



Hemmnisse und Herausforderungen zum Markthochlauf von SAF

Kontakt

Projekt InnoFuels, Innovationsschwerpunkt Anwendungsfeld Luftfahrt

Institutionen: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., CENA Hessen,
Condor Flugdienst GmbH

Autoren: Dr. Sandra Richter, Deandra Drewke, Franziskus Hellwig (DLR)
Léonie Lauer, Bernhard Dietrich, Melanie Grohs (CENA Hessen)
Sina Rathgeber, Sophia Dunning (Condor)

E-Mail: InnoFuels@dlr.de

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



GESAMTKONZEPT
**ERNEUERBARE
KRAFTSTOFFE**

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Digitales
und Verkehr

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Koordiniert durch:



Projektträger:



Inhalt

1	Einleitung	3
2	Identifizierung und Priorisierung der Hemmnisse für den Markthochlauf	4
	<i>Stakeholder-Workshops</i>	4
	<i>Durchführung der Stakeholder-Umfrage</i>	4
	<i>Auswertung der Stakeholder-Umfrage</i>	6
3	Warum wird nicht ausreichend in SAF investiert?	9
	<i>Geringe Renditeerwartung</i>	9
	<i>Hohes Risiko des nicht Gelingens</i>	10
	<i>Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Finanzkapital</i>	11
4	Warum wird nicht ausreichend SAF produziert?	12
	<i>Hemmnisse bei der Produktion von strombasiertem SAF (PtL-Treibstoffe)</i>	12
	<i>Hemmnisse bei der Produktion von biogenem SAF</i>	13
	<i>Weitere Hemmnisse bei der Produktion von SAF</i>	14
5	Warum wird nicht ausreichend SAF nachgefragt?	15
	<i>Hohe Kosten von SAF</i>	15
	<i>Wettbewerbsverzerrung und fehlende finanzielle Anreize</i>	15
	<i>Mangelnde Verfügbarkeit von SAF</i>	16
6	Unsicherheiten in Bezug auf die Nachhaltigkeit von SAF	17
	<i>Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von strombasierten SAF (PtL-Treibstoffe)</i>	17
	<i>Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von biogenen SAF</i>	18
	<i>Weitere Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von SAF</i>	19
7	Fazit und Ausblick	21
	Abkürzungsverzeichnis	22
	Quellenverzeichnis	23
	Anhang	25

1 Einleitung

Die Gestaltung einer klimaverträglicheren Luftfahrt erfordert eine schnelle, effiziente und signifikante Reduktion der klimaschädlichen Emissionen. Zu den erfolgversprechenden Maßnahmen gehört hierbei auch der vermehrte Einsatz von Sustainable Aviation Fuels (SAF), der bereits durch entsprechende gesetzlich verpflichtende nationale und EU-weite Beimischungsverpflichtungen forciert werden soll. Die Verfügbarkeit von SAF für einen signifikanten Beitrag zur Senkung der Emissionen sowie zur Erfüllung der Quoten, erfordert allerdings einen schnellen Markthochlauf des klimaverträglicheren Treibstoffes. Aus ökonomischer Sichtweise wird ein Markthochlauf dann erreicht, wenn das betrachtete Produkt breit nachgefragt und in entsprechend großen Mengen produziert wird. Dies bedingt wiederum als Voraussetzung die dafür notwendigen Herstellungskapazitäten, um die Verfügbarkeit zu gewährleisten. Im Fall von SAF ist dieser Schritt noch nicht erfolgt.

Der vorliegende Bericht betrachtet und analysiert im Rahmen des vom BMDV geförderten Projekts InnoFuels im Anwendungsfeld Luftfahrt die Hemmnisse und Herausforderungen, die einem Markthochlauf von SAF in Deutschland aktuell gegenüberstehen. Dabei wurden die Hemmnisse im Rahmen von zwei Stakeholder-Workshops im September 2023 und Februar 2024 erarbeitet und durch Literaturrecherche sowie Experteninterviews ergänzt.

Die identifizierten Aspekte, die einem Markthochlauf von SAF entgegenstehen, bildeten anschließend die Grundlage einer Stakeholder-Umfrage. Zielsetzung dieser Umfrage war es, die Auflösung der Markthemmnisse aus Sicht der Luftfahrt nach ihrer Wichtigkeit und Dringlichkeit zu bewerten. Damit soll gewährleistet werden, dass bei der späteren Entwicklung von Lösungsansätzen für den Markthochlauf von SAF der Fokus zunächst auf den Hemmnissen mit der höchsten Priorität liegt.

2 Identifizierung und Priorisierung der Hemmnisse für den Markthochlauf

Stakeholder-Workshops

Im Rahmen des Projekts InnoFuels wurden zwei umfassende Stakeholder-Workshops durchgeführt, um die **Hemmnisse für den Markthochlauf von SAF zu identifizieren und zu analysieren**. Diese Workshops fanden im September 2023 sowie Februar 2024 statt und hatten das Ziel, die Herausforderungen für den Markthochlauf von SAF systematisch zu erarbeiten. An den Veranstaltungen nahmen Vertreter verschiedener Stakeholder-Gruppen teil, darunter Forschungseinrichtungen, Fluggesellschaften, Kraftstoffproduzenten, Flughafenbetreiber, Finanzierungsinstitutionen, Nachhaltigkeitsorganisationen (NGOs), Regulierungsbehörden, Unternehmen entlang der Lieferkette sowie Original Equipment Manufacturers (OEMs).

Der **erste Workshop** konzentrierte sich auf die allgemeinen regulatorischen Aspekte und Rahmenbedingungen im Zusammenhang mit der Einführung von SAF. Die Teilnehmer diskutierten die derzeitigen gesetzlichen Vorgaben und politischen Rahmenbedingungen, die den Einsatz von SAF beeinflussen. Die Ergebnisse dieses Workshops wurden anschließend analysiert und durch Literaturrecherchen sowie Experteninterviews weiter vertieft und ergänzt.

Im **zweiten Workshop** wurden die zuvor identifizierten Hemmnisse in Gruppen weiter vertieft und diskutiert. Die Gruppenarbeit fokussierte sich auf drei Hauptbereiche: technische Herausforderungen, den SAF-Einsatz als Business Case sowie sozio-ökonomische Herausforderungen. Dies führte zu einer umfassenden Liste von Hemmnissen, welche die Luftfahrtbranche unterschiedlich stark betreffen und teilweise auch an andere Interessensgruppen adressiert sind.

Durchführung der Stakeholder-Umfrage

Die Ergebnisse aus den Workshops bildeten die Grundlage für eine anschließende Stakeholder-Umfrage. Ziel der Umfrage war die **Bewertung der identifizierten Hemmnisse** beim Markthochlauf von SAF entsprechend ihrer Relevanz für die Luftfahrtbranche. Aufgabe der Befragten war es, für jedes Markthemmnis einzuschätzen, ob die Auflösung des jeweiligen Hemmnisses aus Sicht der Luftfahrt als wichtig und/oder dringend eingeschätzt wird.

Zur Bewertung der Faktoren *Wichtigkeit* und *Dringlichkeit* standen die in Abbildung 1 gezeigten Optionen im Sinne einer Eisenhower-Matrix zur Auswahl.

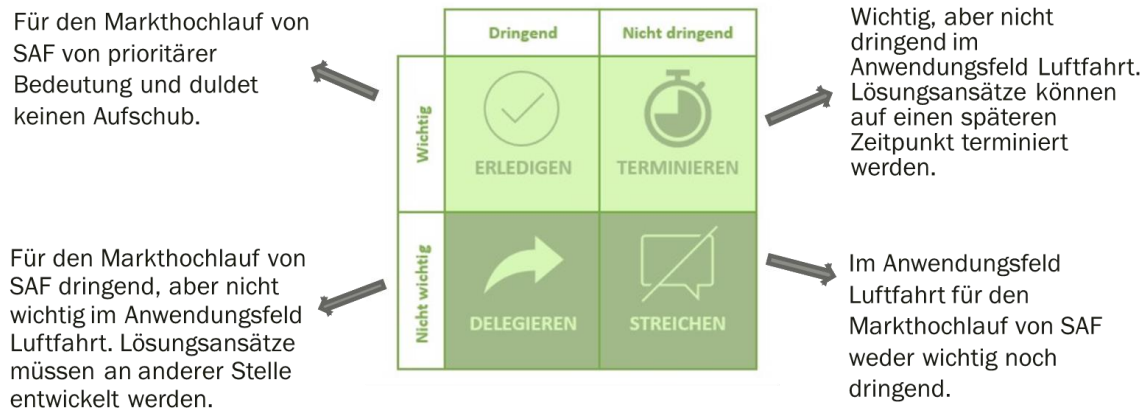


Abbildung 1: Eisenhower-Matrix aus [1] mit Bewertungsoptionen für die Priorisierung der Markthemmnisse

Der Befragungszeitraum erstreckte sich vom 30. April bis zum 20. Mai 2024, wobei der Umfragelink sowohl über den projektinternen Stakeholder-Mailverteiler als auch über das Social-Media-Netzwerk LinkedIn verbreitet wurde. Insgesamt gab es 37 Teilnehmer, die sich, wie in Abbildung 2 dargestellt, nach unterschiedlichen Stakeholder-Gruppen aufteilen lassen. Es ist deutlich erkennbar, dass mit 15 Parteien zwar ein Großteil der Teilnehmer dem Forschungssektor entstammt, dennoch aus jeder Gruppe mindestens ein Stakeholder vertreten ist.

