

Voruntersuchung zu dem  
„Frankfurter Modell“  
für Sustainable Aviation Fuels





## Impressum

Voruntersuchung zu dem „Frankfurter Modell“ für Sustainable Aviation Fuels.

## Herausgeber

CENA Hessen - Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr

E-Mail: [info@cena-hessen.de](mailto:info@cena-hessen.de)

Web: <https://www.cena-hessen.de>

Hessen Trade & Invest GmbH  
Bessie-Coleman-Straße 7  
60549 Frankfurt am Main

## Erstellt von

Prof. Dr. Thomas Heimer, Hochschule RheinMain,  
Technopolis Group  
Dr. Jan Stede, Technopolis Group  
Marie Zeller, Technopolis Group  
Dr. Matthias Geurts, Schalast und Partner  
Prof. Dr. Christoph Schalast, Schalast und Partner

## Bildnachweis Titelseite:

Porapak A. Pichodilok, Pexels

## Bitte zitieren als:

CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr (2021) Voruntersuchung zu dem „Frankfurter Modell“ für Sustainable Aviation Fuels.

Fassung vom 17.07.2021

## Rechtlicher Hinweis

Alle Rechte vorbehalten. Die Urheberrechte liegen vollständig bei der Hessen Trade & Invest GmbH.

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessen Trade & Invest GmbH herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung von Funktions- bzw. personenbezogenen Bezeichnungen, wie zum Beispiel Teilnehmer/Innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für alle Geschlechter.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

## Inhalt

Executive Summary	5
1. Einführung	9
2. Entwicklung des Luftverkehrs	10
3. Übersicht zu nichtfossilen Treibstoffen und regulatorischen Rahmenbedingungen im Luftverkehrsmarkt	13
3.1. Entwicklung der Emissionen im Luftverkehr	13
3.2. Übersicht über nichtfossile Treibstoffe	15
3.3. Regulatorische Rahmenbedingungen	17
4. Kosten der Einführung nichtfossiler Treibstoffe und Auswirkungen auf den Luftverkehrsmarkt	19
4.1. Preiselastizität der Nachfrage	19
4.2. Dekarbonisierungspfad für den Flugverkehr	21
4.3. Entwicklung der Kosten nichtfossiler Treibstoffe im Vergleich zu fossilem Kerosin	23
4.3.1. Entwicklung der Treibstoffkosten bis 2050	23
4.3.2. Szenarien zur Entwicklung der Kosten nichtfossiler Treibstoffe und des CO <sub>2</sub> -Preises	24
4.3.3. Kostenparität zwischen Kerosin und nichtfossilen Treibstoffen im Zeitverlauf	25
4.4. Abschätzung der Auswirkungen steigender Treibstoffpreise auf die Nachfrage	28
4.4.1. Grundannahmen der Modellierung	28
4.4.2. Entwicklungstrends der Nachfrage auf Basis der Modellierung	29
4.5. Abschätzung der absoluten Mehrkosten für die Erreichung der Quoten nichtfossiler Treibstoffe	31
5. Finanzierung des Transformationsprozesses	32
5.1. Der Swap als zentrales Scharnier der Finanzierung	33
5.2. Wirtschaftliche Zusammenhänge als Grundlage für den Swap	34
5.3. Rahmenbedingungen und Annahmen	34
5.3.1. Regulatorische Vorgaben	34
5.3.2. Aufsichtsrechtliche Vorgaben	35
5.3.3. Bilanzielle Vorgaben	35
5.3.4. Regionale Beschränkung	35
5.4. Konzeptionelle Überlegungen und Wirkweisen des Finanzierungsmodells	35
5.4.1. Innovationsfonds	36
5.4.2. Finanzierungsfonds für Swaps (Contracts for Difference) mit der Luftverkehrsindustrie	31
5.5. Grundlegende Konzeption einer Transformation von fossilen zu nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr	42
5.5.1. Rechtlicher Rahmen	42
5.5.2. Finanzierungsstruktur	42
5.6. Beschreibung des Fondsmodells im Einzelnen	43

5.6.1. Rechtliche Struktur des Fonds	43
5.6.2. Finanzierungselemente des Transformationsprozesses: Swap und Darlehen	44
5.7. Zusammenfassung der Ausgestaltung des Drei-Säulen Modells	46
6. Ordnungspolitische Bewertung des Transformationsprozesses	50
6.1 Grundüberlegungen zu staatlichen Eingriffen in den Luftverkehrssektor zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen - Existiert ein Interventionsbedarf?	50
6.2 Auswahl wirtschaftspolitischer Instrumente zur Unterstützung des Transformationsprozesses bei den nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr	53
6.3 Wirtschaftspolitische Empfehlungen und Handlungsoptionen	54
Anhang: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zu den Mengen im Jahr 2018	55
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	56
Bibliographie	58

## Executive Summary

Der Luftverkehr ist von zentraler Bedeutung für die westlichen Gesellschaften. Wie der internationale Austausch zwischen Menschen demokratische und interkulturelle Kompetenzen stärkt, so stärkt die internationale wirtschaftliche Verflechtung die wirtschaftliche Entwicklung in den handeltreibenden Ländern. Dies gilt sowohl für den Passagier- wie auch den Frachtverkehr. Eine Rückkehr zu Zeiten vor der Entstehung des Luftverkehrs sind somit sowohl aus politischen, kulturellen und wirtschaftlichen Überlegungen wenig wünschenswert.

Den positiven Effekten des Luftverkehrs stehen aber auch negative externe Effekte gegenüber. Der Anstieg der weltweiten Passagierzahlen von 2004 auf 2019 um etwa 67% wird begleitet von einem deutlichen Anstieg der Treibhausgasemissionen. So lässt sich für den Zeitraum zwischen 1960 und 2018 eine Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um den Faktor 6,8 nachweisen. Hinzu kommen weitere klimarelevante Emissionen wie z.B. Stickoxide. Der globale Luftverkehr trägt heute mit etwa 3,5% zu den klimarelevanten Emissionen bei, wovon etwa 1/3 allein auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführen sind.

Die europäische Union hat sich für 2050 zu einer Klimaneutralität der Gesamtwirtschaft bekannt, zu der der Verkehrssektor und insbesondere die Luftverkehrsindustrie einen Beitrag leisten muss. In Deutschland ist im neuen Bundes-Klimaschutzgesetz eine Klimaneutralität der verschiedenen Sektoren (einschließlich dem zivilen inländischen Luftverkehr) bis 2045 vorgesehen. Europäische und insbesondere auch die deutsche Regulierung und in einem eingeschränkten Maße auch internationale Vereinbarungen (CORSIA) sehen eine CO<sub>2</sub>-Neutralität für den Verkehrssektor bis spätestens **2050** vor. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Luftverkehrswirtschaft zügig beginnen, auf nichtfossile Treibstoffe umzustellen. Drei prinzipielle Wege der Umstellung sind möglich:

1. Batterieantriebe, die allerdings nur für geringe Reisegeschwindigkeiten und -distanzen im Luftverkehr geeignet sind,
2. Wasserstoffantriebe,
3. Sustainable Aviation Fuels (SAF), die in Form biogener Treibstoffe und als Power to Liquid (PtL) genutzt werden können.

Um die Transformation von fossilen zu nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr umzusetzen, plant die EU-Kommission derzeit eine Quotenregelung, die für das **Jahr 2030** einen SAF Beimischungsanteil von 5% und für das **Jahr 2050** von 63% anstrebt. Die Bundesregierung setzt beim Transformationsprozess auf PtL und plant bis 2030 mit einer verfügbaren Treibstoffmenge von 200.000 Tonnen, um etwa 2% des fossilen Kerosins zu substituieren.

Die Herausforderung im Transformationsprozess von fossilen zu nichtfossilen Treibstoffen liegt in den damit einhergehenden Kosten und den daraus resultierenden Effekten auf die Aufstellung der Luftverkehrswirtschaft in Deutschland und Europa. Der Luftverkehr weist die Besonderheit auf, dass eine hohe Gefahr des Carbon Leakage besteht, also der Verlagerung von Drehkreuzen (Hubs) und der Betankung von Flugzeugen in Länder außerhalb der Europäischen Union, die keine Internalisierung von klimarelevanten Emissionen vorschreiben. Um die Auswirkungen der Transformation zu analysieren, müssen neben den **Kostenentwicklungen** für den nichtfossilen Treibstoff auf die Luftverkehrswirtschaft auch die **nachfrageseitigen** Verlagerungseffekte aufgrund der Treibstoffpreiserhöhungen untersucht werden.

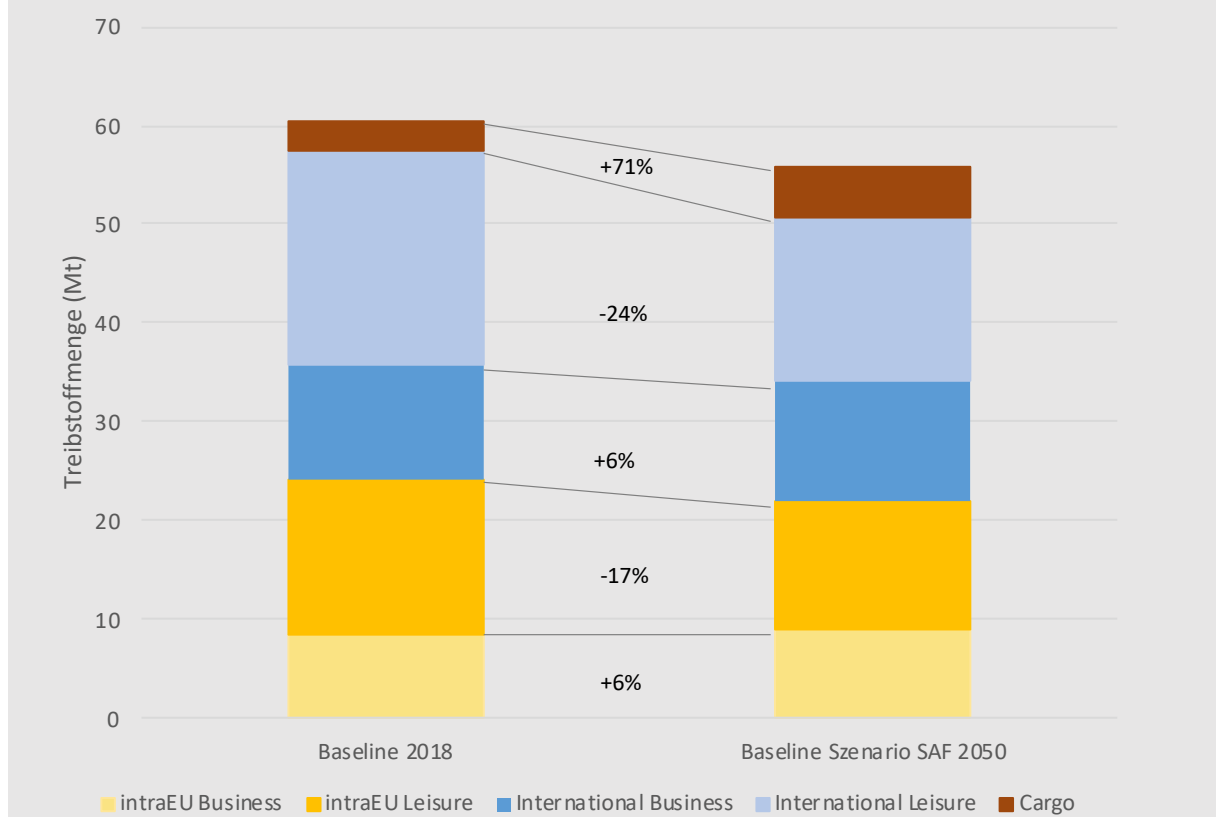
Die **nachfrageseitigen Effekte** lassen sich im Luftverkehr über die Preiselastizität der Nachfrage bestimmen. Hierbei ist in der Passage zwischen unterschiedlichen Reiseanlässen und Reisedistanzen zu unterscheiden. Studien zum Passagierverkehr weisen je nach Reiseanlass und Reisedistanz eine Elastizität zwischen -0,27 (Langstreckengeschäftsreise) und -1,52 (Kurz- und Mittelstrecke Privatreise) auf. Diese ermittelten Werte deuten an, dass der Passagierverkehr eine Elastizität aufweist, die bei Verteuerungen der Treibstoffpreise zu signifikanten Rückgängen bei der Nachfrage bzw. einer Verlagerung in unregulierte Standorte in der Passage führen werden. Im Bereich des Güterverkehrs sind die Elastizitäten niedriger, da es sich im Luftgüterverkehr meist um Güter handelt, die eine hohe Dringlichkeit aufweisen.

Bei der Analyse der **Entwicklung der Treibstoffpreise** sind die Kostenentwicklungen bei fossilem Kerosin mit den möglichen Kostenentwicklungen nichtfossiler Treibstoffe zu vergleichen. Bei der Berechnung der Entwicklung der Kosten des fossilen Treibstoffs müssen neben den Rohstoffkosten auch die Entwicklungen der Internalisierungsbeiträge für CO<sub>2</sub>-Emissionen eigerechnet werden. Bei der Berechnung der Kosten für nichtfossile Treibstoffe sind insbesondere die Kosten für nachhaltig erzeugten Strom zu berücksichtigen, da dieser sowohl für die Erzeugung von Wasserstoff als auch von PtL benötigt wird.

Um unterschiedliche Entwicklungspfade für fossile und nichtfossile Treibstoffkosten zu ermitteln, wurden für die Jahre 2030 und 2050 jeweils 3 Szenarien gerechnet. Nach diesen wird für das Jahr **2030** ein fossiler Treibstoffpreis von €686/t für den intra-EU-Luftverkehr ermittelt. Für die nichtfossilen Treibstoffe werden für das Jahr 2030 bei Biogenen Treibstoffen ein Preis von €1.170/t, für grünen Wasserstoff von zwischen €788/t und €1.971/t sowie bei PtL von zwischen €2.320/t und 2.900/t zugrunde gelegt. Für das **Jahr 2050** liegen die Treibstoffpreise für den intra-EU-Luftverkehr bei fossilem Kerosin zwischen €1.275/t und 2.063/t, für Biogene Treibstoffe bei €1.170/t, bei grünem Wasserstoff zwischen €645/t und €968/t sowie für PtL zwischen €935/t und €1.658/t. Die Zahlen verdeutlichen die über den Zeitablauf signifikanten höheren nichtfossilen Treibstoffpreise, die sich merklich auf die Standortwahl für Hubs und Betankungen wie auch das Passagieraufkommen auswirken könnten.

**Modellierungen** im Rahmen dieser Studie zeigen, dass die Kombination aus erhöhten CO<sub>2</sub>- Preisen und einer vollständigen Dekarbonisierung der Treibstoffe bis 2050 zu einem europäischen Flugverkehrsaufkommen führen könnte, das niedriger ist als noch im Jahr 2018. Innerhalb der einzelnen Bereiche des Luftverkehrs (Cargo, Business und Leisure) gibt es jedoch deutliche Unterschiede. Die Bereiche unterscheiden sich hinsichtlich der Preiselastizitäten, der prognostizierten Entwicklung ohne Berücksichtigung alternativer Treibstoffe und des angenommenen alternativen Treibstoff-Mixes. Die Spannweite der Entwicklung in den einzelnen Bereichen reicht von einem deutlichen Wachstum (Cargo) bis hin zu einem Rückgang um rund ein Viertel bei internationalen Privatreisen.

Abbildung Z1: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zum Jahr 2018 mit vorgeschriebenen Mengen an nichtfossilen Treibstoffen. Die Werte in Prozent entsprechen der Nachfragerreduktion im jeweiligen Sektor. Die Nachfragerückgänge der Treibstoffmengen ergeben sich unter Einbeziehung der Elastizitäten. Die gesamten Treibstoffkosten setzen sich aus anteiligen Kosten für fossiles Kerosin und für nachhaltige Treibstoffe zusammen. *Quelle: Eigene Darstellung*



Die hohe Bedeutung des Luftverkehrs für die Europäische Union wie auch insbesondere für Deutschland eröffnet die Frage, wie eine **Internalisierung der externen Effekte** der Treibhausgasemissionen über einen Transformationsprozess so ausgestaltet werden kann, das die negativen Folgen für das Luftverkehrsaufkommen wie auch die Attraktivität des Luftverkehrsstandortes Deutschland durch Carbon Leakage und Standortverlagerungen minimiert werden können, ohne das Ziel einer Klimaneutralität des Luftverkehrs im Jahr 2050 aufzugeben. Hierbei sind neben beihilferechtlichen auch weiteren Überlegungen einzubeziehen, die aus einer marktwirtschaftlichen Perspektive effizient und wettbewerbskonform auszugestalten sind.

Das **Grundproblem** im Transformationsprozess bildet die wachsende Verfügbarkeit nichtfossiler Treibstoffe über den **Zeitablauf** zu wettbewerbsfähigen Preisen. Die gegenwärtigen Preisunterschiede zwischen fossilen und nichtfossilen Treibstoffen geben weder marktliche Anreize für die Hersteller von nichtfossilen Treibstoffen noch für die Luftverkehrsanbieter den Transformationsprozess zu starten. Vielmehr liegt ein „Henne-Ei“-Dilemma vor, bei dem die Hersteller nichtfossiler Treibstoffe die Produktion und die Entwicklung kostengünstiger Herstellmethoden nicht vorantreiben, da sie auf der Basis der gegenwärtigen Preisdifferenzen die Absatzchancen negativ bewerten. Zum anderen haben die Airlines aufgrund der Preisdifferenz keinen Anreiz umzustellen, da sie durch eine Verlagerung in unregulierte Standorte diese Differenzkosten nicht tragen müssten oder beim Verbleib der Standorte in Deutschland und der Europäischen Union mit merklichen Einbrüchen beim Aufkommen der Passagierzahlen rechnen müssten. Das Ziel des Transformationsprozesses ist es, dieses Dilemma über den Zeitablauf zu lösen, indem zeitnah Anreize für die Erhöhung des Angebots nichtfossiler Treibstoffe gesetzt und die Initiierung von Innovationsprozessen zur Reduktion der Herstellkosten für diese gegeben werden. Gleichzeitig muss die Last der gegenwärtig hohen alternativen Treibstoffkosten für die Luftverkehrsanbieter auf zukünftige Jahre verteilt werden.



Aus der Finanzwirtschaft sind **Swaps** als Instrument bekannt, um solche zeitlichen Dilemmata zu adressieren. Bei einem Swap ist eine Partei (hier die Luftverkehrsindustrie) bereit, über eine Laufzeit eine festgelegte, gleichmäßige Zahlung zu leisten, die in Summe den angenommenen bzw. erwarteten Kosten für nichtfossile Treibstoffe entsprechen sollte; dies erfolgt in Form der Festlegung eines Referenzpreises. Die andere Partei hingegen sichert grundsätzlich die Unsicherheiten in Bezug auf die tatsächliche Marktpreisentwicklungen ab. Swaps sind grundsätzlich so bepreist, dass sich die Zahlungen der beiden Parteien über eine Laufzeit ausgleichen; deshalb stellt ein Swap auch keine Beihilfe dar. Die Parteien tragen lediglich das Risiko von Mehrzahlungen für den Fall, dass die Marktpreisentwicklung anders verläuft als erwartet. Diese Mechanik macht sich das vorgestellte Konzept zunutze, indem es ermöglicht, dass

- zunächst die Luftfahrtindustrie **Zahlungen erhält**, und so den notwendigen Kapitalbedarf für die hohen Marktpreise nichtfossiler Treibstoffe nicht marktverzerrend decken zu können und
- zu späteren Zeitpunkten die Luftfahrtindustrie **Zahlungen erbringt**, weil die Marktpreise für nichtfossile Treibstoffe zurückgegangen sind.

Ein solcher Swap ist gegenüber einem Darlehen vorzugswürdig, weil nur er in der Lage ist, auch die Risiken der tatsächlichen Marktpreisentwicklung insgesamt abzusichern, insb. auch deren zeitlicher Eintritt infolge technischer Entwicklungen. Zudem können spätere Marktpreisentwicklungen im Rahmen weiterer Swaps berücksichtigt werden, sodass letztlich sogar das Tempo der Dekarbonisierung der Luftfahrtindustrie marktverträglich erhöht werden kann. Ziel dieses Swaps ist also die zeitliche Transformation von gegenwärtig hohen Kosten durch deren Streckung über die Zeit. Die entscheidende Stellschraube ist dabei die von der Laufzeit und von einer Einschätzung der Marktpreisentwicklung abhängige Festlegung des Referenzpreises als Parameter für eine angemessene, marktverträgliche Belastung der Luftfahrtindustrie.

Um den Transformationsprozess im Luftverkehr von fossilem hin zu nichtfossilem Treibstoff über Swaps zu ermöglichen, wird im Sinne der Kombination zweier Maßnahmen eine **Finanzierungsstruktur** vorgeschlagen, die die heutigen Kosten nichtfossilen Treibstoffs für die Luftverkehrsanbieter reduziert und zeitgleich Anbietern nichtfossiler Treibstoffe einen Anreiz liefert, ihre Angebotsmenge zu erhöhen und gleichzeitig in Innovationen zu investieren.

Hierfür werden drei Teilfonds in der Finanzierungsstruktur benötigt, die sich wie folgt unterscheiden:

1. **Teilfonds 1:** Ziel des Fonds ist es, mittels eines im Swap festgelegten Referenzpreises eine Abfederung der derzeitigen hohen Anlaufkosten durch eine gleichmäßige Verteilung der Gesamtkosten zu erreichen und Preisrisiken infolge unzureichender der technischen Entwicklung nichtfossiler Treibstoffe zu tragen
2. **Teilfonds 2:** Dieser Fonds basiert auf einem Swap (auch bekannt als Contract for Difference), um in den ersten Jahren mit eingezahlten Mitteln des Staates die Preisdifferenz zwischen fossilem und nichtfossilem Treibstoff zu reduzieren. Gleichzeitig soll dieser Fonds auch die Möglichkeit bieten, Gelder einzusammeln, die in Form eines Darlehens die Preisdifferenz zwischen dem Preis für fossilen und den Referenzpreis für nichtfossilen Treibstoff reduzieren.
3. **Teilfonds 3:** Dieser Fond sammelt Gelder von privaten und staatlichen Akteuren ein, um Innovationen in der Herstellerindustrie für nichtfossilen Treibstoff zu finanzieren. Dieser Fonds ist angelehnt an der Arbeitsweise vergleichbarer Fonds wie dem Hightech-Gründerfonds.

Das **Volumen** für den Transformationsprozess über den Swap ist erheblich, auch wenn der konkrete Umfang von den Faktoren CO<sub>2</sub>-Bepreisung sowie der Preisentwicklung bei nichtfossilen Treibstoffen abhängt. In der Studie wurden für die unterschiedlichen Szenarien für zwei Swaps im Gesamtumfang von 2 Mio. Tonnen (ca. 20% des deutschen Kerosinverbrauchs) folgende Volumina ermittelt, die sich im Erwartungswert über die Laufzeit ausgleichen.



Tabelle Z1: Erwartetes Fondsvolumen bei Abschluss von zwei Swaps im Jahr 2030 (200.000 Tonnen PtL) und 2035 (1,8 Mio. Tonnen PtL) (in Mio. Euro) im Zeitverlauf. Positive Beträge bedeuten eine Einzahlung aus Sicht des Staates, negative Werte eine erwartete Rückzahlung seitens der Luftfahrtindustrie. *Quelle: Eigene Berechnungen.*

Szenario	Laufzeit des Swaps (in Jahren)	2030	2035	2040	2045	2050	Ab 2051
Baseline	10	67	201	-67	-201	-	-
Baseline	15	101	334	67	-201	-301	-
Niedriger PtL-Preis	10	98	528	-98	-528	-	-
Niedriger PtL-Preis	15	147	724	176	-372	-675	-

Das vorgeschlagene Fondsmodell ist hierbei als **komplementär zu Politikinitiativen** auf europäischer und internationaler Ebene zu verstehen, die auf die Dekarbonisierung des Luftverkehrs abzielen. Im Rahmen dieser Studie wurde gezeigt, dass insbesondere die Höhe der CO<sub>2</sub>-Bepreisung für fossiles Kerosin einen entscheidenden Einfluss auf die relativen Kosten alternativer Treibstoffe im Luftverkehr hat. Die internationale Durchsetzbarkeit solcher Preise sowie andere international abgestimmte Maßnahmen benötigen Zeit. Das effektive Zeitbudget ist aber angesichts des zeitlichen Ziels der Klimaneutralität begrenzt. Das Fondsmodell bietet daher die Möglichkeit, bereits kurzfristig und auch auf nationaler Ebene in die Dekarbonisierung des Luftverkehrs einzusteigen. Eine Ausweitung auf die europäische Ebene wäre ebenfalls zu bewerkstelligen.

Aus einer ordnungspolitischen Perspektive ist das vorgeschlagene Vorgehen im Transformationsprozess positiv zu bewerten. Auch wenn das Transformationsrisiko sowohl der CO<sub>2</sub>-Bepreisung als auch der Entwicklung bei den nichtfossilen Treibstoffen durch den Staat getragen werden, so bietet der Swap eine durchaus realistische Chance, dass die staatlichen Investitionen in den frühen Transformationsjahren in den späten Transformationsjahren durch die Luftverkehrswirtschaft kompensiert werden. Gleichzeitig werden durch den Ansatz die direkten Markteingriffe des Staates minimiert und durch marktliche Anreizsysteme eine zu erwartende höhere Markteffizienz angestoßen. Schließlich können über den Ansatz Carbon Leakage Anreize minimiert und die wirtschaftliche Entwicklung einer Industrie für die Herstellung nichtfossiler Treibstoffe im internationalen Wettbewerb gestärkt werden.

## 1. Einführung

Der Klimawandel stellt erhebliche Anforderungen an die deutsche Wirtschaft, um Wohlstand und Treibhausgasneutralität als gemeinsame Ziele zu erreichen. Die erheblichen Anforderungen erstrecken sich auch auf den Verkehrssektor und hierbei insbesondere auch auf den Luftverkehrssektor. Einerseits sind Reisen ein wesentlicher Bestandteil freiheitlicher Gesellschaften und marktwirtschaftlicher Systeme; andererseits sind die klimatischen Folgen insbesondere des Luftverkehrs nicht unerheblich. Hieraus bildet sich die Anforderung nach Alternativen zu fossilen Energieträgern in der Luftverkehrswirtschaft zu suchen und die Hürden zu identifizieren, die einer Nutzung nichtfossiler Energieträger im Luftverkehr entgegenstehen.

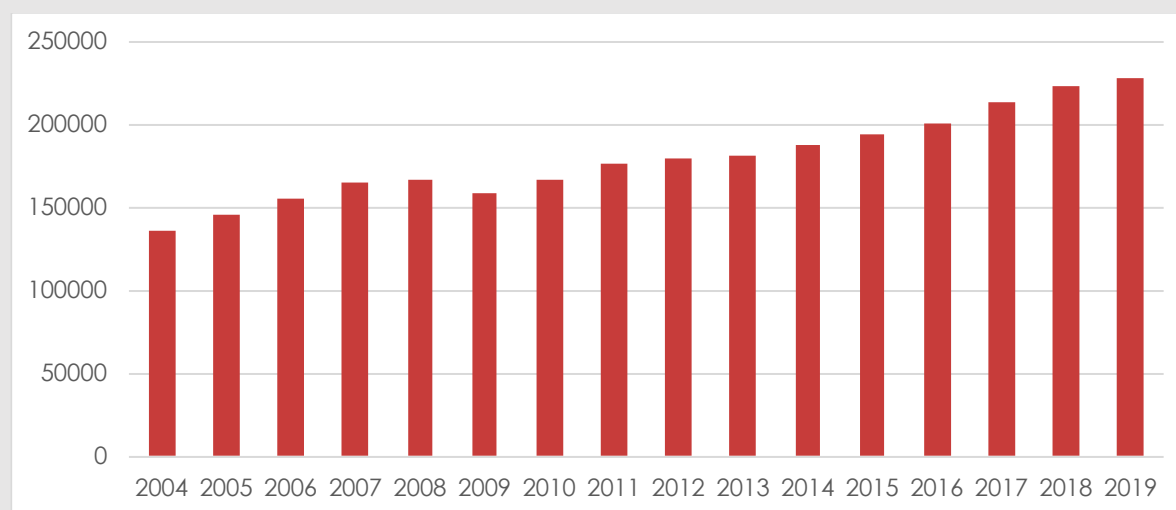
Der heutige Stand in der Entwicklung CO<sub>2</sub>-armer Kraftstoffe im Luftverkehr geht - zumindest in den nächsten Jahrzehnten - mit einer Erhöhung der Ticketpreise einher, da nichtfossile Treibstoffe selbst unter Berücksichtigung aktueller bzw. zu erwartender CO<sub>2</sub>-Preise auf absehbare Zeit deutlich teurer sein werden als fossiles Kerosin. Teurere Treibstoffpreise im Luftverkehr haben aber erhebliche Einfluss auf die Anzahl der Passagiere, wie auch auf die Anteile luftverkehrswirtschaftlicher Angebote an Standorten in der EU und in den Anrainerstaaten.

Um die Folgen einer Preiserhöhung durch Nutzung von nichtfossilem Treibstoff zu analysieren, wird im Folgenden zunächst eine Einführung in die Thematik gegeben, in dem die Entwicklung der Emissionen besprochen und ein Überblick über nichtfossile Flugtreibstoffe und die regulatorischen Rahmenbedingungen gegeben wird (Kapitel 3). Darauf aufbauend wird das ökonomische Konzept der Preiselastizitäten herangezogen, um die Reagibilität der Kunden auf Preisänderungen in den verschiedenen Segmenten des Flugverkehrs zu betrachten. Die Preiselastizitäten und die Preisentwicklung verschiedener nichtfossiler Treibstoffe werden verwendet, um die Auswirkungen eines angenommenen Dekarbonisierungs-Pfades für die Entwicklung des Flugverkehrs hin zu CO<sub>2</sub>-neutralem Fliegen zu berechnen. Zudem werden unterschiedliche Preisszenarien entwickelt, die Auswirkungen auf die Zeitpunkte für die Kostenparität von nichtfossilen Treibstoffen und Kerosin haben und der Umfang von Kompensationszahlungen abgeschätzt, die geleistet werden müssten, um einen Nachfragerückgang aufgrund höherer Preise für nichtfossile Treibstoffe vollständig zu verhindern (Kapitel 4).

## 2. Entwicklung des Luftverkehrs

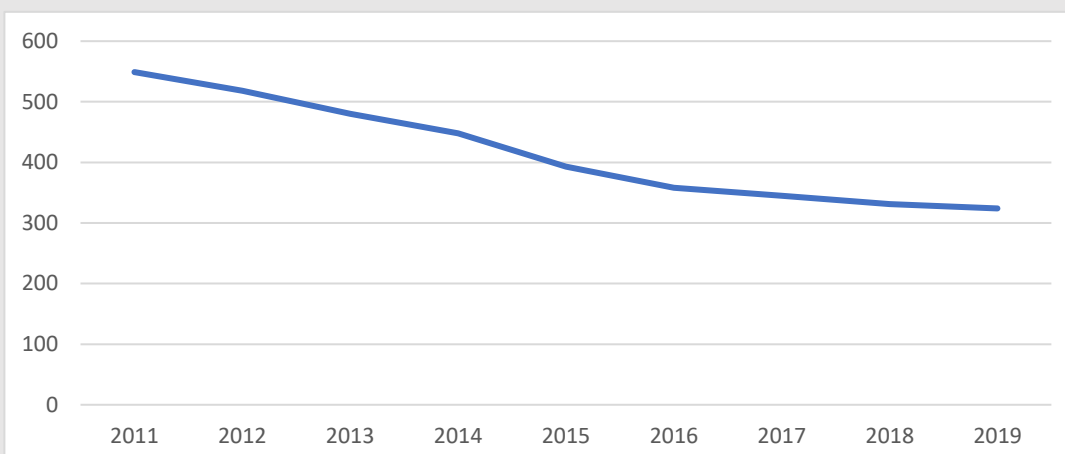
Der Luftverkehr hat sich in den letzten Jahren insbesondere im Segment des Passagiertransports sehr dynamisch entwickelt. Die Anzahl der beförderten Passagiere in den Jahren 2011 bis 2019 weist eine Steigerung von etwa 40% auf. Die folgende Abbildung verdeutlicht den Trend.

