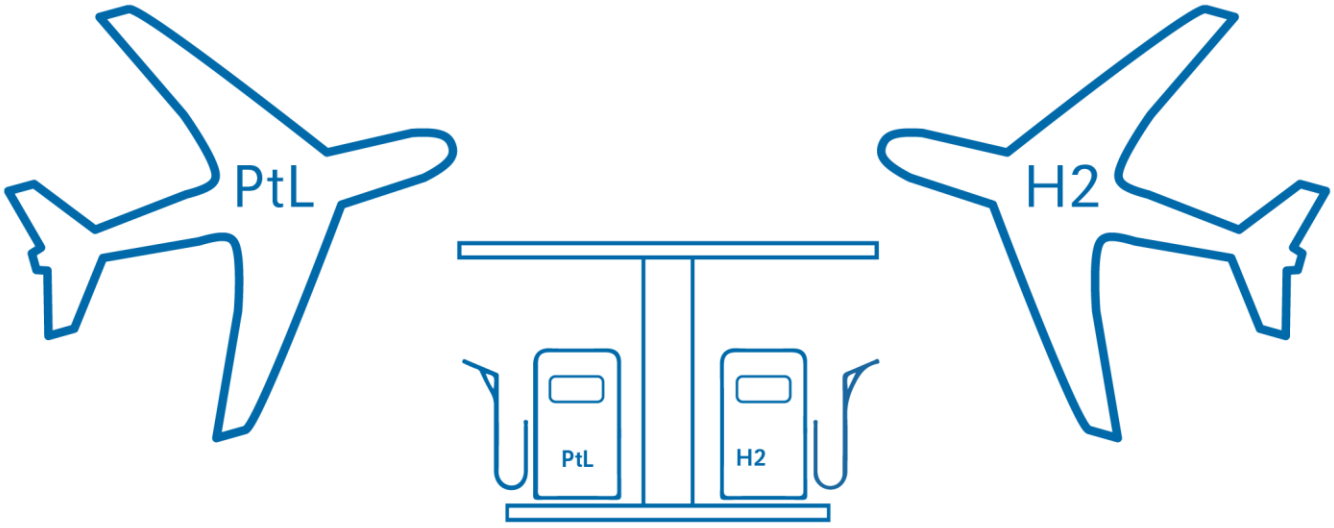
ITEAL

Innovative Treibstoffe für Emissionsarmen Luftverkehr



BBAA
Berlin-Brandenburg Aerospace Allianz e.V.

FLUGPLATZ SCHÖNHAGEN

FLUGPLATZ STRAUSBERG

RLI REINER LEMOINE INSTITUT

Aviation Fuel Projects Consulting GmbH & Co. KG

PtXSolutions GmbH

aviasim

COMWORXX®

easc European Aviation Security Center e.V.

IKEM

BER FLUGHAFEN BERLIN BRANDENBURG

TotalEnergies

ITEAL

Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr

EUROPÄISCHE UNION

Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung

Das Vorhaben

"ITEAL: Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr"

wird aus Mitteln des Landes Brandenburg und der Europäischen Union gefördert.

Version: 02.04

Stand: 05.04.2022

Inhaltverzeichnis

Inhaltverzeichnis ---------- 3
1 Kurzfassung / Summary ---------- 7
2 Einführung ---------- 9
3 Modellierung und technische Auslegung der PtL-Anlage ---------- 10
3.1 Dezentrale Produktion von Innovativen Treibstoffen für den Flugverkehr ---------- 10
3.1.1 Ausgangslage Flugplatz Strausberg ---------- 10
3.1.2 Ausgangslage Flugplatz Schönhagen ---------- 11
3.2 Komponentenbeschreibung einer PtX-Anlage ---------- 12
3.2.1 Strom aus Erneuerbaren Energien ---------- 14
3.2.2 CO_2 Bereitstellung ---------- 15
3.2.3 Elektrolyse ---------- 15
3.2.4 Reverse Water Gas Shift Reaktor ---------- 16
3.2.5 Fischer-Tropsch Reaktor ---------- 16
3.2.6 Hydrocracking & Destillation ---------- 17
3.2.7 Endprodukte ---------- 17
3.3 Modellierung und Simulation ---------- 17
3.3.1 Produktion von Wasserstoff im Kontext Flugplatz ---------- 17
3.3.2 PtL-Produktion ---------- 22
4 Blending ---------- 27
4.1 Prozessbeschreibung ---------- 27
4.2 Qualitätskonzept und Spezifikationskonformität ---------- 29
4.2.1 Anforderungen an synthetische PtL-Jetkomponenten ---------- 30
4.2.2 Anforderungen an Blends aus fossil-basierten und PtL-Jetkraftstoffen ---------- 33
4.2.3 Ausblick auf höherprozentige Blends und 100 %igen Einsatz von PtL ---------- 36
5 Rechtsrahmen: Machbarkeit, Hemmnisse und Anreize ---------- 37
5.1 Identifizierung maßgeblicher Normenwerke ---------- 37
5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen: Bereitstellung des EE-Stroms ---------- 37
5.2.1 Lokale Stromerzeugung ---------- 37
5.2.2 Bau-/Planungsrechtliche Zulässigkeit ---------- 37

5.2.3 Verteilung des Stroms ---------- 39
5.2.4 Regionale Stromversorgung ---------- 41
5.2.5 Weitergabe der grünen Eigenschaft ---------- 42
5.3 Rechtliche Rahmenbedingungen: Wasserstofferzeugung ---------- 44
5.3.1 Erzeugung ---------- 44
5.3.1.1 Bau-/Planungsrechtliche Zulässigkeit ---------- 45
5.3.1.2 Immissionsschutzrechtliche Genehmigung ---------- 47
5.3.2 Elektrolyse: Strombezugsmöglichkeiten ---------- 51
5.4 CO_2-Bezugsoptionen ---------- 55
5.5 Übersicht: Hemmnisse ---------- 56
5.6 Anforderungen an das fertige Produkt ---------- 57
5.6.1 ASTM-Zertifizierung ---------- 57
5.6.2 Chemikalienrecht ---------- 58
5.6.3 Zollrecht ---------- 60
5.6.4 Erdölbevorratungsverband ---------- 62
5.6.5 Abrechnungsmöglichkeiten und Nachweissystem ---------- 63
5.7 Luftverkehrsrechtliche Genehmigung ---------- 69
5.7.1 Begriffe ---------- 69
5.7.2 Genehmigung ---------- 70
5.7.3 Änderung/Erweiterung von Flugplätzen ---------- 70
5.7.4 Planfeststellung ---------- 71
5.7.5 Photovoltaikanlagen auf Flugplätzen ---------- 71
5.8 Sicherheitsbetrachtungen PtL-Produktionsanlagen ---------- 73
6 Emissionseinsparpotential und Klimapolitische Einordnung ---------- 82
6.1 Klimaschutzziele ---------- 82
6.2 Klimarelevante Emissionen des Luftverkehrs ---------- 83
6.2.1 Emissionen des Luftverkehrs im Reiseflug ---------- 84
6.2.1.1 CO_2-Emissionen ---------- 87
6.2.1.2 Nicht-CO_2-Effekte ---------- 90
6.2.2 Emissionen an den Flughäfen ---------- 92
6.2.2.1 Triebwerkeinsatz der Flugzeuge ---------- 93

6.2.2.2 Flughafeneigener Fuhrpark ---- 94
6.2.2.3 Flughafeninfrastruktur ---- 97
6.2.3 Konzept zur Untersuchung lokaler Emissionen beim Einsatz von SAF in Flugzeugen am Flugplatz Schönhagen ---- 98
6.2.3.1 Triebwerksbodenmessungen am Flugplatz Schönhagen ---- 99
6.2.3.2 Technikumsversuche zur Bestimmung von Flugzeugemissionen ---- 100
6.2.3.3 Fazit ---- 101
6.3 CO_2-Minderungspotential im Luftverkehr durch den Einsatz von nachhaltigen PtL-Kraftstoffen ---- 101
6.3.1 Drop-in-Kraftstoffe ---- 104
6.3.2 Near-Drop-In-Kraftstoffe ---- 105
6.3.3 Wasserstoff ---- 105
6.4 Klimapolitische Einordnung und Umsetzungspotenziale von PtL-Kraftstoffen ---- 107
6.4.1 Internationale Ebene & Europäische Union ---- 107
6.4.1.1 Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) ---- 108
6.4.1.2 EU-ETS ---- 110
6.4.1.3 RefuelEU Aviation Initiative ---- 112
6.4.1.4 Energiesteuerrichtlinie ---- 113
6.4.1.5 RED II und RED III ---- 113
6.4.2 Deutschland ---- 114
6.4.2.1 BImSchG ---- 114
6.4.2.2 37. BImSchV ---- 115
6.4.2.3 EnergieStG ---- 116
6.4.3 Anreize und Umsetzungspotentiale ---- 118
7 Wirtschaftlichkeit und Kundenakzeptanz ---- 121
7.1 Gestehungskosten ---- 121
7.1.1 Wasserstoffgestehungskosten ---- 122
7.1.2 PtL-Gestehungskosten ---- 124
7.2 Weitere Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit ---- 127
7.2.1 Quotenerlöse ---- 127
7.2.2 Steuern, Umlagen, Abgaben ---- 128

7.3 Fördermöglichkeiten und internationales Umfeld ---------- 129
7.3.1 Förderung National ---------- 130
7.3.2 Förderung Europäische Union ---------- 131
7.4 Kundenakzeptanz ---------- 133
8 Realisierungschancen an den Standorten Schönhagen und Strausberg ---------- 144
8.1 Charakteristika von Regionalflugplätzen ---------- 144
8.1.1 Beschreibung des Standortes Schönhagen ---------- 144
8.1.2 Beschreibung des Standortes Strausberg ---------- 146
8.1.3 Ausgangslage zur Nutzung regenerativer Kraftstoffe ---------- 147
8.1.4 Verkaufspreise für Wasserstoff ---------- 151
8.1.5 Verkaufspreise für Kraftstoffblends ---------- 152
8.1.6 Einführungsstrategie Wasserstoff und Sektorenkopplung ---------- 154
8.1.7 Einführungsstrategie PtL ---------- 157
8.2 Realisierungsbedingungen PtL und H_2 ---------- 162
8.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsvoraussetzungen ---------- 162
8.2.2 Technische Rahmenbedingungen ---------- 165
Abbildungsverzeichnis ---------- 170
Tabellenverzeichnis ---------- 171
Literaturverzeichnis ---------- 172
Abkürzungen ---------- 175
Glossar ---------- 177
Anhang A – Umfrage zum Thema Kundenakzeptanz ---------- 179
Anhang B – Auswertung der Umfrage zum Thema Kundenakzeptanz ---------- 187

1 Kurzfassung / Summary

Ziel des Projekts „Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr (ITEAL)" ist es, die technischen, wirtschaftlichen, regulatorischen und politischen Randbedingungen von möglichst umwelt- und klimafreundlicher Kraftstofferzeugung für den Luftverkehr zu untersuchen. Im Fokus stehen dabei Anlagen, die dezentral Wasserstoff und Power-to-Liquid Kraftstoffe klimaneutral erzeugen und zu einem akzeptablen Preis bereitstellen können und damit Alternativen zu fossilem Kerosin bilden. Es zeigt sich durch die in ITEAL durchgeführten Analysen und Modellierungen, dass dies mit heute verfügbaren Technologien ermöglicht werden kann und somit signifikante Reduktionen der CO_2-Emissionen und weiterer Schadstoffe im Luftverkehr erzielt werden können.

Im Einzelnen werden hierfür Beschreibungen der relevanten Randbedingungen, Modellierungen und Berechnungen zusammengeführt, die die Herstellung von Wasserstoff und PtL-Treibstoffen, dem Blending und den erreichbaren Einsparungen bei schädlichen Emissionen umfassen. Daneben werden der Rechtsrahmen, Wirtschaftlichkeit und Kundenakzeptanz betrachtet, Zertifizierungen und Sicherheitsaspekte beleuchtet und die Realisierungschancen in Schönhagen und Strausberg untersucht.

Über diese hier beschriebenen lokalen Projekte hinaus soll das Konzept auch als Kompendium und Vorlage dienen, um ähnliche Anlagen an weiteren Regionalflugplätzen im In- und Ausland realisieren zu können. Durch Skalierung können weiterhin auch Aussagen nicht nur für die Allgemeine Luftfahrt, sondern auch für die internationale Verkehrsluftfahrt abgeleitet werden.

An vielen Stellen dieser Studie wird deutlich, dass bei Forschung und Entwicklung, aber ebenso bei Zulassungs- und beispielsweise Besteuerungsgrundlagen Neuland betreten worden ist und in vielfältiger Hinsicht weiterhin beschritten werden muss. Wir bemühen uns deshalb darum, diese Studie quasi in Form eines Kompendiums weiter aktuell zu halten und so einen Beitrag für einen zukünftig komplett emissionsfreien Luftverkehr zu liefern.

The aim of the project "Innovative fuels for low-emission aviation (ITEAL)" is to investigate the technical, economic, regulatory and political boundary conditions of fuel production for aviation that is as environmentally and climate-friendly as possible. The focus is on the decentralized and plant-based production of hydrogen and power-to-liquid fuels, in a CO2-neutral manner, providing them at an acceptable price, thus forming alternatives to fossil kerosene. The analyses and modeling carried out in ITEAL show that this can be achieved with currently available technologies, and that significant reductions in CO2 emissions and other pollutants can be achieved in aviation.

In detail, descriptions of the relevant boundary conditions, modeling and calculations are compiled for this purpose, covering the production of hydrogen and PtL fuels, blending and the achievable savings in harmful emissions. In addition, the legal framework, economic efficiency and customer acceptance are considered, certifications and safety aspects are highlighted and the chances of realization at the airports of Schönhagen (EDAZ) and Strausberg (EDAY) are investigated.

Beyond these local projects described here, the results of this study may serve as a compendium and template for implementing similar facilities at other regional airports in Germany and abroad. Furthermore, by scaling, conclusions can be drawn not only for general aviation, but also for international commercial aviation.

At many points in this study, it becomes clear that new ground has been broken in research and development, but also in certification and, for example and taxation principles. This has to be continued in many respects. We will therefore be endeavored to keep this study up to date, more or less in the form of a compendium, and thus making a contribution to completely emission-free aviation in the future.

2 Einführung

Die Luftfahrt ist für die internationale Vernetzung auf wirtschaftlicher, politischer und privater Ebene unabdingbar. Der steigende Mobilitätsanspruch moderner Gesellschaften zieht jedoch einen wachsenden Ressourcenverbrauch und somit auch negative Folgen für die Umwelt nach sich.

Singuläre Erscheinungen wie Wirtschaftskrisen oder internationale Konflikte haben meist nur einen relativ kurzfristigen Rückgang der Flugbewegungen zur Folge gehabt, während das Wachstum des internationalen Luftverkehrs sich über längere Zeiträume betrachtet stets nahezu exponentiell fortgesetzt hat. Die aktuelle Covid-19 Krise und der immer dramatischere Klimawandel haben aber weltweit bleibende Folgen für die gesamte Luftfahrtindustrie und gravierenden Auswirkungen auf viele weitere, auch gesellschaftlich relevante Bereiche gezeitigt. Mit den jetzt zur Kompensation dieser absehbaren Schäden nötigen Maßnahmen und Investitionen ergeben sich in diesem Zusammenhang jedoch Chancen, den lange angestrebten Wandel der Luftfahrt hin zu emissionsarmen, klimafreundlichen Lösungen entscheidend zu beschleunigen.

Die hier vorgestellte Studie soll den Ansatz bieten, an diesem Wandel durch Kompetenzen und Aktivitäten in Berlin-Brandenburg maßgeblich mitzuwirken. Deshalb streben wir insbesondere an, die hier in der Theorie beschriebenen Konfigurationen dezentraler Herstellung unterschiedlicher, innovativer Treibstoffe an den Standorten der Flugplätze in Schönhagen und Strausberg zu realisieren und so Flugplätze mit Vorbildfunktion entstehen zu lassen und zur Nachahmung zu motivieren.

An dem Projekt ITEAL haben zahlreiche Partner unterschiedlicher Professionen gearbeitet und dabei ihr Expertenwissen für diese Studie zusammengeführt. Für die stets vertrauensvolle und interessante Zusammenarbeit sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

3 Modellierung und technische Auslegung der PtL-Anlage

Für die Modellierung und technische Auslegung einer PtL-Anlage können verschiedene Systemlayouts gewählt werden. Die Technologien können je nach Größe und Standort ausgewählt werden, um eine kosten- und emissionsoptimierte Produktion zu ermöglichen.

3.1 Dezentrale Produktion von Innovativen Treibstoffen für den Flugverkehr

3.1.1 Ausgangslage Flugplatz Strausberg

Abbildung 1 – Strausberg – mögliche Wasserstofftankstelle mit öffentlichem Straßenanschluss

Auf dem Flugplatz Strausberg wird zunächst eine PV-Anlage mit einer maximalen Peakleistung von 9.520 kWp geplant. Daraus ergibt sich mit dem entsprechenden Wetter- und Modul-Annahmen ein Energieertrag von ca. 10.769.282 kWh pro Jahr. Hierfür steht eine Fläche direkt auf dem Flugplatzgelände zur Verfügung. Das Plangenehmigungsverfahren ist noch zu durchlaufen. Alternativ wird auch eine größere Fläche östlich des Flugplatzes untersucht und geplant mit einer Leistung von 61 MWp. Diese ist noch nicht Gegenstand dieser Studie, zeigt aber die Möglichkeit

auf, hinreichend Potential zur lokalen und grünen Wasserstoffproduktion zu erhalten. Die Nutzung des Wasserstoffs ist sowohl im Luftverkehr als auch im Landverkehr vorgesehen. Die Errichtung einer Wasserstofftankstelle mit öffentlichem Straßenanschluss ist hierfür zu realisieren.

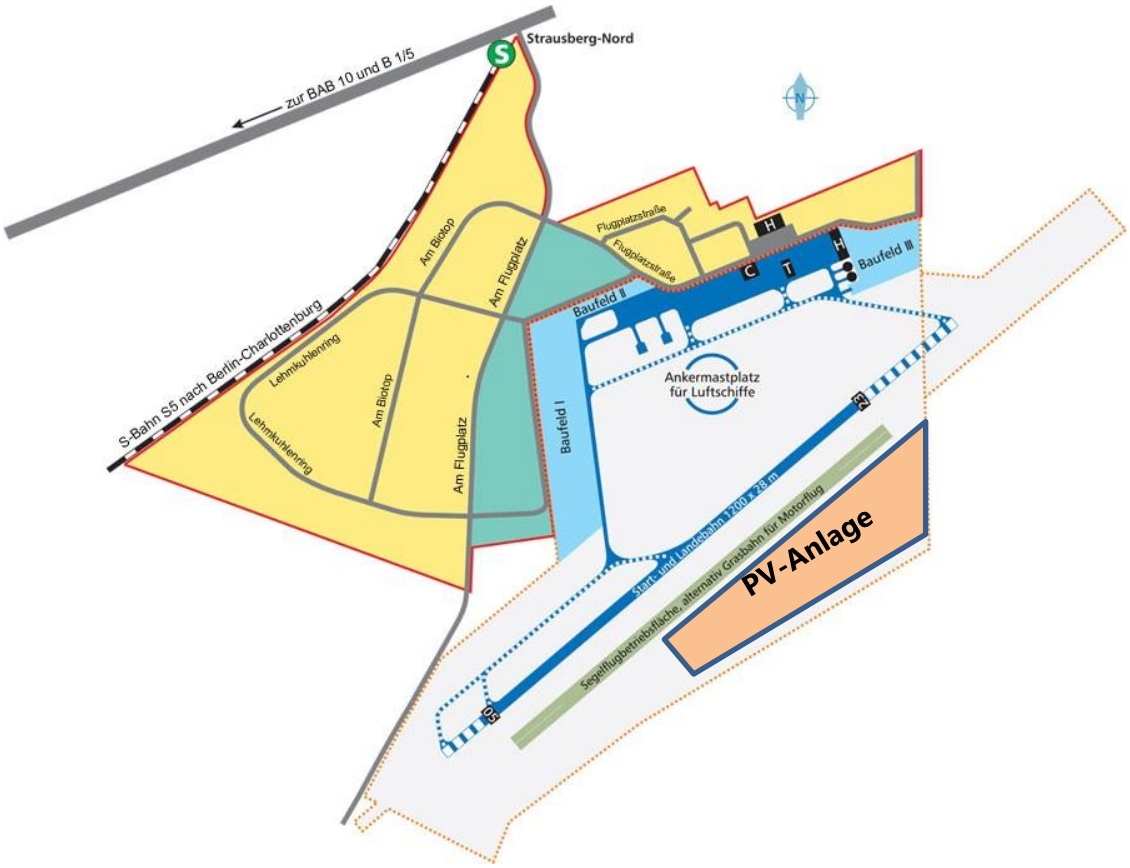


Abbildung 2 – Strausberg – möglicher Standort PV-Anlage

3.1.2 Ausgangslage Flugplatz Schönhagen

Etwa 10 MWp auf 10-12 ha stehen im westlichen Anflugbereich zur Verfügung (siehe Abbildung 4). Hierzu ist im Oktober 2021 der Aufstellungsplan vom Stadtparlament beschlossen worden. Westlich und nördlich davon bestehen weitere Flächen, die bisher als Ackerland genutzt werden und die als Erweiterung in Frage kommen (siehe Abbildung 3). Die bisherige Planung geht aber aktuell von der 10ha-Variante aus.

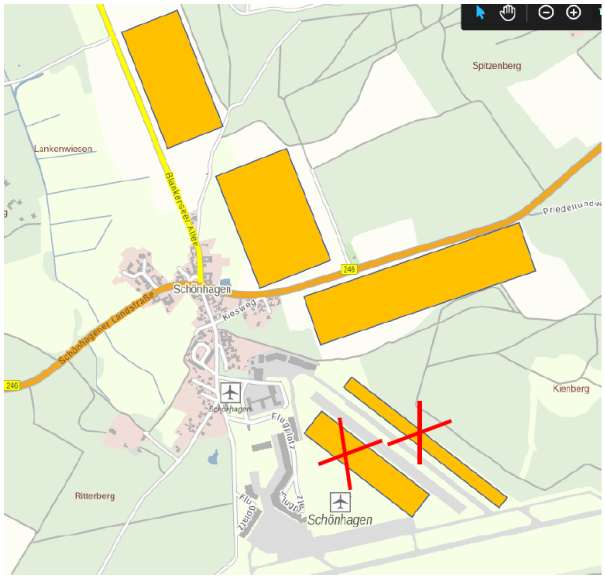


Abbildung 3 – Auswahl Freiflächen im Flugplatzumfeld

Abbildung 4 – Geplante PV-Anlage mit 10MWp

3.2 Komponentenbeschreibung einer PtX-Anlage

In dieser Studie liegt der Fokus auf der Herstellung und Weiterverarbeitung von grünem Wasserstoff. Für die Weiterverarbeitung können verschiedene Verfahren angewandt werden. Für die strombasierte Kraftstoffherstellung wird primär zwischen der Methanolsynthese und dem Fischer-Tropsch-Verfahren unterschieden. Abhängig davon, ob es sich um eine Niedrig- oder eine

Hochtemperatur-Anlage handelt, werden weitere Reaktionen nachgeschaltet. In der Fischer-Tropsch-Synthese werden aus den Ausgangsstoffen Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid bzw. Kohlenstoffmonoxid unter kontrollierten Bedingungen Kohlenwasserstoffe unterschiedlicher Kettenlänge synthetisiert.[1]

Die Komponentenbeschreibung und der Anlagenaufbau in dieser Studie orientieren sich an der e-fuel Anlage in Werlte. Hier hat das Unternehmen atmosfair im Jahr 2021 u.a. mit dem Unternehmen INERATEC eine PtX-Anlage zur Herstellung von synthetischem Rohöl (auch engl. FT Crude) in Betrieb genommen[2]. Es handelt sich um eine Niedrig-Temperatur Fischer-Tropsch-Anlage mit einem „Reverse Water Gas Shift" (RWGS)-Reaktor. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die einzelnen Verfahrensschritte beschrieben. Das Anlagenschema ist in Abbildung 5 dargestellt.

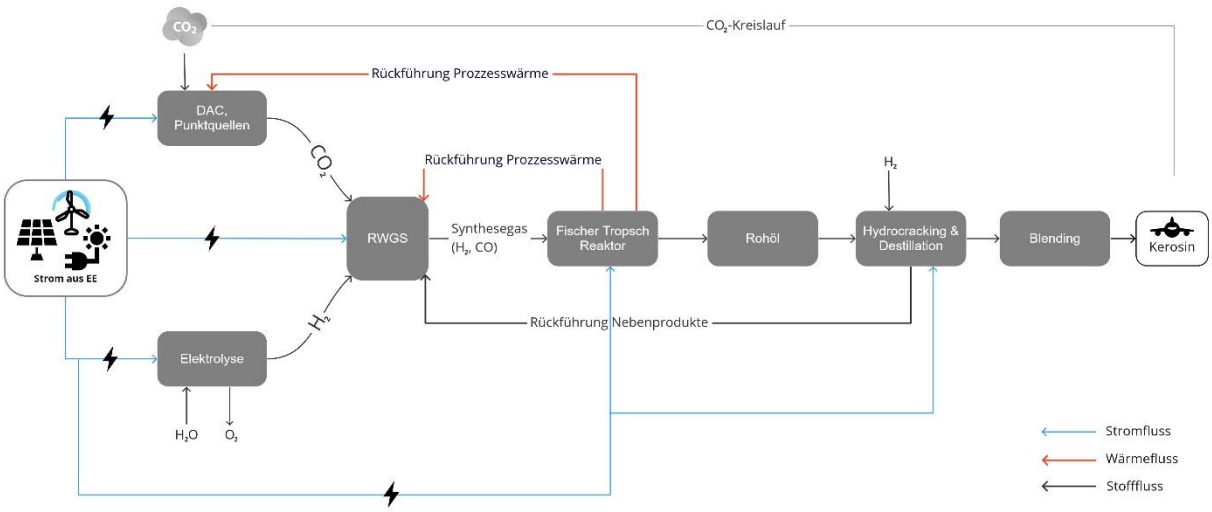


Abbildung 5 – Schematische Darstellung einer PtX-Anlage mit Fischer-Tropsch-Synthese

---

1 Jürgens, S. et al. (2021): Assessment of combustion properties of non-hydroprocessed Fischer-Tropsch fuels for aviation

2 NDR (2021): Emsland: Anlage in Werlte produziert CO2-neutrales Kerosin; https://www.ndr.de/nachrichten/niedersachsen/osnabrueck_emsland/Emsland-Anlage-in-Werlte-produziert-CO2-neutrales-Kerosin,werlte224.html

3.2.1 Strom aus Erneuerbaren Energien

Strom aus Erneuerbaren Energien ist in Bezug auf die Verfahrenstechnik vor allem relevant für die CO_2-Bilanz des Prozesses. Denn nur wenn der Strom aus Erneuerbaren Energien stammt, hat der synthetische Kraftstoff auch eine bessere Bilanz als sein fossiles Pendant.

Dabei besteht ein großer Unterschied darin, ob die Anlage an das Stromnetz oder einen anlagen-eigenen Erzeuger angeschlossen ist. Aus dem Stromnetz kann kontinuierlich Strom bezogen werden. Dies garantiert eine fortlaufende Produktion des Kraftstoffes und spart somit Kosten für Vorratslagerung und Speichermodule. Gleichzeitig verschlechtert sich dabei unter heutigen Bedingungen (45,7%-Anteil Erneuerbarer Energien am Strommix 2021 in Deutschland[3]) die CO_2-Bilanz des synthetischen Kraftstoffes erheblich. Alternativ kann die Produktionseinheit mit Photovoltaik oder Windkraftanlagen gekoppelt werden. Diese erzeugen Erneuerbaren Strom nur für die Produktion des synthetischen Kraftstoffes und erhöhen somit die Autarkie der gesamten Anlage. Hier besteht jedoch das Problem, dass Sonne und Wind Strom nur diskontinuierlich und schwer planbar zur Verfügung stellen können. Um dies auszugleichen und auch an windstillen oder bewölkten Tagen die Produktion aufrechtzuhalten, werden große Speicherkapazitäten sowohl für Strom als auch für Wasserstoff benötigt. Zusätzlich stellt das wechselseitige An- und Abschalten der Anlage einen hohen Anspruch an die Technologien der Elektrolyse- und Syntheseanlagen. Insgesamt erhöht sich somit der Preis pro Tonne synthetischem Kraftstoff.

Hervorzuheben sind Anlagen, die ihren Strom über Wasserkraft oder Geothermie beziehen können. Diese versorgen die Anlage mit einem kontinuierlichen Strom aus regenerativer Energie und können somit beide Anforderungen erfüllen. Allerdings sind die Potenziale und Kapazitäten dieser Technologien in Deutschland weder ausreichend vorhanden noch an den richtigen Standorten, um den benötigten Strom zur Deckung des Bedarfs an synthetischem Kerosin zu erzeugen.

Zusätzlich ist auf die gesamte Strommenge hinzuweisen, die benötigt wird, um den Kerosinbedarf allein in Deutschland zu decken. Laut Berechnungen des Kompetenzzentrum Klima- und

---

[3] Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (2021): Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland in 2021.

Lärmschutz im Luftverkehr Hessen (CENA Hessen[4]) werden 250 TWh benötigt, um die im Jahr 2018 abgesetzten 10,2 Millionen Tonnen Kerosin zu erzeugen. Damit würden allein für die Herstellung des gesamten Flugzeugtreibstoffes Deutschlands mehr als die in 2021 regenerativ erzeugte Menge an Strom (225 TWh) benötigt werden.

3.2.2 CO_2 Bereitstellung

CO_2 kann auf zwei Arten bereitgestellt werden.[4] Zum einen stationär aus Punktquellen direkter Verursacher von CO_2. Biogas bzw. Bioethanolanlagen bieten in diesem Falle CO_2 mit besonders hohem Reinheitsgrad und stellen gleichzeitig eine nachhaltige Quelle dar. Daher werden sie als stationäre Quellen in diesem Prozess präferiert.[5]

Zum anderen besteht die Möglichkeit, durch „Direct Air Capture (DAC)"-Technik CO_2 direkt aus der Luft zu gewinnen. Dabei werden große Mengen an Luft durch einen Filter gesaugt, an dem das CO_2 aufgefangen wird.

Die Anlage in Werlte nutzt als CO_2-Quelle das Direct-Air-Capture Verfahren (deckt 2,3 % des Bedarfs) und zusätzlich CO_2 aus einer Biogasanlage auf dem Gelände[6].

3.2.3 Elektrolyse

Insgesamt gibt es nach aktuellem Stand der Technik drei anwendbare Elektrolyseverfahren für das PtX-Verfahren. Dies ist die „Alkalische Elektrolyse (AEL)", „die Proton Exchange Elektrolyse (PEMEL)" und die Hochtemperatur-Elektrolyse (HTEL)". Die AEL und PEMEL sind bereits in breitem industriellem Maßstab in Deutschland erforscht und im Einsatz. Beide Verfahren zeichnen sich mit einem Wirkungsgrad von ca. 66% aus und können flexibel auf die sich ändernden Lasten erneuerbarer Energien reagieren. Die HTEL hingegen erreicht Wirkungsgerade von bis zu 80%.

---

4 CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr (2021): Betrachtung und Ausblick der Technologien zur Herstellung von „Power to Liquid" (PtL).

5 DLR, TUHH, JBV (2021): Abschussbericht Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für Power-to-Liquid-Kraftstoffe

6 Atmosfair (2022): Technische Details der Anlage, https://fairfuel.atmosfair.de/de/anlage-techn-details/

Jedoch muss hier thermische Energie zusätzlich hinzugeführt werden. Dies wird im Synthese Prozess oft durch die in der Fischer-Tropsch-Synthese exotherm stattfindende Reaktion erreicht. Zudem kann der HTEL H_2O und CO_2 gleichzeitig zugeführt und somit in einem Schritt die Elektrolyse und die Erzeugung des Synthesegases durchgeführt werden. Somit wird eine RWGS-Reaktion überflüssig und der operative Aufwand der Anlage verringert. Nachteile der HTEL sind ihre geringe Marktreife sowie ihre sehr geringe Flexibilität gegenüber Lastschwankungen.[4]

3.2.4 Reverse Water Gas Shift Reaktor

Für die Durchführung der „Reverse Water Gas Shift" Reaktion wird das CO_2 bei einer Temperatur von 100°C verdampft zu CO überführt. In der Reaktion wird aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid unter Abscheidung von Wasserdampf Synthesegas (H_2, CO) erzeugt. Hierbei liegt idealerweise ein Verhältnis von H_2/CO von 2:1 vor. Hierfür werden hohe Temperaturen von bis zu 650°C benötigt.

3.2.5 Fischer-Tropsch Reaktor

Anschließend erfolgt die eigentliche Synthese des Rohproduktes in Fischer-Tropsch Reaktoren. Hier bilden Wasserstoff und Kohlenstoffmonooxid unter Anwesenheit eines Katalysators (meistens Kobalt) Kohlenwasserstoffe mit Kettenlängen zwischen 1 und 100. Über die Steuerung von Druck und der Reaktionstemperatur kann das Verhältnis zu den gewünschten Kettenlängen verschoben werden. Für die Produktion von Kraftstoffen findet eine niedrig-Temperatur Fischer-Tropsch Synthese statt, die bei ca. 200-240°C und 15-30 bar durchgeführt wird. Unerwünschte und kurzkettige Kohlenwasserstoffe wie Methan oder Butan, sowie Kohlenstoffdioxid werden aufgefangen und der RWGS zur erneuten Herstellung von Synthesegas zur Verfügung gestellt. Somit kann eine fast 100%ige Kohlenstoffausbeute erreicht werden.

Gleichzeitig wird die Abwärme der exothermen Synthesereaktion genutzt, um andere Schritte in der Synthese, bspw. das DAC oder die RWGS, zu unterstützen und somit Energie einzusparen.

Als Rohprodukte des Syntheseprozesses entstehen hauptsächlich unverzweigte Alkane und Alkene[5,1] und als Nebenprodukte Alkohole sowie iso-Alkane. Für die Kraftstoffherstellung sind vor allem die kurzkettigen Kohlenwasserstoffe erforderlich. Im Syntheseprozess machen diese bereits

einen Masseanteil von 30 bis 50% aus. Die langkettigen Kohlenwasserstoffe (>C_{25}) sind bei normaler Umgebungstemperatur fest und können als Wachse in der chemischen Industrie genutzt werden. Sie machen einen Masseanteil von 20 bis 50 Prozent aus, je nach Reaktionsbedingungen.

Um diese langkettigen Kohlenwasserstoffe ebenfalls für die Produktion von Kraftstoff nutzen zu können und den Anteil von Alkenen weiter zu reduzieren, bedarf es einer weiteren Nachbehandlung der vorliegenden Rohproduktion. Das Syn-Crude oder auch Rohöl wird im Beispiel der atmosfair-Anlage für die Weiterverarbeitung zur Raffinerie transportiert.

3.2.6 Hydrocracking & Destillation

Über Zugabe von Wasserstoff H_2 werden im anschließenden Prozess langkettige Kohlenwasserstoffe aufgebrochen, hydriert (d.h. die Doppelbindungen der Alkene wird aufgebrochen) und isomerisiert. Hierbei herrschen Reaktionsbedingungen von 325-375°C und 35 bis 70 bar. Durch Destillation kann anschließend der gewünschte Treibstoff aus dem Kohlenwasserstoffgemisch gewonnen werden.

3.2.7 Endprodukte

Das Endprodukt ist synthetisches Kerosin, das als sogenannter „drop-in" Kraftstoff den fossilen Kraftstoffen über eine Blending-Anlage beigemengt werden kann.

3.3 Modellierung und Simulation

Für diese Studie wird sowohl Wasserstoff wie auch Syn-Crude hinsichtlich der Produktion innovativer Treibstoffe im Flugverkehr betrachtet. Hierfür wurden die geplanten PV-Potenziale der Flugplätze zur Strombereitstellung für Wasserstoffelektrolyse (3.3.1) bzw. eine Elektrolyseanlage mit angeschlossenem Fischer-Tropsch-Reaktor untersucht (3.3.2).

3.3.1 Produktion von Wasserstoff im Kontext Flugplatz

Das Potenzial der Wasserstoffproduktion im Kontext Flugplatz wird am Beispiel einer Wasserelektrolyse mit Strombezug aus einer Freiflächen-PV-Anlage betrachtet. Dazu wird das Energiesystem wie in Abbildung 6 dargestellt modelliert.

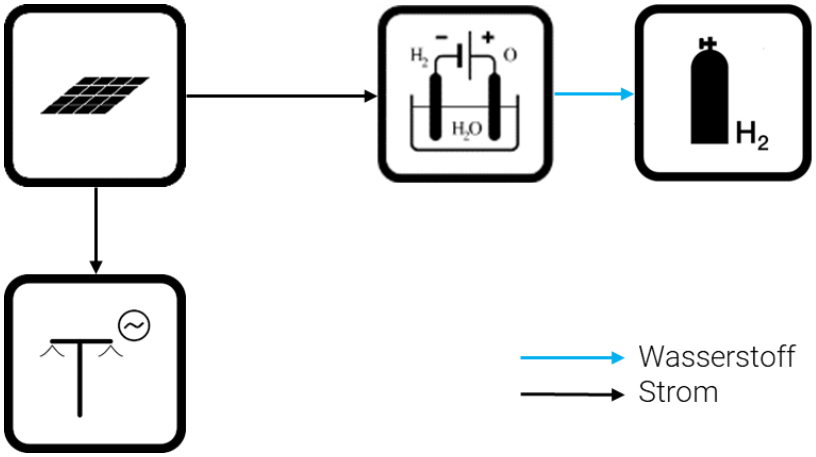


Abbildung 6 – Modell des Energiesystem zur Wasserstoffproduktion

Eine PV-Anlage wird auf den nutzbaren Freiflächen am Flugplatz konzipiert. Der produzierte Strom wird direkt in den Elektrolyseur geleitet und dort zur Wasserelektrolyse eingesetzt. Überschussstrom der PV-Anlage wird bei Bedarf ins Netz gespeist. Da die Weiterverarbeitung oder Verwendung des Wasserstoffs erst in der PtL-Produktion betrachtet werden und somit noch nicht genau definiert sind, wird im System ein theoretischer Speicher modelliert, der den produzierten Wasserstoff bei einem Druckniveau von 40 bar aufnimmt. In der Ergebnisauswertung werden entsprechend mögliche Anwendungsszenarien dargestellt. Das Betriebsverhalten des Elektrolyseurs wird als alkalische Bauweise mit einem Betriebsdruck von 40 bar modelliert.

Das Gesamtsystem wird beispielhaft für die Flugplätze Strausberg und Schönhagen modelliert und simuliert. Die Angaben der Flugplätze gehen von einer möglichen PV-Anlage mit einer maximalen Peakleistung von 9.520 kWp aus. Dabei ergibt sich mit dem entsprechenden Wetter- und Modul-Annahmen ein Energieertrag von 10.769.282 kWh pro Jahr. Die Leistungskurve der PV-Anlage ist Abbildung 7 zu entnehmen.

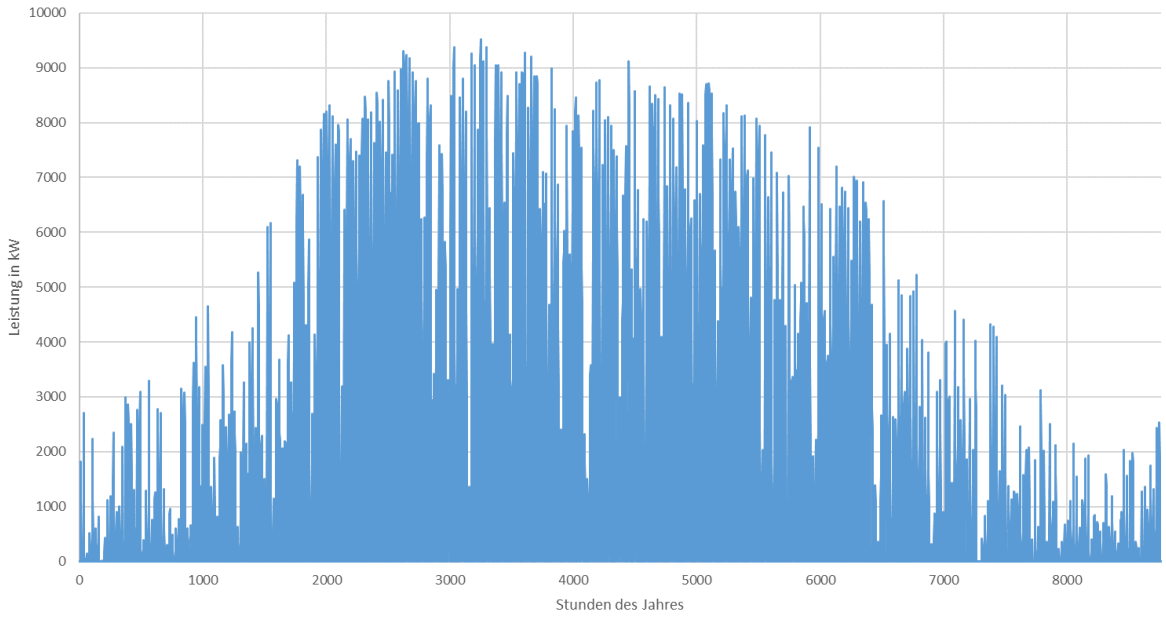


Abbildung 7 – Leistungskurve der modellierten Freiflächen-PV-Anlage am Flugplatz Strausberg

Mit diesen Randbedingungen lässt sich ein Elektrolyseur auslegen, der eine Wasserstoffproduktion mit reinem PV-Strom ermöglicht. Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Szenarien zur Auslegung der Elektrolysegröße betrachtet.

Ergebnis und Auswertung

Zur Einschätzung des Potenzials der Wasserstoffproduktion im Kontext Flugplatz werden zwei Szenarien präsentiert und ausgewertet.

In Szenario 1 wird die Elektrolysegröße in Hinblick auf die höchstmöglichen Volllaststunden bestimmt. Mit dem vorhanden Erzeugungsprofil der PV-Anlage (siehe Abbildung 7) ergibt sich dabei ein Elektrolyseur in der Leistungsklasse 500 kW. Die Volllaststunden liegen bei 3.443. Mit dieser Konfiguration ist die Produktion von ca. 30 t Wasserstoff pro Jahr möglich.

Zur Einordnung der Ergebnisse ist in Abbildung 8 das Leistungsprofil der PV-Anlage für die ersten Stunden des Jahres dargestellt. Theoretisch könnte ein Elektrolyseur ca. 8.700 Volllaststunden pro Jahr erreichen (8.760 Stunden eines Jahres abzüglich Wartungsarbeiten, etc.). Die maximale Volllaststundenzahl von 3.443 für das hier betrachtete System liegt weit darunter. Dies ist durch den reinen Strombezug aus der PV-Anlage erklärbar. Durch die fluktuierende Stromproduktion,

speziell die vorhandenen Nachtpausen, kann der Elektrolyseur nur in den Stunden mit einer vorliegenden Stromproduktion auch Wasserstoff produzieren. In den Wintermonaten, wie zum Beispiel die Januarwoche in Abbildung 8, liegt die maximale Stromproduktion dabei nur im Bereich bis maximal 3 MW. Da zu einigen Stunden die Leistung bis zum Bereich um 500 kW abfällt, wird ein Elektrolyseur so ausgelegt, dass er die meisten Stunden des Jahres mit Stromproduktion ausnutzen kann und damit auf voller Leistung Wasserstoff produziert. Die damit produzierte Menge an Wasserstoff ist allerdings nur ein Bruchteil der maximal möglichen Menge, wie Szenario 2 zeigt.

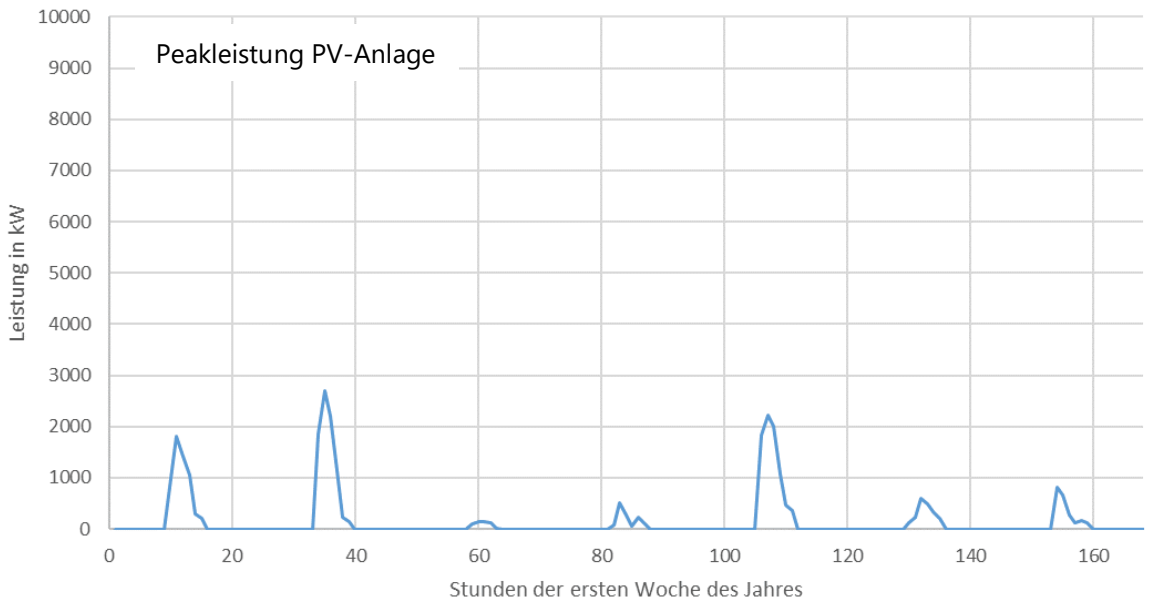


Abbildung 8 – Leistungskurve der PV-Anlage für die ersten Stunden des Jahres

Szenario 2 beschreibt das System, wenn die Leistungsklasse des Elektrolyseurs so ausgelegt wird, dass maximal viel Wasserstoff produziert wird, also kein PV-Strom ins Netz abgegeben werden muss. Für das beschriebene System liegt die entsprechende Leistung des Elektrolyseurs bei 9,5 MW. Die mögliche Wasserstoffproduktion erreicht damit 200 t Wasserstoff pro Jahr. Die Volllaststunden des Elektrolyseurs sinken dadurch auf 1.133 h pro Jahr.

Für die Kostenzusammenstellung werden für alle Komponenten Investitionskosten (CAPEX) und Betriebskosten (OPEX) angegeben. Daraus werden die Kennzahlen Stromgestehungskosten

(LCOE) abgeleitet. Die Investitionskosten werden als Annuität über die Lebensdauer der Komponente in EUR/Jahr angegeben. Die Komponentenkosten werden in Tabelle 1 dargestellt.

Werden die Annahmen für OPEX, Fremdkapitalzins und Lebensdauer nach der Fraunhofer ISE (2021)[7].Studie getroffen, entstehen für die hier angenommene Anlage Stromgestehungskosten von 5,5 Cent/ kWh.

Als Fremdkapitalzinssatz wurden 3 % angenommen. Es wird von einem 30-jährigen Betrieb der PV-Anlage und einem 22-jährigen Betrieb der Elektrolyseanlage ausgegangen. Für die verbleibenden vier Betriebsjahre der PV-Anlage wäre bspw. eine Einspeisung ins Netz denkbar, nimmt aber bei der hier angewendeten Annuitäten-Methode keinen Einfluss auf die Wasserstoffgestehungskosten.

Tabelle 1 – Komponentenkosten der Energiesysteme zur Wasserstoffproduktion

Komponente	**CAPEX in EUR/a**	**OPEX in EUR/a**	**CAPEX in €/kW**	**OPEX**
PV-Anlage	473.837	126.616	980	13,3 €/kW
Elektrolyseur 500 kW	26.755	16.739	840[8]	4% des CAPEX
Elektrolyseur 9,5 MW	718.844	318.052		

Nicht berücksichtigt wurden bei dieser Auslegung Kostenreduzierung der Elektrolyseanlage bei größer skalierten Anlagen. Dies könnte ggf. zu einem geringeren Wasserstoffpreis bei einer 9,5 MW Elektrolyseanlage führen. Die beiden Szenarien wurden hinsichtlich der Nutzung des PV-

[7] Fraunhofer ISE, „Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien", 2021, https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/presseinformationen/2021/studie-zu-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien-aufgrund-steigender-CO_2-kosten-den-konventionellen-kraftwerken-deutlich-ueberlegen.html.

[8] Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DRL), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), KBB Underground Technologies: Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck; gefördert durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Stuttgart, 5. Februar 2015; http://www.lbst.de/ressources/docs2015/BMBF_0325501_PlanDelyKaD-Studie.pdf

Stroms ausgewählt bzw. die Elektrolysegrößen dahingehend im Hinblick auf Kosten und Produktionsmengen optimiert.

Die Wasserstoffproduktionskosten sind durch die hohen Volllaststunden des Elektrolyseurs in Szenario 1 niedrig. Durch die Überdimensionierung des Elektrolyseurs in Szenario 2 steigen die Gestehungskosten um den Faktor 3,6.

Die Wasserstoffproduktion am Flugplatz mit einer Freiflächen PV-Anlage ist für die betrachteten Szenarien am Beispiel Flugplatz Strausberg möglich. Für das Energiesystem ist zusammenfassend zu sagen, dass die reine Nutzung von PV-Strom zur Wasserstoffproduktion nur mit hohen Volllaststunden des Elektrolyseurs zu günstigen Wasserstoffgestehungskosten führt. Für die bessere Auslastung des Elektrolyseurs in hohen Leistungsklassen (im Bereich 5 – 10 MW) zur maximalen Ausnutzung des PV-Stroms sollte in weiterführenden Betrachtungen der Einsatz von Batteriespeichern zur Zwischenspeicherung der elektrischen Energie untersucht werden.

3.3.2 PtL-Produktion

Die Potenzialabschätzung der PtL-Produktion erfolgt auf Grundlage einer vereinfachten Modellierung des PtL-Prozesses wie in Abbildung 5 dargestellt. Dazu wird der Prozess mit den wichtigsten Wirkungsgraden in der Simulation abgebildet. Zur Skalierung der Anlagenkomponenten wird auf vorhandene Daten der Pilotanlagen von atmosfair[9] und aus der Studie „Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe“ zurückgegriffen. Daraus lassen sich die Anlagenkennwerte in

[9] https://fairfuel.atmosfair.de/de/anlage-techn-details/

Tabelle 2 ableiten.

Tabelle 2 – Anlagenkennwerte für beispielhafte PtL-Anlagen

Studie/Anlage	**Input**	**Output**	**Umwandlungsfaktor Syn-Crude/H_2 (kg/kg)**
atmosfair FairFuel	H_2 – 18 kg/h CO_2 – 126 kg/h	Synthetisches Rohöl – 42 kg/h	2,28
Studie[10] Demonstrationsstrang	H_2 – 560 kg/h CO_2 – 3.950 kg/h	Synthetisches Rohöl – 1.130 kg/h	2,02
Studie[11] Forschungsstrang	H_2 – 5 kg/h CO_2 – 37 kg/h	Synthetisches Rohöl – 8 kg/h	1,6

Zur weiteren Analyse des PtL-Potenzials wird mit einem mittleren Umwandlungsfaktor von 2 kg PtL pro 1 kg Wasserstoff gerechnet. Zur PtL-Produktion wird außerdem 7,12 kg CO_2 für jedes eingesetzte Kilogramm Wasserstoff benötigt.

Ergebnisse und Auswertung

Aus den in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Beispielanlagen wird eine Abschätzung zum Produktionspotenzial von PtL vorgenommen.

In Szenario 1 kommt ein Elektrolyseur in der Leistungsklasse 500 kW zum Einsatz. Damit ist eine PtL-Produktion von 60.260 kg pro Jahr möglich. Neben dem Wasserstoff aus dem Elektrolyseur müssen dafür zusätzlich 429.051 kg CO_2 pro Jahr bereitgestellt werden.

Szenario 2 wird mit einem Elektrolyseur in der Leistungsklasse 9,5 MW betrachtet. Die Produktionskapazität für PtL liegt dann bei 400.000 kg pro Jahr. Daraus ergibt sich ein CO_2-Bedarf von 2.848.000 kg pro Jahr.

---

10 Arndt et al. (2021): „Abschlussbericht: Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe“

11 Ebd.

Diese Abschätzungen gehen von der Annahme aus, dass eine entsprechend dimensionierte Anlage zur PtL-Herstellung verfügbar ist.

Zur Einordnung der Anlagendimensionierung wird im Folgenden abgeschätzt, ob die betrachteten Beispielanlagen (siehe

Tabelle 2) in ihrer Größenordnung mit Wasserstoff vom Flugplatz Strausberg oder vom Flugplatz Schönhagen betrieben werden können.

Die atmosfair FairFuel Anlage benötigt 160 t Wasserstoff pro Jahr. Dies ist am Flugplatz Strausberg mit einem Elektrolyseur der Größenordnung 5 MW realisierbar. Dieser Elektrolyseur hat bei reinem PV-Strombezug eine Produktionskapazität von 165 t Wasserstoff pro Jahr. Die PtL-Anlage hat in dieser Konfiguration eine Produktionskapazität von ca. 365 t Syn-Crude pro Jahr.

Für die Forschungsanlage aus der Studie[12] werden 44 t Wasserstoff pro Jahr benötigt. Mit einem Elektrolyseur der Leistungsklasse 1 MW ist dies am Standort Strausberg möglich. Der Elektrolyseur hat dabei eine Produktionskapazität von 54 t Wasserstoff pro Jahr. In dieser Beispielanlage ist eine jährliche PtL-Produktion von ca. 70 t Syn-Crude möglich.

