenteil gemäß Erwägungsgrund 72 der RED III, wonach spezifische Verpflichtungen für Flugzeugtreibstoffanbieter nur im Einklang mit der ReFuelEU Aviation Verordnung auferlegt werden sollten, erwartet, dass diese Quote durch die in der RFEUA festgelegte ersetzt wird. Andernfalls müssten die damit verbundenen Strafzahlungen als erhöhte Kraftstoffkosten eingepreist werden. Für die Bestimmung der Kraftstoffanbieter könnte die Charakterisierung via Energiesteuergesetz nach §37a BImSchG übernommen werden. Auch hier würde eine baldige Klärung notwendige Rechtssicherheit liefern. Ein dahingehender Kabinettsbeschluss im Dezember 2024 wurde bis nach der Wahl vertagt. In dem im Mai 2025 unterzeichneten Koalitionsvertrag der Bundesregierung ist die Abschaffung angekündigt.

5.3.3. Investitionsförderung für den Markthochlauf – Vorbild H2Global

Aktuell stehen die hohen Investitionsrisiken beim Bau von Produktionsanlagen gleichzeitig fehlenden (langfristigen) Abnehmern zu stabilen Preisen und einer hohen regulatorischen Unsicherheit gegenüber. Insbesondere für First Mover bestehen somit Nachteile. Die Unterstützung des Hochlaufs der (lokalen) SAF-Produktionskapazitäten muss die finanzielle Absicherung der First Mover von SAF-Projekten berücksichtigen: Treibstoffverträge in der Luftfahrt sind in aller Regel kurz, für die Finanzierungswürdigkeit von Großprojekten wie einer SAF-Produktionsanlage wären allerdings Abnahmeverträge von 15 Jahren und länger notwendig. Hier könnte die öffentliche Hand den Investoren notwendige Sicherheit geben, indem Investment und Rendite abgesichert und im Gegenzug darüber hinaus gehende Gewinne abgeschöpft werden.

Dabei könnte der Doppelauktionsmechanismus des nationalen Förderinstruments „H2Global“ als Vorbild dienen [98] [99]. Eine entsprechende Pilotauktion des BMWK für den Markthochlauf synthetischer Flugkraftstoffe (PtL) fand Mitte 2024 statt, endete jedoch ohne Bieter [100]. Hauptgründe dafür waren einerseits regulatorische Unsicherheiten hinsichtlich der Interpretation der delegierten Rechtsakte zur RED II z. B. mit Blick auf die Einfuhr von Wasserstoffderivaten aber auch die THG-Bilanzierung des Kohlenstoffs, die die Marktfähigkeit einer solchen Anlage stark erschwert hätte. Andererseits führten zu geringe angebotene Vertragsgröße und -laufzeit, die als nicht mit den praktischen Erfordernissen des Aufbaus einer neuen e-SAF-Anlage kompatibel erachtet wurden, zum Rückzug der Angebote [100, 101].

6. Stakeholdereinblicke – Herausforderungen und Chancen beim Einsatz von SAF

Im Folgenden werden die Herausforderungen und Anliegen, die in den Befragungen der Stakeholder (u.a. Kraftstoffhersteller, Fluggesellschaften und Flughafenbetreiber) aufgenommen wurden, zusammengefasst und analysiert. Ein zentrales Anliegen ist die Notwendigkeit, neben reinen Mandaten im Rahmen der ReFuelEU Aviation vor allem auch die Verfügbarkeit und Kostensenkung nachhaltiger Flugkraftstoffe (SAF) zu unterstützen. Darüber hinaus wird auf die Bedeutung von regulatorischen Rahmenbedingungen, Rechtssicherheit und Offenheit bei Produktion und Rohstoffen in einer initialen Marktphase hingewiesen, die es den Stakeholdern ermöglichen, effizientere Lösungen zu entwickeln und die Marktentwicklung voranzutreiben. Konkrete Herausforderungen an Flughäfen in Baden-Württemberg im Vergleich zu (inter-)nationalen Konkurrenten werden diskutiert. Das Kapitel startet zunächst mit einer Übersicht der Luftfahrt und relevanten Stakeholder in

Kategorisierung der Flughäfen und Landeplätze Baden-Württembergs

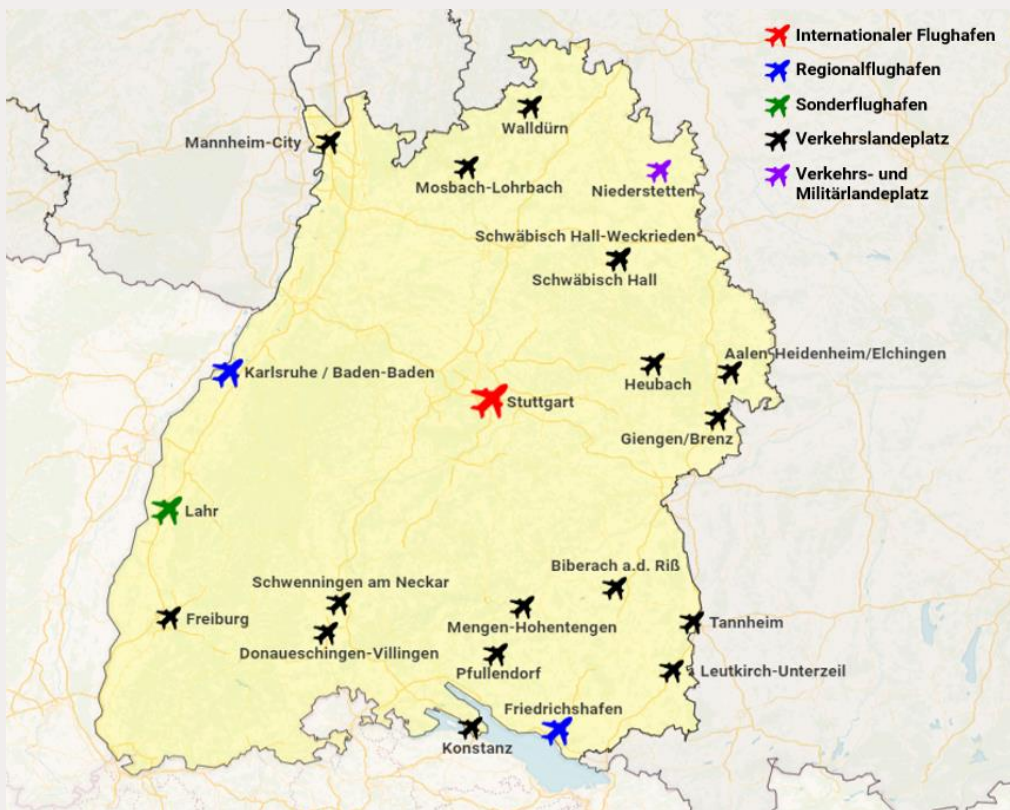


Abbildung 19: Kategorisierung und Lage der relevantesten Flughäfen Baden-Württembergs nach den Klassen internationaler Flughafen, Regionalflughafen, Sonderflughafen, Verkehrslandeplatz sowie Verkehrs- und Militärlandeplatz (Eigene Darstellung mit Koordinaten von [126])

6.1. Stakeholder in Baden-Württemberg

Im Rahmen der ReFuelEU Aviation Verordnung sind die Flughäfen Stuttgart und Karlsruhe/Baden-Baden mit einem Passagieraufkommen von über 800.000 Personen als Flughäfen der Union von der Verordnung betroffen. Abbildung 23 zeigt die Flugbewegungen der entsprechend ebenfalls unter die Verordnung fallenden Fluggesellschaften [56]. Relevante Flugkraftstoffanbieter in der Region sind Shell, Neste, Air bp und TotalEnergies.

6.1.1. Flughäfen und Landeplätze

Baden-Württemberg verfügt über drei größere Verkehrsflughäfen: Den Landesflughafen Stuttgart (STR), sowie die beiden Verkehrsflughäfen Karlsruhe/Baden-Baden (FKB) und Friedrichshafen (FDH). Alle drei Verkehrsflughäfen werden von einer Vielzahl internationaler Fluggesellschaften genutzt. Während die Kraftstoffbetankung an den Flughäfen Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen über ein Agenturmodell durchgeführt wird, wird

Entwicklung des Passagieraufkommens der größten Verkehrsflughäfen BWs

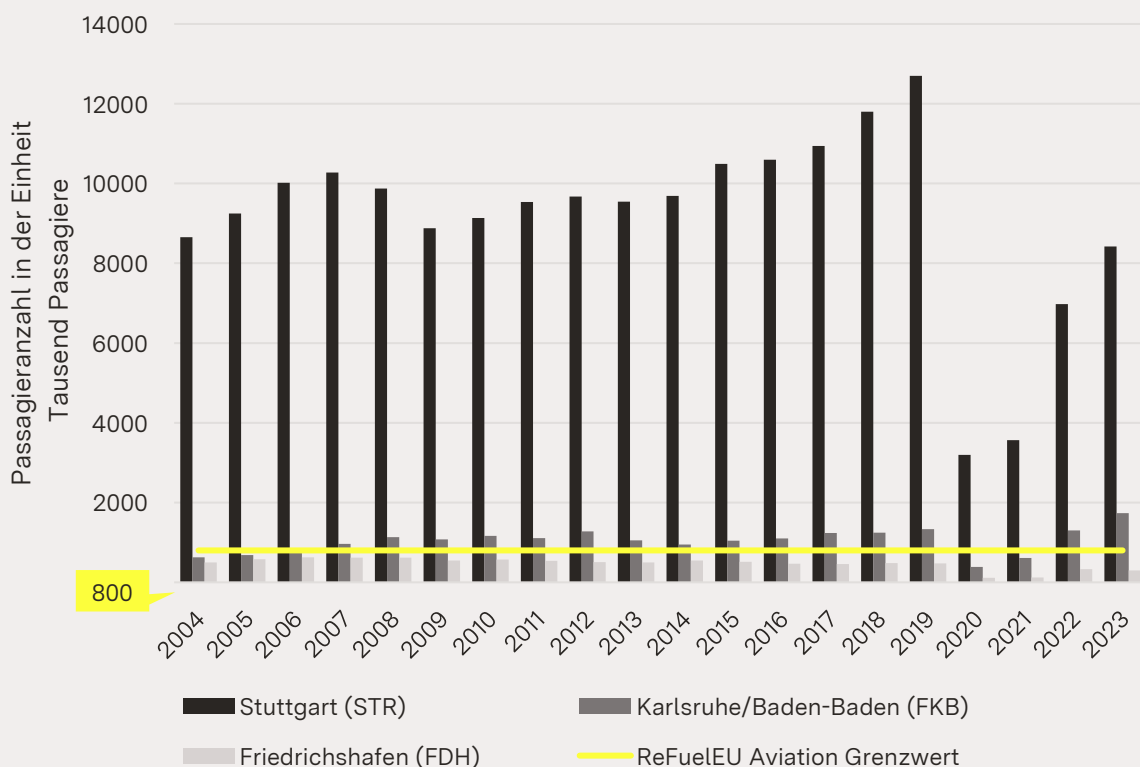


Abbildung 20: Entwicklung des Passagieraufkommens an den drei größten Verkehrsflughäfen Baden-Württembergs Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen zwischen 2004 und 2023 nach [102]. Als gelbe Linie eingezeichnet ist die Einsatzschwelle der RFEUA.

die Betankung am Flughafen Stuttgart durch das externe Unternehmen Skytanking übernommen. Stand Juni 2025 wird an keinem der drei Verkehrsflughäfen dauerhaft SAF zur Verfügung gestellt. Darüber hinaus sind in der Region 18 weitere Verkehrslandeplätze vorhanden, unter denen der Flugplatz Mannheim City das größte Passagieraufkommen aufweist. Abbildung 19 zeigt die Standorte der verschiedenen Flughäfen und Verkehrsplätze.

Mit einem Gesamt-Passagiervolumen von 8.438.084 Personen im Jahr 2023 ist der Flughafen Stuttgart der siebtgrößte Flughafen Deutschlands. Der Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden verzeichnete für das Jahr 2023 ein Gesamt-Passagieraufkommen von 1.733.051 Personen und ist damit gegenüber 2019 um etwa 30 Prozent gewachsen. In Art. 3, Abs. 1, Nr. 1 ReFuelEU Aviation wird eine Schwelle von jährlich 800.000 Passagieren oder Beförderung von 100 Kilotonnen Fracht genannt, so dass beide Flughäfen von der Verordnung betroffen sind. Mit 314.953 Passagieren im Jahr 2023 und einem im Sinne der Verordnung vernachlässigbar kleinem Cargo-Volumen ist der nächstgrößere Flughafen Friedrichshafen aktuell nicht von der Verordnung betroffen [102]. Der Mindestwert für die Frachtbeförderung wird dagegen von keinem Flughafen in Baden-Württemberg überschritten.

Die detaillierte Entwicklung des Passagieraufkommens der Flughäfen STR, FKB und FDH befindet sich in Abbildung 20. Neben dem Schwellenwert der ReFuelEU Aviation Verord-

Entwicklung des Frachtgutaufkommens der größten Verkehrsflughäfen Baden-Württembergs

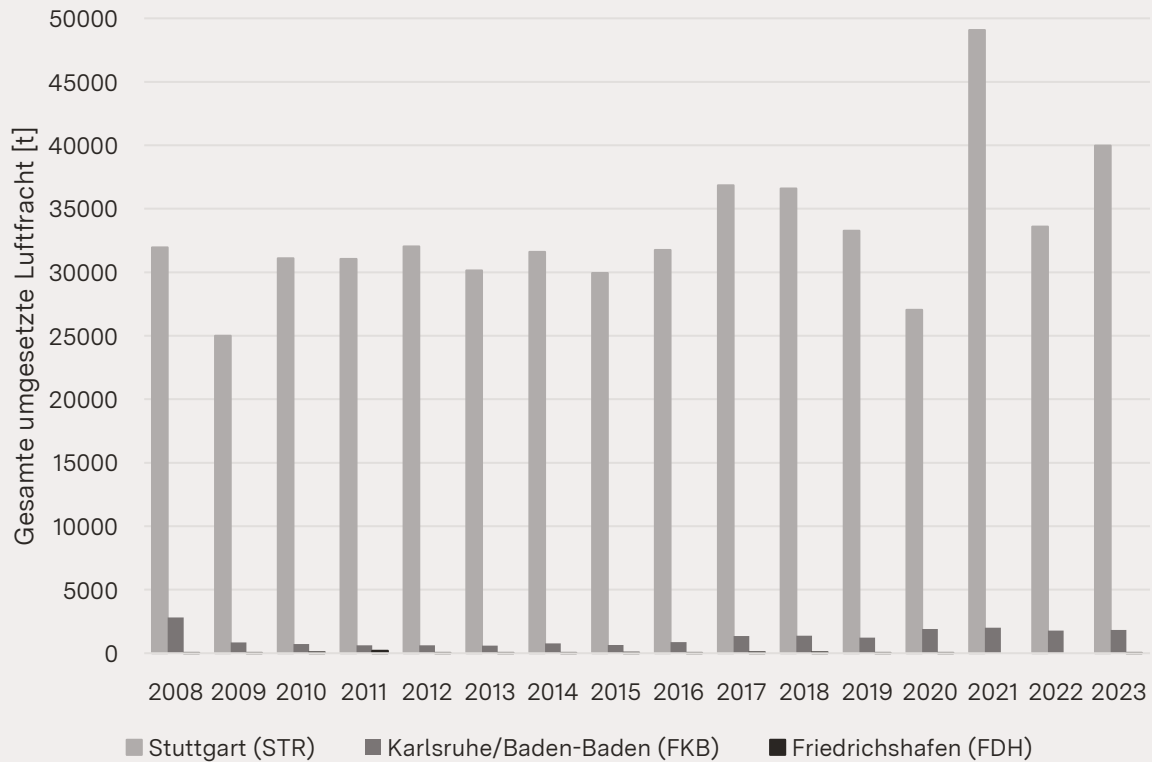


Abbildung 21: Entwicklung des Frachtgutaufkommens an den drei größten Verkehrsflughäfen Baden-Württembergs Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen zwischen 2008 und 2023 nach [121]. Die Einsatzschwelle der RFEUA von 100 Kilotonnen Frachtgut pro Jahr wird von keinem der Flughäfen überschritten.

nung, zeigt die Grafik ferner, dass das zuletzt vor der COVID-19-Pandemie stark angestiegene Passagieraufkommen des Landesflughafens Stuttgart, noch weit hinter historischen Werten zurückbleibt. So lag das Passagieraufkommen Stuttgarts, des damals sechstgrößten Flughafen Deutschlands, im Jahr 2019 etwa 50 Prozent über dem in 2023 verzeichneten Wert.