Abbildung 1: Entwicklung des weltweiten Passagieraufkommens im Flugverkehr (in 1.000) *Quelle: Keller, S. (2021b)*



Gleichzeitig ist die Anzahl der weltweiten Flüge zwischen 2014 und 2019 von etwa 36 Mio. auf ca. 46,8 Mio. Flugbewegungen gestiegen (Keller, S. 2021d). Auch wenn es durch die Corona-Pandemie im Jahr 2020 und erwartungsgemäß zum Teil auch im Jahr 2021 zu erheblichen Reduktionen im Aufkommen der Passagierflüge wie auch der Anzahl der Passagiere gekommen ist, wird insgesamt mit einem weiteren Anstieg sowohl der Flüge als auch der Passagieraufkommen ab 2022 gerechnet. So prognostiziert Statista (Keller, S. 2020b) auf der Basis von IATA Daten für das Jahr 2036 ein Passagieraufkommen von 7,8 Mrd. und für das Jahr 2037 von 8,2 Mrd. Passagieren weltweit. Die Ursachen für das wachsende Passagieraufkommen werden in der wachsenden wirtschaftlichen Verzahnung, wie auch dem wachsenden privaten Flugaufkommen gesehen. Im Bereich der privaten Flugreisen wird als eine der Ursachen für das weltweite Wachstum in der Passage die Reduktion der Flugpreise vermutet, die einen Zugang für solche Personen zu Flugreisen ermöglicht, die früher aufgrund ihres Einkommens sich solche Reisen nicht leisten konnten. So ist der durchschnittliche Ticketpreis im Zeitraum von 2011 bis 2019 von \$548 auf \$324 und damit um etwa 40% gesunken (Abbildung 2).

Abbildung 2: Durchschnittliche Ticketpreise\* für Hin- und Rückflug im weltweiten Luftverkehr in den Jahren 2011 bis 2019 (in US-Dollar). *Quelle: Keller, S. (2021a)*



Auch in Deutschland ist das Passagieraufkommen im Luftverkehr gestiegen. So sind im Jahr 2019 insgesamt 101.338.253 Passagiere in Deutschland in ein Flugzeug eingestiegen für eine europäische oder internationale Flugreise<sup>1</sup>. Hinzu kommen etwa 23,1 Mio. Passagiere im innerdeutschen Flugverkehr. Insgesamt ist das Passagieraufkommen im Jahr 2019 gegenüber dem Vorjahr 2018 um 1,5% gestiegen. Hierzu hat insbesondere der interkontinentale Verkehr mit einer Steigerung von 2,8% und der europäische Verkehr mit einer Steigerung von 2,3% beigetragen, während der innerdeutsche Verkehr um 1,8% rückläufig war.

Mit über 70% sind diese Passagiere von den Flughäfen Berlin, Düsseldorf, Frankfurt am Main und München gestartet. Insbesondere die Flughäfen Frankfurt am Main und München bilden Hubs im internationalen Flugverkehr, die für die deutsche Luftverkehrswirtschaft wie aber auch für die Einbindung Deutschlands in den internationalen Handel eine hohe Bedeutung aufweisen. Auch wenn sich die Anzahl der internationalen Flugziele nach Afrika und Asien im Zeitraum von 2011 - 2018 reduziert hat, steht dem eine enorme Steigerung der Anzahl der Flugziele in Nordamerika und in Europa gegenüber (siehe Abbildung 4). Die Veränderungen in der Anzahl der Flugziele spiegelt so eher eine Veränderung in der globalen wirtschaftlichen Verflechtung wider als ein Trend hin zu weniger Flugaufkommen, das in Bezug auf die Flugziele im Betrachtungszeitraum um über 9% gestiegen ist.

Mit dem Auftreten der Corona-Pandemie erfuhr der Luftverkehr drastische Einbrüche. Allerdings wird vermutet, dass diese Einbrüche auf einen geringen Zeitraum begrenzt sind und danach wieder ein Anstieg des Luftverkehrs zu erwarten ist.

<sup>1</sup> Destatis, 2021, Verkehr, Luftverkehr auf allen Flugplätzen, Fachserie 8, Reihe 6.2, Übersichtstabelle 2.3.1.

Abbildung 3: Entwicklung des Passagierflugverkehrs innerhalb Europas. *Quelle: Statista Research Department (2014) und Keller, S. (2020a)*

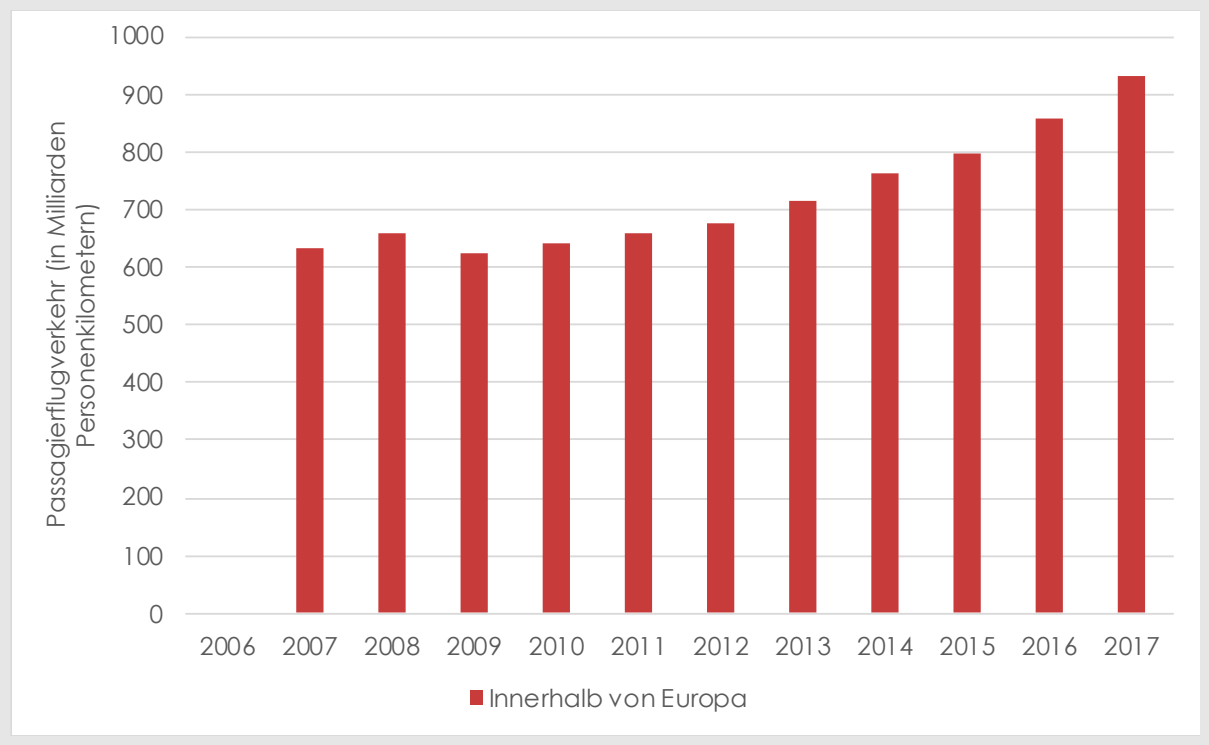
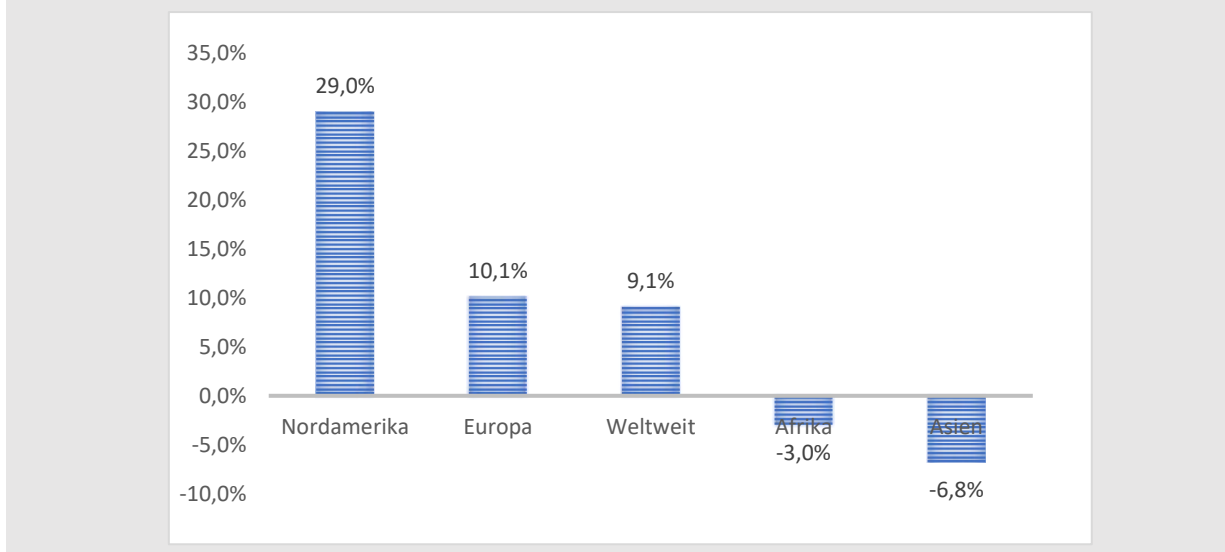


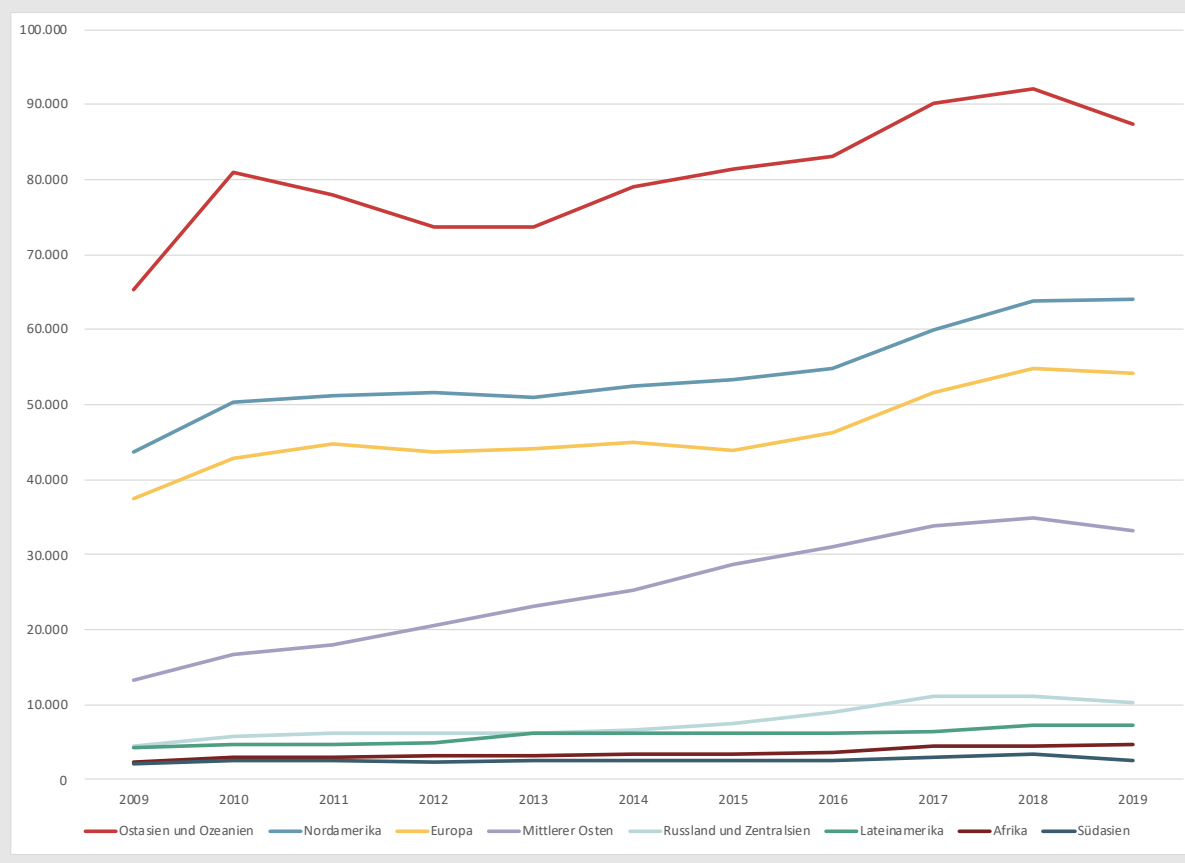
Abbildung 4: Entwicklung der Anzahl internationaler Flugziele nach Regionen (2010 bis 2018). *Quelle: Statista<sup>2</sup>*



Auch im Frachtverkehr sind weltweit Steigerungsraten festzustellen. So sind weltweit die verkauften Frachtkilometer-tonnen im Luftverkehr von etwa 173 Mrd. Frachtkilometer-tonnen im Jahr 2009 auf 263 Mrd. Frachtkilometer-tonnen im Jahr 2019 gestiegen. In einer regionalen Betrachtung zeigt sich die folgende Entwicklung.

<sup>2</sup> IATA, 02/2019, Durchschnittliche Ticketpreise\* für Hin- und Rückflug im weltweiten Luftverkehr in den Jahren 2011 bis 2019 (in US-Dollar), zitiert nach Statista, ID: 975460

Abbildung 5 Entwicklung der verkauften Frachtkilometertonnen nach Regionen (2009 bis 2018). *Quelle: Keller, S. (2021c)*



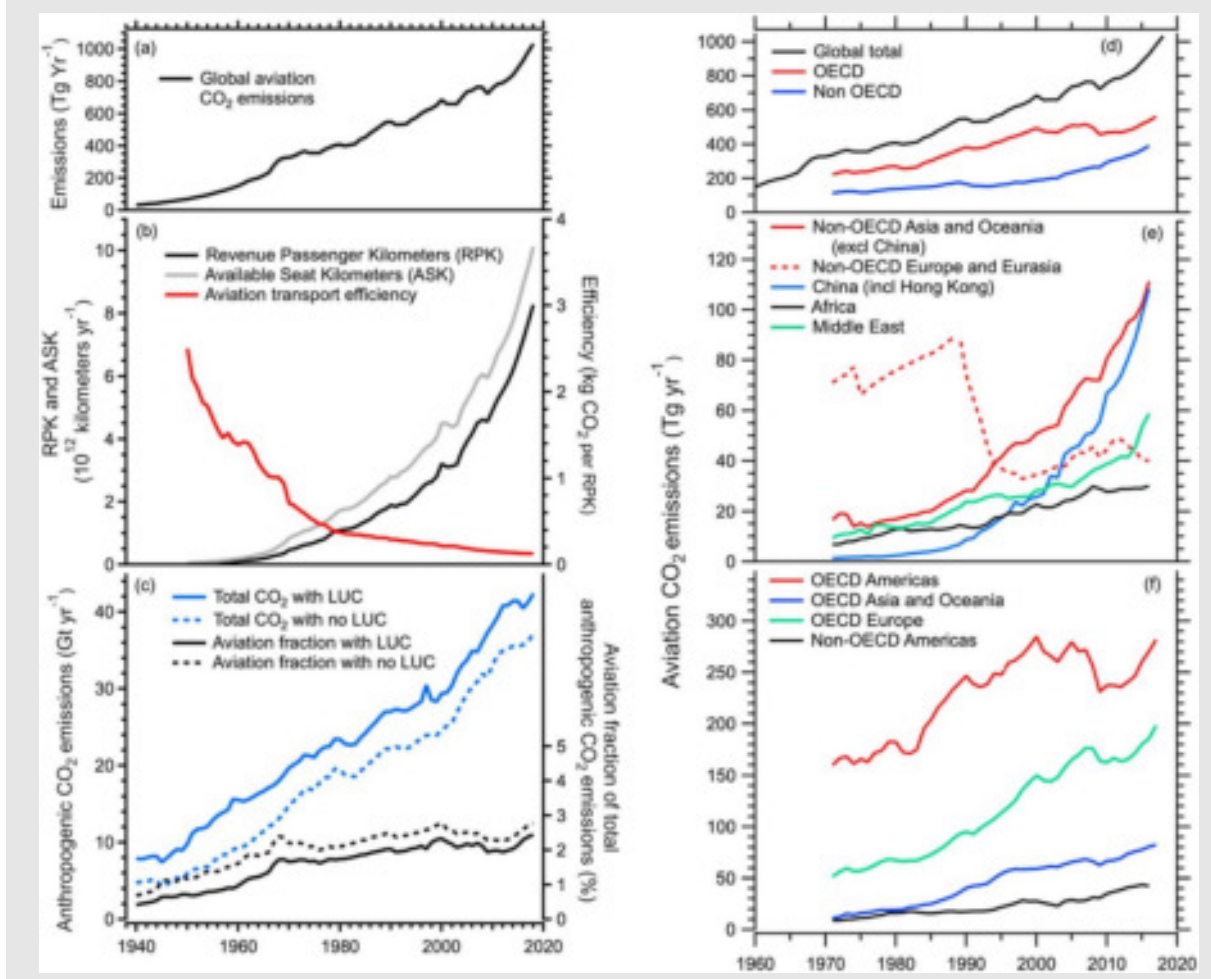
Insgesamt weist also auch der Frachtluftverkehr Wachstumsraten auf. Auch wenn in dem Zeitraum 2018 und 2019 leichte Rückgänge zu verzeichnen sind, so ist doch insgesamt keine deutliche Reduktion für die Zukunft nach Überwindung der Corona-pandemischen Restriktionen zu erwarten.

### 3. Übersicht zu nichtfossilen Treibstoffen und regulatorischen Rahmenbedingungen im Luftverkehrsmarkt

#### 3.1. Entwicklung der Emissionen im Luftverkehr

Der globale Luftverkehr ist in den letzten Jahrzehnten stark gewachsen (siehe Abbildung 6 b) und damit auch die Emissionen, die dieser Sektor verantwortet. Insgesamt stiegen die **globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen** im Flugverkehr zwischen 1960 und 2018 um einen Faktor von 6,8 (Abbildung 6a). Gleichzeitig steigerte sich die Effizienz und die Menge an CO<sub>2</sub> pro Fluggastkilometer nahm seit 1950 stark ab, die Effizienzverbesserungen schwächten sich allerdings in den letzten 20 Jahren ab (Abbildung 6 b). Insgesamt waren die CO<sub>2</sub>-Emissionen des globalen Luftverkehrs für ca. 2,8% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen im Jahr 2018 verantwortlich (Abbildung 6 c), (Le Quéré et al., 2020). Wie sich die globalen Emissionen auf die unterschiedlichen Regionen bzw. auf verschiedene Ländergruppen aufteilen ist in Abbildung 6 d-f abgebildet: Der Großteil der Globalen Emissionen im Luftverkehr wird von den OECD Ländern ausgestoßen (Abbildung 6 d), die Emissionen von Nicht-OECD Ländern wie China und anderer asiatischer Länder im Luftverkehr schnellten allerdings von einem sehr niedrigen Wert 1980 in den letzten Jahrzehnten steil in die Höhe (Abbildung 6 e). Die europäischen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugverkehr stiegen wie auch die globalen Emissionen mit kleineren Abschwächungen aufgrund von wirtschaftlichen Krisen die letzten Jahrzehnte stetig an und lagen 2018 weiterhin über den Emissionen von z.B. China (Abbildung 6 e und f). Die Projektionen in 2019 gingen von weiterem Wachstum vom europäischen Luftverkehr um 4,3% (Airbus) bzw. 4,6% (Boeing) in den nächsten zwei Dekaden aus (IEA, 2020).

Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs zwischen 1940 und 2018 global und für Regionen. *Quelle: Lee et al. (2021)*



Die Eindämmungen der COVID-19-Pandemie führte allerdings im Jahr 2020 zu einem Einbruch des Flugverkehrs (-75% im April 2020 verglichen mit April des Vorjahres) und der CO<sub>2</sub>-Emissionen (-1,7 Mt CO<sub>2</sub> d-1 im April) (Le Quéré et al., 2020). Die ICAO spricht von einem Rückgang der weltweiten Passagierzahlen um 60% in 2020<sup>3</sup>. Dennoch bleibt es wahrscheinlich, dass sich der Flugverkehr nach der Pandemie wieder erholt und 2050 weltweit doppelt oder dreimal so groß sein wird wie 2020 (Gössling et al., 2021; ICAO, 2020). Das Wachstum nach der Erholung von der Pandemie für Europa (inklusive UK und European Free Trade Association (EFTA)) wird geringer geschätzt (van der Sman et al., 2020).

Neben dem Effekt von ausgestoßenem CO<sub>2</sub> im Luftverkehr, liefern **Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen** in Form von Stickoxiden (NO<sub>x</sub>), Ruß- und Sulfataerosolen, Wasserdampf und erhöhte Bewölkung durch Bildung von Kondensstreifen einen Beitrag zum Strahlungsantrieb, dessen Treibhausgaswirkung über die reinen CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich hinausgeht. Lee et al. (2021) kommen zu dem Schluss, dass Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Luftverkehr im Moment für ungefähr 2/3 des netto-Strahlungsantriebs des Flugverkehrs verantwortlich sind und damit die Emissionen im Luftverkehr zurzeit etwa dreimal so schnell das Klima aufheizen als CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugverkehr allein.

Der globale Flugverkehr trägt somit laut der aktuellen Studie 3,5% zum Klimawandel bei<sup>4</sup>. Da die entstehenden Effekte, wie Ozon- und Kondensstreifen-Bildung von z.B. der Reiseflughöhe und den Wetterbedingungen abhängig sind, sind diese Effekte nicht-linear zum Kraftstoffverbrauch (UBA, 2020a). Anders als Methan und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft sind Nicht-CO<sub>2</sub>-Emission im

<sup>3</sup> Siehe Raillant-Clark, W. (2021) ICAO Januar 2021

<sup>4</sup> Siehe Sausen, R., & Burkhardt, U. (2020) DLR Institut für Physik der Atmosphäre



Flugverkehr nicht Teil des Kyoto-Protokolls, ebenso wenig wie der europäischen und internationalen Regulierung wie EU ETS und CORSIA<sup>5</sup> (UBA, 2020a).

### 3.2. Übersicht über nichtfossile Treibstoffe

Es gibt verschiedene technische Lösungen, den Flugverkehr zu dekarbonisieren und auf nichtfossile, nichtfossile Treibstoffe umzusteigen. Diese lassen sich in drei Gruppen unterteilen.

1. **In Batterien gespeicherte elektrische Energie.** Ähnlich wie beim elektrischen Auto wird dabei für kurze Strecken eine Art Flugtaxi diskutiert. Vorteil des batterieelektrischen Antriebs auf Basis von regenerativ erzeugter Energie ist die höhere Effizienz des Antriebs bei kurzen Strecken aufgrund der direkten Nutzung elektrischer Energie. Entscheidender Nachteil ist das Gewicht, weshalb Batterien nach aktuellem Stand nur für kurze Strecken und kleine Flugzeuge geeignet sind. Darüber hinaus lassen sich elektrische Antriebe nur mit Propellerantrieben kombinieren, die nur geringere Fluggeschwindigkeiten erlauben als turbinengetriebene Antriebe.

2. **Wasserstoff.** Wasserstoff kann entweder als Treibstoff (direkte Verbrennung von flüssigem Wasserstoff) oder über Brennstoffzellen (elektrischer Antrieb) genutzt werden. Die klimafreundlichste Lösung ist hier grüner Wasserstoff, der mittels Elektrolyse auf Basis erneuerbarer Energien erzeugt wird. Vorteil der Verwendung von grünem Wasserstoff ist die Möglichkeit der kompletten Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugverkehr, ohne Verwendung von Kohlenstoff und der daraus resultierende höhere Wirkungsgrad bei kürzeren Strecken. Wenn auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs mit betrachtet werden, kann laut eines Berichts von McKinsey (2020) die Klimawirkung von Flügen durch die Verbrennung von Wasserstoff um 50-75% und beim Brennstoffzellenantrieb um 75-90% reduziert werden. Die verbleibende Klimawirkung besteht vor allem im Ausstoß von Wasser, das bei der Verbrennung von Wasserstoff entsteht und zu Wolkenbildung führen kann. Nachteile von Wasserstoff sind die geringere volumenbezogene Energiedichte, die Notwendigkeit der Entwicklung neuer Flugzeugtypen sowie der Umstand, dass eine neue Wasserstoffinfrastruktur benötigt würde. Auch der Transport und die damit verbundene Energieverluste, falls eine Verflüssigung nötig ist, sind Herausforderungen bei der Benutzung von Wasserstoff. Die Verwendung von Wasserstoff kann für Kurz- und Mittelstreckenflüge sinnvoll sein, durch die Benötigung von größeren Tanks ist sie für die Langstrecke hingegen ökonomisch nicht sinnvoll. Die Extrakosten sind dabei für Mittelstreckenflugzeuge höher als für Kurzstreckenflüge (McKinsey, 2020)<sup>6</sup>. Wasserstoffflugzeuge sind aktuell noch nicht kommerziell verfügbar, Airbus plant die Einführung eines ersten Modells für das Jahr 2035.

3. **Verwendung von Sustainable Aviation Fuels (SAFs).** Diese sind auch für die Langstrecke geeignet und daher unabdingbar für die CO<sub>2</sub>-Neutralität des Flugverkehrs. Vorteile von SAFs sind, neben ihrer CO<sub>2</sub>-Neutralität, dass sie als Drop-in-Kraftstoffe ohne Änderung in der Flugzeugflotte sowie unter Nutzung der bestehenden Infrastruktur fossilem Kerosin beigemischt werden können (Bundesregierung, 2021). Außerdem enthalten SAFs weniger Partikel und verringern so auch Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen und deren Klimawirkung. Die großen Herausforderungen, die mit SAFs verbunden sind, sind die bisher noch um ein Vielfaches höheren Kosten im Gegensatz zu fossilem Treibstoff, die aktuell geringe Verfügbarkeit und bei biogenen Treibstoffen die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards.

Es gibt verschiedene **Arten von SAFs**: Generell kann zwischen biogenen SAFs auf Basis von Biomasse oder Ölen und von synthetischen Kraftstoffen auf Basis von grünem Wasserstoff unterschieden werden. Bei **biogenen Kraftstoffen** gibt es viele unterschiedliche Einsatzmaterialien von Biomasse aus Abfällen, Ölen oder Pflanzen wie Mais. Vorteil der biogenen SAFs ist, dass diese teilweise schon jetzt verfügbar sind und im Flugverkehr eingesetzt werden. Der biogene Treibstoff HEFA hergestellt aus Pflanzenölen (Hydroprocessed Esters and Fatty Acids) wird derzeit zum Beispiel

<sup>5</sup> EU ETS steht dabei für das Emission Trading System der Europäischen Union und CORSIA für Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (vgl. Abschnitt 3.3).

<sup>6</sup> Es gibt keine international gültige Definition von Kurz-, Mittel- und Langstrecke. Bei den verwendeten Preiselastizitäten der Nachfrage (siehe Kapitel 4.1) werden Flüge ab ca. 2400km zur Langstrecke gezählt. Wir unterscheiden aufgrund der Analyse zwischen innereuropäischen und internationalen Flügen und zählen innereuropäische Flüge zur Kurz- und Mittelstrecke und internationale Flüge zur Langstrecke.



schon bei Testflügen von 100-prozentigem SAF von DLR und Airbus genutzt<sup>7</sup>. Große Nachteile von biogenen SAFs ist die Gefahr eines Nutzungskonflikts und damit das Risiko für Abholzung, indirekte Landnutzungsänderungen (iLUC), Biodiversitätsschwund und Nahrungsmittelunsicherheit, wenn auch andere Biomasse als nur Reststoffe verwendet werden. Damit verbunden ist die Einhaltung von Nachhaltigkeitsstandards essenziell, die zu einer begrenzten Verfügbarkeit von Biomasse führen, die als nachhaltig angesehen werden kann<sup>8</sup>. Daher können nachhaltige Biokraftstoffe eine kurzfristige Einstiegsoption darstellen, jedoch nicht beliebig hochskaliert werden. Die Reduktionen an CO<sub>2</sub>-Emissionen, die im Lebenszyklus der biogenen Treibstoffe im Vergleich zu fossilem Kerosin entstehen, sind je nach Herkunft der Biomasse und je nach Verfahren unterschiedlich. Van der Sman et al. (2020) rechnen mit einer Reduktion um 65% der CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gegensatz zu fossilem Kerosin für den Treibstoff HEFA im Jahr 2030.

Synthetische Kraftstoffe **Power-to-Liquid (PtL)** sind aktuell die einzige Möglichkeit, wie der Flugverkehr auch auf längeren Strecken effizient und unter Beachtung von Nachhaltigkeitsstandards dekarbonisiert werden kann. PtL-Kraftstoffe werden auf Basis von grünem Wasserstoff hergestellt und sind auch als E-Fuel oder (im Flugverkehr) E-Kerosin bekannt. Der grundlegende Mechanismus zur Herstellung von Power-to-Liquid (PtL) Kraftstoffen ist es, per Wasserelektrolyse grünen Wasserstoff mit regenerativem Strom und Wasser zu gewinnen. Dieser wird mit CO<sub>2</sub> zu Synthesegas und anschließend über z.B. die Fischer-Tropsch-Synthese zu synthetischem Kraftstoff verarbeitet. Da bei der Verbrennung des synthetisch hergestellten Kerosins genauso viel CO<sub>2</sub> emittiert wird, wie für die Herstellung verwendet wurde, sind diese Kraftstoffe CO<sub>2</sub>-neutral.

Es gibt unterschiedliche CO<sub>2</sub>-Quellen, die für die Herstellung von PtL in Frage kommen: Zum einen kann biogenes CO<sub>2</sub> genutzt werden, also z.B. über die Kopplung mit Biogasanlagen, zum anderen über CO<sub>2</sub>, was bei fossilen Verbrennungs- und Produktionsprozessen in der Industrie entsteht, wie z.B. in Zementwerken, Müllverbrennung etc. Die dritte Option ist die CO<sub>2</sub>-Gewinnung mit regenerativen Energien aus der Luft (Direct Air Capture, DAC). Bei DAC ist die Verfügbarkeit nicht begrenzt, dafür werden allerdings weitere große Mengen an regenerativen Energien benötigt. Bei der Umwandlung von Wasserstoff zu synthetischem Treibstoff werden nochmal 15%-30% zusätzliche Energie zum Bereitstellen von CO<sub>2</sub> aus biogenen Quellen oder aus der Luft benötigt (IEA, 2020; McKinsey, 2020; van der Sman et al., 2020).

PtL-Kraftstoffe sind auch ein wichtiger Baustein der nationalen Wasserstoffstrategie der Bundesregierung. Allerdings befindet sich die Technologie noch in der Entwicklungsphase. In Deutschland ist eine Pilotanlage für PtL für den Flugverkehr vom DLR in Planung<sup>9</sup> und es existiert eine Prototypanlage gefördert als Kopernikus-Projekt P2X vom Bundesministerium für Forschung und Entwicklung (BMBF) in Kooperation mit dem KIT in Karlsruhe<sup>10</sup>. Deutsche Start-Ups im PtL Bereich sind Ineratec, die seit 2014 existieren, und ihre erste industrielle Pionieranlage für 2022 in Frankfurt (Main) planen<sup>11</sup> und das Wasserstoff-Start-up Sunfire aus Dresden, das seine erste kommerzielle Anlage in Norwegen plant.

### 3.3. Regulatorische Rahmenbedingungen

Zur Erreichung der EU-Klimaziele muss der Verkehrssektor als einziger Sektor mit wachsenden Treibhausgasemissionen und einem Anteil von etwa einem Viertel der Gesamtemissionen einen wichtigen Beitrag leisten und steht gleichzeitig vor großen Herausforderungen. Mit ihrem Green Deal visiert die europäische Kommission ein politisches Ziel an, dass es erforderlich macht, für das

<sup>7</sup> Siehe DK, BR, AFP (2021) Airliners

<sup>8</sup> Je nachdem, wie Nachhaltigkeitskriterien ausgestaltet werden, gibt es eine große Spannweite an verfügbarem Potenzial. Vgl. hierzu die sehr unterschiedlichen Pläne für die Anteile an nachhaltigen Treibstoffen bei den verschiedenen EU-Mitgliedsstaaten T&E (T&E, 2020) sowie (E4tech & studio Gear Up, 2019).