Da zu den vorliegenden Beispielanlagen nur wenige Kostenangaben vorhanden sind, wird in Kapitel 7.2 eine grobe Abschätzung der PtL-Kosten mit Literaturwerten vorgenommen.

[12] Arndt et al. (2021): „Abschlussbericht: Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe“

4 Blending

Die Beimischung des synthetischen Kerosins zu fossilem Kerosin wird als „Blending" (engl. Beimischung) bezeichnet. Auf die Anforderungen an das Blending-Produkt wird in 4.2 eingegangen. In 4.1 wird kurz auf die Praxis des Blending-Prozesses eingegangen.

4.1 Prozessbeschreibung

Der Prozess des Beimischens muss klaren technischen Spezifikationen folgen. Da von einer sukzessiven Zumischung ausgegangen werden muss, müssen die zusätzlichen Materialien, die für die Herstellung von Jet A-1 benötigt werden, zusätzlich vor Ort gelagert werden können. Für die Beimischung wird eine Fläche benötigt, die den Sicherheitsbestimmungen für Ein- und Auslagerung von fossilen Kraftstoffen gerecht wird, Lagermöglichkeiten wie z.B. Container, ein Tank mit Mischvorrichtung sowie die erforderliche Analytik, um die Einhaltung der Qualitätsanforderungen an das Produkt zu überprüfen. Für die Beimischung des synthetischen Kerosins können zwei Standortoptionen für die Herstellung des finalen Kraftstoffgemischs betrachtet werden:

1) das Blending erfolgt in einer dezentralen Anlage vor Ort,
2) das Blending erfolgt in einer Raffinerie,
    a. wo das synthetische Rohöl zur Weiterverarbeitung hin transportiert wurde, oder
    b. der produzierte Wasserstoff dorthin transportiert wurde, um dann in PtL-Produktion, sowie im Blending weiterverarbeitet zu werden.

Je nach Standort des Blendingprozesses werden auch die Bereitstellungskosten des Multiblends beeinflusst, da je nach Realisierung der Wertschöpfungskette Kosten wie bspw. Transport mit einbezogen werden müssen.

Dezentrale Blending-Anlage

Laut den Ergebnissen des Forschungsberichts zu Jet A-1 Multiblends aus dem Jahr 2019 waren zu dem Zeitpunkt der Studie keine Kerosintanks oder Container mit einer Mischvorrichtung auf dem Markt verfügbar [13]. Im Projektkontext wurde ein mehrfach gespülter Kugeltank mit einer Mischvorrichtung nachgerüstet. Von dem Bau einer neuen Blending-Anlage oder dem Umbau einer anderen Speichervorrichtung wurde aus Kosten- und Zeitgründen abgesehen.[14] Die Umrüstung bestehender Tanks könnte für eine dezentrale PtL-Anlage eine interessante Realisierungsoption sein. Hierbei sei aber darauf hingewiesen, dass der Genehmigungsprozess außerhalb eines F&E Projektes voraussichtlich mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist. Hinzu kommen die benötigten Lagerräume, sowie die Beschaffung der verschiedenen Komponenten, um die in 4.2 beschriebenen chemischen Eigenschaften zu erreichen.

Blending in einer Raffinerie

Da Blending-Anlagen eine gängige Anlagenkomponente von Raffinerien sind, ist die Weiterverarbeitung des produzierten synthetischen Rohöls (Syn-Crude) in vorhandenen Infrastrukturen naheliegend. An Standorten, wo potenziell auch fossiles Kerosin vorhanden ist, sind die benötigten Lagervorrichtungen sowie diverse andere Anlagen und Ressourcen zur vorschriftsmäßigen Herstellung von e-kerosin bereits vorhanden[15]. Das in der atmosfair-Anlage in Werlte produzierte Syn-Crude wird in der Raffinerie Heide weiterverarbeitet und dann als Multiblend zum Flughafen Hamburg geliefert. Als Beispiel wurden die Entfernungen zur PCK Raffinerie in Schwedt gemessen, ausgehend von den Flugplätzen Schönhagen und Strausberg. Während das Rohöl zwischen Werlte und der Raffinerie Heide (Standort Brunsbüttel) ca. 284 km transportiert werden muss, wäre z. B. die PCK Raffinerie vergleichsweise nah gelegen mit 174 km zum Flugplatz Schönhagen

---

13 Alle beim Umgang mit Jet A-1 oder dem Blending von Jet A-1 verwendeten Geräte und Materialien müssen nach den Vorschriften gem. EI JIG 1530 zugelassen und geprüft sein.

14 Bullerdiek, et al. (2019): Einsatz von Multiblend JET A-1 in der Praxis, Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Modellvorhaben der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie

15 DGMK-Forschungsbericht 815 „Herstellung treibhausgasreduzierter bzw. treibhausgasneutraler gasförmiger und flüssiger Energieträger und Brennstoffe“, DGMK e.V., Hamburg, 2021

und 80 km zum Flugplatz Strausberg. Die Raffinerie in Leuna der TotalEnergies wäre 156 km von Schönhagen entfernt und ca. 250 km von Strausberg. Mit geringeren Distanzen als im Projektbeispiel Werlte könnte der Transport zu diesen Raffinerien daher eine Alternative bieten zur Errichtung einer dezentralen Blending-Anlage.

Denkbar wäre auch der Transport des Wasserstoffs von den Flughäfen zur Raffinerie. Dies könnte dahingehend vorteilhaft sein, dass neben den bereits vorhandenen Infrastrukturen für das Blending ggf. auch die Fischer-Tropsch Synthese am Raffinerie-Standort durchgeführt werden könnte. CO_2-Punktquellen wären beispielsweise mit den Biogas-Anlagen der Firma Verbio in der unmittelbaren Umgebung des Standortes Schwedt und könnten eine weitere Einsparung von Emissionen und Kosten bedeuten.

4.2 Qualitätskonzept und Spezifikationskonformität

Kapitel 4.2 enthält Ausführungen zu den Spezifikationsanforderungen an synthetische PtL-Produkte auf Basis der Fischer-Tropsch-Technologie, so dass diese als Blendkomponenten in herkömmlichen Jetkraftstoffen eingesetzt werden können. Es wird auf die Spezifikationen ASTM D1655 und DEF STAN 91-091 Bezug genommen, die weltweit Gültigkeit besitzen und die Qualitäten von Turbinenkraftstoffen regeln. Dabei gelten für synthetische Kraftstoff-komponenten folgende grundlegende Voraussetzungen:

- Alle in der eigens dafür etablierten Spezifikation ASTM D7566 als eigener Anhang aufgeführten individuellen synthetischen Kraftstoffkomponenten sind in den beiden oben genannten Turbinenkraftstoffspezifikationen zugelassen.
- Die synthetische Blendkomponente darf nur bis zu einer maximalen Konzentration eingesetzt werden, die im jeweiligen Anhang von ASTM D7566 definiert ist. Im Falle von PtL beträgt die maximale Zumischung zu fossil-basiertem Jetkraftstoff aktuell 50 %.
- Die Anforderungen an den Einsatz und Gebrauch von Additiven sind für synthetische Kraftstoffkomponenten ebenfalls in ASTM D7566 beschrieben.

Somit stellt die Aufnahme einer synthetischen Kraftstoffkomponente in die Spezifikation ASTM D7566 die Grundvoraussetzung für den Gebrauch als Blendkomponente dar. Für den Fall einer

Kraftstoffkomponente, die neu ist beziehungsweise mit Hilfe eines neuen Herstellverfahrens oder eines alternativen Einsatzstoffes produziert wird, gelten die Richtlinien „Standard Practice for the Evaluation of New Aviation Turbine Fuels and Fuel Additives" nach ASTM D4054. Im Folgenden wird detailliert auf Qualitäts- und Spezifikationsanforderungen von PtL-Kraftstoffen eingegangen.

4.2.1 Anforderungen an synthetische PtL-Jetkomponenten

PtL-Kraftstoffe werden in der dafür zuständigen Norm ASTM D7566 unter dem Begriff FT-SPK-Komponenten geführt und deren geforderte Herstellung, Qualität und Eigenschaften im Anhang A1 beschrieben. Für die Herstellung gelten folgende Grundvoraussetzungen: Als Ausgangstoff muss sogenanntes ‚Synthesegas' verwendet werden. Dabei handelt es sich um eine Mischung aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff im Verhältnis 1:2 ($CO + 2\ H_2$). Das Synthesegas wird mit Hilfe von Eisen- oder Kobaltkatalysatoren im Fischer-Tropsch-Prozess zu einem ‚Syncrude'-Zwischenprodukt umgesetzt, welches noch adäquat mittels chemischer und physikalischer Prozesse aufgearbeitet werden muss. Dazu zählen je nach verwendetem Katalysator in der FT-Stufe sogenannte Hydroprocessing-Schritte wie Hydrocracking, Hydrierung oder Hydroisomerisierung. Abschließend muss noch eine Fraktionierung in die synthetischen Endkomponenten erfolgen. Diese Aufarbeitungstechnologien sind aus der gängigen Raffinerieverarbeitung bekannt und etabliert. Die derart hergestellten FT-SPK-Kraftstoffkomponenten dürfen unter Einhaltung der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Anforderungen einem fossil-basierten JET A-1- oder JET A-Turbinenkraftstoff mit maximal 50 Vol.-% beigemischt werden.

Für die reinen FT-SPK-Komponenten gelten die in ASTM D7566 Annex 1 aufgeführten Spezifikationsanforderungen. Dabei wird unterschieden, ob die Laborüberprüfungen der Spezifikationsparameter für jeden hergestellten Batch erfolgen müssen oder nur einmalig für die Charakterisierung notwendig sind. Zur erstgenannten Kategorie der zu prüfenden Parameter gehören Säurezahl, Siedekurve, Flammpunkt, Dichte, Gefrierpunkt, thermische Stabilität und der Einsatz von

Additiven. Die exakten Anforderungen inklusive der Grenzwerte bzw. -bereiche sowie der Test-methoden sind in Tabelle 3 [16] aufgeführt.

Tabelle 3 – ASTM D7566 Table A1.1 Detailed Batch Requirements; Fischer-Tropsch Hydroprocessed SPK

Property		FT-SPK	Test Method
COMPOSITION			
Acidity, total mg KOH/g	Max	0.015	D3242/IP 354
VOLATILITY			
Distillation – both of the following requirements shall be met:			
1. Physical Distillation			D86 or IP 123 or D7344 or D7345
Distillation temperature, °C			
10 % recovered, temperature (T10)	Max	205	
50 % recovered, temperature (T50)		report	
90 % recovered, temperature (T90)		report	
Final boiling point, temperature	Max	300	
T90-T10, °C	Min	22	
Distillation residue, percent	Max	1.5	
Distillation loss, percent	Max	1.5	
2. Simulated Distillation			D228/IP 406
Distillation temperature, °C			
10 % recovered, temperature (T10)		report	
50 % recovered, temperature (T50)		report	
90 % recovered, temperature (T90)		report	
Final boiling point, temperature		report	
Flash point, °C	Min	38	D56, D3828, IP 170 or IP523
Density at 15 °C, kg/m^3		730 to 770	D1298/IP 160, D4052 or IP 365
Freezing point, °C	Max	-40	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528 or D2386/IP 16
Thermal Stability (2.5 h at control temperature)			
Temperature, °C	Min	325	D3241/IP 323
Filter pressure drop, mm Hg	Max	25	
Tube rating: One of the following requirements shall be met:			
(1) Annex A1 VTR, VTR Color Code	Less than	3 no peacock or abnormal color deposits	
(2) Annex A2 ITR or Annex A3 ETR, nm avg over area of 2.5 mm^2	Max	85	
ADDITIVES			
Antioxidants, mg/L	Min	17	
	Max	24	

[16] ASTM D7566-20 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons

Bei der einmalig durchzuführenden Charakterisierung geht es im Wesentlichen um spezifizierte Grenzwerte für einzelne Stoffgruppen der FT-SPK-Zusammensetzung und um mögliche Verunreinigungen. Die exakten Anforderungen sind in Tabelle 4 [17] aufgeführt.

Tabelle 4 – ASTM D7566 Table A1.2 Other Detailed Requirements; Fischer-Tropsch Hydroprocessed SPK

Property		FT-SPK	Test Method
Hydrocarbon Composition			
Cycloparaffins, mass %	Max	15	D2425
Aromatics, mass %	Max	0.5	D2425
Paraffins, mass %		report	D2425
Carbon and Hydrogen, mass %	Min	99.5	D5291
Non-hydrogen Composition			
Nitrogen, mg/kg	Max	2	D4629/IP 379
Water, mg/kg	Max	75	D6304 or IP 438
Sulfur, mg/kg	Max	15	D5453 or D2622
Metals (Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Pd, Pt, Sn, Sr, Ti, V, Zn), mg/kg	Max	0.1 per metal	D7111 or UOP 389
Halogens, mg/kg	Max	1	D7359

In Bezug auf die Herstellung der reinen FT-SPK-Komponenten sind folgende Informationen wichtig. Bei der Auswahl der geeignetsten Prozesskette für die Aufarbeitung des FT-Syncrude-Produktes beziehungsweise der Durchführung der jeweiligen Prozessschritte (z.B. Hydro-cracking, Hydroisomerisierung) ist stets auf die Zusammensetzung der Zwischenprodukte zu achten. Je nach verwendetem FT-Katalysator können in der FT-Synthese neben den Hauptprodukten der n- und iso-Alkane auch Alkene und Alkohole entstehen. Alkene und Alkohole müssen in der Weiterverarbeitung auf jeden Fall restlos abgebaut werden, um die Qualität und Spezifikation des gewünschten Endproduktes der FT-SPK-Kraftstoffkomponenten zu erreichen. Neben der notwendigen Hydrocrack-Prozessstufe zum Einstellen der optimalen Kettenlänge ist gegebenenfalls ein Hydrier-/Hydroisomerisierungsschritt erforderlich, um einen genügend hohen Anteil i-Alkane zu erzeugen, so dass die geforderten Kälteeigenschaften der Jetkraftstoffkomponenten eingestellt werden können.

[17] ASTM D7566-20 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons

4.2.2 Anforderungen an Blends aus fossil-basierten und PtL-Jetkraftstoffen

Synthetische Kraftstoffkomponenten dürfen bisher nicht zu 100 % als Turbinenkraftstoff JET A oder JET A-1 eingesetzt werden. Es gelten gemäß ASTM D7566 Beimischungsgrenzen; bei Fischer-Tropsch-basierten FT-SPK-Produkten liegt die maximale Blendrate bei 50 Vol.-%. Es ist wichtig zu beachten, dass die tatsächlich erlaubte Beimischungsrate von der Qualität des jeweiligen Blends mit einem fossil-basierten JET A- oder JET A-1-Kraftstoff abhängt. Ein derartiger Blend muss stets alle in Tabelle 5 [18] aufgeführten Spezifikationsparameter erfüllen. Bereits die Abweichung eines Testparameters würde eine Änderung des erlaubten Mischungsverhältnisses von FT-SPK und fossil-basierten Jetkraftstoff bewirken. Ein derartiges Vorgehen basiert auf folgendem Grundprinzip: Erfüllt der jeweilige Kraftstoffblend die in ASTM D7566 Table 1 enthaltenen Spezifikationsanforderungen, so ist er technisch äquivalent als ein herkömmlicher Kraftstoff gemäß ASTM D1655 oder DEF STAN 91-091 anzusehen.

Tabelle 5 – ASTM D7566 Table 1 Detailed Requirements of Aviation Turbine Fuels Containing Synthesized Hydrocarbons – Part 1: Basic Requirements

Property		JET A or JET A-1	Test Method
COMPOSITION			
Acidity, total mg KOH/g	Max	0.10	D3242/IP 354
Aromatics: One of the following requirements shall be met:			
1. Aromatics, volume percent	Max	25	D1319 or IP 156
2. Aromatics, volume percent	Max	26.5	D6379/IP 436
Sulfur, mercaptan, mass percent	Max	0.003	D3227/IP 342
Sulfur, total, mass percent	Max	0.30	D1266, D2622, D4294, D5453 or IP 336
VOLATILITY			
Distillation			
Distillation temperature, °C			D86, D2887/IP 406, D7344, D7345, IP123
10 % recovered, temperature (T10)	Max	205	
50 % recovered, temperature (T50)		report	
90 % recovered, temperature (T90)		report	
Final boiling point, temperature	Max	300	
Distillation residue, percent	Max	1.5	
Distillation loss, percent	Max	1.5	
Flash point, °C	Min	38	D56, D3828, IP 170 or IP523
Density at 15 °C, kg/m^3		775 to 840	D1298/IP 160, D4052 or IP 365

[18] ASTM D7566-20 Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons

FLUIDITY			
Freezing point, °C	Max	-40 JET A -47 JET A-1	D5972/IP 435, D7153/IP 529, D7154/IP 528 or D2386/IP 16
Viscosity -20 °C, mm/s^2	Max	8.0	D445/IP 71, Section 1, D7042 or D7945
COMBUSTION			
Net heat of combustion, MJ/kg	Min	42.8	D4529, D3338, D4809 or IP 12
One of the following requirements shall be met:			
(1) Smoke point, mm, or	Min	25.0	D1322/IP 598
(2) Smoke point, mm, and	Min	18.0	D1322/IP 598
Naphthalenes, volume percent	Max	3.0	D1840
CORROSION			
Copper strip, 2 h at 100 °C	Max	No. 1	D130/IP 154
THERMAL STABILITY			
2.5 h at control temperature of 260 °C			D3241/IP 323
Filter pressure drop, mm Hg	Max	25	
Tube rating: One of the following requirements shall be met:			
(1) Annex A1 VTR, VTR Color Code	Less than	3 no peacock or abnormal color deposits	
(2) Annex A2 ITR or Annex A3 ETR, nm avg over area of 2.5 mm^2	Max	85	
CONTAMINANTS			
Existent gum, mg/100 mL	Max	7	D381/IP 540
Microseparometer, Rating			D3948
Without electrical conductivity additive	Min	85	
With electrical conductivity additive	Min	70	
ADDITIVES			
Electrical conductivity, pS/m		See 6.3 in D7566	D2624/IP 274

Tabelle 6 – ASTM D7566 Table 1 Detailed Requirements of Aviation Turbine Fuels Containing Synthesized Hydrocarbons – Part 2: Extended Requirements

Property		JET A or JET A-1	Test Method
COMPOSITION			
Aromatics: One of the following requirements shall be met:			
1. Aromatics, volume percent	Min	8	D1319 or IP 156
2. Aromatics, volume percent	Min	8.4	D6379/IP 436
VOLATILITY			
Distillation			D2887/IP 406 or D86 or IP123 orD7344 or D7345
T50-T10, °C	Min	15	
T90-T10, °C	Min	40	
LUBRICITY			
Lubricity, mm	Max	0.85	D5001

Bei Inbetriebnahme und ersten Produktionsläufen einer Fischer-Tropsch-Synthese- und Aufarbeitungsanlagen werden die Produktqualitäten in der Regel nicht gleich erreicht. Für die Einfahrzeit wird daher empfohlen, nicht stets die oben genannte Gesamtanalytik durchzuführen, sondern ein effizientes Screeningtestprogramm zu etablieren. Sinnvolle Tests für FT-SPK-Komponenten beziehungsweise fertige JET A- oder JET A-1-Kraftstoffblends sind:

- <u>für FT-SPK-Komponenten:</u> Dichte, Gefrierpunkt, Siedeanalyse, thermische Stabilität (JFTOT) und GC x GC
- <u>für Kraftstoffblends:</u> Dichte, Gefrierpunkt, Flammpunkt, Tieftemperaturviskositäten (-20 °C und -40 °C, Siedeanalyse, thermische Stabilität (JFTOT), Abdampfrückstand, Schmierfähigkeit und gegebenenfalls GC x GC

Am besten werden solche qualitäts- und spezifikationsrelevanten Produkteigenschaften vor Ort überprüft. Ist dies nicht möglich, sind in Deutschland beispielsweise folgende auf Kraftstoffanalytik und -freigaben spezialisierte und akkreditierte Labore für die Durchführung von externen Analysen zu nennen: ASG Analytik-Service AG in Neusäß, Intertek Holding Deutschland GmbH in Hamburg, Petrolab GmbH und SGS Germany GmbH, beide in Speyer.

4.2.3 Ausblick auf höherprozentige Blends und 100 %igen Einsatz von PtL

Wie in den Kapiteln 4.2.1 und 4.2.2 erwähnt, sind alle Beimischungen von synthetischen Jet-Kraftstoffkomponenten, also auch PtL- d.h. FT-SPK-Kraftstoffe, derzeit auf maximal 50 Vol.-% oder darunter limitiert. Das Interesse seitens der Luftfahrtgesellschaften ist groß, zukünftig SAF auch zu 100 % ohne die Beimischung von fossil-basierten Kraftstoffen einsetzen und fliegen zu können. Dazu wurde im Frühjahr 2021 eine ASTM Task Force Group unter Leitung von GE Aviation und Boeing etabliert, die die notwendigen Voraussetzungen und Anforderungen an den Einsatz von 100 % SAF prüfen und definieren soll. Die Arbeiten innerhalb der ASTM wurden aufgenommen; zusätzlich gab es im Jahr 2021 bereits einige Demonstrationsflüge mit 100 % SAF. Es ist momentan noch nicht abzusehen, wann es neue Regulierungen zu diesem Thema geben wird.

Aus technischer und qualitätsbezogener Sicht müssen alle Einflüsse auf bereits spezifizierte Parameter evaluiert und etwaige Abweichungen auf ihre Relevanz für die Sicherheit festgestellt und eingeordnet werden. Auf Basis der heutigen Erfahrungen mit SAF sowie speziell mit PtL-Kraftstoffen müssen vor allem die Auswirkungen bei den Eigenschaften Dichte, Tieftemperatureigenschaften (wie z. B. Gefrierpunkt sowie Fließverhalten bei Temperaturen zwischen -20 und -40 °C), Schmierfähigkeitseigenschaften der Kraftstoffe, Materialverträglichkeit (z.B. auf Kraftstoffdichtungen wegen des Fehlens von Aromaten) und gegebenenfalls Flammpunkt eingehend untersucht und bewertet werden.

5 Rechtsrahmen: Machbarkeit, Hemmnisse und Anreize

5.1 Identifizierung maßgeblicher Normenwerke

Im folgenden Kapitel werden zugrunde liegende rechtliche Grundlagen untersucht. Dies betrifft bauplanungsrechtliche Aspekte hinsichtlich der Photovoltaik- und Elektrolyse-Anlagen nach dem BauGB, der Brandenburgischen Bauordnung sowie dem BImSchG. Zudem ist der Rechtsrahmen der Elektrolyse und der Synthese u. a nach Vorschriften des EnWG und des EEG 2021 einschlägig. Hinsichtlich der Zertifizierung des fertigen Produkts wird die ASTM-Zertifizierung sowie Chemikalien- und Zollrechtliche Vorgaben untersucht.

5.2 Rechtliche Rahmenbedingungen: Bereitstellung des EE-Stroms

5.2.1 Lokale Stromerzeugung

Die hier beschriebenen Konzepte sehen eine dezentrale Energieversorgung vor. Die Stromversorgung der Anlage soll mittels einer Freiflächen-Photovoltaik-Anlage realisiert werden. Daher werden im Folgenden die rechtlichen Anforderungen an den Bau einer solchen Anlage dargelegt.

5.2.2 Bau-/Planungsrechtliche Zulässigkeit

Zur Errichtung von Solaranlagen kann je nach Standort und Größe der Anlage eine Baugenehmigung erforderlich sein.

<u>Innenbereich</u>

Handelt es sich um den beplanten und unbeplanten Innenbereich, sind die Anlagen nach §§ 30, 34 BauGB[19] zu beurteilen. Für den beplanten Innenbereich sind die Festsetzungen über die Art der baulichen Nutzung (§ 2-14 BauNVO[20]) als Bestandteile des Bebauungsplans und gem. §§ 30, 34 BauGB für den unbeplanten Innenbereich zu beachten.

---

[19] Baugesetzbuch (BGBl. I S. 2414 zuletzt geändert durch das Gesetz vom 10.09.2021 (BBGBl. I S. 4147).- BauGB.

[20] Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke (Baunutzungsverordnung – BauNVO)

Außenbereich

Die Zulässigkeit eines Vorhabens im Außenbereich richtet sich nach § 35 BauGB. Der Außenbereich umfasst im Umkehrschluss alle Flächen, die sich nicht im beplanten oder unbeplanten Innenbereich befinden. Ein Bauvorhaben ist hier nur ausnahmsweise zulässig, § 35 Abs.1 BauGB. Unterschieden wird zwischen privilegierten (§ 35 Abs. 1) und sonstigen Vorhaben (§ 35 Abs. 2 BauGB).

Freiflächen-Photovoltaikanlagen einer gewissen Größe unterfallen nicht der Privilegierung nach § 35 Abs. 1 Nr. 8 BauGB. Sie ist als sonstiges Vorhaben gem. § 35 Abs. 2 BauGB zu qualifizieren. Daher benötigen Anlagen in diesem Fall einen Bebauungsplan als „Sondernutzung".

In Brandenburg sind gebäudeunabhängige Solaranlage mit einer Höhe bis zu 3 Meter und einer Gesamtlänge von bis zu 9 Metern von einer Baugenehmigung befreit, § 61 Abs. 1 Nr. 3 b. Brandenburgische Bauordnung (BbgBO).

Da die geplanten Photovoltaik-Anlagen größer sind, sind diese genehmigungspflichtig. Die Genehmigung richtet sich nach § 72 Abs. LBauOBB. In formeller Hinsicht ist dazu bei der zuständigen Behörde ein Antrag zu stellen, § 68 Abs. 1BbgBO.

Das Vorhaben muss zudem genehmigungsfähig sein. Dies ist es, wenn keine öffentlich-rechtlichen Vorschriften entgegenstehen, § 72 Abs. 1 BbgBO. Dies sind insbesondere Vorschriften des Bauplanungsrechts.

Maßgebliche Instrumente im Planungsrecht sind dabei der Flächennutzungs- und der Bebauungsplan. Der Flächennutzungsplan wird für das gesamte Gemeindegebiet aufgestellt und trifft allgemeine Vorgaben zur jeweiligen Bodennutzung. Man spricht in diesem Zusammenhang auch vom vorbereitenden Bauleitplan (§ 1 Abs. 2 BauGB). Diese Vorgaben werden durch die Bebauungspläne weiter konkretisiert und verbindliche Nutzungsarten festgelegt. In der Regel muss bei Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen eine Fortschreibung des Flächennutzungsplans durchgeführt werden. Die Behörde kann hier verschiedene Belange in die Abwägung einstellen. Darunter fallen z. B. Natur- und Landschaftsschutz.

5.2.3 Verteilung des Stroms

In Betracht kommt die Verteilung des in der Photovoltaik-Anlage erzeugten Strom mittels Direktleitung oder gar Eigenversorgung. Alternativ kann Strom aus dem Netz der allgemeinen Versorgung bezogen werden.

Direktleitung

Eine Direktleitung ist eine Leitung, die einen einzelnen Produktionsstandort mit einem einzelnen Kunden verbindet, oder eine Leitung, die einen Elektrizitätserzeuger und ein Elektrizitätsversorgungsunternehmen zum Zwecke der direkten Versorgung mit ihrer eigenen Betriebsstätte, Tochterunternehmen oder Kunden verbindet, (...), § 3 Nr. 12 Energiewirtschaftsgesetz (EnWG). Dabei kann weiter unterschieden werden zwischen der Drittversorgung und der Eigenversorgung.

Drittversorgung

Nach § 3 Nr. 12 1. Alt. EnWG versorgt ein Dritter den Stromverbraucher über eine Leitung mit Strom. In dieser Alternative besteht hinsichtlich Erzeuger und Verbraucher mithin Personenverschiedenheit. Die Leitung erfolgt direkt, das heißt, sie ist nicht an einen unbestimmten Personenkreis gerichtet.

Eigenversorgung

In Betracht kommt zudem eine Eigenversorgung. Eigenversorgung ist der Verbrauch von Strom, den eine natürliche oder juristische Person im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit der Stromerzeugungsanlage selbst verbraucht, wenn der Strom nicht durch ein Netz durchgeleitet wird und diese Person die Stromerzeugungsanlage selbst betreibt, § 3 Nr. 19 EEG 2021. Mithin besteht hier Personenidentität zwischen Betreiber und Verbraucher. Hinzu kommt als wesentliches Merkmal der unmittelbare räumliche Zusammenhang. Auf die Eigentümerstellung der Stromerzeugungsanlage kommt es nicht an, § 3 Nr. 2 EEG 2021, da auf die Nutzung der Anlage abgestellt wird. Damit können auch Mieter oder Pächter einer Anlage „Anlagenbetreiber" sein. Was unter „unmittelbarem Zusammenhang" zu verstehen ist, ist nicht näher konkretisiert. Nach dem Leitfaden zur Eigenversorgung der BNetzA liegt ein unmittelbarer räumlicher Zusammenhang vor, wenn eine geringe räumliche Entfernung oder unmittelbare Umgebung zwischen der

Stromerzeugungsanlage und der Verbrauchsstelle besteht.[21] Betreiben die Flugplatzgesellschaft die Anlagen selbst, kann vorliegend davon ausgegangen werden, dass dieses Merkmal erfüllt wäre. An die Eigenversorgung sind bestimmte Privilegierungen bei den Stromnebenkosten geknüpft.

Exkurs: Eigenversorgung nach der RED II

Die RED II greift erstmalig den Begriff der Eigenversorgung auf. Da die Eigenversorgung an Bedeutung gewinnt, soll der Begriff der Eigenversorgung europarechtlich definiert und der zulässige Rechtsrahmen abgesteckt werden, vgl. ErwG. 66 RL 2018/2001/EU. Eigenversorger im Bereich erneuerbare Elektrizität meint demnach einen Endkunden, der an Ort und Stelle innerhalb definierter Grenzen oder, sofern die Mitgliedstaaten das gestatten, an einem anderen Ort für seine Eigenversorgung erneuerbare Elektrizität erzeugt und eigenerzeugte erneuerbare Elektrizität speichern oder verkaufen darf, sofern es sich bei diesen Tätigkeiten — im Falle gewerblicher Eigenversorger im Bereich erneuerbare Elektrizität — nicht um die gewerbliche oder berufliche Haupttätigkeit handelt, Art. 2 Nr. 14 RED II. Die bisherigen nationalen Regelungen zur Eigenversorgung weichen von dieser Begriffsdefinition ab, sodass es zu Anpassungen kommen wird. Insbesondere die Personenidentität und der räumliche Zusammenhang sind hiervon betroffen. Ausdrücklich liegt eine Eigenversorgung im unionsrechtlichen Sinne auch vor, wenn ein Dritter die Erzeugungsanlage betreut und lediglich unter der Weisung des Eigenversorgers steht, vgl. Art. 21 Abs. 5 RED II. Auch der Begriff „der Ort und Stelle" sowie die Öffnung zu weiterreichenden Regelungen der Mitgliedsstaaten lassen Änderungen des bisher im EEG geltenden engen räumlichen Zusammenhangs erwarten.

<u>Netzstrombezug</u>

Die Anlagen können ebenfalls Strom über das allgemeine Netz beziehen (Netzstrombezug). Ein Netz bezeichnet die Gesamtheit der miteinander verbundenen technischen Einrichtungen zur Abnahme, Übertragung und Verteilung von Elektrizität für die allgemeine Versorgung, § 3 Nr. 35 EEG 2021. Das EnWG unterscheiden zwischen Energieversorgungsnetzen und Netzen der

[21] BNetzA (2016) Leitfaden zur Eigenversorgung.

allgemeinen Versorgung. Energieversorgungsnetze sind Elektrizitätsversorgungsnetze über eine oder mehrere Spannungsebenen mit Ausnahme von Kundenanlagen, § 3 Nr. 16 EnWG.

Energieversorgungsnetze der allgemeinen Versorgung sind Energieversorgungsnetze, die der Verteilung von Energie an Dritte dienen und von ihrer Dimensionierung nicht von vornherein nur auf die Versorgung bestimmter, schon bei der Netzerrichtung feststehender oder bestimmbarer Letztverbraucher ausgelegt sind, sondern grundsätzlich für die Versorgung jedes Letztverbrauchers offenstehen, § 3 Nr. 17 EnWG.

Mischbezug

Die dargestellten Bezugsformen sind nicht ausschließlich. Ein Stromverbraucher kann zusätzlich zu einer (oder mehreren) Direktleitungen ans Netz der allgemeinen Versorgung angeschlossen sein. Ein Mischbezug ist durchaus möglich. Dies könnte relevant werden, wenn der in der Photovoltaik-Anlage erzeugte Strom nicht ausreichend ist, den Bedarf der PtL-Produktion zu bedienen (etwa aufgrund von wenig Sonnenstunden). Jedoch ergeben sich aus dem Mischbezug aufgrund der abweichenden Regelungen der Netze und Leitungen ggf. nicht gewünschte Folgen.

5.2.4 Regionale Stromversorgung

Primäres Ziel des Vorhabens ist eine eigenständige und unabhängige Stromversorgung des Flugplatzes mit erneuerbarer Energie aus den vor Ort errichteten Anlagen. Aufgrund der Volatilität der Energieversorgung durch die EE-Anlagen ist eine Kopplung mit der regionalen Stromversorgung jedoch erforderlich. So können überschüssige Strommengen in die lokalen Netze eingespeist und zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit wiederum Strom aus dem Netz bezogen werden.

Einspeisung von Überschussstrom

Übersteigt der von den EE-Anlagen erzeugte Strom den Bedarf des Flugplatzes, kann der Teil, der nicht für die Wasserelektrolyse verwendet wird, in der Region eingesetzt werden. Grundsätzlich kann dies auf zwei Arten erfolgen. Zum einen kann der Überschussstrom in das allgemeine Versorgungsnetz eingespeist werden. Zum anderen besteht auch die Möglichkeit, den Strom über

Direktleitungen zu anderen regionalen Anlagen zu leiten. In diesem Fall stünde den Anlagenbetreibern eine Einspeisevergütung gem. §§ 19 Abs. 1 Nr. 2, 21 Abs. 1 EEG 2021 nicht zu.

Dieser Fall wird nicht weiter betrachtet, da die Menge des erzeugten Stroms wohl zur Deckung des Bedarfs am Flugplatz selbst vorrangig ist.

Bezug von regionalem Strom

Ist ein Bezug von Strom aus der Region für das Betreiben des Flugplatzes erforderlich, muss berücksichtigt werden, dass der bezogene Strom seinerseits aus erneuerbaren Energiequellen stammt, denn dies ist Voraussetzung für die Erzeugung von grünem Wasserstoff. Als Bezugsmöglichkeiten kommen auch hier ein Anschluss mittels Direktleitung sowie ein Anschluss an das Versorgungsnetz in Betracht.

5.2.5 Weitergabe der grünen Eigenschaft

Von wesentlicher für die geplante Erzeugung von grünem Wasserstoff ist die Frage, ob die „grüne" Eigenschaft des erneuerbaren Stroms an andere Sektoren, hier insbesondere den Verkehrssektor, weitergegeben werden kann.[22]

Es besteht die Besonderheit, dass der Stromhandel losgelöst von der physikalischen Ein- bzw. Ausspeisung bzw. der Transport zu betrachten ist, da die gehandelt Strommenge – beim Netzstrombezug – physikalisch nicht der Strommenge entspricht, die tatsächlich geliefert wird. Mit der Einspeisung ins Stromnetz wird der gehandelte Strom mit anderen Strommengen vermischt, mithin färbt sich auch „grüner" Strom aus erneuerbaren Energien „grau". Dies hat die Folge, dass dem Verbraucher bei Netzstrombezug nur „grauer" Strom geliefert wird, selbst wenn der Energieversorger nur erneuerbaren Strom produziert oder vermarktet.

Grundsätzlich kann daher nur bei dem direkten physikalischen Bezug von Strom aus erneuerbaren Energien ohne Netznutzung als „grüner" Strom angesehen werden und die dekarbonisierende Eigenschaft an andere Sektoren weitergegeben werden. Wird bei der Elektrolyse Strom aus

[22] Weitergabe meint z. B die Nutzung im Hinblick auf Quotenverpflichtungen im Verkehrs- oder auch im Wärmebereich.

dem öffentlichen Stromnetz genutzt, hat dieser physikalisch die Qualität, die zum Zeitpunkt der Entnahme im Netz bestand (Strommix).

Bei Netzstrombezug fehlt bislang die Möglichkeit der bilanziellen Weitergabe der grünen Eigenschaft. Es gibt jedoch erste Ansätze, sich von den engen Voraussetzungen des direkten Strombezugs zu lösen. So kann etwa nach § 3 Abs. 2 S. 3 Nr. 2 37 BImSchG aus Wasserelektrolyse hergestellter Wasserstoff trotz Graustrombezugs zur Erfüllung der Kraftstoffquotenverpflichtungen genutzt werden. Die 37. BImSchG regelt die Anrechenbarkeit strombasierter Kraftstoffe auf Treibhausgasminderungsvorgaben des & 37a BImSchG. Zum Einsatz von Wasserstoff im Verkehr zählt die Einordnung als erneuerbarer Kraftstoff nicht biogenen-Ursprung i. S. d Art. 2 Nr. 36 RED[23] II. Diese erneuerbaren Kraftstoffe können bei der Berechnung des Mindestanteils an erneuerbaren Energien im Verkehrssektor auch berücksichtigt werden, wenn sie als Zwischenprodukt im Rahmen der Herstellung konventioneller Kraftstoffe eingesetzt werden, vgl. Art. 25 Abs. 1 UAbs.3 lit. a RED II.

Power Purchase Agreements

Die Versorgung des Elektrolyseurs mit erneuerbarem Strom kann über sog. Power Purchase Agreements (PPA) gewährleistet werden.[24] Ein PPA ist ein langfristig angelegter Stromliefervertrag zwischen Unternehmen. In Betracht kommen Verträge zwischen Erzeuger und Stromhändler (Utility-PPA) oder direkt zwischen Erzeuger und Verbraucher (Corporate-PPA).

In einem PPA werden die zwingenden Vertragsinhalte individuell ausgestaltet. Dies betrifft etwa die Menge des gelieferten Stroms, die Dauer der Lieferung oder den Preis. Auch die Weitergabe von Herkunftsnachweisen, der Beleg der grünen Eigenschaft des Stroms oder eines bestimmten regionalen Bezugs kann in einem PPA festgelegt werden.

---

23 RED II: Renewable-Energy-Directive II; Richtlinie EU (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates, 11. Dezeber 2018 zur Förderung der Nutzung von Energien aus erneuerbaren Quellen.

24 PPA: Vertrag über den Bezug von erneuerbarem Strom einen Vertrag, bei dem sich eine natürlich oder juristische Person bereit erklärt, unmittelbar von einem Elektrizitätsproduzenten erneuerbare Energien zu beziehen, Art. 2 Nr. 17 RED II.

Hinsichtlich der Strombezugsoptionen ist zwischen off-site-PPA und on-site PPA zu unterscheiden. Bei einem off-site PPA unter Nutzung des Netzes der allgemeinen Versorgung wird ggf. für die Bilanzkreisabwicklung ein externer Dienstleister zwischengeschaltet. Bei einem on-site PPA über eine Direktleitung errichtet der Anlagenbetreiber die Erzeugungsanlage auf dem Grundstück oder in der unmittelbaren Umgebung des Stromabnehmers oder zumindest in der Umgebung.[25] PPAs können als Alternative zur EEG-Förderung gesehen werden.

5.3 Rechtliche Rahmenbedingungen: Wasserstofferzeugung

5.3.1 Erzeugung

Zur Erfüllung der klimapolitischen Ziele wird insbesondere dem Einsatz von grünem Wasserstoff[26] eine bedeutsame Rolle zugeschrieben. Die rechtlichen Rahmenbedingungen auf nationaler und europäischer Ebene sind daher entscheidend für den zügigen Markthochlauf der grünen Wasserstoffherstellung.

Allerdings ist derzeit unklar, unter welchen Bedingungen Wasserstoff aus Elektrolyseanlagen als „grün" anerkannt wird. In der Richtlinie zu Erneuerbaren Energien (RED II)[27] und im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG 2021)[28] sind lediglich Rahmenbedingungen zum Bezug von Strom aus erneuerbaren Energien definiert, die durch nachgelagerte Rechtsakte auszugestalten sind.

Neben den Grünstromkriterien stellen die höheren Preise von strombasiertem Wasserstoff – bedingt durch die Strombezugskosten in Deutschland – im Vergleich zu Wasserstoff, der mit fossilen

---

25 Stiftung Umweltenergierecht (2018): Rechtliche Bewertung von Power Purchase Agreements (PPAs) mit erneuerbaren Energien, S.5.

26 Vgl. zur farblichen Einordnung m.w.N. Schäfer-Stradowsky/Kalis (2019): Die bunte Welt des Wasserstoffs, in: EW – Magazin für die Energiewirtschaft, Heft 9, S. 10-13.

27 Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Text von Bedeutung für den EWR.)

28 Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (ErneuerbareEnergien-Gesetz – EEG 2021)

Energien erzeugt wird, eine erhebliche Herausforderung für den Aufbau einer deutschen grünen Wasserstoffwirtschaft dar.

Um den raschen Ausbau der Produktionskapazitäten für grünen Wasserstoff voranzutreiben, sind auch die bauplanungsrechtlichen und immissionsschutzrechtlichen Anforderungen zu vereinfachen und die entsprechenden Genehmigungsverfahren zu beschleunigen.

5.3.1.1 Bau-/Planungsrechtliche Zulässigkeit

Ein Kriterium für die Standortentscheidung ist die Frage, ob das Vorhaben nach Art und Umfang an einem bestimmten Standort erlaubt/zulässig ist (bauplanungsrechtliche Zulässigkeit). Bestehen diesbezüglich Unsicherheiten, kann der Vorhabenträger einen Bauvorbescheid beantragen, um die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit zu prüfen. Dessen Prüfung richtet sich nach dem einschlägigen Landesrecht, für die Standorte Schönhagen und Strausberg ist daher § 75 der Brandenburgischen Bauordnung (BbgBO) maßgeblich.

Um die bauplanungsrechtliche Zulässigkeit der Elektrolyseanlage zu beurteilen sind zunächst drei Fälle zu unterscheiden:

Vorhaben im Geltungsbereich eines Bebauungsplans

In diesen Fall liegt ein qualifizierter oder vorhabenbezogener Bebauungsplan vor. Nach § 30 des Baugesetzbuches (BauGB)[29] wird das Vorhaben dann zulässig sein, wenn es den Festsetzungen im Bebauungsplan nicht widerspricht und die Erschließung gesichert ist.

Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile

In diesem Fall liegt nur ein einfacher Bebauungsplan oder kein Bebauungsplan vor. Das Vorhaben ist vereinfacht zusammengefasst zulässig, wenn es sich nach Art und Maß der baulichen Nutzung in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt und die Erschließung gesichert ist. Die gesetzlichen Anforderungen sind etwas konkreter in § 34 BauGB festgelegt.

[29] Baugesetzbuch (BauGB)

Die PtG-Anlagen sind in der Regel in Industriegebieten zulässig, allerdings können sie in Gewerbegebieten eingeschränkt sein.[30]

<u>Vorhaben im Außenbereich</u>

Grundsätzlich ist vorgesehen, dass der Außenbereich von Bebauung weitestgehend freigehalten wird, um eine Zersiedelung zu verhindern und ihn zu schonen. Ein Bauvorhaben kann in Sonderfällen im Außenbereich zulässig sein. Das Vorhaben ist vereinfacht zusammengefasst zulässig, wenn das Vorhaben nach § 35 Abs. 2 BauGB privilegiert ist und öffentlichen Belangen nicht entgegenstehen sowie die Erschließung gesichert ist.

Beispielsweise können PtG-Anlagen privilegiert werden, wenn die der Erforschung, Entwicklung oder Nutzung der Wind- oder Wasserenergie dienen, § 35 Abs. 1 Nr. 3 BauGB oder wenn sie der öffentlichen Versorgung mit Gas dienen, § 35 Abs. 1 Nr. 3.

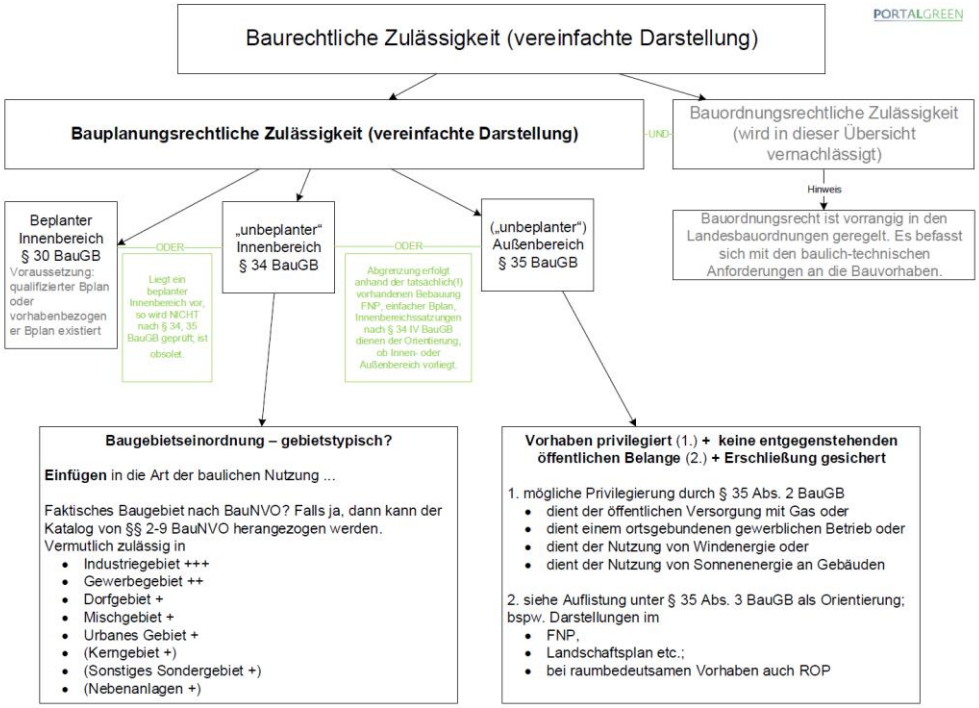


Abbildung 9 – Baurechtliche Zulässigkeit (Quelle: Portal Green 2020)

[30] Barbara Fricke, DVGW et al., Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen, 2020

5.3.1.2 Immissionsschutzrechtliche Genehmigung

Durch die Errichtung und den Betrieb von Anlagen wie Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff aus Wasser können schädliche Einwirkungen für die Umwelt und Umgebung, z. B. aufgrund von Lärmemissionen, Störfällen oder der Eigenschaften der Produkte Wasserstoff und Sauerstoff, auftreten.

Um diese Beeinträchtigungen vor der behördlichen Genehmigung zu erfassen und zu minimieren, hat der Gesetzgeber Vorschriften zum Schutz der Allgemeinheit, der Nachbarschaft, der Beschäftigten und Dritten erlassen. Im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)[31] und in der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV)[32] ist geregelt, welche Anlagen nach dem BImSchG genehmigungsbedürftig sind. Für Elektrolyseure zur Wasserstofferzeugung ist im Anhang 1 der 4. BImSchV kein eigener Genehmigungstatbestand vorgesehen.

Auf Grundlage eines Beschlusses des Ausschusses „Anlagenbezogener Immissionsschutz / Störfallvorsorge“ (AISV) der Länderarbeitsgemeinschaft Immissionsschutz (LAI), gefasst auf seiner 139. Sitzung im Juli 2017, dass Elektrolyseanlagen zur Herstellung von Wasserstoff der Ziffer 4.1.12 des Anhangs 1 der 4. BImSchV zuzuordnen seien, verhält sich die behördliche Praxis entsprechend. [33]

Elektrolyseure zur Erzeugung von Wasserstoff aus Wasser sind in der Spalte für die Verfahrensart mit einem "G" gekennzeichnet und sind daher, unabhängig der Leistung der Anlagen, in einem förmlichen Verfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung nach § 10 BImSchG zu genehmigen.

---

[31] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG)

[32] Vierte Verordnung zur Durchführung des BundesImmissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV)

[33] Landesverband Erneuerbare Energien Schleswig-Holstein (LEE SH) (2019)

Tabelle 7 – Einordnung von Elektrolyseuren in der 4. BImSchV

Nr.	Anlagenbeschreibung	Verfahrensart	Anlagen gemäß Art. 10 der IE-RL
4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung		
4.1	Anlagen zur Herstellung von Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische, biochemische oder biologische Umwandlung in industriellen Umfang, […], zur Herstellung von		
4.1.12	Gasen wie Ammoniak, Chlor und Chlorwasserstoff, Fluor und Fluorwasserstoff, Kohlenstoffoxiden, Schwefelverbindungen, Stickstoffoxiden, Wasserstoff, Schwefeldioxid, Phosgen	G	E

Darüber hinaus fallen Elektrolyseure zur Wasserstoffherstellung unter den Anwendungsbereich der Industrieemissionsrichtlinie (IE-Richtlinie).[34] Die 4. BImSchV ist mit der Auflistung aus der IE-Richtlinie harmonisiert und Anlagen, für die die IE-Richtlinie anzuwenden ist, sind im Anhang 1 der 4. BImSchV mit einem „E" gekennzeichnet. Für diese Anlagen gelten u. a. die folgenden erweiterten Pflichten und Anforderungen:

- Besondere Überwachungsverpflichtungen gem. § 52a BImSchG, Überwachungspläne, Bestellung eines Immissionsschutzbeauftragten,
- Vorlage von Ausgangszustandsberichten, § 10 Absatz 1a BImSchG,
- Umsetzung der besten verfügbaren Techniken (BVT) und damit einhergehende Folgen.

Dies gilt jedenfalls, wenn die Anlage Wasserstoff im industriellen Umfang herstellt. Eine Definition für den Begriff „industrieller Umfang" fehlt im BImSchG und den zugehörigen Verordnungen. Eine

[34] Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung)

Auslegungshilfe hierzu geben die Erläuterungen zur IE-Richtlinie, die die Europäischen Kommission in einem Fragebogen aus dem Jahr 2019 vorgelegt hat. [35]

Der Begriff „industrieller Umfang" ist nicht an bestimmte Mengenschwellen gebunden, da er für eine breite Palette von Stoffen gilt. Der Umfang der chemischen Herstellung kann von einigen wenigen Gramm eines hochspezialisierten Produkts bis zu vielen Tonnen eines chemischen Massenprodukts variieren. Beide können für diese besondere Tätigkeit dem "industriellen Umfang" entsprechen. Sollte die Tätigkeit zu kommerziellen Zwecken ausgeübt werden, wird sie als Produktion „im industriellen Umfang" betrachtet werden, auch wenn es sich um ein Zwischenprodukt handelt und somit nicht selbst gehandelt wird. Aktuell finden erste Diskussionen statt, die in Abhängigkeit der Größe der Elektrolyseanlagen eine Unterscheidung der anzuwendenden Genehmigungsverfahren empfehlen. Insbesondere sind einige Experten der Auffassung, dass aufgrund der von den Anlagen ausgehenden geringen Emissionen grundsätzlich ein vereinfachtes Genehmigungsverfahren für alle Elektrolyseanlagen anzuwenden ist.

Die Wasserstofferzeugung für die Bedarfe der Flughäfen Schönhagen und Strausberg ist unabhängig der laufenden Diskussionen aktuell als Erzeugung „im industriellen Umfang" einzustufen, so dass die Elektrolyseanlage ein Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG durchlaufen muss.

Nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)[36] ist für Elektrolyseure zur Herstellung von Wasserstoff eine allgemeine Vorprüfung bezüglich der Umweltverträglichkeit durchzuführen.

---

35 Europäische Kommission: Frequently Asked Questions (FAQ) - Industrial Emissions Directive (IED) 2010/75/EU, https://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/faq.htm

36 Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG)

Tabelle 8 – Einordnung von Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff nach Anlage 1 des UVPG

Nr.	Verfahren	Spalte 1	Spalte 2
4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung		
4.2	Errichtung und Betrieb einer Anlage zur Herstellung von Stoffen oder Stoffgruppen durch chemische Umwandlung im industriellen Umfang, ausgenommen integrierte chemische Anlagen nach Nummer 4.1, Anlagen nach Nummer 10.1 [...];		A

Mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung werden die Auswirkungen eines Vorhabens auf Schutzgüter, wie z. B. Menschen, Tiere, Pflanzen, Luft und Landschaft, umfassend ermittelt, beschrieben und bewertet. Die Umweltverträglichkeitsprüfung ist dabei in der Regel Bestandteil des Genehmigungsverfahrens nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Sofern das Ergebnis der Allgemeinen Vorprüfung ergibt, dass eine UVP-Pflicht besteht, ist eine UVP erforderlich.

Wenn die Wasserstoffmengen in der Elektrolyseanlage und in den Speichern die Mengenschwellen des Anhangs I der Störfallverordnung (Zwölfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 12. BImSchV)[37] überschreiten, ergeben sich für den Anlagenbetreiber weitere Pflichten im Hinblick auf die Anlagensicherheit. So sollte z. B. ein schriftliches Konzept zur Verhinderung von Störfällen und Sicherheitsmanagementsystem nach Anhang III 12. BImSchV vorgelegt werden.

Dabei wird es zwischen Betriebsbereichen der unteren und oberen Klasse unterschieden. Für Wasserstoff ergeben sich folgende Mengenschwellen für die Einstufung:

- als Betriebsbereich der unteren Klasse ab Erreichen der Mengenschwelle von 5.000 kg und Unterschreiten der Mengenschwelle von 50.000 kg Wasserstoff,

[37] Zwölfte Verordnung zur Durchführung des BundesImmissionsschutzgesetzes (Störfall-Verordnung - 12. BImSchV)

- als Betriebsbereich der oberen Klasse ab Erreichen der Mengenschwelle von 50.000 kg Wasserstoff.