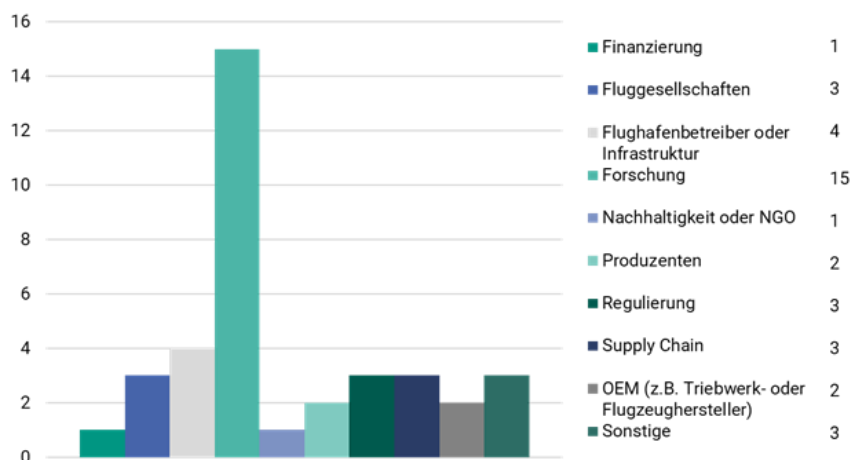


Abbildung 2: Struktur der Umfrageteilnehmer nach Stakeholder-Gruppen

Auswertung der Stakeholder-Umfrage

Im Zuge der Auswertung der Umfrage wurden die Handlungsschwerpunkte in die vier Themenfelder „Investitionen“, „Produktion“, „Anwender Luftfahrt“ sowie „Nachhaltigkeit“ gegliedert. Der Zusammenhang zwischen diesen vier Themenfeldern ist nachfolgend in Abbildung 3 dargestellt.

Die Hemmnisse der Stakeholder-Umfrage wurden entsprechend der Themenfelder geordnet, zusammen mit den Umfrageergebnissen grafisch aufbereitet und sind als Abbildungen an diesen Bericht angehängt (Anhang: Abbildungen 4-8). Nachfolgend werden die Kernaussagen der Umfrage zusammengefasst. Der Fokus liegt dabei auf den Hemmnissen, deren Beseitigung als besonders relevant (wichtig und dringend) für die Luftfahrtbranche eingestuft wurde.

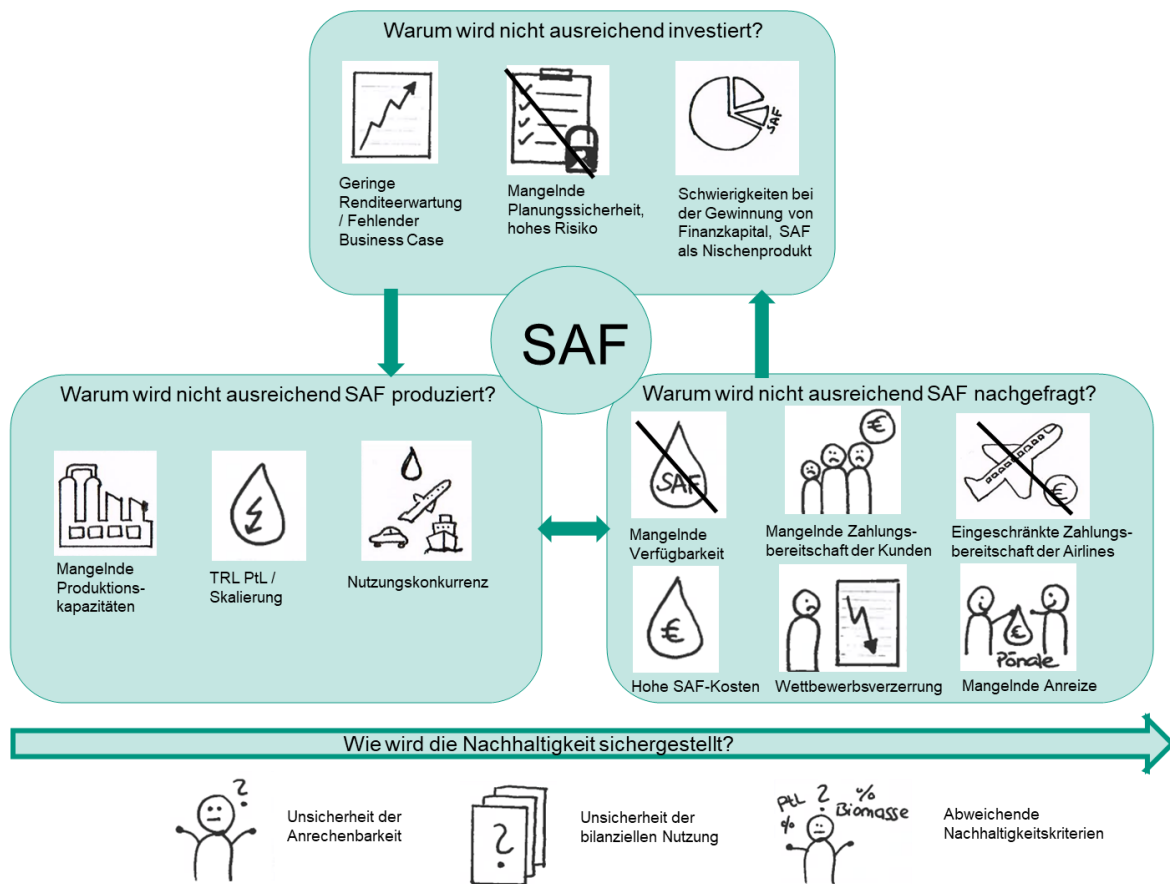


Abbildung 3: Kernfragen und Hemmnisse für den Markthochlauf von nachhaltigen Flugtreibstoffen [eigene Darstellung]

Im Themenfeld **Investitionen** zeichnete sich der Mangel an Investitionen für SAF-Anlagen als besonders problematisch ab, da 89 % der Befragten dieses Hemmnis als höchst relevant betrachteten. Auch die unzureichende Planungs- und Investitionssicherheit aufgrund

regulatorischer Rahmenbedingungen stellte für 84 % der Teilnehmer eine kritische Hürde dar. Aufgrund der hohen Stimmenanteile im Vergleich zu den Hemmnissen der anderen Themenfelder sollten diese beiden Hemmnisse bei der Erarbeitung von Lösungsansätzen entsprechend prioritär betrachtet werden.

Im Bereich **Produktion** identifizierten 84 % der Befragten die geringen Produktionskapazitäten von SAF als besonders hemmend für den Markthochlauf. Gefolgt von der fehlenden Hochskalierung der PtL-Prozesskette, deren reale Umsetzbarkeit mit 59 % ebenfalls als wichtig und dringend angesehen wurde. Die zeit- und kostenintensiven Zulassungsprozesse der SAF-Herstellverfahren und Treibstoffe durch die zuständige Standardisierungsorganisation ASTM wurden von insgesamt 78 % der Teilnehmer als wichtig beurteilt, wovon 46 % eine Beseitigung des Hemmnisses auch als dringend einstufen.

Im Themenfeld **Anwendung Luftfahrt** bewerteten 65 % der Befragten die Unsicherheit bezüglich Zusatzkosten und fehlende ökonomische Anreize als wichtigstes und dringendstes zu lösendes Hemmnis, da die Kosten für SAF höher sind als für fossiles Kerosin. Auch die mangelnde Verfügbarkeit von SAF an Flughäfen erhielt mit 54 % eine hohe Priorität.

Im Bereich **Nachhaltigkeit** bewertete mit 51 % die Mehrheit der Teilnehmer die strenge Regulierung der CO₂-Quelle im SAF-Herstellungsprozess gemäß RED II/III als das bedeutendste Hemmnis. Die Behebung der begrenzten Verfügbarkeit nachhaltiger Biomasse wurde in Summe mit 76 % zwar ebenfalls als wichtig, aber nur von der Hälfte dieser Stimmen auch als dringend empfunden. Im Vergleich zu den anderen Themenfeldern wurde die Dringlichkeit der Beseitigung der Nachhaltigkeitshemmnisse auch insgesamt als geringer eingeschätzt.