<sup>9</sup> Siehe Pilotanlage PtL vom DLR: Mende, J., Aigner, M. und Arndt, C. (2021) DLR

<sup>10</sup> Siehe Prototypanlage PtL im Emsland. Hugo, M. (2021) zdf\_heute

<sup>11</sup> Siehe Ineratec (2020)

Erreichen der Klimaneutralität die Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor insgesamt bis 2050 um 90% zu reduzieren<sup>12</sup>. Für den Luftverkehr kommen verschiedene Instrumente in Betracht.

1. Als **Preisinstrumente** kommen neben einer direkten Besteuerung von Flügen bzw. fossilem Treibstoff auch die indirekte Verteuerung von Kerosin über den europäischen Emissionshandel (EU ETS) in Betracht, wie sie für innereuropäische Flüge bereits existiert.
2. **Beimischungsquoten** für nichtfossile Treibstoffe werden derzeit sowohl in der EU als auch auf nationaler Ebene diskutiert.
3. Schließlich wären theoretisch auch **Emissionsvorgaben** ähnlich wie in der Automobilindustrie denkbar.

Bei der **Besteuerung** unterliegt die Luftverkehrswirtschaft einer Sonderrolle: Im Unterschied zu anderen Transportmitteln wie PKWs und LKWs (Benzinsteuer) oder der Bahn (die in Deutschland die EEG-Umlage zahlt) unterliegt Kerosin in der EU - im Unterschied zu anderen Ländern - keinen Verbrauchssteuern. Auf internationalen Flügen ist Kerosin weltweit generell von der Besteuerung ausgenommen, Flüge innerhalb der Landesgrenzen unterliegen jedoch z.T. einer Kerosin-Besteuerung (EC, 2019)<sup>13</sup>. Viele Länder erheben außerdem keine Mehrwertsteuern<sup>14</sup> auf Tickets, internationale Flüge sind auch hiervon generell befreit. Auf der anderen Seite gibt es in einigen Ländern Abfluggebühren, die innerhalb der EU zwischen 0 und 20 Euro liegen (in Deutschland sind es etwa 18 Euro)<sup>15</sup>. Im Rahmen des Fit for 55-Paketes plant die EU außerdem, künftig für Flüge innerhalb der EU (mit Ausnahme des Frachtverkehrs) Steuern zu erheben. Allerdings müsste eine solche Besteuerung von den Mitgliedstaaten einstimmig beschlossen werden.

Die Bepreisung von CO<sub>2</sub>-Emissionen unterscheidet sich zwischen Flügen innerhalb der EU (EU ETS) und internationalen Flügen (CORSIA). Trotz ihrer vergleichsweise größeren Klimawirkung werden Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen derzeit weder im EU ETS noch unter CORSIA berücksichtigt (UBA, 2020a). Die Unterschiede lassen sich wie folgt hinsichtlich der Treibhausgasemissionsregulierung strukturieren:

1. CO<sub>2</sub>-Emissionen von **Flügen innerhalb des europäischen Wirtschaftsraums (EWR) sind vom EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) abgabepflichtig erfasst**<sup>16</sup>. Hierbei werden nur 18% der für den Luftverkehr per Cap vorgesehenen Emissionsberechtigungen (Aviation Allowances, EUAA) tatsächlich versteigert, 82% werden den Airlines kostenlos zugeteilt<sup>17</sup>. Aufgrund der wachsenden Emissionen im Luftverkehr lag der tatsächliche Grad der kostenlos zugeteilten Emissionen in Deutschland 2018 nur noch bei 38% (UBA, 2019). Emissionsberechtigungen aus dem stationären Bereich (Energiewirtschaft und Industrie) können durch entsprechenden Zukauf seitens der Airlines genutzt werden. Im 2. Quartal 2021 steht eine Neuregelung des EU-ETS mit Blick auf den Flugverkehr an, um den Anteil der versteigerten Emissionen der Luftverkehr zu erhöhen und die Regelungen von CORSIA so umzusetzen, dass sie im Einklang mit den 2030-Klimazielen der EU steht (EC, 2021d).

<sup>12</sup> Siehe EC (2019a)

<sup>13</sup> In den USA fällt z.B. 1 Eurocent/l Kerosin an, in Kanada 8 Cent, in Japan 14 Cent (EC, 2019).

<sup>14</sup> Innerdeutsche Flüge unterliegen der Umsatzsteuer, während Zubringerflüge und der europäische Luftverkehr umsatzsteuerbefreit sind.

<sup>15</sup> Hierbei handelt es sich um ein gewichtetes Mittel zwischen Nah- und Fernflügen (EC, 2019).

<sup>16</sup> Ursprünglich sollten bei der Erfassung des Luftverkehrs im Emissionshandel im Januar 2012 alle in der EU startenden und landenden Flüge vom EU-ETS abgedeckt werden. Auf internationalen Druck hin wurde die Abgabeverpflichtung jedoch vorläufig ausgesetzt, um der Internationale Zivilluftverkehrsorganisation der UN (ICAO) Zeit zu geben, eine nichtfossile Lösung zur Reduzierung der Emissionen im Flugverkehr zu entwickeln. Diese wurde 2016 mit dem marktbasieren System CORSIA gefunden. 2024 wird eine Überprüfung der Effektivität von CORSIA und der damit verbundenen Aussetzung der Erfassung internationaler Flüge im EU-ETS seitens der EU erfolgen. Durch die Aussetzung wurden mehr als 80% der Luftverkehrsemissionen de facto aus dem EU ETS herausgelöst (UBA, 2019).

<sup>17</sup> Der Cap für den Luftverkehr lag bis 2020 bei 95% des Durchschnitts der Emissionen der Jahre 2004-2006 (Basislinie), d.h. 210,4 Mio. t CO<sub>2</sub>. Ab 2021 wird der lineare Reduktionsfaktor gemäß Artikel 9 der Emissionshandlungsrichtlinie von 2,2 Prozent pro Jahr auf die kostenlose Zuteilung angewendet (DEHSt, 2021a). Die Aviation Allowances (aEUA oder EUAA) können nur im Luftverkehr eingesetzt werden, Flugbetreiber können jedoch EUA (General Allowances) zukaufen. Da die Emissionen im Flugverkehr aktuell oberhalb der Baseline liegen, hat die eingeschränkte Handelsbarkeit keine praktische Relevanz.

2. **International** strebt die Internationale Zivilluftverkehr-Organisation der UN (ICAO) ein CO<sub>2</sub>-neutrales Wachstum des Luftverkehrs auf dem Niveau des Jahres 2019 an. Anders als das EU-ETS ist es somit nicht auf CO<sub>2</sub>-Neutralität bzw. Klimaneutralität ausgerichtet<sup>18</sup>. Mit dem 2016 verabschiedeten internationale Abkommen **CORSIA** wurde zudem eine globale, marktbasierende Maßnahme zur Kompensation der CO<sub>2</sub>-Wachstumsemissionen (Emissionen, die über den Ausstoß in einem Baseline-Jahr hinausgehen) des internationalen Luftverkehrs beschlossen. Hierfür wird vor allem auf eine Kompensation durch Projektgutschriften (Offsets) und Emissionsberechtigungen aus Emissionshandelssystemen gesetzt: Fluggesellschaften müssen für Flüge zwischen den teilnehmenden Staaten alle Emissionen oberhalb der Baseline durch den Erwerb und das Löschen von Emissionsberechtigungen oder Offsets kompensieren<sup>19</sup>. Die Nutzung von Sustainable Aviation Fuels reduziert die Kompensationsverpflichtung von CORSIA.

Verschiedene Mitgliedsstaaten der EU sowie die EU selbst planen eine **Quotenregelung** zur Beimischung von SAFs zum Kerosin (T&E, 2021). In den vergangenen fünf Jahren betrug der Anteil von SAFs am Treibstoffverbrauch lediglich 0,01%<sup>20</sup>. Im Rahmen der Initiative ReFuelEU Aviation plant die EU-Kommission verbindliche Mindestquoten von SAFs, die bei der Betankung von Flugzeugen innerhalb der EU beigemischt werden müssten. 2030 sollen es 5% sein (mit einer Unterquote von 0,7% für PtL), 2050 dann 63% (davon 28% PtL, vgl. EC 2021c). Die deutsche Bundesregierung setzt ausschließlich auf PtL und plant eine Produktion von 200.000 Tonnen (2% des Kerosinverbrauchs) bis 2030. Andere EU-Staaten haben höhere Ziele, fokussieren jedoch meist auf biogene Kraftstoffe - Frankreich plant z.B. eine Quote von 5% SAFs bis 2030, Norwegen für das gleiche Jahr sogar 30%. Die Höhe der verfügbaren biogenen Kraftstoffe ist umstritten und hängt maßgeblich von den Nachhaltigkeitskriterien ab, die hierfür angewendet werden (T&E, 2021). Nachhaltigkeitskriterien werden beispielsweise in der europäischen Renewable Energy Directive (RED) definiert.

Ähnlich wie in der Schwerindustrie ist eine grundsätzliche Herausforderung bei Politikmaßnahmen, die die Preise von Flügen in die EU einseitig erhöhen, die Gefahr von **Carbon Leakage** zu vermeiden. Carbon Leakage bedeutet die Verlagerung von Emissionen ins nicht- EU-Ausland aufgrund von Maßnahmen innerhalb der EU. Der Flugverkehr unterscheidet sich von anderen Sektoren durch die hohe internationale Vernetzung, die mögliche Zuordnung von Emissionen zu verschiedenen Ländern, sowie die Tatsache, dass internationale Passagiere gerade bei Transitflügen die kostengünstigste Route wählen können unabhängig von den damit einhergehenden Emissionen (Dray & Doyme, 2019). Airlines können z.B. die Betankung ihrer Flugzeuge auf außereuropäische Flughäfen verlagern, die den EU-Regelungen nicht unterliegen. So ist zum Beispiel der Emissionshandel von Großbritannien nicht mit dem der EU verbunden. Auch können internationale Transitflüge mit derzeitigem Zwischenhalt in der EU umgeleitet werden, um EU-Regulierung zu vermeiden, z.B. über den Hub Istanbul in der Türkei.

Zur Vermeidung des Risikos von Carbon Leakage sind verschiedene Optionen denkbar, die meist auf EU-Ebene durchgeführt werden müssten. Analog zur Diskussion in der Grundstoffindustrie und des Stromsektors wäre die Einführung eines Grenzausgleichsmechanismus prinzipiell auch für den Flugverkehr denkbar<sup>21</sup>. Eine Möglichkeit für das Herstellen eines level playing fields für Direktflüge in die EU wäre, dass Flugzeuge, die im Ausland tanken, entsprechend ihrem Treibstoffverbrauch einen CO<sub>2</sub>-Aufpreis zahlen müssten, wenn sie in der EU starten und landen. Airlines könnten von der Zahlungsverpflichtung befreit werden, wenn sie den Nachweis erbringen, dass vergleichbare CO<sub>2</sub>-Kosten auch im Ausland fällig werden. Eine zweite Möglichkeit wäre, dass das Tanken innerhalb der EU zur Voraussetzung für die Erteilung von Flugverkehrsrechten gemacht würde. Im Rahmen des Fit

<sup>18</sup> Bereits 2010 hatte ICAO das Ziel einer jährlichen Effizienzsteigerung von 2% beim Treibstoffverbrauch verabschiedet. Dies hat aber keine regulatorische Kraft entfaltet, sodass es nicht rechtswirksam wurde.

<sup>19</sup> CORSIA gilt grundsätzlich für alle zivilen internationalen Flüge (d.h. zwei Drittel der Gesamtemissionen des weltweiten zivilen Luftverkehrs, vgl. UBA, 2019). Flüge von und nach wenig entwickelten Ländern sind jedoch ausgenommen.

<sup>20</sup> Siehe Kommentar Le Feuvre, P., IEA (2021)

<sup>21</sup> Im Rahmen Ihres Fit for 55-Pakets plant die EU-Kommission die Einführung eines carbon border adjustment mechanism (CBAM) für die Sektoren Zement, Eisen und Stahl, Aluminium, Düngemittel und Elektrizität. Vgl. EC (2021b).

for 55-Pakets (ReFuelEU Aviation) plant die EU eine Verpflichtung für Fluggesellschaften, mindestens 90% des für Flüge von EU-Flughäfen benötigten Treibstoffs an EU-Flughäfen zu tanken (EC, 2021c). Drittens könnten CO<sub>2</sub>-Zölle innerhalb der EU von sogenannten Climate Clubs ausgesetzt werden.

#### 4. Kosten der Einführung nichtfossiler Treibstoffe und Auswirkungen auf den Luftverkehrsmarkt

Im Anschluss an die Diskussion der Situation bei den Emissionen, den treibhausgasreduzierenden und regulativen Ansätzen in der Luftverkehrsindustrie werden die ökonomischen Auswirkungen der Verwendung von nichtfossilen Treibstoffen auf die Treibstoffkosten sowie die Entwicklung des Flugverkehrs insgesamt abgeschätzt. Hierfür werden zunächst in der Literatur geschätzte Preiselastizitäten der Nachfrage dargestellt, die sich zwischen geschäftlichen und privaten Reisen sowie zwischen Kurz-/Mittelstrecke und Langstrecke unterscheiden (Abschnitt 4.1). In einem zweiten Schritt wird ein möglicher Dekarbonisierungspfad mit den Anteilen verschiedener nichtfossiler Treibstoffe bis 2050 skizziert (Abschnitt 4.2). Dieser Dekarbonisierungspfad zielt nicht auf die Einhaltung Paris-kompatibler Emissionsbudgets für die Luftverkehr ab, sondern auf eine lineare Erhöhung der Anteile CO<sub>2</sub>-neutraler Treibstoffe bis auf 100% im Jahr 2050. Drittens werden Szenarien für die Mehrkosten für nichtfossile Brennstoffe im Vergleich zu fossilem Kerosin entwickelt und verschiedene Zeitpunkte für die Kostenparität von nichtfossilen Treibstoffen und Kerosin abgeschätzt (4.3). Im Abschnitt 4.4 werden anhand der Elastizitäten der Nachfrage die Auswirkungen steigender CO<sub>2</sub>-Preise und Kosten der Einführung nichtfossiler Treibstoffe auf das Luftverkehrsaufkommen abgeschätzt. Die Kostenannahmen basieren auf dem im Abschnitt 4.3 vorgestellten Baseline- Szenario. Zuletzt werden im Abschnitt 4.5 die Mehrkosten abgeschätzt, die eine Kompensation durch die Einführung von nichtfossilen Treibstoffen (gemäß dem im Abschnitt 4.2 skizzierten Dekarbonisierungspfad) erfordern würde. Dies liefert eine Abschätzung für den Umfang von Ausgleichszahlungen, die geleistet werden müssten, um einen Nachfragerückgang aufgrund höherer Preise für nichtfossile Treibstoffe vollständig zu verhindern.

##### 4.1. Preiselastizität der Nachfrage

Die Preiselastizität der Nachfrage ist ein in ökonomischen Analysen vielfach genutzter Indikator, um die Reagibilität des Sektors auf höhere Preise durch die Einführung von nachhaltigen Treibstoffen abschätzen zu können. Die Preiselastizität der Nachfrage ermittelt, wie stark sich die Nachfrage nach einem Gut bei Preisvariationen verändert<sup>22</sup>. Bei einer Preiselastizität der Nachfrage von z.B. -0,7 bedeutet das, dass bei einer Preiserhöhung um 25%, ausgelöst durch eine annähernde Verdopplung der Treibstoffpreise, ein Nachfragerückgang um 14% erfolgt. Eine Übersicht der Ergebnisse der betrachteten Studien zur Preiselastizität im Flugverkehr befindet sich in Tabelle 1. Preiselastizitäten im Flugverkehr wurden in verschiedenen Kontexten untersucht. Insgesamt wird in der Literatur eine Abhängigkeit der Elastizität vom Fluganlass (geschäftlich oder privat) und der Flugdistanz gefunden (Brons et al., 2002; Gillen et al., 2007; Smyth & Pearce, 2008). Dabei sind Reisende, die geschäftlich fliegen, weniger preissensitiv als Freizeitreisende (Brons et al., 2002; Gillen et al., 2007; Granados et al., 2012). Auch ist die Preissensitivität für die Kurz- und Mittelstrecke, wo Züge, Busse und Autos als Nichtfossilen in Frage kommen, höher als für Langstreckenflüge.

Da im Rahmen dieser Studie keine eigenständige Messung der Preiselastizität der Nachfrage durchgeführt werden kann, bildet die Metastudie von Gillen et al. (2007) die Basis für die Abschätzung der Entwicklung des **Personen-Flugverkehrs** in dieser Studie (vgl. Abschnitt 4.1). Die Autoren ziehen für Ihre Metaevaluation 21 Studien aus dem nordamerikanischen Raum heran und unterscheiden

<sup>22</sup> Preiselastizitäten sind ein Maß für die Präferenzen der Menschen und beschreiben die Sensitivität gegenüber Preisveränderungen. Sie berechnen die prozentuale Veränderung der Nachfrage eines Guts, die durch eine prozentuale Veränderung des Preises ausgelöst wird. Die Elastizität hängt unter anderem davon ab, wie viele Substitute verfügbar sind, im Falle des Flugverkehrs also, ob es möglich ist, auf ein anderes Transportmedium wie die Bahn oder das Auto auszuweichen. Auf die Elastizität hat auch einen Einfluss, wie einfach Konsumenten Preise vergleichen können. Die Elastizität gibt an, um wie viel Prozent sich der Flugverkehr verringert, wenn der Ticketpreis um 1% steigt.

hierbei in der Auswertung dieser Studien zwischen Geschäfts- und Privatreisen, sowie zwischen Langstreckenflügen (über 1.500 Meilen, ca. 2.400km) und Kurz- und Mittelstreckenflügen. Die Studie zeigt, dass die Preiselastizität der Nachfrage von Freizeitreisenden im Schnitt um ca. 0,8 geringer (Gillen et al., 2007) bzw. um 0,6 (Brons et al., 2002) als für Geschäftsreisende ist. Insgesamt reichen die gemittelten Elastizitäten der analysierten Studien von Gillen et al. (2007) von -0,27 (Langstrecke geschäftlich) bis -1,52 (Kurz- / Mittelstrecke privat).

Die Mehrheit der berechneten Elastizitäten neuerer Studien liegen im gleichen Bereich wie Gillen et al. (2007). Eine Ausnahme bilden die sehr hohe Preissensitivität von Freizeitreisenden (-2,28) bei nicht-transparenten Online-Reisebüros in der Studie von Granados et al. (2012), die den Effekt von Online- und Offline-Buchungen untersucht. Auch die Studie von Morlotti et al. (2017) findet eine sehr hohe Preiselastizität für die touristische Strecke Amsterdam nach Split mit easyJet. Mumbower et al. (2014) unterscheiden nicht nach unterschiedlichen Segmenten, sondern berechnen einen Mittelwert für die gesamte Stichprobe<sup>23</sup>.

Der **Güterflugverkehr** ist aufgrund von Dringlichkeit und Zeitgebundenheit der Fracht wie zum Beispiel bei Zulieferungen für die Automobilindustrie oder verderblicher Ware unelastischer als der Personenflugverkehr. Es werden vor allem Güter per Flugzeug transportiert, deren Transport zeitkritisch ist und die daher nicht auf der Straße oder per Schiff transportiert werden können; daher sind kaum Ausweichmöglichkeiten bei einer Preiserhöhung möglich. Die Preiselastizität des Güterflugverkehrs wird in der Literatur weniger untersucht. Eine Studie von Lo et al. (2015) für den internationalen Flughafen in Hong Kong (größter Frachtflughafen der Welt) berechnet eine Spanne von -0,74 bis -0,29 für den dortigen Frachtverkehr. Eine andere Studie für den Frachtflugverkehr in Taiwan kommt auf einen Wert von -0,261 für die Elastizität der Nachfrage (Hwang & Shiao, 2011).

<sup>23</sup> Bei der Analyse der Preiselastizität der Nachfrage besteht das Problem, das diese eigentlich nur eindeutig bestimmt werden kann, wenn alle Prozesse zu einem Zeitpunkt final durchgeführt werden und keine Endogenität auftritt. Perera und Tan (2019) versuchen für eine spezifische Flugstrecke das Problem der Endogenität bei der Berechnung von Preiselastizitäten zu lösen. Die Endogenität besteht vor allem in der Simultanität der Wechselwirkung zwischen Preis und Nachfrage, da der Ticketpreis auf der angenommenen Nachfrage basiert und der Preis gleichzeitig die Nachfrage beeinflusst. Sie zeigen, dass wenn sie mit Hilfe von speziellen Daten auf die Endogenität kontrollieren, sich eine viel größere Elastizität ergeben.

Tabelle 1: Literaturüberblick Preis-Elastizitäten im Flugverkehr. *Quelle: Eigene Darstellung*

Studie	Kurz-/ Mittelstrecke geschäftlich	Kurz-/ Mittelstrecke privat	Langstrecke geschäftlich	Langstrecke privat	Fracht	Kommentar
Gillen et al. 2007	-0,700 (Median)	-1,520 (Median)	-0,265 (Median)	-1,040 (Median)	-	Metastudie (21 Studien), weitere Kategorie Long- haul domestic business/leisure
Smyth & Pearce 2008 (IATA Studie 2007)	-1,12- (-1,23) (innerhalb Europas)		-0,8 (nationale Elastizität)		-	Verwendet durch EC (2019b)
Granados et al. 2012	(-1,29) – (-0,34)	(-2,28) - (-1,33)	-	-	-	Flüge innerhalb der USA; untersucht den Effekt von Online und Offline Elastizitäten
Brons et al. 2002	Mittelwert: -1,146; Business 0,6 weniger als Privat				-	Metastudie
Morlotti et al. 2017	Min. -0,535 (Amsterdam- Hamburg)	Max. -1,915 (Amsterdam - Split)	-	-	-	easyJet Flüge von Amsterdam zu 21 Zielen innerhalb Europas
Mumbower et al. 2014	-1,32 (Median) und -1,97 (Mittelwert)				-	Basiert auf Online-Preisen und Sitzplatzdaten von JetBlue, USA
Lo et al. 2015	-	-	-	-	-0,74 – (-0,29)	Für Hong Kong International Airport (HKIA), größter Frachtflughafen der Welt
Hwang und Shiao 2011	-	-	-	-	-0,261	Taiwan

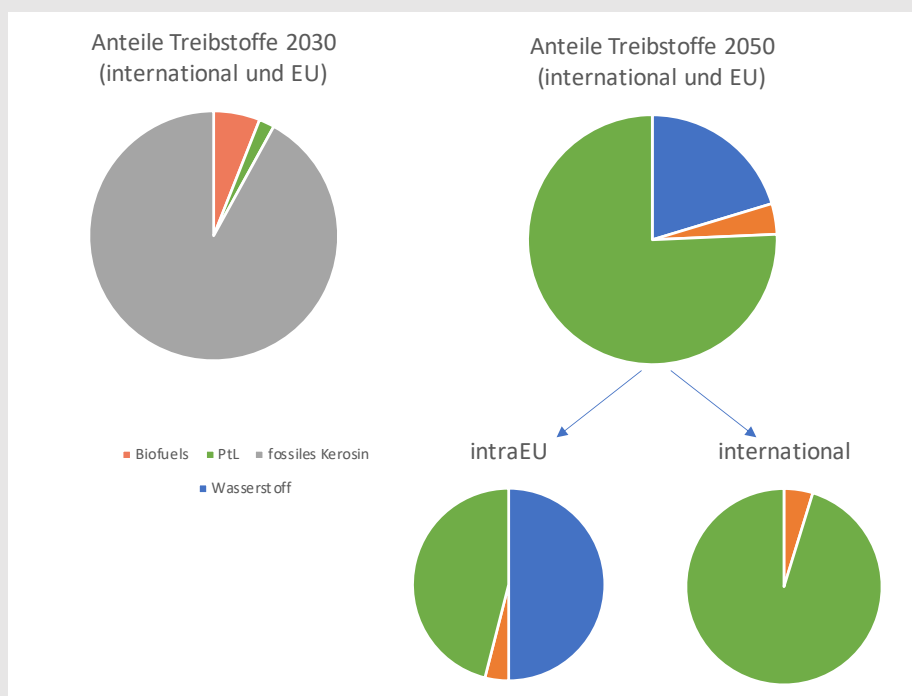
Wie beschrieben unterscheidet sich die Preiselastizität der Nachfrage von Flugreisen für unterschiedliche Segmente, Routen und Reisende und kann sich auch über die Zeit ändern. Mögliche Trends könnten sein, dass durch vermehrte Internetkäufe und Plattformen zum Vergleichen von Preisen die Elastizität steigt (vgl. Granados et al., 2012). Gleichzeitig könnte ein steigendes Bewusstsein für die Klimakrise in Zukunft dazu führen, dass Menschen weniger fliegen und Kurzstrecken mit der Bahn substituieren und höhere Preise in Kauf nehmen für die Flüge, die nicht ersetzbar sind. Ein weiterer Trend, angestoßen durch die Einschränkungen zur Eindämmung der Corona Pandemie, ist die Substitution von Reisen durch Videokonferenzen. Falls sich dieser Trend verfestigt, könnte die Elastizität vor allem bei den Geschäftsreisen steigen. Da bisher allerdings in den betrachteten Studien kein klarer Veränderungstrend über die Zeit erkennbar ist, wird die Elastizität für die Szenarien bis 2050 als konstant angenommen.

## 4.2. Dekarbonisierungspfad für den Flugverkehr

Wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, existieren verschiedene Optionen für nichtfossile Treibstoffe. Die Anforderungen an die Treibstoffe, die unsicheren zukünftigen technologischen Entwicklungen und die relativen Kosten der verschiedenen Treibstoffe werden Auswirkungen auf den optimalen Treibstoffmix und damit die Preisdifferenz von nichtfossilen Treibstoffen im Vergleich zu fossilem Kerosin haben. Kostenentwicklungen verschiedener nichtfossiler Treibstoffe und politische Anforderungen an die Dekarbonisierung des Luftverkehrs insgesamt (z.B. politisch festgelegte Quoten für einzelne Treibstoffe) haben zudem Einfluss auf den Anteil nichtfossiler Treibstoffe am Treibstoffmix insgesamt. Abbildung 7 fasst die Annahmen zum Treibstoffmix und zum Anteil nichtfossiler Treibstoffe 2030 und 2050 zusammen. Die angenommenen Anteile unterscheiden sich im Jahr 2050 zwischen Flügen innerhalb der EU einerseits und internationalen Flüge, die in der EU landen oder starten, andererseits.



Abbildung 7. Anteile der verschiedenen Treibstoffe für 2030 und 2050. Im Jahr 2030 werden für den internationalen Flugverkehr und den innereuropäischen die gleichen Anteile angenommen, im Jahr 2050 unterscheiden sie sich (untere Diagramme). *Quelle: Eigene Darstellung*



Für die Entwicklung von nichtfossilen Treibstoffen werden im Jahr 2030 noch die gleichen Anteile für innereuropäische und internationale Flüge angenommen, da hier grüner Wasserstoff als Treibstoff noch keine Relevanz hat (siehe Abbildung 7). Für biogene Treibstoffe nehmen wir aufgrund von Nachhaltigkeitsüberlegungen eine maximale Verfügbarkeit von 5% im Jahr 2030 an und halten die verfügbare Treibstoffmenge dann für 2050 konstant. Wir orientieren uns dabei am Anteil an biogenen Treibstoffen, die Frankreich fordert, da Frankreich biogene Treibstoffe auf Basis von Feldfrüchten ausschließen<sup>24</sup>. Für Power to Liquid-Treibstoffe nehmen wir (analog zur deutschen PtL-Roadmap) einen Anteil von 2% in 2030 an<sup>25</sup>. Der Rest des Treibstoffbedarfs wird durch fossiles Kerosin (mit entsprechenden CO<sub>2</sub>-Kosten) gedeckt.

Im Jahr 2050 wird aufgrund der geforderten CO<sub>2</sub>-Neutralität 100% SAFs und Wasserstoff angenommen. Diese verteilen sich unterschiedlich auf die innereuropäischen und die internationalen Flüge (siehe Abbildung 7 untere Reihe). Das liegt daran, dass Wasserstoff aufgrund des größeren Volumens nur für die Kurz- und Mittelstrecke ökonomisch sinnvoll ist. Zudem sind die Unsicherheiten über die Entwicklung der Wasserstofftechnologie für den Flugverkehr noch sehr groß (DLR, 2021). Daher wird ein Anteil von 50% von Wasserstoff im Jahr 2050 für den innereuropäischen Luftverkehr angenommen. Dieser wird sich vor allem auf die kürzeren Strecken konzentrieren, da dort die Umstellung auf regenerativen Wasserstoff billiger ist (McKinsey, 2020). Für den außereuropäischen Verkehr wird Wasserstoff wahrscheinlich keine größere Rolle spielen, da hier die Strecken länger sind und somit sehr viel größere Tanks von Nöten wären. Der Rest des benötigten Treibstoffs wird durch PtL abgedeckt.

<sup>24</sup> Siehe Briefing von Transport & Environment (2020)

<sup>25</sup> Hierbei orientieren wir uns an Deutschland, das sich mit seiner Roadmap für PtL ein Ziel von 2% des Kerosinabsatzes in Deutschland im Jahr 2030 gesetzt hat. In der ReFuelEU-Initiative der EU ist für 2030 ins Hingegen nach aktuellem Stand von einer Unterquote von nur 0,7% für PtL die Rede.



### 4.3. Entwicklung der Kosten nichtfossiler Treibstoffe im Vergleich zu fossilem Kerosin

Ein gewichtiger Anteil des Flugticketpreises hängt vom Treibstoffpreis ab. Daher sind die Preisentwicklung der verwendeten Treibstoffe essenziell für die Entwicklung der Kosten in der Flugindustrie und damit für die Kosten der Passagiere und Versender von Fracht. Die Preisdifferenz zwischen fossilem Kerosin und einem nachhaltigen Treibstoffmix (siehe vorheriger Abschnitt) hängt stark von zwei Faktoren ab. Dies sind einerseits die Annahmen zu den Entwicklungen des CO<sub>2</sub>-Preises, sowie andererseits die Preisentwicklungen der verschiedenen nichtfossilen Treibstoffe. Um der Unsicherheit über die Entwicklung der verschiedenen Parameter Rechnung zu tragen, entwickeln wir nach der Beschreibung der Annahmen im Baseline-Szenario (Abschnitt 4.3.1) verschiedene nichtfossile Szenarien zu den Preisentwicklungen. Diese führen zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Kostenparität zwischen einem nichtfossilen Treibstoffmix und fossilem Kerosin (Abschnitt 4.3.3).

#### 4.3.1. Entwicklung der Treibstoffkosten bis 2050

Der fossile **Kerosinpreis** hängt neben Schwankungen des Ölpreises auch von der Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises ab. Innerhalb der Europäischen Union<sup>26</sup> ist der Flugverkehr Teil des ETS, international gilt das Abkommen CORSIA (siehe Kapitel 3.3). Im Jahr 2018 nehmen wir für den Kerosinpreis den in der Destination2050-Studie verwendeten Referenzpreis für Kerosin von 0,39 Euro/l an (van der Sman et al., 2020) und eine Referenzdichte von 0,8 kg/l. Wir nehmen für das Jahr 2018 keine CO<sub>2</sub>-Kosten für den Kerosinpreis an, da (1) der ETS-Preis in der ersten Jahreshälfte noch unter 20 Euro/t lag, (2) erst danach leicht anstieg<sup>27</sup> und (3) die Airlines aktuell einen Anteil von fast 40% kostenlos zugeteilt bekommen (vgl. Abschnitt 3.3). Per Annahme verändert sich der Kerosinpreis in den Jahren 2030 und 2050 gegenüber 2018 nur durch eine Zunahme der CO<sub>2</sub>-Kosten.

