



Die
Bundesregierung

PtL-Roadmap

Nachhaltige strombasierte Kraftstoffe
für den Luftverkehr in Deutschland



Unser Ziel

Auf dem Weg zu einem CO₂-neutralen Luftverkehr arbeiten wir gemeinsam daran, die Produktion von PtL-Kerosin in den nächsten Jahren auf- und auszubauen. Wir halten es für realistisch, dass bis zum Jahr 2030 mindestens 200.000 Tonnen PtL-Kerosin im deutschen Luftverkehr genutzt werden können. Dieses Ziel knüpft an die nationale Wasserstoffstrategie an.

Unterzeichner



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

Svenja Schulze
Bundesministerin



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Andreas Scheuer
Bundesminister



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Peter Altmaier
Bundesminister



Bundesministerium für
wirtschaftliche Zusammenarbeit
und Entwicklung

Gerd Müller
Bundesminister

VERKEHRSMINISTER
KONFERENZ

Tarek Al-Wazir
Minister



Bundesverband der Deutschen
Luftverkehrswirtschaft

Peter Gerber
Präsident



Bundesverband der Deutschen
Luft- und Raumfahrtindustrie e.V.

Reiner Winkler
Vizepräsident Luftfahrt



MINERALÖL
WIRTSCHAFTS
VERBAND e.V.

Wolfgang Langhoff
Vorstandsvorsitzender



Arbeitsgemeinschaft
Power-to-X
for Applications

Dr. Uwe Lauber
Vorsitzender

Inhalt

Unser Ziel	2
Ziel und Zielerreichung.....	4
Technologische Entwicklung	9
Herstellungspfade	9
Strombezug	10
CO ₂ -Quelle.....	11
Design und Zulassung von Kraftstoffen.....	12
Anwendungsorientierte Forschung	13
Transportlogistik	14
Nachhaltigkeitskriterien	14
Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO.....	15
Europäische Union	16
Förderung des Markthochlaufs	17
Regulatorischer Rahmen zur Setzung von Marktanreizen	17
Staatliche Förderung.....	20
Beiträge der beteiligten Wirtschaftsakteure.....	22
Initiativen der Bundesländer zur Forschung an PtL und zum Aufbau von Demonstrationsvorhaben.....	24
Impressum.....	29

Ziel und Zielerreichung

Luftverkehr führt Menschen weltweit zusammen und ermöglicht den eilbedürftigen Transport werthaltiger Güter. Das ist unverzichtbar in einer freien und globalisierten Welt. Dabei hat der Luftverkehr an den weltweiten anthropogenen CO₂-Emissionen einen Anteil von 2,8¹ Prozent. Der Flugverkehr ist für 3,5 Prozent der anthropogenen Erwärmung seit Beginn der Industrialisierung verantwortlich², zuletzt (vor der Covid-19-Pandemie) betrug der jährliche Beitrag etwa 5,5 Prozent. Der weltweite Luftverkehr wuchs in den letzten fünf Jahren vor der Coronakrise jeweils um ca. 6 Prozent. Im Jahr 2020 ist der Passagierluftverkehr infolge der Pandemie um bis zu 2/3 gegenüber 2019 zum Erliegen gekommen. Die weltweite Nachfrage nach Luftverkehr wird voraussichtlich sukzessive wieder zunehmen. Eine solide Einschätzung, wann der Passagierverkehr wieder das Niveau von 2019 erreicht, ist aufgrund der mit der Coronakrise einhergehenden Veränderungen im Luftverkehrsmarkt zurzeit nicht möglich.

Mit dem Pariser Abkommen, dem Green Deal der Europäischen Union, dem Klimaschutzprogramm 2030, dem Klimaschutzgesetz und der Wasserstoffstrategie der Bundesregierung wurden ambitionierte Klimaschutzziele festgelegt. Die Bundesregierung hat sich im Klimaschutzgesetz zum Ziel gesetzt, dass bis 2030 die CO₂-Emissionen des gesamten Verkehrs um 42 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden und bis 2050 Treibhausgasneutralität erreicht ist. Auch der Luftverkehr muss einen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele leisten.

Zur Erreichung dieser Ziele gibt es verschiedene Stellschrauben wie z. B.:

- + Anschaffung effizienterer Flugzeuge
- + Prozessoptimierung in der Luft und am Boden
- + Verlagerung von Flügen, z. B. durch verbesserte Bahnverbindungen
- + Vermeidung von Flügen, z. B. durch den verstärkten Einsatz von Videokonferenzen
- + Entwicklung neuer effizienterer Technologien und Flugzeugtypen
- + CO₂-Bepreisungsinstrumente, z. B. EU-ETS und CORSIA

Um ein CO₂-neutrales und nachhaltiges Fliegen zu erreichen, ist allerdings der Ersatz des fossilen Kerosins durch Flugkraftstoffe aus nachhaltig erzeugten erneuerbaren Energieträgern und Rohstoffen unerlässlich. Dabei spielt insbesondere strombasiertes Kerosin (Power-to-Liquid, PtL) aus Erneuerbaren Energien eine zentrale Rolle. Die Nutzung dieser Kraftstoffe kann die Emissionen der Flugzeugflotte reduzieren, wenn sichergestellt ist, dass bei der Herstellung der Kraftstoffe entsprechend wenig bzw. keine CO₂-Emissionen entstehen, z. B. durch die Nutzung Erneuerbarer Energien. Eine Elektrifizierung des Luftverkehrs wird nach heutigem Wissensstand – insbesondere für Mittel- und Langstreckenflüge – kaum möglich sein, so dass der Flugverkehr auch langfristig auf drop-in-fähige Kraftstoffe³ angewiesen sein wird. Die Nutzung von Biokerosin wurde von zahlreichen Fluggesellschaften erprobt und

¹ IEA | 2018

² https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2020/03/20200903_der-globale-luftverkehr-traegt-3-5-prozent-zur-klimaerwaermung-bei.html

³ PtL-Kerosin ist drop-in fähig, d. h. es kann zu fossilem Kerosin beigemischt und ohne Änderung in der Flugzeugflotte sowie bestehender Infrastruktur genutzt werden.

diese Kraftstoffe werden seitdem von einigen Fluggesellschaften eingesetzt. Die verfügbare nachhaltige Biomasse ist allerdings begrenzt und wird auch von anderen Anwendungen und Sektoren stark nachgefragt. Diese Roadmap befasst sich deshalb ausschließlich mit strombasiertem Kerosin auf Basis grünen Wasserstoffs. Strombasierte Kraftstoffe werden derzeit noch nicht in marktfähigen Mengen produziert. Einige Erzeugungspfade von PtL-Kerosin sind bereits zur Nutzung im Flugzeug zugelassen. Um die Produktion und

den Einsatz von nachhaltigem PtL-Kerosin anzureizen, müssen weitere Maßnahmen ergriffen werden, um so die noch hohen Preise für EE-strombasierte Flugkraftstoffe auf ein marktfähiges Niveau zu senken. Deutschland hat jetzt die Chance, hier entscheidendes Industrie-Know-how und Technologieführerschaft in der Herstellung und im Einsatz von nachhaltig erzeugtem PtL-Kerosin auf- und auszubauen. Perspektivisch sind globale Allianzen hier ein erfolgversprechender Weg.

Auf dem Weg zu einem CO₂-neutralen Luftverkehr arbeiten die Akteure der Roadmap gemeinsam daran, die Produktion von nachhaltig erzeugtem PtL-Kerosin in den nächsten Jahren auf- und auszubauen. Sie halten es für realistisch, dass bis zum Jahr 2030 mindestens 200.000 Tonnen PtL-Kerosin im deutschen Luftverkehr genutzt werden können, das entspricht 2 Prozent des Kerosinabsatzes in Deutschland im Jahr 2019. Dieses Ziel knüpft an die nationale Wasserstoffstrategie an.⁴

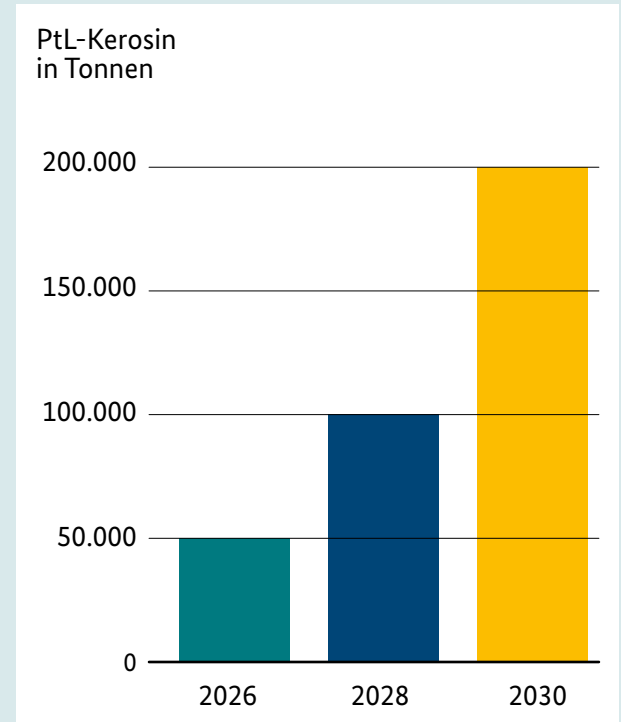


Abbildung 1: Markthochlauf PtL-Kerosin

⁴ <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html>

Zur Etablierung eines PtL-Kerosinmarktes muss einerseits ein Angebot geschaffen werden. Dieses ist bis zur Schaffung zusätzlicher Quellen für Erneuerbare Energien und der groß- und verfahrenstechnischen Realisierung von Anlagen sowie den damit verbundenen weiteren Praxistests verschiedener Technologiepfade und Skalierung zunächst nur gering. Andererseits muss durch eine Abnahmeverpflichtung sichergestellt werden, dass eine Nachfrage geschaffen wird, da es ansonsten wegen der höheren Kosten nicht zu einer Marktentwicklung kommen wird. Die Politik kann beide Seiten durch „Fördern“ und „Fordern“ unterstützen. Eine zentrale Herausforderung sind die derzeit vergleichsweise hohen Produktionskosten. Ein selbsttragen-

der Markt für PtL-Kerosin erfordert Handeln auf allen Seiten: durch einen ausgewogenen staatlichen Instrumentenmix wie auch durch die Bereitschaft der unterschiedlichen Akteure (z.B. Mineralölwirtschaft, Anlagenbauer, Luftverkehrswirtschaft, Fluggäste), sich an den Mehrkosten für PtL-Kerosin zu beteiligen. Ein Instrument in diesem Kontext ist die Einführung einer verpflichtenden energetischen Mindestquote auf das in Deutschland verkaufte Kerosin. Diese Verpflichtung muss durch die Inverkehrbringer, also die Unternehmen der Mineralölwirtschaft, erfüllt werden. Dabei gilt es, Wettbewerbsnachteile für die deutsche Luftverkehrswirtschaft zu vermeiden.