Ob eine Anlage ein Betriebsbereich gemäß der Störfallverordnung ist und welche Pflichten sich gegebenenfalls daraus ergeben, wird ebenfalls im BImSchG-Genehmigungsverfahren geklärt

5.3.2 Elektrolyse: Strombezugsmöglichkeiten

Der für die Wasserstofferzeugung benötigte erneuerbare Strom kann von einer Anlage zur Erzeugung erneuerbarer Energien über eine Direktleitung ohne Netznutzung oder über das allgemeine Versorgungsnetz mit Herkunftsnachweisen bezogen werden. Für den Strombezug spielen die normativen Voraussetzungen an grünen Wasserstoff aus grünem Strom eine entscheidende Rolle. Für den Verbrauch von erneuerbarem Strom zur Wasserstoffherstellung in einer Elektrolyseanlage können verschiedene Steuern, Abgaben oder Umlagen entstehen, die einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von grünem Wasserstoff haben.

Rechtliche Voraussetzungen an grünen Wasserstoff aus grünem Strom

Der Deutsche Bundestag hat am 24.06.2021 einer Änderung der Erneuerbare-Energien-Verordnung (EEV) zugestimmt, mit der eine Konkretisierung des Begriffs „Grüner Wasserstoff" auf Verordnungsebene erfolgte.[38] Grüner Wasserstoff ist zunächst nur solcher Wasserstoff, der innerhalb der ersten 5.000 Vollbenutzungsstunden der Elektrolyseanlage elektrochemisch hergestellt worden ist. Die Beschränkung der Vollbenutzungsstunden soll eine systemdienliche Fahrweise anreizen.

In Bezug auf den verbrauchten Strom zur Herstellung von grünem Wasserstoff ist zu beachten, dass dieser Strom:

a) nachweislich über Herkunftsnachweise aus Anlagen zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien im Sinn des § 3 Nr. 21 EEG 2021 stammt,

[38] Verordnung zur Umsetzung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes 2021 und zur Änderung weiterer energierechtlicher Vorschriften

b) nachweislich zu einem Anteil von mindestens 80 % aus Anlagen stammt, die ihren Standort in der Preiszone für Deutschland haben und im Marktstammdatenregister registriert sind, und zu einem Anteil von höchstens 20 % aus Anlagen stammt, die ihren Standort in einer Preiszone haben, die mit der Preiszone für Deutschland elektronisch verbunden ist, und

c) keine Förderung nach dem EEG, nach der EEV oder nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG)39 oder eine sonstige Förderung nach der Erneuerbare-Energien-Richtlinie erhält.

Zu beachten ist jedoch, dass die Europäische Union voraussichtlich bis März 2022 die Anforderungen an Grünen Wasserstoff im Rahmen des Delegierten Rechtsakts der EU-Kommission zu Art. 27 der RED II näher bestimmen wird. Aus diesem Grund ist perspektivisch bereits geregelt, dass die Bundesregierung die Anforderungen an grünen Wasserstoff nach Bestimmungen durch die Europäische Union unverzüglich überarbeiten und an die Anforderungen der Europäischen Union anpassen wird. Von den allgemein für grünen Wasserstoff diskutierten Anforderungen EE-Strom, Zusätzlichkeit der EE-Stromerzeugungsanlage, Systemdienlichkeit und räumliches Kriterium enthält § 12i EEV lediglich die bereits dargestellte Anforderung an die Systemdienlichkeit. Nach dem Kriterium der Zusätzlichkeit muss der eingesetzte erneuerbare Strom zusätzlich zu den bereits ohnehin produzierten Strommengen von zusätzlich errichteten EE-Anlagen erzeugt werden.

Strombezugskosten

Die Strombezugskosten sind ein wesentlicher Faktor für die Wirtschaftlichkeit von grünem Wasserstoff im Vergleich zu anderen Wasserstofferzeugungsrouten und zu anderen Energieträgern. Da diese zu großen Teilen durch die staatlich induzierten oder regulierten Strompreisbestandteile bestimmt werden, kann der Gesetzgeber durch entsprechende Regulierung die Kosten für die Erzeugung von grünem Wasserstoff steuern.

---

39 Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz – KWKG 2020)

EEG-Umlage

Dies gilt zunächst für die sog. EEG-Umlage. Der Verbrauch von Strom in einem Elektrolyseur ist grundsätzlich als Letztverbrauch einzustufen, so dass hierfür eine Pflicht zur Zahlung der EEG-Umlage entstehen kann. Dies gilt sowohl, wenn der Strom an den Betreiber des Elektrolyseurs geliefert wird, als auch wenn dieser sich den Strom selbst erzeugt.

a) EEG-Umlagebefreiung nach 61a Nr. 3 EEG 2021: Vollständige Eigenversorgung aus EE-Strom

Nach § 61a Nr. 3 EEG 2021 entfällt der Anspruch auf Zahlung der EEG-Umlage, wenn sich der Eigenversorger selbst vollständig mit Strom aus erneuerbaren Energien versorgt und für den Strom aus seiner Anlage, den er nicht selbst verbraucht, keine EEG-Förderung in Anspruch nimmt.

Eine Eigenversorgung liegt gemäß § 3 Nr. 19 EEG 2021 vor, wenn die natürliche oder juristische Person, die die Stromerzeugungsanlage betreibt, den Strom im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit der Stromerzeugungsanlage selbst verbraucht und wenn der Strom nicht durch ein Netz für die allgemeine Versorgung durchgeleitet wird.

b) EEG-Umlagereduzierung nach § 64a EEG 2021

Nach § 64a EEG 2021 kann die EEG-Umlage für die Herstellung von Wasserstoff in stromkostenintensiven Unternehmen, die der Branche „Herstellung von Industriegasen" zuzuordnen sind, auf Antrag auf mindestens 15 % reduziert werden. Der Antrag kann sowohl von einem Unternehmen gestellt werden, dessen Schwerpunkt die Wasserstofferzeugung ist, als auch von einem unabhängigen oder nicht unabhängigen Unternehmensteil, der zu einem anderen Industriezweig gehört, sofern der Schwerpunkt dieses Unternehmensteils die Wasserstofferzeugung ist. Übersteigt die Stromkostenintensität des Unternehmens oder Unternehmensteils 20 %, kann die EEG-Umlage weiter auf insgesamt 0,5 % der Bruttowertschöpfung reduziert werden, wobei jedoch mindestens eine EEG-Umlage von 0,1 ct/kWh zu zahlen ist.

Die EU-Kommission prüft jedoch noch einzelne Detailregelungen der ansonsten bereits im April beihilferechtlich genehmigten besonderen Ausgleichsregelung für die Erzeugung von Wasserstoff nach § 64a EEG 2021.

c) Befreiung von der EEG-Umlage nach § 69b EEG 2021

Die Regelung in § 69b EEG 2021 i.V.m. § 12i EEV ermöglicht ab 1.01.2021, dass erneuerbarer Strom, der zur Erzeugung von grünem Wasserstoff in einem Elektrolyseur eingesetzt wird, vollständig von der EEG-Umlage befreit wird.

Diese Regelung ist bisher noch nicht beihilfenrechtlich genehmigt worden.

Netzentgelte

Netzentgelte fallen dabei grundsätzlich an, wenn der Strom für die Herstellung des Wasserstoffs über das Netz der allgemeinen Versorgung bezogen wird. Für Power-to-Gas-Anlagen besteht nach § 118 Abs. 6 S. 7 und 8 EnWG aber ein Anspruch auf eine vollständige Befreiung für 20 Jahre ab Inbetriebnahme. Dies gilt jedoch nur, soweit die Anlage nach dem 31. Dezember 2008 errichtet und ab dem 4. August 2011 innerhalb von 15 Jahren in Betrieb genommen worden ist. In der Praxis bestehen allerdings noch Unsicherheiten, inwieweit diese Befreiungsvorschrift auch dann greift, wenn der Wasserstoff nicht rückverstromt und nicht wieder in das Netz der allgemeinen Versorgung eingespeist wird. Die angekündigte gesetzgeberische Klarstellung bei der NABEG-Novellierung ist bis heute nicht erfolgt und sollte angesichts dieser Unsicherheiten zügig nachgeholt werden. [40] Das BMWi und die BNetzA haben aber in 2021 klargestellt, dass der Gesetzgeber mit der Regelung in §118 EnWG die grundsätzliche Netzentgeltbefreiung für Strom, der zur elektrochemischen Wasserstofferzeugung verwendet wird, anzuwenden ist.

Nebennetzentgelte

Die Befreiung nach § 118 Abs. 6 Satz 7 und 8 EnWG umfasst nicht die netzentgeltbezogenen Abgaben und Umlagen.

[40] Netzausbaubeschleunigungsgesetz Übertragungsnetz (NABEG)

Hinsichtlich der Nebennetzentgelte fallen bei einem Strombezug des Elektrolyseurs aus dem öffentlichen Netz die Konzessionsabgabe sowie die StromNEV-Umlage[41] und die AbLaV-Umlage[42] an.

Von der Offshore-Netzumlage[43] ist der Strombezug nach § 17f EnWG hingegen vollständig befreit. Gleiches gilt für die KWKG-Umlage nach § 27b KWKG 2020, wenn für den Strom, der mit dem Stromspeicher erzeugt wird, die KWKG-Umlage gezahlt wird.

5.4 CO_2-Bezugsoptionen

Zur Herstellung von synthetischem Kerosin bedarf es neben Wasserstoff als Ausgangstoff Kohlendioxid. Zudem erfordert die Produktion Prozesswärme.

CO_2 kann zur Produktion des synthetischen Kraftstoffes aus zwei Ursprüngen kommen. Dabei handelt es sich um CO_2 aus nicht erneuerbaren Quellen und CO_2 aus erneuerbaren Quellen. Zu den nicht erneuerbaren CO_2 -Quellen gehören neben fossilen Quellen auch Punktquellen in Form von industriellen Abfällen und Abgasen, die im Rahmen von Produktionsprozessen nicht vermieden werden können und unbeabsichtigt anfallen, vgl. Art. 2 Nr. 35 RED II. Die Verfahren zum Abscheiden und Verwerten dieser Abfälle werden dem Carbon Capture and Utilization (CCU) zugeordnet. Im Gegensatz zum Verfahren Carbon Capture and Storage (CCS), bei dem das abgeschiedene CO_2 gespeichert wird, soll das CO_2 bei der Anwendung von CCU wiederverwertet werden.[44] Für den Prozess des CCU besteht bisher kein spezieller Rechtsrahmen. Hinsichtlich technischer und anderer Anforderungen gelten die allgemeinen Vorschriften, d. h. insbesondere das Immissionsschutzrecht.

---

41 Verordnung über die Entgelte für den Zugang zu Elektrizitätsversorgungsnetzen Stromnetzentgeltverordnung - StromNEV)

42 Verordnung über Vereinbarungen zu abschaltbaren Lasten (Verordnung zu abschaltbaren Lasten - AbLaV)

43 Verordnung zur Berechnung der Offshore-Netzumlage und zu Anpassungen im Regulierungsrecht

44 Zum Rechtsrahmen des CCS vgl. das Kohlendioxid Speicherungsgesetzt vom 17. August 2021 (BGBl. I S. 1726), das zuletzt durch Artikel 22 des Gesetzes vom 10. August 2021 (BGBl. I S. 3436) geändert worden ist.

Eine erneuerbare CO_2 -Quelle ist Biomasse. Bei der Verarbeitung von Biomasse wird zunächst nicht mehr CO_2 ausgestoßen, als zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen wurde. Fraglich ist, ob auch andere erneuerbare CO_2 Quellen bestehen. Unklarheiten bestehen hierbei insbesondere mit Blick auf CO_2, das direkt aus der Umgebungsluft entnommen wird, das sog. *direct air capture*. So könnte die erneuerbare Eigenschaft dieser Quelle abgelehnt werden, wenn darauf abgestellt wird, dass die Herkunft des CO_2 in der Atmosphäre nicht eindeutig belegt werden kann, da dieses auch aus der Verbrennung fossiler Stoffe stammen könnte. Andererseits hat die Entnahme von CO_2 aus der Atmosphäre einen unmittelbar Treibhausgasmindernden Effekt. Ausgehend vom umweltpolitischen Zweck könnte die Einordnung von CO_2 aus der Atmosphäre als erneuerbar daher zweckmäßig sein.[45]

5.5 Übersicht: Hemmnisse

Im Jahr 2021 wurden durch gezielte politische Maßnahmen und Gesetzesänderungen die weitgehend geeigneten Rahmenbedingungen für die Produktion von grünem Wasserstoff geschaffen. In einigen Bereichen können jedoch noch Hemmnisse auftreten, z.B. weil die Behörden noch nicht über ausreichende Erfahrungen verfügen oder die Anforderungen an grünen Wasserstoff noch nicht festgelegt sind.

Genehmigungsverfahren der PtX-Anlage

Für ein zügiges Genehmigungsverfahren der PtX-Anlage sollten Vorgespräche mit den Genehmigungsbehörden geführt werden, in denen das Projekt mit all seinen Komponenten/Anlagen/Produktions- und Speichervolumen und den Standortalternativen vorgestellt wird, damit alle bauplanungs- und immissionsschutzrechtlichen Aspekte berücksichtigt und die notwendigen Unterlagen und Genehmigungsverfahren geklärt werden können. Eine frühe Öffentlichkeitsbeteiligung könnte dazu eine frühzeitige Erkennung von Konfliktfeldern, eine optimierte Planung, mehr Transparenz und eine erhöhte Akzeptanz durch den Informationsaustausch ermöglichen.

---

45 So etwa *Lietz* (2017): Rechtlicher Rahmen für die Power-to-Gas-Stromspeicherung, S. 237 f.

Bei der Sicherstellung eines wirtschaftlich tragfähigen Zugangs zu grünem Strom und grünem Wasserstoff sind insbesondere folgende Hemmnisse zu benennen:

Anforderungen an grünen Wasserstoff aus dem Delegiertem Akt

Zurzeit gibt es noch keine einheitliche Begriffsbestimmung für „grünen Wasserstoff". Die definierten Anforderungen in der EEV einerseits und im ersten Entwurf des delegierten Rechtsaktes der Kommission zu Art. 27 der RED I) andererseits sind noch nicht identisch. Das Kriterium der Zusätzlichkeit und die regionale Komponente könnten Hemmnisse darstellen, die den Markthochlauf der grünen Wasserstoffproduktion verlangsamen werden. Die konkrete Ausgestaltung des Europäischen Rechtsrahmens weist damit eine entscheidende Bedeutung auf. Der delegierte Rechtsakt sollte ursprünglich bis zum 31.12.2021 verabschiedet werden, ist aber bisher noch nicht veröffentlicht worden.[46]

EEG-Umlage

Zu berücksichtigen ist allerdings auch, dass die EEG-Umlage bereits im Jahr 2022 nur noch 3,723 ct/kWh betragen wird und ggf. in den Jahren nach ca. 2025 auch gänzlich entfallen könnte. Damit könnte ein wesentliches aktuelles ökonomisches Hemmnis Vergangenheit werden.

5.6 Anforderungen an das fertige Produkt

5.6.1 ASTM-Zertifizierung

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Verfahren, um aus biogenen und/oder nicht-biogenen regenerativen Rohstoffen erneuerbare Turbinenkraftstoffe für die Luftfahrt zu synthetisieren. Die für den zivilen Luftverkehr erfolgreich zugelassenen SAF-Herstellungsverfahren werden den Spezifikationen ASTM D7566 bzw. ASTM D1655 hinzugefügt. Kurz danach werden diese Herstellverfahren auch in die wichtige Kraftstoffspezifikation DEF Stan 91-091 übernommen. PtL-Kraftstoffe auf Basis des Fischer-Tropsch-Verfahrens, wie sie für eine dezentrale Herstellung auf dem Flugplatz Schönhagen EDAZ vorgesehen sind, fallen explizit unter ASTM D7566 Annex 1. Die

[46] Stand: Februar 2022

maximale Blendrate liegt bei 50 Vol.-%. Nähere Informationen zu den Anforderungen der Kraftstoffspezifikationen sind im Kapitel 4.2, Unterkapitel 4.2.1 – 4.2.3 aufgeführt und erläutert.

5.6.2 Chemikalienrecht[47]

Bei der Produktion, Lagerung und Inverkehrbringung von synthetischen Turbinenkraftstoffen (SAF) oder deren Blends mit fossil basierten Turbinenkraftstoffen sind verschiedene chemikalienrechtliche Voraussetzungen und Bedingungen zu beachten. Im Folgenden wird auf einige verschiedene Aspekte eingegangen, die vor einer Erstproduktion und Inverkehrbringung zu bearbeiten bzw. durchzuführen sind. Diese Basisinformationen sollen als Leitfaden für ein zukünftiges PtL-Projekt auf dem Flugplatz Schönhagen EDAZ dienen, um auf notwendige Aktivitäten hinzuweisen und deren rechtzeitige Erledigung zu ermöglichen.

REACH-Registrierung bzw. PPORD:

Gemäß der EU-Chemikalienverordnung (EG) Nr. 1907 / 2006 (engl.: Regulation Concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, REACH) besteht für alle Chemikalien, die in der Europäischen Gemeinschaft in Umlauf gebracht werden, die Verpflichtung zu einer Registrierung, sofern die innerhalb eines Jahres in Verkehr gebrachte Menge der Substanz eine Tonne übersteigt. Der Inverkehrbringer muss diese Aufgabe übernehmen, d.h. bei Produktion innerhalb der EU typischerweise der Produzent und beim Import der Importeur. Die Anforderungen an die für eine Registrierung bereitzustellenden Unterlagen erhöhen sich in Abhängigkeit von der in Verkehr gebrachten Menge (bis zu 10 t, bis zu 100 t, bis zu 1.000 t, größer 1.000 t).

Grundsätzlich ist jeder Produzent verpflichtet, sein Produkt selbst zu registrieren. Für chemisch wesensgleiche Substanzen besteht aber die Möglichkeit einer sogenannten Co-Registrierung, bei der mehrere Produzenten eine gemeinsame Registrierung einreichen und sich die Kosten teilen. Von dieser Möglichkeit wird zum Beispiel beim fossilen Kerosin Gebrauch gemacht; so existiert eine einzelne einheitliche Registrierung, an der sich sämtliche europäische Raffinerien und

[47] Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK) - September 2019 - finanziert durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Kerosinimporteure beteiligen. Die dieser Co-Registrierung zugrundeliegende Produktdefinition beschränkt das Produkt ausdrücklich auf Kerosin, das aus fossilem Rohöl hergestellt wurde. Erneuerbare bzw. synthetische Turbinenkraftstoffkomponenten, wie z. B. PtL-Kraftstoffkomponenten, sind demnach separat zu registrieren.

An dieser Stelle sei der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass es für Forschungs- und Entwicklungsprojekte, bei denen Substanzen nicht in den allgemeinen Verkehr gebracht werden, gewisse Ausnahmeregeln gibt (z.B. für einen Feldversuch). In einem solchen Fall kann eine sogenannte PPORD-Anmeldung (produkt- und verfahrensorientierte Forschung und Entwicklung) gemäß Verordnung (EG) Nr. 1907 / 2006 bei der Europäischen Chemikalienagentur (ECHA) beantragt werden.

Im Falle eines praktisch durchgeführten PtL-Projektes am Flugplatz Schönhagen EDAZ inklusive Produktion von PtL-Kraftstoffen, Blending mit fossil basierten JET A-1 und Abgabe ans Tanklager wird empfohlen, frühzeitig die aktuelle Situation bezüglich der REACH-Registrierung von Fischer-Tropsch-Turbinenkraftstoffkomponenten zu prüfen. Dabei gilt festzustellen, ob eine derartige Registrierung bereits existiert oder noch (zu Ende) durchgeführt werden muss. Kraftstoffhersteller und externe dritte Fachagenturen können hierbei Hilfestellung leisten. Eine alternative PPORD-Anmeldung kommt aus jetziger Sicht nicht in Frage, da es sich bei dem PtL-Vorhaben auf dem Flugplatz Schönhagen EDAZ nicht um produkt- und verfahrensorientierte Forschung und Entwicklung handelt.

Sicherheitsdatenblätter:

Kerosin ist aufgrund seiner Entzündlichkeit und der von ihm potenziell ausgehenden Umweltgefährdung als Gefahrstoff klassifiziert. Bei der Einordnung ist Anhang 1 der CLP-Verordnung (Classification, Labelling and Packaging) maßgeblich: Vorschriften für die Einstufung und Kennzeichnung von gefährlichen Stoffen und Gemischen. Daher ist für Kerosin wie für alle Gefahrstoffe ein Sicherheitsdatenblatt zu erstellen. Dies gilt für fossil basierte Kraftstoffkomponenten gleichermaßen wie für synthetische PtL-Kraftstoffe und deren Gemische aus beiden. Im Falle einer zukünftigen Produktion, Einlagerung und Abgabe eines spezifikationsgerechten Kraftstoffblends

aus PtL- und fossil basiertem Kraftstoff auf oder an dem Flugplatz Schönhagen EDAZ sind alle notwendigen Sicherheitsdatenblätter in deutscher Sprache vorgeschrieben.

Im Rahmen der Gefahreneinschätzung der Gemischeigenschaften sind dabei zunächst die Daten des Gemisches selbst als Grundlage zu nehmen. Sind diese nicht vorhanden, müssen die Daten der Einzelkomponenten (hier: PtL-Produkt und fossiler JET A-1) zugrunde gelegt werden. Die Erstellung von Sicherheitsdatenblättern sollte durch HSE-Abteilungen (Health, Safety and Environment) von Kraftstoffherstellern oder externe Fachagenturen erfolgen.

Meldung von gefährlichen Gütern:

Es gilt zu beachten, dass gefährliche Gemische wie synthetische oder fossil basierte Turbinenkraftstoffe entsprechend Artikel 45 der GHS-Verordnung (EG) Nr. 1272 / 2008 (Globally Harmonised System), auch bekannt als CLP-Verordnung (s. auch oben „Sicherheitsdatenblätter"), vor dem ersten Inverkehrbringen an die zuständige nationale Kontaktstelle gemeldet werden müssen. Kerosingemische und deren relevante Produktinformationen, wie z. B. Zusammensetzung, Handelsnamen, Kennzeichnung und deren Verwendung, sind gemäß § 16e Abs. 1 ChemG dem Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) zu melden. Ziel ist es, bei einem Stör-, Not- oder Unfall geeignete Maßnahmen anweisen zu können. Die Informationen werden an alle nationalen Giftinformationszentren weitergeleitet. In der Regel geschieht dies durch Eintragung in ein vom BfR zur Verfügung gestelltes Formblatt (elektronisch) und Abgabe des gültigen Sicherheitsdatenblatts.

5.6.3 Zollrecht[48]

Energieerzeugnisse unterliegen im Steuergebiet der Energiesteuer, vgl. § 1 Energiesteuergesetz (EnergieStG). Die Energiesteuer ist eine Verbrauchssteuer, die vom Zoll verwaltet wird.

Die Bestimmung der Steuerhöhe ist nun von der Beschaffenheit und der Verwendung des Energieerzeugnisses abhängig, d.h. im vorliegenden Projektfall vom PtL-Kraftstoff bzw. dessen Blend

[48] Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK) - September 2019 - finanziert durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

mit fossil basiertem Kerosin (JET A-1). Offiziell fällt Kerosin als Ware der Position 2710 (19 21) der Kombinierten Nomenklatur (KN) unter das Energiesteuergesetz. Dies betrifft das JET A-1. Hinsichtlich erneuerbarer, synthetischer Kerosine ist die Nomenklatur nicht eindeutig. Es besteht jedoch durchaus die Möglichkeit, dass bestimmte erneuerbare Erzeugnisse als Waren innerhalb der Kombinierten Nomenklatur deklariert werden, für die keine Steuerhöhe angegeben ist. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu beachten, dass gemäß dem Ähnlichkeitsprinzip nach § 2 Abs. 4 EnergieStG die Steuerhöhe zugrunde gelegt wird, die für Energieerzeugnisse gilt, denen die synthetischen Kraftstoffe nach ihrem Verwendungszweck und ihrer Beschaffenheit am nächsten kommen.

Das normale Prozedere besagt, dass Flugturbinenkraftstoff der Unterposition 2710 19 21 der KN in Luftfahrtzeugen steuerfrei verwendet werden darf. Dabei muss das sogenannte Erlaubnisscheinverfahren auf Grundlage des § 27 Abs. 2 EnergieStG vom Luftfahrtunternehmen beantragt werden. Der einfachste Fall wäre somit eine Produktion der PtL-Ware und des notwendigen Blends mit fossil basiertem Turbinenkraftstoff inklusive Einlagerung der fertigen Ware im Tanklager vor Ort („Steuerlager") am Flugplatz Schönhagen EDAZ. Im Falle einer Trennung der Komponentenherstellung und der damit verbundenen Notwendigkeit eines Transports mindestens einer Komponente (d.h. PtL oder fossil basiertes JET A-1) ist die Lage neu zu bewerten. Dabei ist zu beachten, dass nur unter Steueraussetzung transportiert werden darf, wenn zunächst ein Antrag auf Erteilung einer Erlaubnis als registrierter Versender für Energieerzeugnisse beim zuständigen Hauptzollamt gestellt wurde. Hierbei ist auch das jeweilige zu transportierende Energieerzeugnis anzugeben. Die formale Abwicklung erfolgt über das Beförderungs- und Kontrollsystem für verbrauchspflichtige Waren (engl. Excise Movement and Control System, EMCS). EMCS ist ein EDV-gestütztes Verfahren, welches zwingend im Warenverkehr genutzt werden muss. Es ist empfehlenswert, zollrechtliche Aspekte rechtzeitig vor Aufnahme der PtL-Produktion und -verwertung als Turbinenkraftstoffkomponente mit dem zuständigen Hauptzollamt zu beleuchten.

5.6.4 Erdölbevorratungsverband[49]

Als Grundlage des Gesetzes über die Bevorratung mit Erdöl und Erdölerzeugnissen (ErdölBevG) wurde im Jahr 1978 der Erdölbevorratungsverband (EBV) gegründet. Ziel dieses Verbandes ist die Sicherung der Energieversorgung in Deutschland (§ 1 ErdölBevG) über das Halten von Vorräten an Benzin, Dieselkraftstoff, Heizöl EL und Flugturbinenkraftstoff. Hierbei werden ein spezifischer Bevorratungszeitraum sowie eine Bevorratungsmenge mit Bezug auf den durchschnittlichen nationalen Bedarf in 90 Tagen definiert (§ 3 Abs. 1 ErdölBevG).

Pflichtmitglieder des EBV im Sinne des ErdölBevG sind Einführer und Hersteller von Erdöler-zeugnissen, sofern sie in der EU ansässig sind und als wirtschaftliche Unternehmung mindestens 25 Tonnen pro Kalenderjahr einführen oder herstellen (§ 13 Abs. 1 ErdölBevG). Dabei ist es wichtig zu wissen, dass auch das Mischen und Bearbeiten von Erdölerzeugnissen einen Herstellprozess im Sinne des ErdölBevG darstellt (§ 13 Abs. 6 ErdölBevG). Mitglieder sind verpflichtet, entsprechend der verarbeiteten Mengen EBV-Beiträge zu zahlen (§ 23 Abs. 1 und 2 ErdölBevG). Die Beitragssätze werden jährlich in der Verbandssatzung bekanntgegeben und Mitglieder sind verpflichtet, eine monatliche sowie eine jährliche Meldung über die hergestellten Mengen beim EBV zu machen.

Im Falle der Produktion und des Einsatzes von PtL-Kraftstoffen ist folgender Sachverhalt zu beachten: Eine Bevorratungs- und Beitragspflicht besteht prinzipiell nur für Erdölerzeugnisse. Synthetische Kraftstoffkomponenten gemäß ASTM D7566 werden in die haltende Vorratshöhe des EBV jedoch einberechnet, sofern sie im Blend mit fossil basiertem JET A-1 einen maximalen Anteil von 50 Gew.-% nicht übersteigen. Anders ausgedrückt: Eine Beitragspflicht für synthetische Turbinenkraftstoffe ergibt sich erst, wenn diese in Blends mit max. 50 Gew.-% Anteil in fossil basierten Kraftstoffen vorliegen. Hierbei handelt es sich um einen Herstellprozess, der die Menge des fossil basierten Erzeugnisses erhöht (§ 23 Abs. 4 ErdölBevG); die zugeführte Menge ist daher

[49] Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK) - September 2019 - finanziert durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

beitragspflichtig. Liegt der Anteil des synthetischen Kraftstoffs im Blend jedoch über 50 Gew.-%, ist lediglich der fossil basierte Anteil beitragsrelevant (§ 23 Abs. 4 ErdölBevG).

5.6.5 Abrechnungsmöglichkeiten und Nachweissystem[50]

Eine wichtige Voraussetzung für die erfolgreiche Implementierung einer Produktion synthetischer Kerosine und deren Verwendung als Flugkraftstoffe ist die Etablierung einer praxistauglichen Nachhaltigkeitszertifizierung und -dokumentation (Sustainability Certification Scheme) sowie deren Nachweisführung und Abrechnung. Aufgrund einer in diesem Projekt geplanten dezentralen Kraftstoffproduktion und Verwertung am Flugplatz Schönhagen EDAZ werden die zugehörigen Ablaufprozesse mit Bestimmtheit vereinfacht. Dennoch sollte dieser Aspekt bei einer zukünftigen Realisierung früh genug berücksichtigt und bearbeitet werden. In diesem Kapitel sind Grundlageninformationen zusammengetragen, die einen Einstieg in die Thematik ermöglichen.

Allgemeines:

Im Folgenden werden die auf EU-Ebene relevanten Regularien und der darauf basierenden Optionen einer Nachweisführung für synthetische Flugkraftstoffe kurz beschrieben. Aufgrund der globalen Thematik wird zusätzlich ein Ausblick auf einige ausgewählte außereuropäische Regularien sowie derzeit relevante Zertifizierungssysteme gegeben.

Zu den regulativen Bedingungen auf EU-Ebene gehören die EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (EU RED) und das EU-Emissionshandelsgesetz (EU ETS). Die EU-Erneuerbare-Energien-Richtlinie (2009 / 28 / EC) ist ein Teil des Europäischen Klima- und Energiepakets und setzt den gesetzlichen Rahmen für die Integration erneuerbarer Energien in den EU-Mitgliedstaaten. Gekoppelt ist die Richtlinie mit den Vorgaben der Kraftstoffqualitätsrichtlinie (DIR 2009 / 30 / EC) für Mineralölindustrie und Tankstellenbetreiber mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen (THG) zu senken. Damit erneuerbare Kraftstoffe wie z.B. PtL-Kraftstoffkomponenten als nachhaltig gelten und auf das Ziel im Verkehrssektor angerechnet werden können, muss nachgewiesen werden, dass sie die

[50] Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK) - September 2019 - finanziert durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

von der EU-Kommission gesetzten Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen. Innerhalb der EU ist derzeit die sogenannte RED II (DIR 2018 / 2001) in Kraft, die die geltenden Nachhaltigkeitskriterien beinhaltet. Die Folgeversion RED III ist zurzeit in Bearbeitung. Grundlage für eine derartige nach EU-Richtlinien anerkannte Zertifizierung ist ein Audit der gesamten Herstellungskette. Die meisten und auch striktesten Systeme, die dabei genutzt werden, sind „Roundtable for Sustainable Biomass" („RSB") und „International Sustainability and Carbon Certification" („ISCC").

An dieser Stelle ist ebenfalls CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme) zu nennen; ein Instrument der ICAO (International Civil Aviation Organization), welches den Standard für Nachhaltigkeitskriterien auf globaler Ebene beschreibt. Der CORSIA-Mechanismus dient als Klimaschutzinstrument im internationalen Flugverkehr und ist das erste marktbasierte Abkommen eines gesamten Industriesektors für die Reduktion von Treibhausgasemissionen. Es konzentriert sich auf internationale Flüge, d.h. auf Flüge, die in einem ICAO-Mitgliedsstaat starten und in einem anderen ICAO-Mitgliedstaat landen.

Fluggesellschaften können ihre CO_2-Emissionen für Flüge, die einem Mechanismus zur Regulation von THG wie dem EU ETS unterliegen, durch den Erwerb von Emissionszertifikaten kompensieren. Alternativ dazu kann eine Fluggesellschaft ihre Emissionen durch den Erwerb und die Nutzung von erneuerbaren, synthetischen Flugkraftstoffen (SAF) reduzieren und damit den Zukauf von Emissionszertifikaten verringern oder potenziell vermeiden. Um die Nutzung von SAF als Fluggesellschaft gegenüber einer Behörde nachweisen und anrechnen zu können, sind praxistaugliche Verfahren erforderlich, mit denen z.B. verwendete SAF-Mengen und Nachhaltigkeitsnachweise mit geringem administrativem Aufwand dokumentiert, geprüft und entlang der Bereitstellungskette weitergegeben und nachverfolgt werden können. Im Rahmen des Abbaus von Markteintrittsbarrieren bzw. der Wegbereitung für eine nahtlose und flächendeckende Verwendung von SAF sind somit auch praxistaugliche Verfahren für deren Nachweisführung und Anrechnung zwingend erforderlich.

Nachweissysteme und Anrechenbarkeit:

In diesem Kapitel werden verschiedene Optionen der Nachweisführung für den Einsatz synthetischer PtL-Kraftstoffe und deren Anrechenbarkeit als erneuerbare Flugkraftstoffe aufgezeigt.

Hierbei geht es um die Rückverfolgbarkeit der einzelnen, definierten Wert-schöpfungsketten der synthetischen Kraftstoffkomponente(n) sowie des fertigen Blends mit fossil basiertem JET A-1. In Bezug auf die Anrechenbarkeit unter dem EU ETS müssen alle notwendigen Informationen auf dem Weg bis zum Flugplatztanklager bzw. der Flugzeugbetankung abgebildet sein. Prinzipiell stehen drei Optionen der Nachweisführung zur Disposition, die hier im Einzelnen diskutiert werden:

1. Zertifizierung der gesamten Wertschöpfungskette des erneuerbaren Kerosinprodukts unter der EU RED
2. Übergang von einer EU-RED-Zertifizierung in ein Book & Claim-System
3. Übergang von einer EU-RED-Zertifizierung in ein Track & Trace-System

1. Nachhaltigkeitszertifizierung unter der EU RED

Es wird die gesamte Lieferkette, vom Ursprung der Rohstoffe bis zum letzten Tanklager vor dem Flughafentanklager, zertifiziert. Gemäß der EU RED müssen alle Wirtschaftsteilnehmer einer Wertschöpfungskette zertifiziert sein. Nachhaltigkeitsinformationen müssen mit dem physischen Material von einem Element der Lieferkette zum nächsten weitergereicht werden. Analog zur Weitergabe der Nachhaltigkeitsinformationen innerhalb der Lieferkette stellt der Hersteller der synthetischen Kraftstoffkomponenten bei der Auslieferung einen sogenannten Nachhaltigkeitsnachweis aus (Proof of Sustainability, PoS), der auch zusätzliche Informationen zum Kraftstoff enthalten muss. Unabhängig davon, wo genau die Vermischung des erneuerbaren Flugkraftstoffs mit fossilem JET A-1 stattfindet, bleiben alle relevanten Nachhaltigkeitsinformationen über das jeweilige Massenbilanzsystem der zertifizierten Lieferkettenelemente zurückverfolgbar. Der Vorteil dieser Option der Nachweisführung ist die Nutzung der EU-RED-Systematik, die bereits global etabliert ist und in mehr als einhundert Ländern genutzt wird. Es ist anzunehmen, dass aufgrund dieser etablierten Struktur eine Weitergabe sowohl des reinen erneuerbaren Flugkraftstoffs als auch der fertige JET A-1-Blend über alle Ländergrenzen hinweg ohne Einschränkungen (etwa durch unterschiedliche Zollvorschriften) möglich ist. Die Anrechnung der nachhaltigen Mengen im EU-ETS kann dann im jeweiligen Flughafenlager erfolgen. Im EU ETS war ursprünglich nur der

physische Verbraucher von SAF anrechnungswürdig (d.h. z.B. die Luftfahrtgesellschaft). Es wurde eine möglichst realitätsgetreue Zuordnung der verwendeten Kraftstoffe auf die jeweiligen Flüge verlangt (per flight approach). Im Normalfall und unter Verwendung der bestehenden Kraftstoffversorgungsinfrastruktur bzw. insbesondere an großen Verkehrsflughäfen, die auf Pipelinesysteme und / oder gemeinsam betriebene Tankläger angewiesen sind, ist es jedoch nur bedingt bis gar nicht erfüllbar, einen Verbrauchsnachweis über die tatsächliche physische Zusammensetzung verbrauchter Kraftstoffe zu erbringen, da es spätestens im Flughafentanklager zur kontinuierlichen Vermischung von Kraftstoffen unterschiedlicher Herkunft kommt und somit ins Tanklager eingelagerte SAF sowie fossile Kraftstoffkomponenten nicht mehr getrennt verfolgt werden können. Dedizierte und individuelle Flugzeugbetankungen mit Kraftstoffen einer gewünschten, individuellen Zusammensetzung können dabei nicht umgesetzt werden, da jede zukünftige Entnahme aus dem Flughafentanklager einen SAF-Anteil enthalten würde. Das System ist normalerweise darauf ausgelegt, Flugkraftstoffe einer einzigen Kraftstoffsorte und -qualität, ohne Separierung unterschiedlicher Kraftstoffchargen, aufzunehmen.

Bei einer dezentralen SAF-Herstellung inklusive des erforderlichen Blendings am Flugplatz Schönhagen EDAZ verkürzt sich die Lieferkette und die Nachweisführung würde sich demnach vereinfachen.

Da der Übergang von einem EU-RED- auf einen EU-ETS-Nachweis prinzipiell an jeder beliebigen Stelle der Lieferkette erfolgen kann, kommt den beiden im Folgenden vorgestellten Optionen eine gewisse Bedeutung zu.

2. Book & Claim-System

Der Book & Claim-Ansatz sieht die Trennung der Nachhaltigkeitseigenschaften erneuerbarer Flugkraftstoffe vom physischen Kraftstoff an einem bestimmten Punkt in der Bereitstellungskette vor und überträgt die Eigenschaften von SAF auf transferier- und handelbare Zertifikate, die sogenannten Herkunftsnachweise (Guarantee of Origin, GoO). Diese Herkunftsnachweise können anschließend an Fluggesellschaften als Käufer und Endverbraucher übertragen und zur Anrechnung einer wertentsprechenden SAF-Menge im EU ETS eingelöst werden. Der Book & Claim-Ansatz sieht demnach den Einsatz eines Systems vor, mit dessen Hilfe Fluggesellschaften einen

Nachweis über gekaufte Chargen von erneuerbarem Flugkraftstoff in Form eines GoO anrechnen können, ohne zwangsläufig auch das physische Material getankt zu haben. Um eine Doppelanrechnung der tatsächlich produzierten erneuerbaren Flugkraftstoffe und der ausgestellten GoOs zu vermeiden und einen barrierefreien Übergang der Nachhaltig-keitsinformationen von einem System (EU RED) in das andere (Book & Claim) zu garantieren, muss die Nachhaltigkeitsinformation der jeweiligen Charge des nachhaltigen Flugkraftstoffs vom dem PoS auf den GoO übertragen und der PoS entwertet werden. Der Aussteller des GoO ist eine zu definierende Partei innerhalb der Bereitstellungskette. Die Ausstellung eines derartigen GoO muss überprüft werden. Es ist empfehlenswert, diese Überprüfung vor Ort durch einen unabhängigen EU-RED-Auditor durchführen zu lassen, da ein EU-RED-Auditor ohnehin jährliche Kontrollen vor Ort durchführt und so keine weiteren Kosten für eine zusätzliche externe Überprüfung anfallen. Die ausgestellten und erworbenen GoOs werden schließlich in ein Zentralregister eingepflegt, um eine Anrechenbarkeit im EU ETS zu gewährleisten. Die Überprüfung der eingegebenen Mengen im Register und der entsprechend angerechneten Mengen im EU ETS muss ebenfalls durch eine unabhängige Partei erfolgen.

3. Track & Trace-System

Der Track & Trace-Ansatz verpflichtet die Hersteller und nachfolgend den Eigentümer eines SAF-haltigen JET A-1-Blends, die rechnerischen Mengenanteile der erneuerbaren Flugkraftstoffe, z.B. PtL, in einem Gemisch in der Dokumentation bis zum Flughafentanklager mitzuführen, obwohl eine physische Trennung im Kraftstoffgemisch nicht mehr möglich ist. Im Flughafentanklager wird die Mengenbuchhaltung für die Bestände einzelner Gesellschafter oder Drittdurchsetzer entsprechend erweitert. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass das Track & Trace-Verfahren auf Basis von Massenbilanzen relativ einfach umgesetzt werden kann, um die für die Ausstellung von Zertifikaten erforderliche Nachweispflicht der Abgabe an Berechtigte manipulationssicher darzustellen. In rechtlicher Hinsicht ist die Überwachungsfunktion der Bestandsführung von erneuerbarem Flugkraftstoff dem Zoll zuzuweisen und die Dokumentationspflicht der auszugsweise überlassenen Lieferverträge für erneuerbare Flugkraftstoffmenge dem Tanklagerbetreiber vorzugeben.

Eine Schnittstelle zwischen einer massenbilanz-basierten Rückverfolgbarkeit in einem EU-RED-Zertifizierungssystem und einem Track & Trace-System ist analog zu einer Schnittstelle zwischen EU-RED-System und Book & Claim-Ansatz zu betrachten. Die Nachhaltigkeitsinformationen des PoS gehen an dieser Stelle auf einen Herkunftsnachweis (Certificate of Origin, CoO; zur Abgrenzung vom GoO-Begriff im Book & Claim-Konzept) über. Dieser CoO wird mit dem physischen Blend weitergegeben. Das heißt auch, dass die Nachhaltigkeitsinformationen von einem PoS auf ein CoO übertragen werden müssen.

Fazit:

Grundsätzlich erreichen alle drei oben vorgestellten Optionen das gewünschte Ziel. Der zusätzliche Aufwand bei der Nutzung eines etablierten EU-RED-Zertifizierungssystems besteht in der Zertifizierung von Herstellern und Umschlagseinrichtungen, die bisher keine Transaktionen unter der EU-RED durchgeführt haben und der Erstellung einer Massenbilanz für das EU-ETS-System. Der zusätzliche Aufwand der Book & Claim-Option besteht in einem europaweiten Register für die Überprüfung der GoOs. Annahme ist, dass dies durch eine möglichst bereits bestehende Institution bearbeitet wird. Der Mehraufwand liegt in der Erstellung des Zentralregisters und dessen Betreuung. Bei der Track & Trace-Option besteht zusätzlicher Aufwand in dem Aufbau eines europäischen „Inventory Management and Reporting Systems" entlang der Lieferkette und der Übernahme von zusätzlichen Betreuungs- und Kontrollaufgaben durch die Hauptzollämter der Mitgliedsstaaten.

Deshalb liegt es nahe, die Auswahl der am meisten geeigneten Option anhand des zusätzlichen administrativen Aufwands zu bewerten. Da es sich im Falle einer dezentralen PtL-Produktion und integrierten Versorgung mit SAF-haltigem JET A-1 am Flugplatz Schönhagen EDAZ um eine spezielle Situation handelt, werden sich der Nachhaltigkeitsnachweis und die Anrechnungsbedingungen vereinfachen. Um eine reibungslose Implementierung der besten Option für EDAZ zu gewährleisten ist es ratsam, die notwendigen Anforderungen in einem Stakeholder-basierten Prozess zusammen mit einem etablierten Anbieter von derartigen Audits rechtzeitig abzustimmen. In Deutschland ist z.B. die ISCC System GmbH in Köln eine geeignete Institution.

5.7 Luftverkehrsrechtliche Genehmigung

5.7.1 Begriffe

Das Luftverkehrsgesetz regelt primär die Anlage und den Betrieb von Flugplätzen. Folgende Abgrenzungen müssen hiernach getroffen werden.

Flugplätze

Nach § 6 Abs. 1 Luftverkehrsgesetz (LuftVG) fallen unter den Begriff Flugplätze die Flughäfen, Landeplätze und Segelfluggelände. Der Luftverkehrszulassungsordnung (LuftVZO) sind die Abgrenzungen dieser verschiedenen Kategorien von Flugplätzen zu entnehmen.

Flughäfen

Flughäfen sind gemäß § 38 Abs. 1 LuftVZO Flugplätze, die nach Art und Umfang des vorgesehenen Flugbetriebs einer Sicherung durch einen Bauschutzbereich nach § 12 LuftVG bedürfen.

Landeplätze

Landeplätze sind gemäß § 49 Abs. 1 LuftVZO Flugplätze, die nach Art und Umfang des vorgesehenen Flugbetriebs einer Sicherung durch einen Bauschutzbereich nach § 12 LuftVG nicht bedürfen und nicht nur als Segelfluggelände dienen. Gemäß § 17 LuftVG kann im Einzelfall bei der Genehmigung von Landeplätzen ein sog. beschränkter Bauschutzbereich festgelegt werden.

Ebenso wie bei Flughäfen wird auch bei Landeplätzen weiterhin danach differenziert, ob sie dem öffentlichen Verkehr gewidmet sind (Verkehrslandeplätze bzw. Verkehrsflughäfen, vgl. § 49 Abs. 2 bzw. § 38 Abs. 2 LuftVZO) oder nur einem eingeschränkten Benutzerkreis zur Verfügung stehen (Landeplätze bzw. Flughäfen für besondere Zwecke, sog. Sonderlandeplätze bzw. Sonderflughäfen).

5.7.2 Genehmigung

Flugplätze (hierunter fallen alle Arten der in Kap. 5.7.1 beschriebenen Arten von Flugplätzen) dürfen gemäß § 6 LuftVG nur mit Genehmigung angelegt oder betrieben werden. Auch die wesentliche Erweiterung oder Änderung der Anlage oder des Betriebes erfordern eine Genehmigung (siehe 5.7.3).

Für das Anlegen neuer oder die Änderung bestehender Flughäfen und Landeplätze mit beschränktem Bauschutzbereich sieht § 8 LuftVG zusätzlich die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens vor. Damit genügt für die öffentlich-rechtliche Zulassung bestimmter Flugplätze allein das Vorliegen einer Genehmigung gemäß § 6 LuftVG, während die Zulassung anderer Flugplätze zusätzlich noch von einer Planfeststellung abhängt. Gemäß § 6 Abs. 1 S. 2 LuftVG ist weiterhin bei Flugplätzen, die einer Planfeststellung gemäß § 8 LuftVG bedürfen, auch eine förmliche Umweltverträglichkeitsprüfung durchzuführen

5.7.3 Änderung/Erweiterung von Flugplätzen

Auch eine wesentliche Erweiterung oder Änderung der Anlage oder des Betriebes eines Flugplatzes bedarf nach § 6 LuftVG der Genehmigung.

Eine wesentliche Änderung kann durch einen Vergleich des bisherigen mit dem geplanten Zustand hinsichtlich quantitativer und qualitativer Veränderungen sowohl des Unternehmens selbst als auch der künftigen Auswirkungen auf die rechtlich geschützten Interessen Dritter bewertet werden.

Auf Basis des § 6 Abs. 4 S. 2 LuftVG können daher Änderungen der Dimensionierung bzw. der Kapazitäten von Flugplätzen, d.h. sowohl die Vergrößerung als auch die Verkleinerung, vorgenommen werden. Die Durchführung des Änderungsgenehmigungsverfahrens folgt in formeller wie materieller Hinsicht denselben bereits dargestellten Regelungen wie das normale Genehmigungsverfahren.[51]

---

[51] Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2009), Luftverkehrsrechtliche Voraussetzungen des Betriebs von Verkehrslandeplätzen

5.7.4 Planfeststellung

Die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens kann auch bei Anlegung, wesentlicher Änderung oder Erweiterung von Landeplätzen erforderlich sein. Dies ist der Fall, wenn es sich um einen Landeplatz mit beschränktem Bauschutzbereich gemäß § 17 LuftVG handelt. In Bauschutzbereichen bedürfen nach den §§ 12 ff. LuftVG Baumaßnahmen sowie sonstige die Flugsicherheit möglicherweise beeinträchtigende Maßnahmen der Zustimmung der Luftfahrtbehörde.

Die Durchführung des Planfeststellungsverfahrens richtet sich nach § 8 LuftVG sowie § 10 LuftVG in Verbindung mit dem VwVfG bzw. den Landesverwaltungsverfahrensgesetzen. Gemäß § 8 Abs. 1 S. 2 LuftVG sind bei der Planfeststellung die von dem Vorhaben berührten öffentlichen und privaten Belange einschließlich der Umweltverträglichkeit im Rahmen der planerischen Abwägung zu berücksichtigen. Bei der für das Planfeststellungsverfahren vorgesehenen Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) handelt es sich um eine förmliche UVP nach dem UVPG. Diese ist gemäß § 2 Abs. 1 UVPG unselbständiger Teil des Planfeststellungsverfahrens. Das Ergebnis der durchzuführenden UVP ist im Rahmen der planerischen Abwägung zu berücksichtigen. Gemäß § 8 Abs. 1 S. 3 LuftVG sind weiterhin zum Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft die geltenden Fluglärmgrenzwerte zu beachten.

Dem Planfeststellungsverfahren vorgeschaltet ist in der Regel ein Raumordnungsverfahren nach § 15 ROG i. V. m. § 1 Nr. 12 ROV. Wird ein Raumordnungsverfahren durchgeführt, so schließt dieses die Umweltverträglichkeitsprüfung mit ein.

Unter den Voraussetzungen des § 8 Abs. 2 LuftVG kann anstelle eines Planfeststellungsbeschlusses eine Plangenehmigung erteilt werden. Bei Änderungen oder Erweiterungen von unwesentlicher Bedeutung gemäß § 8 Abs. 3 LuftVG können Planfeststellung und Plangenehmigung unterbleiben.

5.7.5 Photovoltaikanlagen auf Flugplätzen

Bei der Planung und Errichtung von Photovoltaikanlagen auf Flugplätzen sind einige wesentliche Anforderungen zu beachten. Um die Sicherheit des Flugbetriebes nicht zu gefährden, ist auf ausreichende Hindernisfreiheit in den An- und Abflugbereichen sowie neben der Start- und

Landebahn zu achten. Es ist zudem sicherzustellen, dass die Towerbesatzung und die Piloten nicht durch Reflexion der PV-Module geblendet werden. Aus diesem Grund sollte vor der Errichtung einer PV-Anlage eine Sicherheitsstudie durchgeführt werden, welche die Risiken analysiert. Dabei sind die in EASA CS ADR-DSN Kapitel H beschrieben Hindernisfreiflächen zu berücksichtigen. Es muss sichergestellt werden, dass die betreffenden Freiflächen – insbesondere die An- und Abflugflächen, der Streifen sowie die seitliche Übergangsfläche – nicht von der PV-Anlage durchdrungen werden.

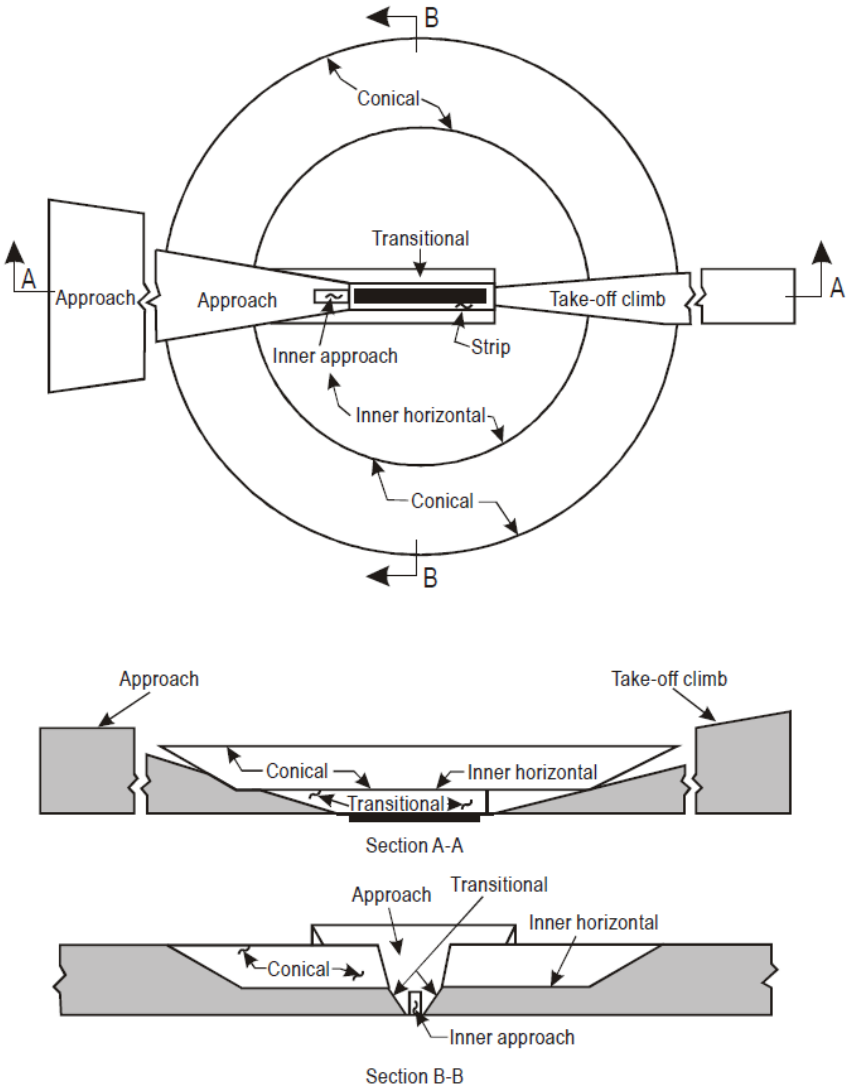


Abbildung 10 – Obstacle Limitation Surfaces (Quelle: EASA CS-ADR-DSN Issue 5 Abbildung H2)

Auch eine mögliche Blendwirkung der PV-Module muss analysiert werden. Durch Auswahl des Standortes und der Ausrichtung der Module ist sicherzustellen, dass der Tower und die Luftfahrzeuge bei Start und Landung nicht geblendet werden können. Aktuell gibt es keine spezifischen Standards für Solaranlagen auf Flugplätzen und die damit ggf. verbundene potenzielle Blendung, die FAA fordert jedoch in Ihrem „Technical Guidance for Evaluating Selected Solar Technologies on Airports" eine an Standort und Projekt angepasste Bewertung und Sicherheitsanalyse.[52]. Daher ist zu empfehlen ein Blendgutachten zu erstellen und die möglichen Auswirkungen einer PV-Anlage auf den Flugbetrieb zu analysieren.