Aufgrund der unterschiedlichen Regulierungen für innereuropäische und internationale Flüge unterscheidet sich der Preisaufschlag für CO<sub>2</sub> auf die Kerosin-Kosten bei Flügen innerhalb Europas zu dem von internationalen Flügen. Bei innereuropäischen Flügen schlägt der europäische ETS-Preis aufgrund der Abdeckung durch den europäischen Emissionshandel nach Abzug der frei zugeteilten Zertifikate (Annahme: 30% in 2030, 0% in 2050) voll zu Buche. Bei internationalen Flügen unterliegt gemäß dem CORSIA-Abkommen nur ein kleiner Anteil des Treibstoffverbrauchs der Kompensationspflicht<sup>28</sup>. Da der CO<sub>2</sub>-Preis für den innereuropäischen Flugverkehr sich daher vom internationalen unterscheidet, haben wir für den Frachtverkehr die Annahme getroffen, dass 80% des Frachtverkehrs international stattfindet und nur 20% innerhalb Europas. Diese Annahme beruht auf einem Experteninterview mit der Lufthansa Cargo. Die Aufteilung für den Personenluftverkehr wurde aus der Destination2050-Studie übernommen (van der Sman et al., 2020).

Mit den Zielen der Europäischen Union, bis 2050 klimaneutral zu werden, wird der ETS CO<sub>2</sub>-Preis im Vergleich zum heutigen Preis bis 2050 steigen. Aktuell (Mai 2021) hat der Preis die 50 Euro-Marke überschritten<sup>29</sup>. Weitere Verschärfungen und eine Verknappung der frei zugeteilten Zertifikate sind geplant. Wir nehmen daher einen CO<sub>2</sub>-Preis von 90 Euro/t im Jahr 2030 und einen Preis von 250 Euro/t im Jahr 2050 im Baseline Szenario an (siehe Tabelle 3) (UBA, 2020b). Der CO<sub>2</sub> - Preis geht mit dem Emissionsfaktor für Kerosin von 3,15 tCO<sub>2</sub>e per Tonne Kerosin (UBA, 2010) in den Kerosinpreis ein. Sowohl der Kerosinpreis selbst als auch der ETS-CO<sub>2</sub>-Preis sind abhängig von Angebot und Nachfrage und können daher großen Schwankungen unterliegen. Da diese Schwankungen sehr

<sup>26</sup> Das europäische Emissionshandelssystem umfasst alle EU-Länder und Norwegen, Lichtenstein und Island, siehe EC (2021a). Mit der Schweiz hat die EU 2017 ein Abkommen zur Verknüpfung ihrer Emissionshandelssysteme geschlossen. Seit 2020 ist für Flüge zwischen dem EWR und der Schweiz die Abgabe der entsprechenden Menge von Berechtigungen verpflichtend (DEHSt, 2021b).

<sup>27</sup> Sandbag (2021) CO<sub>2</sub> emission allowance.

<sup>28</sup> Prinzipiell können bei CORSIA neben dem Kauf von Emissionszertifikaten die Emissionen auch durch projektbasierte Offsets kompensiert werden. Diese unterliegen voraussichtlich geringeren Vermeidungskosten als der europäische Emissionshandel. Die CO<sub>2</sub>-Preise für solche Projekte sind jedoch schwer abzuschätzen, zudem standen vergleichbare Projekte unter dem Kyoto-Protokoll (Clean Development Mechanism, CDM) aufgrund der unklaren Klimawirkung in der Kritik. Daher nehmen wir an, dass für die unter CORSIA zu kompensierenden Emissionen genau wie bei den innereuropäischen Flügen die CO<sub>2</sub>-Kosten des EU-Emissionshandels angesetzt werden.

<sup>29</sup> Sandbag (2021) CO<sub>2</sub> emission allowance.

schwer vorhersagbar sind nehmen wir einen festen Referenzkerosinpreis an, der für 2030 und 2050 stabil ist und einen linear steigenden CO<sub>2</sub>-Preis.

Die Preisentwicklung der unterschiedlichen betrachteten nachhaltigen Treibstoffe hängt (mit Ausnahme von Biofuels) grundsätzlich vor allem davon ab, zu welchen Kosten erneuerbarer Strom in großen Mengen hergestellt werden kann, der für die Herstellung von grünem Wasserstoff mittels Elektrolyse benötigt wird. Dies gilt neben Wasserstoff selbst auch für PtLTreibstoffe, für die neben CO<sub>2</sub> grüner Wasserstoff als Input benötigt wird. Zudem wird im Moment PtL nur in Pilotanlagen hergestellt, die Preisentwicklung ist daher noch sehr ungewiss und umfasst eine große Spanne. Die angenommenen Preise im Baseline-Szenario für die nachhaltigen Treibstoffe befinden sich in Tabelle 2. Für PtL wird z.B. eine Preisentwicklung von 2.900€/t in 2030 und 1.557€/t in 2050 im Baseline-Szenario angenommen.

#### 4.3.2. Szenarien zur Entwicklung der Kosten nichtfossiler Treibstoffe und des CO<sub>2</sub>-Preises

Das Fondmodell, das in Kapitel 5 vorgestellt wird, soll die Transformation hin zu einem klimaneutralen Flugverkehr ermöglichen und finanzieren. Dafür ist die Betrachtung der Kostenentwicklung essenziell, denn die Kosten für fossiles Kerosin steigen durch die Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Preises an und die Kosten für die nachhaltigen Nichtfossilen sinken über die Zeit mit der technologischen Entwicklung. Im Folgenden soll der Zeitpunkt bestimmt werden, zu dem die Kosten für fossiles Kerosin dem des Mix aus unterschiedlichen SAFs und Wasserstoff gleichen. Um der Unsicherheit über die Entwicklung der Treibstoffkosten und des CO<sub>2</sub>-Preises Rechnung zu tragen, entwickeln wir Szenarien für die Entwicklung des CO<sub>2</sub>-Preises, sowie für das Maximum als auch das Minimum der in der Literatur verfügbaren Kostenspanne für nichtfossile Treibstoffe (Tabelle 2). Für biogene Treibstoffe wird in allen Szenarien der günstigste aktuelle Preis für den Treibstoff HEFA angenommen, der bereits jetzt auf dem Markt verfügbar ist<sup>30</sup>.

Es werden zusätzlich zum Baseline-Szenario die Auswirkungen dreier weiterer Preis-Szenarien auf den Zeitpunkt der Kostenparität zwischen dem nichtfossilen Treibstoffmix und Kerosin untersucht:

##### 1.a) Niedriger SAF-Preis und 1.b) hoher SAF-Preis

Die Unterschiede der projizierten Produktionskosten für Wasserstoff können teilweise auf die Annahme zurückgeführt werden, ob der grüne Wasserstoff in Europa oder im außereuropäischen Ausland produziert wird. Die Studien, die von einem Import ausgehen, liefern niedrigere Schätzungen. Allerdings kommen dann für die Gesamtkosten die Transportkosten hinzu, die hier aber nicht mit einbezogen werden. Das Minimum der projizierten Produktionskosten für grünen Wasserstoff für 2030 basiert auf einer Studie von van Wijk und Chatzimarkakis (2020) mit der Annahme, dass der grüne Wasserstoff teilweise in Europa produziert und teilweise importiert wird; für 2050 basiert der niedrigere Preis auf der McKinsey-Studie (2020) und dem Import von Wasserstoff in die EU. Das Maximum des Preisrange basiert auf einer Studie von Trinomics für 2030 (Cell et al., 2020) mit der Produktion von Wasserstoff in der EU und auf der Schätzung von der IEA (2020) (siehe van der Sman et al., 2020, S. 42).

Für PtL wird für 2030 ein Preisrange von +/-20% des angenommenen Baseline-Preis berechnet. Für 2050 basiert der niedrige Preis von PtL auf der Studie von McKinsey-Studie (2020) basierend auf der Annahme, dass das PtL aus dem Nahen Osten importiert wird und erneuerbare Energien und Direct Air Capture verwendet wird. Der Preis für das Szenario mit dem hohen SAF Preis basiert für PtL auf einer Schätzung der International Energy Agency (IEA, 2020), wobei die Schätzung ein globaler Mittelwert ist und auch erneuerbare Energien und DAC verwendet werden (siehe van der Sman et al., 2020, S. 93).

<sup>30</sup> Für die zukünftige Preisentwicklung von Biofuels spielen zukünftige Nachhaltigkeitsanforderungen eine wichtige Rolle, die einen großen Einfluss auf die Verfügbarkeit und damit den Preis haben werden. Aufgrund der Unsicherheiten wird von keiner Preisreduktion für diesen Treibstoff bis 2050 ausgegangen, der verfügbare Anteil wird jedoch auf maximal 5% der im Jahr 2030 verfügbaren Menge begrenzt.

## 2. Hoher CO<sub>2</sub>-Preis

Im Baseline-Szenario wurden Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen im Flugverkehr nicht miteinbezogen, auch wenn sie laut aktueller Forschung eine höhere Klimawirksamkeit als CO<sub>2</sub>-Emissionen haben (Lee et al., 2021). Das UBA (2020a) schlägt deshalb einen Faktor vor, mit dem der CO<sub>2</sub>-Preis multipliziert werden sollte, um den Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen Rechnung zu tragen. Daher wurde für das Policy-Szenario mit einem hohen CO<sub>2</sub>-Preis im Jahr 2050 der doppelte Preis als im Baseline- Szenario angenommen. Für 2030 unterscheiden sich die CO<sub>2</sub>-Preise nicht.

Tabelle 2: Preisentwicklung Treibstoffe für unterschiedliche Szenarien. Da Wasserstoff eine andere Energiedichte besitzt als Kerosin (120 MJ/kg versus 43 MJ/kg), wurden die Preise für grünen Wasserstoff in die Energiedichte von Kerosin umgerechnet. *Quelle: Eigene Darstellung*

Preis in Euro/t	Szenario	2030	2050
Fossiles Kerosin innerhalb der EU, inklusive CO <sub>2</sub> -Kosten aus dem EU ETS	Baseline	686	1.275
	Hoher CO <sub>2</sub> -Preis	686	2.063
Grüner Wasserstoff, in Kerosinenergiedichte	Baseline	1.380	788
	Niedriger SAF-Preis	788	645
	Hoher SAF-Preis	1.971	968
Power to Liquid (PtL)	Baseline	2.900	1.557
	Niedriger SAF-Preis	2.320	935
	Hoher SAF-Preis	3.480	1.658
Biogene Treibstoffe/HEFA	Alle Szenarien	1.170	1.170

### 4.3.3 Kostenparität zwischen Kerosin und nichtfossilen Treibstoffen im Zeitverlauf

Entscheidend für die Bewertung der Transformationsabschätzung ist die Frage wie sich die Kosten für nichtfossile Treibstoffe im Vergleich zu Entwicklung der Kosten fossiler Treibstoffe, inklusive der Internationalisierungskosten für die Treibhausgase, entwickeln. Abbildung 8 zeigt die je nach Szenario unterschiedlichen Zeitpunkte, zu denen nichtfossile Treibstoffe und Kerosin in Europa Kostenparität erreichen. Bei dem Vergleich ist zu unterstellen, dass der Preis für fossiles Kerosin innerhalb Europas durch den ETS sehr viel stärker ansteigt als international, wo aktuell nur das CORSIA-Abkommen besteht. Der Schnittpunkt würde damit bei einem Fortbestehen des CORSIA-Abkommens zu den derzeitigen Konditionen international erst sehr viel später erreicht<sup>31</sup>. Aus diesem Grund betrachten wir in Abbildung 8 nur die innereuropäischen Preise. Die angenommenen Anteile an unterschiedlichen SAFs für 2030 und 2050 für den innereuropäischen Flugverkehr, die dem Mix-SAF-Preis zugrunde liegen, sind in Abbildung 7 grafisch dargestellt.

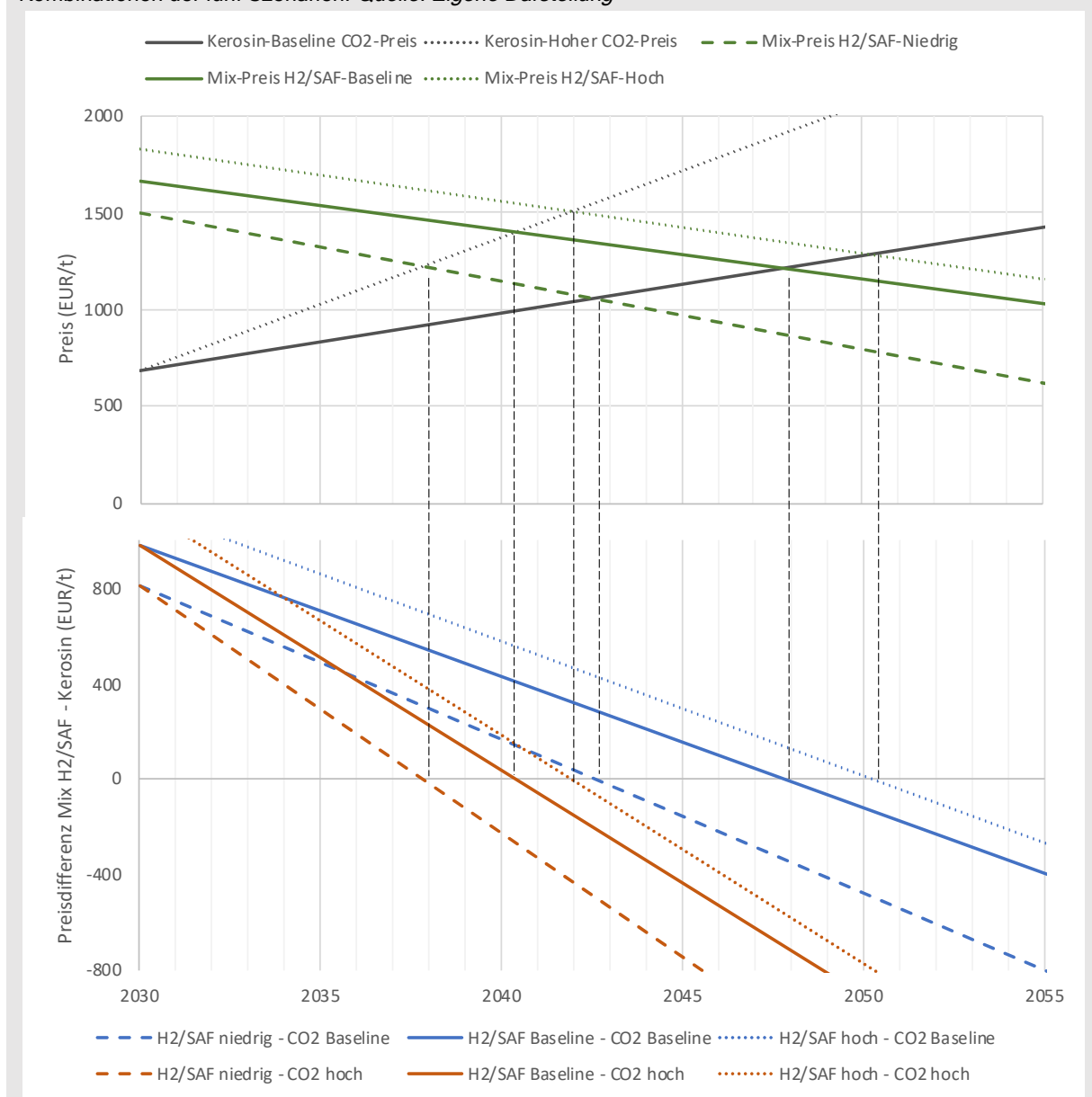
Im oberen Teil von Abbildung 8 sind die absoluten Preisentwicklungen von fossilem Kerosin (unter Einbeziehung der ETS-Kosten) und der Mix-Preis der nachhaltigen Treibstoffe (gemäß dem in Abbildung 2 skizzierten Treibstoffmix) für die unterschiedlichen Szenarien innerhalb der EU dargestellt und der Trend bis 2055 verlängert. In der unteren Grafik sind die Differenzen zwischen dem Mix-Preis

<sup>31</sup> Bei CORSIA ist für die Anreize der individuellen Airlines zur Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fußabdruckes außerdem relevant, dass die Airlines nicht für die eigenen CO<sub>2</sub>-Emissionsüberschreitungen zahlen, sondern das Kollektiv aller Airlines für die Gesamtüberschreitung des Kollektivs. Damit hat eine einzelne Airline nur sehr begrenzte Anreize, Emissionen zu reduzieren: Die einzelne Airline profitiert von Einsparungen nur sehr begrenzt (und umgekehrt werden Mehrkosten auf das Kollektiv umgelegt). Diesen Aspekt von CORSIA vernachlässigen wir in unserer Modellierung der CO<sub>2</sub>-Kosten unter CORSIA und gehen stattdessen vereinfachend davon aus, dass die CO<sub>2</sub>-Kosten eines Mehrverbrauchs gegenüber dem Referenzjahr vollumfänglich getragen werden müssen.

der nachhaltigen Treibstoffe und des fossilen Kerosins für die möglichen Szenario-Kombinationen auch bis 2060 abgebildet.

Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass der Zeitpunkt, zu dem fossiler und nachhaltiger Treibstoff den gleichen Preis haben, für die Szenarien mit hohem CO<sub>2</sub>-Preis (€500 pro Tonne bis 2050) alle vor dem Jahr 2045 liegen (im Baseline-Szenario im Jahr 2040). Im günstigsten Fall, bei einer gleichzeitigen starken Kostenverringerung der nichtfossilen Treibstoffe, wird bereits im Jahr 2038 Kostenparität erreicht. Im Baseline-Szenario mit CO<sub>2</sub>-Kosten von €250 pro Tonne im Jahr 2050 wird Kostenäquivalenz zwischen Kerosin und nichtfossilen Treibstoffen hingegen nur im Szenario mit niedrigen SAF-Preisen vor 2045 erreicht; im Baseline-Szenario wäre die Kostenparität hingegen im Jahr 2048 erreicht. Die Höhe des CO<sub>2</sub>-Preises hat also einen entscheidenden Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit von nichtfossilen Treibstoffen.

Abbildung 8: Preisentwicklung von Kerosin und nachhaltigem Treibstoffmix (Wasserstoff und SAF) im inhereuropäischen Flugverkehr. Der obere Teil der Abbildung zeigt die absolute Preisentwicklung von Kerosin (unter Einbezug eines CO<sub>2</sub>-Preises) und die Preisentwicklung eines nachhaltigen Treibstoffmix (2030: 71% Biogene Treibstoffe, 29% PtL; 2050: 50% Wasserstoff, 46% PtL, 4% Biogene Treibstoffe; siehe Abbildung 7) im inhereuropäischen Flugverkehr für zwei Kerosinpreisszenarien (Baseline und hoher CO<sub>2</sub>-Preis) und drei unterschiedlichen Preisszenarien für die nachhaltigen Treibstoffe (Niedrig, Baseline, Hoch). Der untere Teil der Abbildung zeigt die Differenz zwischen dem nachhaltigen Treibstoffmix und dem Kerosinpreis und damit die Veränderungen der Preisdifferenz zwischen fossilen und nichtfossilen Treibstoffen über Zeit für alle möglichen Kombinationen der fünf Szenarien. *Quelle: Eigene Darstellung*



## 4.4. Abschätzung der Auswirkungen steigender Treibstoffpreise auf die Nachfrage

### 4.4.1. Grundannahmen der Modellierung

Anhand der oben skizzierten Annahmen zu Preisentwicklungen von CO<sub>2</sub> sowie nichtfossilen Treibstoffen sowie Elastizitäten der Nachfrage berechnen wir den Rückgang der Nachfrage für die Jahre 2030 und 2050 relativ zu einem (fiktiven) Referenzszenario, in dem weder CO<sub>2</sub>-Kosten anfallen noch nichtfossile Treibstoffe eingesetzt werden. Hierfür wird ein Treibstoffmix wie in Abbildung 7 angenommen, die Annahmen für Treibstoff- und CO<sub>2</sub>-Kosten basieren auf dem Baseline-Szenario aus Tabelle 2. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die sich daraus ergebene Preisentwicklung für die unterschiedlichen Treibstoffe im Baseline-Szenario. Die Preise für fossiles Kerosin unterscheiden sich innerhalb und außerhalb der EU, da hier unterschiedliche Regulierungen greifen (EU ETS vs. CORSIA). Auf Basis von Expert\*innenschätzungen und statistischen Daten nehmen wir an, dass die Treibstoffkosten im Personenflugverkehr zu einem Viertel in den Ticketpreis eingehen<sup>32</sup>, sowie der Treibstoffanteil im Frachtverkehr ungefähr die Hälfte des Gesamtpreises ausmacht. Die Schätzungen basieren auf der Annahme, dass zusätzliche Kosten für SAFs und andere nichtfossile Treibstoffe voll auf den Ticketpreis aufgeschlagen werden.

Tabelle 3: Preisentwicklung betrachteter Treibstoffe im Flugverkehr im Baseline-Szenario. *Quelle: Van der Sman et al. (2020) für Treibstoffpreise, eigene Annahmen zum CO<sub>2</sub>-Preis.*

Treibstoff	2018 Treibstoffpreis (Euro/t)	2030 Treibstoffpreis (Euro/t)	2050 Treibstoffpreis (Euro/t)
Fossiles Kerosin international (CORSIA)	488	496	611
Fossiles Kerosin intraEU (ETS)	488	686	1.275
Biogene SAF/HEFA	1.170	1.170	1.170
Wasserstoff (in Kerosinenergiedichte)	-	1.380	788
Power to Liquid (PtL)	-	2.900	1.557

Für die prognostizierten Kerosinverbräuche ohne Einbeziehung von Zusatzkosten für CO<sub>2</sub> oder für die Verwendung nichtfossiler Treibstoffe für die Jahre 2018, 2030 und 2050 orientieren wir uns an den Annahmen der Destination2050-Studie (van der Sman et al., 2020)<sup>33</sup>. Die Studie zählt zu Europa sowohl die 27 Mitgliedstaaten als auch Großbritannien und die Länder der European Free Trade Association (EFTA)<sup>34</sup>. Das Referenzszenario ist ein hypothetisches no-action-Szenario, in dem aber sowohl der Einbruch ausgelöst durch die Eindämmungen der Corona-Pandemie als auch Effizienzsteigerungen mit einbezogen wurden. Von 2018 bis 2050 wird von einer Effizienzsteigerung um 21% angenommen, die sich leicht unterschiedlich auf die verschiedenen Sektoren verteilen. Diese wurden hier übernommen und mit einbezogen. Ohne die Betrachtung von Effizienzsteigerungen geht die Studie von einem Anstieg der Emissionen von 1,6% pro Jahr bis 2050 aus. Aufgrund der unterschiedlichen Preiselastizitäten in verschiedenen Flugsegmenten werden die Treibstoffmengen

<sup>32</sup> Der gemittelte Anteil der Treibstoffkosten an den operativen Gesamtkosten der weltweiten Fluggesellschaften betrug zwischen 2003 und 2019 25,4%. Der Wert von 2020 und die Prognose für 2021 wurde aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht mit einbezogen. Quelle: Keller, S. (2021f)

<sup>33</sup> Es wurden hierfür die in der Studie angegebenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in Treibstoffmengen von fossilem Kerosin umgerechnet und die in der Studie angenommene Effizienzsteigerung miteinberechnet.

<sup>34</sup> Zu EFTA zählen Island, Norwegen, die Schweiz und Lichtenstein.

aufgeteilt auf innerhalb und außerhalb der EU (international) und zwischen Geschäftsreisen und privaten Flugreisen<sup>35</sup> und Frachtverkehr unterschieden.

Für die direkte Verwendung von Wasserstoff für den Flugverkehr werden andere Flugzeuge und eine neue Betankungsinfrastruktur nötig. Dadurch entstehen zusätzliche Kosten für die Transformation, die allerdings schwer abschätzbar sind. Für unsere Szenarien beziehen wir nur die Treibstoffkosten mit ein, da ein Flottenaustausch in diesem Zeitraum realistisch ist. Infrastrukturkosten für die Umrüstung der Flughäfen werden aufgrund der großen Unsicherheiten nicht in die Schätzung mit aufgenommen.

Die Preiselastizitäten der unterschiedlichen Sektoren im Personenverkehr, Geschäfts- und Privatreise, Kurz-/Mittelstrecke und Langstrecke basieren auf der Metastudie von Gillen et al. (2007), die Elastizität für den Frachtverkehr auf der Literatur und auf der Basis eines Experteninterviews mit der Lufthansa Cargo<sup>36</sup>. Für Flüge innerhalb Europas wird die Elastizität für Kurz- und Mittelstreckenflüge angenommen, für Flüge von Europa ins außereuropäische Ausland die Elastizitäten für die Langstrecke. Der Rückgang der Nachfrage und damit der Treibstoffmengen aufgrund des Preisanstiegs durch nichtfossile Treibstoffe wird relativ zum Referenzszenario (ohne CO<sub>2</sub>-Preis) berechnet.

#### 4.4.2. Entwicklungstrends der Nachfrage auf Basis der Modellierung

Verglichen mit dem aktuellen Referenzpreis für fossiles Kerosin ohne CO<sub>2</sub>-Kosten ergibt sich auf Basis der im Baseline-Szenario definierten Kostenparameter ein Preisanstieg einer durchschnittlichen Tonne Treibstoff (Mix aus fossilem Kerosin und SAF) um 17% im Jahr 2030 und um 137% (intraEU) bzw. 216% (international) im Jahr 2050. Der Preisanstieg ist 2030 geringer als 2050, da 2030 noch zum Großteil fossiles Kerosin verbraucht wird (vgl. Abbildung 7). 2050 unterscheidet sich der Preisanstieg zwischen nationaler und internationaler Ebene, da sich die angenommene Mischung der Treibstoffmenge unterscheidet (intraEU: 50% Wasserstoff, 50% SAF; international: nur SAF). In den Preisanstieg fließen neben der Verwendung von SAFs und Wasserstoff auch steigende CO<sub>2</sub>-Kosten ein, die den Preis von fossilem Kerosin erhöhen. Basierend auf den angenommenen Preiselastizitäten und dem Anteil der Treibstoffpreise am Ticketpreis übersetzen sich die erhöhten Kosten in einen Nachfragerückgang, der sich in eine Reduktion der Treibstoffmengen umsetzt (Abbildung 9).

Im Jahr 2030 ist der Nachfragerückgang im Vergleich zum Referenzszenario trotz noch deutlich höherer Kosten für nichtfossile Treibstoffe aufgrund des geringen Anteils von SAFs mit insgesamt knapp 4% noch moderat. Im Jahr 2050, wenn aller fossiler Treibstoff durch nachhaltige Nichtfossilen ersetzt wird, reduziert sich die Nachfrage durch den Preisanstieg hingegen um fast 30%<sup>37</sup>. Erkennbar ist, dass der Rückgang 2050 vor allem im Leisure Bereich (Flugreisen mit privatem Anlass wie Urlaub) ausgelöst wird, wo die Nachfrage preissensibler ist; hier liegt der Rückgang bei 36%. Mit 19% (intraEU) bzw. 11% (international) fällt der Rückgang bei Geschäftsreisen hingegen geringer aus.

Wir nehmen außerdem eine Aufteilung (Dekomposition) des Gesamtrückgangs in eine CO<sub>2</sub>-Komponente, sowie eine Preisdifferenz-Komponente aufgrund der Verwendung nichtfossiler Treibstoffe vor. Hintergrund ist die Überlegung, dass auch ohne die Verwendung nichtfossiler Treibstoffe die Nachfrage aufgrund steigender CO<sub>2</sub>-Kosten zurückgehen würde. Dies gilt insbesondere für innereuropäische Flüge, bei denen die Kosten des EU ETS anfallen, und in einem deutlich geringeren Maße für internationale Flüge (CORSIA). Der zusätzliche Nachfragerückgang aufgrund der

<sup>35</sup> Die Anteile für Arbeitsflugreisen und Flüge für privaten Zweck basieren auf den Anteilen am Frankfurter Flughafen 2017: 35% Business, 65% Leisure, siehe Keller, S. (2021e)

<sup>36</sup> Wir verwenden für die Elastizität des Frachtflugverkehrs den Wert -0,29, was dem unteren Rand der analysierten Elastizitäten in Lo et al. (2015) entspricht.

<sup>37</sup> Die Destination2050-Studie (van der Sman et al., 2020) rechnet mit einem Effekt von Wasserstoff und SAF auf die Nachfrage von -13% im Jahr 2050. Der Effekt von ökonomischen Maßnahmen wie einem erhöhten CO<sub>2</sub>-Preis beträgt -2% in 2050. Damit liegt der angenommene Nachfragerückgang bei 15% anstatt bei 28% wie in unserer Studie. Der Unterschied besteht zum einen aus dem Zugrundlegen eines unterschiedlichen Gesamtanteils von SAF in 2050.

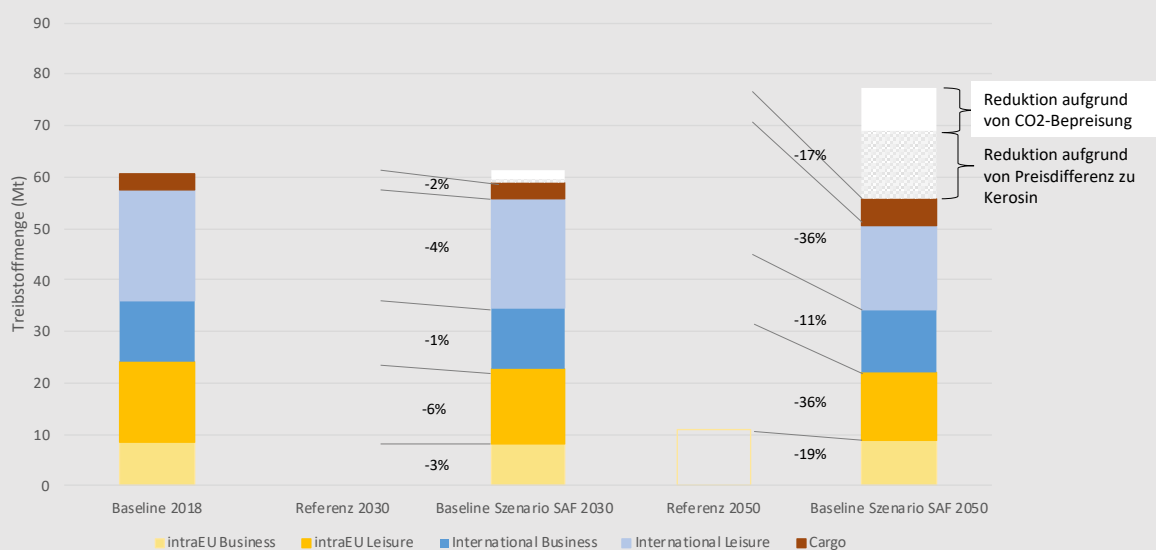


Verwendung nichtfossiler Treibstoffe geht dann auf die Preisdifferenz dieser Treibstoffe zu fossilem Kerosin (inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten) zurück.

Ein großer Teil des Nachfragerückgangs wird nicht durch die Preisdifferenz von SAFs und Wasserstoff zu fossilem Kerosin, sondern durch die angenommene Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Preise ausgelöst (siehe weißer Balken in Abbildung 9). Auch ohne die explizite Einführung von Politikmaßnahmen, die den Einsatz von nichtfossilen Treibstoffen unterstützen, würde der Flugverkehr gegenüber einem Referenzszenario ohne CO<sub>2</sub>-Kosten also deutlich zurückgehen. 2030 sind 78% der Gesamtreduktion auf höhere CO<sub>2</sub>-Preise zurückzuführen, 2050 sind es noch 39%. Der Anteil des CO<sub>2</sub>-Preises am Gesamtrückgang ist 2030 höher, da hier nur ein relativ geringer Einsatz von SAFs angenommen wird<sup>38</sup>. Der Nachfragerückgang in 2050 im Vergleich zum Jahr 2018 ist im Anhang (Abbildung 18) abgebildet.

Während wir von 100% SAF und Wasserstoff ausgehen, beträgt der Anteil an SAFs bei Destination2050 83%. Zum anderen unterscheidet sich der angenommene SAF-Mix. Der Anteil an biogenem SAF beträgt bei Destination2050 41%, wir nehmen einen Anteil von 4% im Jahr 2050 an. Da die biogenen SAFs günstiger als PtL sind, ist durch einen höheren Anteil auch der Gesamtpreis des SAF-Mixes geringer und somit der preisinduzierte Nachfragerückgang. Zum anderen gibt die Destination2050-Studie keine Elastizitäten an, auf denen ihre Berechnung basiert.