Das Ziel, bis zum Jahr 2030 mindestens 200.000 Tonnen PtL-Kerosin im deutschen Luftverkehr zu nutzen, soll durch folgende Aktivitäten erreicht werden:

⊕ Technologische Entwicklung

- + Nachweis, dass die bereits technologisch für sich ausgereiften Anlagen und Komponenten, die für die PtL-Produktion benötigt werden, im Sinne der technischen Gesamtintegration auch im industriellen Maßstab unbeeinträchtigt zusammenwirken.
- + Forschung und Entwicklung zur Erhöhung des technischen Reifegrades einzelner Komponenten, z. B. die Direktabscheidung von CO₂ aus der Luft.

⊕ Nachhaltigkeitskriterien

- + Festlegung von einheitlichen, verbindlichen und verlässlichen ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitsstandards zunächst auf europäischer und anschließend zeitnah auf internationaler Ebene.

⊕ Förderung des Markthochlaufs

- + Festlegung von verbindlichen Zielen für den Ein- und Absatz von erneuerbarem Kerosin mit Zwischenetappen zunächst auf deutscher, nachfolgend auch auf europäischer und internationaler Ebene.
- + Schaffung der regulatorischen Rahmenbedingungen für einen selbsttragenden Markt für PtL-Kerosin. Dabei ist zu berücksichtigen, dass Wettbewerbsverzerrungen vermieden werden.
- + Staatliche technologieoffene Förderung des Markthochlaufes der PtL-Kerosinproduktion auf Basis grünen Wasserstoffs mit dem Ziel, Erzeugungsanlagen zu bauen, die unter Einhaltung der Klimaziele die energie- und kosteneffizientesten Lösungen erfolgreich in den Markt bringen. Dies wird ergänzt durch eine Verpflichtung der Luftverkehrsunternehmen zur Abnahme relevanter Mengen an PtL-Kerosin in den nächsten Jahren.

Die anvisierte Umsetzung der PtL-Roadmap

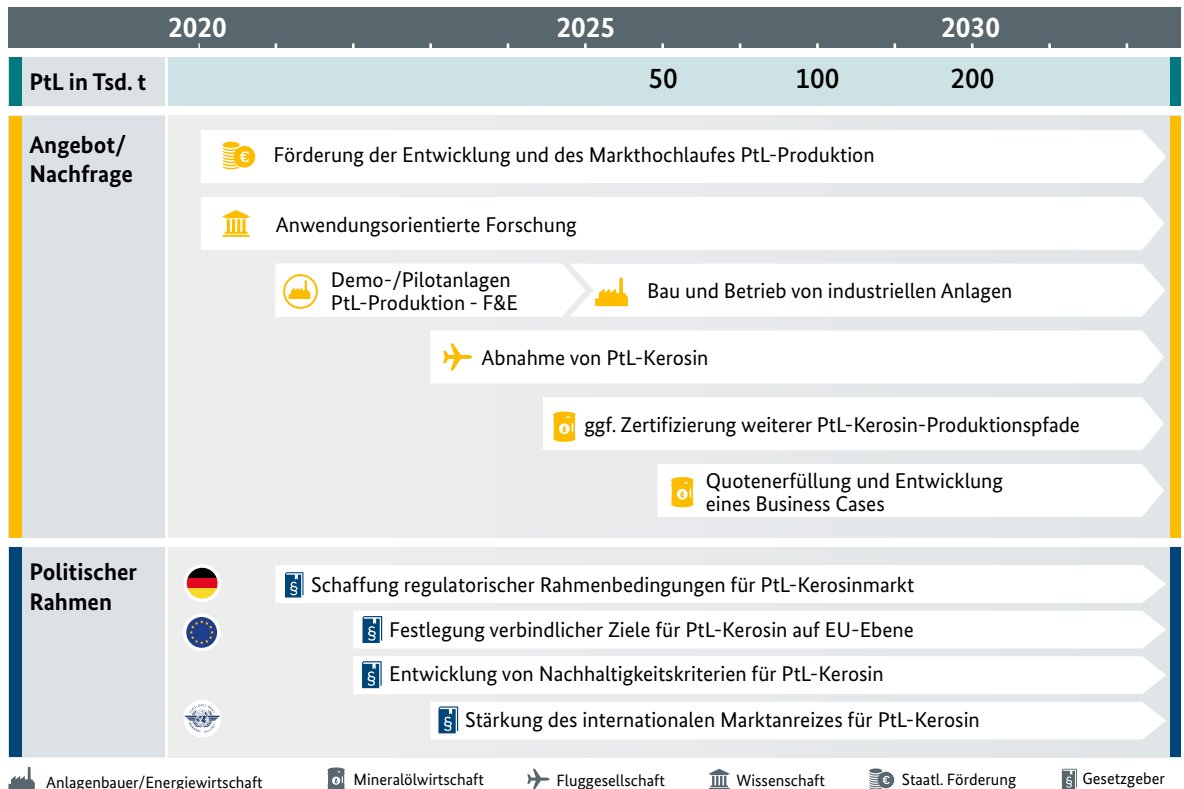


Abbildung 2: Umsetzung PtL-Kerosin-Roadmap für den Luftverkehr

Damit der Luftverkehr in Europa zur Erreichung der Klimaschutzziele beiträgt und bis spätestens 2050 CO₂-neutral erfolgt, wird ein massiver Ausbau von Erneuerbaren Energien inner- und außerhalb der EU erforderlich sein. Dies ist besonders dringlich vor dem Hintergrund, dass auch in anderen Sektoren stark steigende Nachfrage nach Erneuerbaren Energien und nachhaltig produziertem Wasserstoff zu erwarten ist. Wo immer möglich, sollten existierende lokale biogene CO₂-Quellen, wie zum Beispiel eine Biogasanlage, für die Herstellung von PtL-Kerosin erschlossen werden.

Für einen erfolgreichen Markthochlauf kann die Nutzung von nicht vermeidbarem CO₂ aus industriellen Prozessen auf Grund der Ver-

fügbarkeit und der niedrigen Bezugskosten mittelfristig sinnvoll sein. Grundsätzlich ist die Wahl der erneuerbaren Energie- und CO₂-Quelle mit den übergeordneten Zielen zur sektorübergreifenden Treibhausgasminderung, der Förderung Erneuerbarer Energien und der aus Umweltschutzgründen erforderlichen Nachhaltigkeitskriterien in Einklang zu bringen. Mit Blick auf das Ziel der Treibhausgasneutralität bis 2050 ist die CO₂-Abscheidung aus der Luft unverzichtbar und muss vorbereitet werden und im Markthochlauf sukzessive zum Einsatz kommen. Inwieweit und auf welche Weise CO₂ aus biogenen Quellen oder aus industriellen Prozessen angerechnet werden kann, muss von der Europäischen Kommission in Folgearbeiten geklärt werden.

Außerdem müssen insbesondere auf internationaler und europäischer Ebene regulatorische Voraussetzungen für die Einhaltung der vereinbarten Klimaschutzziele und einen fairen Wettbewerb geschaffen werden. Fluggesellschaften aus Drittstaaten, die sich nicht an die erforderlichen Voraussetzungen zur Einhaltung der Klimaschutzziele halten, dürfen hierdurch keine Wettbewerbsvorteile erhalten. Luftverkehrsabkommen mit Drittstaaten stellen sicher, dass Luftfahrtunternehmen dieser Staaten beim Einflug in die Bundesrepublik Deutschland die geltenden jeweiligen nationalen und europäischen umweltschutzrechtlichen Vorschriften einzuhalten haben.

Angesichts der erforderlichen staatlichen Unterstützung zur Erreichung der Klimaschutzziele, insbesondere bei der Herstellung von grünem Wasserstoff, wird ein rechtlicher Rahmen auf EU-Ebene benötigt, der Investitionssicherheit gewährleistet. Ansonsten kann der Markthochlauf nicht gelingen, ohne zu schwerwiegenden Nachteilen der europäischen Luftverkehrswirtschaft zu führen. Hilfreich wären zudem vereinfachte Verfahren und aufgrund der Pandemiefolgen im Luftverkehr angepasste Kriterien im europäischen Beihilferecht. Angesichts des ambitionierten

Zeitplans muss die Industrie spätestens im Jahr 2021 Investitionsentscheidungen für die ersten Anlagen zur PtL-Kerosinproduktion treffen. Dafür müssen wesentliche Regulierungsfragen rechtssicher für die Investoren geklärt sein. Dazu gehören z.B. Klarheit über die Kriterien zum Bezug erneuerbaren Stroms für die Elektrolyse wie auch die Klärung der Bilanzierungs- und Anrechnungsregeln für die gemeinsame Verarbeitung von PtL-Grude⁵ und fossilem Rohöl zur Herstellung von Kerosin und anderen Produkten in Raffinerien. Hierzu sollte die Europäische Kommission im Laufe des Jahres 2021 einen Vorschlag vorlegen. Es sollte möglichst schnell Klarheit über diese Rahmenbedingungen herrschen, damit Investitions- und Rechtssicherheit für die ersten Anlagen besteht.

Über die Umsetzung dieser Roadmap findet ein kontinuierliches Monitoring statt. In regelmäßigen Treffen der unterzeichnenden Akteure werden die Fortschritte in Bezug auf die Zielerreichung diskutiert. Zudem werden die von den Akteuren initiierten Projekte zur Förderung von PtL-Kerosin erfasst und einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Der Stand der Umsetzung wird ebenfalls veröffentlicht.

5 Roh-Kraftstoff, siehe Abbildung 3

Technologische Entwicklung

Power-to-Liquid (PtL) bezeichnet die Herstellung von flüssigen Kraftstoffen aus Strom, Wasser und CO₂. Daher werden PtL-Kraftstoffe auch strombasierte Kraftstoffe genannt. Für einen Treibhausgasminderungsbeitrag ist der Einsatz zusätzlicher erneuerbarer Energiequellen entscheidend. Im Folgenden werden zwei denkbare Erzeugungspfade skizziert. Weitere Informationen zur Erzeugung finden sich in einer Studie des Umweltbundesamtes zu PtL-Kerosin.⁶

Herstellungspfade

Für die Herstellung von PtL-Kerosin gibt es derzeit zwei Erzeugungspfade: die Fischer-Tropsch-Synthese und die Alkoholsynthese mit anschließender Weiterverarbeitung des Alkohols zu Kerosin. Die Alkoholsynthese wird in Deutschland gegenwärtig als Methanol-to-Olefins sowie Olefins-to-Distillate Prozess betrachtet; international existieren aber auch alternative Prozesse auf Basis anderer Alkohole.