5.8 Sicherheitsbetrachtungen PtL-Produktionsanlagen

Das Thema Sicherheit spielt bei der Implementierung von Produktionsinfrastruktur für die Herstellung von PtL-Kraftstoffen sowie für deren Nutzung und den Umgang mit entsprechend betankten Luftfahrzeugen auf Flugplätzen eine entscheidende Rolle. Der Begriff Sicherheit kann verschieden definiert werden. Für alle Definitionen lässt sich festhalten, dass Sicherheit immer nur für einen begrenzten Zeitraum, eine begrenzte Umgebung und für begrenzte Bedingungen besteht. Auch ein vollständiger Ausschluss von Gefahren und Beeinträchtigungen ist niemals möglich. Der Begriff „Sicherheit" kann weiterhin in verschiedene Kategorien eingeteilt werden. Hierzu zählen die sogenannte Technische Sicherheit die weitergehend in die drei Klassen unmittelbare Sicherheit (Verhinderung der Gefahrenentstehung), mittelbare Sicherheit (Verhinderung von Gefahren durch Sicherheitsmechanismen) und hinweisende Sicherheit (Aufrechterhaltung des Sicherheitsgedanken durch Gefahrenhinweise) geteilt werden kann aber auch Bereiche wie Arbeitssicherheit, die den Gesundheitsschutz von MitarbeiterInnen verfolgt, die Betriebssicherheit deren Grundlage die Bauteilezuverlässigkeit bildet (Überlastung und/oder Materialversagen dürfen nicht dazu führen, dass Bauteile ihre Funktionsfähigkeit verlieren) oder die IT-Sicherheit, also die

[52] Die ICAO und die EASA fordern in ihren Richtlinien zu Flughafen Design dass Piloten nicht durch die Vorfeldbeleuchtung geblendet werden, woraus sich auch eine allgemein gültige Forderung nach Blendfreiheit ableiten lassen kann.

Sicherheit von informationstechnischen Systemen gewährleisten soll.[53] Weiterhin unterscheidet man im englischen Sprachgebrauch zwischen den Begriffen „Safety" und „Security". Ins Deutsche übersetzt werden beide Begriffe mit dem Wort „Sicherheit", ihre Bedeutungen unterscheiden sich jedoch stark voneinander. Der Begriff Safety kommt zum Einsatz, wenn über die Betriebssicherheit gesprochen wird, Security wird im Kontext der Angriffssicherheit genutzt.

Richtet man den Blick auf das Kernthema der Konzeptstudie, wird schnell deutlich, dass es vor allem safetyrelevante Sicherheitsaspekte gibt, die berücksichtigt werden müssen, also die Betriebssicherheit betreffen. Hier gibt es einige Indikatoren, die diese beeinflussen können. Hierzu zählen neben menschlichen Faktoren und Fehlern, den sogenannten Human Factors, auch Schwerpunkte wie Organisations- und operationelle Fehler, technische Faktoren, Wartungsfaktoren oder Wetter- und Umweltfaktoren.[54] Wie beschrieben, kann trotz umfangreicher Sicherheitsvorkehrungen niemals ausgeschlossen werden, dass es zu Unfällen oder Funktionsversagen von Teil- oder Gesamtsystemen kommt. Eine hundertprozentige Sicherheit kann nicht gewährleistet werden. Trotzdem ist es möglich, durch geeignete Vorgaben, Regelungen und Sicherheitsmaßnahmen die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von sogenannten kritischen Ereignissen drastisch zu reduzieren.

Aufgrund der Drop-In-Fähigkeit von PtL-Kraftstoffen können bereits bestehende Regelungen im Sicherheitskontext für den Umgang mit der PtL-Tankstelleninfrastruktur und den mit PtL betankten Luftfahrzeugen bestehen bleiben. Hier ist es vor allem die Produktionsanlage, die ein Novum innerhalb der Flugplatzinfrastruktur darstellt und in eine Sicherheitsbetrachtung einbezogen werden muss. Innerhalb des Produktionsprozesses ist es hauptanteilig der Prozessbestandteil der Wasserstoffproduktion als Zwischenschritt auf dem Weg zur Kraftstoffsynthese, der einer umfangreichen sicherheitstechnischen Betrachtung bedarf. Hier ist erneut darauf hinzuweisen, dass im Rahmen dieser Studie nur ein Überblick über verschiedene sicherheitsrelevante Aspekte

---

53 Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt – Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen (09. März 2021), Fabienke, H., S.76

54 Ebd., S.77

gegeben werden kann. Im Rahmen der konkreten Umsetzung des ITEAL-Vorhabens inklusive der Beantragung, des Genehmigungsverfahrens sowie der Umsetzung des Vorhabens mit einer konkreten Definition und Festlegung der eingesetzten Produktionsanalgen (Hersteller, Produktionsvolumina, etc.) muss eine dezidierte und umfangreiche Sicherheitsanalyse mit einem möglichst breiten Szenarienspektrum erfolgen, die in einem konkreten Sicherheitskonzept festgehalten und im Rahmen eines Sicherheitsmanagements ständig überwacht und ggf. angepasst wird. Die Ergebnisse aus den Untersuchungen müssen im jeweiligen Safety-Management-System (SMS) des jeweiligen Flugplatzes dokumentiert werden, das nach §45 b und §53 Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) verpflichtend geführt werden muss. Die Verantwortung für die Dokumentation und Pflege des SMS liegt bei einem oder einer Sicherheitsbeauftragten der jeweiligen Flugplatzgesellschaft.
Es muss zu jeder Zeit sichergestellt sein, dass Mitarbeiter, die im Flugplatzalltag mit Kraftstoffstrukturen und -technologien zu tun haben, entsprechend geeignete Qualifikationen und Kompetenzen aufweisen. Gleichzeitig muss gewährleistet werden, dass diese Mitarbeiter mit Hilfe von regelmäßigen Schulungen und Weiterbildungen sowohl ihre Fachkompetenzen als auch ggf. erforderliche und notwendig werdende Lizenzen aufrechterhalten. Für die interne Dokumentation müssen ggf. bereits bestehende Dokumente an den Umfang und die Komplexität der Produktionsanlagen angepasst und erweitert werden. Auch die im jeweiligen SMS definierten Meldefristen sollten den Untersuchungsergebnissen entsprechend angepasst werden. Vor allem bei der Eingliederung von wasserstoffbetriebenen Luftfahrzeugen in die bestehende Infrastruktur erhöht sich die sicherheitsrelevante Gesamtkomplexität des Systems.

Diese Erhöhung der Gesamtkomplexität macht es notwendig, sich gerade in Bezug auf den Einsatz von Elektrolyse-Einheiten, Wasserstofftanks und eben diesen Luftfahrzeugen, mit den umliegenden und zuständigen Feuerwehren bereits festgelegte Handlungsketten anzupassen und diese um geeignete Maßnahmen zu erweitern. Dazu gehört beispielsweise das Vorhandensein von entsprechender Schutzkleidung sowohl für die Flugplatzfeuerwehr als auch für die umliegenden Feuerwachen. Bei dieser Schutzkleidung handelt es sich beispielsweise um Handschuhe die elektrostatische Energie ableiten, Schutzbrillen und ggf. einen Körperschutz, der die Einsatzkräfte innerhalb eines Einsatzszenarios beim Umgang mit Wasserstoff schützt.

In Abbildung 11 ist ein Ablaufdiagramm dargestellt, das einen möglichen Ablauf bei einem kritischen Ereignis in Zusammenhang mit Wasserstoff auf dem Flugplatz darstellt. Dieser gilt vor allem für Feuerwehren aber auch für Ersthelfer, die vor Ort schnell reagieren können.

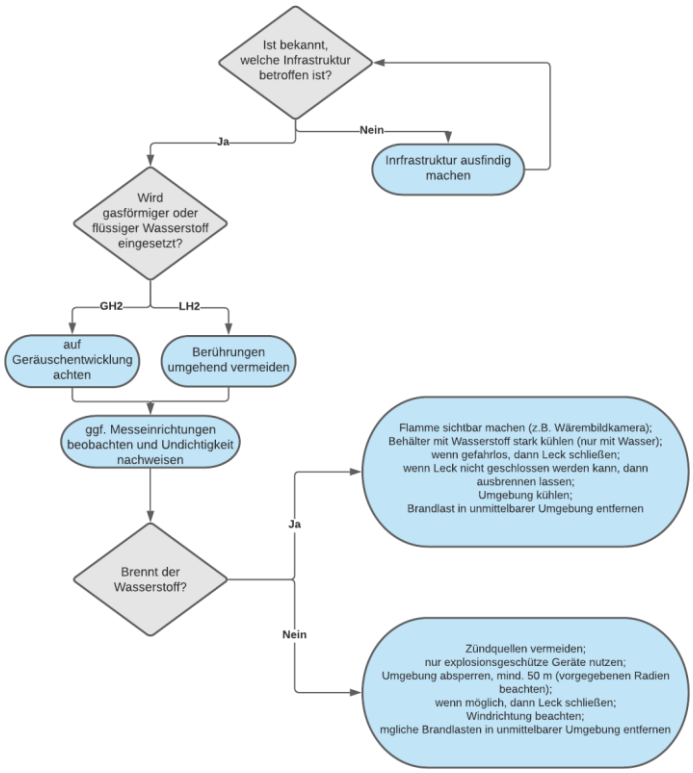


Abbildung 11 – Ablaufdiagramm bei einem kritischen Ereignis im Zusammenhang mit Wasserstoff[55]

Gleichzeitig muss für die Produktionsanlage nach §6 Absatz 9 der Gefahrenstoffverordnung (GefStoffV) ein Explosionsschutzdokument erstellt werden, um „Gefährdungen durch gefährliche explosionsfähige Gemische besonders auszuweisen“[56]. Dabei müssen vor allem vorliegende Explosionsgefährdungen definiert, Vorkehrungen beschrieben und Sicherheitszonen mit entsprechenden Maßnahmen definiert werden. Zu Beginn der Implementierung von Wasserstofftechnologie

55 Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt – Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen (09. März 2021), Fabienke, H., S.115

56 Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen - Gefahrstoffverordnung GefStoffV (26. November 2010), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

in Schönhagen ist zunächst zu prüfen, ob ein solches Dokument nach GefStoffV notwendig ist. Durch die Komplexität des Systems und die größeren Mengen Wasserstoff ist jedoch davon auszugehen, dass ein Explosionsschutzdokument in die Sicherheitsdokumentation mit aufgenommen und entwickelt werden muss. Allgemein gültig sind vor allem die Sicherheitsdatenblätter, die von den Technologiedienstleistern und -herstellern zur Verfügung gestellt werden, aber auch Empfehlungen entsprechender Ämter und Ministerien sowie Technische Regeln für die Betriebssicherheit (TRBS) und Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS).

Sinnvoll wäre es zudem, sich im Vorhinein über allgemeingültige Sicherheitszonen mit entsprechend abgestuften und angepassten Regeln für das Verhalten im Umfeld von Produktionsinfrastruktur Gedanken zu machen. Denkbar wäre hier beispielsweise die Festlegung von 3 Zonen, die jeweils mit einem bestimmten Radius um die betroffenen Einheiten gelegt werden. Hier ist darauf hinzuweisen, dass eine Festlegung von geografisch genauen Sicherheitsabständen erst bei einer wirklichen Realisierung möglich ist. Die Vorsichtsstufen beziehen sich hier vor allem auf den Themenschwerpunkt Wasserstoff und damit zusammenhängende Technologien und Infrastrukturen, können aber gesamtübergreifend über die komplette Produktionsanlage gelegt werden. Im Folgenden sind Vorschläge für Regeln zusammengefasst, die in den entsprechenden Zonen zu beachten sein könnten:[57]

- Zone 1 (rot) – höchste Vorsichtsstufe: explizites Rauchverbot, ausschließliche Nutzung von explosionsgeschützten Geräten, Verbot der Nutzung von Mobiltelefonen, äußerste Vorsicht mit sonstigen Zündquellen, keine Arbeit mit offenen Flammen (außer mit ausdrücklicher, schriftlicher Genehmigung und vorheriger Risikoanalyse)
- Zone 2 (gelb) – mittlere Vorsichtsstufe: explizites Rauchverbot, vorzugsweise Nutzung von explosionsgeschützten Geräten, Mobiltelefonnutzung einschränken, äußerste Vorsicht mit sonstigen Zündquellen, Arbeit mit offenen Flammen nur mit Genehmigung möglich

[57] Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt – Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen (09. März 2021), Fabienke, H., S.116/117

- Zone 3 (grün) – geringe/keine Vorsichtsstufe: sofern nicht anderweitig eingeschränkt und verboten dürfte in dieser Zone wieder geraucht und uneingeschränkt das Mobiltelefon benutzt werden, auch nicht-explosionsgeschützte Geräte dürften hier wieder verwendet werden, auch Arbeit mit offenen Flammen ist (sofern nicht anderweitig eingeschränkt) ebenfalls wieder möglich

Für die Implementierung von Maßnahmen zur IT- und Kommunikationssicherheit der entsprechenden Infrastrukturen ist vor allem die „Durchführungsverordnung (EU) 2019/1583" bei einer zukünftigen Implementierung zu beachten. Die Verordnung, die am 31.12.2021 in Kraft tritt, verpflichtet u.a. auch Flugplätze kritische IT- und Kommunikationsstrukturen zu identifizieren und entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu definieren sowie eine entsprechende Dokumentation anzufertigen. Wie genau eine Umsetzung erfolgen soll ist noch nicht bekannt, hier müssen sich die innerdeutschen zuständigen Stellen erst abstimmen. Zu weiteren allgemeingültigen Security-relevanten Maßnahmen zählen regelmäßige und unangekündigte Rundgänge mit gleichzeitiger Überprüfung der entsprechenden Sicherheitstechnik.

Für Notfallsituationen müssen nach vorheriger Absprache mit der zuständigen Feuerwehr verschiedene, an die Produktionsinfrastruktur angepasste Räumungszonen definiert werden. Orientierung liefern können beispielsweise die in Tabelle 9 dargestellten Räumungszonen, die sich auf den Einsatz von Wasserstoff beziehen, jedoch ohne weitere Probleme auf die gesamte Produktionsinfrastruktur bezogen werden.

Tabelle 9 - Primäre und Sekundäre Räumungsradien bei einem kritischen Wasserstoff-Ereignis[58]

Objekt	Primärer Räumungsradius	Sekundärer Räumungsradius Bei Berstgefahr
Einzelflasche Wasserstoffbetriebenes Fahrzeug	50 m	100 m
Flaschenbatterien (auch auf Trailer)	150 m	400 m
Jumbo-Tube-Trailer Flüssigwasserstoff-transportfahrzeuge	200 m	750 m

Schon bei der konkreten Planung und Auslegung der Produktionsanlage sollte darauf geachtet werden, dass genug freie und befahrbare Flächen zur Verfügung stehen, die verhindern sollen, dass ggf. Tankwagen oder andere Fahrzeuge beim Befahren der Anlage nicht mit Teilen derer zusammenstoßen oder in sonstiger Form in Verbindung kommen. Eine entsprechend einheitliche Festlegung der Sicherheitszonen für die gesamte Anlage sollte erfolgen. Denkbar wäre beispielsweise der Einsatz der Zone 1 über die gesamte Anlage hinweg. Zusätzlich sollte in ausreichender Größe und für alle gut sichtbar an den entsprechenden Stellen mindestens das Verbotszeichen P003 (keine offenen Flammen, Feuer, offen Zündquellen, Rauchen verboten) angebracht sein. Gleiches gilt für das Warnzeichen D-W021 (Warnung vor explosionsfähiger Atmosphäre), das vor allem im Bereich der Elektrolyse bzw. im Bereich der gesamten Wasserstoffproduktion platziert werden. Beide Zeichen sind in Abbildung 12 dargestellt.

Abbildung 12 – Verbotszeichen P003 und Warnzeichen D-W021[59]

58 Wasserstoff und dessen Gefahren – Ein Leitfaden für Feuerwehren (2008), AGBF-Bund, S.12

59 https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:DIN_4844-2_D-W021.svg und https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:ISO_7010_P003.svg, zugegriffen am 22.12.2021

Zu empfehlen wäre ebenfalls die zusätzliche Integration von Wärmebildkamera zur Erkennung von ggf. auftretenden Leckagen von Wasserstoff. Über ein zentrales Kontrollzentrum könnten die Aufzeichnungen zusammengeführt und überwacht werden. Alternativ oder ergänzend können Gasmessgeräte installiert werden, um ggf. vorhandene unterirdische Leitungen zu überprüfen. In Kombination mit diesen Warnsystemen können Störungs- und Alarmsignale ebenfalls zentral über ein Kontrollzentrum eingegliedert werden. Wenn möglich, sollte von Anfang an auf eine vernetzte und einheitliche Überwachung der gesamten Produktionsanlage gesetzt werden. So können alle relevanten Kontrollparameter (z.B. auch Bauteilbelastung und Lebensdauer) einheitlich betrachtet werden.

Wartungsabläufe und -intervalle müssen mit dem Hersteller abgestimmt und angepasst werden. Zu klären ist, inwieweit der jeweilige flugplatzinterne Bodendienst bestimmte Tätigkeiten durchführen kann. Ansonsten muss sichergestellt werden, dass externes und qualifiziertes Personal für die Durchführung der Wartungsarbeiten zur Verfügung steht.

Personen, die nicht der Flugplatzgesellschaft, einem entsprechenden Wartungsbetrieb oder dem jeweiligen Technologieanbieter angehören, dürfen das Gelände nur in Begleitung und in vorheriger Abstimmung mit der oder dem Sicherheitsbeauftragten sowie der Geschäftsführung betreten und müssen vorher eingewiesen und belehrt werden.[60]

Zur Abwehr von äußeren Gefahren und zum Verhindern von unbefugtem Eindringen von Personen ohne Zugangsberechtigung sollte die gesamte Produktionsanlage entsprechend gesichert werden. Das Gelände, auf dem die Produktionsanlage verortet ist, sollte mindestens vollständig umzäunt werden. Denkbar wäre hier ein Sicherheitszaun (Sicherheitslevel 1)[61]. Ein elektronisches Tor sollte die Ein- und Ausfahrt nur bestimmten und zugangsberechtigten Personen ermöglichen. Sicherstellen könnte man einen kontrollierten Zugang zusätzlich mit einem entsprechenden Schlüssel- bzw. Chipsystem zur Einlasskontrolle. Auch die Installation von Überwachungskameras an geeigneten Stellen kann die Sicherheit der Produktionsanlage ergänzen.

---

60 Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt – Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen (09. März 2021), Fabienke, H., S.119/120

61 Ebd., S.121

Die sicherheitstechnischen Betrachtungen zeigen, dass die Flugplatzinfrastruktur und dementsprechend auch die PtL-Produktionsanlage vornehmlich durch den Teilprozess der Wasserstoffproduktion tangiert wird. Eine flexible, anpassbare und vor allem, erweiterbare Infrastruktur ist der Schlüssel für eine erfolgreiche, sicherheitsrelevante Umsetzung des Vorhabens ITEAL. Durch hohe Sicherheitsstandards der eingesetzten Technologien und ergänzende Sicherheitsmaßnahmen ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit des Eintretens kritischer Ereignisse auf ein Minimum zu reduzieren.

6 Emissionseinsparpotential und Klimapolitische Einordnung

Die Klimaziele erfordern vom Luftverkehr ebenfalls eine erhebliche Reduzierung der Treibhausgasemissionen. Das Erreichen von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 wird zudem durch das prognostizierte Wachstum des Luftverkehrs und dem damit verbundenen kontinuierlichen Anstieg der luftfahrtbedingten Emissionen erschwert.

Daher sind ambitionierte Maßnahmen in der Luftfahrtindustrie, bei den Luftfahrtkraftstoffen und der Verkehrsoptimierung erforderlich. Nur durch den Einsatz nachhaltiger PtL-Flugkraftstoffe, reiner Wasserstoffkraftstoffe oder alternativer Antriebskonzepte wie Brennstoffzellenflugzeuge kann die Reduktion der Emissionen im bestehenden Flugaufkommen sowie ein klimaneutrales Wachstum auf dem Weg in eine emissionsfreie Zukunft im Luftverkehr erreicht werden.

6.1 Klimaschutzziele

Die Weltgemeinschaft hat sich 2015 im Übereinkommen von Paris dazu bekannt, die globale Erwärmung auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen.

Die Europäische Union – und damit auch Deutschland – haben sich im Wege des europäischen Grünen Deal bis zum Jahr 2050 zur Klimaneutralität verpflichtet. Diese Zielvorgabe wurde mit dem im Juli 2021 in Kraft getretenen Europäischen Klimaschutzgesetz auch gesetzlich festgeschrieben.

Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 55 % gesenkt werden. Zur Erreichung der Klimaneutralität müssen die Emissionen des Verkehrssektors bis 2045 um mindestens 90 % (im Vergleich zu 1990) reduziert werden.

Mit dem ebenfalls im Juli 2021 vorgestellten Fit-for-55-Paket hat die EU-Kommission ihre Gesetzgebungsvorschläge zur Erreichung der neuen und strengeren Klimaschutzziele vorgelegt.

Deutschland hat sich mit dem novellierten Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) das Ziel gesetzt, die Treibhausgasneutralität sogar bereits im Jahr 2045 zu erreichen. Dabei sollen bis zum Jahr 2030 die Treibhausgasemissionen um mindestens 65 % und bis zum Jahr 2040 um mindestens 88 %

verringert werden. Mit dem KSG wurden verbindliche Treibhausgasminderungsziele für die Jahre 2020 bis 2030 in den verschiedenen Sektoren als zulässige Jahresemissionsmengen (Sektorenziele) festgelegt. Im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) wurde zudem verbindlich der Einsatz von 2 % PtL-Kraftstoffen ab 2030 in der deutschen Luftfahrt vorgeschrieben.

Um die vereinbarte Klimaneutralität bis Mitte des Jahrhunderts zu erreichen, muss der Luftverkehr wirksame Maßnahmen zur Emissionsminderung ergreifen.

Am 5. Oktober 2021 hat die globale Luftverkehrsbranche im Rahmen der Air Transport Action Group (ATAG) ein langfristiges Klimaziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 verabschiedet und damit das Engagement der weltweiten Fluggesellschaften, der Flughäfen, des Flugverkehrsmanagements und der Hersteller von Flugzeugen und Antrieben bekräftigt, die CO_2-Emissionen zur Unterstützung des 1,5-Grad-Ziels des Pariser Abkommens zu reduzieren.

Die internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO hat sich 2016 erstmals mit dem Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) Ziele zum Klimaschutz für die weltweite Luftfahrt gesetzt. Nach 2020 soll der internationale Luftverkehr nur noch klimaneutral wachsen. Zudem sollen die Netto-CO_2-Emissionen des internationalen Luftverkehrs bis 2050 im Vergleich zu 2005 um 50 % reduziert werden.

6.2 Klimarelevante Emissionen des Luftverkehrs

Der Luftverkehr hat einen erheblichen Beitrag zu den aktuellen globalen und lokalen Umweltproblemen. Die startenden und landenden Flugzeuge verursachen Luftschadstoffemissionen und Lärmbelastungen, die die Gesundheit der Flughafenanwohner beeinträchtigen und ihre Lebensqualität mindern. Im Reiseflug stoßen insbesondere Flugzeuge mit Strahltriebwerken große Mengen an Treibhausgasen und Partikeln aus, die in höheren Luftschichten, z. B. durch Wolkenbildungseffekte, zu einem zusätzlichen Treibhauseffekt führen. Auch der angebundene

Zubringerverkehr, der flughafeninterne Verkehr sowie die mobilen und stationären Einrichtungen des Flughafens tragen zur Luftverschmutzung bei.[62]

6.2.1 Emissionen des Luftverkehrs im Reiseflug

Die globale Luftfahrt emittiert mehr als 900 Mio. t CO_2 pro Jahr und ist für etwa 2,5 % der anthropogenen CO_2-Emissionen verantwortlich. Zählt man die Effekte von Nicht-CO_2-Emissionen wie Wasserdampf und Stickoxid hinzu, erhöht sich der Einfluss des Luftverkehrs auf die globale Erderwärmung auf rund 5 %.[63, 64]

In Deutschland und der EU ist der Anteil des Luftverkehrs an den Treibhausgasemissionen noch etwas höher: im Jahr 2018 verursachte der nationale und internationale Luftverkehr in Deutschland etwa 3,6 % der gesamten Treibhausgasemissionen, in der EU 4,1 %. In Deutschland haben dabei die Emissionen aus den Tankvorgängen für internationale Flüge einen Anteil von etwa 94 %. [65]

Nach einem rasanten Anstieg in den vergangenen zwei Jahrzehnten sind die CO_2-Emissionen aus dem weltweiten Luftverkehr im Zuge der COVID-19-Pandemie um ein Drittel im Vergleich zu 2019 gesunken und betrugen im Jahr 2020 nur noch knapp über 600 Mio. t – der niedrigste Stand seit 1997. Trotz dieses beispiellosen Einbruchs werden die Verkehrsleistung und damit der Kerosinverbrauch in den kommenden Jahrzehnten weiter steigen.

---

62 UBA 2019, J. Bopst, R. Herbener, O. Hölzer-Schopohl, J. Lindmaier, T. Myck, J. Weiß, UBA, Umweltschonender Luftverkehr, lokal-national-international, 2019

63 DLR, BDLI 2020, DLR, BDLI, Zero Emission Aviation – emissionsfreie Luftfahrt, White Paper der deutschen Luftfahrtforschung, 2020

64 IATA 2019

65 Öko-Institut 2021, Öko-Institut e. V., Möglichkeiten zur Regulierung der Klimawirkungen des Luftverkehrs, 2021

Unter der Annahme eines Branchenwachstums von 3 bis 5 % pro Jahr und Effizienzsteigerungen von 2 % pro Jahr würden sich die Emissionen aus dem Luftverkehr bis 2050 im Vergleich zu dem Niveau vor der COVID-19-Krise auf etwa 1,5 bis 2 Gigatonnen CO_2-Emissionen verdoppeln. [66]

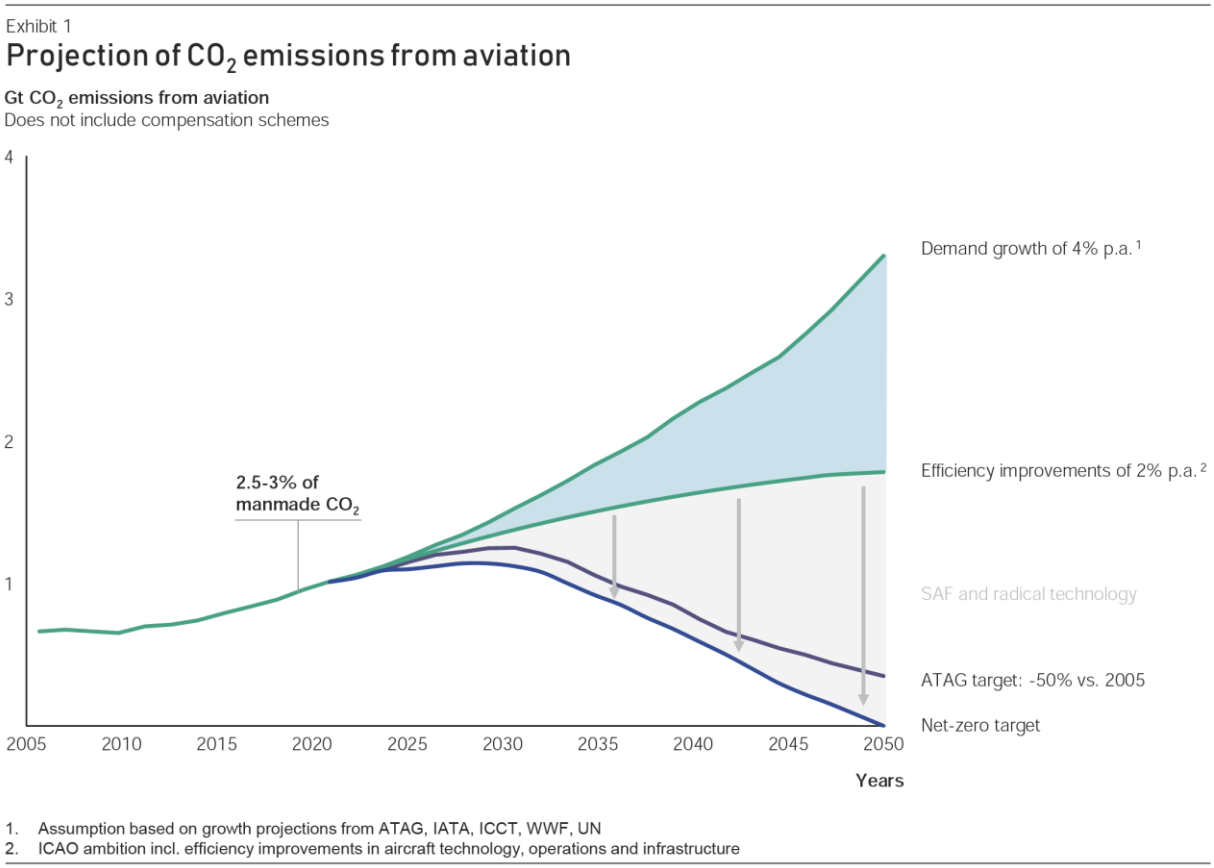


Abbildung 13 – Projektion der CO_2-Emissionen der Luftfahrt (Quelle: McKinsey 2020)

Ursache der Treibhausgasemissionen im Luftverkehr ist die Verwendung von Kohlenwasserstoffen, die bei der Verbrennung CO_2 emittieren. Die Verbrennungsmotoren in den Flugzeugen emittieren 3,15 Kilogramm CO_2 für jedes im Flug verbrannte Kilogramm Kerosin.[67]

Abhängig von der angenommenen Effizienzentwicklung ergibt sich im wahrscheinlichsten Szenario ein Kerosinverbrauch im Jahr 2050 von 637 Mio. t bis 958 Mio. t pro Jahr. Damit steigt der

---

66 McKinsey 2020 a, McKinsey & Company, ICAO, Hydrogen-powered aviation A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050, 2020

67 Graver, Zhang, Rutherford (2019), CO_2 emissions from commercial aviation, 2018. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO_2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf

Verbrauch und auch die Emissionen um das 2,3- bis 3,4-fache des Verbrauchs gegenüber dem Jahr 2015, falls zukünftig weiterhin fossiles Kerosin im Luftverkehr zum Einsatz kommt und lediglich Effizienzmaßnahmen berücksichtigt werden.[68]

Bei der Verbrennung von Kerosin entsteht nicht nur CO_2, sondern in geringeren Mengen auch Methan (CH_4) und Stickoxid (N_2O). Diese tragen jedoch im Vergleich zu den reinen CO_2-Emissionen nur zu einer 1 %igen Erhöhung des gesamten Treibhausgaseffekts bei.[69]

Neben CO_2 tragen eine Reihe weiterer Emissionen des Luftverkehrs ebenfalls zu einer Änderung des Strahlungshaushaltes bei und liefern so einen Beitrag zur Klimaänderung. Es handelt sich vor allem um den Ausstoß von Rußpartikeln, Wasserdampf, Schwefel- und Stickoxiden, die in Reiseflughöhe auf die Bildung von Aerosolen und Wolken sowie auf die Konzentrationen einiger atmosphärischer Gase Einfluss nehmen und so ebenfalls zur Änderung des Strahlungshaushaltes beitragen.[70]

Die Nettoeffekte resultieren in einer Erwärmung des Klimas, auch wenn es eine Reihe individueller Erwärmungs- und Abkühlungseffekte der verschiedenen Nicht-CO_2-Emissionen des Luftverkehrs mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten gibt.

---

68 Cames et al., 2019, CAMES, M., GRAICHEN, P., KASTEN, P., MOTTSCHALL, M., FABER, J., NELISSEN, D., SCHEELHAASE, J., GRIMME, W. & MAERTENS, S. 2019. Klimaschutz im Luft- und Seeverkehr: Strategiepapier Luftfahrt. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.

69 Lee, 2018b, LEE, D. S. 2018b. The role of aviation in a post-Paris Agreement Climate World.

70 David S. Lee, David W. Fahey, Piers M. Forster, Peter J. Newton, Aviation and global climate change in the 21century, 2008

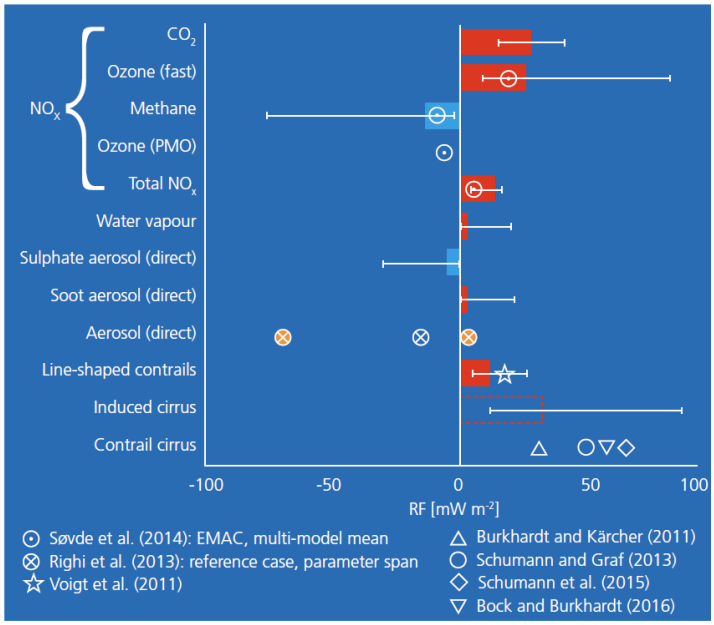


Abbildung 14 – Klimarelevante Luftverkehrsemissionen in der Übersicht (Quelle: DLR, BDLI 2020)

6.2.1.1 CO_2-Emissionen

CO_2 bildet den größten Anteil der Flugzeugemissionen und steht in direktem Zusammenhang mit dem Kraftstoffverbrauch. Das Gas mischt sich nahezu homogen in der Atmosphäre mit direktem Erwärmungseffekt. Aufgrund seiner langen Lebensdauer in der Atmosphäre ist das CO_2 als Treibhausgas besonders klimaschädlich. Nach der Freisetzung einer bestimmten Menge des Gases wird etwa die Hälfte innerhalb von 30 Jahren aus der Atmosphäre entfernt, weitere 25 % - innerhalb von einigen hundert Jahren, und die restlichen 25 % befinden sich noch nach tausend Jahren in der Atmosphäre und werden nur sehr langsam entfernt.[71]

In Deutschland verursachte der zivile Luftverkehr im Jahr 2017 rund 31,2 Mio. t CO_2, was einem Anstieg von 117 % gegenüber den 14,3 Mio. t CO_2-Emissionen im Jahr 1990 entspricht. Im gleichen Zeitraum hat sich die Menge an getanktem Kerosin für nationale und internationale Flüge in Deutschland von 4,53 Mio. t im Jahr 1990 auf 9,93 Mio. t im Jahr 2017 mehr als verdoppelt. Der Zuwachs ist ausschließlich auf den grenzüberschreitenden Flugverkehr zurückzuführen. Im

[71] DLR, BDLI 2020, DLR, BDLI, Zero Emission Aviation – emissionsfreie Luftfahrt, White Paper der deutschen Luftfahrtforschung, 2020

Inlandsverkehr ging der Kerosinbrauch im gleichen Zeitraum sogar leicht von 0,66 Mio. t auf 0,65 Mio. t zurück.

Von UBA und BMU in Auftrag gegebene Studien gehen davon aus, dass im Referenzfall, d.h. ohne weitere Maßnahmen, im Jahr 2050 rund 45 Mio. t CO_2-Emissionen aus dem zivilen Luftverkehr (national und international) anfallen werden, was einem Anstieg von rund 45 % gegenüber 2017 ausmacht. [72]

Im Jahr 2021 hat sich der Absatz von Kerosin und Flugbenzin am Flugplatz Schönhagen gegenüber 2020 mehr als verdoppelt. Von rund 350.000 Litern im Jahr 2020 ist die verkaufte Kerosinmenge bis Ende 2021 auf rund 750.000 Liter angestiegen. Der Verkauf von Flugbenzin hat im gleichen Zeitraum von 436.000 Litern auf rund 870.000 Liter zugenommen.[73]

Die Verbrennung der im Jahr 2021 am Flugplatz Schönhagen verkauften Flugkraftstoffe hat zu ca. 1890 t CO_2-Emissionen aus der Verbrennung von Kerosin und ca. 1919 t CO_2 aus der Verbrennung von Flugbenzin geführt.[74, 75]

Im Jahr 2021 wurden 44.668 Flugbewegungen durchgeführt, davon 74 % mit Leichtflugzeugen bis 2 t Abfluggewicht. In Tabelle 10 sind die CO_2-Ausstöße der Luftfahrzeugklassen mit ihrem prozentualen Anteil an den gesamten Flugbewegungen dargestellt. Betrachtet wurden die Platzrunden mit einer Dauer von 7 Minuten und die Streckenflüge von 51 Minuten. Für den Erhalt des gesamten CO_2-Ausstoßes werden die Gesamtausstöße der Platzrunden und der Streckenflüge addiert.

---

72 UBA 2019

73 Nach Angaben von Flugplatz Schönhagen.

74 Spezifisches Gewicht von 0.8 kg/l für Kerosin, spezifisches Gewicht 0.721 kg/l für Avgas. https://www.oswald.aero/Apps/Aviation-Fuel-Calculator/

75 1 kg Kerosin =3,15 kg CO_2, 1kg Avgas = 3,06 kg CO_2

Tabelle 10 – CO_2 Ausstoß Flugplatz Schönhagen Platzrunden und Streckenflüge im Jahr 2021

Luftfahrzeugklasse	Gewicht [t]	Verteilung der Flugbewegung [%]	CO_2 Ausstoß gesamt [t]	Anzahl der Platzrunden nach %-Anteil	CO_2 Ausstoß Platzrunde gesamt [t]	Anzahl der Streckenflüge nach %-Anteil	CO_2 Ausstoß Streckenflüge gesamt [t]
C	5,7-14	0,62	167	165	12	101	52
I	2-5,7	2,13	502	573	36	348	156
F	2-5,7	2,09	323	561	23	341	100
G	<2	0,87	35	234	3	142	11
E	<2	74,29	1551	19955	112	12128	482
K		0,52	4	138	0,3	84	1
M		10,23	106	2747	8	1669	33
H		5,97	1029	1603	74	974	320
Segelflugzeug		3,3	-	885	-	538	-
SUMME					**268**		**1155**

Unter Berücksichtigung der durchgeführten Platzrunden von jeweils 0,12 Stunden, der Streckenflüge von jeweils 0,85 Stunden und des durchschnittlichen Kraftstoffverbrauchs der eingesetzten Flugzeugtypen beliefen sich die gesamten CO_2-Emissionen des Flugverkehrs am Flugplatz im Jahr 2021 auf 1.423 t CO_2.

Die prognostizierten CO_2-Emissionen der Flugbewegungen am Flugplatz Schönhagen werden im Jahr 2030 auf 1.680 t CO_2 ansteigen, wenn keine CO_2-reduzierenden Maßnahmen wie der Einsatz von SAF und grünem Wasserstoff ergriffen werden.

Für die Berechnung wurde angenommen, dass die prozentuale Verteilung der einzelnen Flugzeugklassen an den gesamten Flugbewegungen unverändert bleibt, wobei die Flugbewegungen

jährlich um 2 % ansteigen werden. Es handelt sich also um einen Zuwachs von 18 % bis zum Jahr 2030.[76]

6.2.1.2 Nicht-CO_2-Effekte

Neben CO_2 tragen eine Reihe weiterer Emissionen aus dem Luftverkehr, vor allem Wasserdampf, Stickoxidemissionen, die direkten und indirekten Aerosoleffekte und Kondensstreifen-Zirren ebenfalls zu einer Veränderung des Strahlungshaushalts und damit zum Klimawandel bei. Die Einflüsse der unterschiedlichen nicht-CO_2-Emissionsarten sind derzeit jedoch noch nicht vollständig verstanden, um die Dekarbonisierung der Luftfahrt adäquat zu adressieren.

a) Wasserdampf (H_2O)

Das wichtigste Reaktionsprodukt bei der Verbrennung von Kerosin im Motor ist Wasserdampf. In der Luftfahrt wird ein großer Teil des H_2O in Reiseflughöhe emittiert, d. h. zwischen 8 und 13 km Höhe. Dort ist die (natürliche) Hintergrundkonzentration von Wasserdampf viel niedriger als in Bodennähe, und die atmosphärische Lebensdauer von H_2O ist deutlich länger. Daher trägt der Luftverkehr hier spürbar zur Gesamtkonzentration von H_2O bei. Der entstandene Wasserdampf hat direkte Auswirkungen auf das Klima, weil er klimawärmende Strahlung reflektiert. Allerdings hält er sich in großen Höhen nicht lange, und seine Effekte sind etwa zehnmal geringer als die der CO_2-Emissionen.[77]

b) Stickoxide (NO_x)

Bei der Verbrennung von Kerosin entstehen aufgrund der Oxidation von Stickstoff aus der Luft auch Stickoxide (NO_x) als Nebenprodukt. In Zusammenwirkung mit einer Reihe anderer Kohlenwasserstoffe führen NO_x-Emissionen aus dem Luftverkehr zur katalytischen Ozonerzeugung (O_3). Das entstehende Ozon hat eine atmosphärische Lebensdauer von zwei bis acht Wochen und führt zu einer Erwärmung.

---

76 Nach Berechnungen vom Flugplatz Schönhagen

77 UBA 2019

Ein Nebeneffekt der O_3-Produktion ist der Abbau von Methan (CH_4) in der Atmosphäre und folglich eine Verringerung der natürlichen O_3-Produktion sowie eine verringerte Bildung von Wasserdampf in der Stratosphäre. Die Zeiträume dieser Prozesse liegen im Bereich von 10 Jahren und sie führen zu einer leichten Abkühlung der Erde.

In Summe führen alle Prozesse, die ursprünglich auf NO_x-Emissionen aus dem Flugverkehr beruhen, zu einer Erwärmung.[78]

c) Kondensstreifen-Zirren

Die Kondensstreifen und die Kondensstreifen-Zirren entstehen durch die Freisetzung von Wasserdampf, der sich mit Ruß aus konventioneller Verbrennung und Partikeln in der Atmosphäre verbindet. Ihre Entstehung hängt von mehreren Faktoren ab: dem Luftzustand (Feuchtigkeit und Temperatur), der Atmosphäre, durch die das Flugzeug fliegt, der Höhe und der Region. Wenn diese Moleküle in die Atmosphäre emittiert werden, entsteht in großen Höhen ein „wolkenartiger Teppich", der zur weiteren Erwärmung des Klimas beiträgt. Das volle Ausmaß dieses Effekts im Vergleich zu den CO_2-Emissionen ist noch ungewiss, da er nur in wenigen Studien untersucht und getestet wurde. Aber detaillierte Simulationen führender Forschungsinstitute stützen die Vorhersage, dass der Kondensstreifen-Effekt in seiner Größenordnung mit der Klimawirkung von CO_2 vergleichbar sein könnte.[79] [80]

---

78 UBA 2019

79 Die Unsicherheit liegt zwischen 50-150 % im Vergleich zu den Auswirkungen der CO_2-Emissionen.

80 McKinsey 2020

d) Direkte und indirekte Aerosoleffekte

Der Luftverkehr emittiert sowohl Aerosole (z. B. Ruß) als auch Aerosolvorläufer (z. B. Stickstoff und Schwefelverbindungen), aus denen sich Aerosole bilden (z. B. Sulfat- oder Nitrathaltige Aerosole). Diese haben eine Lebensdauer von Tagen bis Wochen. Je nach Typ können sie abkühlend (z. B. Sulfathaltige Aerosole) oder erwärmend (z. B. Ruß) wirken. Insgesamt sind ihre Beiträge zur Klimaänderung jedoch gering.

Die von Flugzeugen emittierten Aerosole können sich in der Atmosphäre zu Wolkenkondensationskernen weiterentwickeln. Wenn mehr Kondensationskerne vorhanden sind, entstehen mehr Wolkentropfen und -kristalle. Damit werden Wolken langlebiger und reflektieren mehr Sonneneinstrahlung. Zudem können Kondensationskerne weit transportiert werden und die Bildung neuer Wolken ermöglichen, sobald die passenden Hintergrundbedingungen vorliegen.

Hinsichtlich der Kondensationskerne aus dem Luftverkehr gibt es nur erste Abschätzungen. Vermutlich modifizieren diese niedrige (warme) Wasserwolken so, dass ein abkühlender Effekt entsteht. Wegen der ungenauen Kenntnis der Prozesse werden derzeit die indirekten Aerosoleffekte des Luftverkehrs bei der Gesamtbewertung seiner Klimawirkung in der Regel nicht berücksichtigt.[81]

6.2.2 Emissionen an den Flughäfen

Die Flughäfen konnten ihre CO_2-Emissionen zwischen 2010 und 2018 um 24 % senken. Diese Einsparung ist das Ergebnis verschiedener Maßnahmen, beispielsweise an Gebäuden, auf dem Vor- und Rollfeld oder bei der Energieversorgung. Die Klimastrategien der verschiedenen Betreibergesellschaften sind so individuell wie die lokalen Gegebenheiten.

[81] UBA 2019

Die Klimaschutzmaßnahmen am Flughafen finden vor allem auf drei Feldern statt: reduzierter Triebwerkseinsatz der Flugzeuge auf dem Flughafen, ein möglichst emissionsarmer Fuhrpark und ein nachhaltiger Betrieb der Infrastruktur.[82]

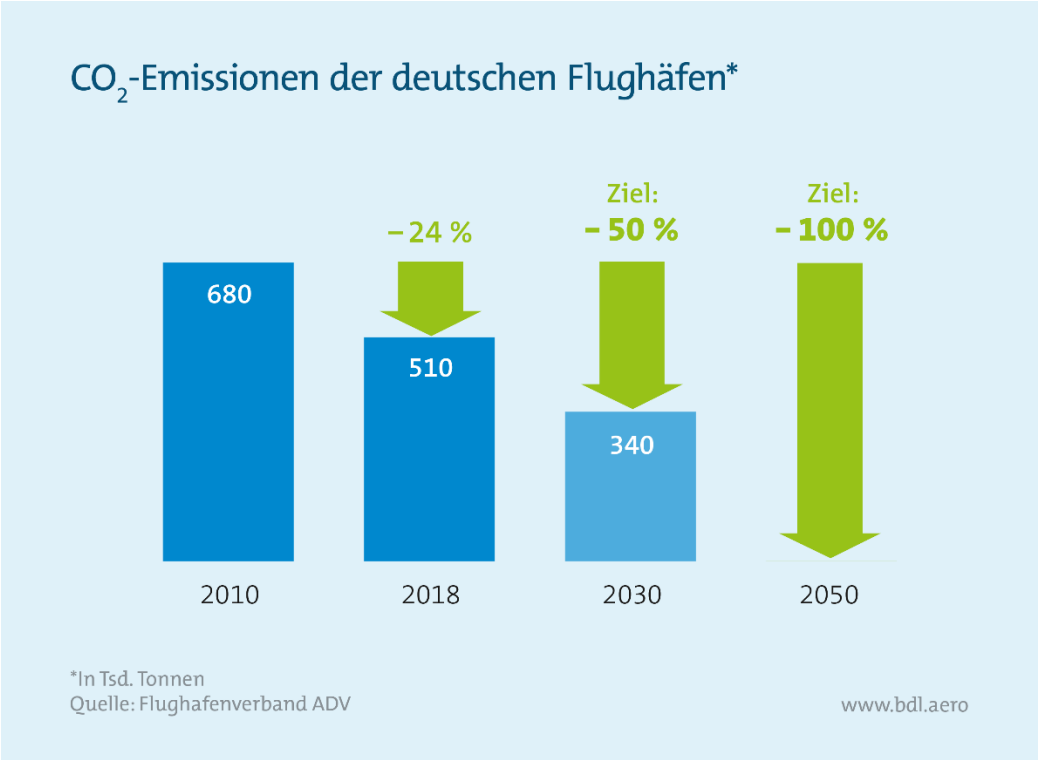


Abbildung 15 – CO_2-Emissionen der deutschen Flughäfen (Flughafenverband ADV)

6.2.2.1 Triebwerkeinsatz der Flugzeuge

Die Flugzeuge verbrauchen Kerosin nicht nur im Flug, sondern auch auf dem Flughafen. Zum einen müssen die Wege zu und von den Landebahnen zurückgelegt werden. Zum anderen benötigen Bordelektronik, Beleuchtung oder Klimaanlagen auch am Boden Energie.

Der notwendige Strom wird über das Hilfstriebwerk, die sogenannte Auxiliary Power Unit (APU), erzeugt. Die APUs sind eine der Hauptquellen für CO_2-Emissionen und andere Luftschadstoffe und tragen erheblich zur Lärmbelastung bei. Mit einem Wirkungsgrad von nur 8 bis 14 % erzeugen die Hilfstriebwerke den Strom für den Antrieb der Flugzeuge nur sehr ineffizient.

---

82 BDL 2019, Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e.V, Klimaschutz im Luftverkehr, Analyse der Instrumente zur CO_2-Reduktion

Um den Einsatz von APUs auf ein Minimum zu reduzieren, übernehmen die Flughäfen die Energieversorgung und Klimatisierung der Flugzeuge selbst. Dabei erfolgt die Stromversorgung der Flugzeuge über stationäre oder mobile Aggregate, die Ground Power Units (GPU). Dadurch können der für den Betrieb der APU erforderliche Kraftstoffverbrauch und die entsprechenden CO_2-Emissionen um rund 90 % gesenkt werden.

Auch hierfür werden alternative Konzepte entwickelt und erprobt. Es wird bereits an Wasserstoff-Brennstoffzellen-APUs geforscht, allerdings sind diese Systeme noch nicht für die Serienanwendung verfügbar.

Bei den Rollvorgängen der Passagierflugzeuge auf den Flughäfen wird viel Energie durch die Triebwerke verbraucht – und entsprechend CO_2 und Lärmemissionen produziert. Seit einiger Zeit werden deshalb immer wieder neue Ideen entwickelt, wie die Flugzeuge auf dem Flughafen ohne eigenen bzw. mit alternativen Antrieben bewegt werden können.[83]

6.2.2.2 Flughafeneigener Fuhrpark

Bevor ein Flugzeug abfliegen kann, werden für die Ver- und Entsorgung, die Beladung und den Transport durch die eingesetzten Fahrzeuge (Gepäckschlepper, Passagierbusse oder Push-back-Fahrzeuge) erhebliche Mengen an fossilen Kraftstoffen verbraucht und damit CO_2 emittiert.

Durch den Einsatz von alternativen Antrieben und Kraftstoffen im Fuhrpark kann die Verbrennung fossiler Treibstoffe am Flugplatz vermieden und der CO_2-Ausstoß reduziert werden.

Der fossile Energieverbrauch eines Flughafens kann durch den Einsatz von Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeugen und die Verwendung von strombasierten Kraftstoffen oder Wasserstoff reduziert werden. Für eine gesamtsystemische Emissionsminderung ist es jedoch erforderlich, dass der Strom für die Elektrofahrzeuge und die Kraftstoffe bzw. der Wasserstoff mit erneuerbaren Energien erzeugt werden.

---

83 https://www.klimaschutz-portal.aero/verbrauch-senken/am-flughafen/reduzierter-triebwerkseinsatz/

Bereits heute sind an deutschen Flughäfen mehr als 1.800 elektrisch betriebene Fahrzeuge (inkl. Hybridfahrzeuge) im Einsatz (ca. 18 % der Flotte). In Zukunft müssen zum Erreichen der Klimaziele der Anteil der emissionsarmen Fahrzeuge erheblich gesteigert werden. Das Potenzial beträgt geschätzt bis zu 10.000 Fahrzeugen. Ein positiver Nebeneffekt von E-Fahrzeugen ist auch die deutliche Emissionsreduzierung bei Luftschadstoffen und Lärm.[84]

Zur Aufrechterhaltung von Sicherheit, Effizienz und Sauberkeit am Flugplatz Schönhagen stehen den Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen Arbeitsfahrzeuge zur Verfügung.

Tabelle 11 – Jährlicher CO_2-Anteil der Arbeitsfahrzeuge in Abhängigkeit ihrer Betriebsstunden

Fahrzeug	Zweck	Kraftstoff-verbrauch auf 100 km [l]	CO_2 Anteil g/km	Dauer der Nutzung [h]	Anzahl Nutzung pro Jahr	Durch-schnittlich gefahrene km pro Nutzungs-tag	Jährlich CO_2-Anteil kg/km
Mercedes Vito	Shuttle	8,9	237	-	365	30	2.595,15
Renault Espace	Follow-Me	7,6	223	1	365	10	813,95
Mercedes 1831	Feuerwehr, tägliche Kontrolle der SLB	28	937	0,5	365	4	1.368
John Deere 4520	Traktor	80	2.679	2	260	10	6.965
John Deere 4520	Traktor	80	2.679	2	260	10	6.965
John Deere Gater 855D	Nutzfahr-zeug	10	6,6	1	260	10	17
John Deere 1026	Nutzfahr-zeug	10	6,6	0,5	260	10	17
CO_2-Anteil Arbeitsfahrzeuge gesamt							**18.742,24**

84 https://www.klimaschutz-portal.aero/verbrauch-senken/am-flughafen/emissionsarmer-fuhr-park/

Zudem steht eine Auswahl an Fahrzeugen zur Vermietung an Kunden/Kundinnen am Flugplatz bereit. Der Renault Zoe ist seit Mai 2021 auf dem Flugplatz und verfügt über einen rein elektrischen Antrieb. Der Mercedes GLA hat einen Hybrid-Elektroantrieb und ist eines der neuesten Fahrzeuge am Flugplatz.