Abbildung 9: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Referenz-Szenario und das Baseline-Szenario mit vorgeschriebenen Mengen an nichtfossilen Treibstoffen für 2030 und 2050. Die Werte in Prozent entsprechen der Nachfragereduktion im jeweiligen Sektor. Die Nachfragerückgänge der Treibstoffmengen ergeben sich unter Einbeziehung der Elastizitäten durch den Preisanstieg der Treibstoffkosten (schraffierter Balken) und durch den Preisanstieg aufgrund der CO<sub>2</sub>-Bepreisung (weißer Balken). Die gesamten Treibstoffkosten setzen sich aus anteiligen Kosten für fossiles Kerosin und für nachhaltige Treibstoffe zusammen. *Quelle: Eigene Darstellung*



<sup>38</sup> Die Aufteilung (Dekomposition) des Gesamtrückgangs in einen Rückgang



#### 4.5 Abschätzung der absoluten Mehrkosten für die Erreichung der Quoten nichtfossiler Treibstoffe

Die Dekarbonisierung des Flugverkehrs in Deutschland würde mit erheblichen Mehrkosten einhergehen. Laut deutscher PtL-Roadmap sollen bis 2030 200.000t PtL produziert werden, dies entspricht einem Anteil von ungefähr 2% des aktuellen gesamten Treibstoffverbrauchs<sup>39</sup>. Zur Erreichung dieses Ziels würden bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von 90 Euro/Tonne Mehrkosten (der voll auf den Kerosinpreis aufgeschlagen wird) gegenüber dem Verbrauch von Kerosin von 327 Mio. Euro (Niedriger SAF-Preis-Szenario) bis zu 559 Mio. Euro (hoher SAF-Preis-Szenario) pro Jahr anfallen. Ein Anteil von 5% biogenen SAF an der Treibstoffmenge im Jahr 2030, wie es im Baseline-Szenario für 2030 angesetzt ist, entspräche (inklusive der Berücksichtigung eines möglichen Nachfragerückgangs durch den CO<sub>2</sub>-Preis<sup>40</sup>) bei einem Preis von knapp 1200 Euro/t zusätzlich Mehrkosten von 228 Mio. Euro. Die Gesamtkosten für die Erreichung einer Quote von 7% SAF am prognostizierten deutschen Kerosinverbrauchs im Jahr 2030 läge damit zwischen 555 und fast 787 Mio. Euro.

Im Jahr 2050 läge der angenommene Mix-H<sub>2</sub>/SAF-Preis nur für das Szenario eines niedrigen CO<sub>2</sub>-Preises von 250 Euro/t und hohen Kosten für SAFs und Wasserstoff über dem Kerosin-Preis inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten für den innereuropäischen Flugverkehr (siehe Abbildung 8). Für alle anderen Szenarien entstünden daher keine Mehrkosten für die nachhaltigen Treibstoffe, sondern diese wären günstiger als fossiles Kerosin.

Die Mehrkosten für das Worst-Case-Szenario (CO<sub>2</sub>-Preis von 250 Euro/Tonne und hohe Kosten für PtL bzw. Wasserstoff), bestehend aus der Differenz zwischen Kerosinpreis inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten von 250 Euro/t und SAF/H<sub>2</sub>-Mixpreis, für einen vollständig CO<sub>2</sub>-freien Treibstoff-Mix lägen bei 18 Euro/t. Umgerechnet auf die gesamte verbleibende Treibstoffmenge im Jahr 2050 in Deutschland (unter Berücksichtigung eines Nachfragerückgangs durch die CO<sub>2</sub>-Kosten) entspräche dies Kosten in Höhe von 200 Mio. Euro pro Jahr, wenn sich die Kosten von Treibstoffen und CO<sub>2</sub> entwickeln wie im Baseline-Szenario angenommen. In einem Szenario, in dem 100% des Treibstoffs in Deutschland mit PtL gedeckt würde, ergäben sich im Baseline-Szenario Mehrkosten von 282 Euro/t und damit gesamt eine Summe von 3,1 Mrd. Euro im Jahr 2050.

Eine Übersicht über die Abschätzung der Mehrkosten am Beispiel des deutschen Kerosinverbrauchs befindet sich in Tabelle 4.

<sup>39</sup> Im Jahr 2019 (vor Beginn der Corona-Pandemie) gingen laut Mineralölstatistik ca. 9.500.000t Kerosin (Flugturbinen Kraftstoff schwer) an die Luftverkehrswirtschaft, dabei ist Kerosin das z.B. ans Militär ging schon abgezogen.

<sup>40</sup> Zur Errechnung des Treibstoffverbrauchs Deutschlands im Jahr 2030 wird der Anteil der in Deutschland verbrauchten Treibstoffe im Jahr 2019 am aktuellen Gesamtverbrauch in der EU auf die prognostizierte gesamteuropäische Nachfrage im Jahr 2030 angewendet. Diese prognostizierte Gesamtnachfrage berücksichtigt einen Nachfragerückgang aufgrund steigender CO<sub>2</sub>-Kosten.

Tabelle 4. Abschätzung der absoluten Mehrkosten bei Einführung nichtfossiler Treibstoffe am Beispiel der Eigene Berechnungen; Zur Errechnung des Treibstoffverbrauchs Deutschlands im Jahr 2030 und 2050 wird der Anteil der in Deutschland verbrauchten Treibstoffe im Jahr 2019 am aktuellen Gesamtverbrauch in der EU auf die prognostizierte gesamteuropäische Nachfrage angewendet. Diese prognostizierte Gesamtnachfrage berücksichtigt einen Nachfragerückgang aufgrund steigender CO<sub>2</sub>-Kosten. *Quelle: Eigene Darstellung*

SAF+H <sub>2</sub> - Preis Szenario	Menge	CO <sub>2</sub> -Preis (€)	Mehrkosten ggü. Verbrauch von fossilem Kerosin (Mio. € pro Jahr)
<i>Jahr 2030</i>			
Niedriger SAF-Preis	200.000 t PtL (Anteil von ca. 2%)	90	327
Hoher SAF-Preis			559
Baseline	5% Anteil biogenes SAF		228
<i>Jahr 2050</i>			
Baseline			-
Niedriger SAF-Preis	100% SAF und H <sub>2</sub>	250	-
Hoher SAF-Preis			200
Baseline	100% PtL		3.075
Alle Szenarien	100% SAF und H <sub>2</sub>	500	-

## 5. Finanzierung des Transformationsprozesses

Derzeit gibt es in Deutschland noch keinen signifikanten Markt für nichtfossiles Kerosin. Vielmehr hat die ökonomische Analyse gezeigt, dass noch hohe Hürden für einen Wechsel von fossilem zu nichtfossilem Kerosin bestehen. Für die notwendige Entwicklung<sup>41</sup> und Funktionalität eines solchen Marktes für nichtfossile Kerosine sind sowohl eine Förderung von Angebots- als auch der Nachfrageseite wichtig. Die Bundesregierung plant bspw. in ihrer PtL-Roadmap eine Förderung der Angebotsseite durch verstärkte anwendungsorientierte Forschung und eine Unterstützung des Baus von Erzeugungsanlagen (Bundesregierung, 2021)<sup>42</sup>. Für die Nachfrageseite ist im Wesentlichen eine Abnahmeverpflichtung für Luftverkehrsunternehmen in Höhe von 200.000 Tonnen PtL-Kerosin im Jahr 2030 (2 % des Kerosinabsatzes im Jahr 2019) geplant. Außerdem ist eine Stärkung der regulatorischen Rahmenbedingungen angedacht, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Wie diese Umstellung aber erfolgen soll ist bisher kaum dargelegt.

Deshalb wird basierend auf der ökonomischen Analyse der Kostenentwicklung sowie der Reagibilität der Nachfrage nach Flugreisen im Folgenden ein Modell vorgestellt, mittels dessen ein Wechsel von fossilen zu nichtfossilen, nichtfossilen Treibstoffen (insbesondere PtL bzw. strombasiertes Kerosin auf Basis von grünem Wasserstoff) bewerkstelligt werden kann.

<sup>41</sup> Die Notwendigkeit kann sich aus verfassungsrechtlichen Gründen ergeben, wenn die umweltpolitischen Vorgaben so erdrückend sind, dass sie gleichsam zu einem Berufsverbot führen. Die Notwendigkeit kann sich aber auch aus gesellschaftspolitischen Gründen ergeben, wenn die umweltpolitischen Vorgaben gleichsam eine Partizipation großer Bevölkerungsgruppen von diesem Beförderungsmittel ausschließen.

<sup>42</sup> So stehen z.B. aus dem Energie- und Klimafonds Mittel in Höhe von 1,3 Mrd. Euro für die Erzeugung und den Markthochlauf sowie die Entwicklung von erneuerbaren Kraftstoffen aus Strom und fortschrittlicher Biomasse zur Verfügung.

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Fondsmodell zielt dabei in erster Linie auf eine Unterstützung der Nachfrageseite<sup>43</sup> (Abnahme von PtL-Kerosin durch die Luftverkehrsunternehmen) ab, um zugleich auch die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Hub-Flughäfen zu erhalten. Dies erachten wir deshalb als erforderlich, um etwaigen sonst eintretenden Verlagerungseffekten entgegenzuwirken, die zwar zu einer Reduktion der Emissionen auf nationaler, nicht aber globaler Ebene führen würden, ohne eine Reduktion der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu gewährleisten (vgl. Abschnitt 6).

Herzstück des hier entwickelten Finanzierungsmodells ist ein Swap, dessen konzeptionelle Grundlagen und Einbettung in die Transformation als solche und deren Gesamtfinanzierung in einem ersten Unterabschnitt skizziert wird (5.1). Der folgende Abschnitt befasst sich den wirtschaftlichen Zusammenhängen (Kapitel 5.2), auf denen die Überlegung beruht, die Finanzierung mittels eines Swaps als zielführend erscheinen lassen. In Kapitel 5.3 werden die sonstigen Rahmenbedingungen und Annahmen dargestellt, die maßgebend für die Wahl eines Finanzierungsinstruments sind und durch den Swap zu erfüllen wären. Im Abschnitt 5.4 werden dann die Konzeption und die Wirkweisen des Swaps eingehend erläutert, die dazu geführt haben, dieses Finanzierungsinstrument als zielführend einzustufen. Die sich hieran anschließenden beiden Abschnitte 5.5 und 5.6 befassen sich mit der Konkretisierung dieser Überlegungen im Rahmen der Umsetzung in das Fondsmodell, wobei unter anderem die einzelnen Bauelemente näher erläutert werden.

## 5.1. Der Swap als zentrales Scharnier der Finanzierung

Ein Swap ist typischerweise ein Absicherungsinstrument in Bezug auf veränderliche Preisentwicklungen. Dies geschieht in der Weise, dass eine Partei eine feste, während die andere Partei eine variable Zahlung zu leisten hat. Um diese Zahlungsströme zu vermeiden, kommt es nur zu einer Differenzzahlung. Welche Partei nun zu einer Zahlung verpflichtet ist, bestimmt sich danach, ob der jeweilige Preis über oder unter der festen Zahlung liegt, die als **Referenzpreis** bezeichnet wird.

Basierend auf den Überlegungen in Kapitel 4.3 können wir davon ausgehen, dass durch die Entwicklung des Marktes die Preise für PtL-Kerosin konstant sinken werden und sich über eine längere Laufzeit betrachtet die Gesamtsumme der Kosten näherungsweise bestimmen lassen; das sonst einen Swap kennzeichnende Element volatiler Preise besteht also gerade nicht. Wenn nun der Referenzpreis als Durchschnitt dieser Gesamtsumme über eine Laufzeit angesetzt wird, kommt dem Swap gleichsam eine Finanzierungsfunktion zu, weil über die Laufzeit sich die jeweiligen Differenzzahlungen um den Referenzpreis in Summe letztlich ausgleichen.

Entsprechend unserer Analyse müssen wir des Weiteren davon ausgehen, dass der dem Swap zugrundeliegende Referenzpreis zumindest in den ersten Jahren über dem Preisniveau für fossile und unterhalb des Preisniveaus für nichtfossile Treibstoffe liegen wird. Damit kann der Swap die Einführungskosten nichtfossiler Treibstoffe über die Jahre der Laufzeit des Swaps ausgleichen und so die Last der Transformation für die Luftverkehrsbetreiber verteilen.

Damit löst der Swap aber ein zweites Problem nicht. Während der Swap die Schwankungen des Marktpreises um den Referenzpreis abdeckt, löst es den Preis-Spread zwischen dem Preis für fossiles Kerosin und dem Referenzpreis, bzw. wenn der Marktpreis unter dem Referenzpreis liegt des Marktpreises für nichtfossilen Treibstoff nicht. Hier besteht also noch eine weitere Finanzierungslücke, so dass es (temporär) einer weiteren Finanzierung dieser Differenz z.B. in Form eines Darlehens bedarf, soweit nicht andere Mittel zur Verfügung stehen.

Das Zusammenwirken von Swap und Darlehen und der Einfluss der jeweiligen Stellschrauben auf die Gesamtfinanzierung des Transformationsprozesses werden eingehend im Kapitel 5.6 erläutert.

<sup>43</sup> Neben der Nachfrageseite wäre auch die Angebotsseite zu fördern. Dies kann neben der in der PtL-Roadmap angedachten Maßnahmen additiv durch einen Innovationsfonds geschehen (siehe Säule 3 des Fondsmodells in Abschnitt 5.7). Weitere Maßnahmen können eine Förderung unterschiedlicher Anbieter, höhere steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten, und eine stabile, planbare Nachfrageseite sein. Die Kosten für den Teilfonds 3 wie auch für die möglichen Darlehen in Teilfonds 2 zur Schließung einer möglichen Lücke zwischen dem Bruttomarktpreis des fossilen Kerosins und dem Referenzpreis sind im Folgenden nicht berücksichtigt.

## 5.2. Wirtschaftliche Zusammenhänge als Grundlage für den Swap

Die politischen Vorgaben der CO<sub>2</sub>-Reduzierung für die Luftverkehrsindustrie lassen sich aufgrund der diskutierten Rahmenbedingungen derzeit nicht durch vollständige Abwälzung der Transformationskosten auf die Marktteilnehmer umsetzen<sup>44</sup>. Letztendlich ist der Markt erst mittelfristig mit entsprechenden politischen Rahmenbedingungen in der Lage, die Kosten einer CO<sub>2</sub>-Neutralität und des Transformationsprozesses hin zu einem klimafreundlicheren Luftverkehr zu tragen. **Es gilt dementsprechend vornehmlich einen zeitlichen Gap zu überbrücken, bis die vollständige Funktionalität des Marktes** über entsprechende Innovationen und Entwicklung des Brutto-Kerosinpreises (Kerosinpreis plus CO<sub>2</sub>-Kosten) in dieser Hinsicht **hergestellt ist**.

Im Hinblick auf die Gestaltung einer geeigneten Finanzierungsstruktur gehen wir basierend auf den in Abschnitt 4.3 skizzierten Einschätzungen in der Literatur von der Annahme aus, dass langfristig im Unterschied zur Entwicklung bei den Brutto-Kerosinpreisen mit sinkenden Marktpreisen für nichtfossile Treibstoffe wie Wasserstoff oder PtL zu rechnen ist. Damit dies tatsächlich marktwirksam wird, sind folgende Voraussetzung zu erfüllen (siehe dazu auch Kapitel 4):

1. zum einen eine durch Innovationen und Skaleneffekte zu erwartende Kostendegression bei der Herstellung von nichtfossilen Treibstoffen und
2. zum anderen deutlich steigende CO<sub>2</sub>-Preise und daraus resultierend die Bereitschaft der Betreiber im Luftverkehr nichtfossile Treibstoffe einzusetzen.

Die Entwicklung der Marktpreise für solche Treibstoffe führt kurz- und mittelfristig jedoch nicht zu den Anreizen, die erforderlich sind, um Luftverkehrsunternehmen die Erreichung der dem Sektor gestellten CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele zu ermöglichen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass seitens der Fluglinien eine Bereitschaft besteht, über den derzeitigen Brutto-Kerosinkosten liegende Kosten für nichtfossile Treibstoffe zu tragen, sofern sie dadurch die wirtschaftliche Perspektive und die Planungssicherheit erlangen, dass über eine gewisse Laufzeit feste Kosten für nichtfossile Treibstoffe sichergestellt werden. Eine solche Vorgabe lässt sich mittels eines Swaps abbilden.

Zentrale Steuerungsgröße bei einem Swap stellt die Festlegung des Referenzpreises. Einflussfaktoren für dessen Höhe sind Laufzeit und Einschätzung der Preisentwicklung für nichtfossile Treibstoffe. Für die hier in Rede stehenden Transformationsprozess hat unsere Analyse gezeigt, dass eine Korrelation zwischen Laufzeit und Preisentwicklung derart besteht, dass bei längerer Laufzeit die durchschnittlichen Gesamtkosten pro Tonne nichtfossiler Brennstoffe sinkt. Die derzeitigen Mittel der Luftverkehrsindustrie, insbesondere als Resultat der Pandemie, aber auch die am Markt kurzfristig durchsetzbaren Ticketpreise lassen es nicht zu, dass Fluglinien jeden Preis für nichtfossile Treibstoffe zahlen können. Vielmehr ist es notwendig, in Abstimmung mit der Luftverkehrsindustrie einen Referenzpreis für nichtfossile Treibstoffe zu identifizieren, zu dem aus Sicht der Luftverkehrsindustrie eine Transformation eingeleitet werden kann.

## 5.3. Rahmenbedingungen und Annahmen

Bei der Ausgestaltung des vorgeschlagenen Fondsmodells sind rechtliche Vorgaben zu beachten, damit das Fondsmodell in der Luftverkehrswirtschaft angewendet werden kann. Diese gelten sowohl hinsichtlich der rechtlichen Ausgestaltung des Fonds wie auch seiner Aufsicht und der Reichweite des Fonds.

### 5.3.1. Regulatorische Vorgaben

Bei der Ausgestaltung des Transformationsfinanzierungsmodells sind rechtliche und insbesondere auch beihilferechtliche Aspekte zu berücksichtigen. Zuwendungen an einzelne Personen/-gruppen oder Industrien können eine Beihilfe darstellen und bedürfen daher der Genehmigung. Ordnungspolitisch sind Beihilfen vielfach problematisch und entsprechend reguliert. Beihilfen sollen

<sup>44</sup> Siehe dazu im Detail die Begründung in Kapitel 6

deshalb in dem hier vorgeschlagenen Ansatz weitestgehend vermieden werden. Vielmehr soll der notwendige Transformationsprozess hin zu einer CO<sub>2</sub>- Neutralität der Luftverkehrsindustrie über den Markt finanziert werden.

Zur Vermeidung einer beihilfepflichtigen und die Steuerzahler insgesamt belastenden Subvention/Beihilfe müssen Leistung und Gegenleistung konzeptionell über die Laufzeit des Transformationsmodells ausgeglichen sein. Dieser Ansatz liegt dem unten dargelegten Fonds-Modell zugrunde.

### 5.3.2. Aufsichtsrechtliche Vorgaben

Wenn der Transformationsprozess nicht über Beihilfen, sondern über ein Fonds-Modell finanziert werden soll, ergeben sich weitere rechtliche Anforderungen. Das Einsammeln und die Beteiligung von Privatem Kapital an nicht operativen Unternehmen kann in Europa nur in Form eines Investmentvermögens erfolgen. Ein solches Investmentvermögen unterliegt klaren regulatorischen Vorgaben. So erfordert ein solcher Ansatz einen (externen) Manager, eine sog. Kapitalverwaltungsgesellschaft, sowie eine unabhängige Verwahrstelle, über die zur Sicherheit der Anleger die jeweiligen Vermögensgegenstände gehalten werden (bei Wertpapieren typischerweise eine Depotbank).

### 5.3.3. Bilanzielle Vorgaben

Der Finanzierungsbedarf soll auf Ebene der Luftverkehrsindustrie möglichst nicht als Fremdkapitalaufnahme abgebildet werden, da dies deren Rating erheblich verschlechtern würde. Entsprechend sind Eigenkapitalpositionen aufzubauen.

### 5.3.4. Regionale Beschränkung

Grundsätzlich bezieht sich das Modell auf die in Deutschland bestehenden Möglichkeiten. Auf Grund der bereits fortgeschrittenen Angleichung des europäischen Rechtsrahmens in den relevanten Bereichen gehen wir davon aus, dass das vorgestellte Konzept auch für eine gesamteuropäische Lösung tragfähig ist. Dies wäre jedoch weitergehend zu prüfen und ist nicht Gegenstand dieser Studie.

## 5.4. Konzeptionelle Überlegungen und Wirkweisen des Finanzierungsmodells

Aus den oben dargelegten Gründen hat die Finanzierungsstruktur auf drei Herausforderungen eine Antwort zu geben:

- 1) zur Bedienung der durch die politischen Vorgaben geschaffenen Nachfrage nach nichtfossilen Treibstoffen für die Luftverkehrsindustrie muss ein entsprechendes Angebot geschaffen werden,
- 2) marktverträgliche Preise erfordern technologischen Fortschritt, der Zeit benötigt, und
- 3) die Kosten nichtfossiler Treibstoffe können derzeit von der Luftverkehrsindustrie nicht (vollumfänglich) getragen werden bzw. führen zu gravierenden Arbitragemöglichkeiten vor allem hin zu den EU-Anrainerstaaten.

Es ist also notwendig, einerseits Technologien zur Entwicklung neuer Treibstoffe zu fördern und sich andererseits bei festgelegten CO<sub>2</sub>-Reduzierungen durch Finanzierungshilfen Zeit bis zu einer marktverträglichen Transformation, also den marktlichen Angleich der Preise für fossilen (inklusive CO<sub>2</sub>-Kosten) und nichtfossilen Treibstoff zu erkaufen.

Das vorliegende Modell basiert deshalb auf einer Kombination aus verschiedenen Fonds, die unterschiedliche Ziele und Zwecke adressieren, aber aufeinander abgestimmt sind. Insgesamt sollen drei Innovations- und Finanzierungsfonds aufgestellt werden.

Das Modell will dabei der Politik den größtmöglichen Gestaltungsspielraum belassen und der Luftverkehrsindustrie Anreize zu klimafreundlicherem Verhalten schaffen. Es basiert darauf, dass

- der Staat den Transformationsprozess weitestgehend haushaltsneutral finanziert und lediglich das Risiko der zeitlichen Geschwindigkeit der technischen Veränderungen und damit einhergehender Kostensenkungen übernimmt und
- die Luftverkehrsindustrie verlässliche Planungsgrundlagen erhält, und zwar selbst in dem Fall, dass der Staat das Tempo zur Erreichung der Klimaneutralität erhöhen möchte.

Auf dieser Basis wird im weiteren Verlauf ein Modell entwickelt, das auf der Erstellung von 3 Fonds basiert.

### 5.4.1 Innovationsfonds

Die Einführung eines Innovationsfonds für nichtfossile Treibstoffe zielt auf die Förderung der Angebotsseite (Herausforderung 1) und entspricht grundsätzlich den bekannten Förderfonds von Start-up, HighTech-Gründerfonds u.a. Fonds. Er hebt sich aber von diesen insoweit ab, als die geförderten Unternehmen durch die politischen Vorgaben der CO<sub>2</sub> Reduzierung bereits auf eine Mindestnachfrage stoßen und insoweit Planungssicherheit in Bezug auf die Größe des Absatzmarkts besteht.

### 5.4.2. Finanzierungsfonds für Swaps (Contracts for Difference) mit der Luftverkehrsindustrie

Auf die genannten Herausforderungen 2 und 3 (technologischer Fortschritt über die Zeit und die kurzfristig sehr hohen Kosten nichtfossiler Treibstoffe) wird im Folgenden ein Finanzierungsmodell in Form eines Swaps bzw. Contracts for Difference (CfD)<sup>45</sup> beschrieben. Für die Erläuterung sind folgende Parameter relevant:

1. Der Netto-Kerosinpreis: Hierunter wird der Preis für fossiles Kerosin ohne treibhausgasinduzierte Preisaufschläge (z.B. ETS) verstanden.
2. Der Brutto-Kerosinpreis: Hierunter wird der Preis für fossiles Kerosin inklusive treibhausgasinduzierter Preisaufschläge (z.B. ETS) verstanden
3. Der Marktpreis für nichtfossile Treibstoffe: Hierunter werden die Marktpreise für die unterschiedlichen nichtfossilen Treibstoffe über den Zeitablauf verstanden<sup>46</sup>.
4. Der Referenzpreis: Der Referenzpreis ist der über eine Laufzeit angenommene<sup>47</sup> Durchschnittspreis für nichtfossile Treibstoffe, der dem Swap zu Grunde gelegt wird.

#### 5.4.2.1. Zentrale Wirkweisen des Swaps und der Einfluss ihrer Stellschrauben

Der Swap wirkt über zwei Elemente **Glättung des Preisniveaus** federt die Anfangsbelastungen für die Wirtschaft ab und schafft **Planungssicherheit** für die Luftverkehrsindustrie.

Konzeptionell wird bei einem Swap ein Referenzpreis mit der Folge festgelegt, dass die Differenz zu über diesem Preis liegenden tatsächlichen Marktpreisen für nichtfossile Treibstoffe vom Staat und die Differenz zu unter diesem Preis liegenden tatsächlichen Marktpreisen von der Luftverkehrsindustrie getragen werden. Da anders als bei einem Zins- oder Währungsswap die zeitliche Entwicklung der Marktpreise für nichtfossile Treibstoffe nicht volatil, sondern entsprechend unserer Annahme über den

<sup>45</sup> Ähnliche Modelle wie den vorgeschlagenen Swap gibt es z.B. für die Förderung erneuerbarer Energien. Das Instrument ist in diesem Kontext als Contract for Difference (CfD) bekannt.

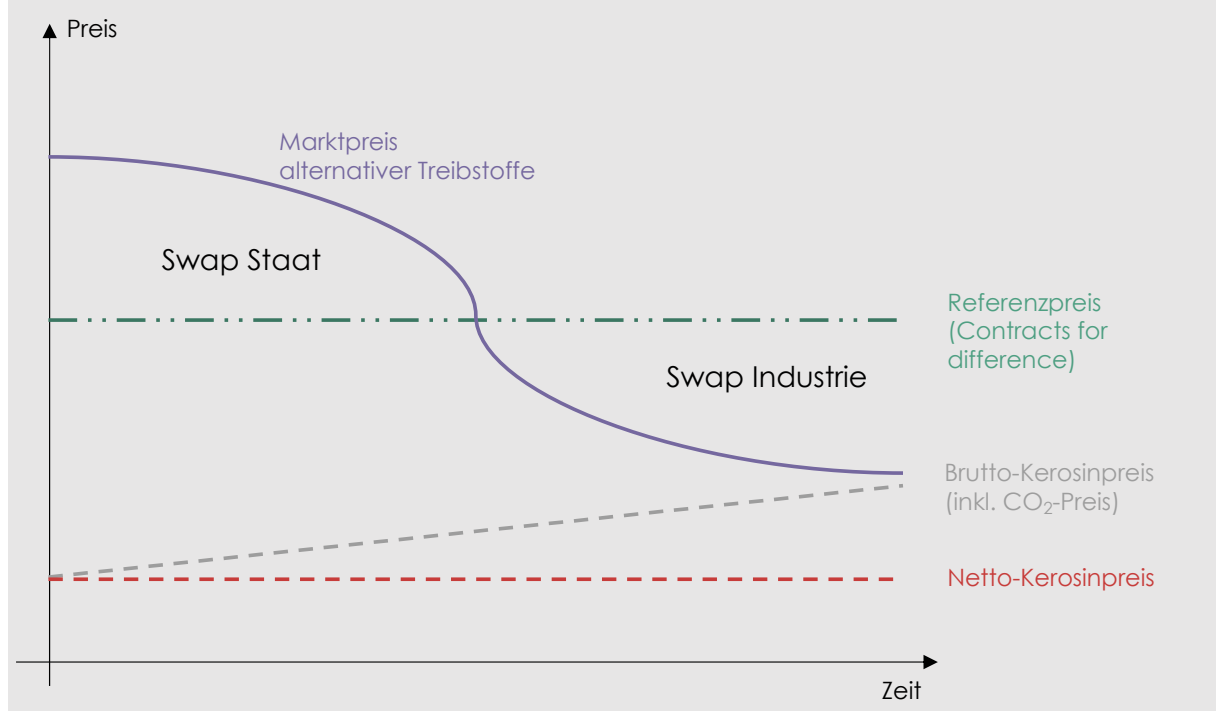
<sup>46</sup> Welche der möglichen nichtfossilen Treibstoffe sich letztlich in welchem Umfang durchsetzen werden, kann vorab nicht bestimmt werden, sondern wird sich am Markt ergeben. Insgesamt ist die Marktpreiskurve entsprechend als Durchschnittswert über die verschiedenen nichtfossilen Treibstoffe zu verstehen.

<sup>47</sup> Der Referenzpreis kann über drei Wege gefunden werden: (a) Politische Setzungen, (b) Verhandlungen zwischen Politik und Luftverkehrsindustrie und (c) Auktionsverfahren.



Zeitablauf kontinuierlich fallend sind, kann der Referenzpreis als Durchschnittspreis der Gesamtkosten über die Laufzeit verteilt verstanden werden: es wird nämlich die Luftverkehrsindustrie zunächst von den hohen Anfangsbelastungen entlastet, die sie dann grundsätzlich zu einem späteren Zeitpunkt trägt, wenn die Preise für nichtfossile Treibstoffe das Preisniveau des Referenzpreises unterschreiten (Abbildung 10). Die effektive Mehrbelastung der Luftverkehrsindustrie über die Laufzeit kann daher jeweils aus der Differenz des Referenzpreises und dem Brutto-Kerosinpreis bestimmt werden: steigt der Brutto-Kerosinpreis etwa durch höhere Steuern oder Abgaben (z.B. im Rahmen der Einbindung des Verkehrssektors in den ETS), sinkt letztlich die effektive Mehrbelastung, die aus der Verwendung nichtfossiler Brennstoffe resultiert.

Abbildung 10: Mechanismus des Swaps. *Quelle: Eigene Darstellung*



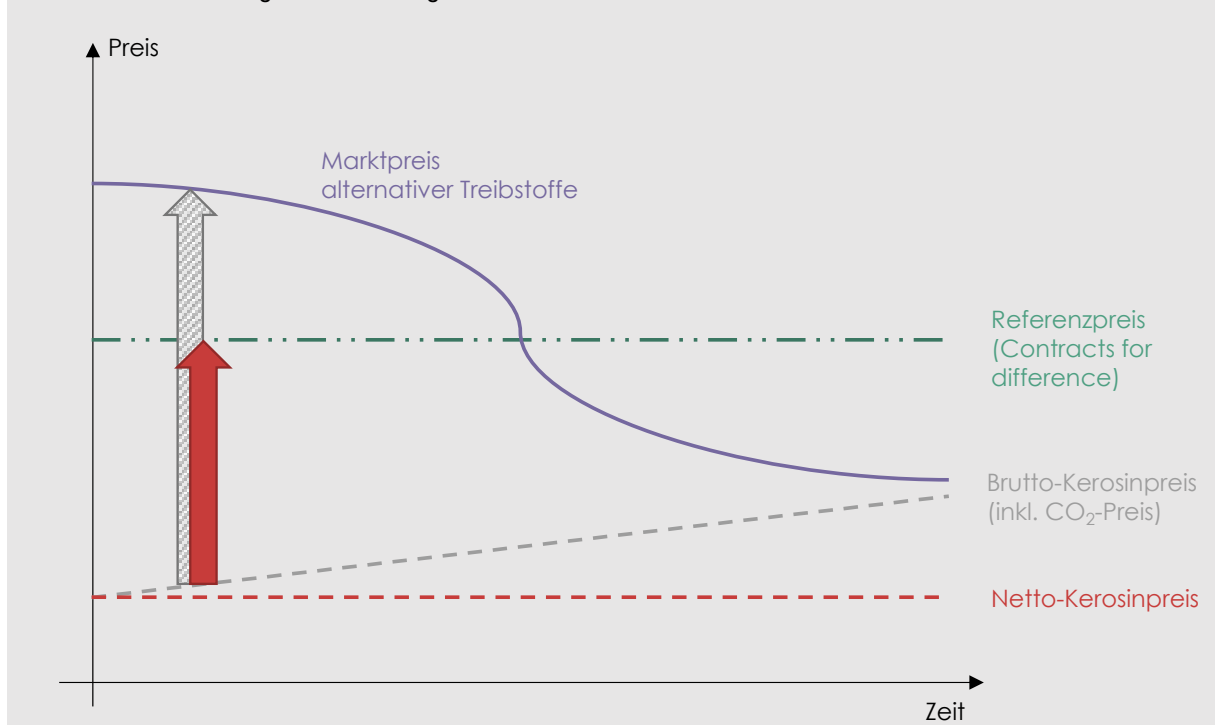
#### 5.4.2.2. Konzeptionelle Ausgewogenheit des Modells durch partnerschaftliche Einschätzung des Transformationsprozesses

Im Rahmen der Bestimmung der Swap-Bedingungen ist für die Laufzeit wie oben beschrieben ein Referenzpreis zu bestimmen. Dieser beruht auf der gemeinsamen Einschätzung der Swap-Parteien, wie sich auf Grund des zu erwartenden technologischen Fortschritts bzw. des Ausbaus der bislang bestehenden Kapazitäten der Preis für nichtfossile Treibstoffe über die Zeit entwickeln wird.