Beide Erzeugungspfade benötigen Strom zur Wasserstoffproduktion und CO₂ als Kohlenstoffträger im Syntheseverfahren. Auch bei einer Optimierung der Anlagenauslegung

und -fahrweise auf Kerosin entstehen als Nebenprodukte synthetischer Diesel oder Ottokraftstoffe sowie synthetische Grundstoffe, die in anderen Verkehrssektoren oder der Chemischen Industrie verwendet werden können. Auch diese Nebenprodukte sollten am Markt einen Absatz finden können. Damit können Betreiber das Geschäftsmodell der Anlagen optimieren und es wird verhindert, dass die Kosten der Anlage auf nur ein Produkt, in diesem Fall Kerosin, umgelegt werden. Gleichzeitig erhöht sich die Resilienz für Anlagenbetreiber, wenn sie nicht nur auf die Vermarktung eines Produkts angewiesen sind.

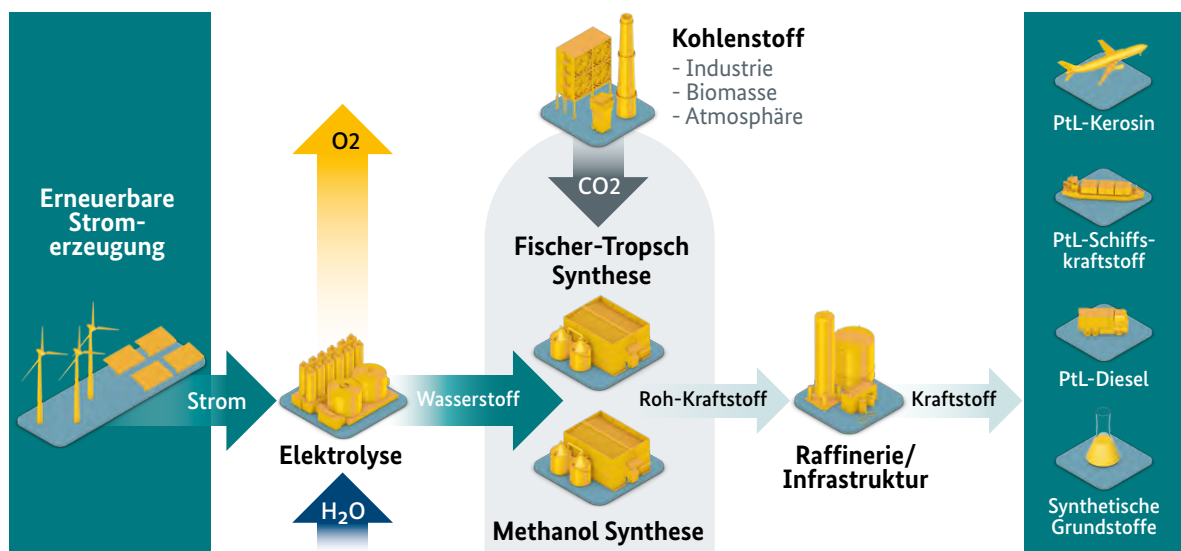


Abbildung 3: Vereinfachte Darstellung der PtL-Erzeugungspfade (Quelle: NOW GmbH)

6 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/377/publikationen/161005_uba_hintergrund_ptl_barrierefrei.pdf

Für beide Verfahren ist der Nachweis der Gesamtintegration der Anlagenkomponenten im industriellen Maßstab noch zu erbringen. Eine zentrale Herausforderung beim Fischer-Tropsch-Verfahren ist die Produktion von Synthesegas als Input für den Fischer-Tropsch-Reaktor bei einer Stromversorgung insbesondere aus fluktuierenden erneuerbaren Energieanlagen. Diese wird von den Marktakteuren mit unterschiedlichen innovativen Ansätzen adressiert. Dabei ist auch zu berücksichtigen, dass im Zuge der Erarbeitung des delegierten Rechtsakts zu Strombezugskriterien, den die Europäische Kommission bis Ende 2021 vor-

legt, bestimmte Anforderungen im Hinblick auf den flexiblen Betrieb gefordert werden könnten. Eine zentrale Herausforderung bei der Methanolroute besteht in der Weiterverarbeitung des grünen Methanols zu Kerosin. Bei einigen technischen Lösungen müssen die Syntheseverfahren konstant gefahren werden und können nicht flexibel auf fluktuierende Stromerzeugung reagieren.

Im Gegensatz zum Fischer-Tropsch-Verfahren ist die Methanolroute noch nicht für die Nutzung von Kerosin zugelassen.

📌 Sowohl die Fischer-Tropsch-Synthese als auch die Alkohol-basierten Konversionsrouten können einen Beitrag zur PtL-Kerosinproduktion leisten. Daher setzen sich die Akteure der Roadmap dafür ein, dass verschiedene Erzeugungspfade technologisch weiterentwickelt werden und die Rahmenbedingungen technologieoffen für weitere Erzeugungspfade ausgestaltet werden.

Strombezug

Nur mit der Nutzung von Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energiequellen kann der Ausstoß klimaschädlicher Emissionen bei der Produktion selbst vermieden werden. Die Strombezugskosten sind der zentrale Kostenfaktor bei der PtL-Kerosinproduktion. Die Zusätzlichkeit der EE-Quelle ist dabei von zentraler Bedeutung, da nur auf diese Weise der Klimavorteil der Kraftstoffe sichergestellt werden kann und – wie in der Nationalen Wasserstoffstrategie verankert – keine Treibhausgas-Mehremissionen auftreten. Eine Möglichkeit, die Versorgung mit Strom aus Erneuerbaren Energiequellen sicherzustellen, ist die direkte Anbindung an zusätzliche Stromerzeugungsanlagen. Um die Auslastung der Anlagen sowie die Energieversorgung an Standorten, wo eine direkte Stromversorgung nicht möglich ist, sicherzustellen, muss ein nachvollziehbarer bilanzieller Grünstrombezug über das Stromnetz

perspektivisch z.B. über ein Power Purchase Agreement (PPA) und Herkunftsnachweise erfolgen. Unter welchen Umständen Anforderungen an einen grünen Netzstrombezug erfüllt werden, wird über einen delegierten Rechtsakt auf Grundlage der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie EU 2018/2001 (RED II) bis Ende 2021 von der Europäischen Kommission geregelt. Dabei werden Anforderungen zum zeitlichen und räumlichen Zusammenhang zwischen dem Strombezug und der Kerosinproduktion, der Wirkung auf das Stromnetz (insbesondere auf mögliche Netzengpässe) sowie der Zusätzlichkeit der erneuerbaren Energien berücksichtigt (siehe Kapitel Nachhaltigkeit). Hierbei ist besonders relevant, dass die Kerosinproduktion möglichst netz- und systemdienlich erfolgt. Entsprechende Anforderungen und der entsprechende Nachweis sind auch von Partnerländern zu erfüllen, wenn

diese ihr Produkt auf dem europäischen Markt veräußern möchten. In Bezug auf das deutsche Stromnetz bedeutet dies, dass insbesondere keine relevanten Engpässe im Stromnetz ausgelöst oder verschärft werden. Vor diesem Hintergrund sollten Produktionsanlagen im industriellen Maßstab prioritär in Regionen

mit hohen Potenzialen an Erneuerbaren Energien aufgebaut werden. Der delegierte Rechtsakt findet dann auch Anwendung auf nachhaltig erzeugtes PtL-Kerosin. Die Ausgestaltung dieser Vorschrift soll sich nicht als Hemmnis für den Markthochlauf der Technologien erweisen.

Die Akteure der Roadmap setzen sich für die in der Wasserstoffstrategie dargestellte Überprüfung der Systematik der staatlich veranlassten Strompreisbestandteile und die angestrebte Befreiung von der EEG-Umlage bei der Produktion von grünem Wasserstoff ein.

CO₂-Quelle

Die Wahl der CO₂-Quelle entscheidet mit über den ökologischen Wert von PtL. CO₂-neutral kann PtL-Kerosin nur werden, wenn die CO₂-Quelle einen CO₂-Kreislauf mit der Atmosphäre ermöglicht, d.h. dass das CO₂ zuvor aus der Luft abgeschieden wurde. CO₂ aus folgenden Quellen ermöglicht einen CO₂-Kreislauf mit der Atmosphäre (siehe Tabelle 1):

Biogene Quellen	Direct Air Capture ⁷
+ Biogasanlagen	+ Absorption
+ Bioethanolanlagen	+ Adsorption
+ Biomasseheizkraftwerke	

Tabelle 1: Mögliche CO₂-Quellen (Quelle: ifeu)

Zusätzlich können unvermeidbare Prozessemissionen (z.B. Prozessemissionen eines Zementwerkes) eine potenzielle CO₂-Quelle sein, solange die notwendige CO₂-Reduktion der Industrieanlagen durch die CO₂-Nutzung nicht verlangsamt wird.

Die Abscheidung von CO₂ aus Rauchgas, Biogas, chemischen Prozessgasen oder der Luft

benötigt Energie, deren Menge u. a. davon abhängig ist, wie hoch die CO₂-Konzentration in dem entsprechenden Medium ist und welche Abscheidetechnologie zum Einsatz kommt. In der Luft sind z.B. 0,04 Volumenprozent CO₂ enthalten, im Biogas 20-45 Prozent und in den Prozessgasen von Zementfabriken 14-33 Prozent. Für weitere Informationen wird auf die ifeu-Studie „CO₂-Quellen für die PtX⁸-Herstellung in Deutschland - Technologien, Umweltwirkung, Verfügbarkeit“⁹ verwiesen, die im Rahmen eines Kopernikus-Projektes erstellt wurde. Perspektivisch kann der benötigte Kohlenstoff für die Synthese auch direkt in Form von nachhaltiger Biomasse in den Prozess eingebracht werden.

Aus Klimaschutzperspektive sind CO₂ aus nachhaltigen biogenen Quellen und CO₂ aus der Atmosphäre die bevorzugten Quellen und müssen mittel- bis langfristig zum Einsatz kommen. Neben einer Senkung der noch verhältnismäßig hohen Kosten sind bei der Gewinnung von CO₂ aus der Atmosphäre auch technologische Verbesserungen und die Skalierung der Technologie notwendig. Bei der

⁷ Direct Air Capture ist ein Verfahren zur Gewinnung von Kohlenstoffdioxid aus der Umgebungsluft.

⁸ Power-to-X bezeichnet sowohl gasförmige als auch flüssige strombasierte Kraftstoffe.

⁹ https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/ifeu_paper_03_2019_CO2-Quellen-f%C3%BCr-PtX.pdf

Nutzung von biogenen CO₂-Quellen stellt die Dezentralität der biogenen Prozesse eine Herausforderung dar, die eine Nutzung im großen Maßstab erschweren. Die vermehrte Nutzung von nachhaltiger Biomasse in Punktquellen könnte daher ein Ansatz sein, CO₂ aus biogenen Quellen auf einfachere Art und Weise für die PtL-Kerosinherstellung zukünftig zur Verfügung zu stellen. Kurzfristig erscheint die

Nutzung nicht vermeidbarer CO₂-Emissionen aus industriellen Punktquellen für ein Hochlaufen der PtL-Kerosinproduktion notwendig zu sein. Hierbei kann die Nutzung von nicht-vermeidbaren Emissionen aus industriellen Prozessen wie z.B. bei der Zementproduktion ein sinnvoller Ansatz sein, sofern eine Umstellung auf erneuerbare Einsatzstoffe und alternative Prozesse dadurch nicht behindert wird.