Eine Übersicht des Frachtaufkommens der Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden sowie Friedrichshafen kann Abbildung 21 entnommen werden.

6.1.2. Fluggesellschaften

Als Endkunden von SAF spielen Airlines eine wichtige Rolle auf der Nachfrageseite des Marktes. Aufgrund des viel höheren Passagier- und Frachtgutaufkommens spielt der Landesflughafen Stuttgart unter den Flughäfen Baden-Württembergs eine herausgehobene Rolle. Darauf basierend wurden die für Baden-Württemberg relevantesten Fluggesellschaften ermittelt.

Abbildung 23 zeigt die Verteilung der wichtigsten Fluggesellschaften gemessen an deren Flugzeugbewegungen am Landesflughafen Stuttgart im Jahr 2023. Mit einem Anteil von über 5,8 Millionen Fluggästen liegt der Großteil der insgesamt 116 von dort aus angeflogenen Destinationen in Deutschland oder den Urlaubsländern Türkei, Spanien, Griechenland und Italien [103].

6.1.3. Kraftstoffanbieter

Anteil der Flugkraftstoffkosten an operativen Gesamtkosten weltweiter Airlines

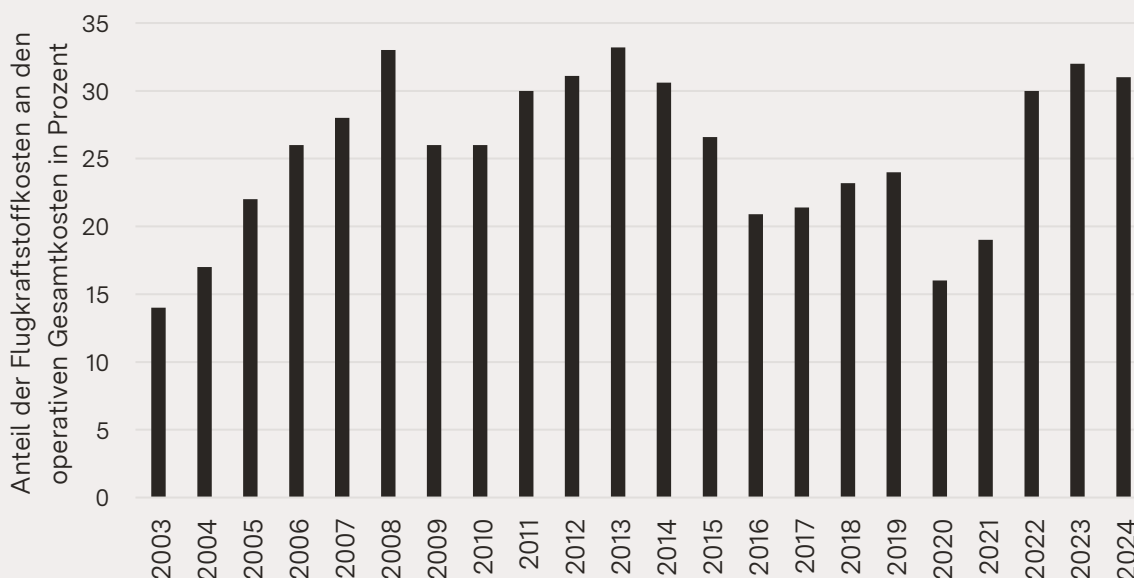


Abbildung 22: Die Flugkraftstoffkosten nehmen bei den operativen Gesamtkosten der Airlines einen signifikanten Stellenwert ein [119].

Schlussendlich sind auch die Herausforderungen und Einschätzungen global relevanter Kraftstoffproduzenten von hoher Bedeutung für eine verlässliche Versorgung mit nachhaltigen Flugkraftstoffen. Im Folgenden werden einige der relevantesten Akteure auf diesem

Gebiet vorgestellt. Hierbei sei angemerkt, dass die Liste keine Aufschlüsse über die im Rahmen dieser Studie interviewten Stakeholder gibt.

Der global agierende Energiekonzern Shell hält SAF-Produktionsstätten in seinem Portfolio. Bis 2025 strebt das Unternehmen Kapazitäten von etwa 2 Millionen Tonnen erneuerbarer Flugkraftstoffe an. Ferner bekennt sich der Konzern zu dem Ziel, bis zum Jahr 2030 zehn Prozent der durch den Konzern global vertriebenen Flugkraftstoffe durch SAF zu substituieren [104].

Mit einer jährlichen globalen Produktionskapazität von etwa 1,5 Millionen Tonnen SAF zählt der finnische Konzern Neste zu den größten Produzenten der erneuerbaren Kraftstoffe. Die Kraftstoffproduktion findet hierbei sowohl in Singapur als auch in Europa wie etwa am finnischen Standort Porvoo statt. Für die Herstellung der Treibstoffe werden derzeit ausschließlich Abfallstoffe sowie Alt-Speisefette und -öle verwendet. Weiterhin forscht der Konzern an der Erschließung zusätzlicher nachhaltiger Rohstoffquellen basierend auf Lignocellulose, Algen und Siedlungsabfällen [105].

Ein weiterer global agierender Produzent nachhaltiger Flugkraftstoffe ist Air bp. Im März 2023 kündigte der Konzern fünf Projekte zu SAF-Produktionsstätten an. Drei der fünf Projekte sollen hierbei in Europa an den Standorten Rotterdam, Castellon und Lingen erfolgen. Zwei weitere Projekte werden in den vereinigten Staaten sowie Australien realisiert. Bis zum Jahr 2030 sollen die fünf Anlagen eine tägliche Produktionskapazität von 50.000 Barrel pro Tag erreichen, was bei einer vollen Auslastung einer Jahreskapazität von etwa 2,3 Millionen Tonnen entspricht [106].

Auch das französische Unternehmen TotalEnergies engagiert sich in der Produktion nachhaltiger Flugkraftstoffe. Bereits ab 2025 sollen am Standort Grandpuits jährlich mehr als 210.000 Tonnen SAF größtenteils aus Altspeiseölen und Tierfetten produziert werden. Das Unternehmen gibt an, seinen Marktanteil des in Europa bis 2030 verpflichtend einzusetzenden SAF-Anteil von 6 Prozent decken zu können und ferner bis 2030 eigenständig zehn Prozent des weltweiten SAF-Bedarfs bereitzustellen [107].

6.2. Voraussetzungen und Herausforderungen für den Einsatz von SAF aus Stakeholderperspektive

6.2.1. Kraftstoffanbieter

Im Rahmen der Studie wurde eine Reihe führender Produzenten von Flugkraftstoffen hinsichtlich regulatorischer, logistischer und beschaffungstechnischer Herausforderungen

bei der Produktion und dem Inverkehrbringen der nachhaltigen Flugkraftstoffe befragt. Die befragten Stakeholder sind sich darin einig, dass politische Anreize zur Beseitigung des First-Mover-Dilemmas beim Anlagenbau zur Produktion nachhaltiger Flugkraftstoffe insbesondere in Bezug auf RFNBOs maßgeblich sind beispielsweise durch finanzielle Investitionszuschüsse, langfristige Abnahmeverträge oder regulatorische Ansätze, um den späteren Nachteil auszugleichen. Ferner sehen die Produzenten Schwierigkeiten insbesondere in Bezug auf komplexe und mitunter inhomogene Dokumentations- und Zertifizierungsmechanismen für SAF, welche auch die freiwillige Nachfrage nach SAF, z. B. von Großunternehmen, hemmen.

Die Mehrheit der befragten Kraftstoffproduzenten sieht einen starken Markthochlauf bei biogenem SAF. Ein Vertreter dieser Stakeholdergruppe versteht die derzeit global verfügbaren Produktionskapazitäten bereits heute als ausreichend und nicht ausgelastet. Ferner sieht der Akteur mittelfristig keine großen Spielräume in Richtung eines Preisangleichs von SAF und dem fossilen Pendant. Hierbei wurde vor allem der HEFA-Herstellungspfad zitiert, welcher bereits technologisch sehr weit ausgereift sei und bei dem kurz- bis mittelfristig keine großen Preissenkungen zu erwarten seien. Als wesentliche Kostentreiber werden von diesem Hersteller, neben den Rohstoffen, die Raffineriekosten aufgeführt. Globale Lieferketten seien hingegen kein Kostentreiber und tragen vielmehr zu einer resilienten und diversifizierten Produktion bei.

Ein geeintes Verständnis herrschte hingegen in der Thematik der PtL-Kraftstoffe, die derzeit lediglich im Rahmen von Pilotprojekten produziert werden und deren Produktion mit erheblichen Kapitalkaufwänden (CAPEX) zur Erbauung von Produktionsanlagen einhergeht. Eine ähnliche Ansicht vertrat ein Vertreter eines namentlichen Wirtschaftsverbandes der Kraftstoffindustrie, welcher im Rahmen der Studie zur Produktion von PtL-Kraftstoffen befragt wurde. Der Interviewpartner verwies hierbei auf die Möglichkeit, langfristige Offtake Agreements zu schaffen, bei denen der deutsche Staat oder eine Landesregierung als Garant auftreten könne. Auf diese Weise könne das Investitionsrisiko, das mit der Erbauung von PtL-Produktionsanlagen einhergeht, effektiv reduziert und ein zügiger Markthochlauf sichergestellt werden.

Trotz nicht besonders kostenwirksamer Versorgungsketten bei der Produktion von SAF, betrachten die befragten Kraftstoffhersteller Book-and-Claim-Systeme als logistisch zu bevorzugende Umsetzungsstrategie, um große Mengen SAF in den Flugverkehr zu integrieren.

Neben Forderungen nach Anreizmaßnahmen innerhalb der eigenen Branchen kritisieren die Akteure die zu langsam ansteigenden SAF-Quoten bis 2035 auf nur 6 Prozent verbunden mit dem anschließenden großen Sprung auf 20 Prozent. Die verpflichtenden Quoten dienen den Produzenten als wichtige Schätzgröße für zukünftige Nachfragemengen der Airlines und nehmen demnach einen erheblichen Stellenwert bei der langfristigen Investitions- und Anlagenplanung ein. Ferner wird ein linearerer Anstieg der Quoten erneuerbarer Flugkraftstoffe, wie in Großbritannien, gegenüber dem sprunghaften Verlauf innerhalb der EU bevorzugt. Hierdurch könnte sowohl bei den Airlines als auch bei den Produzenten eine stetige Anpassung des Geschäftsmodells erfolgen, so dass sich anfängliche Investitionen in Produktionsstätten früher amortisieren.

Während die Ansichten der Kraftstoffhersteller in Bezug auf Produktionskapazitäten miteinander unterschiedlich waren, herrschte hinsichtlich der Herausforderungen bei der Erbauung von Produktionsanlagen zur Herstellung erneuerbarer Flugkraftstoffe in Deutschland Einigkeit. Die Hersteller sehen insbesondere fehlende regulatorische Anreize und Unterstützungsmaßnahmen, wie etwa das in den Niederlanden etablierte handelbare Biokraftstoffeinheiten (HBE) System, als deutschen Standortnachteil. Auch in Hinblick auf striktere Vorgaben bezüglich der Rohstoffherkunft der erneuerbaren Kraftstoffe und den damit verbundenen bürokratischen Aufwänden, z. B. bei der lückenlosen Dokumentation der Lieferkette, sehen sich die Hersteller in Deutschland zusätzlichen Belastungen ausgesetzt. Vor allem in der initialen Marktphase wird eine größere Offenheit in Bezug auf Rohstoffe und Anlagen reklamiert. Dies gilt auch für das Co-Processing, für das eine flexible Allokation des nachhaltigen Inputs als notwendig erachtet wird. Weitere Standortfaktoren wie die Anbindung an den internationalen Energiemarkt begünstigen Großhäfen wie Rotterdam und Antwerpen sowie die an diese direkt angebotenen Flughäfen gegenüber innerdeutschen Standorten.

6.2.2. Fluggesellschaften

In der Stakeholdergruppe der befragten Fluggesellschaften herrscht das geeinigte Verständnis, dass der Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe ein wesentlicher Aspekt bei der Erreichung der Klimaziele bis 2030 und 2050 ist. Darüber hinaus wurde eine stabile Rechtsicherheit in Bezug auf Book-and-Claim-Mechanismen sowie politische Anreizmaßnahmen als zentrale Stellschraube für einen zügigeren Markthochlauf der erneuerbaren Flugkraftstoffe betont.

Alle befragten Interviewpartner zeichneten das einheitliche Bild, dass die europäischen und nationalen Quotenvorgaben aufgrund zu geringer Produktionskapazitäten zu ambitioniert seien, vor allem hinsichtlich strombasiertem SAF. Ferner wurde auch von dieser Stakeholdergruppe analog zu den Kraftstoffproduzenten der sprunghafte Anstieg der Quoten erneuerbarer Flugkraftstoffe kritisiert. Hinsichtlich des Einsatzes von RFNBOs wurde lediglich von einem Interviewpartner dieser Stakeholdergruppe angegeben, dass eine strategische Partnerschaft hinsichtlich der Versorgung mit PtL-Kraftstoffen bestehe, deren Erfolg jedoch noch ungewiss sei.