Bei der Festlegung des Referenzpreises gibt es einen Trade-off zwischen Höhe des Preises und Laufzeit des Swaps: Da die Belastungen von Staat und Luftverkehr zumindest im Erwartungswert über die Laufzeit ausgeglichen sein müssen, verlängert sich die Laufzeit des Swaps, je niedriger der Referenzpreis gewählt wird. Mit der Festlegung des Referenzpreises wird die Luftverkehrsindustrie unabhängig von jedweder Marktpreisentwicklung für nichtfossile Treibstoffe und erlangt so Planungssicherheit. Eine besondere Herausforderung des Referenzpreises für die Luftfahrtindustrie liegt allerdings in dem Umstand, dass dieser immer noch über dem Bruttomarktpreis für fossiles Kerosin angesiedelt sein wird. Der Swap deckt diesen Finanzierungs-Spread nicht ab. Da aufgrund der Nachfrageelastizitäten mit einem Rückgang der Passagierzahlen und des Frachtverkehrs bei zugrunde legen des Referenzpreises zu rechnen ist, muss hierfür über ein Instrumentarium nachgedacht werden, um die elastizitätsbedingten Rückgänge so gering wie möglich werden zu lassen. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass diese Nachfragerückgänge aber aufgrund der

Nachfrageelastizität, wie in der vorstehenden Analyse dargelegt, erheblich niedriger sind, als wenn die Luftverkehrsindustrie den gegenwärtigen Marktpreis der nichtfossilen Treibstoffe finanzieren müsste.

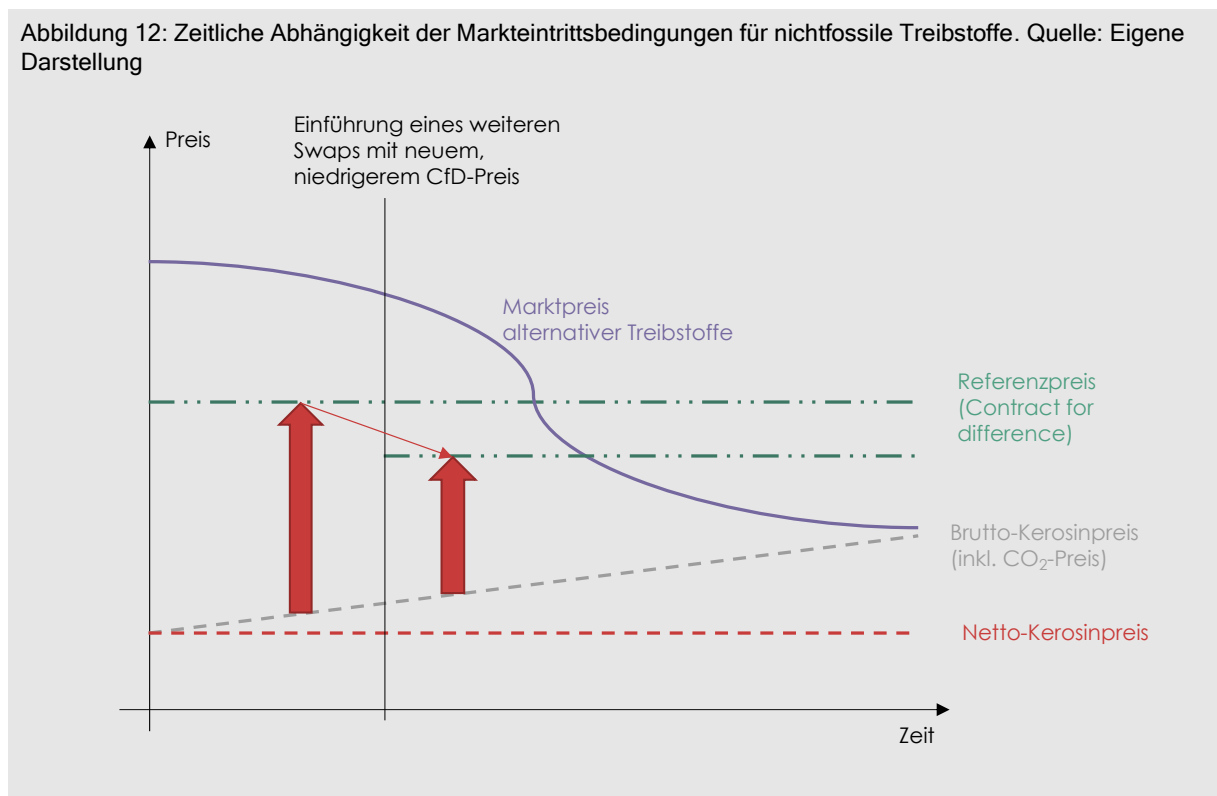
Abbildung 11: Vergleich der Preisunterschiede zwischen realem Marktpreis und Referenzpreis für nichtfossile Treibstoffe. Quelle: Eigene Darstellung



Die Glättung des Preisniveaus durch einen Swap verschafft aber auch dem Staat Zeit: Der Weg zur Klimaneutralität wird marktverträglicher und lässt zusätzliche, zu einem späteren Zeitpunkt notwendige CO<sub>2</sub>-Reduzierungsvorgaben eher zu, weil infolge technischer Entwicklungen von den bereits eingetretenen Preissenkungen profitiert werden kann. Hierbei ist aber unbedingt zu beachten, dass die Kosten des Swaps umso höher werden, je näher die Einführung des Fonds-Modells an den Zeitpunkt der gesetzlich vorgegebenen Klimaneutralität (derzeit im Jahr 2045) heranrückt.

Die folgende Abbildung verdeutlicht diese Effekte: Die Parteien des Initial-Swaps können bei späteren CO<sub>2</sub> Reduzierungsvorgaben (d.h. einer Erhöhung der Nachfragemenge nichtfossiler Treibstoff) oder einer Ausdehnung der Basis des Initial-Swaps (soweit dieser nur für eine bestimmte Menge gewährt wurde) einen neuen, weiteren Swap vereinbaren, dessen Bedingungen aber bereits von günstigeren Preisen nichtfossiler Treibstoffe profitieren, in dem der Referenzpreis abgesenkt wird, da sich zum Einführungszeitpunkt die Marktpreise für nichtfossilen Treibstoff und der Bruttomarktpreis für fossiles Kerosin angenähert haben. Insgesamt kann diese Möglichkeit des zeitlich versetzten Auflegens mehrerer Swaps insgesamt zu einer Senkung des effektiven Finanzierungsbedarfs beitragen.

Abbildung 12: Zeitliche Abhängigkeit der Markteintrittsbedingungen für nichtfossile Treibstoffe. Quelle: Eigene Darstellung



Aufbauend auf dieser Überlegung lassen sich über das Fonds-Modell verschiedene Ziele erreichen:

#### **Politische Gestaltungsfreiheit durch die Möglichkeit einer Volumenbeschränkung des Swaps**

Der Swap ist lediglich preisorientiert (pro Tonne Treibstoff) und insoweit erst einmal mengenunabhängig. Typischerweise wird er aber mit einer Menge verknüpft (einer Basis). Hierdurch steht dem Staat eine weitere Stellschraube zur Verfügung, das Verhalten der Luftverkehrsindustrie sowie die Nachfrageseite insgesamt zu beeinflussen.

#### **Glättung des Preisniveaus durch einen Swap ermöglicht der Luftverkehrsindustrie über das politisch vorgegebene CO<sub>2</sub>-Reduzierungsziel hinauszugehen**

Da in der Anfangsphase der Referenzpreis unter den tatsächlichen Kosten für nichtfossile Treibstoffe liegt und deshalb der Staat in den Swap zahlt, wird der Luftverkehrsindustrie bei Bestehen ausreichender Mittel ein Potential verschafft, sich selbst zu höheren CO<sub>2</sub>-Reduzierungen zu verpflichten.

#### **Politisch gerechtfertigte Risikolastenverteilung**

Die politisch gewollte CO<sub>2</sub>-Neutralität sowie das Tempo ihrer Umsetzung als Eingriffe in den Markt rechtfertigen es, dass der Staat die Risiken der zeitlichen Geschwindigkeit des technischen Transformationsprozesses und die damit einhergehenden Preisrisiken trägt. Um die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Risiken zu verkleinern, sieht das Gesamtkonzept auch die Förderung von Innovation durch einen Teilfonds 3 (Innovationsfonds) vor (vgl. Abschnitt 5.6). Lassen sich jedoch die prognostizierten Preissenkungen sowie der Aufbau von Kapazitäten nichtfossiler Treibstoffe nicht in den vorgesehenen Zeitfenster verwirklichen, verschiebt sich zwangsläufig der Zeitpunkt, zu dem die Luftverkehr Zahler in den Swap wird.

Umgekehrt würde der Staat von einer schnelleren Kostendegression innerhalb der Laufzeit des Swaps profitieren. Eine Kostendegression mag dabei auch durch eine Steuerung der nachzufragenden Menge an nichtfossilen Treibstoffen ausgelöst werden, die zu einer höheren Profitabilität der eingesetzten Techniken führt.

### **Möglichkeit für den Staat, das Tempo hin zur CO<sub>2</sub>-Neutralität bestimmen zu können**

Zeichnen sich erste technologische Fortschritte ab, die sich positiv auf die Preisentwicklung auswirken, ist der Staat frei, das Tempo hin zur CO<sub>2</sub>-Neutralität zu erhöhen, weil

- ein Swap konzeptionell ausgeglichen und somit letztlich haushaltsneutral ist und
- die Luftverkehrsindustrie von einem gesunkenen Referenz-Preis und damit einem niedrigeren Eigenfinanzierungsbedarf profitiert.

#### **5.4.2.3. Höhe des Referenzpreises und Fondsvolumen**

Das Volumen des Fonds, der als Swap-Partei auftritt, hängt im Wesentlichen von folgenden zwei Faktoren ab:

- Die Höhe des Referenzpreises
- Das Mengenvolumen der Swaps

Die Höhe des Referenzpreises wird von zum einen von der Dauer des Swaps bestimmt, zum anderen von der angenommenen technologischen Entwicklung. Hierbei gilt, dass der Referenzpreis um so niedriger angesetzt werden kann, je länger die Laufzeit des Swaps festgelegt wird. Grund hierfür sind die aufgrund der technologischen Entwicklung im Zeitverlauf sinkenden Preise nichtfossiler Treibstoffe (insbesondere PtL) und die Tatsache, dass die Zahlungen beider Vertragsparteien eines Swaps (im Erwartungswert) über die Laufzeit ausgeglichen sein müssen, um einen Konflikt mit dem Beihilferecht zu verhindern. Bei der technologischen Entwicklung gilt aus dem gleichen Grund, dass der Referenzpreis umso niedriger angesetzt werden kann, je optimistischer die Annahmen der Vertragsparteien über die zukünftige Entwicklung des PtL-Preises bei Vertragsabschluss sind.

Das Volumen der Swaps hängt neben der Höhe der zur Verfügung stehenden Mittel vor allem vom Interesse der Luftverkehrsindustrie an der Integration nichtfossiler Treibstoffe ab. Kurzfristig ist hier von einer relativ zum aktuellen Gesamtkerosinverbrauch geringen Nachfrage auszugehen. Mittelfristig wird diese Nachfrage voraussichtlich steigen, um die politischen Vorgaben (z.B. Mindestquoten nichtfossiler Treibstoffe) auf dem Pfad in Richtung CO<sub>2</sub>- Neutralität zu erfüllen. Dieser steigenden Nachfrage kann durch den wiederholten Abschluss zusätzlicher Swaps im Zeitverlauf Rechnung getragen werden. Später abgeschlossene Swaps profitieren dann von einem aufgrund der fortgeschrittenen technologischen Entwicklungen niedrigerem Referenzpreis.

#### **5.4.2.4. Überlegungen zum Swap-Volumen basierend auf PtL als Ersatz für fossiles Kerosin**

Die Mechanik und die damit verbundenen Kostenbereiche des Swaps soll beispielhaft für PtL verdeutlicht werden. Zunächst wird das Anfangsvolumen des Fonds für das Jahr 2030 für den Fall abgeschätzt, dass - zusätzlich zur Erreichung der Ziele der deutschen PtL-Roadmap - ein Volumen von weiteren 200.000 Tonnen PtL über den Swap gefördert werden<sup>48</sup>. In einem zweiten Schritt wird ein Fondsvolumen für 2035 angegeben, das auf dem Pfad zur Erreichung der angenommenen PtL-Quote von knapp 76% für einen dekarbonisierten Flugverkehr im Jahr 2050 liegt (vgl. Kapitel 4.2). Hierbei handelt es sich - ausgehend von den deutschen Treibstoffvolumina im Jahr 2019 - um zusätzlich etwa 18% bzw. knapp 1,8 Mio. Tonnen PtL Kerosin im Jahr 2035<sup>49</sup>.

Das Fondsvolumen hängt grundsätzlich von der Höhe des Referenzpreises ab, das zum einen durch die Laufzeit des Swaps beeinflusst wird, zum anderen durch die angenommene Preisentwicklung. Bei einer Laufzeit des Swaps von 10 Jahren und der in Tabelle 2 im Baseline- Szenario angenommenen Entwicklung des PtL-Preises könnte bei einem über die Jahre gleichmäßigen Rückgang der PtL-

<sup>48</sup> Die deutsche PtL-Roadmap beinhaltet bereits Förderinstrumente für die Erreichung des Ziels von 200.000 Tonnen PtL. Die Angaben zum Fondsvolumen sind daher für eine zusätzliche Menge von weiteren 2% (insgesamt 400.000 Tonnen PtL) im Jahr 2030 zu verstehen.

<sup>49</sup> Zu den 18% gelangt das Szenario, indem die Differenz des PtL-Anteils in 2050 (76%) um den Anteil in 2030 (4%, davon 2% durch Fonds und 2% durch Roadmap) reduziert wird und dann aus der Differenz (72%) 4 Blöcke a 5 Jahre gebildet werden (18%).

Preise ein Referenzpreis von etwa 2.560 Euro/Tonne PtL angesetzt werden. Bei einer optimistischeren Annahme hinsichtlich der zu erwartenden Preisrückgänge (Szenario „Niedriger SAF-Preis“) könnte der Referenzpreis auf 2.410 Euro sinken. Würde die Laufzeit des Swaps auf 15 Jahre gestreckt, läge der Preis bei nur noch 2.400 bzw. 2.160 Euro.

Das Volumen des Fonds läge damit bei einem einmaligen Abschluss eines Swaps in Höhe von 200.000 Tonnen PtL im ersten Jahr zwischen 67 Mio. (10 Jahre Swap) und 147 Mio. Euro (15 Jahre Swap).

Sofern sich die Preise wie prognostiziert entwickeln, würden sich Ausgaben und Einnahmen des Fonds über die Laufzeit ausgleichen. Das maximale Risiko des Fonds ergäbe sich im hypothetischen Fall, dass über die Laufzeit des Swaps keinerlei Preisrückgänge bei PtL realisiert werden könnten. In diesem Fall würde der Staat keinerlei Zahlung unter dem Swap beziehen. Der Maximalbetrag des Fonds in diesem (unrealistischen) Fall betrüge somit bei einem einmaligen Abschluss über 200.000 Tonnen bei einer Laufzeit von 10 Jahren im Baseline-Szenario etwa 670 Mio. Euro. In der Praxis ist allein aufgrund sinkender Kosten für die Produktion erneuerbarer Energien sowie Skaleneffekten bei Produktionsanlagen von nichtfossilen Treibstoffen von deutlichen Preisrückgängen im Zeitverlauf zu rechnen. Berücksichtigt man außerdem, dass zu späteren Zeitpunkten Swaps unter Konditionen abgeschlossen werden können, die den effektiven Finanzierungsbedarf aufgrund sinkender Marktpreise senken, sollte der Maximalbetrag des Fonds letztlich niedriger liegen als bei einem einmaligen Abschluss einer hohen Menge an PtL.

Um die Quote von 22% PtL im Jahr 2035 zu erreichen, müssten zusätzlich zu den durch die PtL Roadmap und durch den Swap aus dem Jahr 2030 abgedeckten 400.000 Tonnen PtL weitere 1,8 Mio. Tonnen abgedeckt werden. Wie beschrieben würde der Swap aus dem Jahr 2035 bereits von der erreichten Kostendegression bei PtL profitieren. Für die 1,4 Mio. Tonnen müsste der Fonds (je nach Laufzeit und Kostenpfad) ein zusätzliches Anfangsvolumen zwischen 200 Mio. und 675 Mio. Euro umfassen. Zusammen mit den verbleibenden Volumina aus dem ersten Swap im Jahr 2030 lägen das Gesamtvolumen des Fonds im Jahr 2035 bei Eintreten der prognostizierten Kostendegression zwischen 200 Mio. und 724 Mio. Euro.

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über das erwartete Fondsvolumen der zwei beschriebenen PtL Swaps im Gesamtumfang von 2 Mio. Tonnen als Summe der beiden einzelnen Swaps im Zeitverlauf.

Tabelle 5: Erwartetes Fondsvolumen bei Abschluss von zwei Swaps im Jahr 2030 (200.000 Tonnen PtL) und 2035 (1,8 Mio. Tonnen PtL) (in Mio. Euro) im Zeitverlauf. Positive Beträge bedeuten eine Einzahlung aus Sicht des Staates, negative Werte eine erwartete Rückzahlung seitens der Luftfahrtindustrie. *Quelle: Eigene Berechnungen.*

Szenario	Laufzeit des Swaps (in Jahren)	2030	2035	2040	2045	2050	Ab 2051
Baseline	10	67	201	-67	-201	-	-
Baseline	15	101	334	67	-201	-301	-
Niedriger PtL-Preis	10	98	528	-98	-528	-	-
Niedriger PtL-Preis	15	147	724	176	-372	-675	-

## 5.5. Grundlegende Konzeption einer Transformation von fossilen zu nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr

Der grundlegende Ansatz des Transformationsmodells basiert wie oben dargelegt auf der Überlegung, über einen Swap die Umstellungskosten in den ersten Jahren zu reduzieren und im Gegenzug mit den Kosten in den späteren Transformationsjahren zu kompensieren und sie somit über eine Laufzeit zu strecken. Diese Transformation von Gegenwarts- in die Zukunft ist ein aus der Finanzwirtschaft bekanntes Verfahren, das vielfach Anwendung findet. Hierfür werden im Folgenden der rechtliche Rahmen und die Modellkonzeption vorgestellt.

### 5.5.1. Rechtlicher Rahmen

Ziel des Swaps ist ein Fondsmodell, das unterschiedliche Akteure in die Transformationsfinanzierung einbezieht. Dies ist zentral, da der Staat oder einzelne Airlines den Transformationsprozess alleine nicht bewerkstelligen können. Dies macht es notwendig ein Transformationsmodell zu entwickeln, das institutionelle Investoren an der Finanzierung beteiligt. Dies wird nur gelingen, wenn für diese grundsätzlich auch eine Ertragsperspektive gegeben ist. Wir erachten es daher als zielführend, dass die rechtliche Struktur durch folgende Elemente gekennzeichnet ist:

Tabelle 6: Grundstruktur der Transformationsfonds. *Quelle: Eigene Darstellung*

Element	Ausgestaltung
Struktur	Umbrella-Fonds mit drei Teilfonds
Regulatorische Ausgestaltung	Geschlossener Spezial-AIF § 285ff. KAGB
Investoren	Semi-professionelle Anleger
Asset Manager	Regulierte Kapitalverwaltungsgesellschaft
Rechtsform	Kommanditgesellschaft
Steuern	Transparente Besteuerung

### 5.5.2. Finanzierungsstruktur

Die Finanzierung sollte über drei Teilfonds erfolgen, die konzeptionell aufeinander abgestimmt sind, aber unter Risiko- und Interessensgesichtspunkten von jeweils unterschiedlichen Investoren gehalten werden (Abbildung 13).

Die Finanzierung des Transformationsprozesses erfolgt über die Teilfonds 1 (Staat) und 2 (Luftverkehrsindustrie) und basiert auf einer Kombination aus Swaps und Darlehen<sup>50</sup> (vgl. Abschnitt 5.6.2), mit der

- sich der Staat und die Marktteilnehmer Zeit erkaufen, um eine Marktverträglichkeit der Umsetzungskosten zu erreichen, und
- der Staat bei entsprechenden Entwicklungen durch weitere politische Vorgaben das Tempo zur Erreichung der Klimaneutralität erhöhen kann.

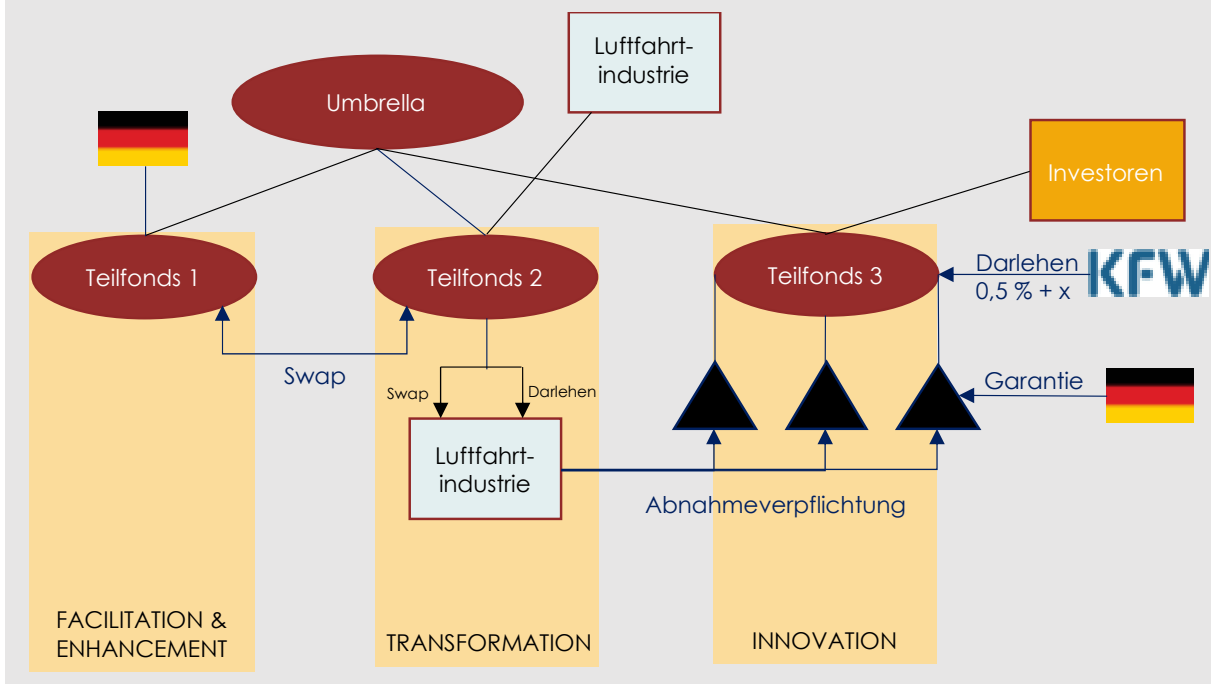
<sup>50</sup> Hierbei deckt der Swap die Differenz zwischen dem Marktpreis für nichtfossilen Treibstoff und dem Bruttomarktpreis für fossiles Kerosin ab. Das Darlehen zielt auf die Differenz zwischen dem Bruttomarktpreis für Kerosin und dem Referenzpreis bzw., wenn der Marktpreis für nichtfossilen Treibstoff unter dem Referenzpreis liegt auf diese Differenz.



Eine solche Kombination ermöglicht zum einen Haushaltsneutralität und zum anderen langfristige Planungssicherheit für die Luftverkehrsindustrie.

Der Teilfonds 3 (Investoren) übernimmt vergleichbar einem Venture Capital Fonds (wie z.B. der High-Tech Gründerfonds) die Finanzierung neuer Unternehmen und Technologien zur Entwicklung und Produktion nichtfossiler Treibstoffe. Er sorgt für den notwendigen Innovationsschub der Preissenkungen und sichert damit das Risiko des Staats fehlender Haushaltsneutralität unter dem Swap ab.

Abbildung 13: Übersicht Fondstruktur. *Quelle: Eigene Darstellung*



## 5.6. Beschreibung des Fondsmodells im Einzelnen

Für die Aufstellung des Modells sind die rechtlichen und finanzwirtschaftlichen Parameter darzulegen.

### 5.6.1. Rechtliche Struktur des Fonds

Die rechtliche Struktur des Fonds definiert die Aufstellung der Fonds hinsichtlich deren Managements wie auch hinsichtlich deren Finanzierungsaufgaben und Kapitalbeschaffung. Konzeptionell empfiehlt sich:

- einerseits eine konzentrierte Steuerung des Gesamtprozesses aus (i) Finanzierung, (ii) Transformation zur CO<sub>2</sub>-Neutralität und (iii) notwendiger technologischer Entwicklung, um zu einem späteren Zeitpunkt die Preisbildung wieder den Marktkräften überlassen zu können,
- andererseits eine Trennung der einzelnen Elemente, und zwar aus Transparenz und Governance-Gesichtspunkten, aber auch um unterschiedliche Finanzierungspartner einbeziehen zu können.

Hierzu eignet sich u.a. unter Effizienzgesichtspunkten an Stelle mehrerer einzelner Fonds in jeweils eigenständigen Rechtsvehikeln eine sog. **Umbrella-Fondsstruktur** (iSv. § 132 KAGB), bei der in einer rechtlichen Hülle mehrere Teilfonds errichtet werden können, die vermögensrechtlich aber getrennt

voneinander sind, d.h. es findet weder in Bezug auf die Vermögensgegenstände noch die Investoren der jeweiligen Teilfonds eine Vermischung statt.

Zur Vermeidung des Vorhaltens von Liquiditätsreserven empfiehlt sich die Ausgestaltung als sog. **geschlossener Fonds** (§ 1 Abs. 5 KAGB), d.h. die Investoren können die Rücknahme der Anteile nicht verlangen.

Um eine größtmögliche Flexibilität bei den Vermögensgegenständen zu haben, insbesondere die Vergabe von Darlehen und das Eingehen von Swaps, empfiehlt sich die Ausgestaltung als **Spezial-AIF** gem. §§ 285 ff. KAGB. Dies hat zwar zur Folge, dass keine Privat-, sondern nur semi- /professionelle Anleger (§ 1 Abs. 19 Nr. 32 und 33 KAGB) Anteile erwerben können, angesichts des avisierten Investorenkreises sollte dies aber keine Probleme auslösen.

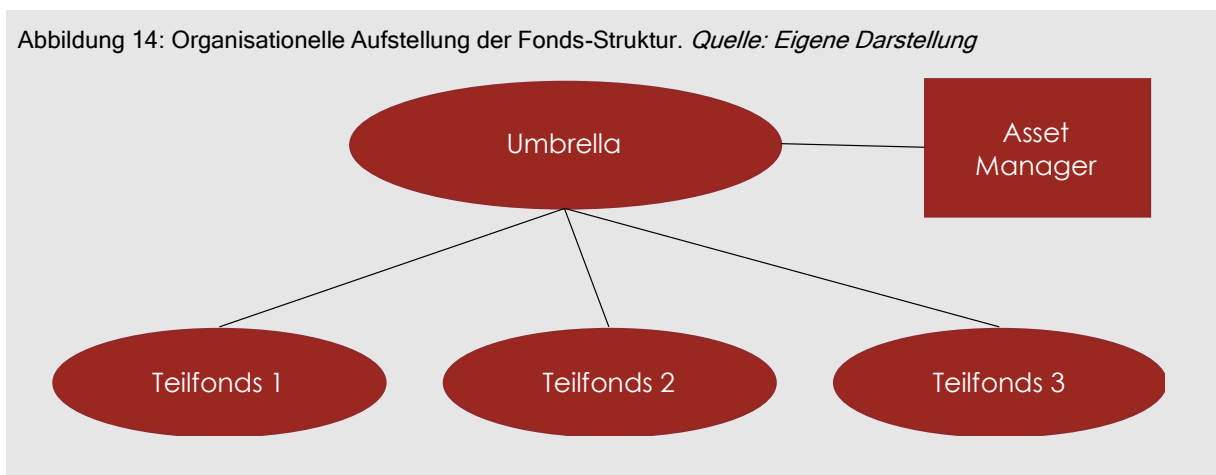
Die Teilfonds sind durch einen regulierten (externen) Verwalter, eine Kapitalverwaltungsgesellschaft gem. § 17 KAGB, zu verwalten, wobei der Verwalter das sog. Portfolio- und das Risikomanagement übernimmt; eine der Managementfunktionen kann an Dritte ausgelagert werden (§ 36 KAGB).

Aus gestalterischen und steuerlichen Erwägungen heraus empfiehlt sich ein Investmentvermögen in der Rechtsform einer **Kommanditgesellschaft**, wobei unter haftungsrechtlichen Gesichtspunkten der Komplementär eine GmbH ist.

Die ebenso in Betracht kommenden Rechtsformen des Sondervermögens oder der Aktiengesellschaft dürften wegen der Anwendbarkeit des Investmentsteuergesetzes und der dadurch ggf. bedingten steuerlichen Vorbelastung von Erträgen ausscheiden.

Graphisch lässt sich die Struktur wie folgt darstellen:

Abbildung 14: Organisationelle Aufstellung der Fonds-Struktur. *Quelle: Eigene Darstellung*



## 5.6.2. Finanzierungselemente des Transformationsprozesses: Swap und Darlehen

Das Finanzierungskonzept im Rahmen des Contract dor Difference ist durch ein Zusammenspiel in Form von Darlehn und Swaps gekennzeichnet.

### 5.6.2.1. Ausgestaltung des Swaps

Es wird ein langlaufender Swap über die gesamte Transformationsphase (z.B. bis 2045) abgeschlossen, der das Mengenkontingent nichtfossiler Treibstoffe abdeckt, mit dem die Luftverkehrsindustrie eine bestimmte CO<sub>2</sub>-Reduzierung erreichen will.

Unter dem Swap verpflichtet sich:

- der „Staat“ den Marktpreis für nichtfossile Treibstoff zu zahlen („Floating Payment“),

- die Luftverkehrsindustrie einen festgelegten, adäquaten Referenzpreis („Fix Payment“) zu zahlen.

Dies führt dazu, dass in den ersten Jahren der „Staat“ eine Zahlungsverpflichtung zur Kompensation der Differenz zwischen dem Marktpreis für nichtfossilen Treibstoff und dem Referenzpreis eingeht und ab einem bestimmten Zeitpunkt von der Luftverkehrsindustrie eine Rückzahlung in Höhe der Differenz zwischen dem dann niedrigeren Marktpreis für nichtfossile Treibstoffe und dem Referenzpreis erhalten sollte. Idealtypisch sollten sich über die Laufzeit die beiden Differenzzahlungen in Summe ausgleichen, was entscheidend von der Festlegung des Referenzpreises abhängt; allerdings trägt jede Partei des Swaps das Risiko, dass am Laufzeitende eine Zahllast verbleibt, was entscheidend von der tatsächlichen Entwicklung der Marktpreise für nichtfossile Treibstoffe abhängt.