📌 Für die Herstellung nachhaltiger Flugkraftstoffe wird die Nutzung von CO₂/Kohlenstoff aus nachhaltigen biogenen Quellen und aus der Atmosphäre angestrebt. Allerdings kann für einen erfolgreichen Markthochlauf die Nutzung von nicht vermeidbaren CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen aufgrund der Verfügbarkeit und niedrigen Bezugskosten zunächst sinnvoll sein. Dies darf jedoch nicht zu einem Hemmnis für die Erschließung und Nutzung von CO₂ aus biogenen Industrieprozessen oder der Atmosphäre führen.

📌 Um Optimierungs- und Effizienzpotenziale bei den entsprechenden Technologien zu heben, adressiert die Förderrichtlinie des BMVI zur Entwicklung erneuerbarer Kraftstoffe auch einzelne Komponenten wie Direct Air Capture.

Design und Zulassung von Kraftstoffen

Das wichtigste Organ für die Zulassung von synthetischen Flugkraftstoffen ist die American Society for the Testing of Materials (ASTM), die ihre Arbeit mit der europäischen Standardisierungsorganisation DefStan koordiniert. Die erste derartige Zulassung dauerte neun Jahre und erforderte die Produktion von mehreren tausend Tonnen Kraftstoff zu Testzwecken. Die Zulassungsverfahren wurden jedoch weiterentwickelt, so dass sie mittlerweile innerhalb weniger Jahre abgeschlossen werden und die erforderlichen Testmengen bei einigen Tonnen bis einigen hundert Tonnen liegen, je nach Ähnlichkeit des synthetischen Kraftstoffs zu anderen, bereits zugelassenen Kraftstoffen.

Das Design der chemischen Zusammensetzung synthetischer Kraftstoffe bietet im Gegensatz zum erdölbasierten Kerosin den Vorteil, dass der Gehalt an Aromaten und Schwefel

reduziert bzw. eliminiert werden kann. Die bei der Verbrennung fossilen Kerosins entstehenden Schadstoffe wie NO_x, SO₂, unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kondensstreifen bildende Rußpartikel können dadurch stark reduziert werden. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hatte bereits 2014 nachgewiesen, dass eine Beimischung von 50 Prozent nachhaltigem Flugkraftstoff – diese Beimischungsmenge ist zurzeit zugelassen – im Reiseflug die Rußpartikelemissionen eines Flugzeugtriebwerks um 50 bis 70 Prozent gegenüber der Verbrennung von reinem Kerosin reduziert. Die Anzahl und Größe der Eiskristalle zum Zeitpunkt der Kondensstreifenbildung hängt unter anderem von den Rußpartikelemissionen der Flugzeugtriebwerke ab. Werden diese reduziert, sinkt die Anzahl der Eiskristalle in neu gebildeten Kondensstreifen, was die Klimawirkung der daraus entstehenden Hö-

henwolken verringert. Ungeachtet dessen ist davon auszugehen, dass auch mit PtL-Kerosin noch zusätzliche Klimawirkungen durch die Veränderung der natürlichen Wolkenbildung

resultieren. Die Reduktion von Rußemissionen ist allerdings insgesamt ein wichtiger Schritt zur Verringerung der Klimawirkung¹⁰.

Pin Sollen mehr als die aktuell zulässigen 50 Prozent nachhaltige Flugkraftstoffe beigemischt werden, muss der Einfluss auf das Antriebssystem (Triebwerk, Tank, Verteilung, Dichtungen, Kalibrierung der Messsensorik) und die Tankinfrastruktur wissenschaftlich untersucht und technisch erprobt werden, was Anpassungen am Antriebssystem und an weiteren Flugzeugkomponenten sowie der Tankinfrastruktur erforderlich machen kann. Wichtig ist hierbei, dass sich die Untersuchungen nicht nur auf neueste Flugzeuggenerationen beschränken, sondern auch bestehende Flotten einschließen, da sich die Bedenken der ASTM primär auf die Kompatibilität mit alten Mustern beziehen. Ebenso sollten die bereits gewonnenen Erkenntnisse über die Klimawirkung von PtL-Kraftstoffen vertieft werden. Diesen Forschungsfragen sollte nachgegangen werden mit dem Ziel, technologisch einen höheren Beimischungsanteil erreichen zu können.

Anwendungsorientierte Forschung

Das Fischer-Tropsch-Verfahren wird seit Jahrzehnten angewandt. Gleichwohl gibt es bei der großtechnischen Herstellung von strombasierten Flugkraftstoffen noch technische Fragen, die wissenschaftlich diskutiert und gelöst werden müssen. Gleiches gilt bei der Skalierung der Alkohol-Technologie und perspektivisch weiterer Technologien. Des Weiteren werden sich wissenschaftliche Fragen zum Design von Kraftstoffen ergeben, um die Umweltauswirkungen weiter zu reduzieren. Der bestehende Forschungs- und Entwicklungsbedarf wird neben anderen Projekten und Versuchsanlagen durch den Aufbau einer Plattform zur Entwicklung, Erprobung und

Demonstration unterschiedlicher Produktionsprozesse von Power-to-Liquid-Kraftstoffen (PtL-Plattform) adressiert. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) plant die Umsetzung einer solchen Plattform und erarbeitet gegenwärtig Konzepte. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unterstützt Forschung und Entwicklung im Bereich strombasierter Kraftstoffe im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms, u.a. in der Forschungsinitiative „Energiewende im Verkehr: Sektorkopplung durch die Nutzung strombasierter Kraftstoffe“ und mit den Reallaboren der Energiewende.

Pin Die Errichtung einer marktnahen PtL-Plattform als Bindeglied zwischen Entwicklungsvorhaben und Markthochlauf wird vom BMVI angestrebt.

¹⁰ https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2019/02/20190627_klimaauswirkung-von-wolken-aus-flugzeugkondensstreifen.html

Transportlogistik

Strombasierte Kraftstoffe müssen die Kriterien für einen sogenannten Drop-in-Kraftstoff¹¹ erfüllen. **Dadurch kann von dem Kerosingemisch die vorhandene Infrastruktur vom Erzeuger über die Tanklager am Flughafen bis ins Flugzeug genutzt werden.** Die Belieferung der Flughäfen erfolgt entweder per Pipeline, Lkw oder Bahn. Die Nutzung des

Central European Pipeline System (CEPS) für alternative Kraftstoffe ist bislang noch nicht möglich, weil alle NATO-Länder dem zustimmen müssen. Die Zustimmung Deutschlands steht noch aus. Laut Aussage des Bundesministerium der Verteidigung befinden sich die dafür notwendigen Zulassungsverfahren zurzeit in Klärung.

 Die Akteure der Roadmap setzen sich dafür ein, dass das Central European Pipeline System (CEPS) für nachhaltige Flugkraftstoffe genutzt werden kann.

Nachhaltigkeitskriterien

Im Vergleich zu Einsatzstoffen für die Herstellung von Biokraftstoffen unterliegen strombasierte Kraftstoffe nicht den Mengenbegrenzungen, wie aus limitierten Anbauflächen oder Nutzungskonkurrenzen durch die Verwendung in anderen Sektoren resultieren. Ein zentraler Punkt ist die Festlegung von Kriterien für den bei der PtX-Produktion verwendeten erneuerbaren Strom. Auf globaler Ebene existieren große erneuerbare Stromerzeugungspotenziale, die für die PtL-Kerosinproduktion genutzt werden können. Jedoch unterliegen auch diese ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltig zu erschließenden Potenziale langfristig einer gewissen Begrenzung. Unter anderem ist hierbei die Verfügbarkeit von Süßwasser, der in Anspruch genommenen Flächen und von Rohstoffen für die Herstellung der Anlagen zu bedenken.

Für eine nachhaltige Erzeugung von PtL-Kerosin müssen unterschiedliche Anforderungen im Produktionsprozess erfüllt werden. Im Mittelpunkt stehen hierbei die Versorgung der Produktionsanlagen mit zusätzlichem erneuerbarem Strom, Kohlenstoff aus nachhaltigen Quellen, Wasser sowie die in Anspruch genommenen Flächen für z. B. die erneuerbaren Erzeugungsanlagen oder die CO₂-Abtrennung aus der Luft. Im Hinblick auf eine zukünftig zu erwartende PtL-Kerosinproduktion

an internationalen Standorten sind zudem weitere Nachhaltigkeitsaspekte zu berücksichtigen. Für eine ganzheitliche Betrachtung gehören hierzu die Vermeidung von negativen ökologischen Auswirkungen auf Ökosysteme und natürliche Lebensgrundlagen, z. B. die Wasserverfügbarkeit, die Gewährleistung und die Kosten der örtlichen Energieversorgung sowie die sozialen Auswirkungen großer Infrastrukturprojekte auf die Bevölkerung im Wirkbereich.

¹¹ PtL-Kerosin ist drop-in fähig, d. h. es kann zu fossilem Kerosin beigemischt und ohne Änderung in der Flugzeugflotte sowie bestehender Infrastruktur genutzt werden.

Bisher existieren keine international einheitlichen Nachhaltigkeitsstandards sowie Bilanzierungs- und Zertifizierungssysteme für PtL-Kerosin. Es bedarf daher eines umfassenden Prozesses, um für alle relevanten Aspekte möglichst regional übergreifende Nachhaltigkeitskriterien einzuführen. Für einen globalen Markthochlauf von PtL-Kerosin ist die Etablierung entsprechender Standards und Systeme notwendig. Nur so können Händler und

Nutzer transparent, effizient und zuverlässig nachvollziehen, wie nachhaltig das genutzte Kerosin ist, was Akzeptanz schafft und was den Umwelt- und Klimavorteil sicherstellt. Bei dem Aufbau von globalen Zertifizierungs- und Bilanzierungssystemen kann auf der Erfahrung ähnlicher Systeme für Biokraftstoffe und Strom aus Erneuerbaren Energien aufgebaut werden.



Abbildung 4: Mögliche Nachhaltigkeitsprinzipien für PtL (Quelle: NOW GmbH)

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO

Der ICAO-Umweltausschuss CAEP (Committee on Aviation Environmental Protection) hat über seine Arbeitsgruppe Kraftstoffe (Fuels Task Group, FTG) an der Entwicklung von Verfahren und Methoden zur Berücksichtigung von nachhaltigen Flugkraftstoffen im Rahmen des Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA)¹² gearbeitet, wobei PtL-Kraftstoffe bis jetzt noch nicht gesondert berücksichtigt wurden und die Nachhaltigkeitskriterien für nachhaltige Flugkraftstoffe noch unzureichend sind. Durchgeführt wurde dafür eine Lebenszyklusanalyse, die sowohl Veränderungseffekte durch direkte als auch indirekte Landnutzung

berücksichtigt. Die ICAO einigte sich für die Pilotphase von CORSIA auf zwei verbindliche Nachhaltigkeitskriterien: Nachhaltige Flugkraftstoffe müssen demnach eine THG-Reduktion von mindestens 10 Prozent erreichen und dürfen nicht aus Biomasse hergestellt werden, die auf Land mit hohem Kohlenstoffbestand (Primärwälder), Feucht- und Torfböden angebaut wurden. Die Einhaltung der Kriterien soll zur lokalen, sozialen und wirtschaftlichen Entwicklung unter Vermeidung von Konkurrenz mit Nahrung und Wasser beitragen. Weitere Kriterien sollen bis zum Ende der CORSIA-Pilotphase (2023) genehmigt und damit verbindlich werden.