Im Folgenden ist eine Auflistung der derzeitigen Fahrzeuge (Stand 01.12.2021) mit durchschnittlichen Vermietungen, gefahrenen Kilometer je Vermietung und jährlichem CO_2-Anteil.[85]

Tabelle 12 – Jährlicher CO_2-Anteil der einzelnen Mietwagen in Abhängigkeit ihrer durchschnittlichen Vermietung

Auto	Antrieb	Häufigkeit Vermietung pro Jahr	Durchschnittlich gefahrene km pro Vermietung	spezifischer CO_2-Anteil in g/km	CO_2-Anteil in kg pro Jahr
Renault Zoe	elektrisch	82	118	0	0
Mercedes GLA	hybrid-elektrisch	74	145	60	648
Mercedes A-Klasse 160D	herkömmlich	91	162	141	2.063
CO_2 Anteil Mietwagen gesamt					**2.711**

Seit einiger Zeit arbeitet der Flugplatz Schönhagen mit dem Anbieter App2Drive zusammen. App2Drive ist ein stationsbasiertes Carsharing Angebot, das mit Städten, Gemeinden sowie Partnern und Flugplätzen kooperiert. Am Flugplatz Schönhagen sind drei Autos vom Anbieter stationiert.

[85] Die Daten sind aus den Fahrtenbüchern der einzelnen Fahrzeuge aus dem Zeitraum 01.01.2021 bis 19.11.2021.

Tabelle 13 – jährlicher CO_2-Anteil Carsharing Option in Abhängigkeit ihrer durchschnittlichen Vermietung

Auto	Antrieb	Häufigkeit Vermietung pro Jahr	Durchschnittlich gefahrene km pro Vermietung	spezifischer CO_2-Anteil in g/km	CO_2-Anteil in kg pro Jahr
Fiat 500 Cabrio	herkömmlich	48	100	125	600

Die gesamten CO_2-Emissionen der Fahrzeugflotte am Flugplatz Schönhagen belaufen sich auf 22,05 Tonnen pro Jahr.

Im Dezember 2021 wurde der Shuttle durch einen elektrischen Mercedes Vito ersetzt. Außerdem wird das Follow-Me-Fahrzeug im Jahr 2022 durch ein Elektroauto ersetzt. Durch die Vernachlässigung dieser beiden Fahrzeuge werden sich die CO_2-Emissionen des Fuhrparks am Flugplatz verändern. Das nimmt Einfluss auf das Gesamtergebnis und der CO_2-Ausstoß am Flugplatz Schönhagen wird sich auf 18,63 Tonnen pro Jahr reduzieren.[86]

Der Trend zum Elektro- oder Hybridantrieb nimmt auch bei den Mietwagen zu. Die Umsetzung ist abhängig von den Leasingverträgen.

6.2.2.3 Flughafeninfrastruktur

Die Flughäfen verfügen über eine komplexe Infrastruktur und sind ein Arbeitsfeld, auf dem viele verschiedene Akteure aktiv sind. Für die Versorgung der Infrastruktur ist eine sichere Energieversorgung erforderlich, die aktuell noch erhebliche Mengen an CO_2 emittiert. Die Flughafeninfrastruktur hat somit ein erhebliches Potenzial zur THG-Minderung durch Energiesparmaßnahmen sowie durch den Einsatz klimaneutraler Kraftstoffe und emissionsfreier Technologien. Dazu gehören zum Beispiel die Erzeugung und Nutzung von erneuerbaren Energien und grünem Wasserstoff zur Energieversorgung, Klimatisierung, Kühlung und Heizung. Durch den Einsatz von Brennstoffzellen-KWK mit einem Gesamtwirkungsgrad von bis zu 90 % können Strom und Wärme

[86] Nach Angaben vom Flugplatz Schönhagen

energiesparend erzeugt werden. Die Notstromversorgung der IT-Infrastruktur kann durch Brennstoffzellen-Notstromaggregate übernommen werden. Faktisch wäre es möglich durch den Einsatz von erneuerbaren Energien in Kombination von Energieeinsparungsmaßnahmen die Treibhausgasemissionen am Standort komplett zu mindern.

Zum Flugplatz Schönhagen gehören die Bürogebäude, die Einstellhallen, das Terminalgebäude und der Tower. Das Gebäude OCC ist das Verwaltungsgebäude des Flugplatzes. Hierzu gehören drei Häuser mit zwei Verbindungsstücken. Mehrere Büros (teilweise vermietet), Konferenzräume, ein Saal und Gästezimmer sind anzufinden.

Der Gesamtenergieverbrauch des Flugplatzes Schönhagen (Eigenverbrauch der Flugplatzgesellschaft Schönhagen und Energieverbrauch der Mieter) betrug im Jahr 2019 559.334,10 kWh. Daraus ergeben sich energiebedingte CO_2-Emissionen von rund 149,95 Tonnen.[87]

Tabelle 14 – Gesamtenergieverbrauch Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH 2019, Quelle: Energieaudit 2019

Energieträger	Energieverbrauch [kWh]	CO_2 Emissionen [t]
Strom	256.355,10	94,50
Erdgas	302.979,00	55,45
Gesamt	559.334,10	149,95

6.2.3 Konzept zur Untersuchung lokaler Emissionen beim Einsatz von SAF in Flugzeugen am Flugplatz Schönhagen[88]

Die Verwendung alternativer synthetischer Kraftstoffe in der Luftfahrt kann neben der Verringerung der Kohlendioxidemissionen auch zu einer verringerten Freisetzung von Ruß in die Umwelt beitragen. Dies ist von hoher Relevanz, da eine verringerte Rußemission sowohl die Bildung von

87 Die Daten stammen aus dem Energieaudit für den Betrachtungszeitraum 01.01.2019-01.01.2020.

88 Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle (DEMO-SPK) - September 2019 - finanziert durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Kondensstreifen reduzieren als auch zu einer verbesserten lokalen Luftqualität an Flughäfen beitragen und somit negative Gesundheitseffekte verringern kann. Die von einem Flugzeugtriebwerk freigesetzten Rußpartikel haben einen Durchmesser von < 100 nm und gehören daher zu den ultrafeinen Partikeln. Diese können beim Einatmen tief in die menschliche Lunge eindringen und sich dort in den Lungenbläschen ablagern. Zusätzlich können sie aufgrund ihrer Mobilität ins Umland von Flughäfen eingetragen werden und noch in mehreren Kilometern Entfernung nachgewiesen werden. Die Einflussgrößen auf die Rußemissionen sind vielfältig und eine wesentliche Einflussgröße ist der verwendete Kraftstoff. Diverse Studien (z.B. vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt DLR und der NASA) haben gezeigt, dass die freigesetzte Rußmasse von Flugzeugtriebwerken mit dem Wasserstoffgehalt des Kraftstoffs korreliert. Aromatenfreie PtL-Kraftstoffe sind durch einen entsprechend hohen Wasserstoffgehalt gekennzeichnet. Ein weiterer Nutzen derartiger synthetischer Kraftstoffe ist die Verringerung des Anteils flüchtiger Partikel, da PtL-Kraftstoffe keinen Schwefel enthalten.

Im Folgenden wird auf die Möglichkeiten der direkten Emissionsmessung an Triebwerken von Flugzeugen auf dem Flugplatz Schönhagen EDAZ sowie auf externe Technikumsversuche zur Untersuchung der Verbrennungschemie und der Untersuchung des Rußbildungspotenzials eingegangen. Dabei werden auch potenzielle Messungen von Emissionen wie Kohlenmonoxid (CO) und Stickoxiden (NOx) betrachtet.

6.2.3.1 Triebwerksbodenmessungen am Flugplatz Schönhagen

Mittels direkter Emissionsmessungen an laufenden Flugzeugtriebwerken am Boden, sog. Bodenmessungen, können in idealer Weise mehrere gasförmige Verbindungen sowie Partikel qualitativ und quantitativ evaluiert werden. Hinsichtlich der partikulären Emissionen können die Fraktionen der verdampfbaren und der nicht verdampfbaren Partikel bestimmt werden. Letztere Fraktion repräsentiert die reinen Rußemissionen eines Triebwerks. Die volatilen Partikel sind häufig Indikatoren für den Schwefelgehalt des verflogenen Kerosins. Da die PtL-Kraftstoffkomponenten schwefelfrei sind, stellt diese Messgröße ein interessantes Vergleichswerkzeug bezüglich des Einsatzes fossil basierter, schwefelhaltiger Kerosine dar. Generell können außer der volatilen und

nichtvolatilen Partikel folgende Verbrennungsprodukte nachgewiesen werden: Stickoxide (NO_x), Kohlenmonoxid (CO), Kohlendioxid (CO_2), Wasser (H_2O) und einige organische Verbindungen.

Bei der Versuchsdurchführung muss darauf geachtet werden, dass vergleichende Messungen mit fossil basiertem und PtL-basiertem Turbinenkraftstoff im selben Triebwerk des gleichen Luftfahrtzeugs auf einem sogenannten Triebwerksprobelaufstand gemacht werden. Dies gilt zum einen für die kompletten Kraftstoffspezifikationsuntersuchungen vor dem Triebwerklauf, zum anderen für die direkten Emissionsmessungen während des Triebwerklaufs. Bei letztgenannter Messung wird eine speziell gefertigte Probennahmesonde in bestimmter Entfernung und Höhe vom Triebwerk aufgebaut, die o.g. Emissionen aufnimmt. Es wird empfohlen, ein für EDAZ repräsentatives Luftfahrtzeug mit Turbinenantrieb für derartige Messungen auszuwählen. Das Flugzeug muss zunächst bei Ankunft enttankt und mit dem auf fossil basierten Referenzkraftstoff befüllt werden. Nach erfolgter Emissionsmessung muss das Luftfahrzeug erneut enttankt und nun mit dem PtL-haltigen JET A-1 befüllt werden, so dass die zweite Bodenmessung erfolgen kann.

Die Durchführung der Triebwerksversuche erfolgt gemäß des von der ICAO festgelegten LTO-Zyklus („Landing and Take-Off Cycle"), bei dem vier verschiedene Betriebszustände mit unterschiedlichen Zeitanteilen vertreten sind: Take-Off, Climb, Approach und Taxi. Die auf diese Weise ermittelten Emissionsindizes werden interpoliert und auf ein standardisiertes Szenario übertragen. Somit können Aussagen über Emissionsszenarien bezüglich der Nicht-CO_2-Effekte auf dem Flugplatz Schönhagen und auf dessen nähere Umgebung gemacht werden.

Es wird empfohlen, derartige Bodenmessungen vom Institut für Verbrennungstechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR/Stuttgart) durchführen und auswerten zu lassen, die auf diesem Gebiet eine große Expertise besitzen.

6.2.3.2 Technikumsversuche zur Bestimmung von Flugzeugemissionen

Das DLR Institut für Verbrennungstechnik hat die Möglichkeit, geeignete Technikumsversuche in Stuttgart durchzuführen, die eine sinnvolle Ergänzung zu den oben beschriebenen Triebwerksbodenmessungen darstellen. Dabei geht es zum einen um Untersuchungen in einem Hochtemperaturströmungsrohr, mit denen die Verbrennungschemie unter exakt definierten

Randbedingungen beschrieben werden kann. Mit Hilfe derartiger Tests können sogenannte Rußvorläuferspezies qualitativ und quantitativ bestimmt und damit synthetische Jetkraftstoffe sinnvoll charakterisiert werden. Zum anderen sind Versuche mit einem luftfahrtrelevanten Spraybrenner in einem Hochdruck-Verbrennungsprüfstand möglich, womit Auswirkungen der chemischen Zusammensetzung und der physikalischen Eigenschaften von PtL-Kraftstoffen auf ihre Verbrennungseigenschaften und das Emissionsverhalten untersucht werden können (CO, NO_x, SO_2).

6.2.3.3 Fazit

Direkte Emissionsmessungen an einem Luftfahrtzeug auf dem Flugplatz Schönhagen durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie weitergehende Technikumsuntersuchungen zur Verbrennungscharakteristik und Emissionsbildung, speziell zur Rußbildung, bilden ein wichtiges Werkzeug ab, um einerseits die Qualitäts- und Nachhaltigkeitsvorteile von synthetischen PtL-Jetkraftstoffen gegenüber fossil basiertem JET A-1 herauszuarbeiten. Andererseits führen derartige praxisnahe Untersuchungen zu anschaulichem Datenmaterial, mit dem der Einsatz von PtL-Kraftstoffen sowie die Akzeptanz von Flughäfen in unmittelbarer Nähe von Ortschaften effektiv unterstützt werden kann. Es wird empfohlen, die Realisierbarkeit solcher Bodenmessungen in EDAZ schon in einem frühen Stadium zu prüfen. Gegebenenfalls müssen diese Messungen mit einem repräsentativen Luftfahrtzeug an einem anderen Flugplatzstandort durchgeführt werden.

6.3 CO_2-Minderungspotential im Luftverkehr durch den Einsatz von nachhaltigen PtL-Kraftstoffen

Die deutliche Erhöhung der Klimaziele und die Verkürzung der Zeitspanne bis zur Klimaneutralität treiben den Luftverkehr dazu an, seine emissionsarme Transformation durch den Einsatz innovativer Kraftstoffe und Antriebe zu beschleunigen.

Der Weg zu einem klimaneutralen Luftverkehr erfordert radikal neue Technologien in allen Bereichen, nachhaltige Flugkraftstoffe (SAF) und zeitlich befristete CO_2-Kompensationen in großem Umfang.

Die deutsche Luftverkehrsbranche will ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten und bis 2050 klimaneutral fliegen. Nach dem Masterplan Klimaschutz im Luftverkehr des Bundesverbandes der Deutschen Luftverkehrswirtschaft kann dieses Ziel u. a. durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Ersatz von fossilem Kerosin durch nachhaltige Flugkraftstoffe,
- Flottenerneuerung durch emissionsärmere Flugzeuge,
- Umsetzung eines CO_2-neutralen Flughafenbetriebs,
- Emissionsminderung durch wettbewerbsneutrale CO_2-Bepreisung,
- Reduktion weiterer Klimaauswirkungen (Nicht-CO_2-Effekte).

Durch Flottenmodernisierung und Investitionen in energieeffiziente Flugzeuge und Flugverfahren konnten die deutschen Fluggesellschaften die spezifischen CO_2-Emissionen seit 1990 um 44 % senken. Während die deutschen Fluggesellschaften im Jahr 1990 noch 6,3 Liter pro Passagier und 100 Kilometer verbrauchten, sind es heute im Schnitt nur noch 3,55 Liter. In den letzten 20 Jahren hat sich der Kerosinbedarf also vom Verkehrswachstum entkoppelt: Während der Transport von Passagieren und Fracht um 261 % gewachsen ist, wuchs der Kerosinbedarf nur um 117 %.[89]

Trotz der erreichten Effizienzsteigerungen hat sich der Kerosinverbrauch im zivilen Luftverkehr seit Beginn der 1990er Jahre nahezu verdreifacht.[90]

Um ein CO_2-neutrales und nachhaltiges Fliegen zu erreichen, ist allerdings der Ersatz des fossilen Kerosins durch Flugkraftstoffe aus nachhaltig erzeugten erneuerbaren Energieträgern und Rohstoffen unerlässlich.

Mit einem gemeinsamen Fahrplan einigten sich Politik und Industrie im Mai 2021 auf die notwendigen Anforderungen und erforderlichen Maßnahmen, um die Produktion von Power-to-Liquid-Kerosin in den kommenden Jahren auf- und auszubauen. Die PtL-Roadmap soll die

---

89 BDL 2019

90 aireg 2020, Aviation Initiatve for Renewable Energy in Germany e. V, Roadmap zur Markteinführung von Sustainable Aviation Fuels, 2020

Grundlage schaffen, um bis 2030 mindestens 200.000 t nachhaltiges Kerosin jährlich für den deutschen Luftverkehr zu produzieren und damit einem Drittel des aktuellen Kraftstoffbedarfs des innerdeutschen Luftverkehrs zu decken. Dieses Ziel knüpft an die nationale Wasserstoffstrategie an.

Die Nutzung dieser Kraftstoffe kann die Emissionen der Flugzeugflotte reduzieren, wenn sichergestellt ist, dass bei der Herstellung der Kraftstoffe entsprechend wenig bzw. keine CO_2-Emissionen entstehen, z. B. durch die Nutzung erneuerbarer Energien. Die nachhaltige Flugkraftstoffe können nur dann CO_2-neutral sein, wenn die CO_2-Quelle einen CO_2-Kreislauf mit der Atmosphäre ermöglicht, d. h., dass das CO_2 zuvor aus der Luft abgeschieden wurde oder aus nachhaltigen biogenen Quellen stammt.

Dabei spielt insbesondere strombasiertes Kerosin (Power-to-Liquid, PtL) auf Basis von Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien eine zentrale Rolle. [91]

Eine Elektrifizierung des Luftverkehrs wird nach heutigem Wissensstand – insbesondere für Mittel- und Langstreckenflüge – kurzfristig kaum möglich sein. Wegen der geringen Energiedichte von aktuellen Batterietechnologien erlauben sie nur eine relativ geringe Reichweite von rund 300 km.[92]

Die Verwendung von Biokerosin wird als eher nicht ausreichend eingeschätzt, da die verfügbare nachhaltige Biomasse begrenzt ist und auch von anderen Anwendungen und Sektoren stark nachgefragt ist.

Aktuell werden die nachhaltige Flugkraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels, SAF) in drei Kategorien eingeteilt:

- Drop-in-Kraftstoffe, die mit der heutigen Infrastruktur kompatibel sind,
- Near-Drop-in-Kraftstoffe, die geringfügige Modifikationen im Flugzeug erfordern,

---

91 BMU at all. 2021, PtL-Roadmap der Luftfahrt, Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe für den Luftverkehr in Deutschland, 2021

92 DLR, BDLI 2020

- Non-Drop-in-Kraftstoffe (Wasserstoff), die eine erhebliche Modifikation des Flugzeugs erfordern.

Bei der Erzeugung von Drop-in-Kerosin und Near-Drop-in-Kerosin entstehen als Nebenprodukte synthetischer Diesel oder Ottokraftstoffe, die in anderen Verkehrssektoren eingesetzt werden können.

6.3.1 Drop-in-Kraftstoffe

Die Drop-In-Kraftstoffe benötigen keine Änderungen am Triebwerk und können bereits heute die CO_2-Emissionen um 40 % und die Nicht-CO_2-Emissionen um bis zu 70 % reduzieren.

Dabei handelt es sich um zugelassene Mischungen aus synthetischen und konventionellen Kraftstoffen. Sie können in allen Flugzeugen und Infrastrukturen ohne Einschränkung und Modifikation bereits heute genutzt werden. Derzeit sind bis zu 50 % Beimischung zu konventionellem Kerosin zugelassen.

Die Wirkungen von PtL-Kraftstoffen lassen sich durch höhere Beimischungsraten von mehr als 50 % maximieren. Wenn die Power-to-Liquid-Kraftstoffe mit Hilfe von erneuerbarem Strom und Kohlenstoff aus nachhaltiger Biomasse oder direkter Luftabscheidung hergestellt werden, können sie fast alle CO_2-Emissionen aus der Kraftstoffverbrennung eliminieren. Selbst wenn Methoden zur Herstellung von SAF zu annehmbaren Kosten entwickelt und in großem Maßstab in die Treibstoffversorgung von Flugzeugen integriert werden könnten, würden sie bestenfalls die Klimaauswirkungen des Fliegens aufgrund der vorgelagerten Emissionen im Produktionszyklus und der nicht CO_2-bedingten Klimaauswirkungen verringern, aber nicht beseitigen.

Alternative Drop-in-Kraftstoffe werden bereits heute auf kommerziellen Flügen eingesetzt. Allerdings sind die Mengen aktuell noch bei unter 1 % des weltweiten Luftfahrt-Kraftstoff-Verbrauchs.[93]

---

93 DLR, BDLI 2020

6.3.2 Near-Drop-In-Kraftstoffe

Ideal für eine minimierte Klimawirkung sind sogenannte aromatenfreie Near-Drop-in-Kraftstoffe. Diese unterscheiden sich von Drop-in-Kraftstoffen, indem sie möglicherweise kleine Änderungen an Flugzeugen, Infrastruktur oder Betrieb (zum Beispiel Einsatz nur in geeigneten Flugzeugen) erfordern. Sie bieten aber ein größeres Optimierungspotenzial und damit Emissionsreduktionspotenzial.

Derzeit gibt es keine Zulassung für solche Kraftstoffe. Near-Drop-in-Kraftstoffe sind ein Forschungsziel im DLR-Querschnittsprojekt Future Fuels. Durch Co-Optimierung von Kraftstoff und Brenner lassen sich hierbei die CO_2-Emissionen um bis zu 80 %, die Ruß- und Partikelemissionen um bis zu 90 % und die NO_X-Emissionen um beinahe 100 % reduzieren.[94]

6.3.3 Wasserstoff

Wasserstoff und wasserstoffbetriebene Flugzeuge könnten eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung der Luftfahrt spielen.

Der H_2-Antrieb könnte die Auswirkungen auf das Klima erheblich verringern. Wasserstoff vermeidet CO_2-Emissionen im Flug und kann kohlenstofffrei hergestellt werden. Unter Berücksichtigung auch der Nicht-CO_2-Emissionen und der Unsicherheiten bei diesen Effekten ergeben die neuesten Abschätzungen, dass die H_2-Verbrennung die Klimaauswirkungen im Flug um 50 bis 75 % und der Brennstoffzellen-Antrieb um 75 bis 90 % reduzieren könnte. Im Vergleich dazu beträgt dieser Anteil bei synthetischen Kraftstoffen etwa 30 % bis 60 %.[95]

Durch den Einsatz von Wasserstoff können die Emissionen von CO_2, Ruß und Aerosolvorläufern auf null reduziert werden. Zudem kann Wasserstoff durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom bereits heute CO_2-neutral erzeugt werden. Verfahren wie die Alkalielektrolyse stehen als ausgereifte Technologie in großtechnischem Maßstab zur Verfügung.

---

94 DLR, BDLI 2020

95 Die genauen Klimaauswirkungen der Nicht-CO_2-Emissionen des Luftverkehrs sind Gegenstand wissenschaftlicher Debatten.

Wasserstoff kann als Treibstoff für Flugzeuge verwendet werden, wenn er in einem H_2-Verbrennungsmotor verbrannt oder in einer Brennstoffzelle zum Antrieb von Elektromotoren umgesetzt wird.

Um die H_2-betriebene Flugzeuge skalieren zu können, müssen mehrere technologische Fortschritte erzielt werden: Verbesserung des Gesamtwirkungsgrads durch leichtere Tanks (Ziel: 12 kWh/kg / gravimetrischer Index von 35 %) und leichtere Brennstoffzellensysteme (Ziel: 2 kW/kg einschließlich Kühlung), Verteilung von Flüssigwasserstoff (LH_2) im Flugzeug, Entwicklung von Turbinen, die Wasserstoff mit geringen NOx-Emissionen verbrennen können, und von effizienten Betankungstechnologien, die mit Kerosin vergleichbare Durchflussmengen ermöglichen. Branchenexperten glauben, dass diese wichtigen Fortschritte innerhalb von fünf bis zehn Jahren möglich sind.

Ausgehend von diesen technischen Entwicklungen ist der H_2-Antrieb am besten für Pendler-, Regional-, Kurz- und Mittelstreckenflugzeuge geeignet. Für Nahverkehrs- und Regionalflugzeuge erweist sich der Brennstoffzellen-Antrieb als die energieeffizienteste, klimafreundlichste und wirtschaftlichste Option heraus.

Machbarkeits- und Wirtschaftsanalysen zeigen, dass Wasserstoff ein wichtiger Bestandteil des künftigen Technologiemix der Luftfahrt sein kann. Wenn H_2-betriebene Flugzeuge in den Segmenten eingesetzt werden, in denen sie die kosteneffizienteste Art der Dekarbonisierung darstellen, könnten sie bis 2050 ca. 40 % aller Flugzeuge ausmachen, wobei dieser Anteil nach 2050 noch weiter steigen könnte.

Wenn nachhaltige PtL-Kraftstoffe und/oder Biokraftstoffe die anderen 60 % der Flugzeuge antreiben, würde die Klimabelastung durch den Luftverkehr um 2,7 Gigatonnen Gesamtemissionen (CO_2- und Nicht-CO_2-Emissionen) gegenüber 5,7 Gigatonnen Gesamtemissionen in einem Basisszenario sinken, in dem nur Effizienzverbesserungen vorgenommen werden. Der

Luftfahrtsektor würde damit die von der EU und der ATAG gesetzten Ziele für die Kohlenstoffreduzierung erreichen.[96]

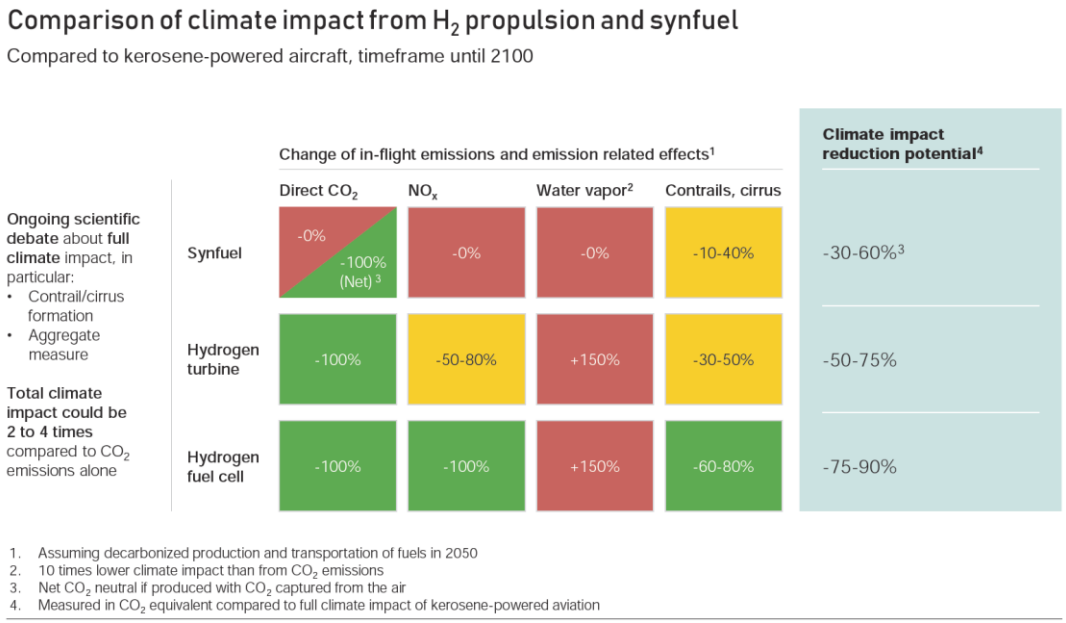


Abbildung 16 – Vergleich der Klimaauswirkungen des H_2-Antriebs und der synthetischen Kraftstoffe (Quelle: McKinsey 2020)

6.4 Klimapolitische Einordnung und Umsetzungspotenziale von PtL-Kraftstoffen

Es gibt eine Reihe umweltpolitischer Instrumente, die die Senkung der CO_2-Emissionen des Luftverkehres auf internationaler, europäischer und deutscher Ebene adressieren. Zunächst wird der aktuelle klimapolitische Regulierungsrahmen für den Luftverkehr kurz dargestellt und anschließend werden mögliche Umsetzungspotenziale von PtL-Kraftstoffen analysiert.

6.4.1 Internationale Ebene & Europäische Union

Das zentrale Instrument der Europäischen Union zur kosteneffizienten Minderung der Treibhausgasemissionen aus der teilnehmenden Energiewirtschaft, den energieintensiven Industrien und

96 McKinsey 2020

dem innereuropäischen Luftverkehr ist das im Jahr 2005 verabschiedete Emissionshandelssystem (EU-ETS).

Für den internationalen Luftverkehr wurde bereits mit dem Kyoto-Abkommen vereinbart, dass Ziele und Instrumente zur CO_2-Reduktion auf internationaler Ebene unter dem Dach der International Civil Aviation Organization (ICAO) geregelt werden sollen. Dementsprechend wurde im Jahr 2016 die Einführung des CO_2-Bepreisungsinstruments Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) beschlossen.

Um das neue EU-Klimaziel bis 2030 zu erreichen, hat die Europäische Kommission mit ihrem Legislativpaket Fit-for-55 eine Überarbeitung nahezu aller relevanten Politikinstrumente vorgeschlagen. Die folgenden Gesetzgebungsvorschläge und Initiativen können eine entscheidende Rolle für die Markteinführung von PtL-Kraftstoffen in der Luftfahrt haben:

- Überarbeitung des EU-Emissionshandelssystems (EU-ETS) für die Luftfahrt
- Einführung nachhaltiger Kraftstoffe in der Luftfahrt (ReFuelEU Aviation)
- Überarbeitung der Energiesteuerrichtlinie
- Änderung der Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED III) zur Umsetzung der Ambitionen des neuen Klimaziels 2030

6.4.1.1 Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)

Das CORSIA-System zielt darauf ab, ab 2021 ein CO_2-neutrales Wachstum des Luftverkehrs zu gewährleisten und die Netto-CO_2-Emissionen des internationalen Luftverkehrs bis 2050 um 50 % gegenüber 2005 zu senken. Erreicht wird dieses Ziel, indem die Fluggesellschaften weltweit CO_2-senkende Klimaschutzprojekte finanzieren, in denen in entsprechendem Umfang die Emissionen aus dem Luftverkehr kompensiert werden.

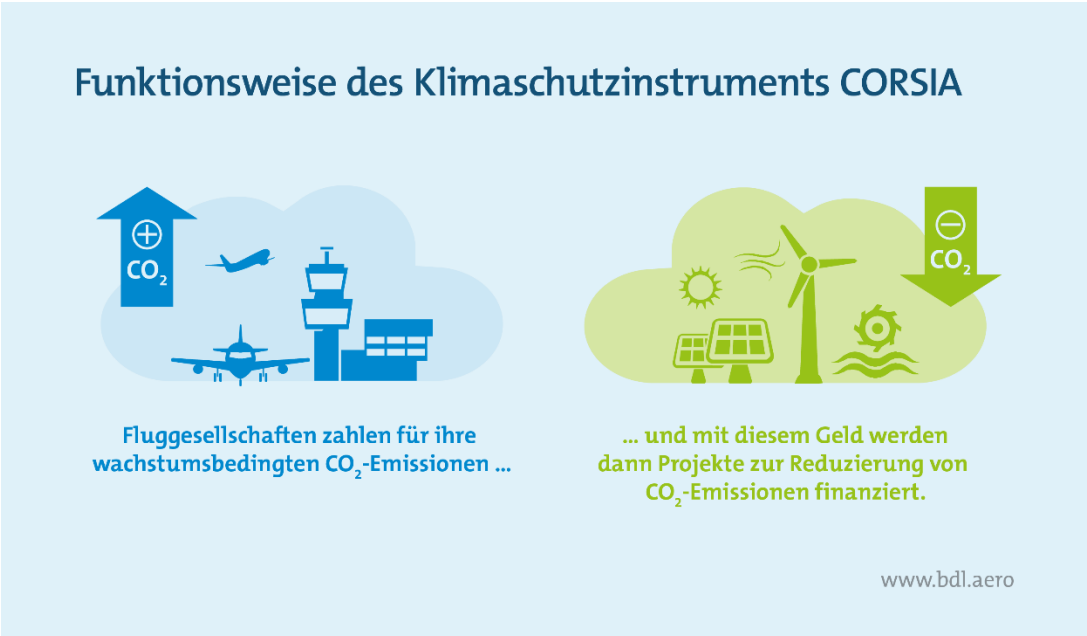


Abbildung 17 – Funktionsweise des Klimaschutzinstruments CORSIA (Quelle: BDL 2019)

Im Zeitraum 2021-2035 wird das System auf der Grundlage der erwarteten Beteiligung schätzungsweise rund 80 % der Emissionen über dem Niveau von 2019 ausgleichen. Der Grund dafür ist, dass die Teilnahme an den ersten Phasen für die Staaten freiwillig ist und es Ausnahmen für Länder mit geringer Luftverkehrstätigkeit gibt. Alle EU-Länder werden von Anfang an an dem System teilnehmen.[97] Aufgrund der Auswirkungen von COVID-19 wird jedoch derzeit nicht damit gerechnet, dass in den nächsten Jahren Emissionswerte über denen von 2019 liegen werden, so dass kein Ausgleich erfolgen würde.[98]

Im Rahmen von CORSIA können nachhaltige Flugkraftstoffe, die bestimmten Kriterien genügen, zur Minderung der CO_2-Emissionen einer Fluggesellschaft angerechnet werden. Die ICAO einigte sich für die Pilotphase von CORSIA auf zwei verbindliche Nachhaltigkeitskriterien: Nachhaltige Flugkraftstoffe müssen demnach eine THG-Reduktion von mindestens 10 % erreichen und dürfen nicht aus Biomasse hergestellt werden, die auf Land mit hohem Kohlenstoffbestand

---

97 https://ec.europa.eu/clima/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-aviation_de#ecl-inpage-746

98 Bundesregierung 2021, Klimabericht 2021, 2021

(Primärwälder), Feucht- und Torfgebieten angebaut wurden. Weitere Kriterien sollen bis zum Ende der CORSIA-Pilotphase (2023) genehmigt und damit verbindlich werden. PtL-Kraftstoffe sind bisher noch nicht gesondert berücksichtigt, sondern lediglich Biokraftstoffe.[99]

6.4.1.2 EU-ETS

Seit 2012 ist der innereuropäische Luftverkehr in den EU-ETS einbezogen. Die Fluggesellschaften, die innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes (EWR = EU und Norwegen, Island, Liechtenstein) Flüge durchführen, müssen für einen Teil ihrer ausgestoßenen Emissionen CO_2-Zertifikate kaufen. Jeder Fluggesellschaft steht dabei eine Freimenge an Emissionen zu. Für alle Emissionen, die über diese kostenlosen Zuteilungen hinausgehen, müssen Zertifikate über Auktionen gekauft werden.

Mittlerweile müssen die deutschen Fluggesellschaften für 62 % ihrer Emissionen CO_2-Zertifikate zukaufen.[100] Nach der geltenden ETS-Richtlinie sollen die einbezogenen Wirtschaftssektoren ihre CO_2-Emissionen bis 2030 um 43 % gegenüber 2005 reduzieren.

Vom Emissionshandel sind Flugzeuge mit einer maximalen Startmasse von weniger als 5.700 kg, sowie Militär-, Polizei-, Rettungs-, Such- und Löschflugzeuge ausgenommen.

Nicht-gewerbliche Luftfahrzeugbetreiber mit jährlichen Emissionen von weniger als 1.000 Tonnen CO_2 unterliegen bis 2030 ebenfalls nicht der Emissionshandelspflicht.

Die gewerblichen Luftfahrzeugbetreiber unterliegen in einem Jahr nicht der Emissionshandelspflicht, wenn in diesem Jahr weniger als 10.000 Tonnen CO_2 emittiert werden oder weniger als jeweils 243 Flüge in den Zeiträumen Januar bis April, Mai bis August und September bis Dezember eines Jahres durchgeführt werden.

Die Europäische Kommission schlägt nun im Rahmen des Legislativpakets Fit-for-55 vor, die Emissionshandelsrichtlinie an das gesteigerte CO_2-Minderungsziel bis 2030 anzupassen und das

---

99 BMU et al. 2021

100 BDL 2020, Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V., Klimaschutzreport, 2020

Zertifikatebudgets zu reduzieren.[101] Dazu wird der lineare Reduktionsfaktor, um den die Gesamtmenge der verfügbaren Zertifikate vermindert wird, von 2,2 auf 4,2 % jährlich verschärft. Zusätzlich wird die Zertifikatemenge einmalig um einen noch festzusetzenden Betrag abgesenkt.

Diese Verknappung des Budgets wird die Zertifikate entsprechend verteuern. Die Kommission strebt zukünftig einen CO_2-Preis an, der sich konstant zwischen dem jetzigen Niveau von rund 50 Euro und 85 Euro pro emittierter Tonne CO_2 bewegt.

Die Gesamtzahl der Luftverkehrszertifikate im ETS wird auf das Niveau von 2023 begrenzt und jährlich gemäß dem linearen Reduktionsfaktor reduziert. Dazu soll das noch für den Luftverkehr vorgesehene Kontingent an kostenlosen Emissionszertifikaten schneller auslaufen und in den Versteigerungsmechanismus überführt werden. Schon im Jahr 2024 sollen nach den Plänen der Kommission 25 % der Zertifikate versteigert werden, die eigentlich für eine kostenlose Zuteilung im Luftverkehr vorgesehen waren. Dieser Prozentsatz soll sich in den Jahren 2025 und 2026 auf 50 bzw. 75 % erhöhen, bis dann ab dem Jahr 2027 die kostenlosen Zertifikate im Luftverkehr komplett wegfallen.[102] [103]

Parallel dazu schlägt die Kommission die Umsetzung des ICAO-Systems CORSIA durch das EU-ETS für außereuropäische Flüge vor, die nicht unter das EU-ETS fallen und in Ländern starten oder landen, die CORSIA anwenden. Die Emissionen dieser Flüge werden ausgeglichen, sobald die kollektiven internationalen Emissionen das Niveau von 2019 überschreiten. Die in Frage kommenden Kompensationseinheiten müssen aus Ländern stammen, die am Pariser Übereinkommen und an CORSIA teilnehmen. Die Kompensationseinheiten müssen zuverlässig verbucht werden,

---

101 COM (2021) 552, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG in Bezug auf den Beitrag der Luftfahrt zum gesamtwirtschaftlichen Emissionsreduktionsziel der Union und die angemessene Umsetzung eines globalen marktbasierten Mechanismus

102 https://ec.europa.eu/clima/eu-action/european-green-deal/delivering-european-green-deal/aviation-and-eu-ets_en

103 https://www.bbh-blog.de/alle-themen/energie/fit-for-55-teil-8-das-kommt-auf-die-luft-und-schifffahrt-zu/

damit sie nicht doppelt gezählt werden.[104] Die Vorschläge sind nunmehr im Einzelnen genau zu prüfen, zu bewerten und zu diskutieren.

6.4.1.3 RefuelEU Aviation Initiative

Die auf den Green Deal zurückgehende Initiative RefuelEU Aviation zielt u. a. darauf ab, Angebot von und Nachfrage nach nachhaltigen Flugkraftstoffen in der EU zu steigern und so zur Verwirklichung der Klimaziele der EU beizutragen. Der Ausdruck „nachhaltiger Flugkraftstoff" bezeichnet flüssige, sogenannte „Drop-in-Kraftstoffe", die konventionellen Flugkraftstoff ersetzen können.

Im Rahmen der Fit-for-55-Initiative hat die Europäische Kommission eine ReFuelEU-Luftfahrtverordnung vorgeschlagen, die eine Mindestmenge an SAF-Beimischungen in Flugkraftstoff vorschreibt, die von 2 % im Jahr 2025 auf 5 % im Jahr 2030 und auf 63 % im Jahr 2050 steigen soll.[105] Der Vorschlag sieht auch einen Mindestanteil von 0,7 % für synthetischen Kerosin ab 2030 vor, der bis 2050 schrittweise auf mindestens 28 % ansteigen soll. Es ist dabei zu beachten, dass die zugelassene Beimischungsquote für SAF derzeit 50 % beträgt.

Um das „Tankering" von Treibstoff zu vermeiden, sind die Flugzeugbetreiber verpflichtet, den Treibstoff auf EU-Flughäfen zu tanken. Die EU-Flughäfen sind ferner verpflichtet, die notwendige Infrastruktur für die Lagerung und Mischung von SAF bereitzustellen, damit Kraftstofflieferanten und Fluggesellschaften ihren Verpflichtungen nachkommen können.

Die Europäische Union und ihre Mitgliedstaaten sollen in einer gemeinsamen industriepolitischen Initiative die Voraussetzungen für ein hinreichendes Angebot von Produktionsanlagen und Kraftstoff schaffen. Des Weiteren sollte sich die EU dafür einsetzen, dass die ICAO verbindliche Ziele für die Verwendung nachhaltiger Flugkraftstoffe im internationalen Luftverkehr festlegt.

---

[104] COM (2021) 552, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG in Bezug auf den Beitrag der Luftfahrt zum gesamtwirtschaftlichen Emissionsreduktionsziel der Union und die angemessene Umsetzung eines globalen marktbasierten Mechanismus

[105] COM (2021) 561, EU-Kommission, Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr

6.4.1.4 Energiesteuerrichtlinie

Nach dem Reformvorschlag für die Energiesteuerrichtlinie soll die bislang geltende Steuerbefreiung für Kerosin bei innereuropäischen Flügen wegfallen.[106] Hierfür plant die Kommission, die Steuersätze schrittweise in einer zehnjährigen Übergangsfrist bis zum Jahr 2033 anzuheben. Ab dem Jahr 2024 soll die Steuer für Kerosin 4 ct/l betragen, ab dem Jahr 2025 8 ct/l und schließlich 40 ct/l ab 2033. Für nachhaltige und strombasierte Kraftstoffe sind verminderte Steuersätze vorgesehen. Allerdings ist Kerosin bei internationalen Flügen nach einem Abkommen aus dem Jahr 1944 steuerfrei – eine Besteuerung von Treibstoff wäre also nur innerhalb des Unionsgebiets möglich.

6.4.1.5 RED II und RED III

RED II

Die Erneuerbare Energien Richtlinie (RED II) legt ein verbindliches Unionsziel für den Gesamtanteil von erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch für 2030 fest. In der RED II sind auch ein Unterziel sowie entsprechende Regelungen für den Verkehrssektor vorgegeben. Die Mitgliedstaaten müssen die Kraftstofflieferanten dazu verpflichten, dass der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch im Verkehrssektor mindestens 14 % bis 2030 beträgt.

Für Europa und damit auch für Deutschland schreibt die RED II die Einhaltung bestimmter Kriterien für den Strombezug zur PtX-Herstellung und für THG-Minderung der im Verkehr eingesetzten erneuerbaren Kraftstoffe vor. Die THG-Minderung strombasierter Kraftstoffe für den Verkehr muss gemäß RED II seit dem 1. Januar 2021 mindestens 70 % gegenüber dem fossilen Vergleichswert betragen. Die Kriterien für den Strombezug zur PtX-Erzeugung und die Regelung für die Ermittlung des THG-Werts werden erst im Rahmen eines delegierten Rechtsaktes der Kommission bis Ende 2021 festgelegt.

---

[106] COM (2021) 563, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Restrukturierung der Rahmenvorschriften der Union zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom

RED III

Nach der novellierten EU-Richtlinie für erneuerbare Energien (RED III) soll der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch der EU von 32 % auf 40 % im Jahr 2030 ansteigen. Außerdem soll für Kraftstoffe im Verkehr eine Reduzierung der Treibhausgasintensität um 13 % bis 2030 angestrebt werden. Offiziell wird darauf hingewiesen, dass dies einem Anteil von 26 % erneuerbarer Energien im Verkehrssektor entspricht. Die Neufassung der RED II sieht ein Unterziel für nachhaltige fortschrittliche Biokraftstoffe von mindestens 0,2 % im Jahr 2022, 0,5 % im Jahr 2025 und 2,2 % im Jahr 2030 vor. Es wird auch ein Unterziel von 2,6 % für erneuerbare Kraftstoffe nicht-biologischen Ursprungs (RFNBOs), einschließlich Wasserstoff, mit einer THG-Einsparungsschwelle von mindestens 70 % geben.

Für RFNBOs wird bei der Berechnung ihres Beitrags zu den Zielen für erneuerbare Energien ein spezifischer Multiplikator von 1,2 des Energiegehalts auf die gelieferte Menge für Lieferungen an die Luftfahrt angewendet.[107]

6.4.2 Deutschland

Die THG-Quote ist das zentrale politische Instrument in Deutschland, um die bundesweiten Emissionen im Verkehr zu reduzieren und erneuerbare Energien in der Mobilität zu fördern.

6.4.2.1 BImSchG

Zur nationalen Umsetzung der RED II wurde das Bundesemissionsschutzgesetz (BImSchG) zur Weiterentwicklung der THG-Minderungsquote vom Bundestag und vom Bundesrat beschlossen und es ist zum 1. Oktober 2021 in Kraft getreten. [108]

---

[107] COM (2021) 557, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates

[108] https://www.gesetze-im-internet.de/bimschg/

Kraftstoffanbieter werden gesetzlich verpflichtet, die CO_2-Emissionen durch Otto- und Dieselkraftstoffe in jährlichen Schritten um 25 % bis zum Jahr 2030 zu senken. Beginnend ab 2022 steigt die Minderungsquote von bisher 6 auf zunächst 7 %. Ab 2026 sind 12 %, ab 2029 sind 21 % Minderung vorgesehen.

Mit der neuen Treibhausgas-Mindestquote soll der Anteil erneuerbarer Energien im Verkehr bis 2030 auf 32 % steigen. Mit dem Gesetz wird auch erstmals eine Treibhausgasminderungsquote im Luftverkehr eingeführt. Ab 2026 müssen mindestens 0,5 % (entspricht ca. 50.000 t), ab 2028 mindestens 1% (entspricht ca. 100.000 t und ab 2030 mindestens 2 % (entspricht ca. 200.000 t) der Flugkraftstoffe aus erneuerbaren Energien hergestellt werden.

Der Anteil fortschrittlicher Biokraftstoffe soll von derzeit null auf mindestens 2,6 % bis 2030 steigen. Künftig ergeben sich neue Möglichkeiten etwa durch den Einsatz fortschrittlicher Biokraftstoffe aus Rest- und Abfallstoffen für Nutzfahrzeuge oder von grünem Wasserstoff für den Luft- und Seeverkehr.

Der Anteil von Biokraftstoffen aus Nahrungs- und Futtermitteln wird auf die derzeit maximal 4,4 % eingefroren. Ab 2023 sollen deren Anteile sukzessive verringert werden.

6.4.2.2 37. BImSchV

Strombasierte Kraftstoffe, zu deren Herstellung erneuerbarer Strom nicht biogenen Ursprungs genutzt wurde, können auf die THG-Minderungsquote angerechnet werden. Die gesetzliche Grundlage für die Anrechnung liefert die Verordnung zur Anrechnung von strombasierten Kraftstoffen und mitverarbeiteten biogenen Ölen auf die Treibhausgasquote, 37. BImSchV.[109]

Zu diesen Kraftstoffen gehören laut Anlage 1 der 37. BImSchV beispielsweise:

- komprimiertes synthetisches Methan, welches durch einen Sabatier-Prozess mit Wasserstoff aus der durch nicht-biogene erneuerbare Energien gespeisten Elektrolyse produziert wurde, und

[109] https://www.gesetze-im-internet.de/bimschv_37/

- komprimierter Wasserstoff in einer Brennstoffzelle, welcher durch eine vollständig durch nicht-biogene erneuerbare Energien gespeiste Elektrolyse gewonnen worden ist.

Grundsätzlich soll der für die Elektrolyse genutzte Strom aus einer nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossenen erneuerbaren Stromerzeugungsanlage entnommen werden. Ausnahmen gibt es unter bestimmten Bedingungen für erneuerbaren Strom aus Anlagen in Netzausbaugebieten sowie für erneuerbaren Strom, der in Elektrolyse-Anlagen, die vor dem 25. April 2015 Wasserstoff produziert haben, eingesetzt wird.

Die Anrechnungsvorschriften sind sehr restriktiv, so dass anrechnungsfähige Mengen an erneuerbarem Wasserstoff und synthetischem Methan nicht wirtschaftlich mit Strom aus dem öffentlichen Netz erzeugt werden können.

Es wird jedoch eine Novelle der 37. BImSchV erfolgen, in der die von der EU-Kommission entwickelten Kriterien für den Strombezug zur Erzeugung erneuerbarer Kraftstoffe nicht-biologischen Ursprungs in das deutsche Recht übernommen werden.

6.4.2.3 EnergieStG

Energieerzeugnisse unterliegen der Energiesteuer, § 1 Abs. 1 EnergieStG. Energieerzeugnisse sind definiert nach § 1 Abs. 2 und Abs. 3 EnergieStG i. V. der Kombinierten Nomenklatur (KN) nach Art. 1 der Verordnung (EWG) Nr. 2658/87 über die zolltarifliche und statistische Nomenklatur sowie den Gemeinsamen Zolltarif. Zu Energieerzeugnissen gehören Waren der Positionen 1507 – 1518 der KN, die dazu bestimmt sind, als Kraft- oder Heizstoff verwendet zu werden. Eine Begriffsdefinition von Kraftstoffen findet sich im EnergieStG nicht. In Anlehnung an die Definition von Heizstoffen – Stoffe, die verheizt werden, also durch Verbrennen der Erzeugung von Wärme dienen, vgl. § 1a Nr.12 EnergieStG – gelten als Kraftstoffe Stoffe, die dem Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine dienen.[110] Ebenfalls als Energieerzeugnisse zählen Waren der Positionen, 2701, 2702, 2704 – 2715 der KN. Hierunter fällt Kerosin nach Position 2710 19 21 KN.

[110] Vgl. Soyk, Energie- und Stromsteuerrecht, Kapitel 4, Rn. 71 und Rn. 272.

Steuerbefreiungen bestehen für Energieerzeugnisse, die nicht als Kraft- oder Heizstoff verwendet werden, vgl. 25 Abs. 1 EnergieStG. Von der Steuer befreit ist auch Flugturbinentreibstoff der Position 2710 19 21 (Kerosin) KN für die gewerbliche Luftfahrt, § 27 Abs. 2 EnergieStG.

Synthetisches Kerosin ist ein Energieerzeugnis nach § 1 Abs. 3 Nr. 3 EnergieStG und unterfällt damit grundsätzlich der Energiesteuer. Die Steuer entsteht jedoch nicht für Flugturbinentreibstoff in der gewerblichen Luftfahrt. Damit entsteht die Steuer für synthetisches Kerosin nicht.[111]

Wasserstoff zählt zunächst nicht zu den aufgezählten Energieerzeugnissen. Er könnte jedoch nach dem sog. „Ähnlichkeitsprinzip" unter den Auffangtatbestand des § 1 Abs 3 EnergieStG fallen. Jedenfalls fällt der Wasserstoff hier nicht unter § 1 Abs. 3 Nr.2 EnergieStG zur Verwendung als Heizstoff, da er kein Kohlenwasserstoff im Sinne der Norm ist.

Jedoch könnte Wasserstoff ein Stoff sein, der zur Verwendung als Kraftstoff bestimmt, zum Verkauf angeboten oder verwendet wird. Das Energiesteuergesetz dient grundsätzlich der Versteuerung von als Kraft- oder Heizstoffen eingesetzten Energieträgern. Wird dieser Wille des Gesetzgebers, jegliche Kraftstoffe zu besteuern zu Grunde gelegt, liegt eine Anwendbarkeit des Auffangtatbestandes auf Wasserstoff nahe.[112]

Reiner Wasserstoff unterliegt nur dann als Kraftstoff der Energiesteuer, wenn er zur unmittelbaren Erzeugung von mechanischer Energie eingesetzt wird, z. B. in Verbrennungsmotoren oder in Turbinen.

Andere Stimmen vertreten, dass Wasserstoff regelmäßig nicht in einer Verbrennungsantriebsmaschine eingesetzt wird und damit kein Kraftstoff im Sinne des Energiesteuergesetzes ist.[113] Entscheidendes Kriterium ist daher, ob Wasserstoff zur Verwendung als Kraftstoff *bestimmt* ist.

---

[111] Weitere Anforderung an Eigenschaften des Flugturbinentreibstoffes: vgl. Erläuterungen zur Kombinierten Nomenklatur der Europäischen Union, Amtsblatt der Europäischen Union 2018/C 7/03.

[112] So z. B. GP Joule GmbH, Machbarkeitsstudie zum Verbundvorhaben „Akzeptanz durch Wertschöpfung – Wasserstoff als Bindeglied zwischen der Erzeugung erneuerbarer Energien und der Nutzung im Verkehrs-, Industrie- und Wärmesektor", S. 47.

[113] Soyk,, in Friedrich/Soyk, Energiesteuern Kommentar, § 1 EnergieStG, Rn 97.

Bestimmung umfasst ein subjektives Element, also einen inneren Willen, der nach außen hin erkennbar sein muss.[114] Einen solcher Wille ließe sich zum Beispiel in der Belieferung einer Tankstelle erkennen. Demfolgend wäre Wasserstoff als Energieerzeugnis zu besteuern.[115]

In Brennstoffzellen sieht die Beurteilung hingegen anders aus. Hier wird mit Wasserstoff elektrische Energie erzeugt. Damit stellt der Einsatz von Wasserstoff in der Brennstoffzelle keinen bestimmungsgemäßen Einsatz als Kraftstoff dar. Somit handelt es sich bei Wasserstoff in einer Brennstoffzelle nicht um ein Energieerzeugnis i. S. d. Energiesteuergesetzes und es fällt keine Energiesteuer an.