Sozioökonomische Aspekte wurden insgesamt als eher weniger wichtig eingeschätzt und werden daher im Folgenden nicht näher betrachtet. Ebenfalls nicht näher betrachtet werden die begrenzte Verfügbarkeit erneuerbarer Energien und die mangelnde Elektrolysekapazität für Wasserstoff. Dies sind zwar wichtige und dringende allgemeine Herausforderungen, die aber nicht nur den Markthochlauf von SAF hemmen, sondern globale Hemmnisse für die Versorgung mit erneuerbaren Energien wie auch grünem Wasserstoff sind. Daher sind diese Punkte nicht nur aus dem Blickwinkel der Luftfahrt zu behandeln, sondern bedürfen einer breiteren Betrachtung.

Die Priorisierung der Umfrageergebnisse unterstreicht die **Notwendigkeit einer fokussierten Entwicklung von Lösungsansätzen**, insbesondere in den **Bereichen Investitionen und Produktion**, um den Markthochlauf von SAF effektiv voranzutreiben. Die Entwicklung

von Lösungsansätzen wird in einem gesonderten Bericht betrachtet. Im Folgenden werden die Hemmnisse und die ihnen zugrunde liegenden Gründe erläutert.

3 Warum wird nicht ausreichend in SAF investiert?

Der Markthochlauf nachhaltiger Flugtreibstoffe wird durch verschiedene Faktoren behindert, wodurch Investitionen in diesem Bereich als unattraktiv wahrgenommen werden. Die Ursachen für die unzureichende Bereitschaft zu Investitionen in Produktionsanlagen für nachhaltige Flugtreibstoffe (Sustainable Aviation Fuels, SAF) bei Produzenten und Finanzinvestoren sind vielfältig und betreffen alle Aspekte der ökonomischen, technischen und regulatorischen Rahmenbedingungen.

Aus Investorensicht lassen sich drei Hemmnis-Cluster definieren:

1. Geringe Renditeerwartung
2. Hohes Risiko des nicht Gelingens
3. Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Finanzkapital

Geringe Renditeerwartung

Die **geringe Renditeerwartung** aus Investitionen in Anlagen zur Herstellung von SAF resultiert einerseits aus hohen Kosten in der Produktion. Die Investitionen sind mit hohen Kosten für die Syntheseanlage, gegebenenfalls für die CO₂-Gewinnung mittels Direct Air Capture (DAC) oder Abscheidung, für die Erzeugung von erneuerbarem Strom sowie für Elektrolysekapazitäten verbunden. Des Weiteren sind die Kosten der eigentlichen Produktion in erheblichem Maße von den Kosten der benötigten Energie sowie der nachhaltigen Rohstoffe (Biomasse, CO₂, Wasser) abhängig. In Abhängigkeit vom Standort sowie dem gewählten Verfahren können die Energiekosten einen Anteil von bis zu 50 % an den Herstellungskosten erreichen [2].

Andererseits ist trotz der Einführung der von der ReFuelEU Aviation Verordnung divergierenden nationalen PtL-Quote (BlmSchG) ab 2026 in Deutschland bisher **keine substantielle Nachfrage** nach PtL-Kerosin zu verzeichnen (vgl. Kapitel 5). Diese Situation ist zum einen darauf zurückzuführen, dass die Zahlung der im BlmSchG festgelegten Pönale [3] zusammen mit den Kosten für fossiles Kerosin und CO₂-Zertifikate günstiger ist, als die Kosten (und damit die Preise) für PtL-Kerosin aus den ersten Pionier-Anlagen. Außerdem bringt divergierendes nationales Recht in verschiedenen Staaten für potenzielle Investoren Unsicherheit hinsichtlich regulatorischer Vorgaben. Fluggesellschaften sehen sich mit der Herausforderung konfrontiert, die hohen Mehrkosten für den Einsatz von SAF an ihre Kunden weiterzugeben. Diese Problematik betrifft insbesondere Privatreisende. Im Geschäftskundensegment besteht eine gewisse Bereitschaft, höhere Preise zu akzeptieren, sofern

die CO₂-Einsparungen durch SAF zertifiziert und anrechenbar sind. Dies ist gegenwärtig jedoch noch nicht bei allen geplanten SAF-Herstellungspfaden gegeben. Die geringe Bereitschaft des Marktes, höhere Preise zu akzeptieren, sowie die Unsicherheit bezüglich der Anrechenbarkeit **verhindern einen nachfrageseitigen Stimulus**.

Hohes Risiko des nicht Gelingens

Ein weiteres Markthochlaufhemmnis besteht in der Komplexität und den damit einhergehenden Risiken, die der Bau einer PtL-Anlage aufweist. Abgesehen vom klassischen HEFA-Verfahren, sind viele neuere Produktionsverfahren noch nicht in industriellem Produktionsmaßstab vorhanden (siehe Kapitel 4). Dies bedeutet, dass Investitionen noch mit einem technologischen Risiko behaftet sind. Insbesondere die Verfahren zur Herstellung von strombasierten Treibstoffen nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren oder der Methanol-to-Jet-Route, haben als Gesamtsystem mit der Herstellung von Synthesegas noch einen relativ geringen Reifegrad. Damit einher geht das **technologische Risiko**, dass die Inbetriebnahme sich verzögert oder gar nicht gelingt bzw. der Prozess selbst nicht funktioniert und damit das Projekt als Ganzes scheitert.

Der Bau einer Anlage erfordert lange Planungszeiten von mehr als zwei Jahren und hat damit **signifikante Planungsrisiken**. Unsichere Annahmen hinsichtlich der Kosten für die Erstellung der Anlagen sowie der Entwicklung der Produktionskosten, langwierige Genehmigungsverfahren und relativ hohe Vorabkosten in der Planungsphase, machen die Planung schwierig und ungewiss. Hinzu kommen komplexe Abhängigkeiten von geplanten Infrastrukturen (H₂-Netz, Stromnetzausbau, CO₂-Versorgung) oder notwendige Investitionen in die komplette Lieferkette (EE-Erzeugung, H₂-Erzeugung, CO₂-Bereitstellung, Synthese-Anlagen, Aufarbeitungsanlagen). Dies führt dazu, dass komplexe Konsortien und Partnerschaften koordiniert und gemanagt werden müssen, was ein **organisatorisches Risiko** beinhaltet.

Der verpflichtende Einsatz von SAF, und damit dessen Herstellung, unterliegen einer ganzen Reihe von gesetzlichen Regelungen, aus welchen sich erhebliche **regulatorisch bedingte Risiken** ergeben können. So bestimmen Regelungen zur Verwendbarkeit von Biomasse bei der Herstellung von SAF die stoffliche Ausgangsbasis für die Produktion und, je nach Verfügbarkeit der Stoffe, indirekt auch deren Preise. Teilweise determinieren diese Regelungen auch die Produktionsverfahren. Und sie bestimmen die Anrechenbarkeit des Endproduktes und damit dessen Marktfähigkeit. Spezifische Regelungen zu den Bedingun-

gen beim Bezug von erneuerbarer Energie definieren den regionalen und zeitlichen Bezugsbereich von Strom für die Herstellung von Wasserstoff und damit auch für PtL-Treibstoffe.

Die EU-Verordnung ReFuelEU Aviation ist seit 2024 in Kraft und somit unmittelbar und direkt wirksam. Im Rahmen von ReFuelEU Aviation haben die EU-Gesetzgeber eine Überprüfungsklausel ("Review Clause") definiert, in der bis 2027 überprüft wird, wie zielführend die eingeführten und geplanten Regelungen sind. Dies bedeutet, dass derzeit gesetzte Regeln und Vorgaben, wie SAF-Quoten und Pönalen, wieder geändert werden könnten, was die Planungssicherheit zusätzlich reduziert.

Schwierigkeiten bei der Gewinnung von Finanzkapital

Schlussendlich hat der Investor noch ein **systemisches Risiko** zu tragen. Mit dem Bau einer Anlage hat er ein Investment mit einem langen Lebenszyklus auf der Produktionsseite von 20-30 Jahren getätigt, in dem seine Optionen, die Kosten zu verändern, limitiert sind. Auf der Abnehmerseite steht dem jedoch ein kurzer Kaufzyklus seitens der Airline von 6-12 Monaten gegenüber. Da Kostensenkungen in der Produktion in der Regel nur bei Anlagen der nächsten Generation realisiert werden können, besteht für den Investor das Risiko, auf den Kosten der alten Anlage sitzen zu bleiben.