¹² <https://www.icao.int/environmental-protection/CORSIA/Pages/CORSIA-Eligible-Fuels.aspx>

Europäische Union

Für Europa und damit auch Deutschland gibt die Erneuerbare Energien Richtlinie (RED II) das Einhalten von Nachhaltigkeitskriterien in Bezug auf Biomasse und den Strombezug zur PtX-Herstellung und im Hinblick auf die THG-Minderung für die im Verkehr eingesetzten erneuerbaren Kraftstoffe vor. Dafür muss die Europäische Kommission einen delegierten Rechtsakt vorlegen. Unabhängig davon muss die RED II bis zum 30. Juni 2021 in

deutsches Recht umgesetzt werden. Die THG-Minderung strombasierter Kraftstoffe für den Verkehr muss gemäß RED II seit dem 1. Januar 2021 mindestens 70 Prozent gegenüber dem fossilen Vergleichswert betragen. Die Regelung zur Behandlung von Netzstrom bei der Ermittlung des THG-Werts wird erst im Rahmen eines delegierten Rechtsaktes der Kommission bis Ende 2021 festgelegt.

📌 Nachhaltiges strombasiertes Kerosin kann nur mit zusätzlicher Erneuerbarer Energie erzeugt werden und muss eine bestimmte THG-Minderung aufweisen. Die Kriterien für bilanziellen EE-Strombezug aus einem Netz werden in einem Rechtsakt der Europäischen Kommission geregelt. Dabei ist insbesondere die netz- und systemdienliche Produktion von strombasiertem Kerosin entscheidend. Die Akteure der Roadmap begleiten die Entwicklung dieses Rechtsaktes.

📌 Die Akteure der Roadmap werden sich bei der Weiterentwicklung der Nachhaltigkeitskriterien für PtL-Kerosin dafür einsetzen, dass sich ein einheitlich verbindlicher Standard auf europäischer und internationaler Ebene etabliert.

Förderung des Markthochlaufs

Die PtL-Kerosinproduktion ist weder am Markt etabliert noch unter den jetzigen Rahmenbedingungen wettbewerbsfähig. Um die Situation auf Angebotsseite zu verbessern, fördern der Bund und die Länder die Entwicklung und Produktion von PtL-Kerosin. Die Schaffung eines regulatorischen Rahmens ist zentrales Gegenstück zur Förderung auf Abnahmeseite für den Markthochlauf von PtL-Kerosin. Auf der Nachfrageseite sollte der Markthochlauf unterstützt werden durch freiwillige Abnahmeverpflichtungen durch die Luftverkehrs- und Logistikbranche.

Regulatorischer Rahmen zur Setzung von Marktanreizen

Vorgaben zu langfristigen verbindlichen Zielen und die zur Zielerreichung geregelten Anreize bzw. Verpflichtungen für die Marktakteure dienen auch dazu, Investitionssicherheit zu schaffen. Für den Luftverkehr ist das Zusammenspiel zwischen internationaler, europäischer und nationaler Ebene von großer Bedeutung, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden. Regulatorische Maßnahmen sollten so aus-

gestaltet werden, dass sie einerseits wirkungsvoll und andererseits wettbewerbsneutral sind. Weiterhin sollten sie aber so zeitnah gesetzt werden, dass ein erster Hochlauf von strombasierten PtL-Kraftstoffen bis Mitte der 2020er Jahre stattfindet. Insofern ist es sinnvoll, zunächst regional zu beginnen, um sukzessive auf europäischer bzw. internationaler Ebene vergleichbare Regelungen zu erreichen.

Internationale Zivilluftfahrtorganisation ICAO

Auf der ICAO-Versammlung im Jahr 2013 wurden globale Ziele für den internationalen Luftfahrtsektor festgelegt: Die jährliche Treibstoffeffizienz soll sich um 2 Prozent verbessern und die globalen CO₂-Emissionen auf dem Niveau von 2020 stabilisiert werden (CO₂-neutrales Wachstum ab 2020). Um die globalen Ziele zu erreichen, verfolgt die ICAO ein Bündel von Maßnahmen, darunter Verbesserungen der Flugzeugtechnologie, betriebliche Verbesserungen, den Einsatz nachhaltiger Flugkraftstoffe und marktbasierte Maßnahmen. Zurzeit arbeitet der Umweltausschuss der ICAO an einem langfristigen globalen Klimaschutzziel für den Luftverkehr, das auf der nächsten Versammlung im Jahr 2022 vorgestellt werden soll.

2016 haben die ICAO-Vertragsstaaten ein globales CO₂-Kompensationssystem beschlossen: das Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA). Erreicht werden soll das CO₂-neutrale Wachstum, indem die Fluggesellschaften weltweit CO₂-senkende Klimaschutzprojekte finanzieren. Die Größenordnung der Projekte richtet sich nach den zu kompensierenden Emissionen aus dem Luftverkehr. Im Rahmen von CORSIA können nachhaltige Flugkraftstoffe, die bestimmten Kriterien genügen (siehe Nachhaltigkeitskriterien/ICAO), zur Minderung der CO₂-Emissionen einer Fluggesellschaft angerechnet werden. PtL-Kraftstoffe sind bisher noch nicht gesondert berücksichtigt, sondern lediglich Biokraftstoffe.

Im Jahr 2017 wurde die ICAO Vision 2050¹³ für nachhaltige Flugkraftstoffe aufgesetzt, in der Staaten, Industrie und andere Interessengruppen aufgefordert werden, bis 2050 einen „signifikanten“ Anteil des nachhaltigen Flug-

kraftstoffverbrauchs zu erreichen. Die Höhe dieses Anteils wurde in der ICAO Vision nicht weiter spezifiziert. Deutschland hatte sich dafür eingesetzt, dass auch PtL-Kerosin in der ICAO Vision 2050 berücksichtigt wird.

📌 Die Akteure der Roadmap setzen sich weiterhin dafür ein, dass PtL-Kerosin auf ICAO-Ebene stärker adressiert wird. Dabei müssen auch für strombasierte Kraftstoffe ambitionierte Nachhaltigkeitskriterien erarbeitet, beschlossen und umgesetzt werden, die nicht hinter solchen auf europäischer Ebene zurückfallen.

📌 Die an der Roadmap beteiligten Bundesministerien prüfen, inwiefern bei der Ausgestaltung internationaler Maßnahmen eine höhere Anreizwirkung für den Einsatz von PtL-Kerosin eingeführt werden kann.

Europäische Union

Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED II)¹⁴

Die RED II legt für jeden Mitgliedstaat nationale Ziele für Erneuerbare Energien bis 2030 fest, wobei die Ausgangslage und das Gesamtpotenzial für Erneuerbare Energien berücksichtigt werden. In der RED II werden 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 Prozent bis 2030 beträgt. Die Vorgaben der EU werden in Deutschland mittels der Treibhausgasquote im Bundesimmissionsschutzgesetz und einzelnen darauf basierenden Verordnungen umgesetzt. Die Treibhausgasquote gibt dabei eine prozentuale THG-Minderung vor, um die Inverkehrbringer von Kraftstoffen ihre THG-Emissionen, die durch den Einsatz von

Otto- und Dieselmotoren entstehen, mindern müssen. Die RED II muss bis zum 30. Juni 2021 auf nationaler Ebene umgesetzt werden. Allerdings liegen die anteiligen Kosten für strombasierte Kraftstoffe zumindest für die ersten Anlagen weit über denen alternativer Erfüllungsoptionen der THG-Quote wie z.B. fortschrittlicher Biokraftstoffe oder auch der Nutzung von Stromzertifikaten aus E-Fahrzeugen. Um weitere Kostensenkungen zu ermöglichen, könnte eine Mehrfachanrechnung von Koppelprodukten der PtL-Kerosinproduktion, wie dies auch für die Nutzung grünen Wasserstoffs im Raffinerieprozess vorgesehen ist, als begleitendes Element sinnvoll sein.

Im Zuge der Umsetzung der RED II soll als entscheidender Anreiz zum Hochlauf und zur

¹³ <https://www.icao.int/environmental-protection/pages/SAF.aspx>

¹⁴ Richtlinie(EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen; abrufbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>; zuletzt aufgerufen am 26.8.2020.

Markteinführung von flüssigen strombasierten Kraftstoffen eine energetische PtL-Unterquote für den Luftverkehr eingeführt werden. Die Quote soll die Inverkehrbringer von Kerosin dazu verpflichten, dass der in Deutschland getankte Kraftstoff einen bestimmten Anteil an PtL-Kerosin enthält. Der Anteil soll dabei sukzessive steigen, beginnend ab dem Jahr 2026 mit 0,5 Prozent (entspricht ca. 50.000

Tonnen) und bis 2030 auf 2 Prozent (entspricht ca. 200.000 Tonnen). Auf diese Weise wird die Markteinführung von PtL für den Verkehrssektor sichergestellt, der über keine Antriebsalternative (z.B. elektrisches Fliegen) verfügt. Koppelprodukte, die in der Raffinerie anfallen, können ungeachtet dessen für andere Verkehrsträger eingesetzt werden und auf die THG-Quote angerechnet werden.

Initiative RefuelEU Aviation¹⁵

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. Eine erste öffentliche Konsultation zur Initiative hat im Juni 2020 stattgefunden. Weiterhin hat die Europäische Kommission eine Abfrage zu einem Impact Assessment durchgeführt. Parallel dazu fanden mehrere Treffen mit Mitgliedstaaten statt. Die Ergebnisse aus den Konsultationen

und den Befragungen von Stakeholdern sollen in einer Studie zusammengefasst werden. Die Studie soll auch daraus abgeleitete legislative Handlungsvorschläge enthalten. Ein erster Vorschlag der Kommission soll spätestens im ersten Quartal 2021 vorgelegt werden. Neben finanzieller Förderung nachhaltiger Kerosinproduktion und freiwilligen Verpflichtungen wird insbesondere eine Quote für erneuerbares Kerosin inklusive einer Unterquote für PtL-Kerosin auf europäischer Ebene diskutiert.