Die Entscheidung über den Referenzpreis haben die Swap-Parteien in der Hand, indem sie sich auf bestimmte Annahmen und Entwicklungen einigen. Demgegenüber können sie die Marktentwicklungen nicht beeinflussen. Da die Luftverkehrsindustrie den Referenzpreis leistet, erhält sie aber Planungssicherheit und wird unabhängig von der Preisentwicklung.

In den Swap könnten bereits Anpassungsmechanismen aufgenommen werden, beispielsweise, wenn staatliche Eingriffe in die Wirtschaftlichkeitsrechnung durch Verkürzung der Laufzeit oder der Grundlagen für die damalige Bestimmung des Referenzpreises etwa durch höhere Abgaben oder Steuern erfolgen. Hierdurch wäre gewährleistet, dass der Staat grundsätzlich nicht in seiner politischen Gestaltungsfreiheit beschränkt ist, aber zugleich die wirtschaftlichen Folgen zu tragen hätte, die als Entschädigungen für enteignungsgleiche Eingriffe dann auch keine Beihilfe darstellen würden.

Das Swap--Modell bietet grundsätzlich die Chance, den Transformationsprozess aus Mitteln des Staates und privater Investoren zu finanzieren. Sowohl im Falle des Swap-Geschäftes als auch bei der Darlehensfinanzierung könnten prinzipiell Private die jeweilige Rolle als Swap-Partner oder Darlehensgeber einnehmen. Auf Grund der risikoorientierten Renditevorstellungen ist eine rein privatwirtschaftliche Lösung allerdings kaum realisierbar, da:

- die für die Luftverkehrsindustrie mit der Transformation verbundenen Risiken nicht granular sind, so dass die Investoren erhebliche Klumpenrisiken tragen müssten, die zu einer erheblichen Verteuerung der Finanzierung führen würde;
- die zu erwartenden Investmentvolumina erheblich sind, so dass entweder eine sehr große Zahl von Investoren gefunden oder wenige sehr hohe Investitionen tätigen müssten, so dass es letztlich keinen Investorenmarkt geben dürfte;
- die Risiken aus dem Swap nur bedingt eingeschätzt werden können und deshalb mit hohen Risikoaufschlägen zu rechnen wäre.

### 5.6.2.2. Ausgestaltung des Darlehens

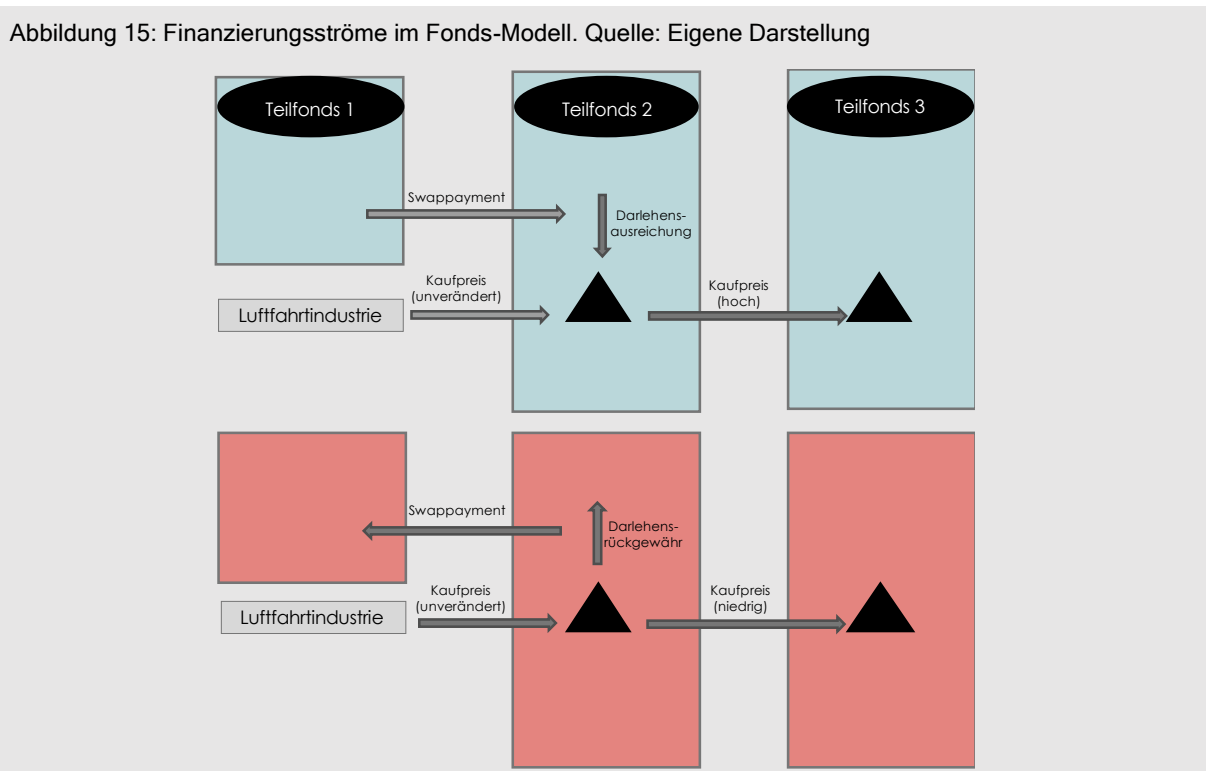
Das skizzierte Swap Geschäft macht aus Sicht der Luftfahrtindustrie die Kosten für den Transformationsprozess kalkulierbar.

Der Swap deckt nur die Differenz zwischen dem Marktpreis nichtfossiler Treibstoffe und dem Referenzpreis ab. Der Referenzpreis liegt allerdings oberhalb des jeweiligen Bruttomarktpreises für fossile Brennstoffe, so dass diese Differenz ebenfalls finanziert werden muss. Dies kann grundsätzlich über eine Umlage der zusätzlichen Kosten auf die Flugpreise geschehen, dies würde allerdings mit einem entsprechenden Rückgang der Nachfrage einhergehen. Nichtfossile kann die Differenz über ein Darlehen finanziert werden. Dies ist sinnvoll, wenn die Erwartung besteht, dass Preiserhöhungen im Markt zukünftig leichter durchsetzbar sind, z.B. aufgrund deutlich steigender Brutto-Kerosinkosten durch eine zunehmende CO<sub>2</sub>-Bepreisung<sup>51</sup>. Die Höhe des Darlehens hängt somit von zwei

<sup>51</sup> Eine Darlehensfinanzierung über den Fonds könnte sich bilanzpolitisch als vorteilhafter erweisen, soweit diese Finanzierung nicht in den Bilanzen der Luftverkehrsindustrie als solche gezeigt werden muss oder der Aufwand zu späteren Zeitpunkten erst gezeigt werden muss

Stellschrauben ab, die der Staat steuern bzw. beeinflussen kann, dem Referenzpreis und dem Brutto-Marktpreis fossilen Kerosins.

Graphisch lässt sich die konzeptionelle Grundüberlegung des Zusammenspiels von Swap, Darlehen und dem Innovationsfonds wie folgt darstellen.



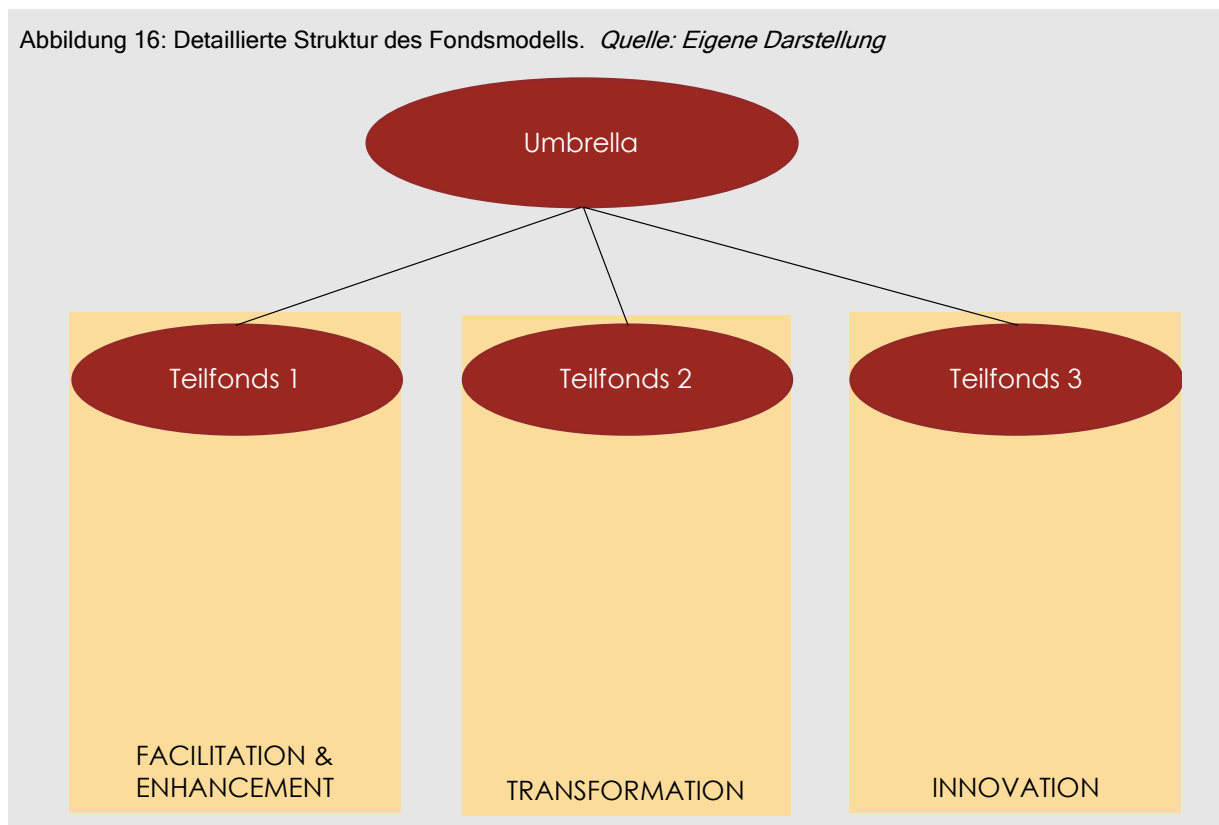
In dem dargelegten Modell werden die Zahlungsströme jeweilig für die beiden unterschiedlichen Zahlungsanlässe getrennt. Hierbei ist immer zu beachten, dass sich die Luftverkehrsindustrie auch entscheiden kann, die Differenz zwischen dem Bruttomarktpreis für fossiles Kerosin und den Referenzpreis durch Ticketpreiserhöhungen und dadurch induzierte Rückgänge bei den Passagierzahlen zu finanzieren. Würde die Luftverkehrsindustrie diesen Ansatz wählen, läge das Darlehensvolumen bei 0€ und Elemente von Teilfonds 2 könnten entfallen.

## 5.7. Zusammenfassung der Ausgestaltung des Drei-Säulen Modells

Die bisherigen Ausführungen zum Fonds-Modell lassen sich wie folgt zusammenfassen. Der Prozess zur CO<sub>2</sub>-Klimaneutralität basiert auf drei Elementen:

- der Ermöglichung des Transformationsprozesses durch temporär gewährte finanzielle Mittel („Facilitation“),
- der Transformation selbst („Transformation“) und
- dem Ausbau und der Ermöglichung neuer nichtfossiler Treibstoffe („Innovation“).

Jeder der Teilfonds soll eines dieser Elemente abbilden. Graphisch lässt sich die Struktur wie folgt darstellen:

Abbildung 16: Detaillierte Struktur des Fondsmodells. *Quelle: Eigene Darstellung*

Die einzelnen Fonds werden gemäß folgender Überlegung konzipiert:

### 1. Facilitation/Teilfonds 1

#### a. Ziel des Fonds

Ziel des Fonds ist, mittels eines im Swap festgelegten Referenzpreises eine Abfederung der derzeitigen hohen Anlaufkosten durch eine gleichmäßige Verteilung der Gesamtkosten zu erreichen und Preisrisiken infolge unzureichender der technischen Entwicklung nichtfossiler Treibstoffe zu tragen.

#### b. Fundraising

Investor in den Teilfonds 1 wird der Staat sein (z.B. über einen Energie- und Klimafonds). Grundsätzlich können in diesen Teilfonds 1 auch Dritte wie z.B. Stiftungen investieren. Da der Teilfonds 1 aber das Risiko der prognostizierten technologischen Entwicklungen und dadurch bedingten Preissenkungen sowie das Ausfallrisiko der Luftverkehrsindustrie übernimmt, dürfte dies jedoch für nichtstaatliche Finanzierer eher uninteressant sein.

Der Teilfonds 1 ist regulatorisch berechtigt, selbst Darlehen aufnehmen und könnte so zumindest in begrenztem Umfang Einlagen von Dritten einwerben, da dadurch eine Hebelwirkung erzielt wird, was insbesondere für Stiftungen interessant sein kann; weitergehend zu prüfen wäre, ob eine solche Kreditaufnahme sich auf die Verschuldung des Staates auswirkt, weil dieser Kredit aus dem Teilfonds 1 und nicht dem Haushalt unmittelbar bedient wird.

#### c. Mittelverwendung

Der Teilfonds wird in einen Swap investieren. Regulatorisch betrachtet ist ein Swap, dessen Verkehrswert ermittelbar ist, ein tauglicher Vermögensgegenstand iSd § 285 Abs. 1 KAGB.

- d. Laufendes Ergebnis/Cashflow  
Der Teilfonds 1 zahlt laufend bis zum Zeitpunkt des Erreichens des festgelegten Referenzpreises den Differenzbetrag zum Marktpreis an die Luftverkehrsindustrie. Danach erhält er laufend Differenzbeträge vom Teilfonds 2.
- e. Laufzeitende  
Bei prognostiziertem Verlauf gleichen sich die Summe der gezahlten und erhaltenen Differenzzahlungen am Laufzeitende aus, so dass letztlich das eingezahlte Kapital zurückgezahlt werden kann. Lediglich dann, wenn die Realität von der Prognose abweicht, kann beim Staat als Investor in den Teilfonds 1 eine Zahllast verbleiben, weil das investierte Kapital nicht vollständig zurückgezahlt wird.

## 2. Transformation/Teilfonds 2

- a. Ziel des Fonds  
Ziel des Fonds ist es, Darlehen zur Verfügung zu stellen, um weiterhin bestehenden Finanzierungsbedarf zu decken. Des Weiteren dient er der Steuerung in Bezug auf die Kombination aus Swap und Darlehen und damit dem Transformationsprozess.
- b. Fundraising  
Investor in den Teilfonds 2 sollte vordringlich die Luftverkehrsindustrie sein. Es ist allerdings zu entscheiden, aus welchen Mitteln die Luftverkehrsindustrie diese Investition vornehmen kann. Denkbar wäre etwa, dass entweder Erlöse aus dem Verkauf von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten hierzu verwendet werden können oder der Staat als Beitrag zur politischen gewollten CO<sub>2</sub> Reduzierung eine Vergütung für eine Verlagerung des Transportes auf die Schiene zahlt.

Grundsätzlich können in diesen Teilfonds 2 auch Dritte<sup>52</sup> investieren. Der Teilfonds 2 ist aber regulatorisch auch berechtigt, selbst Darlehen aufzunehmen, und könnte so ebenfalls - allerdings nur in begrenztem Umfang Gelder - von Dritten einwerben. In beiden Fällen würden die Dritten gleichsam das Kreditrisiko der Luftverkehrsindustrie tragen und eine entsprechende Vergütung verlangen. Ob eine solche Eigen- oder Fremdkapitalfinanzierung, die konkret dem Transformationsprozess dient gegenüber einer allgemeinen Finanzierung auch als nachhaltig im Sinne der ESG-Taxonomie eingestuft werden kann, wäre weitergehend zu untersuchen.

- c. Mittelverwendung  
Der Teilfonds 2 wird zum einen in einen Swap investieren und zum anderen (so nicht die Option eines höheren Ticketpreises zur Schließung der Lücke zwischen Bruttomarktpreis für fossiles Kerosin und dem Referenz- bzw. Marktpreis für nichtfossilen Treibstoff gewählt wird) Darlehen an Unternehmen gewähren, an denen er sich vorher in Form eines **Joint Venture** mit dem jeweiligen Unternehmen der Luftverkehrsindustrie beteiligt hat.

Regulatorisch betrachtet ist ein Swap, dessen Verkehrswert ermittelbar ist, ein tauglicher Vermögensgegenstand iSd § 285 Abs. 1 KAGB.

Ebenso sind regulatorisch Beteiligungen taugliche Vermögensgegenstände iSd § 285 Abs. 1 KAGB, weil ihr Verkehrswert ermittelbar ist. Mit einer Beteiligung an einer nicht börsennotierten Gesellschaft sind jedoch bestimmte Mitteilungspflichten an die BaFin verbunden, insb. wenn eine kontrollierende Mehrheit erlangt wird (§§ 287 ff KAGB).

Schließlich ist regulatorisch die Gewährung von Darlehen gem. §§ 285 Abs. 3, 20 Abs. 9 KAGB an Unternehmen zulässig, soweit es sich um nachrangige Darlehen handelt und

<sup>52</sup> Prinzipiell könnten hier auch Passagiere CO<sub>2</sub> Kompensationszahlungen investieren. Ebenfalls investieren könnten hier auch Stiftungen und andere Klimafonds



diese an Tochtergesellschaften gewährt werden. In solchen Fällen können auch mehr als 50 % des aggregierten eingebrachten Kapitals und noch nicht eingeforderten zugesagten Kapitals in Form von Darlehen ausgereicht werden (§ 285 Abs. 3 S. 2 KAGB).

Die Gewährung von Darlehen an Joint Ventures, an denen der Teilfonds 2 mit mindestens 51 % und die die Luftverkehrsindustrie maximal zu 49 % beteiligt ist, eröffnet auf der Ebene der Luftverkehrsindustrie die Möglichkeit, bilanziell zum einen das Joint Venture nicht konsolidieren zu müssen und zum anderen die Darlehensfinanzierung nicht als solche auszuweisen.

d. Laufendes Ergebnis/Cashflow

Grundsätzlich erlangt der Teilfonds 2 aus dem ausgereichten Darlehen (laufend) eine Verzinsung. Daneben erhält er eine Zahlung aus dem Swap vom Teilfonds 1 und ist erst ab dem Zeitpunkt verpflichtet laufend einen Betrag an den Teilfonds 1 zu zahlen, in dem der Marktpreis nichtfossiler Treibstoffe unter dem festgelegten Fix-Preis liegt.

Das Joint Venture nutzt zum einen die Zahlungen aus dem Swap und dem Kredit, um zum (variablen) Marktpreis nichtfossile Treibstoffe zu kaufen; Verkäufer sind dabei die Unternehmen, die vom Teilfonds 3 gehalten werden. Zum anderen verkauft das Joint Venture seinerseits die nichtfossilen Treibstoffe dann an ein Unternehmen der Luftverkehrsindustrie zu einem vorher fixierten Preis, wodurch das Joint Venture in der Lage ist die späteren, etwaigen Zahlungen aus dem Swap an den Teilfonds 1 zu erbringen.

e. Laufzeitende

Der Swap ist auf Ebene des Teilfonds 2 als durchlaufender Posten stets neutral, so dass sich selbst nicht prognostizierte Preisentwicklungen nicht auswirken. Die Darlehen sind dagegen mit einer Verzinsung zurückzuführen, soweit das Joint Venture als Darlehensnehmer nicht ausfällt. Letztlich handelt es sich damit beim Teilfonds 2 um einen Kredit-/Darlehensfonds.

### 3. Innovation

a. Ziel des Fonds

Ziel des Fonds sind Equity- und Debt-Finanzierungen für Innovationen bei Unternehmen, die nichtfossile Treibstoffe herstellen, bzw. den Herstell- und Vertriebsprozess innovativ erneuern. Er dient auch der Absicherung der Risiken unter dem Swap, in dem die Kostendegression der nichtfossilen Treibstoffe unterstützt wird.

b. Fundraising

Investoren in den Teilfonds 3 sollten vordringlich Dritte, also Wirtschaftsakteure und Stiftungen sein, die in Geschäftsmodelle investieren wollen, die die ESG-Kriterien erfüllen und hierbei ein erhebliches Up-Side Potential versprechen.

c. Mittelverwendung

Der Teilfonds 3 wird zum einen in Eigenkapital von Unternehmen investieren und zum anderen Kredite an diese Unternehmen gewähren.

Regulatorisch sind Beteiligungen taugliche Vermögensgegenstände iSd § 285 Abs. 1 KAGB, weil ihr Verkehrswert ermittelbar ist. Mit einer Beteiligung an einer nicht börsennotierten Gesellschaft sind jedoch bestimmte Mitteilungspflichten an die BaFin verbunden, insb. wenn eine kontrollierende Mehrheit erlangt wird (§§ 287 ff KAGB).

Ebenso ist regulatorisch die Gewährung von Darlehen gem. §§ 285 Abs. 3, 20 Abs. 9 KAGB an Unternehmen zulässig, soweit es sich um nachrangige Darlehen handelt und diese an Tochtergesellschaften gewährt werden. In solchen Fällen können auch mehr als

50 % des aggregierten eingebrachten Kapitals und noch nicht eingeforderten zugesagten Kapitals in Form von Darlehen ausgereicht werden (§ 285 Abs. 3 S. 2 KAGB).

d. Laufendes Ergebnis/Cashflow

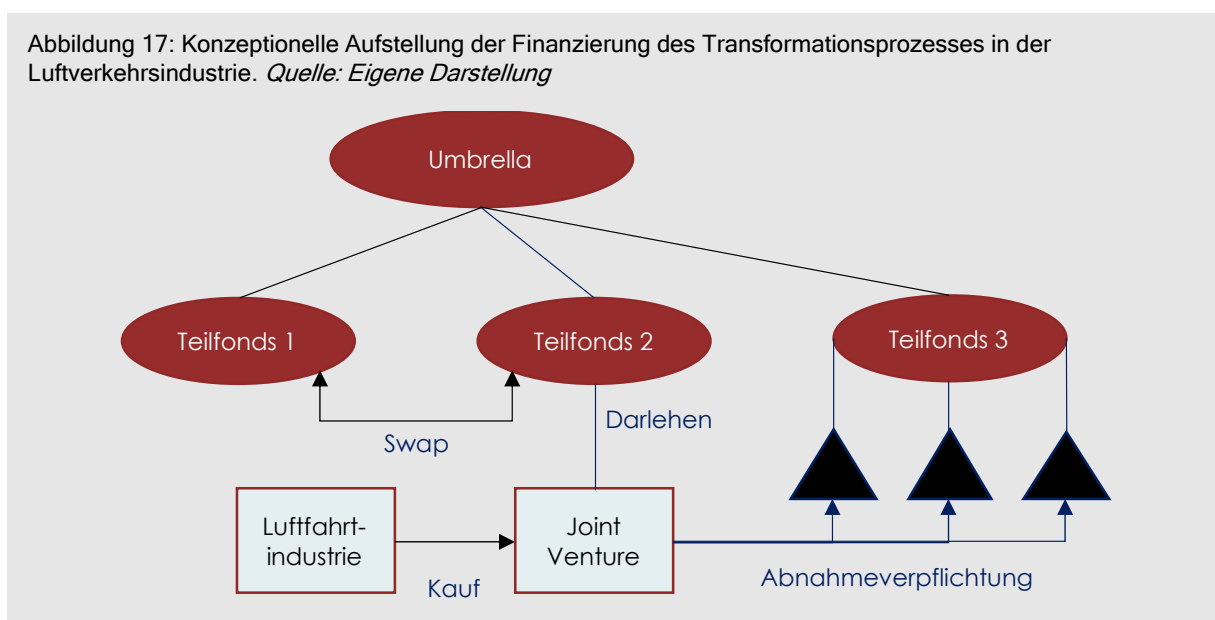
Aus den an den Unternehmen ausgereichten Darlehen erlangt der Teilfonds 3 laufend eine Verzinsung.

e. Laufzeitende

Am Laufzeitende sollte der Teilfonds 3 sein Kapital aus den ausgereichten Darlehen sowie aus der Wertsteigerung seiner Beteiligungen zurückerhalten. Zur Absicherung des Kapitals der Investoren finanziert die KfW die jeweiligen Unternehmen mit einem niedrigen laufenden Zinssatz sowie ggf. aus Marktadäquanzgesichtspunkten am Laufzeitende mit einer variablen Vergütung, gewährt der Staat dem Teilfonds für die jeweiligen Finanzierungen eine Ausfallgarantie und sorgt der aus der notwendigen CO<sub>2</sub>-Reduzierung geschaffene Nachfragemarkt für hinreichende Ertragsströme.

Die nachfolgende Abbildung verdeutlicht die Aufstellung der Finanzierung des Transformationsprozesses.

Abbildung 17: Konzeptionelle Aufstellung der Finanzierung des Transformationsprozesses in der Luftverkehrsindustrie. *Quelle: Eigene Darstellung*



## 6. Ordnungspolitische Bewertung des Transformationsprozesses

### 6.1. Grundüberlegungen zu staatlichen Eingriffen in den Luftverkehrssektor zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen - Existiert ein Interventionsbedarf?

Der Eingriff des Staates in Marktprozesse wird in Marktwirtschaften kritisch betrachtet. Diese kritische Perspektive, basiert auf der Überlegung in den volkswirtschaftlichen Theorien, dass der Staatseingriff die Faktorallokation (Arbeit, Boden, Kapital) negativ beeinflusst und so eine Abweichung zwischen einem gesamtwirtschaftlichen und einem einzelwirtschaftlichen Optimum auftreten (Fritsch, 2014). Vor diesem Hintergrund bedarf es anerkannter Unvollkommenheitsausprägungen auf den Marktprozess, um staatliche Eingriffe in den Markt zu legitimieren. Nur wenn signifikant belegt werden kann, dass Marktunvollkommenheiten das Marktgleichgewicht systematisch verzerren, ist eine staatliche Intervention zur Beseitigung eines Marktversagens legitimierbar.

In der ökonomischen Theorie werden folgende Ursachen für Marktversagen (Fritsch, 2014) identifiziert:

- die Existenz von Externalitäten (auch als externe Effekte bezeichnet),
- unvollkommene oder unter Marktakteuren asymmetrisch verteilte Informationen
- Netzwerkeffekte oder
- Marktmacht (z.B. aufgrund dominierender etablierter Akteure im Markt).

Der eigentliche Gegenstand der Studie resultiert aus dem im Klimaschutzgesetz verankerten Auftrag an die politischen Akteure **externe Effekte**, die mit dem Luftverkehr hinsichtlich der Treibhausgasemissionen einhergehen, zu internalisieren. Es wurde oben bereits gezeigt (vgl. Kapitel 3.1), dass sich die Treibhausgasemissionen mit dem Wachstum des Luftverkehrs signifikant erhöht haben, und eine Internalisierung äußerst dringlich ist, um die Pariser Klimaziele wie auch die Anforderungen aus dem deutschen Klimaschutzgesetz zu erfüllen. Mit der einsetzenden Internalisierung der externen Effekte im Luftverkehrsmarkt gehen aber Anpassungsanforderungen einher, die wiederum Gegenstand von Marktunvollkommenheiten darstellen. Diese Marktunvollkommenheiten sind:

- **Informationsasymmetrien:** In der Studie wird gezeigt, dass die Schaffung eines Marktes für nichtfossile Treibstoffe im Luftverkehr hohe Informationsasymmetrien zwischen Herstellern von SAF, Infrastrukturbereitstellern und Unternehmen des Flugbetriebs aufweist. Informationsasymmetrien bei Anbietern und Nutzern nichtfossiler Treibstoffe z.B. über die Formen der nichtfossilen Treibstoffe, die Lagerungsfähigkeiten und die Verfügbarkeiten lassen Innovationsprozesse erwarten, die dazu führen, dass der Markt ohne staatliche Intervention kein optimales Ausmaß an Investitionen in Innovationen generiert. Durch die ohne staatliche Intervention niedrigeren FuE-Investitionen der Marktakteure werden weniger Innovationen (also Ergebnisse von FuE) generiert als gesellschaftlich wünschenswert wäre. Die einzelwirtschaftlichen Entscheidungen der FuE-Treibenden führen nach diesen Überlegungen also zu einem inferioreren volkswirtschaftlichen Ergebnis (vgl. Kapitel 4.3). Dies gilt sowohl für die Marktakteure, die nichtfossile Treibstoffe generieren, wie auch für die Versorger mit und die Nutzer von nichtfossilen Treibstoffen wie z.B. Flughäfen und Airlines.
- **Netzwerkeffekte und Arbitragemöglichkeiten:** Des Weiteren handelt es sich bei dem Markt für Luftverkehr um einen weltweiten Markt der **hohe Netzwerkeffekte** aufweist. Das Gesamtsystem des Luftverkehrs weist vielfältige Komponenten auf, die direkt den Betrieb des Flugzeugs im Luftverkehr beeinflussen. So hat sich in den letzten Jahrzehnten ein einheitlicher fossiler Treibstoff weltweit als Standard herausgebildet, der nicht ohne weiteres partiell durch die Nutzung unterschiedlicher Treibstoffarten aufgelöst werden kann. Auch wenn prinzipiell Beimischungen von unterschiedlichen Treibstoffarten möglich sind, so sind doch erhebliche Anstrengungen von Nöten, um im Rahmen des Pariser Klimaabkommens und des Klimaschutzgesetzes die Zielzeitpunkte für einen emissionsfreien Luftverkehr zu realisieren. Diese Transformation weist jedoch erhebliche Umstrukturierungsanforderungen nicht nur für die Hersteller von Treibstoffen, sondern bspw. auch den Triebwerksbau, die Lagerung des Treibstoffs an den Flughäfen wie auch die Verfügbarkeit einzelner Treibstoffarten auf.

Hinzu kommen bei hohen Netzwerkeffekten, dass sich immer wieder **Arbitragemöglichkeiten** für solche Anbieter eröffnen, die Internalisierungsschritte umgehen können. Im Luftverkehr entstehen solche Arbitragemöglichkeiten einerseits durch solche Staaten, die auf eine nationale Internalisierung verzichten. Zum anderen liegen die derzeit diskutierten und implementierten Regelungen wie CORSIA für den internationalen Luftverkehr derzeit noch in einem Vermeidungspotential der Treibhausgasemission, das unterhalb der innerhalb der europäischen Union verabschiedeten Vermeidungsquoten liegt (vgl. dazu Kapitel 3.3). Da diese internationalen Regelungen vielfach auch auf freiwilliger Basis durchgeführt werden, sind Abweichungen bei einigen Standorten zu erwarten, die diese die Umschlagskraft von Hub-Flughäfen an diesen stärken wird<sup>53</sup>. So würde zwar durch die Verlagerung der Funktion

<sup>53</sup> Ökonomisch gesehen sind hier erhebliche Arbitragemöglichkeiten der EU-Anrainerstaaten inklusive der Schweiz gegeben. So sind die Hubdienstleistungen von Frankfurt und München relativ einfach an Standorte wie z. B. Großbritannien, Schweiz und Türkei verlegerbar, wenn diese Staaten keine analoge CO<sub>2</sub> Emissionsregulierung einführen und weiter mit fossilem Kerosin, die Strecken abdecken. Dann verblieben in

des Hubs Frankfurt RheinMain, z.B. nach Istanbul, die nationale Klimabilanz des Luftverkehrs in der deutschen Klimastatistik verbessert, da importierte CO<sub>2</sub> Emissionen nach den IPCC Guides dem Verursacherland, im Beispiel also der Türkei, zugeordnet werden. Dies ändert aber aus einer globalen Klimaperspektive an den Gesamtemissionen wenig, wenn das durchführende Land nicht die gleichen Regulierungen übernimmt wie Deutschland. Neben einer Verlagerung des Flugverkehrs insgesamt könnten höhere nationale oder innereuropäische Treibstoffpreise auch durch das Betanken von Flugzeugen außerhalb der europäischen Union umgangen werden (Carbon Leakage, vgl. Kapitel 3.3). Bei der Frage des Carbon Leakage sind auch die deutlichen Unterschiede im Ambitionsniveau der CO<sub>2</sub>-Bepreisung innerhalb der europäischen Union (EU ETS) und bei internationalen Flügen (CORSA) relevant. Auch wenn seitens der EU-Kommission Ansätze diskutiert werden, über einen „Carbon Border Mechanism“ die Gefahr des Carbon Leakage einzudämmen, so sind diese Ansätze bisher zumindest noch nicht so weit entwickelt, dass tatsächlich in naher Zukunft mit einer Einführung zu rechnen ist.