Flugzeugbewegungen nach Luftverkehrsgesellschaften am Flughafen Stuttgart

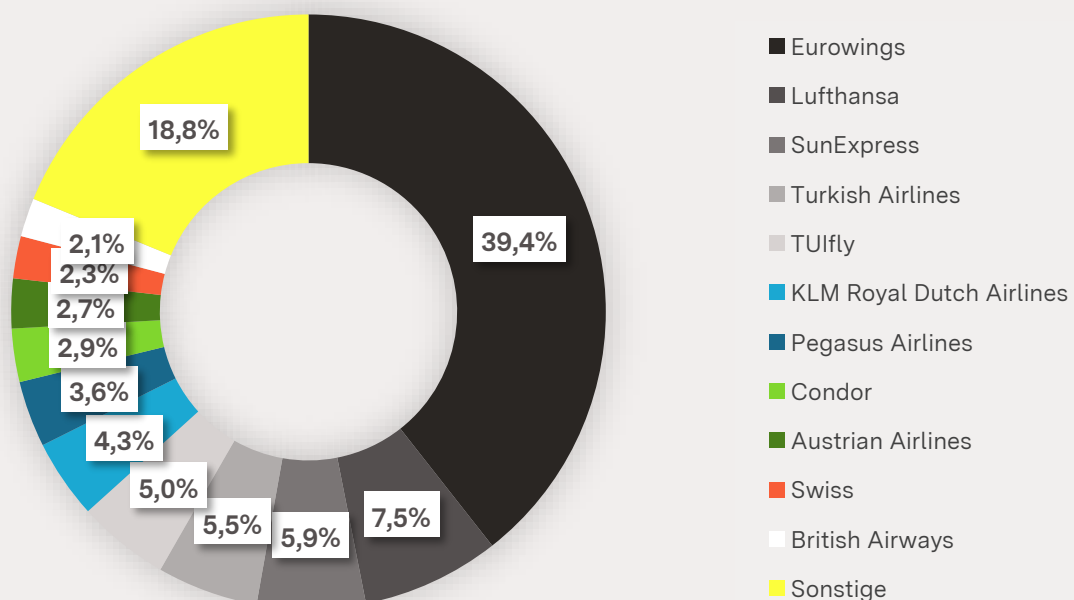


Abbildung 23: Flugzeugbewegungen nach Luftverkehrsgesellschaften am Flughafen Stuttgart (STR) nach [120]

Ebenso teilen die Fluggesellschaften die Ansicht, dass unzureichende Produktionskapazitäten zu den am Markt zu beobachtenden hohen Treibstoffkosten von SAF führen. In ihrem Absatzmodell führt dies den Berichten nach dazu, dass an einen Aufpreis geknüpfte Betankung mit SAF beinahe ausschließlich von Geschäftskunden im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsverpflichtungen in Anspruch genommen werden. Insgesamt reiche das SAF-Mandat der ReFuelEU Aviation nicht für die Sicherstellung des Hochlaufs und der Verfügbarkeit von SAF aus. Als geeignete Anreize für einen breiteren Einsatz von SAF nennt einer der Stakeholder z. B. die Nutzung des Net Zero Industrial Acts oder die Bereitstellung der Einnahmen aus der Luftverkehrsteuer zur Unterstützung des SAF-Hochlaufs – wie ursprünglich im Koalitionsvertrag der Bundesregierung von 2021 vorgesehen.

Analog zu den Kraftstoffproduzenten begrüßen auch die Fluggesellschaften Vorstöße in Richtung von Book-and-Claim-Systemen und begründen dies mit erheblichen logistischen Vorteilen und dem effizienten Einsatz von SAF mit Blick auf die gesamtheitliche Emissionsreduktion. Einer der Interviewpartner betonte jedoch, dass eine unkontrollierte Ausdehnung dieses Systems vermieden werden muss. Andernfalls könne aufgrund der vom physischen Betankungsort entkoppelten Preisbildung die Gefahr der Marktdominanz einzelner Anbieter steigen und als Extremfall zu einer Monopolstellung eines Kraftstoffanbieters führen.

In allen Interviews dieser Stakeholdergruppe wurde der durch die Quotenvorgabe hervorgerufene Wettbewerbsvorteil in bspw. der Türkei und den Golfstaaten ansässiger Fluggesellschaften hervorgehoben. Insbesondere in Hinblick auf Langstreckenflüge mit Start oder Ziel in Europa in Richtung Osten können durch Transferflüge über die jeweiligen Hubs und somit kurze Strecken von Flughäfen der Union aus, Kostensenkungen erzielt und somit Marktanteile europäischer Fluggesellschaften übernommen werden. Ein weiterer durch diese Stakeholdergruppe hervorgebrachter Kritikpunkt liegt auf der Inhomogenität der innereuropäischen Zertifizierungs- und Datenbanksysteme zur Erfassung der Zertifikate. Die Einführung einer Unionsdatenbank wird in diesem Zusammenhang sehr begrüßt und ist mit großen Hoffnungen verbunden.

Die befragten Fluggesellschaften sehen Verbesserungspotentiale bei deren Einbindung in politische Entscheidungsfindungen und kritisieren das mangelnde Gehör der Politik. Ferner forderten die Interviewpartner Rechts- und Planungssicherheit z. B. bei der Ausgestaltung der Zertifizierungssysteme (Unionsdatenbank) und dem angekündigten Book-and-Claim-Mechanismus, vor allem aber auch im Zusammenhang mit der Umsetzung der ReFuelEU Aviation Verordnung in Deutschland. Nach aktueller nationaler Gesetzgebung durch §37a BImSchG wären in einigen Fällen Fluggesellschaften die den Quoten verpflichteten Inverkehrbringer von Kraftstoff. Außerdem wird die dort formulierte nationale PtL-Quote mit Inkrafttreten der RFEUA als unzulässig erachtet. Diese Aspekte sollten neben der Benennung der zuständigen Behörde schnellstmöglich festgelegt und klargestellt werden.

6.2.3. Flugplätze, Flughäfen und Betankungsunternehmen

Mit dem Fokus auf Baden-Württemberg wurden die Flughäfen Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden, Friedrichshafen sowie repräsentativ der Flugplatz Mannheim hinsichtlich der ReFuelEU Aviation Verordnung und ihren Erfahrungen mit nachhaltigen Flugkraftstoffen befragt. Am Standort Stuttgart wurde zusätzlich Skytanking als für die gesamte Betan-

kung verantwortliches Unternehmen miteinbezogen. Im Sinne der ReFuelEU Aviation Verordnung sind nur die Flughäfen Stuttgart und Karlsruhe/Baden-Baden Flughäfen der Union und somit berichtspflichtig.

Alle Stakeholder bestätigten, dass Sie sich bereits mit der Thematik SAF befassen. Insbesondere kleinere Flughäfen und Flugplätze sehen sich aufgrund schwacher Nachfragen seitens der Kunden Schwierigkeiten bei der Order geringer Mengen nachhaltiger Flugkraftstoffe ausgesetzt und befürchten bei der Thematik außen vor zu bleiben. Seitens eines Interviewpartners wurde die Möglichkeit hervorgehoben, gemeinsam mit weiteren Flughäfen und Landeplätzen in Form einer Einkaufsgemeinschaft den Kraftstofflieferanten gegenüberzutreten. Mögliche Synergien hinsichtlich der Thematik nachhaltiger Flugkraftstoffe kann die Stakeholdergruppe auch bei der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V. (ADV) sowie der Interessengemeinschaft der regionalen Flugplätze e.V. (IDRF) sehen.

Die geringe Nachfrage nach nachhaltigen Flugkraftstoffen wird von der Stakeholdergruppe durch den hohen SAF-Preis begründet. So sehen die Interviewpartner lediglich bei Geschäftskunden im Rahmen von deren Nachhaltigkeitsverpflichtungen eine gesteigerte Nachfrage. Einige der Interviewpartner bestätigten, dass die an den Endkunden gelieferten Kraftstoffe in Form eines Agenturmodells vertrieben werden, bei welchem der Flugplatz/Flughafen lediglich intermediär auftritt. Im Rahmen der Interviews wurde seitens einzelner Befragter auch die Sorge hinsichtlich der Definition von Inverkehrbringern der Kraftstoffe vorgetragen, was mitunter erhebliche Auswirkungen auf die regulatorischen Verpflichtungen der Flughafen- und Flugplatzbetreiber hätte. Gerade für kleine Flughäfen und -plätze sei auch die Anrechnung von nachhaltigen Rohstoffen via Nabisy ein erheblicher Aufwand.

Da oftmals nur eine geringe Anzahl von Tankwagen zur Verfügung steht, gestaltet sich die physische Betankung mit SAF an kleineren Flughäfen und Landeplätzen schwierig. Hintergrund ist, dass die SAF-Blends bei einer physischen Betankung nicht mit fossilem Flugkraftstoff weiter vermischt werden dürfen. Book-and-Claim-Modelle erachtet die Mehrheit der Interviewpartner als geeignete Lösung, äußert jedoch auch Bedenken hinsichtlich potentieller Greenwashing Vorwürfe bei der Bewerbung nachhaltiger Kraftstoffe, die dann andernorts vertankt werden.

6.2.4. Übersicht und Zusammenfassung der Stakeholdereinblicke

Im Rahmen der Interviews wurden die Befragten aus den Stakeholdergruppen der Airlines, der Kraftstoffproduzenten sowie der Flughäfen, Verkehrsplätze und Betankungsunternehmen zu Herausforderungen und Chancen hinsichtlich des Einsatzes von SAF befragt. Abbildung 24 bietet einen Überblick der Hauptaussagen inklusive der Einordnung der jeweiligen befragten Stakeholdergruppe zum Abgleich der Gemeinsamkeiten und Differenzen.

Detaillierte Ausführungen zu den in den Interviews hervorgebrachten Themen befinden sich in Kapitel 2.2.

Anliegen, Analysen und Herausforderungen der Stakeholder












































Themenkomplex	Erwähnungen der Stakeholdergruppen Airlines  Flughäfen/Betankungsunternehmen  Kraftstoffhersteller 	
Quotenentwicklung ReFuel	Linearer Quotenanstieg wäre Sprungstellen vorzuziehen	  
	Schnellerer Quotenanstieg für zeitnahen Markthochlauf	
	Mehrkosten durch SAF -Quoten werden an Endkunden weitergegeben	
Power-to-Liquid-Quote (BlmSchG, ReFuelEU)	PtL-Flugkraftstoff-Quote gem. BlmSchG in 2026 nicht erreichbar	  
	Keine oder nur geringe Erfahrungen mit PtL -Flugkraftstoff	  
Rohstoffe und Rohstoffherkunft	Zu strikte Vorgaben hinsichtlich der SAF -Rohstoffe	
	Inhomogene innereuropäische Vorgaben bei Rohstoffen	
	Relevanz globaler Rohstofflieferketten	
Zertifizierung	Hoher Dokumentationsaufwand u.a. Nabisy	 
	Inhomogene europäische Zertifizierungslandschaft	  
	Begrüßung einer kompatiblen Union Database for Biofuels (UDB)	 
Co-Processing	Reduktion der CAPEX durch Co -Processing	
	Zügigerer SAF-Markthochlauf durch Co -Processing	
Book & Claim	Betankung mit physischem SAF wo logistisch sinnvoll und möglich, ansonsten Book & Claim (B&C)	  
	Reduktion des logistischen Aufwands durch B&C -Systeme	  
	Greenwashing Gefahr bei B&C-Systemen	  
Fördermaßnahmen	Kostenlose EU-ETS Zertifikate für SAF	
	PtL Offtake Agreements mit staatlichem Garanten	 
	Verwendung der Luftverkehrssteuer für den SAF -Hochlauf	
Lokale Anreize	Fördermittel für zusätzliche Tankwagen explizit für SAF	
	Lokale Förderung der Betankung mit SAF (wie bspw. Stuttgart)	
	Nationale Anreizmechanismen (z. B. HBE in Niederlanden)	 

Abbildung 24: Überblick über die in den Stakeholderinterviews hervorgebrachten Herausforderungen, Anliegen und Ideen der Kraftstoffproduzenten, Fluggesellschaften sowie Flughafenbetreiber zum Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe.

7. Handlungsempfehlungen zur Einsatzsteigerung von SAF

Hinsichtlich der zugrundeliegenden Fragestellung, welche Möglichkeiten zur Steigerung des Einsatzes von SAF vorliegen, werden basierend auf der Marktrecherche, den Einblicken der Stakeholder sowie der diskutierten internationalen Beispiele für Regulatorik und Anreize konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese fokussieren die drei folgenden Bereiche und werden im Folgenden näher erläutert:

01. Sicherstellung der Verfügbarkeit durch SAF-Produktionskapazitäten
02. Einwirkung auf Bundes- und EU-Gesetzgebung mit dem Ziel einheitlicher Vorgaben sowie transparenter und verlässlicher gesetzlicher Rahmenbedingungen
03. Einführung eines Book-and-Claim-Systems und kompatible Einbettung in bereits bestehende Mechanismen
04. Prüfung lokaler Anreize an Flughäfen und -plätzen in Baden-Württemberg

Handlungsempfehlungen zur Steigerung des Einsatzes von SAF

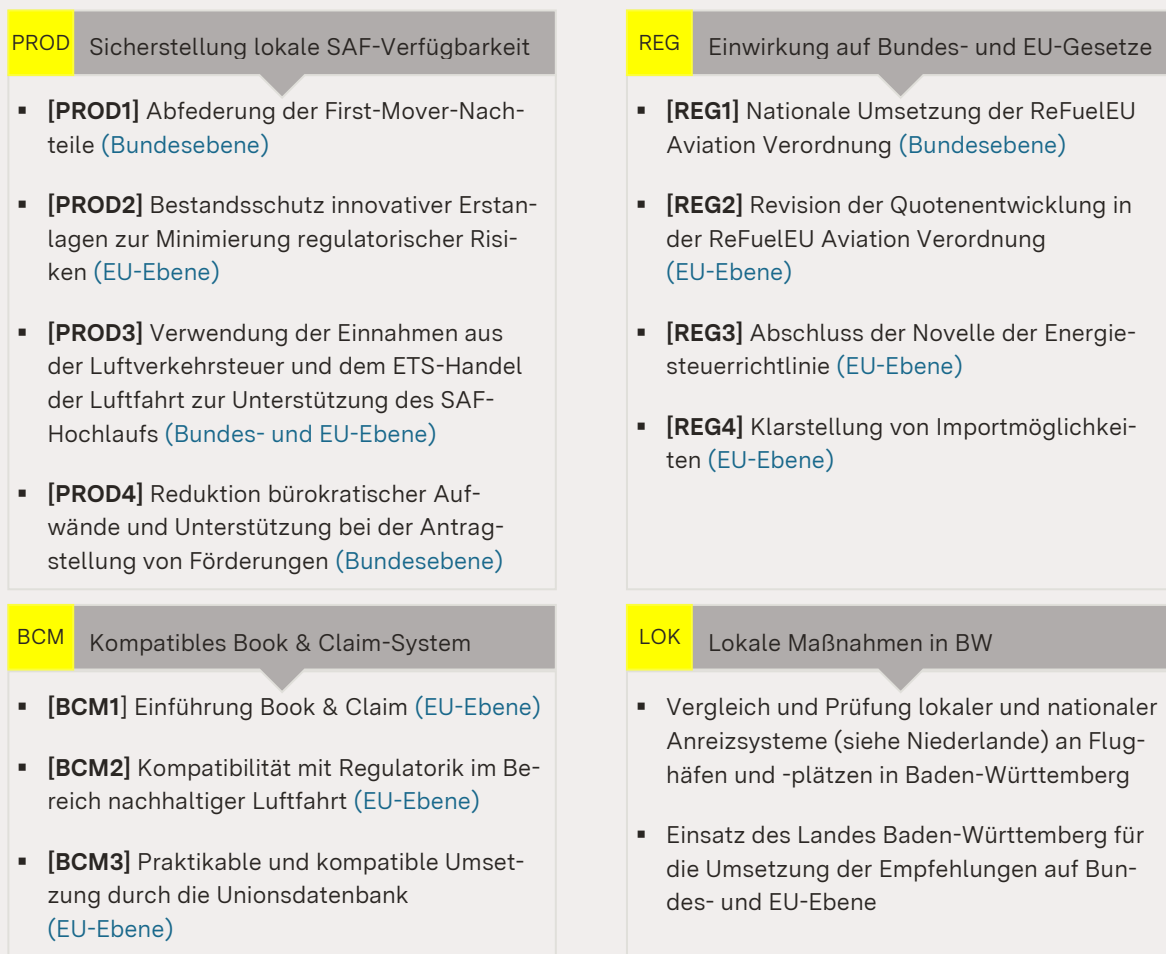


Abbildung 25: Übersicht der Handlungsempfehlungen zur Steigerung des Einsatzes von SAF.