📌 Die Akteure der Roadmap setzen sich dafür ein, dass auf europäischer Ebene zeitnah die Rahmenbedingungen für einen selbsttragenden PtL-Kerosinmarkt geschaffen werden und unterstützen die Einführung einer Unterquote für den Luftverkehr ab dem Jahr 2026 zunächst in Deutschland. Bei einer Verpflichtung, die aus der Revision der RED II und/oder der RefuelEU Aviation Initiative resultieren könnte, gilt es, Wettbewerbsnachteile für die europäische Luftverkehrswirtschaft zu vermeiden.

Europäisches Emissionshandelssystem (EU-ETS)

Die Europäische Union nutzt seit dem Jahr 2005 das Emissionshandelssystem als Instrument der Klimaschutzpolitik. Seit Januar 2012 ist auch der Luftverkehr einbezogen. Jede Fluggesellschaft, die innerhalb Europas Flüge durchführt, muss in einem den ausge-

stoßenen CO₂-Emissionen entsprechenden Umfang Zertifikate kaufen. Eine Anrechnung von biogenen Flugkraftstoffen ist möglich. Der Emissionsfaktor für diese Flugkraftstoffe ist Null. Die Emissionshandelsrichtlinie soll im Jahr 2021 für den Luftverkehr bezüglich der

15 <https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/12303-ReFuelEU-Aviation-Sustainable-Aviation-Fuels>

Umsetzung von CORSIA in europäisches Recht und der Ankündigung im Green Deal zur Absenkung der frei zugeteilten Zertifikate angepasst werden. Die Einnahmen des Staates aus

der Versteigerung von Emissionsberechtigungen fließen in den Energie- und Klimafonds. Diese Mittel werden u.a. für die Förderung des Markthochlaufes von PtL-Kraftstoffen genutzt.

-
- 📌 Die an der Roadmap beteiligten Bundesministerien prüfen, ob und wie Einnahmen aus dem EU-ETS auch weiterhin für die Förderung von PtL-Kerosin verwendet werden können.
 - 📌 Die an der Roadmap beteiligten Bundesministerien prüfen, ob und wie eine Mehrfachanrechnung für PtL-Kerosin im Rahmen des EU-ETS erfolgen kann, wenn Fluggesellschaften dieses über die Quotenerfüllung durch die Inverkehrbringer hinaus erwerben.
 - 📌 Da PtL-Kraftstoffe zunächst nicht flächendeckend verfügbar sein werden, prüfen die an der Roadmap beteiligten Akteure die Möglichkeit der Etablierung zuverlässiger Bilanzierungsregeln, welche es Fluggesellschaften unabhängig von ihrem Streckennetz ermöglichen, PtL-Kerosin zu kaufen und im Rahmen entsprechender Bilanzierungssysteme anzurechnen. Die Anrechnung des THG-Minderungseffektes darf in der europäischen Klimabilanzierung für das Pariser Abkommen nur einmal erfolgen. Ebenso muss hierbei geprüft werden, wie eine potenzielle Doppelzählung von Emissionsminderungszertifikaten im Rahmen von CORSIA ausgeschlossen werden können.
-

Staatliche Förderung

Bund

Der Bund fördert die Entwicklung und die Produktion von PtX-Produkten und Technologien in einer Vielzahl von Projekten und Initiativen auf nationaler und internationaler Ebene, um einen selbsttragenden Markt zu unterstützen. Ausgewählte Fördermaßnahmen werden im Folgenden beispielhaft dargestellt. Für weitere Informationen wird auf die Internetseiten der jeweiligen Bundesministerien verwiesen.

Aus dem Energie- und Klimafonds stehen dem **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)** insgesamt 1,3 Mrd. Euro für die Erzeugung und den Markthochlauf sowie die Entwicklung von erneuerbaren Kraftstoffen aus Strom und fortschrittlicher Biomasse zur Verfügung. Aktuell werden entsprechende Förderrichtlinien mit Unterstützung der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brenn-

stoffzellentechnologie (NOW) vom BMVI entwickelt. Eine Förderrichtlinie zur Entwicklung erneuerbarer Kraftstoffe soll im 1. Quartal 2021 veröffentlicht werden. Die Veröffentlichung einer weiteren Förderrichtlinie, welche ebenfalls PtL-Kerosin adressiert, wird für das 3. Quartal 2021 angestrebt. Insbesondere aufgrund der umfangreichen Förderung ist hier eine beihilferechtliche Genehmigung durch die Europäische Kommission erforderlich. Im Schnitt werden für die Konzeption und den Bau einer PtL-Anlage drei bis vier Jahre veranschlagt. Eine Produktion von PtL-Kerosin aus geförderten Anlagen wird daher frühestens ab 2025 erwartet.

Das **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)** unterstützt im Rahmen der Forschungsinitiative „Energiewende im Verkehr: Sektorkopplung durch die Nutzung

strombasierter Kraftstoffe“ Forschungsprojekte zur Herstellung und Nutzung von alternativen, strombasierten Kraftstoffen mit ca. 87 Mio. Euro. Dazu hat das BMWi getreu dem Ansatz „Förderpolitik aus einem Guss“ seine Programme zur Energieforschung, zur Forschung und Entwicklung für Verkehrstechnologien sowie maritime Technologien gekoppelt und Synergien genutzt. Basierend auf den Forschungsergebnissen soll unter Leitung des DLR bis 2022 eine Roadmap entstehen, die Handlungsempfehlungen für die Entwicklung, Produktion und Markteinführung von nachhaltigen Kraftstoffen gibt. Weiterhin bildet unter den 20 Gewinnern des ersten Ideenwettbewerbs „Reallabore der Energiewende“ das Themenfeld Sektorenkopplung und Wasserstofftechnologien einen besonderen Schwerpunkt. Einige dieser Konsortien planen, Wasserstoff und Folgeprodukte (z.B. Methanol) für den Einsatz im Mobilitätssektor zur Verfügung zu stellen. Um insbesondere eine Förderung der Betriebskosten für Reallaborvorhaben und eine Förderdauer von bis zu 10 Jahren zu ermöglichen, wurde eine Förderrichtlinie mit der Europäischen Kommission abgestimmt, die zeitnah notifiziert werden soll. Als erstes Wasserstoff-Reallabor ist 2020 Westküste 100¹⁶ gestartet.

Das **Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)** fördert seit 2015 auf internationaler Ebene im Rahmen der Internationalen Klimaschutzinitiative Projekte zum Thema PtL-Kerosin (z.B. in Brasilien). Darüber hinaus wurde 2019 der International PtX-Hub Berlin¹⁷ eingerichtet, der u.a. ein Konzept für Nachhaltigkeitsanforderungen von PtX-Kraftstoffen erarbeitet und den Hochlauf von PtL-Kerosin auf globaler Ebene unterstützt. Zudem wird vom BMU ein PtX-Kompetenzzentrum in Cottbus inklusive einer Anlage zur Erzeugung von PtL-Kerosin aufgebaut. Über eine Förderrichtlinie des BMU sollen darüber hinaus weitere Mittel zur Erzeugung und Anwendung von strombasierten Kraftstoffen für den Luftverkehr bereitgestellt werden.

Im vom **Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)** geförderten Kopernikus-P2X-Projekt¹⁸ wird Grundlagenforschung zur Optimierung der Wasserstoffproduktion und Weiterverarbeitung betrieben. Der Fokus liegt hierbei nicht auf der Kraftstoffproduktion. Allerdings liefert das Projekt wichtige technische Erkenntnisgewinne, die auch bei der PtL-Kerosinproduktion genutzt werden können.

Das **Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)** hat im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie eine „Allianz zur Entwicklung des Power-to-X-Sektors“¹⁹ mit Marokko vereinbart, welche den Bau einer Referenzanlage vorsieht. Gegenwärtig wird eine mögliche Kerosinproduktion diskutiert.

¹⁶ <https://www.westkueste100.de/>

¹⁷ <https://ptx-hub.org/>

¹⁸ <https://www.kopernikus-projekte.de/projekte/p2x>

¹⁹ <http://www.bmz.de/de/themen/wasserstoff/index.html>

Bundesländer

Aufgrund der Planung von konkreten Demonstrationsvorhaben zur Herstellung von PtL, des Aufbaus von Kompetenzzentren sowie des Aufbaus von Forschungslandschaft kommt den Ländern bei der Umsetzung des Markthochlaufs eine entscheidende Rolle zu.

Die Länder haben erstmals bei der Verkehrsministerkonferenz (VMK) im Frühjahr 2020 einen Tagesordnungspunkt zur Unterstützung des Markthochlaufs für alternative Antriebe und Kraftstoffe im Luftverkehr eingebracht. Im Arbeitskreis Luftverkehr, dem Untergremium der Gemeinsamen Konferenz der Straßen- und Verkehrsabteilungsleiter, wurde verabredet, dass Hessen als Vorsitzland des Arbeitskreises Luftverkehr unter den Ländern einen Informationsaustausch organisiert und die Länderbeteiligung an Abstimmungs-

prozessen mit dem Bund koordiniert. Bereits heute sind eine Reihe von Bundesländern gemeinsam mit Partnern aus Industrie und Forschung aktiv, um Projektkonsortien zu initiieren und zu unterstützen. Ziel ist hierbei, dass verschiedene technische Optionen weiter untersucht und für die Praxis getestet werden, um den Markthochlauf zu unterstützen und mit zu gestalten. Eine vom Bund initiierte und geplante Förderung von Erzeugungsanlagen unterschiedlicher Technologiepfade für strombasierte Kraftstoffe im Luftverkehr ist wichtig, um an verschiedenen Standorten mit ihren spezifischen Voraussetzungen den sukzessiven Aufbau von Anlagen im In- und Ausland im Demonstrationsmaßstab erproben und umsetzen zu können. Eine Übersicht der einzelnen Initiativen ist als Anlage beigefügt.

-
- 📌 Die beteiligten Bundesministerien überprüfen, inwieweit der Bund auch auf der Nachfrageseite tätig werden kann.
 - 📌 Die Fördergeber werden sich aktiv über die geförderten PtL-Kerosin-Projekte austauschen, um Erkenntnisgewinne für den Markthochlauf nutzen zu können. Für den Austausch zwischen Bund und Ländern wird der Arbeitskreis Luftverkehr der Verkehrsministerkonferenz genutzt.
-

Beiträge der beteiligten Wirtschaftsakteure

Der Markthochlauf für PtL-Kerosin erfordert Projekte, die den Bau von Produktionsanlagen zum Ziel haben. Beginnend mit Demonstrationsanlagen über Pilotanlagen bis hin zur industriellen Fertigung sind gemeinsame Aktivitäten aller Akteure dieser PtL-Roadmap erforderlich, um den Markthochlauf zu realisieren.

Neben der Klimakompensation von Flügen, aus deren Einnahmen Klimaschutzprojekte finanziert werden, können Fluggesellschaften Passagieren und Unternehmen ermöglichen, die CO₂-Emissionen von Flügen durch den Kauf von nachhaltigem Flugkraftstoff zu reduzieren (z. B. Lufthansa mit ihrem Programm COMPENSAID²⁰).