6.4.3 Anreize und Umsetzungspotentiale

PtL-Flugkraftstoffe könnten zwar erheblich zur Dekarbonisierung des Luftverkehrs beitragen, doch ist es unwahrscheinlich, dass sie ohne gezielte politische Unterstützung bis 2030 in nennenswerten Mengen auf den Markt kommen. Die Produktionskosten synthetischer Flugkraftstoffe werden derzeit auf das Drei- bis Sechsfache des derzeitigen Marktpreises für fossile Flugkraftstoffe geschätzt.

Die Politik hat mit der Einführung von Mindestquoten für PtL-Kraftstoffe im Luftverkehr und der schrittweisen Abschaffung der kostenlosen Zuteilungen für den Luftverkehr im Rahmen des EU-ETS erste Anreize für die Verwendung dieser Kraftstoffe geschaffen.

Eine Ausdehnung des Emissionshandels auf die Flugzeuge der allgemeinen Luftfahrt hätte jedoch einen positiven Einfluss auf die Realisierbarkeit von PtL-Blends. Eine Befreiung des PtL-Anteils vom Emissionshandel würde zu einer Hebelwirkung auf die am Markt realisierbare Beimischungsquote führen.

---

114 Soyk, in Friedrich/Soyk, Energiesteuern Kommentar, § 1 EnergieStG, Rn. 95 ff.

115 Schäfer-Stradowsky/Boldt: Power-to-Gas – gesetzlich konturierte Verwertungspfade für den Weg in die energiepolitische Gegenwart, ZUR 2015, S. 457.

Die Einführung einer verbindlichen Beimischungsquote für SAF und einer PtL-Unterquote im Rahmen der ReFuelEU Aviation sowie die Besteuerung von fossilem Kerosin bei innereuropäischen Flügen könnten den Einsatz von PtL-Kraftstoffen in der Luftfahrt deutlich beschleunigen.

Mit der PtL Roadmap verständigen sich Politik und Wirtschaft die technologische Entwicklung der einzelnen PtL-Produktionsanlagen und Komponenten sowie deren Zusammenspiel im industriellen Maßstab zu optimieren. Hierzu müssen Demonstrations- und Pilotanlagen entstehen, denn die Herstellungsverfahren sind zwar erprobt, jedoch bislang nur im Labormaßstab. Der Bund und die Länder haben sich festgelegt, die Entwicklung und Produktion von PtL-Kerosin zu fördern und so zunächst ein Angebot zu schaffen. In der Folge sind verschiedene PtL-Förderprogramme aufgelegt worden.[116]

Der Aufbau einer vollintegrierten und modularen PtL-Anlage zusammen mit einer Elektrolyseanlage zur Erzeugung von erneuerbarem Wasserstoff am Flugplatz Schönhagen kann als Demonstrations- oder Pilotprojekt durch die bestehenden oder neuen Förderprogramme gefördert werden.

Aus dem Energie- und Klimafond (EKF) und aus der Nationalen Wasserstoffstrategie stehen dem Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) insgesamt rund 1,54 Mrd. Euro im Zeitraum von 2021 bis 2024 für die Erzeugung und den Markthochlauf sowie die Entwicklung von erneuerbaren Kraftstoffen aus Strom und fortschrittlicher Biomasse zur Verfügung. Im Jahr 2021 sind zwei Förderrichtlinien erschienen. Im Mai 2021 wurde die Förderrichtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Entwicklung regenerativer Kraftstoffe veröffentlicht[117]. Darüber hinaus wurde im August 2021 ein Förderaufruf für die Errichtung und den Betrieb einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe gestartet.[118] Die Teilnahme war bis zum 15.10.201 befristet.

---

116 PtL-Roadmap (2021): Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe für den Luftverkehr in Deutschland, abrufbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/ptl-roadmap.pdf?__blob=publicationFile

117 Abrufbar unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/richtlinie-foerderung-regenerativer-kraftstoffe.pdf?__blob=publicationFile

118 https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Pressemitteilungen/2021/096-scheuer-foerderaufruf-entwicklungsplattform-power-to-liquid-kraftstoffe.html.

Geplant ist zudem eine Förderrichtlinie für Investitionen in Umrüstung oder Neubau von Erzeugungsanlangen für fortschrittliche Biokraftstoffe und strombasierte Kraftstoffe. Diese soll Mitte 2022 veröffentlicht werden. Ferner soll aufbauend auf dem abgeschlossenen Markttestverfahren ein verbindliches wettbewerbliches Förderverfahren für den Markthochlauf von strombasiertem Kerosin voraussichtlich ebenfalls Mitte 2022 starten.[119]

[119] Zu den geplanten Förderrichtlinien: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/Alternative-Kraftstoffe/erneuerbare-kraftstoffe.html.

7 Wirtschaftlichkeit und Kundenakzeptanz

In diesem Kapitel werden wirtschaftliche Einflussfaktoren der Wasserstoff- und PtL-Produktion betrachtet. Hierfür werden die Gestehungskosten, potenzielle Quotenerlöse, Steuern, Abgaben, Umlagen sowie die Fördermöglichkeiten beschrieben. Als wichtiges Element des Projekterfolges wird die Kundenakzeptanz untersucht und evaluiert.

7.1 Gestehungskosten

Mit den in Kapitel 3 durchgeführten Berechnungen können grobe Angaben zu den Gestehungskosten von Wasserstoff und synthetischem Kerosin getroffen werden. Unter Gestehungskosten werden alle Investitions- und Betriebskosten über die Lebensdauer einer Anlage zusammengefasst und auf die Produktionseinheit heruntergerechnet. Somit können Aussagen über die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit eines Projektes getroffen werden.

Falls die Weiterverarbeitung des Wasserstoffs bzw. des Syn-Crude an einer Raffinerie stattfindet müssen Transportkosten und –emissionen mitberücksichtigt werden. Für die Weiterverarbeitung zu synthetischem Kerosin gelten spezifische Transportanforderungen für den Syn-Crude und Wasserstofftransport. Somit müssen hierfür zugelassene Tankwagen für den Transport eingesetzt werden. Unter der Annahme, dass ein Tankwagen ohne weitere Stopps zwischen jeweils einem Flughafen und der Raffinerie fährt, muss hier beim Transport des Syn-Crudes mit ca. 1 Cent pro Liter zusätzlichen Kosten gerechnet werden (Stand 02/2022)[120]. Für den Wasserstofftransport in einem 500 bar Trailer müssten eine zusätzliche Verdichtung vor Ort gebaut werden. Bei einer täglichen Transportdistanz von ca. 150 km können hier bis zu 3,16 €/kg Wasserstoff hinzukommen.[121] Die Transportkosten pro Kilo verringern sich bei höheren täglichen Transportmengen.

---

[120] Annahme nach Angaben TotalEnergies 02/2022

[121] Annahme für eine Transportmenge von 100 kg/Tag, https://www.hy-starter.de/wp-content/uploads/2021/10/HyStarter-Lausitz_Roadmap.pdf

7.1.1 Wasserstoffgestehungskosten

Die Wasserstoffgestehungskosten werden über die Annuitätenmethode berechnet: Die Investitionen, Projektentwicklungskosten, sowie die Betriebskosten werden demnach auf ein Jahr der Anlagenlebensdauer runtergerechnet. Die Wasserstoffgestehungskosten ergeben sich folglich aus den Kosten pro Jahr geteilt durch die Produktionsmenge der Anlage. Größter Kostentreiber für die OPEX von grünem Wasserstoff sind die Stromkosten. Die Erzeugungsart der genutzten EE ist deshalb ebenfalls ein entscheidender Faktor für die H_2-Gestehungskosten. Im Falle der Flughäfen Strausberg und Schönhagen wird die Bereitstellung des Stroms durch die vorgeschaltete PV-Anlage gewährleistet. Ob und wie die Anlage direkt mit dem Strom einer PV-Anlage betrieben wird, oder ob die Anlage ggf. auch über Netzbezug betrieben werden kann, muss von der noch ausstehenden finalen Definition von grünem Wasserstoff abhängig gemacht werden. Bei einem Direktbezug kann voraussichtlich der Strom ohne weitere Umlagen und Steuern genutzt werden. Wir betrachten im folgenden Beispiel die Wasserstoffgestehungskosten hinsichtlich der in Kapitel 3 betrachteten 9520 kWp Anlage in Kombination mit einer 500 kW Elektrolyse. Wirkungsgrad und Anzahl der Volllaststunden sind Ergebnis der Simulation dem Kapitel 3. Es werden keine Einnahmen durch Quotenhandel und Einspeisung von Überschussstrom berücksichtigt. Mit den hier getroffenen Annahmen ergeben sich Wasserstoffgestehungskosten von ca. 4,2 €/kg H_2 (siehe untenstehende Abbildung).

Annahmen

CAPEX Elektrolyse	870 €/kW
Fixe Betriebskosten	4 % des CAPEX
Bau, Planung und Genehmigung	20 % des CAPEX
Stromkosten	5,5 Cent/kWh
Fremdkapitalzins	3 %

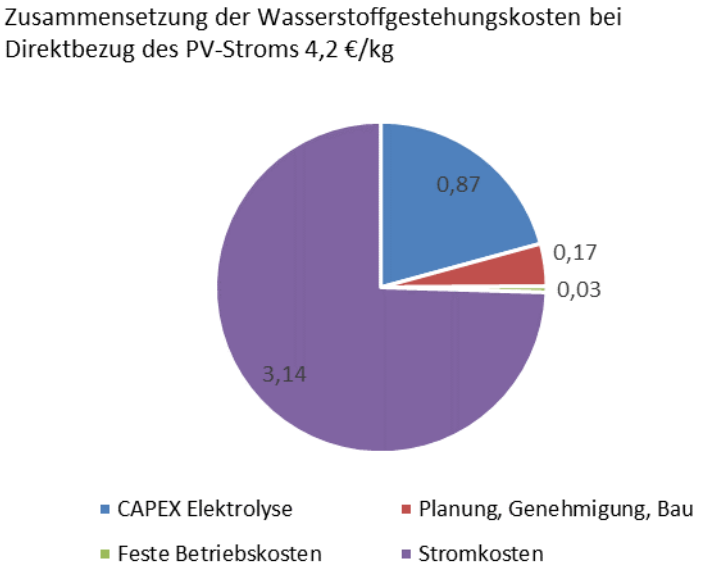


Abbildung 18 – Wasserstoffgestehungskosten bei Direktbezug des PV-Stroms an den Flughäfen

Abhängig von den verschiedenen Einflussparametern, können die Wasserstoffgestehungskosten stark variieren. Die folgende Abbildung stellt die Sensitivitäten dar bei einer prozentualen Veränderung der einzelnen Einflussfaktoren.

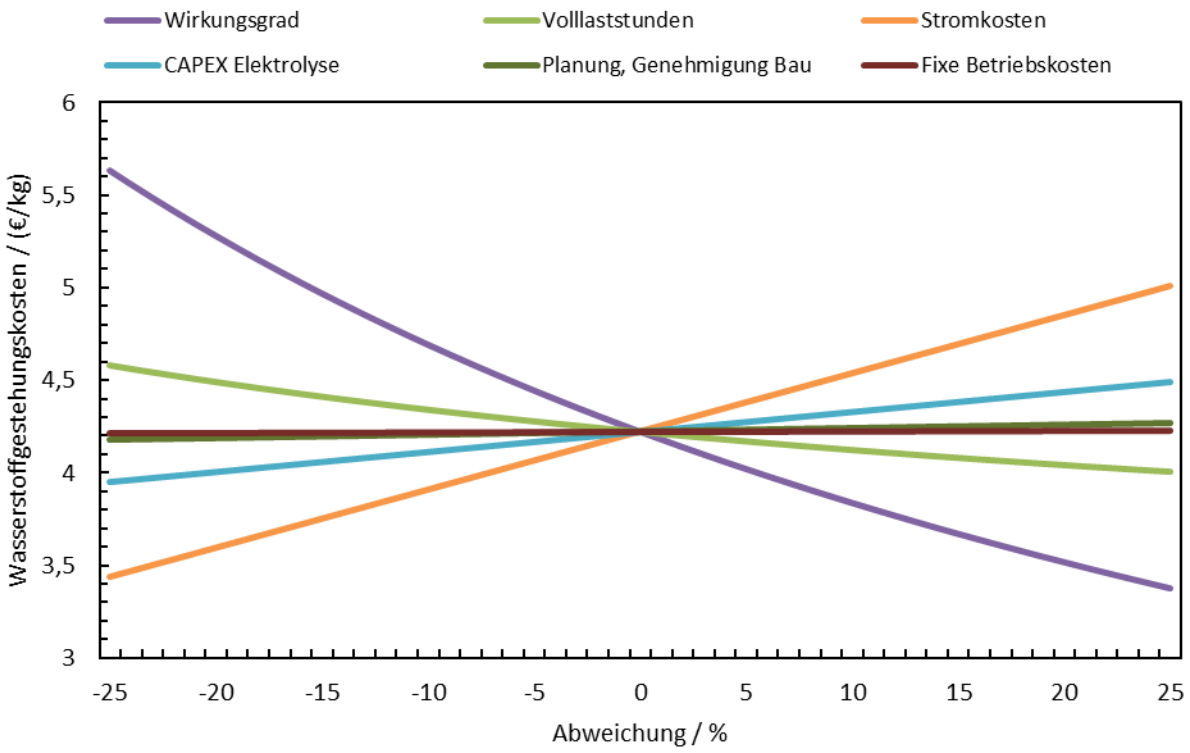


Abbildung 19 – Sensitivitätsanalyse der betrachteten Einflussfaktoren auf die Wasserstoffgestehungskosten.

7.1.2 PtL-Gestehungskosten

Zur Abschätzung der PtL-Kosten wird die Kostenanalyse aus der Studie[122] verwendet. Für den hier betrachteten Anwendungsfall mit Wasserstoffproduktion aus Elektrolyse und CO_2 aus einer Punktquelle ergeben sich die PtL-Kosten zu 1,62 €/l. Die Kostenaufteilung ist in Abbildung 20 dargestellt.

[122] DGMK-Forschungsbericht 815 „Herstellung treibhausgasreduzierter bzw. treibhausgasneutraler gasförmiger und flüssiger Energieträger und Brennstoffe“, DGMK e.V., Hamburg, 2021

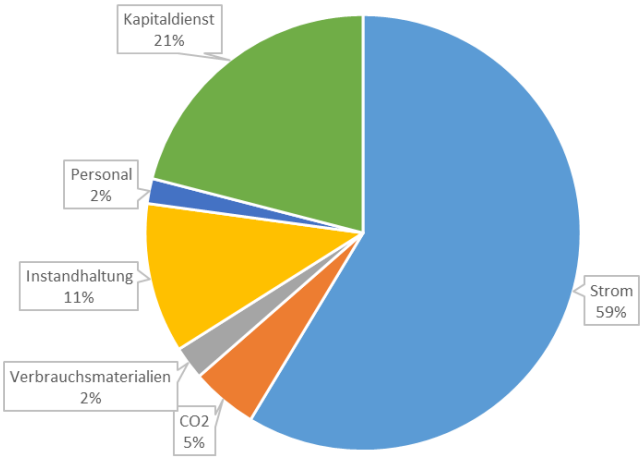


Abbildung 20 – Kostenbestandteile PtL-Kosten mit dem Pfad Elektrolyse und CO_2-Punktquelle nach Studie[123]

Die Bestandteile sind jeweils eine Zusammenfassung von einzelnen Kostenträgern:

- Strom: Elektrizität Elektrolyse, Elektrizität andere Komponenten,
- CO_2-Bezug aus Punktquelle,
- Verbrauchsmaterialien – Reinwasser/Kühlung, Abwasser, weitere Verbrauchsmaterialien,
- Instandhaltung,
- Personal – Lohnkosten,
- Kapitaldienst – Steuern/Versicherung, Finanzierung, Renditen.

Als Basis zur Berechnung der Kosten werden dabei eine Anlagenkapazität von 100.000 t PtL pro Jahr und ein Strompreis von 5 ct/kWh angenommen.

Die ermittelten Produktionspotenziale am Beispiel Flugplatz Strausberg sind mit 60 t bzw. 400 t PtL pro Jahr um ein Vielfaches niedriger als die angenommene Anlagenkapazität zur Kostenberechnung. Zusätzlich liegt der berechnete Strombezugspreis für die PV-Freiflächen-Anlage bei 9 ct/kWh. Auf diesen Gründen muss der Herstellungspreis für PtL im Beispiel Flugplatz Strausberg

[123] DGMK-Forschungsbericht 815 „Herstellung treibhausgasreduzierter bzw. treibhausgasneutraler gasförmiger und flüssiger Energieträger und Brennstoffe“, DGMK e.V., Hamburg, 2021

um ein Vielfaches höher angesetzt werden. Die in der Studie[124] angegebene kleinere Dimensionierung der Anlage hat eine Produktionskapazität von 10.000 t pro Jahr bei einem Preis von 2,24 €/l. Unter der Annahme einer linearen Kostenentwicklung ist eine Abschätzung der Produktionskosten für die Anlage am Flugplatz Strausberg mit einer Produktionskapazität von 400 t pro Jahr zu 2,31 €/l möglich. Jedoch ist diese Zahl nur als grobe Abschätzung zu sehen und muss noch in weiteren Untersuchungen wissenschaftlich überprüft werden.

Die Zusammensetzung der Kostenbestandteile des PtL-Kraftstoffs in Abbildung 20 zeigt deutlich, dass die Strombezugskosten für die Elektrolyse den größten Einfluss auf die Gesamtkosten haben. Dies bestätigt auch die Sensitivitätsanalyse der Studie[125]. Bei der Identifikation und Auswahl von möglichen Betriebskonzepten einer PtL-Anlage im Zusammenhang von Flugplätzen ist besonders die Wahl des Standortes in Bezug auf den Strombezug der Elektrolyse zu beachten. Dabei sind verschiedene Randbedingungen zu beachten:

- Direktleitung Elektrolyse – Erneuerbare Energien Anlage,
- Netzanschluss, Netzentgelte,
- Zertifikate Netzbezug grüner Strom,
- Bedingungen Umlagebefreiung EEG, Stromsteuer, etc.

Für die Verarbeitung des Syn-Crude in Raffinerien liegen keine Kostenannahmen vor. Die Differenz zwischen dem mit Syn-Crude vergleichbaren Rohöl[126] und Jet A-1[127] liegt bei ca. 120 € pro Tonne und damit ca. 25% des Rohölpreises, die noch für die Aufarbeitung in der Raffinerie mit einkalkuliert werden müssen.

---

124 Ebd.

125 Ebd.

126 Annahme: 75 US-$ bbl oil, Umrechnung in Tonne mit dem Faktor 6,39 und 1:1 Umrechnungskurs Dollar in Euro, entspricht ca. 479 €/t Rohöl, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/810/umfrage/rohoelpreisentwicklung-opec-seit-1960/

127 Annahme (02/2022), 600 US-$ pro Tonne Jet A-1

7.2 Weitere Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

Neben den Gestehungskosten wird die Wirtschaftlichkeit noch von weiteren Faktoren beeinflusst, die durch die in Kapitel 5.2 beschriebenen gesetzlichen Rahmenbedingungen bestimmt werden.

7.2.1 Quotenerlöse

Die Definition von grünem Wasserstoff ist noch nicht abschließend geklärt, ist aber definitiv abhängig von der Erzeugung.

Durch die Inverkehrbringung von grünem Wasserstoff können Unternehmen, die fossile Kraftstoffe in Deutschland in Verkehr bringen, ihre Treibhausgasminderungsziele (THG-Minderungsziele) erreichen. Durch den Treibhausgas-Quotenverkauf wird ein Zusatzerlös möglich. Als Referenzwert für die zu erzielenden Einsparungen wird von der zuständigen Stelle beim Zoll die CO_2-Intensität von Diesel verwendet, diese beträgt 94,1 g CO_2 Äquivalenten pro MJ (CO_2 eq/MJ). Grüner Wasserstoff hat laut EU eine CO_2-Intensität von 9,1 g CO_2 eq/MJ. Für eine CO_2-Intensität von 10 g CO_2 eq/MJ können die Quotenerlöse je nach Ausgangsbedingungen zwischen ca. 1 - 6 €/kg Wasserstoff variieren.

Je nach verwendetem Strom und verwendeter CO_2-Quelle variiert auch die CO_2-Intensität von synthetischem Kerosin. Es können aber laut erster Studien Werte zwischen 15-35 g CO_2 eq/MJ erreicht werden.[128]

Die Preise im Quotenhandel können nicht sicher prognostiziert werden bzw. können stark fluktuieren. Preise zwischen 150 € - 550 € pro Tonne CO_2-Äquivalente wären denkbar. Bei Nichteinhalten der Ziele müssen Unternehmen 600 € pro nicht eingesparte Tonne CO_2-Äquivalente zahlen. Durch die eventuell mögliche 3-fache Vermarktung von Strom-Quoten durch die batterieelektrische Mobilität könnten die Handelspreise eventuell sinken. Im Quotenhandel muss der

[128] DGMK-Forschungsbericht 815 „Herstellung treibhausgasreduzierter bzw. treibhausgasneutraler gasförmiger und flüssiger Energieträger und Brennstoffe“, DGMK e.V., Hamburg, 2021; Bullerdiek, et al. (2019): Einsatz von Multiblend JET A-1 in der Praxis, Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Modellvorhaben der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie

bürokratische Aufwand und die Organisation der Vermarktung mitgedacht werden, da hierfür wichtige Ressourcen (Personal, Zeit, etc.) benötigt werden.

7.2.2 Steuern, Umlagen, Abgaben

Die Wirtschaftlichkeit von PtX -Anlagen wird durch hohe Betriebskosten erschwert. Hier spielen vor allem die Strombezugskosten eine wesentliche Rolle, da diese einen nicht unerheblichen Teil darstellen. Die hohen Strombezugskosten ergeben sich aus den staatlich induzierten Strompreis-bestandteilen (vgl. Kapitel 5. 3).

Im Vergleich zu konventionell hergestelltem Kerosin, das 450 Euro pro Tonne kostet, kann der Preis von rein synthetischem Kerosin vier bis acht mal so teuer sein. Wesentlicher Treiber ist die Stromversorgung des energieintensiven Power-to-Liquid-Prozesses. Nach Branchenaussagen machen diese 80 % der Kosten aus.[129]

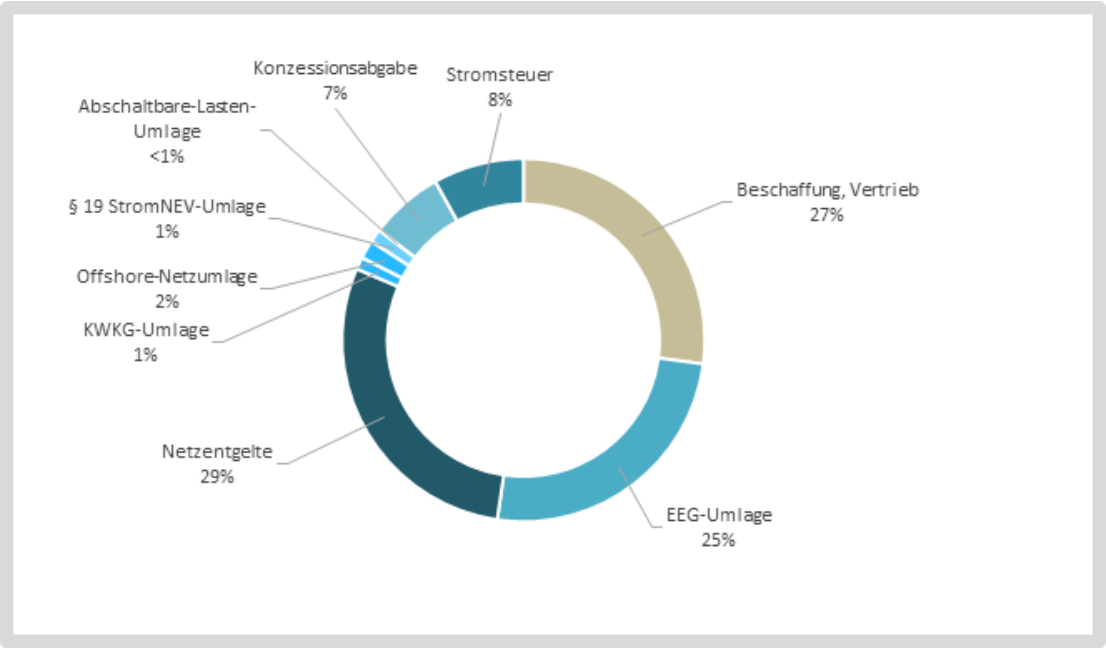


Abbildung 21 – Übersicht: Staatlich veranlasste Strompreisbestandteile – durchschnittlicher Strompreis 2019 für Haus-haltkunden[130]

---

129 https://www.cleanthinking.de/refuels-kerosin-CO_2-flughafen-stuttgart-ineratec/.

130 Abbildung entnommen aus Kalis/Wilms, KEROSyN100 S.31.

PtX-Anlagen gelten hinsichtlich des Strombezugs als Letztverbraucher. Letztverbraucher ist jede natürliche oder juristische Person, die Strom verbrauch, § 3 Nr. 33 EEG 2021. Die Nutzung des Stroms in der PtL-Anlage wird nach h.M regelmäßig als Letztverbrauch i.S.d § 3 Nr. 33 EEG 2021 (bzw § 3 Nr. 25 EnWG) beurteilt.

In Abhängigkeit von der jeweiligen Strombezugsoption (Netzstrombezug, Direktleitung oder Eigenversorgung) bestehen verschiedene Privilegierungs- oder Befreiungstatbestände, die Einfluss auf den Preis haben können.

Diese lassen sich in drei Kategorien clustern: Eigenversorgungsprivilegien (§ 61ff EEG 2021), das sog. Speicherprivileg (§ 64l EEG 2021) sowie die Besondere Ausgleichsregelung (§ 63 ff EEG 2021) sowie weitere Privilegierungstatbestände.[131].

7.3 Fördermöglichkeiten und internationales Umfeld

Es wurde im Zusammenhang mit der festzustellenden Wirtschaftlichkeit insbesondere die mögliche Auswirkung einer internationalen Zusammenarbeit untersucht, welche zusätzlich zur nationalen Förderung weitere Programme zugänglich machen kann. Am Beispiel Frankreich wurde eine Betrachtung einiger Flugplätze im Großraum Paris durchgeführt, welche einheitlich zur Betreibergesellschaft Groupe ADP (Aéroports de Paris) gehören.

ADP hatte 2020/21 innerhalb des Projekt-Konsortium OLGA am EU-Call „Green Airports and Ports" teilgenommen, und unter der Leitung ihres größten Flughafens Paris-CDG für das Konsortium eine Fördersumme von 25 Millionen Euro zugeteilt bekommen, bei einem Projektbudget von insgesamt 34 Millionen Euro. Die Projektdauer beträgt 60 Monate; weitere Konsortialmitglieder sind die Flughäfen Zagreb (Betreiber: ADP), Milano-Malpensa und Cluj.

Nicht vorrangig in das Projekt miteinbezogen, aber dennoch von Bedeutung für das innovative Erscheinungsbild der Groupe ADP, sind ihre kleineren Landeplätze um Paris. Drei der zehn als

[131] Übersicht dazu unter 5.3.2

Flugplätze (aérodrômes) eingeordneten Standorte können zum Vergleich mit Schönhagen und Strausberg herangezogen werden:

1) Toussus-le-Noble, 110 000 Flugbewegungen, 166 HA, Bahnlängen 1100 m (Asphalt und 1050 m (Asphalt), Geschäfts- und Privatfliegerei, Flugschulbetrieb, Standort für 2 elektrische Pipistrel-Flugzeuge
2) Etampes, 66 000 Flugbewegungen, 112 HA, Bahnlängen 700 m (Asphalt) und 1250 m (Gras), vornehmlich Privatfliegerei, innovatives Ausbauprojekt
3) Pontoise, 56 000 Flugbewegungen, 235 HA, Bahnlängen 2 x 1690 m (Asphalt), Geschäfts- und Privatfliegerei, Flugschulbetrieb, Helikopter, zukünftiger Standort für elektrische Volocopter Lufttaxis, 24 Stunden Flugbetrieb möglich durch PCL (Pilot Controlled Lighting)

Ein weiterer französischer Flugplatz ist durch sein Innovationspotential für eine eventuelle Zusammenarbeit interessant:

4) Toulouse-Francazal, 4000 Flugbewegungen, 160 HA, Bahnlänge 1800 m (Asphalt), Geschäftsfliegerei, Luftfahrtindustrie, Produktionsstandort für elektrische Flugzeuge des Herstellers Aura Aero.

Wir kommen unter 7.3.2 auf diese 4 Flugplätze zurück.

7.3.1 Förderung National

Im Kapitel 6 wird unter 6.3 auf die PtL-Roadmap der Bundesregierung[132] hingewiesen, sowie auf darin erwähnte Fördermaßnahmen. Ein Markttest[133] wurde seit 2021 durchgeführt, auf den ein verbindlicher Förderaufruf folgen soll, dem Zeitrahmen zufolge spätestens 2022. In der Roadmap ist zu lesen: „5.3. Zuwendungsempfänger ▪ Zielgruppe: Unternehmen, die zusätzliche Kapazitäten für die PtL-Produktion schaffen und die PtL-Produktionsanlage betreiben wollen. Teilnahme- und antragsberechtigt sind Unternehmen des privaten Rechts und kommunale Unternehmen bei

[132] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/ptl-roadmap.pdf?__blob=publicationFile

[133] https://www.now-gmbh.de/wp-content/uploads/2021/08/BMVI-PtL-Kerosin-Foerdersystem-Aufruf-Markt-test.pdf

einem Betrieb gewerblicher Art. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) werden zur Antragstellung ermutigt."

Die Roadmap führt auch Projekte der Bundesländer auf, die teilweise bundesweite Bedeutung haben, wie etwa das Brandenburgische PtX Lab Lausitz in Cottbus, welches vom BMUV auf Basis des Strukturstärkungsgesetz Kohleregionen gefördert wird. In einer Mitteilung des damaligen BMU heißt es: „PtX Lab Lausitz bringt synthetische Treibstoffe aus dem Labor in den Luft- und Seeverkehr (…) Innovative Vorhaben sollen mit Hilfe von führenden Technologieunternehmen den Weg aus dem Labor in die Praxis finden. Um PtX-Technologien greifbar zu machen, entsteht überdies eine Demonstrationsanlage in der Lausitz. Das PtX Lab Lausitz richtet sich an Akteure aus Deutschland, um sie untereinander und mit Partnern auf europäischer und internationaler Ebene zu vernetzen."[134]

7.3.2 Förderung Europäische Union

Trotz offenkundiger EU-Ambitionen waren in entfernteren Regionen der Erde die schnelleren Entscheider bei der Umsetzung von Förderprojekten zur SAF-Nutzung.

Australien (Meldung vom 20.12.2021)[135] hat als anscheinend erster Staat eine Maßnahme durchgesetzt, die mit Hilfe öffentlicher Mittel die Produktion von SAF zu höheren Volumina führen soll, mit dem anzunehmenden Ziel, die Produktionskosten durch Skaleneffekt zu senken.

Die US-Regierung (Meldung vom 09.09.2021)[136] hat Subventionierung von SAF durch Steuernachlässe angekündigt.

---

134 https://www.bmuv.de/pressemitteilung/ptx-lab-lausitz-bringt-synthetische-treibstoffe-aus-dem-labor-in-den-luft-und-seeverkehr

135 https://www.argusmedia.com/en/news/2284804-australia-provides-sustainable-fuel-funding

136 https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2021/09/09/fact-sheet-biden-administration-advances-the-future-of-sustainable-fuels-in-american-aviation

In Frankreich wird zumindest die Herstellung nachhaltiger Flugtreibstoffe gefördert, mittels einer Projektausschreibung der Energiewende-Agentur ADEME[137]. Allerdings hat das Thema noch keine sichtbare Berücksichtigung im Deutsch-französischen Büro für die Energiewende erreicht. Es gibt Handlungsbedarf, hier mit Frankreich aufzuschließen und gemeinsam auf zukünftige EU-Maßnahmen einzuwirken, die die Skalierung der SAF-Produktion ermöglichen.

Die EU hat noch keine endgültige Entscheidung getroffen, sondern beschränkt sich in ihrem Clean-Aviation-Programm noch auf eine Reihe von technologischen Fortschritten, die durchaus gefördert werden. Jedoch wird für SAF-Nutzung auch in aktuellen Clean-Aviation-Meldungen (19.01.2022)[138] noch keine Förderung angekündigt.

Dazu muss der Abschluss des Entscheidungsprozesses einer Initiative der ReFuelEU Aviation[139] abgewartet werden, die den „Vorschlag einer Verordnung für nachhaltige Flugzeugtreibstoffe"[140] zum Gegenstand hat. Darin heißt es (Seite 19, Abschnitt 16): „Die Entwicklung und der Einsatz nachhaltiger und kommerziell ausgereifter Flugkraftstoffe mit hohem Nachhaltigkeits-, Innovations- und Wachstumspotenzial sollten im Hinblick auf die Deckung des künftigen Bedarfs gefördert werden. Dies dürfte den Aufbau innovativer und wettbewerbsfähiger Kraftstoffmärkte unterstützen sowie kurz- und langfristig eine ausreichende Versorgung der Luftfahrt mit nachhaltigen Flugkraftstoffen sicherstellen. Gleichzeitig würde die Union in ihren Bemühungen unterstützt, ihre Dekarbonisierungsziele im Verkehrsbereich und ein hohes Umweltschutzniveau zu erreichen.", und weiterhin (Seite 21, Abschnitt 19): „Synthetische Flugkraftstoffe, die aus Strom aus erneuerbaren Quellen und direkt aus der Luft gewonnenem Kohlenstoff erzeugt werden, können im Vergleich zu konventionellem Flugkraftstoff Emissionseinsparungen von bis zu 100 % erzielen. Auch haben sie erhebliche Vorteile im Vergleich zu anderen Arten nachhaltiger Flugkraftstoffe im

---

137 https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/aides-financieres/20210726/carb-aerO$_2$021-154

138 https://www.clean-aviation.eu/media/executive-directors-blog/clean-aviation-takes-off-on-quest-for-green-skies

139 ReFuelEU Aviation: siehe auch Abschnitt 6.4.1.3 dieser Studie

140 https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-Nachhaltige-Flugzeugtreibstoffe-ReFuelEU-Aviation_de

Hinblick auf die Ressourceneffizienz (insbesondere den Wasserstoffbedarf) des Produktionsprozesses. Die Produktionskosten synthetischer Flugkraftstoffe werden derzeit jedoch auf das Drei- bis Sechsfache des Marktpreises für konventionelle Flugkraftstoffe geschätzt. Daher sollten in dieser Verordnung Vorgaben speziell für diese Technologie festgelegt werden." Die Initiative befindet sich derzeit noch in der Phase „Annahme durch die Kommission", deren Frist für Rückmeldungen am 18.11.2021 ablief.

Parallel zum Beschluss dieser Verordnung sollte verfolgt werden, welche Horizon-Europe-Calls zum Thema eröffnet werden. Deren Auflage ist es, dass mindestens drei EU-Staaten in einem Konsortium auftreten. Es bietet sich an, mit Frankreich und den Flugplätzen bei Paris und Toulouse ein Konsortium zu starten, welches aus dieser Studie Nutzen ziehen kann.

Als dritter EU-Staat kommt Luxemburg in Betracht, dessen einziger Flugplatz zwar ein internationaler Flughafen ist, aber mit 80 000 Flugbewegungen (vor Pandemie) noch in einer relativ vertretbaren Größenordnung für eine potenzielle Zusammenarbeit mit zwei innovativen Flugplätzen der Nachbarstaaten. Luxemburg ist in der Kraftstoff-Transportlogistik vom Central European Pipeline System (CEPS) abhängig, dessen Nutzung für alternative Kraftstoffe bislang noch nicht möglich ist, weil alle NATO-Länder dem zustimmen müssen (PtL-Roadmap, Seite 14)[141]. Da mindestens eine größere Fluggesellschaft aufgrund ihrer Umweltstrategie SAF – sofern verfügbar – tanken würde, kann Blending vor Ort eine nutzbare Lösung darstellen.

Kontakte auf der Arbeitsebene sind mit Paris, Toulouse und Luxemburg vorhanden und können auf Basis dieser Studie zu Partnerschaften ausgebaut werden.

7.4 Kundenakzeptanz

Im Rahmen der Betrachtung von Wirtschaftlichkeitsaspekten ist es notwendig, einen Blick auf das Thema Kundenakzeptanz zu werfen. Denn die Akzeptanz der Kunden, sowohl die Akzeptanz der

[141] https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/LF/ptl-roadmap.pdf?__blob=publicationFile

Technologie an sich als auch die der Preisstruktur und Wirtschaftlichkeit, beeinflusst den Erfolg des Markteintritts aber auch die Etablierung am Markt.

Im Rahmen der Studie umfasst der Begriff „Kunden" alle Nutzer von Flugplatzinfrastruktur, die um eine dezentrale Produktion von alternativen Kraftstoffen erweitert werden soll bzw. innerhalb derer alternative Kraftstoffe zum Verkauf angeboten werden. Diese Nutzer können sowohl von den infrastrukturellen Anpassungen betroffen sein, die eine dezentrale Produktion mit sich bringt, aber auch selbst Endanwender sein, also den alternativen Kraftstoff oder Kraftstoffblend in ein Luftfahrzeug tanken.

Innerhalb dieses Unterkapitels werden neben der Akzeptanz verschiedener Wirtschaftlichkeitsaspekte auch verschiedene dazugehörige Themen untersucht. Hierzu zählen u.a. die Akzeptanz des Aufbaus dezentraler Anlagen für die Produktion sogenannter Power-to-Liquid-Anlagen auf Flugplätzen, dazugehöriger Begleit-Projekte wie beispielsweise ITEAL sowie die Untersuchung geeigneter Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung.

Da Wasserstoff (H_2) ein wesentlicher Bestandteil des Produktionsweges von Power-to-Liquid-Kraftstoffen ist, und dieser ebenfalls als alternativer Kraftstoff eingesetzt werden kann, wird der Fokus der Untersuchungen auch auf dieses Thema gerichtet.

Allgemein kann festgehalten werden, dass die Medienberichterstattung den Einsatz synthetischer Kraftstoffe als nachhaltige Alternative für die Luftfahrt durch positive Berichterstattung prinzipiell unterstützt.[142] Weitere Teilnehmer einer Befragung im Rahmen der „3. Roadmap des Kopernikus-Projektes P2X Phase II – Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien" sahen vor allem in der Drop-In-Fähigkeit von PtL-Kraftstoffen einen großen Vorteil, hatten jedoch Schwierigkeiten, die Wirtschaftlichkeit dieser einzuschätzen und die Verantwortung für die Initiierung von Aktivitäten zur Förderung der Einführung alternativer Kraftstoffe festzulegen[143]. Generell scheinen bei der Bewertung der Akzeptanz von alternativen Kraftstoffen für die

---

142 3. Roadmap des Kopernikus-Projektes P2X Phase II – Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien (10. August 2021), Ausfelder, F., Dura, H., Bauer, F., et.al., S.59

143 Ebd. S. 60

Luftfahrt vor allem die niedrigen Technologieentwicklungsstadien der verschiedenen Herstellungsverfahren eine Herausforderung zu sein[144]. Gleichzeitig findet die Diskussion über alternative Technologien aktuell noch vermehrt innerhalb von ExpertInnen-Kreisen statt. Es „existieren wenige konkrete Erfahrungswerte in Bezug auf größere Anwendungen, welche von der Öffentlichkeit wahrgenommen werden."[145] Eine proaktive Definition von Akzeptanzkriterien ist deshalb für eine entsprechende Akzeptanzuntersuchung notwendig. Zu diesen Akzeptanzkriterien können beispielsweise Schwerpunkte wie Risikobewertung, Zuverlässigkeit bzw. Robustheit, Raumwirksamkeit und Flächenverbrauch, Umwelt- und Nachhaltigkeitsbetrachtungen oder die Integration von Produktionsanlegen gezählt werden.[146]

Über die Akzeptanz von Wasserstoff lässt sich ein besserer Überblick gewinnen. Eine repräsentative Bevölkerungsumfrage, durchgeführt durch das Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO) aus dem Jahr 2020 ergab, dass der Begriff „Wasserstoff" bei 85 % der Befragten bekannt war, doch nur 21 % den Begriff „Grüner Wasserstoff" einordnen konnten.[147] Vor allem auf jüngere Personen mit höherem Bildungsabschluss traf letzteres zu. Am bekanntesten waren Wasserstoff-Aktivitäten im Mobilitätsbereich, gefolgt von der Energieversorgung und weiteren Industrie-Anwendungen. Als abschließendes Ergebnis der Bevölkerungsumfrage konnte festgestellt werden, dass 85% der Befragten dem Einsatz von Wasserstoff im eigenen Umfeld, also beispielsweise in der eigenen Gemeinde, positiv gegenüberstanden, da sie darin vor allem ein großes Potential für den Umwelt- und Klimaschutz sahen.[148]

---

144 Akzeptanz neuer Energiewende-Technologien – Beispiel Power-to-X (2019), Taubitz, A., Hildebrand, J. aus „Energiewirtschaftliche Tagesfragen", Heft 11, S. 39-42

145 Ebd., S. 39

146 Ebd., S.40

147 Grüner Wasserstoff: Wie steht es um die Akzeptanz in Deutschland? (10.August 2020), Häußermann, Johann Jakob, Fraunhofer IAO https://blog.iao.fraunhofer.de/gruener-wasserstoff-wie-steht-es-um-die-akzeptanz-in-deutschland/

148 Ebd.

Bei den Ergebnissen der beschriebenen Umfragen zeigt sich, dass es im Kontext alternativer Kraftstoffe wie PtL oder Wasserstoff verschiedene Punkte gibt, die die Akzeptanz der (zukünftigen) Anwender beeinflussen. Hierzu zählen z.B. die Qualität der Kraftstoffe, ein dichtes und verlässliches Infrastrukturnetz aber auch die Gewährleistung von Sicherheit, hier vor allem im Bereich von Wasserstoff.[149]

Um die Akzeptanz von nachhaltigen Kraftstoffen neben wirtschaftlichen Faktoren weiter steigern zu können, gibt es verschiedene Empfehlungen. Vor allem Punkte wie die Teilhabe der lokalen Bevölkerung oder die Entwicklung von Kommunikationsstrategien sowie die dedizierte Untersuchung im Rahmen von Akzeptanzforschung und Akzeptanzmanagement können hierzu einen Beitrag leisten.[150]

Im Rahmen der ITEAL Konzeptstudie wird das Thema Akzeptanzmanagement genauer betrachtet. Denn die Akzeptanz der Kunden bzw. Endanwender ist bei Vorhaben und Projekten wie dem in dieser Studie skizzierten besonders entscheidend, wenn es um den langfristigen Erfolg geht. Vor allem die Akzeptanz der Anwender sichert die Etablierung und das (vor allem wirtschaftliche) Bestehen neuer Technologien. Die Anwender- und Kundenakzeptanz muss von Anfang an im Rahmen des Akzeptanzmanagements mitgedacht werden. Wie bereits angeschnitten sind hierbei vor allem Faktoren wie die frühen Umsetzungsstadien solcher Vorhaben, ihre geringere Bekanntheit oder Unwissen über Funktion, Nutzen, Risiken, Potenzial, Anwendungen oder Preis zu berücksichtigen.

Wie beispielsweise beim Bau von Windkraftanlagen zu sehen, ist das Konfliktpotential bei der Integration von nachhaltigen Technologien nicht zu unterschätzen. Schon allein deshalb ist es wichtig, sich mit dem Thema Akzeptanz genauer auseinanderzusetzen und ggf. mit geeigneten akzeptanzsteigernden Maßnahmen nachzusteuern. Alle im Folgenden durchgeführten und

---

149 WASSERSTOFF Unser Beitrag zur Sicherheit (17.09.2020) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), S.10

150 Expertenempfehlung Forschungsnetzwerk Wasserstoff (August 2021), Forschungsnetzwerk Wasserstoff, Hrsg.: Projektträger Jülich, S. 10

beschriebenen Untersuchungen basieren auf den Ergebnissen des Projektes „H_2-Chancendialog" des Fraunhofer IAO und des Wasserstoffnetzwerkes „HYPOS", die im Leitfaden „Prospektives Akzeptanzmanagement bei H_2-Projekten" zusammengefasst wurden.

Das Prospektive Akzeptanzmanagement lässt sich jedoch nicht nur bei reinen Wasserstoffprojekten anwenden, sondern ist auch für die begleitenden Akzeptanzuntersuchung von Projekten wie ITEAL sinnvoll. Mit Hilfe von fünf Schritten erfolgt die Umsetzung, die im Rahmen dieser Konzeptstudie vorgestellt werden.

Im Rahmen des prospektiven Akzeptanzmanagements wird zunächst die **Zielsetzung** festgelegt. Hier sollen beispielswiese Fragen wie „*Worum geht es im Projekt?*", „*Welche Ziele sollen durch das Akzeptanzmanagement erreicht werden?*" oder „*Auf welcher Ebene sind die Adressaten des Akzeptanzmanagements verortet?*" beantwortet werden. [151] Ebenen, die im Rahmen von ITEAL beachtet werden sollten, wären beispielsweise die Akzeptanzebenen Markt (bezogen auf die Anwendung, Endnutzer) und Lokal (bezogen auf die Infrastruktur, lokale Gemeinde).

Im Anschluss erfolgt das sogenannte **Akteursmapping**. Hier wird untersucht welche Personengruppen von der Planung innerhalb von ITEAL betroffen bzw. interessiert sein können. Hier ist vor allem auf die Art und die Vollständigkeit der Akteure zu achten. Auch die Frage, wer das Projekt ggf. unterstützt oder behindert, sollte betrachtet werden.[152]

Im dritten Schritt erfolgt die Untersuchung der **Sensibilisierung**. Alle im Akteursmapping festgelegten Stakeholder sollen hier bezüglich ihrer Haltung zum Vorhaben ITEAL eingeschätzt werden. Die Kriterien ziehen sich dabei von der Befürwortung über die aktive Unterstützung bis hin zum Widerstand. Für die definierten Konfliktlinien ist dann zu definieren, welche verschiedenen Informations- und Beteiligungsformate mit entsprechenden thematischen Schwerpunkten zum Akzeptanzmanagement eingesetzt werden sollen.[153]

---

[151] Prospektives Akzeptanzmanagement bei H_2-Projekten (2020), Fraunhofer IOA & HYPOS, S.9

[152] Ebd., S.10

[153] Ebd. S.11

Auf die Untersuchung der Sensibilisierung folgt in Schritt vier die **Planung**. Hier werden die Informations- und Planungsformate sowie ihre jeweiligen Umfänge und Inhalte definiert. Dabei werden drei Kategorien unterschieden: Information, Konsultation und Kooperation. Information beinhaltet die Bereitstellung von Angaben zum Vorhaben beispielsweise durch Projektflyer, eine entsprechende Website, im Konsortium abgestimmte Pressemitteilungen oder einen Imagefilm.[154] So werden Transparenz und Offenheit vermittelt, es kann jedoch keine direkte Beeinflussung des Projektes erfolgen. Durch z.B. unverbindliche Befragungen oder Formate wie Diskussionsabende, Interviews oder Online-Umfragen kann die sogenannte Konsultation bestimmter Stakeholder stattfinden. Eine aktive Einflussnahme findet nicht statt, jedoch können Meinungen, Ideen und Vorschläge ggf. in die Planung aufgenommen werden. Bei identifizierten Stakeholdern, die aktiv auf den Planungsprozess Einfluss nehmen sollen, können Kooperationsformate wie Workshops, Bürgerforen oder Arbeitsgruppen Anwendung finden.

Im letzten Schritt, der **Durchführung**, werden die geplanten Maßnahmen stakeholdergerecht durchgeführt und in das aktive Akzeptanzmanagement eingebunden. Wichtig ist hierbei, dass die entsprechenden Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung regelmäßig evaluiert und ggf. angepasst werden.

Zur Vorbereitung auf ein aktives Akzeptanzmanagement während der Umsetzung der in dieser Studie beschriebenen Aktivitäten wurde im Rahmen der ITEAL-Konzeptstudie eine erste Online-Umfrage durchgeführt, die als Grundlage dienen soll, um erste Akzeptanzwerte zu verschiedenen, bereits beschriebenen Kriterien zu erhalten und eine erste Analyse zu potentiellen Stakeholdern durchzuführen. Die Fragen wurden vornehmlich an die Nutzer der Flugplätze Strausberg und Schönhagen sowie weitere relevanten Luftfahrtakteure verteilt.

Die Umfrage gliedert sich in fünf Teile (eine komplette Auflistung der Fragen befindet sich im Anhang):

---

[154] Ebd. S.12

Teil I – Allgemeines

Teil I dient der Aufnahme und Zuordnung demografischer Faktoren wie beispielsweise dem Alter oder dem Geschlecht sowie der Einordnung der Befragten in den Luftfahrtbereich. So können alle folgenden Antworten in ihrer Auswertung kategorisiert und bewertet werden.

Teil II – Vorhaben & Thema

Zur Einordnung des Wissenstands der Befragten werden relevante Begrifflichkeiten wie beispielsweise „Grüner Wasserstoff" und „Power-to-Liquid" sowie deren Bedeutung abgefragt. So können die folgenden Antworten hinsichtlich des Wissensstandes der Befragten eingeordnet werden. Zusätzlich wird nach der Bekanntheit des Vorhabens ITEAL gefragt. Die Ergebnisse können in die Akzeptanzstrategie und das Akzeptanzmanagement miteinbezogen werden, um ggf. die Bekanntheit und das Bewusstsein für das ITEAL Vorhaben bei den Stakeholdern zu schärfen.

Teil III – PtL-(Produktions-)Infrastruktur auf dem Flugplatz

Im dritten Teil der Umfrage werden verschiedene Aussagen auf die Zustimmung oder Ablehnung der Befragten im Kontext des Aufbaus einer PtL-(Prodktions)Infrastruktur auf Flugplätzen untersucht. Die Kriterien reichen dabei von „Stimme völlig zu" über Stimme zu" und „Neutral" bis hin zu „Stimme nicht zu" und „Stimme überhaupt nicht zu". Die getroffenen Aussagen orientieren sich dabei an den bereits beschriebenen Akzeptanzkriterien Risikobewertung, Zuverlässigkeit bzw. Robustheit, Raumwirksamkeit und Flächenverbrauch, Umwelt- und Nachhaltigkeitsbetrachtungen oder die Integration von Produktionsanlegen.

Teil IV – Wirtschaftlichkeit/Preisentwicklung

Da die Wirtschaftlichkeit einen großen Einfluss auf die Akzeptanz von alternativen Kraftstoffen hat, wird diesem Thema ein eigener Umfrageteil gewidmet. Die Befragten werden gebeten, ihre Einschätzung zu Themen wie der Entwicklung der Wirtschaftlichkeit, der Bekanntheit der Treibhausgasquotenverpflichtung für die Luftfahrt oder der Bereitschaft einen Mehrpreis für nachhaltigen Kraftstoff zu zahlen, mitzuteilen.

Teil V – Akzeptanzsteigernde Maßnahmen

Auf Basis der vorangegangenen Betrachtungen wurden verschiedene akzeptanzsteigernde Maßnahmen ausgewählt, die von den Befragten hinsichtlich ihrer Eignung bewertet werden sollen. Hierbei stehen erneut die Kriterien „Stimme völlig zu", „Stimme zu", „Neutral", „Stimme nicht zu" und „Stimme überhaupt nicht zu" zur Auswahl. Die Befragten haben zudem die Möglichkeit, eigene Ideen einzubringen, die ins spätere Akzeptanzmanagement eingebracht werden können.

Auswertung

An der Umfrage nahmen insgesamt 56 Personen teil. Sie wurde sowohl über die Verteiler der an dieser Konzeptstudie beteiligten Flugplätze als auch über den LinkedIn-Kanal des European Aviation Security Center e.V. verteilt, um die Zielgruppe der späteren Anwender bestmöglich zu erreichen. 54 der 56 Befragten gaben an, dass sie einen direkten Bezug zur Luftfahrt haben. Bei 80% der Befragten handelt es sich um PrivatpilotInnen, am zweit- und dritthäufigsten wurden Aktivitäten innerhalb einer Flugschule oder eines Entwicklungs- und Herstellungsbetriebs angegeben. Über 70% der Befragten sind im Besitz eines eigenen Flugzeugs. Der Hauptteil der Befragten passt also in die im Vorhinein festgelegte Zielgruppe. So kann bereits hier eine solide Basis für das weitere Vorgehen in Bezug auf das Thema Kundenakzeptanz im Rahmen der PtL-Produktion auf Flugplätzen gewonnen werden.

Das Vorhaben ITEAL war knapp 79% der Befragten vor der Umfrage nicht bekannt. Die anderen 21% kannten das Projekt oder den Namen hauptsächlich aus der Presse oder dem Arbeits- bzw. Vereinsumfeld, in dem sie aktiv sind. Deutlich höher lag der Bekanntheitsgrad des Begriffs Powert-to-Liquid bzw. PtL. Mehr als der Hälfte (54%) der Befragten war den Begriff bekannt und wurde in unterschiedlichen Detailgraden korrekt beschrieben. Beim Begriff „Grüner Wasserstoff" stiegt der Bekanntheitsgrad nochmals deutlich auf 71%. Auch hier erfolgte die korrekte Beschreibung mit unterschiedlicher Detailtiefe, im Kern der Aussage waren jedoch alle getroffenen Aussagen korrekt. Hier wird deutlich, dass einem Großteil der Befragten sowohl PtL als auch grüner Wasserstoff bekannt sind. (Grüner) Wasserstoff noch mehr als Power-to-Liquid, weshalb bereits hier der Bedarf nach einem weiteren und umfangreicherem Informationsangebot deutlich wird.

Auch das Vorhaben selbst bedarf noch einer größeren Bekanntheit unter den zukünftigen Anwender.