7.1. Sicherstellung der lokalen SAF-Verfügbarkeit durch Förderung der Produktionskapazitäten

Bei allen befragten Stakeholdern im Rahmen dieser Studie besteht Einigkeit darüber, dass die Verfügbarkeit von SAF zu wirtschaftlichen Preisen aktuell eine zentrale Herausforderung ist. Um dieser entgegenzutreten, müssen unter anderem die Produktionskapazitäten und die technologische Reife der SAF-Herstellungspfade weiter ausgebaut werden. Dies betrifft vor allem PtL-Kraftstoffe, welche mittel-bis langfristig als Ergänzung zu biogenem SAF benötigt werden und technologisch nicht weit ausgereift sind. Die aktuelle Situation zeigt, dass neben der Einführung der SAF-Quoten bzw. Mandate durch die ReFuelEU Aviation Verordnung noch weitere Maßnahmen benötigt werden.

[PROD1] Abfederung der First-Mover-Nachteile (Bundesebene)

Finanzielle Absicherung für First Mover sowie Bestandsschutz innovativer Erstanlagen.

Das nationale Förderprogramm H2Global zielt darauf ab, First Mover durch Abnahmeverträge finanziell zu unterstützen. Eine erste Auktion fand bereits statt, blieb jedoch erfolglos. Laut Bundeswirtschaftsministerium war unter anderem die strenge EU-Regulierung ein Hindernis. Nach einer Analyse der Gründe für den Rückzug aller Angebote wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, darunter die Notwendigkeit längerer Vertragslaufzeiten und die Übernahme von Risiken für Produzenten aufgrund von Verzögerungen. Diese sollen nun in einer zukünftigen Auktion umgesetzt werden [108, 101].

[PROD2] Bestandsschutz innovativer Erstanlagen zur Minimierung regulatorischer Risiken (EU-Ebene)

Investitionen in neue Anlagen erfordern Sicherheit, dass die erzeugten Kraftstoffe auch in Zukunft als erneuerbar anerkannt werden.

Da SAF-Produktionsanlagen bis zu 20 Jahre benötigen, um sich finanziell zu amortisieren, ist es für Investoren wichtig, dass sie langfristig Einnahmen aus der SAF-Produktion in ihrer Anlage erwarten können. Ein Bestandsschutz für Erstanlagen, der eine langfristige Anerkennung der Kraftstoffe als nachhaltig garantiert, kann Investoren mehr Sicherheit geben und so zwei Problematiken in Bezug auf die Investitionssicherheit lösen. Zum einen ist das Vertrauen in die Stabilität der Gesetzgebung zu synthetischen Kraftstoffen gering und Produzenten sehen ein erhebliches regulatorisches Risiko hinsichtlich der zukünftigen Anerkennung bestimmter Kraftstoffe als nachhaltig. Zum anderen ist bereits in der bestehenden Regulierung die Anrechenbarkeit von bestimmten Kohlenstoffdioxidquellen zeitlich begrenzt, was dazu führt, dass entsprechende Anlagen zur Nutzung bestehender und aktuell unvermeidbarer Kohlenstoffdioxidemissionen nicht gebaut werden. In Baden-Württemberg besteht diese Problematik hinsichtlich der Nutzung von Kohlenstoffdioxid aus der Zementerzeugung zur SAF-Produktion, da das genutzte Kohlenstoffdioxid nur noch bis 2040 für die SAF-Produktion angerechnet werden darf (vgl. Aktionsplan ReFuels). Hier wäre auch eine Anpassung der Verordnung (EU) 2023/1185 als Lösung möglich.

[PROD3] Verwendung der Einnahmen aus der Luftverkehrssteuer und dem ETS-Handel der Luftfahrt zur Unterstützung des SAF-Hochlaufs (Bundesebene)

Einsatz der Luftverkehrssteuer wie ursprünglich im Koalitionsvertrag vorgesehen.

Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung von 2021 wurde der Einsatz der Einnahmen aus der Luftverkehrssteuer für die Förderung von Produktion und Einsatz von CO₂-neutralen

strombasierten Flugkraftstoffen sowie für Forschung, Entwicklung und Flottenmodernisierung im Luftverkehr beschlossen [109]. Stattdessen wurde die Förderung für den Aufbau von Produktionsanlagen für PtL-Flugkraftstoffe auf ein Zehntel reduziert und die Luftverkehrsteuer im Zweiten Haushaltsfinanzierungsgesetz 2024 um etwa 25 Prozent erhöht. (Update: Laut dem Koalitionsvertrag der Bundesregierung aus dem Mai 2025 soll die Hälfte der nationalen Einnahmen aus dem europäischen Emissionshandel im Luftverkehr für die Förderung der Markteinführung von SAF eingesetzt werden [110].)

[PROD4] Reduktion bürokratischer Aufwände und Unterstützung bei der Antragstellung von Förderungen (Bundesebene):

Erhöhte bürokratische Aufwände für die Förderung von Produktionsanlagen führen zu Planungsunsicherheit und zu einer Verlangsamung des Markthochlaufs.

Hier könnte eine Bündelung der Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten, beispielsweise aus durch die Luftverkehrsteuer gewonnenen Mitteln, auf Bundesebene helfen. Dies wäre verbunden mit einer zentralen, bundesweiten Anlaufstelle, die über alle verfügbaren Finanzierungs- und Fördermöglichkeiten im Bereich erneuerbare Kraftstoffe informiert und Produzenten aktiv bei der Antragstellung sowie während des gesamten Genehmigungsverfahrens unterstützt. Die NOW GmbH wäre hierfür eine aussichtsreiche Kandidatin.

7.2. Einwirkung auf Bundes- und EU-Gesetzgebung zur Klärung regulatorischer Unsicherheiten

Auf (bundes-)politischer und EU-Ebene gibt es aktuell zahlreiche Möglichkeiten, die Rechtsicherheit für die betroffenen Stakeholder zu erhöhen sowie Anreize für die Produktion und den Einsatz von SAF zu schaffen und somit den Hochlauf zu unterstützen:

[REG1] Nationale Umsetzung der ReFuelEU Aviation Verordnung (Bundesebene)

Definition „Flugkraftstoffanbieter“ und umsetzende Behörde sowie Abstimmung BImSchG für mehr Rechtssicherheit.

Die Bundesregierung sollte zeitnah die Rolle des „Flugkraftstoffanbieters“ gemäß RED II klar definieren und eine Behörde für die nationale Umsetzung der ReFuelEU Aviation Verordnung benennen. Zur Definition der Kraftstoffanbieter könnte die Charakterisierung via Energiesteuergesetz nach §37a BImSchG als Inverkehrbringer von Fluggastturbinenkraftstoff im Sinne des Energiesteuergesetzes übernommen werden. Hier muss eine baldige Klärung die notwendige Rechtssicherheit liefern.

Zudem sollte die Diskrepanz zwischen den in der ReFuelEU Aviation Verordnung einerseits und im Bundesimmissionsschutzgesetz andererseits vorgeschriebenen SAF-Beimischquoten aufgelöst werden. Insbesondere die PtL-Beimischungsquote ab dem Jahr 2026 durch §37a BImSchG wird von allen von uns im Rahmen der Studie befragten Stakeholdern aufgrund mangelnder Verfügbarkeit als unrealistisch und bezeichnet. Die Stakeholder erwarten, dass diese Quote gemäß Erwägungsgrund 72 der RED III durch die der ReFuelEU Aviation Verordnung ersetzt wird. Andernfalls müssten die damit verbundenen Strafzahlungen als erhöhte Kraftstoffkosten eingepreist werden.

[REG2] Revision der Quotenentwicklung in der ReFuelEU Aviation Verordnung (EU-Ebene)

Prüfung eines lineareren Hochlaufs der Mandate für mehr Planungssicherheit im Markt.

In der ReFuelEU Aviation werden die SAF-Mandate ab 2025 in 5-Jahresschritten definiert. Insbesondere gibt es nach einem eher langsamen Hochlauf bis 2030 von 2030 bis 2035 und dann wiederum von 2035 bis 2040 einen Sprung um jeweils 14 Prozent. Nach Einschätzung unserer Gesprächspartner ist dies für einen effizienten Markthochlauf nicht sinnvoll, der Hochlauf von SAF biogenen Ursprungs würde sogar in der initialen Marktphase gehemmt werden. Ein linearerer Verlauf der Beimischungsquoten kann hier – durch einen kontinuierlichen Anstieg der (regulatorisch geforderten) Abnahme von SAF – Abhilfe schaffen und sollte im Rahmen der vorgesehenen Revision der ReFuelEU Aviation Verordnung diskutiert werden.

[REG3] Abschluss der Novelle der Energiesteuerrichtlinie (EU-Ebene)

Für den SAF-Markthochlauf ist regulatorische Klarheit und Zukunftssicherheit essenziell.

Die Gleichbehandlung aller Energieträger unabhängig von ihrer CO₂-Bilanz steht nicht im Einklang mit den inzwischen sehr viel ambitionierteren Klimazielen der EU. Allerdings ist eine Einigung vor allem aufgrund der strittigen Frage einer Besteuerung von fossilem Kerosin aktuell nicht in Sicht. Daher sollte eine Trennung der Novelle erwogen werden und zunächst niedrigere Mindeststeuersätze für weniger CO₂-intensive Energieprodukte umgesetzt werden [13].

[REG4] Klarstellung von Importmöglichkeiten (EU-Ebene)

Um die langfristige Versorgungssicherheit in Europa mit erneuerbaren Kraftstoffen zu gewährleisten, sollten spezifische, flexible und pragmatische Regelungen für die Produktion in Nicht-EU-Ländern entwickelt werden, um Nachhaltigkeit zu sichern und den internationalen Handel sowie Produktionsaufbau zu fördern.

Die in der Delegierten Verordnung (EU) 2023/1185 verankerten Kriterien zu „Gebotszonen“ und „Zusätzlichkeit“ gelten sowohl für in der EU produzierte als auch für importiertes strombasiertes SAF. „Gebotszonen“ sind geografische Regionen innerhalb des europäischen Strommarkts, in denen Stromangebot und -nachfrage koordiniert und optimiert werden, um Netzengpässe zu verhindern. Das Kriterium der „Zusätzlichkeit“ garantiert, dass der Strom zur Herstellung erneuerbarer Kraftstoffe aus neuen und ergänzenden erneuerbaren Energiequellen stammt.

Bei der Anwendung auf Drittstaaten entstehen jedoch erhebliche rechtliche Unsicherheiten, da diese oft über abweichende Energiemärkte und regulatorische Rahmenbedingungen verfügen. Darüber hinaus muss CO₂ aus industriellen Quellen wie z. B. Zementanlagen in einem wirksamen Bepreisungssystem, wie z. B. dem Emissionshandelssystem der EU, der Schweiz und des Vereinigten Königreiches, berücksichtigt werden, bevor es zur Herstellung von anrechnungsfähigem SAF verwendet wird [111] [112]. Für Kraftstoffe aus weiteren Drittländern ist die Anrechenbarkeit, wenn CO₂ aus industriellen Quellen gewonnen wird, also nicht sicher [112]. Um Investitionssicherheit zu gewährleisten und die Anrechenbarkeit von Importen praktikabel zu gestalten, ist eine präzise und verbindliche Übertragung der EU-Vorgaben auf nicht-europäische Kontexte erforderlich. Die EU-Kommission sollte hierzu zeitnah Klarstellungen vorlegen, insbesondere zur Definition äquivalenter Bedingungen bei Stromherkunft, Netzstruktur, industriellen CO₂-Quellen und regulatorischer Aufsicht. [113]

7.3. Einführung eines Book-and-Claim-Systems und kompatible Einbettung in bereits bestehende Mechanismen

[BCM1] Einführung Book-and-Claim-(EU-Ebene)

Es sollte möglich sein, Zertifikate für den Einsatz erneuerbarer Kraftstoffe flexibel zwischen Produzenten und Verbrauchern zu handeln, ohne dass eine physische Lieferung erforderlich ist.

Gemäß dem Flexibilitätsmechanismus in §15 ReFuelEU Aviation können Flugkraftstoffanbieter zwischen 2025 und 2034 ihre SAF-Mandate flexibel über alle Flughäfen der EU erfüllen, um der begrenzten SAF-Produktion und der noch nicht vorhandenen Infrastruktur Rechnung zu tragen. Die Einführung eines Book-and-Claim-Systems wird von der EU-Kommission geprüft, um den Fluggesellschaften die Möglichkeit zu geben, virtuellen SAF zu kaufen und auf ihre Klimaziele anzurechnen, auch wenn sie keinen direkten Zugriff auf

SAF an ihrem Flughafen haben. Dabei müssen wichtige Punkte wie die Harmonisierung der Definitionen von Kraftstoffanbietern und Nachweise zur Nachhaltigkeit sowie die Schaffung einer virtuellen Handelsplattform zur Rückverfolgbarkeit der SAF-Zertifikate beachtet werden.

Die Einführung eines flexiblen Handelsmechanismus könnte die Wettbewerbsbedingungen der europäischen Luftfahrt verbessern und dazu beitragen, Engpässe bei der Versorgung mit SAF an einzelnen Flughäfen zu vermeiden. Gleichzeitig würde eine solche Regelung auch neuen Akteuren den Markteintritt erleichtern und die Entwicklung von SAF-Produktionsprojekten an geeigneten Standorten fördern – sofern die zuvor genannten Markthemmnisse aufgehoben werden. Um den Übergang zu nachhaltigem Flugkraftstoff zu beschleunigen, sind Anreize für Fluggesellschaften notwendig, einschließlich der Möglichkeit, SAF-Zertifikate auf die EU ETS-Verpflichtungen anrechnen zu können.

[BCM2] Kompatibilität mit Regulatorik im Bereich nachhaltiger Luftfahrt (EU-Ebene)

Das eingeführte Book-and-Claim-System sollte vollständig kompatibel sein mit bestehenden Mechanismen und Regularien wie ReFuelEU Aviation, RED II, RED III und EU ETS, um die Nachverfolgbarkeit zu gewährleisten und den Handel zu erleichtern.

Eine solche Kompatibilität gewährleistet nicht nur eine harmonisierte Vorgehensweise bei der Nachverfolgung und Zertifizierung nachhaltiger Kraftstoffe, sondern reduziert auch die bürokratischen Hürden für Fluggesellschaften und Produzenten. Durch die Möglichkeit, virtuellen SAF zu erwerben und auf Klimaziele anzurechnen, wird die Flexibilität innerhalb des Marktes erhöht, was insbesondere für Fluggesellschaften von Vorteil ist, die möglicherweise keinen direkten Zugang zu physischen SAF-Mengen an ihrem Standort haben.