Die eingeschränkte Rendite und die hohen Investitionsrisiken führen letztlich dazu, dass das "Risk-Return"-Verhältnis ungünstig ist, und damit kein belastbarer Business Case zustande kommt. Dieses Risk-Return Verhältnis führt dazu, dass **wenig Kapital für Investitionen** zur Verfügung steht. **Es fehlt die "Bankability"** – also die Sicherheit für den Kapitalgeber, dass Gelder aus der Privatwirtschaft und den Banken zur Verfügung gestellt werden. Verstärkt wird dies durch die Komplexität der Materie, die für private Kapitalgeber oftmals schwierig zu verstehen und einzuschätzen ist.

Ein weiterer Grund für die Knappheit an Finanzmitteln ist der **weitgehende Wegfall der Fördergelder** des Bundes im Jahr 2024. Zusätzlich fehlt der Rückfluss von steuerlichen Abgaben (Luftverkehrssteuer, EU-ETS-Zertifikate) zur Finanzierung des Transformationsprozesses durch den Hochlauf von SAF, wie im Koalitionsvertrag vorgesehen.

Auffallend ist auch, dass sich die großen Mineralölkonzerne bei Investitionen in SAF, insbesondere in PtL, zurückhalten. Dies ist unter anderem darin begründet, dass Kerosin, und damit auch SAF, ein Nischenprodukt im Vergleich zu Benzin und Diesel ist. Schwerpunkt der Investitionen liegt praktisch nur in biogenem SAF mit Fokus auf HEFA, da hierfür bereits bestehende Anlagen umgebaut werden können.

4 Warum wird nicht ausreichend SAF produziert?

Die Hemmnisse für den Markthochlauf der SAF-Produktion sind in mehreren Bereichen zu finden. Zum einem in der kaum vorhandenen Hochskalierung der Produktionskapazitäten und den Herstellverfahren selbst. Dabei ist zwischen den biobasierten und den strombasierten Herstellungsverfahren zu unterscheiden. Auch die hohen Kosten sind ein Faktor, der sowohl die Bereitstellung der Ausgangsstoffe betrifft als auch die Produktion des Treibstoffes selbst. Ein weiteres Thema ist die mangelnde Verfügbarkeit der Ausgangsstoffe, was ebenfalls sowohl für strombasierte als auch für biogene Treibstoffe gilt. Aufgrund der Bedeutung für die Nachhaltigkeit werden die Ausgangsstoffe in Kapitel 6 behandelt.

Hemmnisse bei der Produktion von strombasiertem SAF (PtL-Treibstoffe)

Neben dem **Mangel an Stromerzeugungsanlagen für die Bereitstellung erneuerbarer Energien** zur Herstellung von grünem Wasserstoff, sind **fehlende Produktionskapazitäten** aktuell das stärkste Hemmnis für die Markteinführung von strombasierten SAF.

Die **Bereitstellung ausreichender Mengen an H₂** ist gegenwärtig v.a. eine Kostenfrage, da der benötigte grüne Strom noch sehr teuer ist und erst einmal Elektrolyseure mit ausreichender Kapazität und hohem Wirkungsgrad gebaut werden müssen. Je nach Ausführung reicht der Wirkungsgrad von durchschnittlich 50 % bis 90 %, wobei es sich bei Anlagen mit einem sehr hohen Wirkungsgrad (d.h. > 75-80 %) überwiegend noch um Forschungsanlagen handelt [4-6]. Obwohl die Technologie der Elektrolyseure bereits ausgereift ist, erfordert die kontinuierliche Produktion der notwendigen H₂-Mengen noch Entwicklungsarbeit, insbesondere, was die Verbesserung des Wirkungsgrades sowie den Ausgleich von Lastschwankungen im Stromnetz betrifft.

Fehlende Produktionskapazitäten sind v.a. auf die **noch nicht ausreichend vorhandene Hochskalierung** der gesamten Prozesskette entlang der PtL-Produktion zurückzuführen. Diese Herausforderung zu bewältigen, erfordert erhebliche, v.a. finanzielle Anstrengungen hinsichtlich der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sowie in der weiteren Demonstration der Technologie.

Aufgrund der noch mangelnden Hochskalierung sind die **Produktionskosten bei bestehenden Demonstrationsanlagen extrem hoch**, was Investitionen für die Industrie (von potenziellen Abnehmern wie auch Produzenten) risikoreich macht. Zumal möglichst auch Abnehmer für alle entstehenden Koppel- und Nebenprodukte gefunden werden müssen, sofern diese in den Prozess nicht zurückgeführt werden können. Dem entgegen steht eine

zurückhaltende bzw. unzureichende Förderung durch die Politik. Diese wird allerdings benötigt, solange PtL-Produkte noch nicht kommerziell verfügbar sind.

Bezüglich der Produktion selbst, ist die **Bereitstellung von CO₂ via Direct Air Capture (DAC)** aktuell noch eine weitere Herausforderung, die es zu lösen gilt, da dieses Verfahren für die Bereitstellung großer CO₂-Mengen noch nicht zur Verfügung steht. Das CO₂ in der Luft nimmt einen Volumenanteil von 0,04 % ein und muss daher sehr stark aufkonzentriert werden. Die Errichtung einer DAC-Anlage ist prinzipiell überall möglich, aber nur dort sinnvoll, wo es erneuerbaren Strom gibt und ein direkter Anschluss an die PtL-Synthese erfolgt. Da der Wirkungsgrad aktuell noch sehr gering ist, mangelt es der DAC-Technologie noch an der entsprechenden Skalierung, um für eine kommerzielle Nutzung infrage zu kommen, was das DAC-Verfahren zum einem sehr teuer macht. Zum anderen sind unterschiedliche DAC-Technologien in der Entwicklung, die jedoch zum Teil bei der Einwerbung von Fördermitteln miteinander konkurrieren (gleichzeitig soll die Technologieoffenheit natürlich weiterhin gegeben sein). Bei Punktquellen und biogenen Quellen liegt CO₂ bereits in deutlich konzentrierter Form vor.

Hemmnisse bei der Produktion von biogenem SAF

Im Unterschied zu den PtL-Treibstoffen ist die Entwicklung von biobasierten Treibstoffen schon deutlich weiter vorangeschritten. HEFA- und AtJ-Kerosin sind auch bereits kommerziell verfügbar. Der zurückhaltende Ausbau der Produktionskapazitäten ist v.a. bedingt durch die absehbare **mangelnde Verfügbarkeit sowie die teilweise aufwendige Aufarbeitung der Rohstoffe**. Bei der Herstellung von biogenem SAF muss die Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelindustrie ausgeschlossen werden. Dies betrifft nicht nur den pflanzlichen Rohstoff selbst, sondern auch die Anbauflächen. Daher können hier nur Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft sowie die Wiederverwertung von gebrauchten Speiseölen- und fetten von Interesse sein. Dies schränkt die Auswahl und Verfügbarkeit von entsprechendem biogenen Material erheblich ein.

Diese Einschränkung erfordert eine aufwendige **Aufarbeitung bzw. Vorbereitung des biogenen Materials**. Grundlegend sind diese Verfahren mittlerweile vorhanden und Stand der Technik. Sie erhöhen allerdings die Produktionskosten im Vergleich zum Vorliegen eines bereits reinen Ausgangsstoffes.

Weitere Hemmnisse bei der Produktion von SAF

Neben den oben beschriebenen Hemmnissen, die direkt die Produktion betreffen, gibt es noch weitere Herausforderungen, welche eng mit der Herstellung von SAF verbunden sind und einen Einfluss auf den Markthochlauf haben.

Zum einem ist hier zunächst der **zeit- und kostenintensive Zulassungsprozess** gemäß der ASTM D4054 zu nennen, welcher eine Grundvoraussetzung ist, damit ein neuer Treibstoff überhaupt auf den Markt kommen kann. Dabei wird nicht nur der Treibstoff bzw. das SAF selbst, sondern auch der gesamte Herstellungsprozess zertifiziert. Daher beinhaltet die ASTM D7655 aktuell acht verschiedene SAF-Treibstoffe, obwohl diese sich, rein chemisch gesehen, in den meisten Fällen sehr ähnlich sind.

Bei der Herstellung von SAF handelt es sich zum Teil um noch sehr neue Verfahren, die neben ihrer ASTM-Zertifizierung für das Produkt selbst auch eine Zertifizierung zum Nachweis der Nachhaltigkeit bedürfen. Daher stellt der **Mangel an Fachkräften sowie der ggf. notwendigen (neuen) Infrastruktur**, v.a. mit Blick auf die Versorgung mit RED-II-konformen Wasserstoff und Kohlendioxid, eine weitere Herausforderung dar.

Eine weitere Möglichkeit, die Menge an synthetischen Treibstoffen anteilig zu erhöhen, besteht im **Co-Processing**. Aktuell sind die erlaubten Beimischquoten sehr gering, sodass es sich für die Hersteller kaum lohnt, darin zu investieren bzw. diese Möglichkeit überhaupt zu nutzen.