In Bezug zum Einsatz einer PtL-Produktionsinfrastruktur wurden den Befragten sechs Aussagen zur Bewertung vorgestellt. Neben Aussagen wie „Alternative Kraftstoffe sind notwendig, um die Luftfahrt nachhaltiger zu gestalten" (1) wurde auch nach der Einschätzung der Zukunftsfähigkeit von Wasserstoff (2) und Power-to-Liquid (3) als nachhaltige Kraftstoffe in der Luftfahrt sowie der Sinnhaftigkeit (4) und Integrierbarkeit (5) einer dezentralen PtL-Produktionsankage innerhalb der Flugplatzinfrastruktur gefragt. Die Aussage „Die Verfügbarkeit von direkt am Flugplatz produzierten alternativen Kraftstoffen senkt die Hemmschwelle zum Kauf der nachhaltigen Alternativen" (6) mussten die Befragten als letztes einschätzen. Vor allem die Aussagen (1), (3) und (6) trafen auf große Zustimmung. Hier stiegen die Zustimmungswerte jeweils auf 91%, 73% und 64%. Bei den Aussagen (2) und (5) also bei den Aussagen zur Bewertung der Zukunftsfähigkeit von Wasserstoff als Kraftstoff und der Integrierbarkeit von Produktionsanlagen in die bestehende Infrastruktur sank die Zustimmung auf 48% und 43%, die Ablehnung erreichte bei diesen beiden Aussagen die Höchstwerte von 18% und 12,5%. Vor allem bei der Integrierbarkeit potenzieller PtL-Anlagen in die Flugplatzinfrastruktur (5) konnten 44,5 % der Befragten keine Bewertung der Aussage vornehmen und verhielten sich neutral.

Im Kontext der Wirtschaftlichkeit und Preisentwicklung von alternativen Kraftstoffen entschied sich die deutliche Mehrheit der Befragten dafür, dass sie ihr eigenes Flugzeug mit PtL oder einem PtL-Kraftstoffblend betanken würden. Nur 2 Befragte gaben an, ihr Flugzeug nicht mit PtL-Kraftstoff zu betanken. Die übrigen 10 Befragten machten keine Angabe. Als Begründung für die Entscheidung, PtL-Kraftstoff/-blend zu tanken, gaben die Befragten vor allem die Stichworte Nachhaltigkeit und Klimaschutz bzw. der Zukunftssicherung der (allgemeinen) Luftfahrt. an Wenn der entsprechende PtL-Kraftstoff zugelassen und für die Luftfahrzeuge unbedenklich einsetzbar ist, sahen viele der Befragten kein Problem bei der PtL-Betankung.

Die aktuelle Wirtschaftlichkeit der nachhaltigen Kraftstoffe konnte mehr als die Hälfte der Befragten jedoch nicht einschätzen. Als nicht bzw. unwirtschaftlich und teuer schätzen die anderen Befragten die Wirtschaftlichkeit hauptsächlich ein. Bei der Entwicklung der Wirtschaftlichkeit der

Kraftstoffe sahen jedoch über 80% der Befragten eine Steigerung in der Zukunft. Mehr als die Hälfte der Befragten war ebenfalls bereit mehr für nachhaltigen, in einem CO_2-neutralen Kreislauf produzierten Kraftstoff/-blend zu bezahlen. Die Mehrheit der Befragten gab die Bereitschaft an, zwischen 10% und 20% mehr für einen Liter PtL-Kraftstoff zu zahlen (Ausgangswert war der Kerosinpreis von 1,13€ exkl. Energie- und Mehrwertsteuer).

Zum Ende der der Umfrage wurden die Befragten gebeten, verschiedenen Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung bzw. auch zur Informationsbereitstellung auf die Wirksamkeit hin zu bewerten. Vor allem das Anlegen und Pflegen einer Projektwebsite mit umfangreichen Projektinformationen fand bei den meisten Zuspruch. Auch regelmäßige Informationsveranstaltungen mit Updates zum Stand der Umsetzung und organisierte Führungen von Pilotanlagen wurden von den Befragten als sinnvoll bewertet. Weniger Zustimmung fand der aktive Miteinbezug von Anwendern (z.B. durch Workshops). Weitere Vorschläge, die von den Befragten selbst genannt wurden, inkludierten einen (Video-)Blog, Publikationen und einen virtuellen Rundgang über entsprechende Anlagen. Auch die Anforderungen an Informationsangebote wie eine einfache Verfügbarkeit und die Möglichkeit zur Selbstinformation wurden von den Befragten aufgeführt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass dem Großteil der Befragten Begriffe wie grüner Wasserstoff und Power-to-Liquid sowie deren Bedeutung bekannt sind. Trotzdem besteht bei vielen Befragten bzw. Anwendern der Bedarf nach weiteren und ausführlicheren Informationen zu den nachhaltigen Kraftstoffen an sich aber auch zu zukünftigen Projekten und Pilotanlagen auf Flugplätzen. Bei einem Großteil der Befragten herrscht zudem eine grundsätzliche Akzeptanz der alternativen Kraftstoffe und einem höheren Preis. Dem Großteil der Befragten ist ebenfalls der Grund für den Bedarf an alternativen Kraftstoffen (Klima- und Umweltschutz, Weiterbestehen der Luftfahrt) bekannt. Doch das Akzeptanzlevel muss weiterhin gehalten bzw. sogar gesteigert werden, um die Etablierung bei den Anwendern auch in Zukunft zu gewährleisten. Bei der Umsetzung des Projektes ITEAL aber auch für andere Projekte dieser Art gilt, dass vor, während und auch nach der Umsetzung ein umfangreiches, prospektives Akzeptanzmanagement betrieben werden muss, um alle beteiligten und betroffenen Stakeholder mit entsprechend geeigneten Maßnahmen zu erreichen und die Akzeptanz eines solchen Vorhabens sowie die Akzeptanz der

eingesetzten Kraftstoffe an sich zu gewährleisten. Weitere, detaillierte Umfragen und ein auf die Ergebnisse abgestimmter Maßnahmenplan mit einem niederschwelligen Informationsangebot für die Anwender bilden hier einen ersten Schritt im prospektiven Akzeptanzmanagement für das Vorhaben ITEAL.

8 Realisierungschancen an den Standorten Schönhagen und Strausberg

8.1 Charakteristika von Regionalflugplätzen

8.1.1 Beschreibung des Standortes Schönhagen

Der Flugplatz Schönhagen, südwestlich von Berlin, gehört mit 46.000 Flugbewegungen und über 190 stationierten Luftfahrzeugen zu den größten Verkehrslandeplätzen Deutschlands. Mit seinem Luftfahrt-Technologiepark, in dem 47 Unternehmen des luftfahrtaffinen Gewerbes, Vereine und Verbände angesiedelt sind, ist er ein tragender Wirtschaftsstandort der Region. Durch eine langjährige Kooperation mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen ist der Flugplatz mittlerweile auch zu einem beliebten Forschungsstandort geworden. U.a. sind die Freie Universität Berlin, die Technische Universität Berlin, die Technische Hochschule Wildau, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt sowie Fraunhofer-Fokus mit eigenen Forschungsflugzeugen oder Forschungsprojekten am Flugplatz Schönhagen aktiv. Mehrere Projekte, aber auch angesiedelte Unternehmen beschäftigen sich mit Entwicklungen zu einem nachhaltigen, klimaneutralen Luftverkehr.

Als Verkehrslandeplatz zählt Schönhagen zu den öffentlichen Luftverkehrsinfrastrukturen und unterliegt damit einer Betriebspflicht nach § 45 LuftVZO, die täglich um 08:30 Uhr beginnt und um 20:00 Uhr endet. Zu den übrigen Zeiten wird Flugbetrieb nach Voranmeldung abgewickelt. Zwischen 22:00 und 06:00 Uhr ist der Verkehr auf gewerbliche Flüge beschränkt, deren Umfang kontingentiert ist. Der Flugplatz ist dank eines satellitengestützten Instrumentenanflugverfahrens und einer entsprechenden Befeuerung Tag und Nacht wetterunabhängig erreichbar. Die Start- und Landebahn ist 1.500 m lang, allerdings mit versetzten Schwellen aufgrund der Hindernissituation. Der Flugplatz ist für Flugzeuge bis 14.000 kg max. Abfluggewicht zugelassen sowie für Hubschrauber ohne Gewichtsbegrenzung.

Die Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH ist seit 2018 vom Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur (BMVI, jetzt BMDV) als Flugsicherungsorganisation beauftragt und betreibt

einen vom Bundesaufsichtsamt für Flugsicherung zertifizierten Fluginformationsdienst (AFIS-Aeronautical Flight Information Service).

Eine Wetterstation auf dem Flugplatzgelände erhebt und verbreitet vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zertifizierte Daten.

Eigentümer und Betreiber des Flugplatzgeländes ist die Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH. Hauptgesellschafter ist der Landkreis Teltow Fläming mit 99,54 % sowie die Stadt Trebbin mit 0,46 %.

Der Flugplatz Schönhagen wickelt den gesamten Verkehr der allgemeinen Luftfahrt ab, also den Verkehr, der außerhalb des planmäßigen Linien- und linienähnlichen Charterverkehrs stattfindet. Diese von der Öffentlichkeit weniger beachtete Verkehrsart macht immerhin rund 2/3 des gesamten Luftverkehrs in Deutschland aus. Dazu gehören

- der Geschäftsreise- und Werksverkehr, Taxi- und individueller Charterverkehr mit ein- und zweimotorigen Propellerflugzeugen, Businessjets und Hubschraubern,
- Flüge von Polizei, Bundespolizei und weiterer Behörden,
- Luftrettung und Ambulanzflüge,
- Flüge der Arbeitsluftfahrt, die ein breites Spektrum von Vermessungs-, Luftbild-, Überwachungs- und Krankenflügen sowie spezielle Missionen verschiedener Bedarfsträger umfasst,
- Flüge zur gewerblichen und nichtgewerblichen Ausbildung für alle Pilotenlizenzen bis hin zur Berufs- und Verkehrspilotenberechtigung für Hubschrauber und Flugzeuge
- Werkstatt- und Erprobungsflüge,
- Privater Individualverkehr,
- Luftsport.

Mehrere luftfahrttechnische Betriebe betreuen Flugzeuge und Hubschrauber aus dem In- und Ausland. Zwei Flugzeughersteller entwickeln, produzieren und erproben Flugzeuge. 2/3 der rund 190 stationierten Luftfahrzeuge sind auf Gewerbebetriebe zugelassen, der Rest dient dem privaten Individualverkehr und dem Luftsport. Luftsport, also Segel- und Ultraleichtflug machen ca.

15 % der Flugbewegungen aus. Die stärksten Wachstumsraten hat der Geschäftsreise- und Werksverkehr. Entsprechende Luftfahrzeugstationierungen nehmen seit vielen Jahren kontinuierlich zu.

Nicht nur, aber gerade in der COVID 19 Pandemie hat sich der Flugplatz Schönhagen als notwendige Ergänzung zum BER erweisen, um die Resilienz des Luftverkehrs als Transportmittel zu gewährleisten. Viele Lufttransportleistungen, die im Linienverkehr nicht angeboten wurden, wurden während der Pandemie durch die Allgemeine Luftfahrt ersetzt. Deshalb hatten die Flugbewegungen 2020 gegenüber 2019 zugenommen und blieben 2021 auf dem 2020er Niveau erhalten.

Eine Besonderheit des Flugplatzes Schönhagen ist die unmittelbare Nachbarschaft zum Naturpark Nuthe-Nieplitz, der sich von Jüterbog im Süden Brandenburgs bis hinter Saarmund am Stadtrand Berlins erstreckt und ein bedeutendes Vogelschutzgebiet im Westen des Flugplatz Schönhagen umfasst. Dank einer Reihe von Maßnahmen, die im Laufe der Jahre kontinuierlich weiterentwickelt wurden, konnten Naturschutz und Luftverkehr so in Einklang gebracht werden, dass sich Vogelschutzgebiet und Flugplatz seit der Jahrtausendwende gleichermaßen sehr positiv entwickeln konnten. Projekte zum emissionsarmen Fliegen ergänzen diese Entwicklung und passen daher hervorragend zum Flugplatz Schönhagen.

8.1.2 Beschreibung des Standortes Strausberg

Der Verkehrslandeplatz Strausberg (Code EDAY) liegt rund 35 km nordöstlich von Berlin und ist sowohl über die B1 bzw. A10 wie auch durch die S-Bahn S5 gut zu erreichen und an Berlin angebunden. Während er ursprünglich vor allem militärisch genutzt wurde, dient er seit 1992 der gewerblichen Luftfahrt, dem Geschäftsverkehr, der fliegerischen Ausbildung sowie dem Luftsport.

Der Flugplatz verzeichnet pro Jahr ca. 40.000 Flugbewegungen incl. Segelflugverkehr. Der Schulflugverkehr nimmt dabei mit rund 40% der Bewegungen eine dominierende Rolle ein. Nach dem Jahr 2000 wurden neue Abstellhallen, eine Flugzeugtankstelle sowie ein Towergebäude errichtet. In den letzten Jahren wurden die Voraussetzungen zum Instrumentenanflugverfahren umgesetzt, das seit Juni 2021 in Betrieb ist.

Die Start- und Landebahn hat derzeit eine Länge von 1.200 m und ist für Luftfahrzeuge mit einen MTOM von bis zu 14 t zugelassen. Ein rechtskräftiger Planfeststellungbescheid für eine Verlängerung der S/L-Bahn auf 1.650 m liegt vor, mit dem die Möglichkeiten für den gewerblichen Flugverkehr zu verbessern sind.

In unmittelbarer Nähe zum Flugplatz befindet sich ein allgemeines Gewerbegebiet mit überwiegend mittelständischem Gewerbe. Ein weiteres Gewerbegebiet sowohl für flugaffines als auch für allgemeines Gewerbe wird aktuell erschlossen. Die direkte Anbindung an die Stadt Strausberg stellt besondere Anforderungen an den Lärm- und Emissionsschutz des Flugverkehrs. Eigentümer der Strausberger Flugplatz GmbH ist die Strausberger Eisenbahn GmbH, die sich wiederum zu 100% im Eigentum der Stadt Strausberg befindet. Eine weitere Tochter der Strausberger Eisenbahn GmbH sind die Stadtwerke Strausberg GmbH.

Dieses versorgt ganze Strausberg mit Strom und Fernwärme. Auch der Flugplatz und das angrenzende Gewerbegebiet wird mit Fernwärme erschlossen. Die Stadtwerke betreiben für das Versorgungsgebiet Nord ein BHKW auf Erdgasbasis. Ferner verläuft in der Nähe des Flugplatzes die Gasleitung der EWE Netz GmbH.

8.1.3 Ausgangslage zur Nutzung regenerativer Kraftstoffe

Wie in den Abschnitten 8.1.1 und 8.1.2 beschrieben, sind die Verkehre an den Flugplätzen Schönhagen und Strausberg durch Luftfahrzeuge außerhalb des Linienverkehrs geprägt. In diesem Segment werden Betriebskosten anders gewichtet. Ein Verkehrsflugzeug im Linienverkehr kann nur bei einer optimalen täglichen Auslastung wirtschaftlich betrieben werden. Abhängig von der Einsatzart im Kurz-, Mittel- oder Langstreckenverkehr sind Betriebszeiten von 300 bis über 400 Stunden im Monat mit möglichst kurzen Bodenzeiten die Regel.

Geschäftsreiseflugzeuge zeichnen sich dagegen durch kurze Flug- und lange Bodenzeiten aus. Der wirtschaftliche Nutzen eines Geschäftsreiseflugzeuges liegt eher in der Effizienzsteigerung der Reise- und Geschäftsabläufe. Dadurch erfolgt eine Optimierung der Gesamtreisekosten, einschließlich der Personalkosten. Nach einer Statistik von Eurocontrol fliegt die individuelle Geschäftsluftfahrt innerhalb Europas regelmäßig 100.000 verschiedene Punkt-zu-Punkt

Verbindungen, von denen nur 5 % durch eine tägliche Linienverbindung abgedeckt werden. Nach einer gemeinsamen Studie von DLR, IUBH und HOLMS gibt es in Deutschland über 1.000 mittelständische Unternehmen, die in ihrem Geschäftsbereich Weltmarktführer sind, aber zum Teil aus der Provinz heraus operieren und keinen direkten Anschluss an einen internationalen Verkehrsflughafen haben. Für diese Unternehmen ist der eigene Werksverkehr ein wichtiges Werkzeug.

Geschäftsreiseflugzeuge fliegen durchschnittlich 400 h im Jahr, also etwa ein Zehntel eines Linienflugzeuges. Treibstoffkosten haben deshalb bei einem Businessjet einen geringeren Anteil an den Gesamtbetriebskosten als bei einem Linienflugzeug.

Hinzu kommt, dass Betreiber von Luftfahrzeugen der Allgemeinen Luftfahrt von vornherein an höhere Treibstoffpreise gewohnt sind als Fluggesellschaften des Linienverkehrs. Kleine Flugzeuge verbrauchen weniger Kraftstoff. Deshalb wird auf den regionalen Verkehrslandeplätzen nur ein Bruchteil der Kraftstoffmengen eines internationalen Verkehrsflughafens umgesetzt. Der Aufwand pro verkauftem Liter für Logistik, Lagerhaltung, Technik, Verwaltung, Qualitätssicherung und Vertrieb ist auf den regionalen Verkehrslandeplätzen ungleich höher als auf den Internationalen Großflughäfen. Durch langfristige Großabnehmer-Verträge können sich die Fluggesellschaften auf internationalen Flughäfen Preise sichern, die unversteuert oft halb so hoch sind, wie die Preise auf einem Verkehrslandeplatz. Während im Linienverkehr ausschließlich energiesteuerbefreit getankt wird, wird z.B. am Flugplatz Schönhagen nur etwa die Hälfte des verkauften Kerosins steuerbefreit abgegeben. Nur der gewerbliche Verkehr ist steuerbefreit. Zwischen dem steuerbefreiten Einkaufpreis einer Fluggesellschaft im Linienverkehr und dem versteuerten Kraftstoff in der Allgemeinen Luftfahrt liegt die Preisdifferenz sogar beim Faktor 3 bis 4.

Auf der anderen Seite ist bei einem kleinen Flugzeug der Allgemeinen Luftfahrt der Treibstoffverbrauch pro Sitzplatzkilometer höher als bei einem Flugzeug im Linienverkehr. Deshalb ist gerade der Geschäftsreiseverkehr einem erheblichen Druck ausgesetzt nachhaltige, regenerative Kraftstoffe zu nutzen und würde dafür auch eher höhere Preise in Kauf nehmen als der Linienverkehr.

Die Allgemeine Luftfahrt bietet deshalb gute Voraussetzungen, schon heute mit tragfähigen Businesskonzepten die Herstellung und Nutzung synthetischer Kraftstoffe zu starten.

Luftfahrzeuge mit Hubkolbenmotor

Hubkolbenmotoren werden überwiegend mit der Kraftstoffsorte AVGAS 100 LL betrieben. Der Luftfahrt-Treibstoff AVGAS 100 LL ist der letzte Kraftstoff, der noch legal mit Bleizusatz genutzt werden darf. In Europa gibt es nur noch zwei Raffinerien, die diesen Kraftstoff herstellen. Alternativ wird in Schönhagen und auf wenigen weiteren Flugplätzen die Kraftstoffsorte AVGAS 91 UL ohne Bleizusatz und geringerer Oktanzahl angeboten. Dieser Kraftstoff ist nicht für alle Motoren zugelassen und hat am Markt bisher nur sehr wenig Zuspruch gefunden.

Bisher ist weder ein bleifreier Ersatz für AVGAS 100 LL mit vergleichbaren Eigenschaften am Markt verfügbar, noch ist es der Luftfahrt-Motorenindustrie gelungen ihre Triebwerke auf bleifreie Kraftstoffe umzustellen. Auch die jahrelange Forschung, die die Amerikaner in dem Projekt PAFI (Piston Aviation Fuels Initiative) konzentriert haben, hat bis heute nicht zu einem Kraftstoff geführt, den man 1:1 gegen AVGAS 100 LL austauschen könnte. Bei einem kürzlich in den USA vorgestelltem Ersatzkraftstoff GAMI (General Aviation Modifications, Inc.) ist derzeit noch fraglich, ob die dort verwendeten Aromate als Additive in Europa zulassungsfähig sind.

Allerdings nimmt der Druck auf die Industrie sowohl beim Marktführer USA als auch in Europa allmählich zu. Die US-Umweltschutzbehörde EPA hat gerade eine Studie auf den Weg gebracht, um die Auswirkungen dieses verbleiten Treibstoffs auf die Umwelt im Umfeld der Flugplätze zu eruieren. Sollten sich daraus negative Erkenntnisse ergeben, hat die Behörde bereits für 2023 Konsequenzen angekündigt. Da die in der Allgemeinen Luftfahrt eingesetzten Hubkolbenmotoren überwiegend in den USA hergestellt werden, hätten Restriktionen der amerikanischen EPA Auswirkungen bis nach Europa.

Aber auch in Europa ist davon auszugehen, dass AVGAS 100 LL eines nicht allzu fernen Tages vom Markt genommen wird. Nach einem Bericht der deutschen AOPA sind ca. 16.000 Flugzeuge in Europa immer noch auf das verbleite AVGAS angewiesen. Das bleihaltige Additiv im AVGAS ist das Tetraethylblei (TEL). Der einzig verbliebene TEL-Hersteller auf dem Weltmarkt hat seinen Sitz in Großbritannien. Im Juni 2021 wurde eine Empfehlung der EU-Kommission ausgesprochen, für

den Import und die Verwendung von TEL eine Autorisierung zu verlangen. In der Luftfahrtbranche wird nun befürchtet, dass TEL nach einer Übergangszeit, die im Herbst 2024 endet, nicht mehr in die EU eingeführt werden darf, bzw. nur noch in einer Verdünnung von 1 %. Dies würde dazu führen, dass AVGAS 100 LL nicht mehr in Europa hergestellt werden dürfte und importiert werden muss. Dafür kämen nach aktuellem Stand nur die USA in Frage. Dies könnte den Preis von AVGAS 100 LL nach ersten Schätzungen um bis zu einem Euro pro Liter verteuern, was diesen Kraftstoff vom europäischen Markt nehmen würde. Andererseits rechnet die Branche nicht damit, dass bis Ende 2024 ein Ersatzkraftstoff flächendeckend zur Verfügung steht.

Eine Alternative wäre die Entwicklung neuer Flugmotoren, deren luftfahrtzugelassene Bereitstellung für alle in Frage kommenden Leistungsklassen bis 2024 ausgeschlossen werden kann. Deshalb ist damit zu rechnen, dass die Umrüstung auf Luftfahrtdieselmotoren Fahrt aufnimmt. Auch wenn entsprechende Motoren bereits zur Verfügung stehen und einige Flugzeuge umgerüstet wurden, hatten die Dieselmotoren bisher noch nicht den großen Durchbruch. Die Umrüstung ist teuer und bedarf einer ergänzenden Musterzulassung für jedes einzelne Luftfahrzeugmuster. Flugzeugdieselmotoren haben jedoch den Vorteil, dass sie mit Kerosin betrieben werden können, weniger verbrauchen und damit bei größerer Reichweite geringere Betriebskosten verursachen als die herkömmlichen Ottomotoren. Im Gegensatz zu AVGAS 100 LL ist Kerosin weltweit verfügbar.

Diese Entwicklung könnte der Verwendung von PtL-Blends in den nächsten Jahren einen ganz neuen Markt erschließen, der bereits heute Kraftstoffpreise zwischen 2,50 und 3 € pro Liter gewohnt ist. Dabei stellen die kleinen Flugzeuge mit Hubkolbenmotoren gegenüber den teuren Turbinen den Massenmarkt.

Flugzeuge mit alternativen Antrieben

In Ergänzung zur Verwendung von PtL Blends können sukzessive alternativ angetriebene Flugzeuge in den Markt eintreten und damit fossil betankte Flugzeuge ersetzen. Mit Wasserstoffflugzeugen ist eine Umstellung auf vollständig emissionsfreien Flugverkehr möglich. Er bedarf aufgrund der Umstellung der Flugzeugflotten jedoch eines Parallelbetriebs und einem entsprechenden wirtschaftlichen Ausblick.

Ein Beispiel über die aktiven Fortschritte der Technologie sind die Entwicklungen des wasserstoffbetriebenen Flugzeugs i-2 durch die Firma APUS Zero Emission GmbH. Die Entwicklungen sollen 2023 in den Test- und Zertifizierungsprozess übergehen und 2025 marktreif angeboten werden.

Das Flugzeug i-2 ist konzipiert als viersitziges Reiseflugzeug mit 1.800 kg MTOM und 800 km Reichweite. Der Antrieb erfolgt mittels Brennstoffzelle. Die Speicherung des erforderlichen Wasserstoffs erfolgt durch ein von APUS patentiertes, in die Struktur der Tragflügel integriertes Tanksystem. Hierbei werden zehnfach höhere Energiedichten als in batterieelektrischen Flugzeugen erreicht. Die Reichweiten sind für typische Geschäftsreiseflüge ausreichend bemessen. Voraussetzung einer guten Markteinführung ist dabei u.a. ein umfassendes Wasserstoff-Tankstellennetz auf europäischen Flugplätzen und ein marktfähiger Gesamtpreis des neuen Flugzeugs.

8.1.4 Verkaufspreise für Wasserstoff

Entsprechend Kapitel 7.1.1 variieren die Kosten für eine grüne Wasserstoffproduktion mit Freiflächen-PV-Strom je nach Größe des Elektrolyseurs. Für die folgenden Betrachtungen wird mit Stromgestehungskosten von 5,5 Cent/kWh und hieraus resultierenden Wasserstoffgestehungskosten von ca. 4,2 €/kg gerechnet. Unsicherheiten bestehen in der vollständigen Kostenerfassung, die erst mit einer konkreten technischen Planung unter Vor-Ort-Bedingungen näher zu bestimmen sind.

Das Flugzeug i-2 hat einen Energiebedarf von 165 kW/h bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 150 kts. Das entspricht ohne Energieverluste einem Wasserstoffbedarf von ca. 4,8 kg/h. Die Kosten für den Energiebedarf liegen mit oben genannten Annahmen zu den Wasserstoffgestehungskosten bei ca. 20,16 €/h. Mit aktuellen Tankstellenpreisen von 7,98 € netto/kg würden sich Energiebedarfskosten von 38,30 €/h ergeben.

Ein vergleichbares zweimotoriges Reiseflugzeug Diamond DA42 hat für diese Geschwindigkeit ca. 60% Leistungsinanspruchnahme und einen Kraftstoffbedarf von ca. 30 l Kerosin/h[155], was

[155] Kraftstoffbedarf = 30,3 l/h bei 60% [Diamond DA42 MPP Twin Star (flugzeuglexikon.com)],
Energiebedarf: 30,3 l* 0,827 kg/m^3=25,06 kg*42,8 MJ/kg / 3,6 MJ/kWh= 298 kWh

einem Energiebedarf von ca. 298 kW/h entspricht. Die einzusparenden CO_2-Emissionen betragen in dem Beispiel ca. 76 kg/h. Die Kosten für den Energiebedarf einer entsprechenden Flugstunde mit der Diamond DA42 mit Kerosin entspricht aktuell ca. 54 EUR[156].

Fazit:

Nach den bisherigen Abschätzungen erscheint die Nutzung von Wasserstoff im Vergleich zu einem klassischen zweimotorigen Flugzeug in den Verbrauchskosten konkurrenzfähig. Weitere zu untersuchende Parameter der Gesamtkosten einer Flugstunde sind u.a. die Differenzen in den Herstellkosten für ein Flugzeug mit Wasserstoffantrieb sowie die Kosten der TBO (time between overhaul) für unterschiedliche Antriebsaggregate. Ein weiterer hemmender Faktor ist die zu schaffende zusätzliche Tankstruktur für zunächst wenig Nachfrage, bis eine signifikante Anzahl an Flugzeugen einen kontinuierlichen Bedarf an Wasserstoff aufweisen.

8.1.5 Verkaufspreise für Kraftstoffblends

Die vorliegende Studie enthält Simulationen für die zu erwartenden Kosten. Weitgehend verlässliche Erkenntnisse liegen aber heute nur bis zur Schnittstelle der Wasserstoffproduktion als Synthesegas für den Fischer Tropsch Reaktor vor. Die weiteren Kosten hängen von der individuellen, technischen Auslegung der Gesamtanlage ab.

Für die Zuführung des CO_2 gibt es zwischen dem energieintensivem und damit teurem Air Capture Verfahren bis hin zur kostenlosen Bereitstellung durch einen regionalen Emittenten verschiedene Varianten, die die Anlagekosten und den Energiebedarf erheblich beeinflussen.

Die Verarbeitung des aus dem Fischer Tropsch Reaktor gewonnenen Crude Oils zu Kerosin und Reststoffen kann durch einen nachgeschalteten Raffinerieprozess dezentral erfolgen, aber auch extern in einer Raffinerie. Die Erfahrungen mit den bisher installierten Demoanlagen zeigen, dass sich für die hier in Frage kommenden Kleinstmengen keine Raffinerie findet, die diese verarbeiten

---

[156] Ansätze: (30,3 l * 1,78 € [

Tabelle 15]

kann. Deshalb wurde z. B. bei der Demoanlage, die unter Mitwirkung von Ineratec am KIT in Karlsruhe errichtet wurde, der Raffinerieprozess mit integriert. Ähnliche Einschränkungen gelten für das Blending der Kraftstoffe.

Bereits weiter vorne wurde vorgeschlagen, dass mehrere benachbarte Flugplätze auf ihrem Gelände eine PV-Anlage aufbauen, individuell grünen Wasserstoff produzieren und dann gemeinsam eine zentrale Anlage zur Weiterverarbeitung bis zum fertigen Blend nutzen bzw. gemeinsam aufbauen.

Die Schnittstelle könnte aber auch hinter dem Fischer Tropsch Reaktor liegen, von dem das Crude Oil zur zentralen Weiterverarbeitung angeliefert wird. Denkbar wäre auch, nur das Blending dezentral durchzuführen.

Bei allen Überlegungen zu solchen Gemeinschaftsprojekten ist allerdings zu bedenken, dass die meisten Flugplätze nicht unabhängig sind, sondern den Treibstoff im Rahmen eines Agenturvertrages im Namen und auf Rechnung eines Mineralölkonzerns verkaufen. Der Flugplatz Schönhagen ist an die Fa. Total gebunden. Auch BP, Shell, Exon und die polnische Warter haben in Deutschland Flugplätze unter Vertrag. Die Agenturverträge verbieten es im Allgemeinen, andere Kraftstoffsorten anzubieten. Jeder Mineralölkonzern hat seine eigene Lieferkette mit qualitätssichernden Maßnahmen. Grundsätzliche Entscheidungen werden meist in den Konzernzentralen außerhalb Deutschlands getroffen.

In der Praxis dürfte es deshalb sehr schwer sein, mehrere Flugplätze mit ihren unterschiedlichen Partnern zu einem gemeinsamen Projekt zusammenzuführen, bei dem einzelne Schritte der PtL Produktion zentral organisiert werden. Am Flugplatz Schönhagen ist z.B. die Fa. Total vertreten, am Flugplatz Strausberg die Firma Air BP. Mit Total als Partner käme die Raffinerie in Leuna infrage, wo pro Jahr 12 Millionen Tonnen Crude Oil produziert werden, die u.a. zu Jet A 1 weiterverarbeitet werden.

Aktuelle Anlagengrößen

Fischer Tropsch Produkte können schon seit vielen Jahren aus Erdgas und Kohle hergestellt und auch als Turbinenkraftstoff genutzt werden. Erfahrungen liegen hier mit Produktionsanlagen

jenseits von 3.000 t pro Tag vor. Anlagen dieser Größenordnung sind allerdings für die PtL-Produktion aufgrund der großen Wasser- und Energiemengen, die hierfür benötigt werden, derzeit unrealistisch. Würde man mit Anlagen dieser Größenordnung PtL produzieren, werden 500.000 m^3 Wasser pro Stunde und ein Energieinput von 2,5 GW benötigt.

Mit dem KIT in Karlsruhe konnte Ineratec inzwischen im Rahmen des Projekts Power Fuel I eine voll funktionsfähige Pilotanlage aufbauen mit einem Syntheseproduktoutput von 200 bis 300 l / Tag. Auf der Grundlage dieser Erfahrungen liefert Ineratec derzeit mehrere 1 MW-Anlagen an Kunden aus. Derzeit plant Ineratec in Frankfurt Höchst die weltweit erste Produktionsanlage für paraffinischen Diesel in der Größenordnung von 10 MW. Das CO_2 soll aus Biogas angeliefert werden. Dies wäre eine Größenordnung, die auch an einem Verkehrslandeplatz, wie Schönhagen in Frage käme. Möglicherweise lassen sich aus dem Projekt Erfahrungswerte ziehen, die zu einer weiteren Standardisierung bei Planung und Kosten führen. Anlagen größer als 10 MW sind bisher nur in der Planung, soweit bekannt aber bisher immer nur ohne Weiterverarbeitung zu flüssigem Kraftstoff. Von daher wäre es naheliegend, sich bei einer dezentralen Anlage am Flugplatz Schönhagen, das Ziel zu setzen, eine Demoanlage < 10 MW in eine kommerzielle Nutzung zu überführen.

Das ursprünglich gesetzte Ziel, eine konkrete Investitionssumme zu benennen, konnte jedoch noch nicht erreicht werden. Da viele Komponenten bisher nur in geförderten Demonstrationsanlagen verfügbar sind, kann dies erst Gegenstand einer konkreten technischen Auslegung und Bauplanung mit Kostenrechnung sein. Für eine solche Planung müssen im Allgemeinen ca. 10 bis 15 % der Investitionssumme aufgewendet werden.

8.1.6 Einführungsstrategie Wasserstoff und Sektorenkopplung

Nach Kapitel 3.3.1 stellt die PV-Anlage je nach Größe des Elektrolyseurs eine Menge von 30 t bzw. 200 t Wasserstoff pro Jahr zur Verfügung. Hier ist eine weitere Optimierung notwendig, da die Kosten des Verfahrens wesentlich auch von den Betriebsstunden des Elektrolyseurs abhängig sind.

Neben der Nutzung im Luftverkehr ist der Wasserstoff prädestiniert zur Nutzung in anderen Bereichen /Sektoren.

Folgende Segmente sind zu prüfen:

1. Sektor Mobilität
    a. Flugverkehr
    b. Straßenverkehr
2. Sektor Wärme
    a. Einspeisung Gasnetz/Einspeisung BHKW
    b. Nutzung Abwärme im Fernwärmenetz

Das Segment Mobilität / Flugverkehr wurde unter Kapitel 8.1.4 betrachtet. Für eine Erzeugungsmenge von 30 t – 200 t Wasserstoff pro Jahr würde eine Nachfrage von 15 - 100 Flugzeugen der Größe wie APUS i-2 mit durchschnittlich 400 Flugstunden p.a. zur Auslastung notwendig sein. Das ist in einem etablierten System realistisch, bedingt aber einen langfristigen Hochlauf der H_2-Flugzeugflotten.

Alternativ und ergänzend bietet sich die Nutzung im Straßenverkehr an. Durch die direkte Lage in der Stadt Strausberg ist eine hybride Tankstelle für Luft- und Straßenverkehr denkbar. Alternativ sind auf kurzem Weg Wasserstoff-Transporte möglich. Mögliche Abnehmer sind direkt in Strausberg

- der Busverkehr unter Anwendung der Clean Vehicles Directive,
- die Regionalbahn NEB (in Analogie zur Heidekrautbahn),
- der Rettungsdienst des Landkreises MOL (ansässig in Strausberg Nord),
- Postdienste wie CBB, Pflegedienste und andere Vielfahrer.

Am Beispiel des Busverkehrs lassen sich umfangreiche Potentiale ableiten. So leistet z.B. die mobus GmbH im Landkreis MOL eine Fahrleistung von 5.106 Tsd. Nutzwagen-Kilometer[157], was bei einer Umstellungsquote von z.B. 20% einen Bedarf von ca. 102 t H_2 jährlich bedeuten würde[158]. Mit diesem Ersatz von 20% der Kilometer-Leistung durch Wasserstoffbusse würden pro Jahr ca. 1.009 t CO_2 vermieden werden. Nach Berechnungen der hier zitierten Forschungsstudie würde Kostenparität zwischen den Kraftstoffkosten Diesel und Wasserstoff bei ca. 5 €/kg erreicht werden (Stand 2019). Gemäß Kapitel 7.1.1 betragen die reinen Herstellungskosten ca. 4,20 €/kg. Die möglichen Transportkosten sind jedoch maßgeblich von der Transportmenge abhängig. Gemäß der bereits zitierten Studie[159] zu Transportkosten betragen diese zwischen 0,8 €/kg und 3,2 €/kg. Für die Größe der Anlagen mit einer Kapazität von 30 t p.a. bis 200 t p.a. sind die Transportkosten bis zu einer Entfernung von 200 km mit ca. 3,15 €/kg (100 kg Massenstrom/d) bis 1,94 €/kg (500 kg Massenstrom/d) ermittelt. Unterschiede in der Entfernung bis 200 km sind dabei kaum kostenrelevant. Um eine Parität herzustellen, wären neben zu erwartenden weiteren Steigerungen der CO_2- und Dieselkosten v. a. eine hinreichende Umstellungsmenge notwendig. Die o.g. Umstellungsquote von 20 % würde nur einen rechnerischen Bedarf von ca. 275 kg Massenstrom bedingen. Zu beachten sind zudem nach wie vor deutlich erhöhte Anschaffungskosten für Wasserstoffbusse, die einer weiteren Förderung bedürfen.

Im Sektor Wärme ist ein direkter Einsatz von Wasserstoff als alternativer Brennstoff für das BHKW der Stadtwerke oder eine Einspeisung in das Gasnetz derzeit noch nicht wirtschaftlich, da die Kosten von Wasserstoff unter den jetzigen Bedingungen noch nicht konkurrenzfähig sind. Die Kosten je kWh betragen bei den dargestellten Kosten ca. 12 ct/kWh zzgl. Transportkosten im Vergleich zu einem durchschnittlichen Erdgaspreis der vergangenen Jahre von unter 2 ct und trotz aktueller, temporärer Ausschläge auch im Gasmarkt auf 5-8 ct/kWh. Für diesen Prozess

---

157 Quelle: vbb-verbundbericht-2021.pdf

158 Vergleich Forschungsbericht BWPlus- Wasserstoffmobilität im ÖPNV der Stadt Offenburg und Umgebung https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10141... ·

159 https://www.hy-starter.de/wp-content/uploads/2021/10/HyStarter-Lausitz_Roadmap.pdf

erscheint es geboten, zum späteren Zeitpunkt Ausbaustufen vorzusehen, wenn durch Skaleneffekte die Systemkosten zur Wasserstofferzeugung weiter gesunken sind. Nach Berechnungen des Forschungszentrums Jülich ist z. B. ein Absenken der spezifischen Investitionskosten des Elektrolyseurs von 1.000-2.500 EUR/kWel auf 340-410 EUR/kWel bis zum Jahr 2030 erwartbar[160].

Nutzbringend ist zudem die Abwärme, die während des Elektrolyseprozesses entsteht. Ein typischer PEM-Elektrolyseur ermöglicht eine Wärmeauskopplung von 65 °C. Damit ist am Beispiel des Fernwärmenetzes von Strausberg eine Einspeisung in den Rücklauf des Fernwärmenetzes, die Anhebung der Temperatur über eine Wärmepumpe mit anschließender Nutzung im Vorlauf des Wärmenetzes oder eine dezentrale Niedertemperaturnutzung z. B. zur Versorgung ggf. auch einzelner Gebäude abseits des bisher erschlossenen Fernwärmenetzes möglich. Die optimale Anlagelösung ist aus den zu vertiefenden Parametern der technischen Auslegung zu entwickeln.

Fazit:

Die Einführung einer Wasserstofftankstelle ist für den Flugverkehr sinnvoll, jedoch bis zur Umstellung wesentlicher Flotten auf Wasserstoff nicht allein für den Luftverkehr realistisch. Parallel bietet sich die Nutzung im Straßenverkehr an und ist dort auch durch die Vorgaben der clean vehicles directive einfacher zu integrieren. Für die Nutzung im Wärmesektor sind die Systemkosten noch nicht wettbewerbsfähig, um eine Alternative zu fossilen Energieträgern darzustellen. Die Nutzung der Abwärme des Herstellprozesses ist dagegen auch durch das hohe Temperaturniveau in mehreren Varianten umsetzbar. Nach Erreichen von Skaleneffekten erscheint ein späterer Ausbau auch zur Nutzung im Wärmesektor als Alternative zu fossilen Energien denkbar.

8.1.7 Einführungsstrategie PtL

Bereits weiter oben wurde ausgeführt, dass die Herstellung von PtL um ein Vielfaches teurer ist als die Herstellung fossilen Kerosins. Vom technischen Ansatz her wäre es wünschenswert,

---

160 http://www.fze.uni-saarland.de/AKE_Archiv/AKE2019H/Vortraege/AKE2019H_2Blum_Elektrolyse_Blum_Mueller.pdf

möglichst schnell hohe Beimischungsquoten zu erreichen und sich über die derzeit zugelassenen 50 % Blends hinaus in Richtung 100 % zu PtL zu entwickeln.

Die Frage ist allerdings, ob und wie schnell sich hohe Beimischungsquoten am Markt durchsetzen lassen. Die allgemeine Luftfahrt hat zwar, wie oben erläutert, bessere Voraussetzungen als die Großluftfahrt, um trotz der hohen Herstellungskosten tragfähige Business Cases zu entwickeln und am Markt durchzusetzen. Werden die Ziele jedoch zu ehrgeizig gesetzt, werden solche Projekte schnell an der Akzeptanz der Kunden scheitern. Die für die Umwelt beste Lösung nutzt nichts, wenn sie aufgrund der hohen Kosten am Markt nicht durchsetzbar ist.

Deshalb wird angeregt, die Beimischungsquote nicht am technisch Machbaren auszurichten, sondern an dem Preis, der am Markt durchsetzbar ist. Diese „Startquote" kann dann parallel zum Marktgeschehen schrittweise erhöht werden. So ist damit zu rechnen, dass in den nächsten Jahren, nicht nur die Preise für fossile Kraftstoffe immer weiter steigen werden, sondern auch deren Besteuerung. Auf der anderen Seite werden die Kosten zur PtL Herstellung sinken und es ist mit Steuervergünstigungen für synthetische Kraftstoffe zu rechnen. Die Hebelwirkung steigender Kosten des fossilen Anteils auf den Preis des Blends beschleunigt diesen Effekt.

Die beste Mischung kann mit einem kleinen Algorithmus bestimmt werden, wie er in der nachfolgenden Tabelle angewandt wurde. Anhand der aktuellen Verkaufspreise am Flugplatz Schönhagen wurde ermittelt, wieviel ein Liter PtL bei verschiedenen Beimischungsverhältnissen zwischen 10 und 50 bzw. 100 % maximal kosten darf, wenn man den Endpreis des Gemischs zwischen 0 und 50 % gegenüber dem aktuellen Verkaufspreis für fossiles Jet A1 erhöht.

Es wurde in diesem Rechenbeispiel davon ausgegangen, dass fossiler Kraftstoff nach den aktuell geltenden Bestimmungen besteuert wird und synthetischer Kraftstoff zunächst unversteuert beigemischt werden kann.

Man sieht, dass in diesem Beispiel bei einer Preisanhebung von 10 % der Liter PtL 3,57 € kosten darf. Erhöht sich der Preis des Blends gegenüber dem rein fossilen Jet A1 um 20 % darf der Liter PtL schon 5,35 € kosten. Die Tabelle zeigt aber auch, dass höhere Beimischungsquoten als 10 % in der Einführungsphase eher unrealistisch sind, da sie sich kaum am Markt durchsetzen ließen.

Tabelle 15 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100%

PtL-Sollpreise pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100 %

Faktor PtL-Anteil:	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**...**	**1,0**
	Kostenanteile fossiler Jet A1 [€/l]							
Jet A1 fossil	1,12700	1,01430	0,90160	0,78890	0,67620	0,56350	...	0,00000
Energiesteuer	0,65450	0,58905	0,52360	0,45815	0,39270	0,32725	...	0,00000
Erdölbevorratung	0,00285	0,00257	0,00228	0,00200	0,00171	0,00143	...	0,00000
BGH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000
Summe	**1,78435**	**1,60592**	**1,42748**	**1,24905**	**1,07061**	**0,89218**	**...**	**0,00000**
Faktor Preiserhöhung	**Kostenanteil PtL-Jet A1 [€/l]**							
1,0	0,00	1,78	1,78	1,78	1,78	1,78	...	1,78
1,1	0,00	**3,57**	2,68	2,38	2,23	2,14	...	1,96
1,2	0,00	5,35	**3,57**	2,97	2,68	2,50	...	2,14
1,3	0,00	7,14	4,46	3,57	**3,12**	2,85	...	2,32
1,4	0,00	8,92	5,35	4,16	3,57	**3,21**	**...**	2,50
1,5	0,00	10,71	6,25	4,76	4,01	3,57	...	2,68
1,6	0,00	12,49	7,14	5,35	4,46	3,93	...	2,85
1,7	0,00	14,27	8,03	5,95	4,91	4,28	...	3,03
1,8	0,00	16,06	8,92	6,54	5,35	4,64	...	3,21
1,9	0,00	17,84	9,81	7,14	5,80	5,00	...	3,39
2,0	0,00	19,63	10,71	7,73	6,25	5,35	...	3,57

alle Preise in € ohne MwSt.

Grundlage ist die Preisliste des Flugplatzes Schönhagen vom 1-Januar 2022
Annahme: Fossiles JetA1 inkl. aller Abgaben, PtL abgabenfrei, alle Preise netto ohne VAT

Würde der Basispreis für fossiles Jet A1 um 50 ct steigen, kommt man schnell zu höheren Beimischungsquoten kommen, wie die nächste Tabelle zeigt.

Tabelle 16 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100% - unter Berücksichtigung eines Basispreisanstiegs von Jet A1 um 50 ct -

PtL-Sollpreise pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100 %

Faktor PtL-Anteil:	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**...**	**1,0**
	Kostenanteile fossiler Jet A1 [€/l]							
Jet A1 fossil	1,62700	1,46430	1,30160	1,13890	0,97620	0,81350	...	0,00000
Energiesteuer	0,65450	0,58905	0,52360	0,45815	0,39270	0,32725	...	0,00000
Erdölbevorratung	0,00285	0,00257	0,00228	0,00200	0,00171	0,00143	...	0,00000
BGH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000
Summe	**2,28435**	**2,05592**	**1,82748**	**1,59905**	**1,37061**	**1,14218**	**...**	**0,00000**
Faktor Preiserhöhung	**Kostenanteil PtL-Jet A1 [€/l]**							
1,0	0,00	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28	...	2,28
1,1	0,00	**4,57**	3,43	3,05	2,86	2,74	...	2,51
1,2	0,00	6,85	**4,57**	3,81	3,43	3,20	...	2,74
1,3	0,00	9,14	5,71	4,57	**4,00**	3,65	...	2,97
1,4	0,00	11,42	6,85	5,33	4,57	**4,11**	**...**	3,20
1,5	0,00	13,71	8,00	6,09	5,14	4,57	...	3,43
1,6	0,00	15,99	9,14	6,85	5,71	5,03	...	3,65
1,7	0,00	18,27	10,28	7,61	6,28	5,48	...	3,88
1,8	0,00	20,56	11,42	8,38	6,85	5,94	...	4,11
1,9	0,00	22,84	12,56	9,14	7,42	6,40	...	4,34
2,0	0,00	25,13	13,71	9,90	8,00	6,85	...	4,57

alle Preise in € ohne MWST.

Grundlage ist die Preisliste des Flugplatzes Schönhagen vom 1-Januar 2022
Annahme: Fossiles JetA1 inkl. aller Abgaben, PtL abgabenfrei, alle Preise ohne VAT

Die folgende Tabelle zeigt ein Beispiel, wenn energiesteuerbefreiter Kraftstoff für den gewerblichen Verkehr angeboten wird. Hier sinkt der am Markt realisierbare PtL-Preis erheblich. Die Zahlen zeigen, dass es schwer sein wird, ohne eine Besteuerung fossiler Kraftstoffe auch für den gewerblichen Bereich, die anfangs noch zu erwartenden hohen Preise zur Ptl-Herstellung am Markt durchzusetzen.

Tabelle 17 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100% unter Berücksichtigung einer Einführung energiesteuerbefreiter Kraftstoff für den gewerblichen Verkehr

PtL-Sollpreise pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100 %

Faktor PtL-Anteil:	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,5**	**...**	**1,0**
	Kostenanteile fossiler Jet A1 [€/l]							
Jet A1 fossil	1,12700	1,01430	0,90160	0,78890	0,67620	0,56350	...	0,00000
Energiesteuer	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000
Erdölbevorratung	0,00285	0,00257	0,00228	0,00200	0,00171	0,00143	...	0,00000
BGH	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	...	0,00000
Summe	**1,12985**	**1,01687**	**0,90388**	**0,79090**	**0,67791**	**0,56493**	**...**	**0,00000**
Faktor Preiserhöhung	**Kostenanteil PtL-Jet A1 [€/l]**							
1,0	0,00	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	...	1,13
1,1	0,00	**2,26**	1,69	1,51	1,41	1,36	...	1,24
1,2	0,00	3,39	**2,26**	1,88	1,69	1,58	...	1,36
1,3	0,00	4,52	2,82	2,26	**1,98**	1,81	...	1,47
1,4	0,00	5,65	3,39	2,64	2,26	**2,03**	**...**	1,58
1,5	0,00	6,78	3,95	3,01	2,54	2,26	...	1,69
1,6	0,00	7,91	4,52	3,39	2,82	2,49	...	1,81
1,7	0,00	9,04	5,08	3,77	3,11	2,71	...	1,92
1,8	0,00	10,17	5,65	4,14	3,39	2,94	...	2,03
1,9	0,00	11,30	6,21	4,52	3,67	3,16	...	2,15
2,0	0,00	12,43	6,78	4,90	3,95	3,39	...	2,26

alle Preise in € ohne MwSt.

Grundlage ist die Preisliste des Flugplatzes Schönhagen vom 1-Januar 2022
Annahme: Fossiles JetA1 inkl. aller Abgaben, PtL abgabenfrei, alle Preise ohne VAT

Emissionshandel/ CO_2-Abgabe

Eine CO_2 Abgabe wurde in dieser Kalkulation noch nicht berücksichtigt, da bisher nur wenige Bereiche der Allgemeinen Luftfahrt davon betroffen sind.

Am Flugplatz Schönhagen unterliegen nur wenige Betreiber größerer Flotten der Emissionshandelspflicht.

Fazit

Betrachtet man die aktuellen und künftigen Marktchancen für ein PtL-Blend erscheint der Start mit einer 1 MW Anlage, die später auf 10 MW erweitert wird, ein realistischer Ansatz. Die hohen Beimischungsquoten einer 10 MW Anlage ließen sich bei dem aktuellen Preisniveau und den steuerrechtlichen Rahmenbedingungen heute noch nicht durchsetzen, aber in einigen Jahren. Eine Anlage in der 1 MW-Klasse sollte dann 24 h produzieren, was die Zwischenspeicherung von tagsüber erzeugtem Strom und Wasserstoff verlangen würde.

8.2 Realisierungsbedingungen PtL und H_2

8.2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen und Genehmigungsvoraussetzungen

Die grundsätzlichen Voraussetzungen zur Genehmigung einer Anlage zur Wasserstoff- und PtL-Produktion wurde bereits weiter oben beschrieben.

Soll die Anlage innerhalb des Flugplatzes entstehen, kommen noch einige Besonderheiten hinzu.

Änderungsgenehmigungsverfahren der Flugplatzanlage

Der Flugplatz Schönhagen wird auf der Grundlage eines Planfeststellungsbeschlusses der Gemeinsamen Oberen Luftfahrtbehörde Berlin Brandenburg vom 09.09.2005 betrieben.

Der Aufbau einer Anlage zur Wasserstoffsynthese und PtL Produktion sowie der Betankung von Luftfahrzeugen mit entsprechenden Stoffen führt in Teilbereichen zu einer Änderung des bestandskräftig festgestellten Planes. Soll der festgestellte Plan geändert werden, bedarf es nach § 76 Abs. 1 VwVfG i.V. mit § 8 Abs. 1 LuftVG in der Regel eines neuen Planfeststellungsverfahrens.

Bei Planänderungen von unwesentlicher Bedeutung kann die Planfeststellungsbehörde von einem neuen Planfeststellungsverfahren absehen, wenn die Belange anderer nicht berührt werden oder wenn Betroffene der Änderung zugestimmt haben (§ 76 Abs. 2 VwVfG). Die Entscheidung steht damit im Wesentlichen einer Unterbleibens-Entscheidung im Sinne des § 8 Abs. 3 LuftVG gleich.

Nach Anzeige des Vorhabens und erster Prüfung macht die Behörde eine Unterlagenbestimmung. Anhand der einzureichenden Unterlagen hat die Planfeststellungsbehörde zu prüfen, ob

und inwieweit die beabsichtigte Änderung des Vorhabens bereits entschiedene Fragen der Planfeststellung erneut aufwirft oder gar grundsätzlich in Frage stellt. Die Entscheidung liegt im Ermessen der Planfeststellungsbehörde. Wesentlicher Bestandteil der Entscheidungsfindung wird im Allgemeinen eine Umweltvorprüfung sein. Gegebenenfalls kann die Behörde Träger Öffentlicher Belange und Betroffene an dem Verfahren beteiligen.

Die Flugplatzgesellschaft hat seit dem Planfeststellungsbeschluss bereits mehrere solcher Änderungsgenehmigungsverfahren geführt, da zum Zeitpunkt der Planfeststellung noch nicht alle später zu realisierenden Vorhaben bekannt sind. Bisher konnten alle Änderungsgenehmigungen ohne erneute Planfeststellung erteilt werden. Die Bearbeitungsdauer liegt je nach Art und Umfang der angeforderten Unterlagen bei mindestens fünf bis sechs Monaten, kann aber auch mehrere Jahre dauern. Ist mit einer kurzen Verfahrensdauer zu rechnen, können Bau- und weitere Genehmigungsanträge im Allgemeinen schon parallel eingereicht werden.