Darüber hinaus wird die Innovationskraft und Marktteilnehmervielfalt unterstützt, indem neuen Akteuren der Zugang erleichtert und gleichzeitig bestehende Produzenten angezogen werden, ihre Produktionskapazitäten zu erweitern. Dies trägt zur Diversifizierung der Lieferkette bei und fördert die Entwicklung nachhaltiger Produktionsprojekte an optimalen energieeffizienten Standorten, unabhängig von der Verfügbarkeit vor Ort. Ein solches System würde nicht nur die Wettbewerbsbedingungen im europäischen Luftfahrtmarkt verbessern, sondern auch zur langfristigen Reduzierung der CO₂-Emissionen beitragen, was den übergeordneten Zielen der europäischen Klimapolitik entgegenkommt.

[BCM3] Praktikable und kompatible Umsetzung durch die Unionsdatenbank (EU-Ebene)

Herstellung einer zentralen und mit nationalen Lösungen (z. B. Nabisy) kompatiblen Plattform zur Rückverfolgbarkeit und Verwaltung von Zertifikaten für nachhaltige Flugkraftstoffe. Diese sollte außerdem Transaktionen zwischen Produzenten und Verbrauchern transparent machen und Doppelzahlungen vermeiden.

Die zugehörige IT-Architektur des Book-and-Claim-Systems sollte eine allgemeingültige und erweiterbare Lösung darstellen, die auch andere Sektoren abdecken kann und Interoperabilität gewährleistet. Die Unionsdatenbank spielt dabei eine zentrale Rolle, da sie notwendig ist, um die Rückverfolgbarkeit der SAF-Zertifikate zu gewährleisten und die ordnungsgemäße Anrechnung dieser Zertifikate auf die Quotenverpflichtungen gemäß ReFuelEU Aviation sowie auf die Ziele von RED III im Verkehrssektor zu ermöglichen. Durch die direkte Verbindung zur Unionsdatenbank kann das Risiko von Doppelzahlungen verringert werden, was eine transparente und zuverlässige Dokumentation der Transaktionen zwischen Produzenten und Verbrauchern sicherstellt. Diese Integration ist essenziell, um das Vertrauen in das Handelssystem zu wahren, „Greenwashing“-Vorwürfen vorzubeugen und eine reibungslose Umsetzung der regulatorischen Anforderungen zu fördern, während gleichzeitig Bürokratie und die Fragmentierung des Marktes durch eine Vielzahl nationaler Lösungen vermieden werden.

7.4. Lokale Maßnahmen in Baden-Württemberg

In Kapitel 5.2 wurden die Anreizsysteme der Flughäfen Amsterdam Schiphol, London Heathrow sowie der von Swedavia AB betriebenen Flughäfen Stockholm und Göteborg analysiert:

Amsterdam Schiphol hat ein fundiertes Programm ins Leben gerufen, das Airlines pro vertankte metrische Tonne SAF und synthetisches Kerosin finanzielle Anreize bietet. Bei einer Treibhausgasreduktion von mindestens 70 Prozent müssen Airlines ihre prognostizierte SAF-Menge melden und werden anteilig gefördert, wenn die Nachfrage die bereitgestellten Mittel übersteigt. Die Steigerung des SAF-Einsatzes der letzten Jahre zeigt den Erfolg dieser Strategie.

In London Heathrow wird ein anderer Ansatz verfolgt. Das SAF-Förderprogramm, das 2022 eingeführt wurde, zielt darauf ab, etwa 50 Prozent der Preisunterschiede zwischen SAF und fossilem Kerosin zu decken. Airlines erhalten für die Lieferung und Vertankung von SAF Credits, die auf dem Anteil des verwendeten SAF basieren. Heathrow plant, die

Anteile von SAF bis 2030 auf bis zu 11 Prozent zu steigern und hat dafür beträchtliche Fördermittel für die kommenden Jahre bereitgestellt. Dies zeigt, dass der Flughafen nicht nur kurzfristige Anreize bietet, sondern auch auf eine langfristige Strategie zur Erhöhung des SAF-Einsatzes setzt.

Swedavia AB integriert in ihr Anreizsystem eine interessante Kombination aus finanzieller Unterstützung und einem innovativen Gebührenmodell. Das Unternehmen erhebt Gebühren basierend auf den CO₂-Emissionen der Flugzeuge und belohnt Airlines, die SAF einsetzen, mit einer Reduzierung dieser Gebühren. Durch diese gezielte Maßnahme sollen emissionsärmere Flüge wirtschaftlich attraktiver werden. Darüber hinaus stellt Swedavia sicher, dass nur Mengen gefördert werden, die über die nationalen Anforderungen zur Emissionsminderung hinausgehen, und verfolgt damit auch klar definierte Umweltziele, wie die Verwendung von 5 Prozent erneuerbarem Flugkraftstoff bis 2025.

Obwohl alle drei Anreizsysteme darauf abzielen, den Einsatz von SAF zu steigern, unterscheiden sie sich in ihrer konkreten Umsetzung und den spezifischen Programmdetails. Schiphol konzentriert sich stark auf eine anteilige Verteilung der Fördermittel basierend auf den gemeldeten Mengen, während Heathrow ein komplexeres finanzielles System mit spezifischen wirtschaftlichen Zielen für die kommenden Jahre verfolgt. Swedavia legt einen besonderen Schwerpunkt auf die Reduzierung der CO₂-Emissionen durch ein Gebührenmodell, das den Einsatz von SAF in der Praxis fördern soll.

Auch der Flughafen Stuttgart bietet ein Anreizsystem an, dem ein ähnlicher Ansatz wie der am Flughafen Schiphol zu Grunde liegt, auch wenn die Förderung mit 300€ pro Tonne getanktem SAF quantitativ geringer ist und hinsichtlich des Volumens gedeckelt ist [2]. Die Tatsache, dass am Flughafen Stuttgart im Gegensatz zum Flughafen Schiphol gegenwärtig kein SAF vertankt wird, lässt sich allerdings höchstens partiell auf die etwas geringere Förderung zurückführen. Naheliegender hier ist einerseits die bessere infrastrukturelle Anbindung des Flughafen Schiphol via Pipeline und die günstigeren logistischen Möglichkeiten in den Niederlanden. Als ebenso wichtig für den starken SAF-Einsatz ist hier aber auch die nationale Opt-in-Möglichkeit von SAF sowie das niederländische HBE-Handelssystem zu erachten. Die Einführung der entsprechenden Möglichkeit in Deutschland im Rahmen der nationalen Umsetzung der RED III wird beispielsweise vom BDL vorgeschlagen [114].

Der Anspruch auf die Förderung ist an die physische SAF-Vertankung am Flughafen Stuttgart gebunden. Die von uns interviewten Fluggesellschaften waren sich einig, dass mit Blick auf die Emissionsreduktion des Gesamtsystems SAF vorzugsweise dort vertankt



werden sollte, wo die ökologischen, aber auch ökonomischen und logistischen Bedingungen am günstigsten sind. Im Falle der Einführung eines Book-and-Claim-Systems auf EU- oder Bundesebene könnte an dieser Stelle erwogen werden, die Bedingung der physischen Vertankung abzuschwächen und durch eine im Rahmen des Book-and-Claim-Systems gebuchte Menge zu ersetzen, um den SAF-Hochlauf als Ganzes zu stärken.

Das Land Baden-Württemberg wird sich im Rahmen der politischen Möglichkeiten für die Umsetzung der Empfehlungen auf Bundes- und EU-Ebene einsetzen.

8. Fazit

Der erfolgreiche und nachhaltige Hochlauf von SAF im Luftverkehr stellt eine immense Herausforderung in technologischer und wirtschaftlicher, aber insbesondere auch regulatorischer Hinsicht dar. Zumindest kurz- bis mittelfristig wird SAF in der kommerziellen Luftfahrt als einzige nachhaltige Kraftstoffoption zur Verfügung stehen. Wirtschaftlich steht die Branche in einem intensiven und dynamischen internationalen Wettbewerb. Investitionen in neue Technologien wie nachhaltige Flugkraftstoffe müssen daher nicht nur strengen ökologischen als auch ökonomischen Abwägungen standhalten. Darüber hinaus sind die Folgen der Corona-Pandemie noch nicht vollständig bewältigt. Aufgrund der starken Internationalisierung unterliegt der Luftverkehr außerdem einer Vielzahl unterschiedlicher, nicht immer kompatibler, nationaler und internationaler Regelungen. Dies erschwert die Einführung weiterer Standards, Quoten und Regularien. Eine einheitliche und länderübergreifende Regulatorik ist notwendig, um diese Herausforderungen effektiv zu adressieren.

Mit der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (RED) und der ReFuelEU Aviation Verordnung (RFEUA) versucht die Europäische Union diesen Anforderungen gerecht zu werden und gleichzeitig den dringend notwendigen Hochlauf nachhaltiger und emissionsarmer Flugkraftstoffe zu adressieren. Die RED setzt allgemeine Ziele für erneuerbare Energien, während die RFEUA spezifische Regelungen für den Luftverkehr formuliert, die darauf abzielen, die schrittweise Bereitstellung und Mechanismen zur Förderung des Einsatzes von SAF zu etablieren. Neben der Erreichung der Klimaziele ist ein wichtiger Anspruch der RFEUA, EU-weit harmonisierte Bedingungen herzustellen, um Verzerrungen und die Fragmentierung des Wettbewerbs zu verhindern.

Ohne die entsprechende Verfügbarkeit und Erschwinglichkeit von strombasierten SAF sind die in der RFEUA formulierten Beimischungsquoten allerdings zumindest langfristig unerreichbar. Die Schaffung von Anreizen und Förderung sowie die Vereinfachung von Nachweispflichten ist daher untrennbar mit der erfolgreichen Umsetzung der Verordnung und dem Erreichen der Klimaziele verbunden. Mit Ausnahme einiger Herstellungspfade für biogenes SAF ist die SAF-Produktion noch in der Entwicklungsphase und hinsichtlich Produktionskapazitäten und Preisen noch nicht weit genug vorangeschritten, um den Bedarf zu decken und gleichzeitig internationale Wettbewerbsfähigkeit sicherzustellen. Daher sind konkrete Maßnahmen (siehe Abschnitt 017.1), um weitere Herstellungspfade in Sachen Kosteneffizienz und Skalierbarkeit voranzutreiben und so langfristig die Verfügbarkeit sicherzustellen.

In großen Teilen des nicht-EU-Auslands wurden ähnliche Nachhaltigkeitsziele gesteckt. Das Netto-Null-Ziel bis 2050 wird beispielsweise mit den USA und dem Vereinigten Königreich geteilt. Allerdings setzen die damit verbundenen Programme weniger auf strenge Regulatorik wie die EU als auf wirtschaftliche Anreize wie Steuererleichterungen oder Kompensation von Mehrkosten. Auch innerhalb der EU haben zum Beispiel Schweden und die Niederlande Systeme etabliert, die zu einem signifikant steigenden Einsatz von SAF führen. Auch die Flughäfen und die Bundesländer in ihrer Zuständigkeit haben durch lokale Anreizsysteme die Möglichkeit, den SAF-Einsatz der Airlines zu beeinflussen, wobei der Effekt hier mit großer Wahrscheinlichkeit begrenzt ist und von logistischen sowie den regulatorischen Rahmenbedingungen des Mitgliedstaates im Allgemeinen überlagert wird.

Hinsichtlich der in der RFEUA festgehaltenen Quote für biogenes SAF zeigen sich die im Rahmen der Studie interviewten Stakeholder optimistisch. Allerdings wird ein linearerer Anstieg bevorzugt, um den Hochlauf vor einem größeren Sprung, insbesondere zum Jahreswechsel 2034/35, nicht zu bremsen. Die Beimischungsquote für SAF nicht biogenen Ursprungs wie beispielsweise PtL-Kerosin wird dagegen skeptischer gesehen, da die aktuellen Produktionskapazitäten hinter den Erwartungen zurückliegen und die notwendige Verfügbarkeit in der Zukunft unsicher ist. Ein konkreter Fall ist die im BImSchG festgelegte PtL-Quote ab 2026, die von allen interviewten Stakeholdern mangels Verfügbarkeit als unerfüllbar bewertet wird. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung vom Mai 2025 ist daher die Abschaffung der über das der RFEUA hinausgehenden PtL-Quote vorgesehen.

Ebenso herrscht Einigkeit, dass neben klaren regulatorischen Mandaten auch die Verfügbarkeit und Kostensenkung von SAF unterstützt werden muss, beispielsweise durch mehr Offenheit beim zugelassenen Feedstock und den verwendeten Verfahren (z.B. Co-Processing, Nutzung unvermeidbarer CO₂-Emissionen) und staatlicher Unterstützung von First-Movern. Entscheidend hierbei ist es, regulatorische Unsicherheiten auf EU- und auf Bundesebene abzubauen, zum Beispiel durch eine baldige Klärung der Energiebesteuerung nachhaltiger Kraftstoffe, indem dieser Teil der Energienovelle gesondert verhandelt wird, oder der Anerkennung von importierten nachhaltigen Rohstoffen und Energien aus Drittländern. Um einen Hochlauf von Produktionsanlagen anzureizen ist für die Produzenten vor allem langfristige Anlagen- und Abnahmesicherheit von höchster Bedeutung.

Eine schnelle Einführung der angekündigten Handelbarkeit von SAF ohne physische Vertankung mit Book-and-Claim-Elementen würde die Gleichbehandlung der Fluggesellschaften innerhalb der EU sicherstellen, den Markteintritt für Kraftstoffanbieter niederschwelliger machen und Produktionsanreize dort setzen, wo es ökologisch und logistisch

am sinnvollsten ist. Verbunden mit der baldigen Einrichtung der angekündigten Unionsdatenbank würde dies ein durchgängiges und transparentes System darstellen, das Anreize für den Produktionshochlauf setzt und damit die SAF-Verfügbarkeit verbessert.

Auf bundesdeutscher Ebene könnte der SAF-Hochlauf durch Abfederung verschiedener First-Mover-Nachteile und die Bereitstellung zusätzlicher Mittel unterstützt werden, beispielsweise durch Einnahmen aus der Luftverkehrsteuer. Im Koalitionsvertrag der Bundesregierung vom Mai 2025 ist bereits die Rücknahme der durch die Vorgängerregierung beschlossenen Erhöhung der Luftverkehrsteuer angekündigt. Zur Beseitigung regulatorischer Unsicherheit muss die Bundesregierung außerdem zeitnah die für die Durchsetzung der RFEUA zuständige Behörde benennen, „Flugkraftstoffanbieter“ im Sinne der RFEUA definieren und die im BImSchG festgeschriebene PtL-Quote vor dem Hintergrund der neuen Verordnung klären. Hierauf sollte die Landesregierung gegenüber dem Bund hinwirken.