5 Warum wird nicht ausreichend SAF nachgefragt?

Ein weiteres Hindernis für den Markthochlauf nachhaltiger Flugtreibstoffe ist die derzeit geringe Nachfrage seitens der Fluggesellschaften. Verschiedene Faktoren tragen zu dieser Zurückhaltung bei und erschweren die Verbreitung von SAF.

Hohe Kosten von SAF

Ein wesentlicher Aspekt sind die **hohen Kosten von SAF im Vergleich** zu herkömmlichem Jet-A1-Treibstoff. Die Preisdifferenz ist erheblich, was die Zahlungsfähigkeit und -bereitschaft der Airlines einschränkt. Viele Fluggesellschaften arbeiten mit engen Margen und sind daher nicht in der Lage, die höheren Kosten für SAF zu tragen, ohne diese an die Kunden weiterzugeben. In einem global wettbewerbsintensiven Markt ist dies jedoch schwierig bzw. teilweise nicht möglich. Die beschlossenen Quoten für die Beimischung und das Inverkehrbringen nach ReFuelEU Aviation, in Kombination mit den im Vergleich zu fossilem Kerosin beachtlich höheren Produktionskosten für alternative Flugtreibstoffe, führen allerdings aufgrund gestiegener Treibstoffkosten als signifikanter Kostenblock von Fluggesellschaften zu unvermeidbaren **Preissteigerungen der Flugtickets**. Dabei ist zu beachten, dass die verschiedenen Zielgruppen (Cargo, Business, Tourismus) mit unterschiedlichen Preiselastizitäten sowie teilweise Saisonalität konfrontiert sind [7].

Wettbewerbsverzerrung und fehlende finanzielle Anreize

Die Wettbewerbsfähigkeit wird außerdem durch unterschiedliche Quotenregelungen für Inverkehrbringer auf nationaler und EU-Ebene beeinträchtigt. Dabei mangelt es außerdem an einer einheitlichen, verbindlichen Definition des Begriffs des Inverkehrbringers. In Deutschland ist dieser als „Tanklagerdurchsetzer“ definiert, weshalb oftmals Airlines als Endkunde nur als Preisnehmer am Markt agieren können. Während einige Länder ehrgeizige Ziele und Quoten für den Einsatz von SAF haben, sind andere weniger streng. Obwohl es EU-weite Quoten gibt, ist noch nicht eindeutig geklärt, ob nationale Quoten dadurch ungültig sind. Diese Unterschiede führen zu **ungleichen Wettbewerbsbedingungen** innerhalb der EU. Fluggesellschaften, die in Ländern mit hohen SAF-Quoten als Inverkehrbringer operieren, sind gegenüber Fluggesellschaften aus EU-Ländern und **Drittstaaten** mit niedrigeren bzw. keinen Quoten benachteiligt, da sie höhere Kosten für Treibstoff tragen müssen.

Zudem besteht **Unsicherheit hinsichtlich abweichender Pönalen** (Strafzahlungen) zwischen nationalen und EU-Vorgaben. Es ist oft unklar, wann und unter welchen Bedingungen welche Quote gilt und welche Pönale entsprechend zu zahlen ist. Diese Unsicherheit betrifft insbesondere die Frage, welche Regelungen Vorrang haben und wie die Einhaltung der verschiedenen Quoten und Richtlinien überwacht und sanktioniert wird. Die fehlende Klarheit darüber, welche Strafen bei Nichteinhaltung zu erwarten sind und wie diese durchgesetzt werden, führt zu Verunsicherung bei den Fluggesellschaften und Inverkehrbringern, anstatt einen zusätzlichen Anreiz für die Nutzung von SAF zu schaffen [8].

Ein weiteres Nachfragehemmnis sind **fehlende finanzielle Anreize für den Einsatz von SAF**. Solange die Kosten für SAF deutlich höher sind als für herkömmliches Kerosin und es keine klaren wirtschaftlichen Vorteile oder zielgerichtete staatliche Fördermaßnahmen gibt, wird die Bereitschaft der Fluggesellschaften, auf SAF umzusteigen, gering bleiben. Gerade an dieser Stelle ist ein **Mangel an staatlicher Förderung** für den SAF-Markthochlauf bzw. die Streichung dieser Mittel ein großes Hemmnis.

Mangelnde Verfügbarkeit von SAF

Ein wesentlicher Faktor ist außerdem die **mangelnde Verfügbarkeit von SAF**. Derzeit ist die Verfügbarkeit des Treibstoffs sowohl generell („Henne-Ei-Problem“) als auch an den Einsatzorten unzureichend. Da an Flughäfen in der Regel über Pipeline-Systeme getankt wird, ist eine Belieferung einer Fluggesellschaft oder eines Flugzeugs mit einer bestimmten Charge Treibstoff nicht möglich. Der angelieferte Treibstoff wird in Tanklagern gemischt („geblendet“) und dann weiterverteilt. Die gezielte Betankung eines einzelnen Flugzeugs mit SAF ist daher nicht möglich und würde den Aufbau einer Parallelinfrastruktur voraussetzen. Dasselbe würde für ein 100 % aromatenfreies SAF im Falle einer Teilzulassung gelten. Dies würden einen erheblichen oder sogar nicht zu leistenden Aufwand für Inverkehrbringer und Flughäfen bedeuten, wenn Fluggesellschaften SAF direkt einsetzen wollen oder müssen, insbesondere wenn keine bilanzielle Nutzung (siehe Kapitel 6) möglich ist.

6 Unsicherheiten in Bezug auf die Nachhaltigkeit von SAF

Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von strombasierten SAF (PtL-Treibstoffe)

Als Ausgangsstoffe für strombasierte Treibstoffe werden Wasserstoff (H_2) und Kohlendioxid (CO_2) benötigt. Dabei müssen sowohl H_2 als auch CO_2 den Bestimmungen der RED II entsprechen, wobei es im Falle der Bereitstellung von H_2 die Strombezugskriterien sind, die beachtet werden müssen.

Für den Betrieb der Elektrolyseure muss **ausreichend erneuerbarer Strom**, der den Kriterien der RED II genügt, zur Verfügung stehen sowie sauberes und entsalztes Wasser als eigentlicher Rohstoff vorhanden sein. Da zahlreiche Prognosen vorhersagen, dass das Potenzial möglicher Quellen für erneuerbaren Strom in Deutschland und Mitteleuropa nicht ausreichen wird, um den Strombedarf aller Privathaushalte, industrieller Abnehmer und zusätzlich der notwendigen Elektrolysekapazität zu decken, wird entweder der Strom selbst, der Wasserstoff (in Reinform oder als Derivat) oder das PtL-Produkt importiert werden müssen. Viele Regionen der Erde, in denen potenziell ein deutlicher EE-Stromüberschuss durch v.a. Wind- und Solarenergie zu erwarten ist, und die daher für den Betrieb von großen Elektrolyseanlagen geeignet sind, weisen häufig einen **Mangel an sauberem (Trink-)Wasser** auf.

Bei den **Quellen für CO_2** lassen sich grob drei Fälle unterscheiden:

- CO_2 aus der Luft
- CO_2 aus Biomasse
- CO_2 aus Punktquellen (Industrieabgase)

Daneben gibt es noch Spezialfälle wie geologische Vorkommen (z.B. in Gesteinen oder durch vulkanische Aktivität), welche für die industrielle Gewinnung von CO_2 allerdings keine Rolle spielen. Aus regulatorischer Sicht am unkritischsten ist die Gewinnung von **CO_2 aus der Luft** (DAC – Direct Air Capture). Technisch gesehen ist dies allerdings das Verfahren, welches am wenigsten ausgereift ist (siehe Kapitel 4) und daher für die Bereitstellung großer CO_2 -Mengen noch nicht zur Verfügung steht.

Die Gewinnung von CO_2 aus **Punktquellen** ist technisch ausgereift, da die Reinigung von Rauch- und Abgasen aus umweltschutztechnischen Gründen bereits Stand der Technik ist. Lediglich das Speichern des CO_2 kommt als zusätzlicher Schritt hinzu, was aber ebenfalls

als Stand der Technik angesehen werden kann. Die Verwendung von Punktquellen ist daher v.a. aus regulatorischer Sicht ein Hemmnis, da ein garantiertes CO₂-Einsparpotenzial nachgewiesen werden muss und die Nutzung je nach Herkunft nur bis 2036 bzw. 2041 erlaubt ist [9].