Sofern keine Planfeststellung erforderlich ist, was wir im vorliegenden Fall nach erster Einschätzung erwarten, liegen die Verfahrenskosten im unteren bis mittleren fünfstelligen Bereich und werden in erster Linie durch die Kosten für erforderliche Gutachten geprägt.

Die Wirkungen der Planfeststellung, die Vorschriften des Bauordnungsrechts und weiterer anwendbarer Rechtsnormen bleiben von dieser Entscheidung unberührt.

Änderungsgenehmigung nach § 6 Abs. 4 Satz 1 LuftVG

Ist die Planänderung genehmigt, bedarf es noch einer Änderung der Betriebsgenehmigung des Flugplatzes im Sinne des § 6 Abs. 4 Satz 1 LuftVG. Hierzu ist der LuBB binnen eines Monats nach Bestandskraft der Planänderungsgenehmigung ein entsprechender Antrag nebst aktualisierter Platzdarstellungskarte zur Prüfung und Genehmigung einzureichen.

Befreiung von den Landschaftsschutzgebiet Verboten

Das Flugplatzgelände sowie sein mittleres und weiteres Umfeld liegen im Landschaftsschutzgebiet (LSG) Nuthetal-Beelitzer Sander. Der Trebbiner Ortsteil Schönhagen und ein Teil der Grundstücksfläche im Norden des Flugplatzes sind vom LSG ausgenommen. Ferner ist der Flugplatz im planfestgestellten Umfang von den LSG-Verboten ausgenommen.

Nutzungsänderungen und bauliche Abweichungen vom planfestgestellten Plan bedürfen deshalb auch einer Befreiung von den LSG-Verboten. Dabei ist u.a. die Vereinbarkeit des Vorhabens mit dem Schutzzweck des LSG nachzuweisen.

Das Vorhaben wird bei der Unteren Naturschutzbehörde Teltow Fläming angezeigt, die im Rahmen einer Unterlagenbestimmung die weiteren Verfahrensschritte mitteilt. Je nach anwendbarer Rechtslage werden weitere Behörden, wie das Landesamt für Umweltamt, Gesundheit und Verbraucherschutz und das MIL beteiligt.

Ziel des Verfahrens ist eine Befreiung von den LSG-Verboten.

Änderungsgenehmigung des Bebauungsplans am Verkehrslandeplatz Strausberg

Für Teile des Verkehrslandeplatzes Strausberg und sein umgebendes Gewerbegebiet besteht ein festgestellter Bebauungsplan[161] aus dem Jahr 1996. Danach sind auf den in Frage kommenden Flächen allgemein zulässige Tankstellen nach §8 Abs. 2 Nr. 3 BauNVO unzulässig. Wird also eine Tankstelle sowohl für den Luftverkehr als auch für den Landverkehr beabsichtigt, sind hier die genehmigungsrechtlich notwendigen Verfahrensschritte zu vollziehen. Alternativ sind andere Standorte für die landseitige Wasserstofftankstelle zu suchen, parallele Tankstrukturen aufzubauen und der erzeugte Wasserstoff an diese Orte zu verbringen. Sinnvoll kann dies für eine mögliche H_2-Tankstelle auf dem Betriebshof des Busunternehmens sein.

Anpassung des SMS

Mit der Realisierung der PtL-Anlage ist eine Anpassung des Sicherheitsmanagementsystems notwendig. Durch Entwicklung unterschiedlicher Szenarien, die aufgrund der Anlagen auftreten würden, wird ein Sicherheitskonzept entwickelt. Berücksichtigt werden personelle Angelegenheiten wie notwendige Qualifikationen und Kompetenzen der Mitarbeitenden, Verfahrensweisen der Dokumentation und Intervalle von Instandhaltungen. An der Stelle wird auf den Abschnitt 5.8 verwiesen, in dem eine ausführliche Erläuterung des Inhalts vorliegt. Daraus ergeben sich

[161] https://www.stadt-strausberg.de/wp-content/uploads/2018/01/Bebauungsplan-Nr-6-92-Verkehrslandeplatz-Strausberg.pdf

eventuelle Anpassungen der Mitarbeiteranzahl oder/und Durchführung von Weiterbildungen. Dieses Sicherheitskonzept wird in das SMS des Flugplatzes eingepflegt.

8.2.2 Technische Rahmenbedingungen

Beschreibung der vorhandenen Tankanlage

Im asphaltierten Vorfeldbereich des Flugplatzes Schönhagen befindet sich eine Tankstelle mit einer 1.500 m² großen versiegelten Betonfläche zum Betanken von Luftfahrzeugen. Der gesamte Vorfeldbereich ist mit einem Ölabscheider ausgestattet. Die Kraftstoffsorten Jet A1, AVGAS 100 LL und AVGAS 91 UL sind in drei Erdtanks gelagert. Die Tanks für Jet A1 und AVGAS 100 LL haben eine Kapazität von jeweils 47.500 l, der Tank für AVGAS 91UL von 9.500 l. Dazu gehört jeweils eine Zapfsäule für jede Kraftstoffsorte, die in Selbstbedienung betrieben werden. Die Jet A1 Zapfsäule enthält Anschlüsse für eine Druckbetankung und eine Schwerkraftbetankung mittels Zapfpistole. Die AVGAS Säulen werden mit einer Zapfpistole genutzt. Die Jet A 1 Tankstelle wird mit einem Steuerlager betrieben, das virtuell in der EDV geführt wird, so dass versteuerter und unversteuerter Kraftstoff aus der gleichen Zapfsäule getankt werden kann. Erfüllt der LFZ-Betreiber die entsprechenden Voraussetzungen kann er energiesteuerbefreit und/oder umsatzsteuerbefreit tanken. Die Befreiung von der Energiesteuer wird durch einen Zollerlaubnisschein nachgewiesen, der vor der Betankung am Counter des Customer Service vorzulegen ist und in der EDV erfasst wird. Die Umsatzsteuerbefreiung gilt für Fluggesellschaften, die in einer entsprechenden Liste des Bundesministeriums für Finanzen erfasst sind. Steuerrechtlich kauft der Tankstellenbetreiber den Kraftstoff steuerfrei ein, wird als Steuereintreiber für den versteuerten Kraftstoff tätig und haftet für die gewährten Steuerbefreiungen. Dazu wird er regelmäßig vom Hauptzollamt auditiert. Die Zapfsäulen sind im Normalzustand gesperrt und werden für jeden Kunden erst nach Eingabe des Kennzeichens und softwareseitige Prüfung der Steuermerkmale freigeschaltet. Rechnungskunden haben im Allgemeinen einen Chip, mit dem sie die Tankstelle selbst freischalten. Sind die steuerrechtlichen Befreiungsmerkmale nicht bestätigt, kann nicht getankt werden. Zuordnung zum Steuerlager, Rechnungsstellung und Buchung erfolgen dann über die Betriebssoftware vollautomatisch.

Die Flugplatzgesellschaft Schönhagen betreibt die Tankstelle als Agentur im Namen und auf Rechnung der Total Deutschland. Die Tankstellenanlage ist im Besitz der Fa. Total. Die Fa. Total erledigt die steuerlichen Abrechnungen und führt vereinnahmte Steuern an das Finanzamt ab. Die Flugplatzgesellschaft muss den Aufzeichnungs- und Meldepflichten nachkommen und dafür unter seinen Mitarbeitern einen Steuerbeauftragten für den Kraftstoffverkauf benennen.

Der Betrieb der Tankstelle erfolgt auf der Grundlage von Verfahrensanweisungen und Sicherheitsdatenblättern, die von Total gestellt werden.

Der Verkauf von Kraftstoffen anderer Anbieter ist vertraglich ausgeschlossen. Die Betankung aus mitgebrachten Kanistern ist durch die Flugplatzbenutzungsordnung untersagt. U.a. soll dadurch bei Flugunfällen eine lückenlose Nachweiskette gewährleistet werden. Verunglückt ein in Schönhagen betanktes Luftfahrzeug auf dem Weg zu seinem Zielflugplatz oder muss es infolge eines Triebwerksausfalls eine Sicherheits- bzw. Notlandung machen, wird die Tankstelle sofort gesperrt und erst wieder von Total frei gegeben, nachdem eine Laborprobe die einwandfreie Kraftstoffqualität bestätigt hat.

Die Kraftstoffqualität wird bei jeder Anlieferung und vor der täglichen Inbetriebnahme durch Flugplatzmitarbeiter überprüft. Liegt z.B. die Dichte des angelieferten Kraftstoffs außerhalb der Sollwerte, muss die Annahme verweigert werden bzw. darf die Tankstelle nicht in Betrieb gehen. Um Verunreinigungen oder einen zu hohen Wasseranteil des Kraftstoffs zu verhindern sind verschiedene Sichereinrichtungen vorhanden:

1) Die Kraftstofflieferkette ist lückenlos dokumentiert und durch verschiedene Kraftstoffproben unterlegt.

2) Die Lagertechnik in der unterirdischen Tankanlage führt zu sehr geringen Temperaturschwankungen und erschwert damit die Bildung von Kondenswasser. Oberirdische Tanks neigen durch hohe Temperaturschwankungen leichter zur Kondenswasserbildung. Oberirdische Tankanlagen werden deshalb meist genutzt, wenn der gesamte Tankinhalt mindestens einmal im Monat vollständig umgesetzt werden kann.

3) Die Kraftstoffentnahme aus dem Erdtank erfolgt über eine schwimmende Absaugtechnik

an der Oberfläche. Dadurch kann ausgeschlossen werden, dass Wasser oder Verunreinigungen entnommen werden, falls sich diese einmal im Tanksumpf gebildet haben sollten.

4) Weitere Sicherheit gewährleistet eine Filter- und Abscheidetechnik an der Entnahmestelle.

5) Da der Kraftstoff am Flugplatz Schönhagen im Namen und auf Rechnung von Total verkauft wird, unterliegt die Tankstelle verschiedenen, qualitätssichernden Maßnahmen. Dazu gehört neben der regelmäßigen Wartung eine tägliche Überprüfung vor der morgendlichen Inbetriebnahme, einschließlich der Entnahme von Kraftstoffproben und Prüfung des Wassergehaltes.

Auf einigen Flugplätzen wird auch MOGAS verkauft. Mogas entspricht dem Superbenzin an der Autotankstelle und kann ethanolhaltige Biokraftstoffe enthalten. Diese Kraftstoffe sind anfällig für eine erhöhte Wasseraufnahme, die bei langen Standzeiten eine Innenkorrosion an den Triebwerken fördert. Total hat schon vor einigen Jahren auf seinen Agenturplätzen den Verkauf von MOGAS eingestellt und verkauft stattdessen die Ethanol freie Kraftstoffsorte AVGAS UL 91.

Schlussfolgerung für den Aufbau einer PtL-Betankung

- Solange PtL-Blends nicht als vollständiger Ersatz für die Jet A1 Entnahme angeboten werden, wäre eine vierte Zapfsäule mit separater Tankanlage aufzubauen, die den o.g. Qualitätssicherungsanforderungen genügt.
- Alternativ könnten PtL-Blends auch über einen Vorfeldtankwagen bereitgestellt werden, der direkt aus der Blendinganlage befüllt wird.
- Auf Flugplätzen, die ihre Tankstelle über einen Agenturvertrag betreiben, wäre die Mineralölfirma als Vertragspartner in die Herstellung von PtL-Blends mit einzubeziehen. Deren Qualitätssicherungsanforderungen wären auch für den Verkauf der PtL-Blends einzuhalten. Flugplätze, die ohne Agenturvertrag betrieben werden, wären in der Gestaltung freier.
- Auf benachbarten Flugplätzen sind oft unterschiedliche Agenturpartner tätig. Diese Situation würde eine gemeinsame Produktion, zu der sich mehrere Flugplätze zusammenschließen, deutlich erschweren.
- Soll PtL bzw. ein PtL-Blend in einem eigenen, separaten Tank gelagert werden, wäre ein Erdtank vorzuziehen. Um den kostenintensiven Aufbau einer zweiten Betankungsfläche

einzusparen, wäre entweder der Einsatz eines Vorfeldtankwagens oder einer weiteren Zapfsäule im Bereich der vorhandenen Tankstelle denkbar.

Wasserstoff

Zur Nutzung und Entnahme von Wasserstoff auf dem Flugplatzgelände hat sich Frau Henrike Fabienke in Ihrer Masterarbeit „Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt - Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen" Gedanken gemacht. Hinsichtlich der anzuwendenden Sicherheitskonzepte wird auf diese Arbeit verwiesen.

Zum Aufbau einer Wasserstofftankstelle wurde in der Arbeit von Frau Fabienke eine derzeit als Standlauffläche von den Instandhaltungsbetrieben genutzte Fläche untersucht. Die Fläche ist versiegelt, liegt in einem Abstand von 200 m zur bestehenden Tankstelle für Jet A1/AVGAS. Da sie unmittelbar am Flugplatzzaun liegt, wäre mit entsprechenden baulichen Maßnahmen sowohl eine landseitige- als auch eine luftseitige Nutzung denkbar. Eine landseitige Betankungsmöglichkeit für Kraftfahrzeuge war ein Wunsch der Stadt Trebbin.

Für den Standort Strausberg ist die Anbindung des Luftverkehrs ebenso wie auch die des Landverkehrs gewünscht. Mit einer parallel zum Flugplatzzaun verlaufenden Straßenlänge von ca. 650 m sind unter Sicherheitsaspekten mehrere Standorte möglich. Angestrebt wird die Errichtung in der Nähe der bisherigen Tankstelle in unmittelbarer Anbindung zur öffentlichen Straße. Entlang dieser Straße verläuft auch die Fernwärmeleitung, die eine Abwärmenutzung ermöglichen kann.

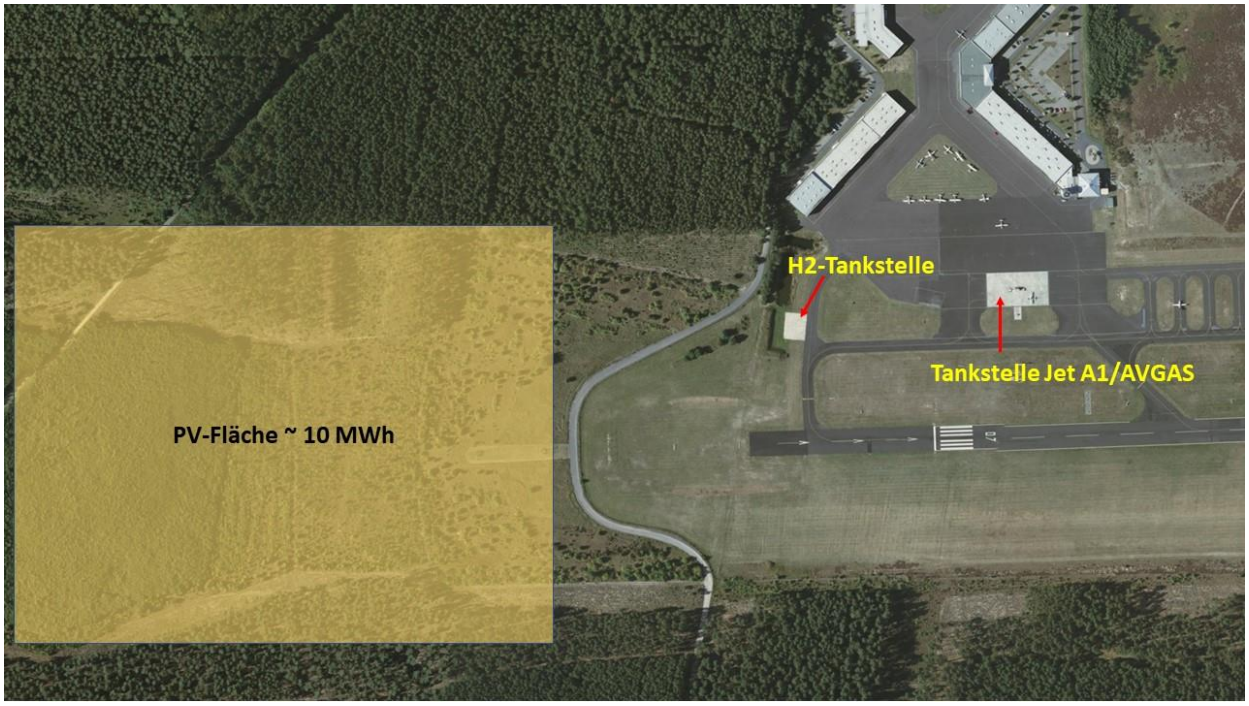


Abbildung 22 – Position der Tankstellen JetA1/AVGAS und Wasserstoff als auch mögliche PV-Fläche am Flugplatz Schönhagen; Selbstdarstellung Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH

PV-Anlage

Für eine 10 MWh PV-Anlage wurde im Oktober 2021 der Aufstellungsplan durch das Stadtparlament Trebbin genehmigt. Diese Fläche ist notwendig zur erneuerbaren Energiegewinnung, um die PtL-Anlage gemäß der Simulation betreiben zu können.

Medienanschlüsse

Am westlichen Rand des Flugplatzgelände, also nahe der geplanten Anlage befindet sich eine Mittelspannungs-Trafostation. Alle Gebäude auf dem Flugplatz sind an die öffentliche Erdgasversorgung angeschlossen. Wasser steht derzeit durch das öffentliche Trinkwassernetz und drei Löschteichanlagen zur Verfügung. Ein Löschteich liegt unmittelbar neben der geplanten Fläche zur Wasserstoff- bzw. PtL-Erzeugung. Ein Anschluss an das öffentliche Abwassernetz besteht nicht. Die Entsorgung von Schmutzwasser erfolgt über eine eigene Biokläranlage auf dem Flugplatzgelände. Das geklärte Wasser wird in den öffentlichen Nuthegraben abgeleitet.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 – Strausberg – mögliche Wasserstofftankstelle mit öffentlichem Straßenanschluss ---------- 10

Abbildung 2 – Strausberg – möglicher Standort PV-Anlage ---------- 11

Abbildung 3 – Auswahl Freiflächen im Flugplatzumfeld ---------- 12

Abbildung 4 – Geplante PV-Anlage mit 10MWp ---------- 12

Abbildung 5 – Schematische Darstellung einer PtX-Anlage mit Fischer-Tropsch-Synthese ---------- 13

Abbildung 6 – Modell des Energiesystem zur Wasserstoffproduktion ---------- 18

Abbildung 7 – Leistungskurve der modellierten Freiflächen-PV-Anlage am Flugplatz Strausberg ---------- 19

Abbildung 8 – Leistungskurve der PV-Anlage für die ersten Stunden des Jahres ---------- 20

Abbildung 9 – Baurechtliche Zulässigkeit (Quelle: Portal Green 2020) ---------- 46

Abbildung 10 – Obstacle Limitation Surfaces (Quelle: EASA CS-ADR-DSN Issue 5 Abbildung H2) ---------- 72

Abbildung 11 – Ablaufdiagramm bei einem kritischen Ereignis im Zusammenhang mit Wasserstoff ---------- 76

Abbildung 12 – Verbotszeichen P003 und Warnzeichen D-W021 ---------- 79

Abbildung 14 – Projektion der CO_2-Emissionen der Luftfahrt (Quelle: McKinsey 2020) ---------- 85

Abbildung 15 – Klimarelevante Luftverkehrsemissionen in der Übersicht (Quelle: DLR, BDLI 2020) ---------- 87

Abbildung 16 – CO_2-Emissionen der deutschen Flughäfen (Flughafenverband ADV) ---------- 93

Abbildung 17 – Vergleich der Klimaauswirkungen des H_2-Antriebs und der synthetischen Kraftstoffe (Quelle: McKinsey 2020) ---------- 107

Abbildung 18 – Funktionsweise des Klimaschutzinstruments CORSIA (Quelle: BDL 2019) ---------- 109

Abbildung 19 – Wasserstoffgestehungskosten bei Direktbezug des PV-Stroms an den Flughäfen ---------- 123

Abbildung 20 – Sensitivitätsanalyse der betrachteten Einflussfaktoren auf die Wasserstoffgestehungskosten. ---------- 124

Abbildung 21 – Kostenbestandteile PtL-Kosten mit dem Pfad Elektrolyse und CO_2-Punktquelle nach Studie ---------- 125

Abbildung 22 – Übersicht: Staatlich veranlasste Strompreisbestandteile – durchschnittlicher Strompreis 2019 für Haushaltkunden ---------- 128

Abbildung 23 – Position der Tankstellen JetA1/AVGAS und Wasserstoff als auch mögliche PV-Fläche am Flugplatz Schönhagen; Selbstdarstellung Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH ---------- 169

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Komponentenkosten der Energiesysteme zur Wasserstoffproduktion ---------- 21

Tabelle 3 – Anlagenkennwerte für beispielhafte PtL-Anlagen ---------- 24

Tabelle 4 – ASTM D7566 Table A1.1 Detailed Batch Requirements; Fischer-Tropsch Hydroprocessed SPK ---------- 31

Tabelle 5 – ASTM D7566 Table A1.2 Other Detailed Requirements; Fischer-Tropsch Hydroprocessed SPK ---------- 32

Tabelle 6 – ASTM D7566 Table 1 Detailed Requirements of Aviation Turbine Fuels Containing Synthesized Hydrocarbons – Part 1: Basic Requirements ---------- 33

Tabelle 7 – ASTM D7566 Table 1 Detailed Requirements of Aviation Turbine Fuels Containing Synthesized Hydrocarbons – Part 2: Extended Requirements ---------- 35

Tabelle 8 – Einordnung von Elektrolyseuren in der 4. BImSchV ---------- 48

Tabelle 9 – Einordnung von Elektrolyseuren zur Herstellung von Wasserstoff nach Anlage 1 des UVPG ---------- 50

Tabelle 10 – CO_2 Ausstoß Flugplatz Schönhagen Platzrunden und Streckenflüge im Jahr 2021 ---------- 89

Tabelle 11 – Jährlicher CO_2-Anteil der Arbeitsfahrzeuge in Abhängigkeit ihrer Betriebsstunden ---------- 95

Tabelle 12 – Jährlicher CO_2-Anteil der einzelnen Mietwagen in Abhängigkeit ihrer durchschnittlichen Vermietung ---------- 96

Tabelle 13 – jährlicher CO_2-Anteil Carsharing Option in Abhängigkeit ihrer durchschnittlichen Vermietung ---------- 97

Tabelle 14 – Gesamtenergieverbrauch Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH 2019, Quelle: Energieaudit 2019 ---------- 98

Tabelle 16 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100% ---------- 159

Tabelle 17 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100% - unter Berücksichtigung eines Basispreisanstiegs von Jet A1 um 50 ct ---------- 160

Tabelle 18 – PtL-Sollpreis pro Liter in Abhängigkeit verschiedener Beimischungsquoten und Steigerungen des Kraftstoffendpreises zwischen 0 und 100% unter Berücksichtigung einer Einführung energiesteuerbefreiter Kraftstoff für den gewerblichen Verkehr ---------- 161

Literaturverzeichnis

AGBF-Bund (2008), Wasserstoff und dessen Gefahren – Ein Leitfaden für Feuerwehren

aireg (2020), Aviation Initiatve for Renewable Energy in Germany e. V, Roadmap zur Markteinführung von Sustainable Aviation Fuels

Arndt et al. (2021), Abschlussbericht: Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für PtL-Kraftstoffe

Ausfelder, F., Dura, H., Bauer, F. et. al. (10. August 2021), 3. Roadmap des Kopernikus-Projektes P2X Phase II – Optionen für ein nachhaltiges Energiesystem mit Power-to-X-Technologien

BDL Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (2019), Klimaschutz im Luftverkehr, Analyse der Instrumente zur CO2-Reduktion

BDL Bundesverband der deutschen Luftverkehrswirtschaft e. V. (2020), Klimaschutzreport

BMU at al. (2021), PtL-Roadmap der Luftfahrt, Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe für den Luftverkehr in Deutschland

Bopst, J., Herbener, R., Hölzer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J., UBA (2019), Umweltschonender Luftverkehr, lokal-national-international

Bullerdiek, et al. (2019), Einsatz von Multiblend JET A-1 in der Praxis, Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem Modellvorhaben der Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) (17.09.2020), WASSERSTOFF Unser Beitrag zur Sicherheit

Bundesnetzagentur (Juli 2016), Leitfaden zur Eigenversorgung

Cames, M., Graichen, P., Kasten, P., Mottschall, M., Faber, J., Nelissen, D., Scheelhaase, J., Grimme, W. & Maertens, S. (2019), Klimaschutz im Luft- und Seeverkehr: Strategiepapier Luftfahrt. Im Auftrag des Umweltbundesamtes

CENA Hessen, Kompetenzzentrum Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr (2021), Betrachtung und Ausblick der Technologien zur Herstellung von „Power to Liquid" (PtL)

COM (2021) 552, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG in Bezug auf den Beitrag der Luftfahrt zum gesamtwirtschaftlichen Emissionsreduktionsziel der Union und die angemessene Umsetzung eines globalen marktbasierten Mechanismus

COM (2021) 557, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Änderung der Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates, der Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Richtlinie 98/70/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Aufhebung der Richtlinie (EU) 2015/652 des Rates

COM (2021) 561, EU-Kommission, Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates zur Gewährleistung gleicher Wettbewerbsbedingungen für einen nachhaltigen Luftverkehr

COM (2021) 563, EU-Kommission, Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Restrukturierung der Rahmenvorschriften der Union zur Besteuerung von Energieerzeugnissen und elektrischem Strom

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DRL), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik (LBST), Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE), KBB Underground Technologies (05.02.2015), Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck; gefördert durch Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Stuttgart

DGMK-Forschungsbericht 815 (2021), Herstellung treibhausgasreduzierter bzw. treibhausgasneutraler gasförmiger und flüssiger Energieträger und Brennstoffe", DGMK e.V., Hamburg

DLR, BDLI (2020), Zero Emission Aviation – emissionsfreie Luftfahrt, White Paper der deutschen Luftfahrtforschung

DLR, TUHH, JBV (2021), Abschussbericht Konzeptionelle und technische Ausgestaltung einer Entwicklungsplattform für Power-to-Liquid-Kraftstoffe

Europäische Kommission: Frequently Asked Questions (FAQ) - Industrial Emissions Directive (IED) 2010/75/EU

Fabienke, H. (09.03.2021), Nachhaltigkeit in der zivilen Luftfahrt – Entwicklung eines Sicherheitskonzeptes für die Nutzung von Wasserstoff auf Flugplätzen am Beispiel des Flugplatzes Schönhagen

Forschungsnetzwerk Wasserstoff, Hrsg.: Projektträger Jülich (August 2021), Expertenempfehlung Forschungsnetzwerk Wasserstoff

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (2021), Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland in 2021.

Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) (2021), Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien

Fraunhofer IOA & HYPOS (2020), Prospektives Akzeptanzmanagement bei H2-Projekten

Fricke, Barbara, DVGW et al. (2020), Genehmigungsrechtlicher Leitfaden für Power-to-Gas-Anlagen

GP Joule GmbH (2017), Machbarkeitsstudie zum Verbundvorhaben „Akzeptanz durch Wertschöpfung – Wasserstoff als Bindeglied zwischen der Erzeugung erneuerbarer Energien und der Nutzung im Verkehrs-, Industrie- und Wärmesektor"

Graver, Zhang, Rutherford (2019), CO2 emissions from commercial aviation, 2018. Retrieved from https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_CO2-commercl-aviation-2018_20190918.pdf

Häußermann, Johann Jakob, Fraunhofer IAO (10.08.2020), Grüner Wasserstoff: Wie steht es um die Akzeptanz in Deutschland?

Jürgens, S. et al. (2021), Assessment of combustion properties of non-hydroprocessed Fischer-Tropsch fuels for aviation

Lee, David S., Fahey, David W., Forster, Piers M., Newton, Peter J. (2008), Aviation and global climate change in the 21century

Lee, David S. (2018), The role of aviation in a post-Paris Agreement Climate World

Lietz (2017), Rechtlicher Rahmen für die Power-to-Gas-Stromspeicherung

McKinsey & Company, ICAO (2020), Hydrogen-powered aviation A fact-based study of hydrogen technology, economics, and climate impact by 2050

NDR (2021), Emsland: Anlage in Werlte produziert CO2-neutrales Kerosin

Öko-Institut e. V. (2021), Möglichkeiten zur Regulierung der Klimawirkungen des Luftverkehrs

Schäfer-Stradowsky/Boldt (2015): Power-to-Gas – gesetzlich konturierte Verwertungspfade für den Weg in die energiepolitische Gegenwart, ZUR

Schäfer-Stradowsky/Kalis (2019), Die bunte Welt des Wasserstoffs, in: EW – Magazin für die Energiewirtschaft, Heft 9

Stiftung Umweltenergierecht (2018), Rechtliche Bewertung von Power Purchase Agreements (PPAs) mit erneuerbaren Energien

Taubitz, A., Hildebrand, J. (2019), Akzeptanz neuer Energiewende-Technologien – Beispiel Power-to-X, aus „Energiewirtschaftliche Tagesfragen", Heft 11

Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (2009), Luftverkehrsrechtliche Voraussetzungen des Betriebs von Verkehrslandeplätzen

Abkürzungen

APU ..... Auxiliary Power Unit
ASTM ..... American Society for Testing and Materials
AVGAS ..... Aviation Gasoline
BauGB ..... Baugesetzbuch
BauNVO ..... Baunutzungsverordnung
BBAA ..... Berlin-Brandenburg Aerospace Allianz e. V.
BbgBO ..... Brandenburgische Bauordnung
BER ..... Flughafen Berlin-Brandenburg
BfR ..... Bundesinstitut für Risikobewertung
BNetzA ..... Bundesnetzagentur
CAPEX ..... Capital Expenses
CCS ..... Carbon Capture and Storage, Speicherung von Co_2
CCU ..... Carbon Capture and Usage, Co_2 Direktnutzung
CEPS ..... Central European Pipeline System
CH_4 ..... Methan
CLP- ..... Classification, Labelling and Packaging
CO_2 ..... Kohlenstoffdioxid
CORSIA ..... Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation
DAC ..... Direct Air Capture
DLR ..... Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DWD ..... Deutscher Wetterdienst
EASA ..... Europäische Behörde für Sicherheit in der Luftfahrt
EASC ..... European Aviation Security Center e. V.
EDAY ..... Kennung des Flugplatzes Strausberg, Brandenburg
EDAZ ..... Kennung des Flugplatzes Schönhagen, Brandenburg
EEG ..... Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEV ..... Erneuerbare Energien Verordnung
EKF ..... Energie- und Klimafond
EnergieStG ..... Energiesteuergesetz

EnWG ..... Energiewirtschaftsgesetz
EU-ETS ..... EU-Emissionshandelsgesetz
F&E ..... Forschung und Entwicklung
FT-SPK ..... Fischer-Tropsch Syncrude Produkt, Zwischenprodukt
GoO ..... Guarantee of Origin
H_2 ..... Wasserstoff, flüssig oder gasförmig
ICAO ..... International Civil Aviation Organization
ITEAL ..... Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr
JFTOT ..... Jet Fuel Thermal Oxidation Test
KWKG ..... Kraftwärmekopplung
LCOE ..... Levelized Cost of Electricity oder Energy
LH2 ..... Flüssiger Wasserstoff
LTO Zyklus ..... Landing and Takeoff Zyklus
LuftVG ..... Luftverkehrsgesetz
LuftVZO ..... Luftverkehrszulassungsordnung
OPEX ..... Operational Expenditures
PPA ..... Power Purchase Agreement
PtL ..... Power-To-Liquid
PtX ..... Power-to-X
PV ..... Photovoltaik
RED ..... Renewable-Energy-Directive
RLI ..... Reiner Lemoine Institut
ROG ..... Raumordnungsgesetz
ROV ..... Raumordnungsverfahren
RWGS ..... Reverse Water Gas Shift
SAF ..... Sustainable Aviation Fuels
THG ..... Treibhausgas
TRBS ..... Technische Regeln für die Betriebssicherheit
UVP ..... Umweltverträglichkeitsprüfung
UVPG ..... Umweltverträglichkeitsprüfung

Glossar

Auxiliary Power Unit	Hilfstriebwerk zur Stromerzeugung an Bord eines Flugzeuges
AVGAS	Luftfahrtkraftstoff für Kolbentriebwerke
BBAA e. V.	Luftfahrtcluster der Region Berlin-Brandenburg
Blending	Mischung von z.B. synthetischem und fossilem Kraftstoff
CAPEX	Investitionsausgaben oder aktivierungsfähige Investitionskosten
Central European Pipeline System	Mitteleuropäisches Rohrsystem zur Verteilung von Treibstoffen
CLP-Verordnung	Verordnung zur Kennzeichnung von gefährlichen Stoffen
Kohlenstoffdioxid	oft als äquivalente Einheit für Klimawirkung verwendet
Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation	Klimaziele für die internationale Luftfahrt
Elektrolyse	Elektrochemische Wasserstofferzeugung
Fischer-Tropsch Reaktor	Synthesereaktor, Zwischenschritt zur Kraftstoffherstellung
Guarantee of Origin	Herkunftsnachweis
Hydrocracking	Aufbrechen der Kohlenwasserstoffketten
ITEAL	vorliegende Studie zur Umsetzung regenerativer Treibstoffe für die Luftfahrt
Jet A-1	Fossiler Luftfahrtkraftstoff, Kerosin
Jet Fuel Thermal Oxidation Test	zur Bestimmung der Thermische Stabilität von Luftfahrtkraftstoffen
Levelized Cost of Electricity oder Energy	Stromgestehungskosten
OPEX	Betriebsausgaben
Power Purchase Agreement	langfristiger Stromlieferungsvertrag z. B. zur Versorgung von Elektrolyseuren
Power-To-Liquid	synthetisch hergestellte Kraftstoffe als Energieträger

Power-to-X	Umwandlung von Energie in gasförmige oder flüssige Energieträger, PtL ist eine Untergruppe
Photovoltaik	Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie durch Solarzellen
Renewable-Energy-Directive	EU-Richtlinie zur Förderung erneuerbarer Energien
Reverse Water Gas Shift – Reaktor	Anlage zur Herstellung des Synthesegases als Zwischenschritt zum synthetischen Kraftstoff
Sustainable Aviation Fuels	synthetische Luftfahrtkraftstoffe
Syn-Crude	Synthetisches Rohöl

Anhang A – Umfrage zum Thema Kundenakzeptanz

Anhang: Umfrage

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

Sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank, dass Sie an der Umfrage des EASC e.V. im Rahmen der ITEAL-Konzeptstudie (Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr) teilnehmen. Die Umfragedauer beträgt ca. 5-7 Minuten.

Im Rahmen der ITEAL Konzeptstudie werden die technischen, wirtschaftlichen, regulatorischen und politischen Randbedingungen einer dezentralen CO2-mindernden Kraftstofferzeugung untersucht. Das Konzept beschreibt eine Anlage, die Power-to-Liquid-Kraftstoffe und Blends klimaneutral erzeugen und zu einem akzeptablen Preis vorantreiben kann.

Im Rahmen des Arbeitspaketes 5 „Wirtschaftlichkeit und Kundenakzeptanz" soll eine Umfrage erste Überblicke über die Akzeptanz des Vorhabens, der dezentralen Produktion von alternativen Kraftstoffen auf Flugplätzen und der Preisentwicklung liefern.

Bei Rückfragen, Feedback oder Anmerkungen zur Umfrage wenden Sie sich gerne an Frau Henrike Fabienke, Vorstandvorsitzende des EASC e.V.

(fabienke@easc-ev.org)

1 Geschlecht

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

◯ Weiblich ◯ Männlich ◯ Divers

2 Alter

[ ]

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

3 In welchem Bezug stehen Sie zur Luftfahrt?

Fragesupport: *Wählen Sie eine oder mehr Antworten*

- ☐ Kein Bezug zur Luftfahrt
- ☐ Privatpilot:in
- ☐ Berufspilot:in
- ☐ Verkehrspilot:in
- ☐ Airline
- ☐ Flugplatzbetreiber:in
- ☐ Dienstleister:in
- ☐ Flugschule
- ☐ Entwicklung-/Herstellungsbetrieb
- ☐ Ingenieur-/Planungsbüro
- ☐ Wartung & Instandhaltung
- ☐ Forschung
- ☐ Sonstiges [ ]

4 Besitzen Sie ein eigenes Luftfahrzeug?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein ○ Keine Angabe

5 Ist Ihnen das Vorhaben ITEAL (Innovative Treibstoffe für emissionsarmen Luftverkehr) bekannt?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein

6 Wenn ja, woher kennen Sie ITEAL?

Fragesupport: *Wenn Sie ITEAL nicht kenne, tragen Sie bitte "-" ein.*

[ ]

7 Ist Ihnen der Begriff „Power-to-Liquid (PtL)" bekannt?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

8 Wenn ja, was verstehen Sie unter dem Begriff „PtL"?

Fragesupport: *Bei Nein fügen Sie bitte "-" ein.*

9 Kennen Sie den Begriff „Grüner Wasserstoff"?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein

10 Wenn ja, was verstehen Sie unter dem Begriff „Grüner Wasserstoff"?

Fragesupport: *Bei Nein fügen Sie bitte "-" ein.*

Power-to-Liquid bezeichnet den Prozess der Umwandlung von regenerativ erzeugter elektrischer Energie in flüssige Kraftstoffe. Aus erneuerbarem Strom und Wasser wird zunächst Wasserstoff produziert, der im anschließenden Syntheseprozess mit z.B. aus der Umgebungsluft gewonnenem Kohlenmonoxid zu PtL-Crude synthetisiert wird. Mit entsprechenden Raffinerie-Prozessen wird das PtL-Crude dann zum gewünschten Endprodukt (z.B. Kerosin/JetA1) aufbereitet. Mittlerweile gibt es Systemlösungen, die eine dezentrale Kraftstoffsynthese mit der anschließender Aufbereitug vereinen.

PtL-Kraftstoff kommt in der Luftfahrt vor allem als nachhaltigere Kraftstoffalternative für Luftfahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zum Einsatz. Aufgrund der langen Lebenszyklen von Luftfahrzeugen werden konventionelle Antriebssysteme (Verbrenner) auch in den nächsten Jahrzehnten noch in Betrieb sein, bis sie endgültig von Alternativen wie voll- und hybridelektrischen Luftfahrzeugen (Batteriesysteme, Brennstoffzellen, etc.) abgelöst werden.

Im Rahmen der ITEAL Konzeptstudie werden die technischen, wirtschaftlichen, regulatorischen und politischen Randbedingungen einer dezentralen CO2-mindernden Kraftstofferzeugung untersucht. Das Konzept beschreibt eine Anlage, die Power-to-Liquid-Kraftstoffe und Blends klimaneutral erzeugen und zu einem akzeptablen Preis vorantreiben kann.

11 Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen zur PtL-Infrastruktur:

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort in jeder Zeile*

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

	Stimme völlig zu	Stimme zu	Neutral	Stimme nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu
Alternative Kraftstoffe sind notwendig, um die Luftfahrt nachhaltiger zu gestalten.	○	○	○	○	○
Wasserstoff ist ein zukunftsfähiger und nachhaltiger Kraftstoff für den Einsatz in der Luftfahrt.	○	○	○	○	○
Power-to-Liquid-Kraftstoff ist ein zukunftsfähiger und nachhaltiger Kraftstoff für den Einsatz in der Luftfahrt.	○	○	○	○	○
Eine dezentrale Produktion von alternativen Kraftstoffen (wie z.B. Wasserstoff oder PtL) direkt auf dem Flugplatz ist sinnvoll.	○	○	○	○	○
Die Produktionsanlagen für alternative Kraftstoffe lassen sich in die bestehende Flugplatzinfrastruktur integrieren.	○	○	○	○	○
Die Verfügbarkeit von direkt am Flugplatz produzierten alternativen Kraftstoffen senkt die Hemmschwelle zum Kauf der nachhaltigen Alternativen.	○	○	○	○	○

In der Vergangenheit hat sich gezeigt, dass sich bei der Einführung und Etablierung neuartiger Technologien die Wirtschaftlichkeit bzw. der Preis für die Endanwender als kritischer Punkt darstellt, wenn es um die Akzeptanz geht. Dementsprechend wird in diesem teil der Umfrage speziell nach Antworten im Bereich der Wirtschaftlichkeit bzw. der Preisentwicklung gefragt.

12 Würden Sie Ihr Luftfahrzeug mit nachhaltigem PtL-Kraftstoff oder Kraftstoffblend mit einem Anteil PtL betanken?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein ○ keine Angabe

13 Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

14 Wie schätzen Sie die aktuelle Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoff in der Luftfahrt ein?

15 Wie schätzen Sie die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen in den nächsten Jahren ein?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Steigerung ○ Stagnation ○ Rückgang

Seit 2007 sind Unternehmen, die Kraftstoffe in Verkehr bringen verpflichtet, einen Mindestanteil der Kraftstoffe in Form von Biokraftstoffen abzusetzen. Durch grundlegende Änderungen des Bundesimmissionsschutzrecht können seit 2018 erstmals Treibhausgaseinsparungen angerechnet werden, die z.B. durch die Produktion von strombasierten Kraftstoffen erzielt wurden.

16 Ist Ihnen bekannt, dass das auch die Luftfahrt miteinbezieht?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein ○ keine Angabe

17 Beeinflussen die vorangegangenen Informationen Ihre Einstellung zur Anwendung/Nutzung und Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein ○ keine Angabe

18 Wenn ja, wie beeinflussen die vorangegangenen Informationen Ihre Einstellung zur Anwendung/Nutzung und Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen?

Fragesupport: *Bei Nein fügen Sie bitte "-" ein.*

ITEAL KONZEPTSTUDIE - UMFRAGE ZUM THEMA KUNDENAKZEPTANZ

19 Würden Sie für nachhaltig, in einem CO2 neutralem Kreislauf produzierten Kraftstoff (oder Kraftstoffblend) mehr bezahlen als für fossilen Kraftstoff?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort*

○ Ja ○ Nein ○ Keine Antwort

20 Wenn ja, wie viel würden Sie mehr bezahlen? (der aktuelle Preis von Kerosin liegt aktuell bei 1,13 € exklusive Energiesteuer und exklusive MwSt. (Stand: Dezember 2021))

Fragesupport: *Bitte fügen Sie eine Prozentzahl ein (z.B. 5 für 5%), bei Nein tragen Sie bitte ein 0 ein.*

21 Was schätzen Sie? In welcher Preisspanne bewegt sich der Preis pro Liter PtL-Kraftstoff zukünftig?

22 Welche Maßnahmen würden Ihre Akzeptanz von nachhaltigen Kraftstoffen für die Luftfahrt und die dezentrale Produktion direkt auf dem Flugplatz(weiter) erhöhen?

Fragesupport: *Wählen Sie eine Antwort in jeder Zeile*

	Stimme völlig zu	Stimme zu	Neutral	Stimme nicht zu	Stimme überhaupt nicht zu
Regelmäßige Informationsveranstaltungen mit Updates zum Stand der Umsetzung.	○	○	○	○	○
Website zur Selbstinformation mit Informationen rund um das Vorhaben.	○	○	○	○	○
Regelmäßiger Newsletter mit Informationen rund um das Vorhaben.	○	○	○	○	○
Aktiver Miteinbezug für die Umsetzung im Rahmen von Workshops o.ä.	○	○	○	○	○
Organisierte Führungen/Besichtigungen von Pilotanlagen	○	○	○	○	○

23 Welche hier nicht aufgeführten Formate würden Sie für eine Beteiligung bevorzugen?

24 Sonstige Anmerkungen

Vielen Dank für Ihre Teilnahme! Alle Daten werden vertraulich behandelt und dienen nur zur Auswertung und Bearbeitung des Themenfeldes Kundenakzeptanz innerhalb der ITEAL-Konzeptstudie.

Anhang B – Auswertung der Umfrage zum Thema Kundenakzeptanz

Anmerkung: Die Antworten der Fragen, bei denen die Befragten mit Freitext antworten sollten, wurden in übergreifende Kategorien eingeordnet.

Teil I – Allgemeines

1. Geschlecht

Geschlecht	Weiblich	Männlich	Divers
Anzahl	5	51	0

2. Alter

Altersgruppe	0-15	16-30	31-45	46-60	61-75	76-90	91-100
Anzahl	0	7	11	20	17	1	0

3. Bezug zur Luftfahrt

Bezug zur Luftfahrt	**Anzahl**
Kein Bezug zur Luftfahrt	2
Privatpilot:in	45
Berufspilot:in	2
Verkehrspilot:in	1
Airline	1
Flugplatzbetreiber:in	0
Dienstleister:in	3
Flugschule	5
Entwicklungs-/Herstellungsbetrieb	4
Ingenieur-/Planungsbüro	2
Wartung & Instandhaltung	3
Forschung	1
Sonstiges	1

4. Besitzen Sie ein eigenes Luftfahrzeug?

Antwort	Ja	Nein	Keine Angabe
Anzahl	40	16	0

Teil II – Vorhaben und Thema

5. Ist Ihnen das Vorhaben ITEAL bekannt?

Antwort	Ja	Nein
Anzahl	12	44

6. Wenn ja, woher kennen Sie ITEAL?

Kategorie	Nicht bekannt	Presse/Medien	Arbeits-/Vereins-umfeld	Internet	Sonstiges
Anzahl	39	9	5	2	1

7. Ist Ihnen der Begriff PtL/Power-to-Liquid bekannt?

Antwort	Ja	Nein
Anzahl	30	26

8. Wenn ja, was verstehen Sie unter dem Begriff PtL?

Kategorie	Nicht bekannt	Kurze Beschreibung: „von Strom zum Kraftstoff“	Beschreibung aller Komponenten, die für den Herstellungs-prozess benötigt werden	Beschreibung des vollständigen Produktionspfades mit Gewinnung der benötigten Energie, des CO_2, der Herstellung des Wasserstoffs und Kraftstoffsynthese	Sonstiges
Anzahl	26	18	7	2	3

9. Kennen Sie den Begriff „Grüner Wasserstoff?“

Antwort	Ja	Nein
Anzahl	40	16

10. Wenn ja, was verstehen Sie unter den Begriff „Grüner Wasserstoff“?

Kategorie	Nicht bekannt	Wasserstoff aus erneuerbarer Energie	Wasserstoff aus erneuerbarer Energie und durch Elektrolyse	Klimafreundlicher/ nachhaltiger Wasserstoff
Anzahl	19	19	8	10

Teil III – PtL-(Produktions-)Infrastruktur auf dem Flugplatz

11. Bitte bewerten Sie die folgenden Aussagen zur PtL-Infrastruktur.

Antwort	Stimme völlig zu	Stimme zu	Neutral	Stimme nicht zu	Stimme über-haupt nicht zu
Alternative Kraftstoffe sind notwendig, um die Luftfahrt nachhaltiger zu gestalten.	35	15	4	0	2
Wasserstoff ist ein zukunftsfähiger und nachhaltiger Kraftstoff für dein Einsatz in der Luftfahrt.	12	15	19	8	2
PtL-Kraftstoff ist ein zukunftsfähiger und nachhaltiger Kraftstoff für den Einsatz in der Luftfahrt.	22	19	11	2	2
Eine dezentrale Produktion von alternativen Kraftstoffen (wie z.B. Wasserstoff oder PtL direkt auf dem Flugplatz ist sinnvoll.	16	18	15	5	2
Die Produktionsanlagen für alternative Kraftstoffe lassen sich in die bestehende Flugplatzinfrastruktur integrieren.	10	14	25	5	2
Die Verfügbarkeit von direkt am Flugplatz produzierten alternativen Kraftstoffen senkt die Hemmschwelle zum Kauf der nachhaltigen Alternativen.	16	20	14	1	5

Teil IV – Wirtschaftlichkeit/Preisentwicklung

12. Würden Sie Ihr Luftfahrzeug mit nachhaltigem PtL-Kraftstoff oder Kraftstoffblend mit einem Anteil PtL betanken?

Antwort	Ja	Nein	Keine Angabe
Anzahl	44	2	10

13. Bitte begründen Sie Ihre Antwort.

Kategorie	Keine Antwort	Nachhaltigkeit/ Klimaschutz	Zukunftssicherung der (allgemeinen) Luftfahrt	Wenn zugelassen und technisch unbedenklich	Preisliche Entwicklung
Anzahl	5	17	10	21	3

14. Wie schätzen Sie die aktuelle Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen in der Luftfahrt ein?

Kategorie	Keine Antwort/ nicht einschätzbar	Nicht wirtschaftlich/ unwirtschaftlich	Teuer	Einsatz von PtL ist alternativlos, deshalb spielen wirtschaftliche Aspekte eher eine geringere Rolle	Abhängig von Förderung und Zulassung durch die Hersteller
Anzahl	29	10	13	2	2

15. Wie schätzen Sie die Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen in den nächsten Jahren ein?

Antwort	Steigerung	Stagnation	Rückgang
Anzahl	46	7	3

16. Ist Ihnen bekannt, dass das auch die Luftfahrt miteinbezieht?

Antwort	Ja	Nein	Keine Angabe
Anzahl	19	28	9

17. Beeinflussen die vorangegangenen Informationen Ihre Einstellung zur Anwendung/Nutzung und Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen?

Antwort	Ja	Nein	Keine Angabe
Anzahl	14	37	5

18. Wenn ja, wie beeinflussen die vorangegangenen Informationen Ihre Einstellung zur Anwendung/Nutzung und Wirtschaftlichkeit von PtL-Kraftstoffen?

Kategorie	Keine Antwort	Bereits vorher überzeugt von der Nutzung	Bedarf an weiteren Informationen, Steigerung des Interesses/der Sensibilisierung	Begrüßung der Nutzung	Noch offene Fragen bezüglich Wirtschaftlichkeit, Zulassung, Verfügbarkeit von Wasserstoff
Anzahl	38	2	5	8	3

19. Würden Sie für nachhaltig, in einem CO_2-neutralen Kreislauf produzierten Kraftstoff (oder Kraftstoffblend) mehr bezahlen als für fossilen Kraftstoff?

Antwort	Ja	Nein	Keine Angabe
Anzahl	32	20	4

20. Wenn ja, wie viel würden Sie mehr bezahlen? (der aktuelle Preis von Kerosin liegt aktuell bei 1,13 € exklusive Energiesteuer und exklusive MwSt. (Stand: Dezember 2021))

Bereich	0%	<5%	<10 %	10%	20%	25%	30%	50%	70%	100%
Anzahl	22	2	4	14	5	1	1	4	1	2

21. Was schätzen Sie? In welcher Preisspanne bewegt sich der Preis pro Liter PtL-Kraftstoff zukünftig?

Bereich	Keine Angaben/keine Einschätzung möglich	Preisanstieg im Vergleich zu fossilem Kerosin	Gleiches Preisniveau wie fossiles Kerosin	1-1,99€	2-2,99€	3-3,99€	4-5€	> 5€
Anzahl	22	4	2	10	10	4	3	1

Teil V – Akzeptanzsteigernde Maßnahmen

22. Welche Maßnahmen würden Ihre Akzeptanz von nachhaltigen Kraftstoffen für die Luftfahrt und die dezentrale Produktion direkt auf dem Flugplatz(weiter) erhöhen?

Antwort	**Stimme völlig zu**	**Stimme zu**	**Neutral**	**Stimme nicht zu**	**Stimme überhaupt nicht zu**
Regelmäßige Informations-veranstaltungen mit Updates zum Stand der Umsetzung.	10	24	15	5	2
Website zur Selbstinformation mit Informationen rund um das Vorhaben.	15	22	13	4	2
Regelmäßiger Newsletter mit Informationen rund um das Vorhaben.	12	18	14	9	3
Aktiver Miteinbezug für die Umsetzung im Rahmen von Workshops o.ä..	6	18	18	10	4
Organisierte Führungen/Besichtigungen von Pilotanlagen.	19	17	14	3	3

23. Welche hier nicht aufgeführten Formate würden Sie für eine Beteiligung bevorzugen?

- Video-Blog
- Blog
- Einfache Verfügbarkeit
- Selbstinformation
- Informationen über Testanwendungen
- Publikationen
- Virtueller Rundgang

An der Erarbeitung der Studie ITEAL waren folgende Partner beteiligt:

Berlin Brandenburg Aerospace Allianz e. V. (BBAA)
Freiheitstraße 124/126
15745 Wildau

https://bbaa.de

aviasim UG (haftungsbeschränkt)
Soorstraße 9
14050 Berlin

https://aviasim-consult.de

Aviation Fuel Projects Consulting GmbH & Co. KG
Dr.-Otto-Eyrich-Str. 14a
83209 Prien

info@afpconsulting.org

BER Flughafen Berlin Brandenburg GmbH
12521 Berlin

https://ber.berlin-airport.de

COMWORXX GmbH
Postfach 41 01 33
34063 Kassel

https://comworxx.com

European Aviation Security Center e.V.
Flugplatz Haus 2
14959 Trebbin

https://easc-ev.org
info@easc-ev.org

Flugplatzgesellschaft Schönhagen mbH
Flugplatz Haus 2
D-14959 Trebbin

https://flugplatz-schoenhagen.aero

IKEM – Institut für Klimaschutz
Energie und Mobilität e. V.
Magazinstraße 15-16
10179 Berlin

https://ikem.de

PtXSolutions GmbH
Dorotheenstrasse 58
10117 Berlin

https://ptxsolutions.de

Reiner Lemoine Institut gGmbH
Rudower Chaussee 12
12489 Berlin

https://reiner-lemoine-institut.de

Strausberger Flugplatz GmbH
Kastanienallee 38
15344 Strausberg

https://flugplatz-strausberg.de

TotalEnergies Marketing Deutschland GmbH
Jean-Monnet-Str. 2
10557 Berlin

https://totalenergies.de
kommunikation@totalenergies.com