Es zeigt sich, dass das Land Baden-Württemberg unter Umständen kein Vorreiter beim physischen Einsatz von SAF sein wird, sofern es nicht gelingt eine relevante Eigenproduktion im Land zu etablieren und die Anrechnung von SAF für Unternehmen zu vereinfachen. Dies ist wiederum stark von der EU-Regulierung abhängig. Dennoch kann es einen relevanten Beitrag durch regulatorisches Engagement und Forschung leisten. Dies liegt vor allem an der geografischen Lage Baden-Württembergs mit der großen Entfernung zu potentiellen Produktionsanlagen und der langen Lieferwege per Tankwagen sowie die vergleichsweise kleinen Flughäfen, welche den physischen Einsatz von SAF später ermöglichen wird als an anderen europäischen Hubs. Vor allem in der Hochlaufphase ist der physische Einsatz an infrastrukturell sehr gut an die SAF-Lieferkette angebundene Flughäfen aus Sicht der Wirtschaftlichkeit und Emissionsreduktion dem breiten Einsatz zu bevorzugen. Eine rasche Einführung des Book-and-Claim-Modells kann den physischen Einsatz von SAF in BW zudem noch um einige weitere Jahre verzögern. Dennoch kann BW seine starke Position zum Vorteil nutzen, insbesondere im regulatorischen Engagement gegenüber der EU. Außerdem unterstützt das Land bereits mit zahlreichen Aktivitäten die Forschung und Entwicklung zur Förderung eines klimaneutralen Luftverkehrs. Dazu zählen u.a. eine laufende Studie zu Szenarien für den Bedarf an SAF und Wasserstoff im Luftverkehr sowie die Konzeption für einen freiwillig höheren Einsatz von SAF im Rahmen einer Industrieallianz.

Zusammenfassend sollte das Land Baden-Württemberg auf der **Bundesebene** auf folgende Prozesse einwirken:

- Rasche nationale Umsetzung der ReFuelEU Aviation



- Abfederung der First-Mover-Nachteile
- Verwendung der Einnahmen aus der Luftverkehrssteuer zur Förderung des SAF-Hochlaufs
- Generelle Reduktion bürokratischer Aufwände (z. B. Verkürzung von Genehmigungsverfahren)
- Unterstützung bei der Antragsstellung von Förderungen, z. B. durch Zusammenarbeit mit der NOW GmbH
- Prüfung eines nationalen Anreizsystems bzw. Opt-in-Möglichkeit von SAF ähnlich des niederländischen HBE-Handelssystems im Rahmen der RED III Umsetzung

Auf **EU-Ebene** sollte folgendes angestoßen werden:

- Verwendung der Einnahmen aus dem ETS-Handel zur Förderung des SAF-Hochlaufs
- Einführung eines kompatiblen Book-and-Claim-Systems
- Kompatible und praktikable Umsetzung der Unionsdatenbank
- Revision der Quotenentwicklung der ReFuelEU Aviation hin zu linearen Verläufen
- Abschluss der Novelle der Energiesteuerrichtlinie
- Klarstellung von Importmöglichkeiten

Abkürzungen

ADV	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen e.V.
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
ASTM	American Society for Testing and Materials
AtJ	Alcohol to Jet
BDL	Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
BMWK (BMW <i>i</i>)	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BOLR	Buyer of last resort
BW	Baden-Württemberg
CAPEX	Capital Expenditure
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanism
CEF	CORSIA Eligible Fuels
CENA	Climate, Environment and Noise Protection in Aviation
CEPS	Central Europe Pipeline System
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
CO ₂ Äq	CO ₂ -Äquivalent
CORSIA	Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DAC	Direct Air Capture
DEHSt	Deutsche Emissionshandelsstelle
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DLUC	Direct Land Use Change
EASA	European Aviation Safety Agency
EE	Erneuerbare Energien
ETD	Energy Taxation Directive
EU	Europäische Union
EUA	EU Allowances
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
EU-ETS	EU Emissions Trading System
FAST	Fueling Aviation's Sustainable Transition
FDH	IATA-Code Flughafen Friedrichshafen
FKB	IATA-Code Flughafen Karlsruhe/Baden-Baden



FT	Fischer Tropsch
GBP	Great British Pound
GHGP	Greenhouse Gas Protocols
GJ	Gigajoule
GSP	Guaranteed Strike Price
HBE	Hernieuwbare Brandstof Eenheden (Einheiten für erneuerbare Brennstoffe in den Niederlanden)
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
HVO	Hydrotreated Vegetable Oil
IATA	International Air Transport Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IDRF	Interessengemeinschaft der regionalen Flugplätze e.V.
ISCC	International Sustainability & Carbon Certification
ILUC	Indirect Land Use Change
IRA	Inflation Reduction Act
IRS	Internal Revenue Service
KlimaG BW	Klimaschutz- und Klimawandelanpassungsgesetz Baden-Württemberg
LCFS	Low Carbon Fuel Standard
Mio	Million
MSP	Minimum Selling Price
MSR	Marktstabilitätsreserve
Mt	Megatonne
MtJ	Methanol to Jet
Nabisy	Nachhaltige-Biomasse-System
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
NZIA	Net Zero Industrial Act
NZT	Net Zero Technology
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPEX	Operational Expenditure
PBtL	Power and Biogas to Liquid
PtL	Power to Liquid
RED	Renewable Energy Directive
RCF	Recycled Carbon Fuel
RCM	Revenue Certainty Mechanism
RFEUA	ReFuelEU Aviation
RFNBO	Renewable Fuels of Non-Biological-Origin



RFS (RFS2)	Renewable Fuel Standard (2)
RIN	Renewable Identification Numbers
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
RTFC	Renewable Transport Fuel Certificate
RTFO	Renewable Transport Fuel Obligation
SAF	Sustainable Aviation Fuel
SCS	Sustainability Certification Scheme
SEK	Schwedische Krone
STIP	Sustainable Transport Investment Plan
StL	Sun to Liquid
STR	IATA Code Flughafen Stuttgart
THG	Treibhausgas
TNO	Niederländische Organisation für Angewandte Naturwissenschaftliche Forschung
UK	Vereinigtes Königreich Großbritannien und Nordirland
UN	Vereinte Nationen
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
USD	US-Dollar
UDB	Unionsdatenbank
VDB	Verband der deutschen Biokraftstoffindustrie
VS	Voluntary Scheme

Abbildungen

Abbildung 1: Grober Überblick über die nach ASTM D7566-24B zugelassenen Herstellungspfade aus verschiedenen Rohstoffen nach [127] und [122] mit zusätzlichen Details aus [22]. Diese Abbildung zeigt schematisch die wichtigsten Herstellungsschritte und Zwischenprodukte und ist nicht vollständig.	20
Abbildung 2: Schritte im Kohlenstoffkreislauf bei der Herstellung von SAF nicht-biogenen Ursprungs angelehnt an Abbildung 4.1 aus [125]	21
Abbildung 3: Der Reaktor ist in drei übereinander liegende Räume aufgeteilt. Der Prozess beginnt in der Plasma-Stufe, hier wird Methan (CH ₄) eingeleitet und auf 2.000 Grad Celsius erhitzt, wodurch es den Plasmazustand annimmt. In der Boudouard-Stufe wird Kohlenstoffdioxid (CO ₂) eingeleitet, um Kohlenmonoxid (CO) zu erzeugen. In der hetWGS-Stufe wird Wasser eingeleitet, das zu Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H ₂) reagiert – den beiden Bestandteilen des Synthesegases. [124].....	24
Abbildung 4: Entwicklung der globalen SAF-Produktion seit 2019 (mit einer Schätzung für 2024) [117, 128, 4].	25
Abbildung 5: Ausblick der jährlichen globalen SAF-Produktionskapazitäten bis 2030 auf Grundlage von Angaben zur Kapazität aktueller und geplanter Produktionsanlagen [117, 128, 4]. Diese Schätzungen sind mit großer Unsicherheit versehen und daher stark unterschiedlich. So wird in [130] für 2030 eine Produktionsmenge von nur 18 Mt vorausgesagt.....	26
Abbildung 6: Anteil erneuerbarer Kraftstoffe bei verschiedenen Produktionspfaden. Beim HEFA und FT-Verfahren entstehen je nach Durchführung zwischen 15 Prozent und 55 Prozent SAF [118].	28
Abbildung 7: Aktuelle und zukünftige Produktionsstandorte von SAF in Deutschland und Europa aus [4], ergänzt um weitere Informationen und grafische Elemente in der Legende aus [16].	29
Abbildung 8: Entwicklung des Preises für SAF und fossiles Kerosin von 2019 bis 2024 [117, 128].	30
Abbildung 9: Prognose zur MSP-Entwicklung nach Herstellungspfad [38].	31
Abbildung 10: Preisspannen für verschiedene Herstellungspfade von SAF unter Berücksichtigung des MSP nach [129], ergänzt um die Prognosen von Abnehmern inklusive verschiedener Zuschläge und des MSP von etablierten	

Produktionsanlagen, also insb. keinen neuen Forschungs- oder Demonstrationsanlagen [33].....	32
Abbildung 11: Preisentwicklung für Emissionsberechtigungen seit 2008. Abbildung angepasst aus [39].....	34
Abbildung 12: Anwendungsbereiche des EU-ETS und CORSIA nach [52].....	37
Abbildung 13: Zusammenspiel internationaler, nationaler und regionaler Richtlinien, Gesetze, Verordnungen und Programme.....	39
Abbildung 14: Flexibilisierung des Einsatzes von SAF durch Book-and-Claim aus [123].....	45
Abbildung 15: HBE-Erzeugung und -Handel in den Niederlanden [115]: Ein RED-registrierter Teilnehmer am HBE-System (Kraftstofflieferant) erhält Kraftstoff und Herkunftsnachweis von RED-zertifizierter Raffinerie, kontrolliert die Massenbilanz bei einer zertifizierten Stelle und beliefert den Luftmarkt. Kraftstofflieferungen und HBE-Handel werden von Emissionsbehörde geprüft (Liefer- und Nachhaltigkeitsnachweis) und angerechnet.....	52
Abbildung 16: Vereinfachte Darstellung des RTFC-Handels aus [75]: Hersteller beantragt RTFC für hergestellte Kraftstoff. Falls bewilligt, kann das RTFC gehandelt werden, z. B. Hersteller von fossilem Kerosin kaufen von reinen SAF-Herstellern um Klimaziele zu erreichen.	55
Abbildung 17: FAST Grants als Teil der US-SAF-Strategie [116].....	57
Abbildung 18: Entwicklung der PtL-Beimischungsquoten in Deutschland (BlmSchG) und in der EU (RFEUA).....	63
Abbildung 19: Kategorisierung und Lage der relevantesten Flughäfen Baden-Württembergs nach den Klassen internationaler Flughafen, Regionalflughafen, Sonderflughafen, Verkehrslandeplatz sowie Verkehrs- und Militärlandeplatz (Eigene Darstellung mit Koordinaten von [126]).....	65
Abbildung 20: Entwicklung des Passagieraufkommens an den drei größten Verkehrsflughäfen Baden-Württembergs Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden und Friedrichshafen zwischen 2004 und 2023 nach [102]. Als gelbe Linie eingezeichnet ist die Einsatzschwelle der RFEUA.....	66
Abbildung 21: Entwicklung des Frachtgutaufkommens an den drei größten Verkehrsflughäfen Baden-Württembergs Stuttgart, Karlsruhe/Baden-Baden und	

Friedrichshafen zwischen 2008 und 2023 nach [121]. Die Einsatzschwelle der RFEUA von 100 Kilotonnen Frachtgut pro Jahr wird von keinem der Flughäfen überschritten.68

Abbildung 22: Die Flugkraftstoffkosten nehmen bei den operativen Gesamtkosten der Airlines einen signifikanten Stellenwert ein [119]. 69

Abbildung 23: Flugzeugbewegungen nach Luftverkehrsgesellschaften am Flughafen Stuttgart (STR) nach [120]73

Abbildung 24: Überblick über die in den Stakeholderinterviews hervorgebrachten Herausforderungen, Anliegen und Ideen der Kraftstoffproduzenten, Fluggesellschaften sowie Flughafenbetreiber zum Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe.....77

Abbildung 25: Übersicht der Handlungsempfehlungen zur Steigerung des Einsatzes von SAF.....79

Literatur

- [1] M. Herrmann und M. Schmidt, „Roadmap reFuels für Baden-Württemberg,“ Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, Stuttgart, 2022.
- [2] Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) GmbH, „Gesamtkonzept Erneuerbare Kraftstoffe: SAF-Monitor,“ 05 2024. [Online]. Available: <https://erneuerbarekraftstoffe.de/saf-monitor/>. [Zugriff am 17 12 2024].
- [3] Global Alliance Powerfuels, "Implementation of the RED II in the transport sector - Fostering the market ramp-up of powerfuels," Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 11 2020. [Online]. Available: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Projektportrait/Projektarchiv/GAP/Reports_and_discussion_papers/GAP-Paper_Implementation_of_the_RED_II_in_the_transport_sector.pdf. [Accessed 18 12 2024].
- [4] Verband der Deutschen Biokraftstoffindustrie e.V., „Kontroversen um Biokraftstoffe,“ [Online]. Available: <https://biokraftstoffverband.de/themen/kritik/>. [Zugriff am 20 09 2024].
- [5] Deutscher Wasserstoff-Verband (DWV), „DWV-Positionspapier zur Definition von Low Carbon Hydrogen: Klimaziele erreichen, nicht-fossile Energiepotenziale heben – Hin zu einer sachgerechten Definition von kohlenstoffarmem Wasserstoff,“ Deutscher Wasserstoff-Verband (DWV), Berlin, 2024.
- [6] RGC News - Nachrichtenportal für Energie, Klima & Umwelt, „Unionsdatenbank Gas: Was gibt es Neues?,“ 12 12 2024. [Online]. Available: <https://rgc-news.de/post/3202/unionsdatenbank-gas-was-gibt-es-neues>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [7] Europäische Kommission, „Überarbeitung der Richtlinie über die Energiebesteuerung: Fragen und Antworten,“ 14 07 2021. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/de/qanda_21_3662/QANDA_21_3662_DE.pdf. [Zugriff am 12 15 2024].
- [8] Europäische Union, „Proposal for a Council Directive restructuring the Union framework for the taxation of energy products and electricity,“ 14 07 2021.



- [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0563>. [Zugriff am 08 10 2024].
- [9] P. Messad, „Neue EU-Richtwerte für Energiesteuern kommen weiterhin nicht voran,“ EURACTIV Deutschland, 26 04 2024. [Online]. Available: <https://www.euractiv.de/section/energie/news/neue-eu-richtwerte-fuer-energiesteuern-kommen-weiterhin-nicht-voran/>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [10] P. Messad, „Green Deal: Knackpunkt Energiebesteuerung steht erneut zur Debatte,“ EURACTIV Deutschland, 17 09 2024. [Online]. Available: <https://www.euractiv.de/section/energie-und-umwelt/news/green-deal-knackpunkt-energiebesteuerung-steht-erneut-zur-debatte/>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [11] P. Messad, „Nachhaltige Kraftstoffe: Branche drängt auf Trennung der Energiebesteuerungsrichtlinie,“ EURACTIV Deutschland, 26 09 2024. [Online]. Available: <https://www.euractiv.de/section/verkehr/news/nachhaltige-kraftstoffe-branche-draengt-auf-trennung-der-energiebesteuerungsrichtlinie/>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Umsetzung des Energieeffizienzgesetzes,“ 10 10 2024. [Online]. Available: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Parlamentarische-Anfragen/2024/10/20-12945.pdf?__blob=publicationFile&v=4. [Zugriff am 18 12 2024].
- [13] N. Bullerdiek et al., „Einsatz von Multiblend JET A-1: Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Modellvorhaben der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie,“ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig, 2019.
- [14] CENA Hessen, „CENA SAF-Outlook 2024-2030 - Eine Analyse von Mengen, Technologien und Produktionsstandorten für nachhaltige Flugtreibstoffe,“ Frankfurt am Main, 2024.
- [15] V. Batteiger, K. Ebner, A. Habersetzer, L. Moser, P. Schmidt, W. Weindorf and T. Rakscha, Power-to-Liquids – A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation, Dessau-Roßlau: German Environment Agency, 2022.