Für die Nutzung von **CO₂ aus Biomasse** lassen sich ebenfalls unterschiedlichen Quellen unterscheiden:

- Verbrennung von Biomasse zur Energieversorgung / Wärmeerzeugung (die Verbrennung darf nicht allein dem Zweck der CO₂-Gewinnung dienen)
- Abtrennung des CO₂ aus Biogas
- CO₂ aus biotechnologischen Prozessen wie Fermentation zur Gewinnung von Alkoholen oder der biologischen Abwasserbehandlung

Ähnlich wie die Gewinnung aus Punktquellen, ist auch die Abtrennung des CO₂ aus den oben genannten Quellen technisch ausgereift. Die Herausforderung besteht hier vor allem darin, eine flexible Aufarbeitung zu installieren, da die Zusammensetzung der auftretenden Produkt- oder Abgase von der Zusammensetzung des biologischen Materials abhängt, welche natürlicherweise Schwankungen unterliegen, ist. Dies mindert unter Umständen die Effizienz der CO₂-Abtrennung bzw. erhöht die Kosten für die Installation. Grundsätzlich ist die Kostenfrage (abgesehen von der Entwicklung der DAC) für die CO₂-Bereitstellung allerdings weit weniger kritisch als bei der H₂-Versorgung. Die Nutzung von CO₂ aus Biomasse ist allerdings ebenfalls den Regelungen der RED II unterlegen. Hinzu kommt hier die Frage nach der Anrechenbarkeit der CO₂-Einsparung.

Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von biogenen SAF

Im Unterschied zu PtL-SAFs werden bei der Herstellung von biogenen SAFs organische Ausgangsmaterialien mehr oder weniger direkt zu Kerosin umgesetzt. Bei der Herstellung von biogenem SAF **muss die Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelindustrie ausgeschlossen werden**. Dies betrifft nicht nur den pflanzlichen Rohstoff selbst, sondern auch die Anbauflächen. Daher können hier nur Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft von Interesse sein sowie die Wiederverwertung von gebrauchten Speiseölen- und fetten. Dies schränkt die Auswahl und Verfügbarkeit von entsprechendem biogenem Material erheblich ein.

Diese Einschränkung erfordert eine aufwendige **Aufarbeitung bzw. Vorbereitung des biogenen Materials**. Grundlegend sind diese Verfahren mittlerweile vorhanden und Stand

der Technik. Sie erhöhen allerdings die Produktionskosten im Vergleich zum Vorliegen eines bereits reinen Ausgangsstoffes.

Für die Verarbeitung von gebrauchten Speiseölen- und -fetten müssen diese von übrigen Speiseresten, anorganischen Bestandteilen (Kochsalz) wie auch Wasser gereinigt werden. Bei Reststoffen aus der Forst- und Landwirtschaft handelt es sich biochemisch gesehen vor allem um Lignocellulose, dessen Hauptbestandteile Lignin, Cellulose und Hemicellulose sind. Aus der Cellulose und Hemicellulose können durch geeignete Aufschlussverfahren unterschiedliche Arten von Zuckermolekülen gewonnen werden, welche biotechnologisch zu Alkoholen und/oder direkt zu Kohlenwasserstoffen umgesetzt werden können. Auch die katalytische und/oder (hydro-)thermische Umsetzung von Zuckermolekülen und Lignocellulose (bzw. deren Bestandteilen) zu Kohlenwasserstoffen bzw. Kerosin ist möglich bzw. in der Entwicklung.

Weitere Unsicherheiten bei der Nachhaltigkeit von SAF

Ein **weiterer wesentlicher Faktor**, der den Markthochlauf nachhaltiger Flugtreibstoffe behindert, sind die bestehenden Unsicherheiten bezüglich der Nachhaltigkeit von SAF. Diese Unsicherheiten betreffen mehrere Bereiche und erschweren eine breite Akzeptanz und Anwendung von SAF. So führen **unterschiedliche Nachhaltigkeitskriterien** zu Verwirrung und Unsicherheit. Verschiedene Regionen und Länder haben unterschiedliche Standards und Anforderungen an die Nachhaltigkeit von SAF. Diese unterschiedlichen Kriterien erschweren es den Produzenten, einheitliche und allgemein anerkannte Nachhaltigkeitszertifikate zu erhalten. Die fehlende Harmonisierung der Kriterien führt dazu, dass Investoren und Fluggesellschaften unsicher sind, ob die investierten Mittel und der Einsatz von SAF tatsächlich als nachhaltig anerkannt werden.

Außerdem besteht Unsicherheit über die **Anrechenbarkeit von SAF**. In welchem Umfang SAF auf die Reduktionsziele für Treibhausgasemissionen angerechnet werden können, ist oft unklar. Unterschiedliche Anrechnungsmodelle und Berechnungsmethoden können dazu führen, dass der tatsächliche Umweltnutzen von SAF nicht vollständig erfasst oder anerkannt wird. Je nach Produktionsverfahren kann die CO₂-Reduktion mit einer bis zu 90 % sehr unterschiedlich ausfallen [10]. Es stellt sich daher die Frage, wieviel CO₂-Reduktion anzurechnen ist und wie nachverfolgt wird, aus welcher Quelle es stammt.

Darüber hinaus bestehen Unsicherheiten bezüglich der **bilanziellen Nutzung von SAF**. Diese Unsicherheit betrifft die Frage, wie der Einsatz von SAF in die Gesamtbilanz der

Treibhausgasemissionen einbezogen wird. Bilanzielle Nutzung bedeutet, dass Fluggesellschaften SAF kaufen und deren Nutzung auf ihre Emissionsbilanz anrechnen können, auch wenn SAF nicht physisch in ihren Flugzeugen eingesetzt werden (Prinzip des Book & Claims). Dies erfordert ein zuverlässiges und transparentes System zur Nachverfolgung und Zertifizierung des verwendeten SAF. Unsicherheiten ergeben sich aus möglichen Änderungen der Regelungen, der Art und Weise der Zertifizierung und Nachverfolgung sowie der Akzeptanz dieser Praktiken durch die verschiedenen Regulierungsbehörden.

Ebenfalls ein Thema ist die **gesellschaftliche Akzeptanz von SAF**. Durch die wahrgenommene Unsicherheit über die entstehenden Mehrkosten im Verhältnis zum ökologischen Nutzen ist diese beeinträchtigt [11]. Diese Skepsis kann dazu führen, dass die breite Öffentlichkeit weniger bereit ist, höhere Flugpreise zu akzeptieren, die durch den Einsatz von SAF entstehen. Zudem wird die soziale Teilhabe von weniger wohlhabenden Bevölkerungsgruppen an Reisen durch die Verteuerung von Flügen beeinträchtigt, sodass sich einkommensschwächere Haushalte weniger Reisen leisten können.

7 Fazit und Ausblick

Der Markthochlauf von Sustainable Aviation Fuels wird durch Hemmnisse in vier Bereichen verzögert. Im Kern liegt das Problem darin, dass unklar ist, wie die Nachhaltigkeit von SAF sichergestellt werden soll, da dies in alle anderen Bereiche hineinwirkt. Unklare bzw. uneinheitliche Nachhaltigkeitskriterien bedingen also, dass nicht ausreichend investiert, produziert und nachgefragt wird.

Es wird nicht ausreichend investiert, weil unter anderem durch fehlende bzw. international unterschiedliche Nachhaltigkeitskriterien sowie die Komplexität der Vorhaben und die hohen Risiken kein Business Case vorhanden ist und die Planungssicherheit stark eingeschränkt ist. Zudem fehlt der Nachfrageanreiz vonseiten der Fluggesellschaften aufgrund der Wettbewerbsverzerrung durch hohe Kosten für SAF, die in einem stark wettbewerbsorientierten Markt nur eingeschränkt an die Kunden weitergegeben werden können. Hinzu kommt der Mangel an staatlichen Fördermitteln für eine effiziente Stimulierung des Markthochlaufs. Auch sind die Anrechenbarkeit sowie die bilanzielle Nutzung unklar, was die Zahlungsbereitschaft zusätzlich senkt. Darüber hinaus werden bisher weltweit nur geringe Mengen biogenes SAF und kein PtL-SAF (nur im Labor-Maßstab) hergestellt. Die Produktionskapazitäten können nicht ausreichend und schnell genug erhöht werden, da Investitionen und Rohstoffe fehlen und der Technologiereifegrad bei PtL noch nicht hoch genug ist.

Es muss also die Nachhaltigkeit sichergestellt werden, damit sich die Nachfrage und die Planungssicherheit erhöhen, sodass die Investitionsbereitschaft steigt und die Produktion ausgebaut werden kann. Gegenstand der weiteren Projektarbeit im Anwendungsfeld Luftfahrt von InnoFuels wird es sein, auszuarbeiten, welche Lösungsansätze infrage kommen, um die identifizierten Hemmnisse zu beseitigen und den Markthochlauf von nachhaltigen Flugtreibstoffen zu beschleunigen.