- **Marktstrukturelemente:** Schließlich haben wir es im Markt für Luftverkehr sowohl in der Passage als auch im Frachtverkehr mit einem weiten Oligopol in der Marktstruktur zu tun (Kantzenbach, 1966). Diese Oligopole zeichnen sich durch eine hohe Wettbewerbsintensität aus, bei der die preislichen Anpassungen und die damit einhergehenden Mengenanpassungen besonders ausgeprägt sind. Diese hohe Anpassungsflexibilität wurde oben bereits bei der Diskussion der Preisnachfrageelastizität erörtert (vgl. Kapitel 4.1).

Die Diskussion eines möglichen Marktversagens im Luftverkehrsmarkt in den obigen Kapiteln führt zu der Hypothese, dass eine Markt Anpassung zur Internalisierung der externen emissionsbasierten Effekte ohne staatliche Eingriffe nicht zu bewerkstelligen ist. Folgende Gründe können hierfür angeführt werden:

1. Die derzeitigen **Preise** für nichtfossile Kraftstoffe liegen deutlich über denen für fossiles Kerosin. Die oben dargelegten Abschätzungen über die Preisentwicklung bis 2030 und 2050 zeigen Potentiale für eine Preisreduktion durch Skalierung und Innovationen; diese sind aber in den ersten Jahren einer Umstellung auf nichtfossile Treibstoffe nicht realisierbar, sodass das Preisniveau für diese eine signifikante Transformationsbarriere bildet.
2. Die **Verfügbarkeiten** von nichtfossilen Kraftstoffen sind derzeit mengenmäßig gering und konkurrieren mit Anwendungsmöglichkeiten in anderen Sektoren. Eine deutliche Erhöhung der bereitgestellten Mengen in den nächsten Jahren ist alleine durch marktliche Anreize kaum absehbar, da die Herstellbedingungen und die Verfügbarkeit von nachhaltigem Strom derzeit nicht in einem ausreichenden Umfang zur Verfügung stehen. Hinzu kommt, dass eine **Standardisierung** auf eine Nichtfossile zu dem derzeit verwendeten fossilen Treibstoff sich am Markt (noch) nicht abzeichnet. Da die zukünftigen nichtfossilen Treibstoffarten aber nicht alle vermischbar<sup>54</sup> sind, sind hier Lock-ins zu erwarten, sodass nicht gewährleistet ist, dass der Markt Optima realisiert (Arthur, 1989).
3. Die **Verlagerungspotentiale** insbesondere in der Mittel- und Langstrecke ermöglichen es Standorten, Luftverkehr auf neue Hub-Flughäfen verlagern (Carbon Leakage). Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs des Luftverkehrs in Deutschland bzw. in Europa, da Nachbarländer, für die die europäischen und nationalstaatlichen Regulierungen nicht gelten, mit einer fehlenden Internalisierung der externen Effekte erhebliche Preisvorteile gegenüber den Konkurrenten in regulierten Staaten erzielen können.
4. Die **Preiselastizität** insbesondere bei privaten Flugreisen weisen insbesondere im Mittel- und Langstreckenflug Werte auf, die bei signifikanten Preiserhöhungen eine signifikante Reduktion des Passagieraufkommens erwarten lassen. Aus einer wirtschaftlichen Perspektive wäre dies zunächst als Internalisierungseffekt nicht zu bemängeln. Aus einer nichtökonomischen

Deutschland nur Spoke-Dienstleistungen und damit einhergehend signifikante wirtschaftliche Absenkungen der Wertschöpfung, ohne dass wirklich global die Emissionen an Treibhausgasen durch den Flugverkehr reduziert wurden.

<sup>54</sup> Dies gilt insbesondere für Wasserstoff. Die anderen SAF-Arten lassen sich mischen.

Perspektive können solche Reduktionen aber anders bewertet werden, z.B. um den Zugang zu internationalen Märkten und Kulturen zu erhalten.

Insgesamt sind die Voraussetzungen für einen staatlichen Interventionsbedarf auf der Basis der in dieser Studie erarbeiteten Ergebnisse wohl zu rechtfertigen. Ausgehend von den durch die deutsche und europäische Regulierung vorgegebenen klimapolitischen Ziele ist ein Transformationspfad von fossilem zu nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr nur durch ein Zusammenspiel wirtschaftspolitischer und marktlicher Instrumente zu schaffen. Dies gilt insbesondere, da der durch die Regulierung vorgegebene zeitliche Rahmen so „eng gestrickt“ ist, dass er durch marktliche Prozesse alleine nicht zu bewältigen ist.

## 6.2. Auswahl wirtschaftspolitischer Instrumente zur Unterstützung des Transformationsprozesses bei den nichtfossilen Treibstoffen im Luftverkehr

Auf der Basis der in den grundlegenden ordnungspolitischen Überlegungen identifizierten Marktunvollkommenheiten ist im Folgenden zu analysieren, ob der vorgeschlagene Ansatz über ein Fonds-Modell aus ordnungspolitischer Sicht zielführend ist. In den Ausführungen zu den Marktunvollkommenheiten wird dargelegt, dass die nationalstaatlichen wie auch, wenn auch zu einem geringeren Anteil, die EU-Interventionsmöglichkeiten beschränkt sind. Insbesondere die Arbitragemöglichkeiten von EU-Anrainerstaaten (Gefahr von Carbon Leakage) lassen die Wirksamkeiten direkter Interventionen über Gesetze, Verordnungen oder direkte Markteingriffe zumindest aus nationalstaatlicher Sicht als problematisch erscheinen. Vor diesem Hintergrund ist ein Interventionsinstrument zu entwickeln, der folgenden Kriterien entspricht:

1. Das Instrument setzt direkt an den Ursachen der Marktunvollkommenheit an.
2. Das Instrument ist tatsächlich durch die Wirtschaftspolitik zu gestalten und wirkt sich auf alle anvisierten Wirtschaftssubjekte gleichermaßen aus.
3. Das Instrument trägt dazu bei, die durch Steuermittel finanzierte Intervention hinsichtlich des eingesetzten Mittelaufwands zu minimieren.
4. Das Instrumentarium minimiert die rechtliche Ausgestaltung.
5. Das Instrument weist geringe „unintended consequences“ auf, ist also zielgenau.

Das vorgeschlagene Fonds-Modell weist aus folgenden Überlegungen diese Eigenschaften auf, wenn es adäquat ausgestaltet ist:

- Ad1: Das Instrument setzt direkt an der Marktunvollkommenheit an, da es alle Elemente in der Wertschöpfungskette des Luftverkehrs hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgasemissionen adressiert. Dies heißt: Die Marktunvollkommenheiten bei den Herstellern nichtfossiler Treibstoffe werden durch das Instrument ebenso bedient wie die sich aus den neuen Treibstoffen ergebenden Marktunvollkommenheiten bei den Nutzern dieser.
- Ad2: Das vorgeschlagene Fonds-Modell ist allen Akteuren auf den beiden Marktseiten zugänglich und ist damit geeignet, alle Akteure gleich zu behandeln.
- Ad3: Das im Fonds-Modell vorgeschlagene Instrument des Swaps minimiert die Interventionskosten, da in der ersten Phase die Kosten beim Staat und in der zweiten Phase bei den Unternehmen des Luftverkehrs liegen. Im optimalen Fall (bei Eintreten der erwarteten Preisentwicklungen) werden keine Interventionskosten des Staates entstehen, da die Swap-Zahlungen sich über den Zeitverlauf ausgleichen.
- Ad4: Die rechtliche Ausgestaltung des Fonds-Modell ist dann relativ einfach, wenn der privatwirtschaftliche Mittelanteil an den Fonds signifikant ist, da dann viele EU rechtlichen Regularien nicht mehr greifen. Hier kann auf die Erfahrung des Hightech- Gründerfonds zurückgegriffen werden.
- Ad5: Das Instrument ist sehr zielgenau, da der Zugang zur Förderung wie auch die Treibhausgasemissionsrelevanten Wirkungen eindeutig zu beurteilen und damit Mitnahmeeffekte nur in unwesentlichen Rahmen möglich werden.

Damit die angeführten positiven Effekte des Fonds-Modells jedoch wirksam werden können, ist die Ausgestaltung des Fonds-Modell von zentraler Bedeutung. Hierfür werden im Folgenden Empfehlungen und Handlungsoptionen vorgestellt, die bei der Ausgestaltung des Fonds- Modells zu beachten sind.

### 6.3. Wirtschaftspolitische Empfehlungen und Handlungsoptionen

Vor dem Hintergrund der vorliegenden Analyse sowie der Realisierung des hier vorgestellten Finanzierungskonzeptes möchten wir Folgendes empfehlen:

#### A) Laufzeit und Basis des Swaps (CfD)

Der Swap hat nur die Funktion, den Einstieg in die Klimaneutralität für die Luftverkehrsindustrie und die Verbraucher abzufedern, bis die Marktkräfte sowie die technische Entwicklung eine adäquate Preisbildung zulassen. Entscheidende Bedeutung kommt deshalb der Laufzeit des Swaps zu: je länger dieser dauert, umso niedriger kann der Referenzpreis angesetzt werden. Als reiner Preis-Swap ist der Staat dem Risiko ausgesetzt, über die gesamte Laufzeit Zahlungen leisten zu müssen.

**Empfehlung 1:** Wir würden deshalb empfehlen, einen langlaufenden Swap für eine bestimmte Menge an nichtfossilen Treibstoffen abzuschließen, da hierdurch zum einen der Referenzpreis gesenkt und somit der Einstieg in die Klimaneutralität erleichtert wird sowie zum anderen auch das Risiko des Staates begrenzt wird (maximal die Differenz zwischen Referenzpreis und Marktpreis bezogen auf die festgelegte Menge). Erst wenn die Vorgaben weiter angepasst werden und sich die Marktpreise für nichtfossile Treibstoffe noch nicht hinreichend entwickelt haben, sollte erneut über den Abschluss eines weiteren Swaps entschieden werden.

#### B) Marktgerechte Ausgestaltung des Swaps

Der Swap spricht konzeptionell zwar gegen das Vorliegen einer Beihilfe. Damit dies aber auch wirklich rechtssicher wird ist zu beachten:

**Empfehlung 2:** Wir würden aber empfehlen, dass bei der Ausgestaltung und des Festlegens des Referenzpreises auf eine marktgerechte Ausgeglichenheit geachtet wird, d.h. der Swap darf nicht schon bei Eingehung grundsätzlich nur zu einer prognostizierten Zahllast des Staates führen.

#### C) Marktgerechte Förderung von Produzenten nichtfossiler Treibstoffe

Beihilferechtliche Themen könnten bei einer unmittelbaren Förderung der Unternehmen entstehen, die durch den Teilfonds 3 gehalten werden. Doch auch hier sollte grundsätzlich eine marktkonforme Ausgestaltung möglich sein.

**Empfehlung 3:** Wir würden empfehlen, dass die jeweiligen Finanzierungsinstrumente mit gewinnabhängigen Vergütungskomponenten verknüpft werden, um so ggf. eine temporäre Niedrigverzinslichkeit auszugleichen. Etwaige Garantien sollten unter den allgemeinen Förderprogrammen ausgereicht werden können.

#### D) ESG-Konformität der Kapitalanlage

Für eine Vielzahl von privaten Anlegern dürfte es eine Rolle spielen, ob ihre Beteiligung als ESG-konform eingestuft werden kann. Dies setzt aber eine Aufnahme sämtlicher Formen nichtfossiler Treibstoffe voraus. Bislang ist dies allerdings nicht gegeben.

**Empfehlung 4:** Wir würden deshalb empfehlen, sich auch aus Wettbewerbs- unter dem Gesichtspunkt der Technologieneutralität für eine Änderung der derzeitigen EU-Taxonomie einzusetzen, die sämtliche Techniken und Formen nichtfossiler Treibstoffe in die Liste der begünstigten Anlagen aufnimmt.

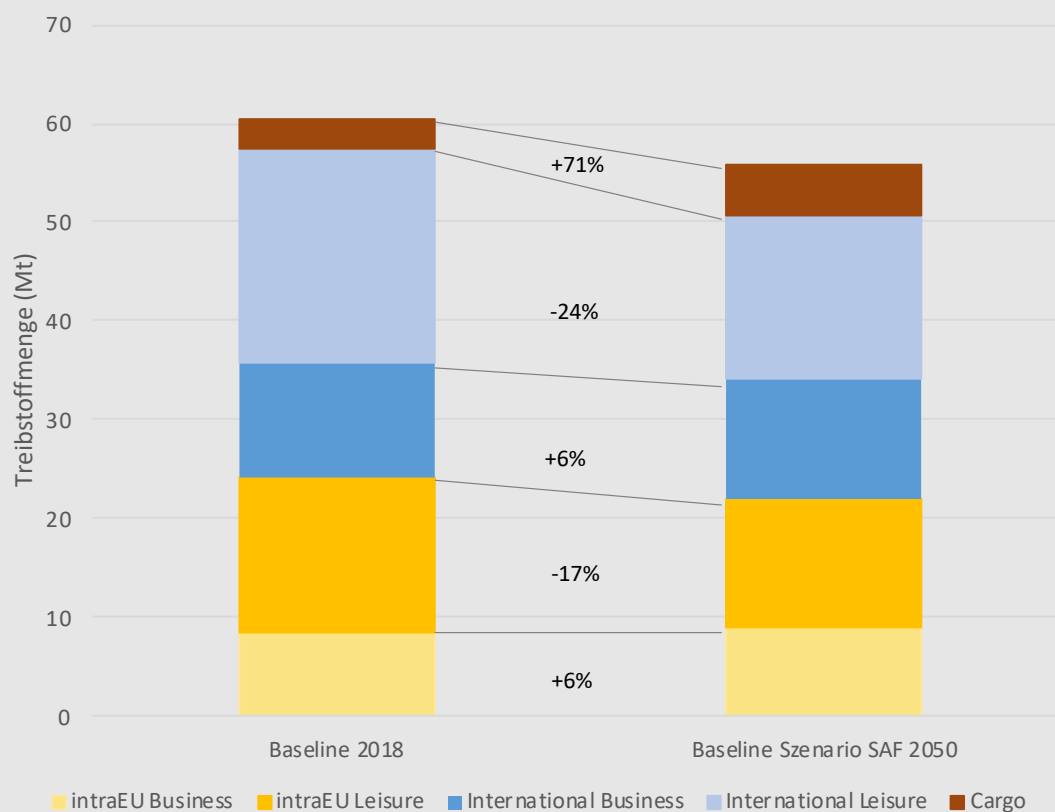


## Anhang

### Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zu den Mengen im Jahr 2018

Der europäische Flugverkehr könnte durch die vollständige Umstellung auf nichtfossile Treibstoffe bis 2050 im Vergleich zum Jahr 2018 zurückgehen. Abbildung 18 zeigt, dass im Baseline-Szenario der derzeit prognostizierten Preisentwicklung nichtfossiler Treibstoffe der Flugverkehr (gemessen an den Treibstoffmengen) um insgesamt 7% sinken würde. Hierbei verlaufen die Entwicklungen der einzelnen Segmente sehr unterschiedlich: Während der Flugverkehr im Business-Bereich leicht wächst und im Bereich Cargo aufgrund der geringen Preiselastizität sogar ein Wachstum von 71% prognostiziert wird, sind bei privaten Reisen sehr deutliche Rückgänge von bis zu 25% zu erwarten.

Abbildung 18: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zum Jahr. Die Werte in Prozent entsprechen der Nachfragereduktion im jeweiligen Sektor. Die Nachfragerückgänge der Treibstoffmengen ergeben sich unter Einbeziehung der Elastizitäten. Die gesamten Treibstoffkosten setzen sich aus anteiligen Kosten für fossiles Kerosin und für nachhaltige Treibstoffe zusammen. *Quelle: Eigene Darstellung*



## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung Z1: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zum Jahr 2018 mit vorgeschriebenen Mengen an nichtfossilen Treibstoffen	7
Abbildung 1: Entwicklung des weltweiten Passagieraufkommens im Flugverkehr (in 1.000)	10
Abbildung 2: Durchschnittliche Ticketpreise* für Hin- und Rückflug im weltweiten Luftverkehr in den Jahren 2011 bis 2019 (in US-Dollar)	11
Abbildung 3: Entwicklung des Passagierflugverkehrs innerhalb Europas	12
Abbildung 4: Entwicklung der Anzahl internationaler Flugziele nach Regionen (2010 bis 2018)	12
Abbildung 5: Entwicklung der verkauften Frachtkilometer-tonnen nach Regionen (2009 bis 2018)	13
Abbildung 6: CO <sub>2</sub> -Emissionen des Flugverkehrs zwischen 1940 und 2018 global und für Regionen	14
Abbildung 7: Anteile der verschiedenen Treibstoffe für 2030 und 2050. Im Jahr 2030 werden für den internationalen Flugverkehr und den innereuropäischen die gleichen Anteile angenommen, im Jahr 2050 unterscheiden sie sich (untere Diagramme).	22
Abbildung 8: Preisentwicklung von Kerosin und nachhaltigem Treibstoffmix (Wasserstoff und SAF) im innereuropäischen Flugverkehr	27
Abbildung 9: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Referenz-Szenario und das Baseline-Szenario mit vorgeschriebenen Mengen an nichtfossilen Treibstoffen für 2030 und 2050	30
Abbildung 10: Mechanismus des Swaps	37
Abbildung 11: Vergleich der Preisunterschiede zwischen realem Marktpreis und Referenzpreis für nichtfossile Treibstoffe	38
Abbildung 12: Zeitliche Abhängigkeit der Markteintrittsbedingungen für nichtfossile Treibstoffe	39
Abbildung 13: Übersicht Fondstruktur	43
Abbildung 14: Organisationelle Aufstellung der Fonds-Struktur	44
Abbildung 15: Finanzierungsströme im Fonds-Modell	46
Abbildung 16: Detaillierte Struktur des Fondsmodells	47
Abbildung 17: Konzeptionelle Aufstellung der Finanzierung des Transformationsprozesses in der Luftverkehrsindustrie	50
Abbildung 18: Entwicklung der Treibstoffmengen für das Baseline-Szenario 2050 im Vergleich zum Jahr 2018 mit vorgeschriebenen Mengen an nichtfossilen Treibstoffen	55

Tabelle Z1: Erwartetes Fondsvolumen bei Abschluss von zwei Swaps im Jahr 2030 (200.000 Tonnen PtL) und 2035 (1,8 Mio. Tonnen PtL) (in Mio. Euro) im Zeitverlauf	9
Tabelle 1: Literaturüberblick Preis-Elastizitäten im Flugverkehr	21
Tabelle 2: Preisentwicklung Treibstoffe für unterschiedliche Szenarien	25
Tabelle 3: Preisentwicklung betrachteter Treibstoffe im Flugverkehr im Baseline-Szenario	22
Tabelle 4: Abschätzung der absoluten Mehrkosten bei Einführung nichtfossiler Treibstoffe am Beispiel der getankten Treibstoffmengen in Deutschland.	32
Tabelle 5: Erwartetes Fondsvolumen bei Abschluss von zwei Swaps im Jahr 2030 (200.000 Tonnen PtL) und 2035 (1,8 Mio. Tonnen PtL) (in Mio. Euro) im Zeitverlauf	41
Tabelle 6: Grundstruktur der Transformationsfonds	42

## Bibliographie

Arthur, W. B. (1989). Competing technologies, increasing returns, and lock-in by historical events. *The Economic Journal*, 99(394), 116-131.

Brons, M., Pels, E., Nijkamp, P., & Rietveld, P. (2002). Price elasticities of demand for passenger air travel: A meta-analysis. *Journal of Air Transport Management*, 8(3), 165-175.

Bundesregierung. (2021). *PtL-Roadmap Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe für den Luftverkehr in Deutschland*. <https://www.bmu.de/download/ptl-roadmap-1/>

Cell, F., Undertaking, H. J., Gérard, F., van Nuffel, L., Smit, T., Yearwood, J., Černý, O., Michalski, J., & Altmann, M. (2020). *Opportunities for Hydrogen Energy Technologies Considering the National Energy & Climate Plans*.

DEHSt. (2021a). *EU-Emissionshandel im Luftverkehr*. [https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/Luftfahrzeugbetreiber/Emissionshandel/emissionshandel-im-luftverkehr\\_node.html](https://www.dehst.de/DE/Europaeischer-Emissionshandel/Luftfahrzeugbetreiber/Emissionshandel/emissionshandel-im-luftverkehr_node.html)

DEHSt. (2021b). Verknüpfung des Europäischen Emissionshandelssystems (EU-ETS) mit dem Schweizer Emissionshandelssystem (CH-ETS). *Deutsche Emissionshandelsstelle*. [https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/luftverkehr/schweiz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/DE/luftverkehr/schweiz.pdf?__blob=publicationFile&v=4)

DK, BR, AFP (2021) Airbus und DLR testen Auswirkungen von 100 Prozent SAF-Treibstoff. *Airliners*, 18. März 2021 <https://www.airliners.de/airbus-dlr-testen-auswirkungen-100-prozent-saf-treibstoff/59789>

Dray, L., & Doyme, K. (2019). Carbon leakage in aviation policy. *Climate Policy*, 19(10), 1284-1296.

E4tech, & studio Gear Up. (2019). *Study on the potential effectiveness of a renewable energy obligation for aviation in the Netherlands*. <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/rapporten/2020/03/03/bijlage-1-onderzoek-e4tech-sgu-obligation-for-aviation-in-the-netherlands-final-v3/bijlage-1-onderzoek-e4techsgu-obligation-for-aviation-in-the-netherlands-final-v3.pdf>

EC (2019a) Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. The European Green Deal, Brussels, 11.12.2019. [https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/european-green-deal-communication_en.pdf)

EC (2019b). Taxes in the Field of Aviation and their impact. *European Commission / CE Delft*. [https://cedelft.eu/wpcontent/uploads/sites/2/2021/03/CE\\_Delft\\_7M16\\_taxes\\_in\\_the\\_field\\_of\\_aviation\\_and\\_their\\_impact.pdf](https://cedelft.eu/wpcontent/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_7M16_taxes_in_the_field_of_aviation_and_their_impact.pdf)

EC (2021a). *EU-Emissionshandelssystem EU-EHS*. [https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets\\_de](https://ec.europa.eu/clima/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_de)

EC (2021b). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council establishing a carbon border adjustment mechanism. COM(2021) 564 final. Brussels, 14.7.2021.

EC (2021c). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council on ensuring a level playing field for sustainable air transport. COM(2021) 561 final. Brussels, 14.7.2021.

EC (2021d). Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council amending Directive 2003/87/EC as regards aviation's contribution to the Union's economy-wide emission reduction target and appropriately implementing a global market-based measure. COM(2021) 552 final. Brussels, 14.7.2021.

Fritsch, M. (2014). *Marktversagen und Wirtschaftspolitik: Mikroökonomische Grundlagen staatlichen Handelns* (9. Auflage). Vahlen.

- Gillen, D., Morrison, W. G., & Stewart, Christopher. (2007). Air Travel Demand Elasticities: Concepts, Issues and Measurement. In *The Economics of Airline Institutions, Operations and Marketing*. Elsevier.
- Gössling, S., Humpe, A., Fichert, F., & Creutzig, F. (2021). COVID-19 and pathways to low-carbon air transport until 2050. *Environmental Research Letters*, 16(3), 034063. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abe90b>
- Granados, N., Gupta, A., & Kauffman, R. J. (2012). Online and Offline Demand and Price Elasticities: Evidence from the Air Travel Industry. *Information Systems Research*, 23(1), 164-181. <https://doi.org/10.1287/isre.1100.0312>
- Hugo, M. (2021) Neue Anlage im Emsland. Grünes Kerosin für die Wende am Himmel. *zdf\_heute*, 04.10.2021. <https://www.zdf.de/nachrichten/wirtschaft/gruenes-kerosin-wende-himmel-100.html>
- Hwang, C.-C., & Shiao, G.-C. (2011). Analyzing air cargo flows of international routes: An empirical study of Taiwan Taoyuan International Airport. *Journal of Transport Geography*, 19(4), 738-744.
- ICAO. (2020). *Effects of novel coronavirus (COVID-19) on civil aviation: Economic impact analysis*. [www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO%20Coronavirus%202020%2005%2008%20Economic%20Impact.pdf](http://www.icao.int/sustainability/Documents/COVID-19/ICAO%20Coronavirus%202020%2005%2008%20Economic%20Impact.pdf)
- IEA. (2020). Aviation. *IEA*. <https://www.iea.org/reports/aviation>
- Ineratec (2020) Industrielle Power-to-Liquid Pionieranlage 2022 in Deutschland. <https://ineratec.de/wp-content/uploads/2020/12/ineratec-pionieranlage-presseinformation.pdf>
- Kantzenbach, E. (1966). *Die Funktionsfähigkeit des Wettbewerbs*. Vandenhoeck & Ruprecht.
- Keller, S. (2020a) Entwicklung des Passagierflugverkehrs innerhalb von Europa von 2007 bis 2037. *Statista*. 31.03.2020. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/311601/umfrage/flugverkehr-entwicklung-nach-rpk-europa/>
- Keller, S. (2020b) Prognostizierte Anzahl der weltweiten Flugpassagiere in den Jahren 2017 bis 2037. *Statista*. 14.09.2020. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/374860/umfrage/flugverkehr-entwicklung-passagiere-weltweit/>
- Keller, S. (2021a) Durchschnittliche Ticketpreise für Hin- und Rückflug im weltweiten Luftverkehr in den Jahren 2011 bis 2019. *Statista*. 22.01.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/975460/umfrage/durchschnittliche-ticketpreise-im-weltweitenluftverkehr/>
- Keller, S. (2021b) Beförderte Personen im deutschen Luftverkehr bis 2020. *Statista*. 02.02.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12552/umfrage/befoerderte-personen-im-luftverkehr/>
- Keller, S. (2021c) Höhe des Luftfrachtverkehrs weltweit in den Jahren 2009 bis 2019 nach Region. *Statista*. 02.02.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1200399/umfrage/luftfrachtverkehr-weltweit-nach-regionen/>
- Keller, S. (2021d) Anzahl der Flüge in der weltweiten Luftfahrt von 2014 bis 2020. *Statista*. 22.04.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/411620/umfrage/anzahl-der-weltweiten-fluege/>
- Keller, S. (2021e) Anteil der geschäftlich Reisenden am Passagieraufkommen am Frankfurter Flughafen in den Jahren 2012 bis 2019. *Statista*. 18.05.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/312107/umfrage/frankfurt-flughafen-anteil-geschaeftsreisende/>
- Keller, S. (2021f) Anteil der Kerosinkosten an den operativen Gesamtkosten der weltweiten Fluggesellschaften in den Jahren 2003 bis 2022. *Statista*. 18.10.2021. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/253718/umfrage/anteil-der-kerosinkosten-an-den-gesamtkosten-der-airlines/>

Le Feuvre, P., IEA (2021) Are aviation biofuels ready for take off? Commentary – 18 March 2019  
<https://www.iea.org/commentaries/are-aviation-biofuels-ready-for-take-off>

Le Quéré, C., Jackson, R. B., Jones, M. W., Smith, A. J., Abernethy, S., Andrew, R. M., De-Gol, A. J., Willis, D. R., Shan, Y., Canadell, J. G., & others. (2020). Temporary reduction in daily global CO<sub>2</sub> emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, 10(7), 647-653.

Lee, D. S., Fahey, D. W., Skowron, A., Allen, M. R., Burkhardt, U., Chen, Q., Doherty, S. J., Freeman, S., Forster, P. M., Fuglestvedt, J., Gettelman, A., De León, R. R., Lim, L. L., Lund, M. T., Millar, R. J., Owen, B., Penner, J. E., Pitari, G., Prather, M. J., ... Wilcox, L. J. (2021). The contribution of global aviation to anthropogenic climate forcing for 2000 to 2018. *Atmospheric Environment*, 244, 117834.  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117834>

Lo, W. W. L., Wan, Y., & Zhang, A. (2015). Empirical estimation of price and income elasticities of air cargo demand: The case of Hong Kong. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 78, 309-324.

McKinsey. (2020). *Hydrogen-powered aviation. A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050.*  
[https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507\\_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report\\_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf](https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/FCH%20Docs/20200507_Hydrogen%20Powered%20Aviation%20report_FINAL%20web%20%28ID%208706035%29.pdf)

Mende, J., Aigner, M. und Arndt, C. (2021) Planungsbeginn für die Produktion von klimaneutralem Kerosin. *DLR*, 27. Januar 2021.  
[https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2021/01/20210127\\_produktion-klimaneutrales-kerosin.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2021/01/20210127_produktion-klimaneutrales-kerosin.html)

Morlotti, C., Cattaneo, M., Malighetti, P., & Redondi, R. (2017). Multi-dimensional price elasticity for leisure and business destinations in the low-cost air transport market: Evidence from easyJet. *Tourism Management*, 61, 23-34.

Mumbower, S., Garrow, L. A., & Higgins, M. J. (2014). Estimating flight-level price elasticities using online airline data: A first step toward integrating pricing, demand, and revenue optimization. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 66, 196-212.  
<https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.05.003>

Raillant-Clark, W. (2021) 2020 passenger totals drop 60 percent as COVID-19 assault on international mobility continues. ICAO. <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/2020-passenger-totals-drop-60-percent-as-COVID19-assault-on-international-mobility-continues.aspx>. Montréal, 15 January 2021.

Sandbag (2021) CO<sub>2</sub> emission allowance. 2008-2021. <https://sandbag.be/index.php/carbon-price-viewer/>

Sausen, R., & Burkhardt, U. (2020) Der globale Luftverkehr trägt 3,5 Prozent zur Klimaerwärmung bei. *DLR Institut für Physik der Atmosphäre*. 24. September 2020.  
[https://www.dlr.de/pa/desktopdefault.aspx/tabid-2342/6725\\_read-67230/](https://www.dlr.de/pa/desktopdefault.aspx/tabid-2342/6725_read-67230/)

Smyth, M., & Pearce, B. (2008). Air Travel Demand: IATA Economics Briefing No. 9. *International Air Transport Association*, April.

Statista Research Department (2014) Entwicklung des Flugverkehrs zwischen Europa und Nordamerika bis 2033. *Statista*. 10.07.2014.  
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/311609/umfrage/flugverkehr-entwicklung-nach-rpk-europa-nordamerika/>

T&E. (2020). Making aviation fuel mandates sustainable. An analysis of aviation fuel mandates in seven European states. *Transport & Environment*.  
[https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020\\_12\\_Aviation\\_SAF\\_mandates\\_ratin\\_g\\_final.pdf](https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_12_Aviation_SAF_mandates_ratin_g_final.pdf)

T&E. (2021). E-kerosene mandate: Key steps for ReFuelEU success. *Transport & Environment*.  
<https://www.transportenvironment.org/publications/e-kerosene-mandate-key-steps-refueleu-success>



- UBA. (2010). Überarbeitung des Emissionsinventars des Flugverkehrs (Texte Nr. 32/2010). *Umweltbundesamt*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/3949.pdf>
- UBA. (2019). Umweltschonender Luftverkehr (Texte Nr. 130/2019). *Umweltbundesamt*.  
[https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-06\\_texte-130-2019\\_umweltschonender\\_luftverkehr\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-11-06_texte-130-2019_umweltschonender_luftverkehr_0.pdf)
- UBA. (2020a). Integration of Non-CO<sub>2</sub> Effects of Aviation in the EU ETS and under CORSIA (Climate Change Nr. 20/2020). *Umweltbundesamt*.
- UBA. (2020b). Methodenkonvention 3.1. zur Ermittlung von Umweltkosten Kostensätze. *Umweltbundesamt*.  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/methodenkonventionumweltkosten>
- van der Sman, E., Peerlings, B., Kos, J., Lieshout, R., & Boonekamp, T. (2020). Destination 2050 A Route To Net Zero European Aviation. *Netherlands Aerospace Centre NLR*.
- van Wijk, A., & Chatzimarkakis, J. (2020). Green Hydrogen for a European Green Deal A 2x40 GW Initiative. *Hydrogen Europe*: Brussels, Belgium.