²⁰ <https://compensaid.com/>

-
-  Die Unternehmen der unterzeichnenden Verbände verpflichten sich, insbesondere bei staatlich geförderten Pilotprojekten zur Produktion von PtL-Kerosin ihr Know-how einzubringen und Abnahmeverpflichtungen einzugehen.
 -  Der Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft unterstützt eine europäische Quote für PtL-Kerosin, wie sie in der RefuelEU Aviation Initiative diskutiert wird, soweit eine wettbewerbsneutrale Ausgestaltung gewährleistet ist.
 -  Die an der Roadmap beteiligten Fluggesellschaften werden ihren Passagieren die Möglichkeit anbieten, PtL-Kerosin zur Klimakompensation zu nutzen, sobald dieses am Markt verfügbar ist.
-

Best Practices für die PtL-Kerosinproduktion und -nutzung

Zur Überprüfung der Zielerreichung werden die PtL-Kerosin-Projekte der Akteure der Roadmap in einer öffentlich zugänglichen Datenbank aufgelistet. Sie wird je nach Projektfortschritt aktualisiert.

Die Projektdatenbank dient auch als Basis für die regelmäßigen Treffen, in denen sich die Akteure der Roadmap über den Fortschritt bei der Zielerreichung austauschen.

Initiativen der Bundesländer zur Forschung an PtL und zum Aufbau von Demonstrationsvorhaben

Projekt-/Studienbezeichnung	Inhalt
Baden-Württemberg	
reFuels-Kraftstoffe neu denken: Forschung und Pilotanlage (KIT u. a.)	Teil des Projektes ist die Vorplanung einer Demonstrationsanlage auf dem Gelände der MiRO (Mineralölraffinerie Oberrhein in Karlsruhe) für reFuels mit bis zu 50.000 Tonnen pro Jahr. Das Projekt ist verbunden mit wissenschaftlicher Begleitung, critical review und weiteren Optimierungsteilschritten. Ziel ist eine Fischer-Tropsch-Anlage, die PtL-Kerosin, Diesel und Naphtha erzeugt.
Machbarkeitsstudie zur Erzeugung von synthetischem Kerosin aus Zementwerk-Abgasen- CO ₂ als Rohstoff für reFuels (Ineratec)	Ergebnis: Prozessbedingtes CO ₂ aus Zementwerksabgasen ist als Rohstoff für die Erzeugung von reFuels nutzbar. Mit dem CO ₂ eines großen Zementwerkes könnte der Kerosinbedarf des Stuttgarter Flughafens (120.000–150.000 Tonnen pro Jahr) doppelt gedeckt werden (bei geltender max. 50 Prozent Beimischung).
Pilotanlage zur CO ₂ -Abscheidung (CI4C)	Die Gesellschaft „Cement Innovation ForClimate“ (CI4C) aus Buzzi/Dyckerhoff, HeidelbergCement, SCHWENK Zement und VICAT arbeitet gemeinsam am Projekt „catch4climate“, einer Oxyfuel-Testanlage am Zementwerk von Schwenk in Mergelstetten. Damit verbunden sind Forschungsüberlegungen zu Nutzung und Transport.
Pilotanlage in Mergelstetten (Ineratec/SCHWENK)	Planung einer PtL-Pilotanlage zur Herstellung von Kerosin am Standort von SCHWENK in Mergelstetten. Zement-Abluft wird direkt in eine skalierbare 1-MW-Containeranlage eingeleitet.
Projekt SAF@STR	Machbarkeitsstudie und weitere Planung unter Beteiligung des Verkehrsministeriums BW, Flughafen Stuttgart und SkyNRG. Ziel ist die Herstellung von Sustainable Aviation Fuels (SAF) für den Flughafen Stuttgart. Stadium der Projektierung. Geplantes Volumen: 120.000 Tonnen pro Jahr.
Karlsruhe Institute for Technology (KIT)	Studie zur Nutzung von CO ₂ aus der Luft als Rohstoff für synthetische Kraftstoffe und Chemikalien (veröffentlicht 2/2021).
IPCEI-Förderantrag „SolarHy Córdoba“ (Viridi RE GmbH)	In Córdoba sollen mit einer neuen PV-Anlage grüner Strom und Wasserstoff erzeugt werden. Der Wasserstoff soll mit verschiedenen innovativen Transportvarianten zur MiRO gebracht und dort zur PtL-Erzeugung verwendet werden.
Roadmap für reFuels für Baden-Württemberg (ZSW)	Die Roadmap vereint die Ergebnisse von rund 20 Projekten im Programm reFuels und dient der strategischen Ausrichtung. Sie ergänzt die Wasserstoff Roadmap BW, indem sowohl die Mikroebene (z. B. heutige Kraftstoffrouten, -bereitstellungspfade, Nachfrage-Szenarien) als auch die Makroebene (z. B. Marktanalyse, Zielmärkte für Technologieexport, Partnerländer, internationale Wettbewerbsanalyse) detailliert betrachtet, politische Handlungsempfehlungen sowie Maßnahmen zur Umsetzung vorgeschlagen werden.
Bayern	
Weiterentwicklung des Campus Straubing (TUM) zu einem Referenzzentrum für synthetische Kraftstoffe	Im Forschungszentrum „Synthetische Kraftstoffe“ sollen mittels geplanter Innovationsmaßnahmen neue Technologien und Prozesse im Bereich innovativer, CO ₂ -neutraler Kraftstoffe und biobasierter Chemikalien entwickelt und zur wirtschaftlichen Anwendung gebracht werden.
Planung des Aufbaus einer Mehrzweck-Demoanlage der industriellen Biotechnologie in Straubing	Biotechnologische Verfahren für synthetische Kraftstoffe und biobasierte Chemikalien sollen zur „Industrietauglichkeit“ skaliert werden. Die Demoanlage soll in Straubing errichtet werden.
Ausbau der vorhandenen Kompetenzen an den Forschungsinstituten in Straubing	In Straubing sind Kompetenzen im Bereich synthetischer Kraftstoffe am Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, Institutsteil „Bio-, Elektro- und Chemokatalyse BioCat“ vorhanden, die unter dem Vorbehalt der Haushaltsaufstellung weiter ausgebaut werden sollen.

Projekt-/Studienbezeichnung	Inhalt
Brandenburg	
Hy2Lausitz	Erzeugung von grünem Methanol auf Basis von Wasserstoff und unter Nutzung von abgeschiedenem CO ₂ . EE-strombasierte Erzeugung von grünem Wasserstoff und synthetischen Brenn- und Kraftstoffen im industriellen Maßstab von 70+5 MW. Veräußerung des synthetischen Methanols an Raffinerien, um die geltenden EU-Richtlinien für den Verkehrssektor zu erfüllen.
PtX Lab Lausitz inkl. Demoanlage	Das PtX Lab Lausitz soll als Wissensvermittler, Stakeholder-Plattform, Impulsgeber im Bereich PtX agieren und wird aus Mitteln des BMU gefördert. Das Land unterstützt bei der Suche nach geeigneten Standorten für die geplante PtL-Demonstrationsanlage. Im Zuge der Errichtung des PtX Lab Lausitz sollen rund 80 neue Arbeitsplätze in Cottbus geschaffen werden, weitere indirekte Arbeitsplätzen werden erwartet. Am 2.3.2021 fand eine (virtuelle) Auftaktveranstaltung statt.
HyEast - Entwicklung einer H ₂ -Modellregion	Machbarkeitsstudie zu „Green Hydrogen“ zur Herstellung grünen Wasserstoffs zur Produktion von eFuels abgeschlossen. Aufbau einer 50 MW-Elektrolyse zur Herstellung und Nutzung von grünem Wasserstoff in der PCK Raffinerie (u.a. Herstellung von Flugkraftstoffen) und für die Mobilität.
EWiK – Energiewende im Kleinen	Demonstration und Erforschung der dezentralen e-Fuel-Herstellung im MW-Maßstab zur lokalen Nutzung erneuerbarer Energien und Anwendung in der Luft- und Schifffahrt. Projektträger ist Rolls-Royce – Standortauswahl erfolgt im Rahmen der 1. Projektphase in 2021.
GG2L – Green Gas to Liquid	Industrielle Produktion nachhaltiger CO ₂ -neutraler Kraftstoffe für die Luftfahrt (ALF – Advanced Liquid Fuel UG).
Bremen	
KEROSyN100	Im Rahmen des BMWi-geförderten Forschungsprojektes KEROSyN100 wird eine Power-to-Liquid-Anlage zur Herstellung von synthetischem Kerosin über die Methanol-Route entwickelt. Die Umsetzung einer entsprechenden Demonstrationsanlage ist an der Raffinerie Heide vorgesehen. Neben der Integration in eine Erdölraffinerie wird die übergeordnete Integration in das Energiesystem analysiert, wobei die Projektkoordination durch die Uni Bremen erfolgt. Kooperationspartner sind CAC, DLR, IKEM, TU Bergakademie Freiberg, Raffinerie Heide und SKL.
Wasserstoff – grünes Gas für Bremerhaven	Aufbau und Inbetriebnahme eines Elektrolyse-Testfelds auf dem Gelände des ehemaligen Flugplatzes Luneort in Bremerhaven sowie die Entwicklung von Anwendungsfällen. Bei den Anwendungsentwicklungen sollen verschiedene Anlagen im Labormaßstab u. a. zur Herstellung von grünem synthetischem Erdgas entwickelt werden, um darauf aufbauend Pilotanlagen realisieren zu können. Zudem Prüfung der Realisierung von PtL-Anlagen.
Hamburg	
„BLANCAIR to X – Kraftstoffe aus Wasser & Luft“	Derzeit wird das Projekt neu aufgestellt. Es werden Investoren gesucht, um die erforderlichen Finanzmittel für die Entwicklung und Serienreifmachung einer DAC-Maschine (direct-air-capture) zu beschaffen. Anfang 2022 soll der erste Prototyp in den Markt gehen.