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
ASTM	American Society for Testing and Materials
AtJ	Alcohol-to-Jet
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DAC	Direct Air Capture
EE	Erneuerbare Energien
EU	Europäische Union
EU-ETS	EU Emission Trading System (Europäisches Emissionshandelssystem)
H ₂	Wasserstoff
HEFA	Hydroprocessed Esters and Fatty Acids
NGO	Non-Governmental Organization
OEM	Original Equipment Manufacturers
PtL	Power-to-Liquid
RED	Renewable Energy Directive
SAF	Sustainable Aviation Fuels

Quellenverzeichnis

- [1] „Organisationshandbuch des Bundes,“ [Online]. Available: https://www.orghandbuch.de/Webs/OHB/DE/OrganisationshandbuchNEU/4_MethodenUndTechniken/Methoden_A_bis_Z/Eisenhower_Matrix/Eisenhower_Matrix_node.html. [Zugriff am 12. August 2024].
- [2] CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr, *interne Berechnung*.
- [3] Bundesministerium der Justiz, „Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), §37a (4a),“ [Online]. Available: <https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/>. [Zugriff am 12. August 2024].
- [4] B. Amini Horri und H. Ozcan, „Green hydrogen production by water electrolysis: Current status and challenges,“ *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Nr. 47, p. 100932, 2024.
- [5] X. Guo, H. Zhu und S. Zhang, „Overview of electrolyser and hydrogen production power supply from industrial perspective,“ *International Journal of Hydrogen Energy*, Nr. 49, pp. 1048-1059, 2024.
- [6] D. Niblett, M. Delpisheh, S. Ramakrishnan und M. Mamlouk, „Review of next generation hydrogen production from offshore wind using water electrolysis,“ *Journal of Power Sources*, Nr. 592, p. 233904, 2024.
- [7] CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr, „Voruntersuchung zu dem „Frankfurter Modell“ für Sustainable Aviation Fuels,“ 2021. [Online]. Available: https://redaktion.hessen-agentur.de/publication/2021/3670_Voruntersuchung_zu_dem_Frankfurter_Modell_fuer_SAFs.pdf. [Zugriff am 05. August 2024].
- [8] CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr, „CENA SAF-Outlook 2024-2030 – Eine Analyse von Mengen, Technologien und Produktionsstandorten für nachhaltige Flugtreibstoffe,“ [Online]. Available:

<https://www.cena-hessen.de/de/projekte/sustainable-aviation-fuel-outlook/>. [Zugriff am 12. August 2024].

[9] Europäische Kommission, „DELEGIERTE VERORDNUNG (EU) 2023/1185 DER KOMMISSION,“ 10 02 2023. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32023R1185>. [Zugriff am 05. August 2024].

[10] DLR, Institut für Verbrennungstechnik, *interne Berechnung*.

[11] InnoFuels, ISP Luftfahrt, *Workshopergebnisse*.