- [16] airliners.de, „Indonesien: Erster kommerzieller Flug mit beigemischttem Palmöl,“ 27 10 2023. [Online]. Available: <https://www.airliners.de/indonesien-kommerzieller-flug-beigemischttem-palmoel/71268>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [17] S. Richter, K. Großmann, D. Drewke, L. Lauer, N. Dietrich und M. Grohs, „Übersicht zu relevanten Gesetzen und Industriestandards beim Markthochlauf von Sustainable Aviation Fuels,“ Projekt InnoFuels, Innovationsschwerpunkt Anwendungsfeld Luftfahrt, 2024. [Online]. Available: <https://www.innofuels.de/downloads/InnoFuels%20Anwendungsfeld%20Luftfahrt%20Meile.pdf>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [18] HeliHub.com, "Bell 505 – World's first single engined helicopter to fly on 100% SAF," 22 02 2023. [Online]. Available: <https://www.helihub.com/2023/02/22/bell-505-worlds-first-single-engined-helicopter-to-fly-on-100-saf/>. [Accessed 18 12 2024].
- [19] Technische Universität München, „Versuche mit 100% Fischer-Tropsch Kerosin an Hubschraubertriebwerk,“ 29 07 2024. [Online]. Available: <https://www.mep.tum.de/mep/aktuelles/news-single-view/article/versuche-mit-100-fischer-tropsch-kerosin-an-hubschraubertriebwerk/>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [20] S. van Dyk and J. Saddler, "Progress in Commercialization of Biojet /Sustainable Aviation Fuels (SAF): Technologies and Policies," IEA Bioenergy, 2021.
- [21] C. Engineering, „cac-chem.de,“ [Online]. Available: <https://synfuel.cac-chem.de/de/kerosin>. [Zugriff am 15 12 2024].
- [22] F. H. D. N. V. D. T. R. D. M. K. S. Valerij Teltevskij, „Schlussbericht KEROSyN100,“ Chemnitz, 2022.
- [23] International Air Transport Association (IATA), "SAF Handbook," in SAF Handbook, Montreal, IATA, 2024.
- [24] Bundesverband Bioenergie (BBE), „Position des Bundesverbandes Bioenergie e.V. (BBE) zum Gesetzesentwurf der Bundesregierung zur Weiterentwicklung der Treibhausgasminderungs-Quote,“ Bundesverband Bioenergie (BBE), Berlin, 2021.



- [25] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Conversion processes," 07 2023. [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/conversion-processes.aspx>. [Accessed 21 11 2024].
- [26] SUNlight-to-LIQUID II - Fuels from concentrated sunlight, "SUNlight-to-LIQUID - Efficient solar thermochemical synthesis of liquid hydrocarbon fuels using tailored porous-structured materials and heat recuperation," [Online]. Available: <https://sun-to-liquid-2.eu/>. [Accessed 18 12 2024].
- [27] CAPHENIA GmbH, „CAPHENIA startet letzten Bauabschnitt seiner Pilotanlage „GERMANY I“ im Industriepark Frankfurt-Höchst,“ 22 08 2024. [Online]. Available: <https://caphenia.tech/lieferung-reaktor/>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [28] H. Vonhof, „Aus Abgasen wieder Benzin machen,“ Frankfurter Neue Presse, 23 08 2024. [Online]. Available: <https://www.fnp.de/frankfurt/aus-abgasen-wieder-benzin-machen-93257333.html>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [29] International Air Transport Association (IATA), "Disappointingly Slow Growth in SAF Production," IATA, 10 12 2024. [Online]. Available: [https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-12-10-03/#:~:text=Geneva%20%E2%80%93%20The%20International%20Air%20Transport,million%20liters\)%20produced%20in%202023..](https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-12-10-03/#:~:text=Geneva%20%E2%80%93%20The%20International%20Air%20Transport,million%20liters)%20produced%20in%202023..) [Accessed 17 12 2024].
- [30] R. Sandra, D. Drewke, F. Hellwig, L. Lauer, B. Dietrich, M. Grohs, S. Rathgeber und S. Dunning, „Hemmnisse und Herausforderungen zum Markthochlauf von SAF,“ Projekt InnoFuels, Innovationsschwerpunkt Anwendungsfeld Luftfahrt, 2024.
- [31] H. Campbell et al., „Pathways to Commercial Liftoff: Sustainable Aviation Fuel,“ U.S. Department of Energy (DOE), 2024.
- [32] International Air Transport Association (IATA), "SAF Production to Triple in 2024 but More Opportunities for Diversification Needed," 2 06 2024. [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/pressroom/2024-releases/2024-06-02-03/>. [Accessed 17 12 2024].
- [33] F. Hussain, „‘Refocusing plans’: bp pauses work on SAF plants,“ SAF Investor, 21 06 2024. [Online]. Available:



- <https://www.safinvestor.com/news/145260/refocusing-plans-bp-pauses-work-on-saf-plants/>. [Zugriff am 17 12 2024].
- [34] F. Hussain, "After bp, Shell pauses work on 820,000tpa Rotterdam plant," SAF Investor, 02 06 2024. [Online]. Available: <https://www.safinvestor.com/news/145365/temporarily-pausing-work/>. [Accessed 17 12 2024].
- [35] F. Hussain, "Shell pulls out of planned e-SAF project in Sweden," SAF Investor, 08 07 2024. [Online]. Available: <https://www.safinvestor.com/news/145415/e-saf-project/>. [Accessed 17 12 2024].
- [36] International Air Transport Association (IATA), "Brief SAF procurement - Pricing options for different strategies," IATA, 11 12 2024. [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/reports/saf-procurement-pricing-options-for-different-strategies/>. [Accessed 17 12 2024].
- [37] Umweltbundesamt, „Der Europäische Emissionshandel,“ 27 08 2024. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [38] Umweltbundesamt, „Der EU-Emissionshandel wird umfassend reformiert,“ 06 07 2023. [Online]. Available: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/der-eu-emissionshandel-wird-umfassend-reformiert>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [39] International Air Transport Association (IATA), „CORSIA Handbook,“ 01 2024. [Online]. Available: <https://www.iata.org/contentassets/fb745460050c48089597a3ef1b9fe7a8/corsia-handbook.pdf>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [40] Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt, „Klimaschutz im Luftverkehr – CORSIA und der EU-ETS,“ 01 09 2023. [Online]. Available: https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/factsheets/factsheet_CORSIA-EU-ETS.pdf?__blob=publicationFile&v=2. [Zugriff am 16 12 2024].



- [41] International Civil Aviation Organization (ICAO), "CORSA Eligible Fuels," 28 10 2024. [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Pages/CORSA-Eligible-Fuels.aspx>. [Accessed 16 12 2024].
- [42] Holman Fenwick Willan LLP, „An Introduction to CORSA Eligible Fuels: What are they and why are they relevant for CORSA?“, 08 2024. [Online]. Available: <https://www.hfw.com/app/uploads/2024/08/006239-BRIEFING-An-introduction-to-Corsia-eligible-fuels-what-are-they-and-why-are-they-relevant-for-Corsia.pdf>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [43] International Air Transport Association (IATA), "Understanding SAF Sustainability - Guidance document on requirements and criteria for sustainability certification," 06 2024. [Online]. Available: https://www.iata.org/contentassets/0bf212bfcb0548f2b6ad4c1e229f7e94/guidance-document-on-saf-sustainability-certification-v0.41_rm-indepth.pdf. [Accessed 16 12 2024].
- [44] International Civil Aviation Organization (ICAO), "CORSA Approved Sustainability Certification Schemes," 10 2024. [Online]. Available: https://www.icao.int/environmental-protection/CORSA/Documents/CORSA_Eligible_Fuels/ICAO%20document%2004%20-%20Approved%20SCSs%20-%20October%202024.pdf. [Accessed 16 12 2024].
- [45] J. L. Martin Baumann, „IEA Wasserstoff Task 41: Daten und Modellierung,“ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2024.
- [46] Europäische Kommission, „Voluntary schemes set standards for the production of sustainable fuels and gases,“ [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/bioenergy/voluntary-schemes_en?prefLang=de. [Zugriff am 16 12 2024].
- [47] International Sustainability & Carbon Certification (ISCC), "Recognitions for the Energy & Fuels Markets," [Online]. Available: <https://www.iscc-system.org/markets/recognitions/>. [Accessed 16 12 2024].



- [48] CertifHy Consortium, „CertifHy Applauds German Environment Agency’s Recognition of RFNBO Certification Schemes,“ 29 11 2024. [Online]. Available: <https://www.certifhy.eu/news/certifhy-applauds-german-environment-agencys-recognition-of-rfnbo-certification-schemes/>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [49] International Sustainability & Carbon Certification (ISCC), "Which parties are involved in Nabisy?," [Online]. Available: <https://www.iscc-system.org/certification/faq/which-parties-are-involved-in-nabisy/>. [Accessed 16 12 2024].
- [50] V. Graichen und N. Wissner, „Luftverkehr im EU-ETS und CORSIA im „Fit for 55“ - Paket,“ Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, 2023.
- [51] European Union Aviation Safety Agency (EASA), „Nachhaltiger Flugkraftstoff,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/de/light/topics/sustainable-aviation-fuel>. [Zugriff am 21 September 2024].
- [52] Element Energy and Sheffield University, „Sustainable Aviation Fuel 'Facilitation Initiative',“ European Union Aviation Safety Agency (EASA), Paris, 2019.
- [53] European Union Aviation Safety Agency (EASA), "Sustainable Aviation Fuels (SAF)," EASA European Union Aviation Safety Agency, 2024. [Online]. Available: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/sustainable-aviation-fuels-saf>. [Accessed 26 11 2024].
- [54] Europäische Kommission, "ReFuelEU Aviation," 2024. [Online]. Available: https://transport.ec.europa.eu/transport-modes/air/environment/refueleu-aviation_en. [Accessed 16 12 2024].
- [55] Europäisches Parlament, „Parlamentarische Anfrage - E-001879/2024(ASW),“ 05 11 2024. [Online]. Available: https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/E-10-2024-001879-ASW_DE.html. [Zugriff am 16 12 2024].
- [56] Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), "Statement on the currently evaluated book-and-claim options for the flexibility period within Regulation (EU) 2023/2405 (ReFuelEU Aviation)," 06 2024. [Online]. Available: <https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Projektportrait/Projektarchiv/>



- [GAP/Policy_Briefs_und_Statements/Global_Alliance_Powerfuels_statement_Book-and-claim_ReFuelEU.pdf](#). [Accessed 16 12 2025].
- [57] C. G. Molyneux, C. Maczkovics, S. J. Choi und M. Coget, „The EU Net-Zero Industry Act enters into force,“ Covington & Burling LLP, 02 08 2024. [Online]. Available: <https://www.globalpolicywatch.com/2024/08/the-eu-net-zero-industry-act-enters-into-force/>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [58] J. Wilden, „Net Zero Industry Act – Kein großer Durchbruch für den deutschen Industriestandort,“ Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. (BDI), 05 03 2024. [Online]. Available: <https://bdi.eu/artikel/news/net-zero-industry-act-kein-grosser-durchbruch-fuer-den-deutschen-industriestandort>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [59] A. Tzitzikostas, Interviewee, Hearing of Commissioner-Designate. [Interview]. 04 11 2024.
- [60] International Air Transport Association (IATA), „Fact Sheet: EU and US policy approaches to advance SAF production,“ 2021. [Online]. Available: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/fact-sheet---us-and-eu-saf-policies.pdf>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [61] A. Williams, R. Marsh, K. Knight and J. Yuen, "A new sustainable aviation fuel mandate: The UK Government's latest step in supporting the decarbonisation of the UK aviation industry," Norton Rose Fulbright LLP, 05 2024. [Online]. Available: <https://www.nortonrosefulbright.com/en-de/knowledge/publications/b5f9f70c/a-new-sustainable-aviation-fuel-mandate>. [Accessed 16 12 2024].
- [62] International Transport Forum, "Sustainable Aviation Fuels: Policy Status Report," OECD Publishing, Paris, 2023.
- [63] Europäische Kommission, „Der europäische Grüne Deal,“ 12 11 2019. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0021.02/DOC_1&format=PDF. [Zugriff am 16 12 2024].
- [64] Lord Hunt of Kings Heath, "The UK's 2035 Nationally Determined Contribution emissions reduction target under the Paris Agreement," UK Parliament, 11 12



2024. [Online]. Available: <https://questions-statements.parliament.uk/written-statements/detail/2024-11-12/hcws206>. [Accessed 16 12 2024].
- [65] The White House, "FACT SHEET: President Biden Sets 2030 Greenhouse Gas Pollution Reduction Target Aimed at Creating Good-Paying Union Jobs and Securing U.S. Leadership on Clean Energy Technologies," 22 04 2021. [Online]. Available: <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/04/22/fact-sheet-president-biden-sets-2030-greenhouse-gas-pollution-reduction-target-aimed-at-creating-good-paying-union-jobs-and-securing-u-s-leadership-on-clean-energy-technologies/>. [Accessed 16 12 2024].
- [66] Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA), "Chinas clean energy trends could cut emissions by 30% in 2035 if sustained," 2024.
- [67] CIM and CCMP, "The CEPS network," [Online]. Available: <https://www.cim-ccmp.com/en/operations.php#ceps-network>. [Accessed 16 12 2024].
- [68] Invest in Holland, "What Makes the Netherlands a Global Frontrunner for Sustainable Aviation Fuels," Netherlands Foreign Investment Agency, Government of the Netherlands, 21 05 2024. [Online]. Available: <https://investinholland.com/news/what-makes-the-netherlands-a-global-frontrunner-for-sustainable-aviation-fuels/>. [Accessed 16 12 2024].
- [69] Dutch Emissions Authority (NEa), "Registering deliveries - Renewable Energy for Transport 2022-2030," [Online]. Available: <https://www.emissionsauthority.nl/topics/registering-deliveries>. [Accessed 16 12 2024].
- [70] ICF International Inc., "EU ETS Phase 4 Analysis - ICF Report for IenW," 2024.
- [71] O. Irwin, R. Meade, N. Neuberger and K. Delaney, "Renewable Energy Laws and Regulations United Kingdom 2025," Global Legal Group (GLG), 19 09 2024. [Online]. Available: <https://iclg.com/practice-areas/renewable-energy-laws-and-regulations/united-kingdom>. [Accessed 16 12 2024].
- [72] Department for Transport (DfT), "Jet Zero Strategy - Delivering net zero aviation by 2050," 07 2022. [Online]. Available:



- <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/62e931d48fa8f5033896888a/jet-zero-strategy.pdf>. [Accessed 16 12 2024].
- [73] Department for Transport (DfT), „The Renewable Transport Fuel Obligation – an essential guide,“ 20 12 2023. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/publications/about-the-rtfo/the-rtfo-an-essential-guide>. [Zugriff am 19 12 2024].
- [74] Department for Transport (DfT), "Supporting recycled carbon fuels through the renewable transport fuel obligation: government response," 16 02 2024. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/consultations/supporting-recycled-carbon-fuels-through-the-renewable-transport-fuel-obligation/outcome/supporting-recycled-carbon-fuels-through-the-renewable-transport-fuel-obligation-government-response>. [Accessed 16 12 2024].
- [75] Department for Transport (DfT), "Revamped taskforce set to deliver a sustainable vision for aviation," 25 11 2024. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/news/revamped-taskforce-set-to-deliver-a-sustainable-vision-for-aviation>. [Accessed 16 12 2024].
- [76] Department for Transport (DfT), "Written statement to Parliament: Sustainable aviation fuel initiatives," 22 07 2024. [Online]. Available: <https://www.gov.uk/government/speeches/sustainable-aviation-fuel-initiatives>. [Accessed 16 12 2024].
- [77] Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany e.V. (aireg), "The role of revenue certainty mechanisms in the UK," 04 09 2024. [Online]. Available: <https://aireg.de/wp-content/uploads/2024/10/The-role-of-revenue-certainty-mechanisms-in-the-UK.pdf>. [Accessed 16 12 2024].
- [78] Climate Catalyst, "Sustainable aviation fuel policy in the UK," 12 2024. [Online]. Available: <https://climatecatalyst.org/learning-hub/sustainable-aviation-fuel-policy-in-the-uk/>. [Accessed 16 12 2024].
- [79] Federal Aviation Administration (FAA), "United States 2021 Aviation Climate Action Plan," 2021. [Online]. Available: https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/2021-11/Aviation_Climate_Action_Plan.pdf. [Accessed 16 12 2024].