Projekt-/Studienbezeichnung	Inhalt
Hessen	
Kompetenzzentrum für Klima- und Lärmschutz im Luftverkehr	Gründung des Kompetenzzentrums „CENA“ („Centre of Competence Climate, Environment and Noise Protection in Aviation“) im Januar 2020. Ein Schwerpunkt ist das Thema SAF – insbesondere strombasierte synthetische Kraftstoffe für den Luftverkehr. Aufgaben umfassen sowohl Studien und Konzepte für die Organisation und Steuerung des Markthochlaufs für PTL, die enge Zusammenarbeit mit der Fraport AG als Betreiberin des größten deutschen Flughafens sowie in Frankfurt/Main schwerpunktmäßig angesiedelter Airlines als auch das Voranbringen konkreter Pilotanlagen in Hessen.
Industriepark Hoechst als Technologie-Hub für alternative Kraftstoffe in Hessen	Als Plattform und Standort für verschiedene Projekte wird der in unmittelbarer Nähe zum Frankfurter Flughafen liegende Industriepark Hoechst (IPH) dienen, der als Innovationshub für nachhaltige Kraftstoffe und chemische Grundstoffe ausgebaut werden soll. Konkret will die INERATEC GmbH dort aus recyceltem biogenen CO ₂ nachhaltige Kraftstoffe produzieren. CAPHENIA plant dort die erste Anlage für ein alternatives Verfahren für Power-and-Biogas-to-Liquid (PbTL), das sich noch im F&E-Stadium befindet. In einem weiteren F&E-Projekt „RePoSe“ (Real-time Power Supply eFuel) arbeitet das Kompetenzzentrum (CENA) an einem Konzept für die praktische Erprobung der PtL-Produktion bei variabler Stromversorgung durch erneuerbare Energien. Weitere Projekte befinden sich in Konzeptions- und Prüfphase.
Koordinierung der Bundesländer und Aufbau eines Dialogs zu SAF	Organisation eines Informationsaustauschs und Koordinierung der Länderbeteiligung
Mecklenburg-Vorpommern	
Wasserstoff-Leistungszentrum Norddeutschland	Am Standort Rostock-Laage errichtet die Apex Energy eine 2-MW-Wasserstoffanlage, um Gewerbe, Zivilflughafen und kritische Infrastruktur CO ₂ -neutral als Energiedienstleister zu versorgen.
„E-Kerosin-aus-der-Luft“ am Innovationsflughafen Rostock-Laage	Projekt zum Aufbau einer Technologieplattform zur Entwicklung, praktischen Erprobung und Markteinführung von innovativen und wirtschaftlichen Verfahren und Technologien zur Dekarbonisierung des Verkehrs. Vorgesehen sind die Herstellung von 750 kg/d grünem PtL-Kerosin (1.000 Liter/Tag), 405 kg/d grünem Naphtha und 265 kg/d grünem Wasserstoff. Das Projekt wird getragen von dem Konsortium Landkreis Rostock, Flughafengesellschaft Rostock-Laage und EDL Anlagenbau GmbH. Partner sind die WEMAG und verschiedene Institute der Universität Rostock.
Niedersachsen	
CCU P2C Salzbergen (Reallabor der Energiewende)	Gewinnung von CO ₂ aus den Rauchgasen einer lokalen Müllverbrennungsanlage (CCU) als Rohstoff für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen und Spezialchemikalien (P2C) unter Verwendung von grünem Wasserstoff (Konsortialführer: H&R Chemisch Pharmazeutische Spezialitäten GmbH).
DOW Stade – Green MeOH (Reallabor der Energiewende)	Gewinnung von CO ₂ aus den Abgasen eines Gaskraftwerks des Chemieunternehmens DOW und Herstellung von Methanol durch Zugabe von grünem Wasserstoff. Einsatz des Grundstoffs in der chemischen Industrie und im Verkehrssektor.
GG2L – Green Gas to Liquid	Aufbau einer skalierbaren Produktionsanlage (1.000 Liter/Tag) zur Herstellung von nachhaltigem Flugkraftstoff (SAF) PtL-Kerosin und Wasserstoff über Fischer-Tropsch-Synthese (EDL Anlagenbau GmbH, XFuels GmbH sowie u.a. CUTECH).
CUTECH Forschungszentrum	FuE zu Syntheseverfahren und PtX, verschiedene laufende Forschungsvorhaben zur Erzeugung regenerativer Kraft-, Brenn- und Chemiegrundstoffe (z. B. FlexDME, CO2OL)

Projekt-/Studienbezeichnung	Inhalt
Nordrhein-Westfalen	
PtL Durchführbarkeitsstudie Shell Rheinland Raffinerie Köln,	Studie zur Klärung der Durchführbarkeit einer PtL-Demonstrationsanlage zur Produktion flüssiger Power-to-Liquid-Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien. Ziel ist die Integration in die Rheinland Raffinerie unter Nutzung der bestehenden Synergien. Außerdem: Klärung der regulatorischen Rahmenbedingungen sowie der Wirtschaftlichkeit der Anlage, auch mit Blick auf Marktpotential. Diese Studie ist abgeschlossen, das weitere Vorgehen wird derzeit beraten.
DLR-Institut Future Fuels in Jülich	Das DLR-Querschnittsprojekt „Future Fuels“ erforscht synthetische Kraftstoffe in unterschiedlichen Teilprojekten. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Aufgabenstellungen soll das Thema Future Fuels aus einer ganzheitlichen Perspektive betrachtet werden und Faktoren wie Wirtschaftlichkeit, Leistungsfähigkeit, Versorgungssicherheit und gesellschaftliche Akzeptanz miteinbeziehen.
Center for Vertical Mobility	Kompetenz- und Testzentrum für die Themen der vertikalen Mobilität; unterschiedliche Forschungs- und Entwicklungsprojekte geplant, u.a. „Höhenwindenergieanlagen“ (Airborne Wind Energy) zur hocheffizienten klimaneutralen Energiegewinnung; Muster- und Versuchsanlage geplant, an der auch ergänzend mit einem „Power-to-Liquid“-Ansatz die Erzeugung von Wasserstoff aus Windstrom erforscht werden soll. Das Projekt befindet sich in der fortgeschrittenen Antragsphase.
Rheinland-Pfalz	
Elektrolyseanlage für Wasserstoff aus regenerativen Energien	Standort Energiepark Mainz: Nutzung des erzeugten Wasserstoffs für den Verkehrsbereich inkl. Möglichkeiten zum Ausbau der Nutzung zur Herstellung von synthetischem Kerosin.
Produktionsanlage in Speyer auf Basis des Alcohol-to-Jet-Verfahrens	Geplante Erzeugung von jährlich 60.000 Tonnen erneuerbare Kohlenwasserstoffe, moderne Biokraftstoffe und nachhaltige Flugkraftstoffe (Sustainable Aviation Fuels) aus zuckerhaltigen landwirtschaftlichen Reststoffen ab dem Jahr 2024.
Sachsen	
EDL Anlagenbau GmbH	Unter dem Titel „HyKero“ plant die EDL Anlagenbau GmbH am Standort Böhlen-Lippendorf die Errichtung und den Betrieb einer PtL-Anlage im industriellen Maßstab. Die Anlage soll vsl. ab Ende 2025 jährlich 42.000 Tonnen SAF-Kerosin, 11.000 Tonnen Naphtha und 1.500 Tonnen grünen Wasserstoff produzieren. Zudem plant die EDL Anlagenbau GmbH gemeinsam mit dem Fraunhofer IKTS das Projekt „PtX 1.0“ – Grüne Wasserstoffwirtschaft Sachsen: Technologie-Demonstrator Power-to-X 1.0. Vorgesehen ist die Herstellung von 750 kg/d grünem PtL-Kerosin. Partner sind EAT/DHL.
Sunfire GmbH	Bereits in 2014 errichtete die Sunfire GmbH in Dresden die Demonstrationsanlage „Fuel 1“ zur Produktion von mehr als drei Tonnen e-crude. Aktuell plant das Unternehmen mit Partnern in den Projekten „Norsk e-Fuel“, „France KerEAUzen“ und „Concrete Chemicals“ zunächst Anlagen mit Produktionskapazitäten von bis zu 10 Millionen Litern synthetischen Kraftstoff pro Jahr in Norwegen, Frankreich und Deutschland sowie mittelfristig eine weitere Skalierungsstufe auf bis zu 100 Millionen Liter.
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme	Arbeit an verschiedenen nationalen und internationalen Forschungsprojekten, bspw. „Colissy“, „Synlink“ und „Arenha“ zur Synthese von hochwertigen Kohlenwasserstoff-Produkten aus CO ₂ sowie zur CO ₂ -freien Produktion von Ammoniak mit nachfolgender Rückverstromung in einer Festoxidbrennstoffzelle/Solid oxide fuel cell (SOFC).

Projekt-/Studienbezeichnung	Inhalt
TU Bergakademie Freiberg – Institut für Energieverfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen	Verschiedene abgeschlossene und laufende Forschungsprojekte (EKEROSYN, Innosynfuels). U. a. war die TU BAF am BMVI-Projekt „DEMO-SPK“ beteiligt, ein Forschungs- und Demonstrationsvorhaben zum Einsatz von erneuerbarem Kerosin am Flughafen Leipzig/Halle. In einer Kurzstudie wurden die Möglichkeiten und Grenzen der thermo-chemischen Nutzung von Abfall zur Herstellung von Kerosin für die Luftfahrt untersucht.
Sachsen-Anhalt	
Elektrolysetest- und -versuchsplattform ELP	Pilotanlage zur Produktion von grünem Wasserstoff zur emissionsarmen Herstellung von Grundchemikalien und Kraftstoffen. Das Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse CBP in Leuna und das Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur von Werkstoffen und Systemen IMWS in Halle (Saale) bündeln dazu ihre Kräfte.
Schleswig-Holstein	
Reallabor Westküste 100 bei der Raffinerie Heide	Befindet sich im Antragsstadium. Inhalt: Entstehung einer regionalen Wasserstoffwirtschaft im industriellen Maßstab. Der Forschungs- und Entwicklungsansatz ist, aus Offshore-Windenergie grünen Wasserstoff zu produzieren und die dabei entstehende Abwärme und den Sauerstoff zu verwenden. Im Anschluss soll der grüne Wasserstoff sowohl für die Produktion klimafreundlicher Kraftstoffe für Flugzeuge genutzt als auch in Gasnetze eingespeist werden. Für die Kraftstoffherstellung wird Wasserstoff aus der Elektrolyse und unvermeidbares CO ₂ aus der regionalen Zementproduktion in Schleswig-Holstein für den Herstellungsprozess eingesetzt.

Impressum

Herausgeber

**Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und nukleare
Sicherheit (BMU)**
Stresemannstraße 128 - 130 | 10117 Berlin
www.bmu.de

**Bundesministerium für Verkehr
und digitale Infrastruktur (BMVI)**
Invalidenstraße 44 | 10115 Berlin
www.bmvi.de

**Bundesministerium für Wirtschaft
und Energie (BMWi)**
Scharnhorststraße 34-37 | 10115 Berlin
www.bmwi.de

**Bundesministerium für wirtschaftliche
Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ)**
Stresemannstraße 94 | D-10963 Berlin
www.bmz.de

**Bundesverband der Deutschen
Luftverkehrswirtschaft e. V. (BDL)**
Friedrichstraße 79 | 10117 Berlin
www.bdl.aero

Redaktion

Uta Maria Pfeiffer
Leiterin Nachhaltigkeit
Bundesverband der Deutschen
Luftverkehrswirtschaft e. V.
Friedrichstraße 79 | 10117 Berlin
info@bdl.aero

Matthias Spöttle
Programm Manager
Regenerative Kraftstoffe
NOW GmbH Nationale Organisation
Wasserstoff- und
Brennstoffzellentechnologie
Fasanenstraße 5 | 10623 Berlin
www.now-gmbh.de
kontakt@now-gmbh.de