Anhang

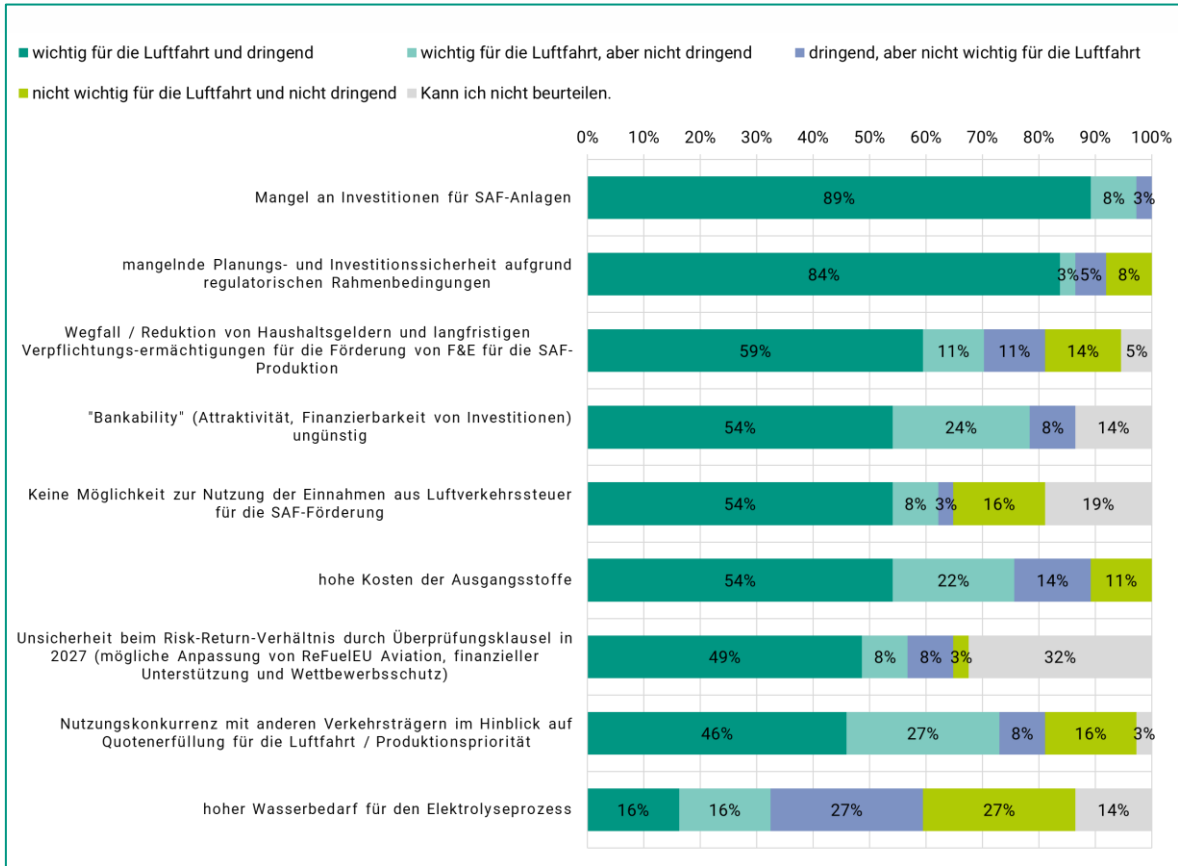


Abbildung 4: Umfrageergebnisse für das Themenfeld Investitionen

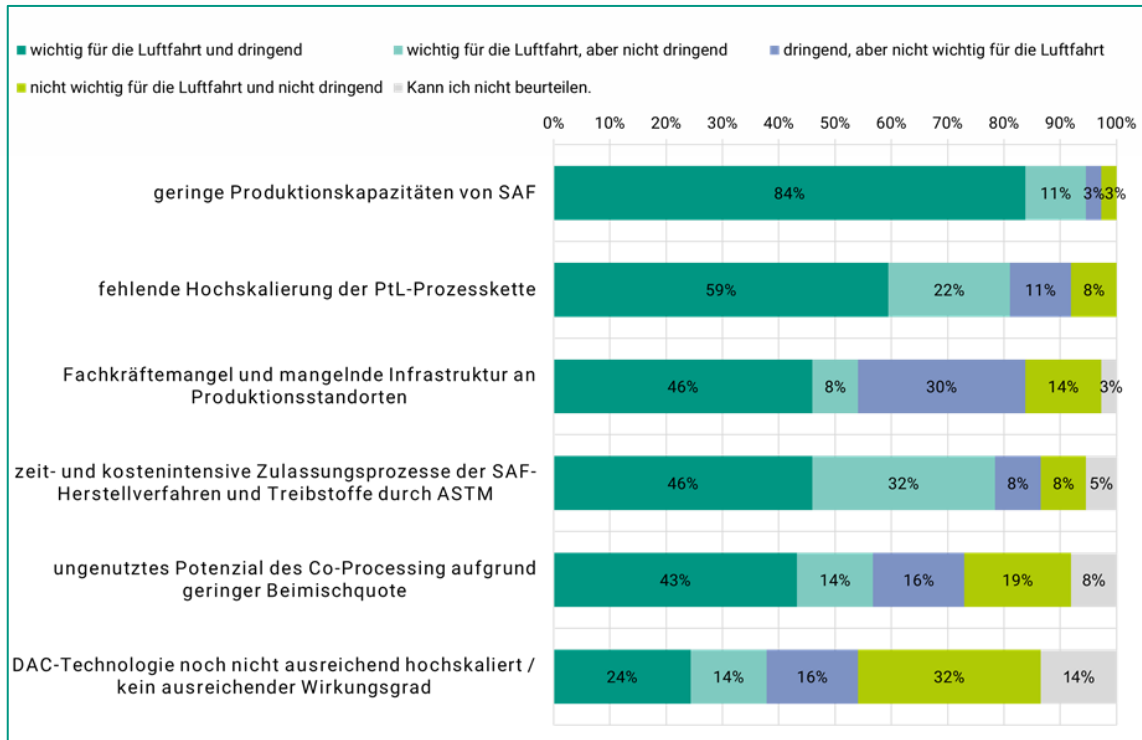


Abbildung 5: Umfrageergebnisse für das Themenfeld Produktion

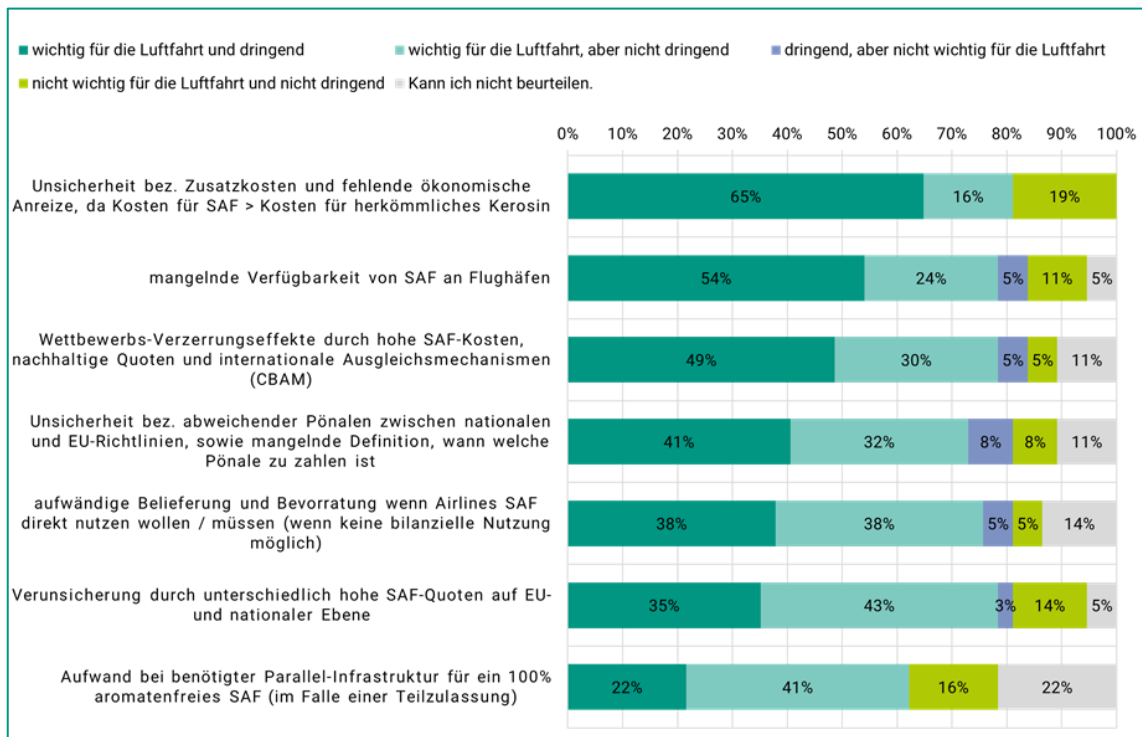


Abbildung 6: Umfrageergebnisse für das Themenfeld Anwendung Luftfahrt

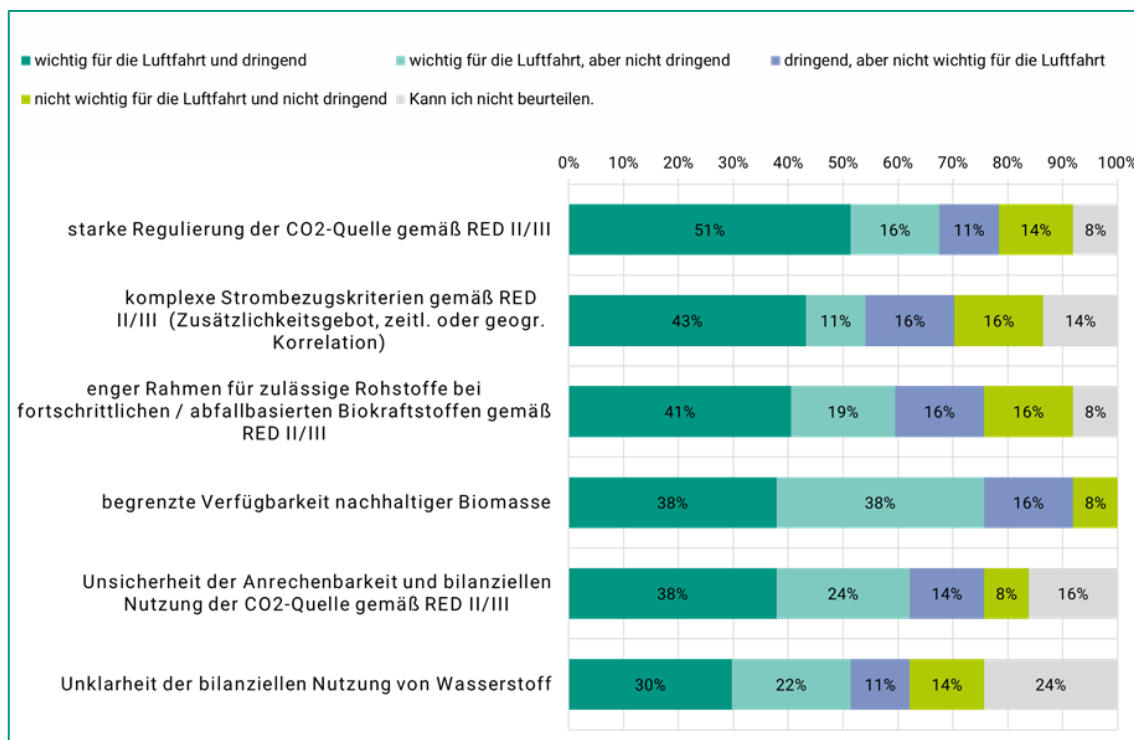


Abbildung 7: Umfrageergebnisse für das Themenfeld Nachhaltigkeit

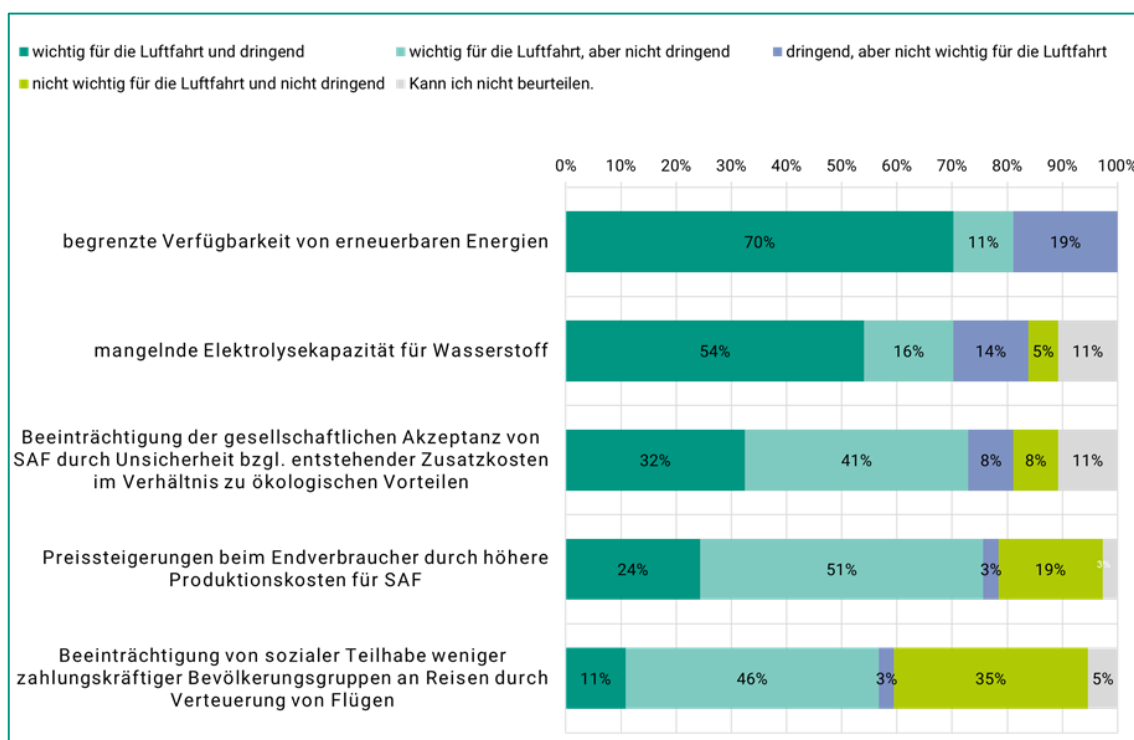


Abbildung 8: Umfrageergebnisse weiterer Themen, die außerhalb des Innovations Schwerpunktes Luftfahrt liegen