- [80] U.S. Department of Energy, "Sustainable Aviation Fuel Grand Challenge," [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/bioenergy/sustainable-aviation-fuel-grand-challenge>. [Accessed 16 12 2024].
- [81] Federal Aviation Administration (FAA), "Fueling Aviation's Sustainable Transition (FAST) Grants," 16 08 2024. [Online]. Available: <https://www.faa.gov/general/fueling-aviations-sustainable-transition-fast-grants>. [Accessed 17 12 2024].
- [82] US Government Publishing Office (GPO), "Inflation Reduction Act," 16 08 2022. [Online]. Available: <https://www.congress.gov/117/plaws/publ169/PLAW-117publ169.pdf>. [Accessed 17 12 2024].
- [83] Internal Revenue Service (IRS), "Treasury, IRS issue guidance on Sustainable Aviation Fuel Credit," 15 12 2023. [Online]. Available: <https://www.irs.gov/newsroom/treasury-irs-issue-guidance-on-sustainable-aviation-fuel-credit>. [Accessed 17 12 2024].
- [84] Biomass Research and Development (BR&D) Board, "SAF Grand Challenge Roadmap - Flight Plan for Sustainable Aviation Fuel," 09 2022. [Online]. Available: <https://www.energy.gov/sites/default/files/2022-09/beto-saf-gc-roadmap-report-sept-2022.pdf>. [Accessed 17 12 2024].
- [85] The International Council on Clean Transportation (icct), "U.S. EPA Renewable Fuel Standard 2 - Final Rule Summary," 02 04 2010. [Online]. Available: https://theicct.org/wp-content/uploads/2021/06/policyupdate6_rfs2.pdf. [Accessed 17 12 2024].
- [86] California Air Resources Board, "Low Carbon Fuel Standard," [Online]. Available: <https://ww2.arb.ca.gov/sites/default/files/2020-09/basics-notes.pdf>. [Accessed 17 12 2024].
- [87] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), "Renewable Identification Numbers (RINs) under the Renewable Fuel Standard Program," 23 01 2024. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/renewable-identification-numbers-rins-under-renewable-fuel-standard>. [Accessed 17 12 2024].



- [88] International Air Transport Association (IATA), "IATA Sustainable Aviation Fuel Roadmap," 2015. [Online]. Available: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/safr-1-2015.pdf>. [Accessed 18 12 2024].
- [89] H. M. Salmi, "The impact of the traffic charge incentives on Sustainable Aviation Fuel (SAF) use," Master Thesis at Haaga-Helia, 02 2023.
- [90] Schiphol, "AMS airport charges, levies, slots and conditions," 2024. [Online]. Available: <https://www.schiphol.nl/en/route-development/page/ams-airport-charges-levies-slots-and-conditions/>. [Accessed 18 12 2024].
- [91] Royal Schiphol Group, "Annual Report 2023 Royal Schiphol Group," 2024.
- [92] A. Röben, „Top 20: Die weltweit größten Flughäfen der Welt,“ JAHR MEDIA GmbH & Co. KG, 21 07 2024. [Online]. Available: <https://www.aerointernational.de/aviation-nachrichten/top-20-die-weltweit-groessten-flughaefen-der-welt-passagieraufkommen.html>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [93] Heathrow (SP) Limited, "Annual Report 2023 Heathrow," 2024.
- [94] Heathrow Airport Limited, "Heathrow Airport Limited Conditions of Use including Airport Charges from 1 January 2025," 03 12 2024. [Online]. Available: <https://www.heathrow.com/content/dam/heathrow/web/common/documents/company/doing-business-with-heathrow/flights-condition-of-use/conditions-of-use-documents/2025/Heathrow-Airport-Limited-Conditions-of-Use-2025.pdf>. [Accessed 18 12 2024].
- [95] Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (BDL), „BDL fordert Abschaffung der deutschen E-Kerosin-Quote ab 2026 – Nationaler Alleingang steht EU-Recht entgegen – Bisher keine PtL-Produktion in Europa,“ 25 09 2024. [Online]. Available: <https://www.bdl.aero/pressemitteilung/bdl-fordert-abschaffung-der-deutschen-e-kerosin-quote-ab-2026-nationaler-alleingang-steht-eu-recht-entgegen-bisher-keine-ptl-produktion-in-europa/>. [Zugriff am 18 12 2024].



- [96] Hint.co GmbH, "How it works - The H2Global mechanism," 09 2024. [Online]. Available: <https://www.hintco.eu/how-it-works>. [Accessed 18 12 2024].
- [97] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Importstrategie für Wasserstoff und Wasserstoffderivate,“ 07 2024. [Online]. Available: <https://dserver.bundestag.de/btd/20/124/2012410.pdf>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [98] Hint.co GmbH, "Shaping the global energy transition. - H2Global's Pilot Auction Results," 11 07 2024. [Online]. Available: <https://cdn.sanity.io/files/u4w9plcz/production/3e66aeabe28c5b5c174f49e3a37595f4f73fbeac.pdf>. [Accessed 18 12 2024].
- [99] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), „Auswertung der Marktkonsultation zur zweiten Auktion des Wasserstoffprogramms H2Global,“ 21 11 2024. [Online]. Available: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/A/auswertung-marktkonsultation-zur-zweiten-auktion-h2global.pdf?__blob=publicationFile&v=5. [Zugriff am 18 12 2024].
- [100] Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, „Personen- und Güterverkehr - Luftverkehr,“ 2024. [Online]. Available: https://www.statistik-bw.de/Verkehr/PersGueterverk/v5b06_lv.jsp. [Zugriff am 01 11 2024].
- [101] Flughafen Stuttgart GmbH, „Depart. - Bericht 2023 (Inklusive konsolidierter Umwelterklärung),“ Flughafen Stuttgart GmbH, Stuttgart, 2024.
- [102] Shell, "Shell calls for more action on aviation emissions and announces ambition to produce around 2 million tonnes of sustainable aviation fuel a year," Shell, 20 09 2021. [Online]. Available: <https://www.shell.com/business-customers/aviation/news-and-media-releases/news-and-media-2021/shell-calls-for-more-action-on-aviation-emissions.html#:~:text=Royal%20Dutch%20Shell%20plc%20%28Shell%29%20today%20announced%20its,global%20aviation%20fuel%20sal>. [Accessed 12 12 2024].
- [103] Neste, "Frequently asked questions related to SAF: What is SAF made of?," Neste, [Online]. Available: <https://www.neste.com/products-and->



- [innovation/sustainable-aviation/questions-and-answers-about-saf](#). [Accessed 12 12 2024].
- [104] Air bp (BP p.l.c.), "bp plans to deliver five projects to increase SAF supply," 03 2023. [Online]. Available: https://www.bp.com/en/global/air-bp/news-and-views/air-bp-news/bp_plans_to_deliver_five_projects_to_increase_SAF_supply.html. [Accessed 12 12 2024].
- [105] TotalEnergies, "Air France-KLM ramps up its SAF offtake agreement with TotalEnergies, which will supply up to 1.5 million tons of more sustainable aviation fuel over a 10-year period," TotalEnergies, 23 09 2024. [Online]. Available: <https://totalenergies.com/news/press-releases/air-france-klm-ramps-its-saf-offtake-agreement-totalenergies-which-will-supply>. [Accessed 12 12 2024].
- [106] D. Ruprecht et al., „Wie kann die Dynamik der Wasserstoffwirtschaft gesteigert werden? Aktuelle Erkenntnisse aus den Reallaboren der Energiewende,“ Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) e. V., München, 2024.
- [107] Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, „Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/koalitionsvertrag-2021-1990800>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [108] CDU - Christlich Demokratische Union, CSU - Christlich-Soziale Union, SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschland, Verantwortung für Deutschland - Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD - 21. Legislaturperiode, CDU - Christlich Demokratische Union, CSU - Christlich-Soziale Union, SPD - Sozialdemokratische Partei Deutschland, 2025.
- [109] Europäische Kommission, „Q&A Implementation of Hydrogen Delegated Acts,“ Europäische Kommission, 2024.
- [110] ISCC - International Sustainability & Carbon Certification, „ISCC EU 205-1 Renewable Fuels of Non-Biological Origin (RFNBO) and Recycled Carbon Fuels (RCF) Greenhouse Gas Emissions,“ ISCC - International Sustainability & Carbon Certification System GmbH, 2024.



- [111] Europäische Kommission, „Deligierten Verordnung (EU) 2023/1185 der Kommission,“ 10 Februar 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32023R1185>.
- [112] Flughafen Stuttgart GmbH, „Entgeltordnung Aviation - Charges Regulation,“ 07 2024. [Online]. Available: https://www.flughafen-stuttgart.de/media/310302/20240701_str_entgeltordnung_aviation_flughafen-stuttgart.pdf. [Zugriff am 18 12 2024].
- [113] Bundesverband der DeutschenLuftverkehrswirtschaft e. V. (BDL), „Umsetzung der RED II Revision („RED III“),“ 30 04 2024. [Online]. Available: <https://www.lobbyregister.bundestag.de/media/3b/69/326114/Stellungnahme-Gutachten-SG2406260264.pdf>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [114] O. Meijerink, "Deliverable D3.3: RED II status report 1st," Advanced Sustainable BIOfuels for Aviation (Bio4A), 2020.
- [115] Federal Aviation Administration (FAA), "Sustainable Aviation Fuels (SAF)," 16 08 2024. [Online]. Available: <https://www.faa.gov/about/officeorg/headquartersoffices/apl/sustainable-aviation-fuels-saf>. [Accessed 16 12 2024].
- [116] International Air Transport Association (IATA), "Chart of the Week - Sustainable aviation fuel output increases, but volumes still low," 01 09 2023. [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/iata-repository/publications/economic-reports/sustainable-aviation-fuel-output-increases-but-volumes-still-low/>. [Accessed 17 12 2024].
- [117] International Air Transport Association (IATA), "Chart of the Week - Sustainable Aviation Fuels Pathways and Product Slate," 03 05 2024. [Online]. Available: <https://www.iata.org/en/publications/economics/chart-week/chart-of-the-week-3-may-2024/>. [Accessed 17 12 2024].
- [118] Statista, „Anteil der Kerosinkosten an den operativen Gesamtkosten der weltweiten Fluggesellschaften in den Jahren 2003 bis 2024,“ 2024. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253718/umfrage/anteil-der-kerosinkosten-an-den-gesamtkosten-der-airlines/>. [Zugriff am 18 12 2024].



- [119] Stuttgart Airport, „Statistischer Jahresbericht 2023,“ Flughafen Stuttgart GmbH, Stuttgart, 2023.
- [120] Arbeitsgemeinschaft Deutscher Verkehrsflughäfen, „ADV-Monatsstatistiken,“ Berlin, 2024.
- [121] Aviation Initiative for Renewable Energy in Germany e. V. (aireg) und Wirtschaftsverband Fuels und Energie e. V. (en2x), „Let's Fly SAF, Now - Nachhaltige Kraftstoffe für die Luftfahrt,“ 2024. [Online]. Available: https://en2x.de/wp-content/uploads/2024/06/Handout_SAF_in_der_Luftfahrt_ILA_ES_web.pdf. [Zugriff am 18 12 2024].
- [122] S. Schwuchow, „Herausforderungen und Chancen von "Book & Claim" für nachhaltiges Fliegen,“ airliners.de, 11 10 2024. [Online]. Available: <https://www.airliners.de/status-quo-klimaschutz-4-herausforderungen-chancen-book-claim-nachhaltiges-fliegen/77043>. [Zugriff am 16 12 2024].
- [123] D. Barbier, „Die CAPHENIA-Technologie - Mit synthetischem Treibstoff zum CO₂-neutralen Fliegen,“ Luft- und Raumfahrt, Bd. 2 / 2022, p. 4, 2022.
- [124] European Union Aviation Safety Agency (EASA), "European aviation environmental report 2022," 2022. [Online]. Available: https://www.easa.europa.eu/eco/sites/default/files/2023-02/230217_EASA%20EAER%202022.pdf. [Accessed 08 12 2024].
- [125] OurAirports, „Airports in Baden-Württemberg, Germany,“ [Online]. Available: <https://ourairports.com/countries/DE/BW/>. [Zugriff am 18 12 2024].
- [126] International Civil Aviation Organization (ICAO), "SAF production technologies and certification," 23 02 2023. [Online]. Available: <https://www.icao.int/environmental-protection/Documents/ACT-SAF/ACT%20SAF%20series%203%20-%20SAF%20production%20technologies%20and%20certification.pdf>. [Accessed 18 12 2024].
- [127] International Air Transport Association (IATA), "SAF Volumes Growing but Still Missing Opportunities," 6 Dezember 2023. [Online]. Available:



<https://www.iata.org/en/pressroom/2023-releases/2023-12-06-02/>. [Accessed 18 12 2024].

- [128] R. G. Grim et al., „Electrifying the production of sustainable aviation fuel: the risks, economics, and environmental benefits of emerging pathways including CO₂,“ Energy & Environmental Science, Bd. 15, Nr. 11, pp. 4798-4812, 2022.
- [129] S&P Global, "SAF production to triple to 1.5 mil mt in 2024 but progress slow: IATA," 06 12 2023. [Online]. Available: <https://www.spglobal.com/commodity-insights/en/news-research/latest-news/crude-oil/120623-saf-production-to-triple-to-15-mil-mt-in-2024-but-progress-slow-iata>. [Accessed 19 12 2024].