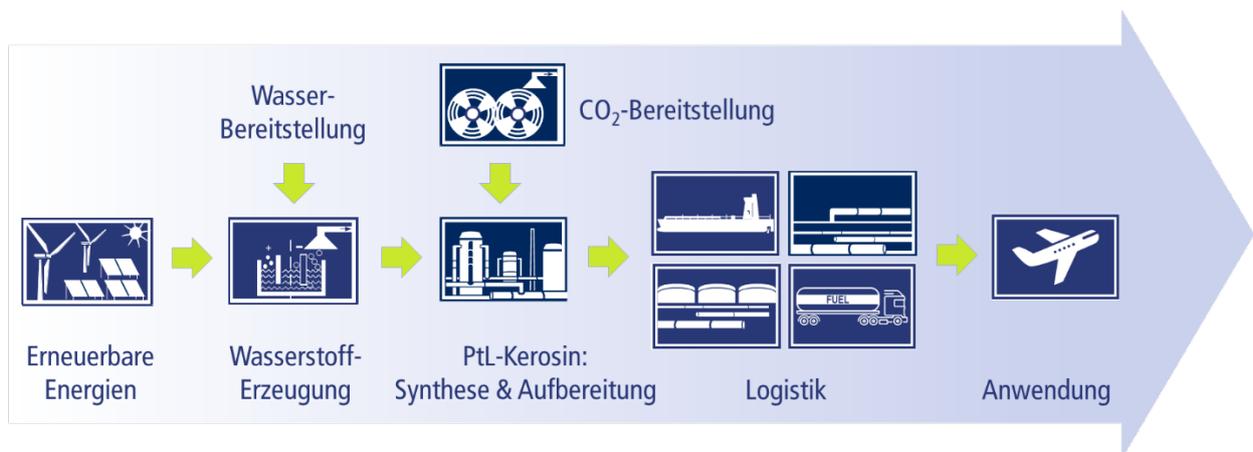


ENTWICKLUNG VON PTX-NACHHALTIGKEITSSTANDARDS UND -INDIKATOREN



IM AUFTRAG DES PTX LAB LAUSITZ



ENTWICKLUNG VON PTX-NACHHALTIGKEITSSTANDARDS UND -INDIKATOREN

EINE EXPERTISE IM AUFTRAG DES PTX LAB LAUSITZ

ABSCHLUSSBERICHT

Matthias Altmann – LBST
Patrick Schmidt – LBST
Pierre Krenn – LBST
Yanni Sandro Astono – LBST
Horst Fehrenbach – ifeu
Nabil Jan Abdalla – ifeu

19. August 2022



**Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
LBST**

Daimlerstr. 15
85521 Ottobrunn (München)
www.lbst.de



**ifeu - Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg gGmbH**

Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg
www.ifeu.de

R E P O R T

Haftungsausschluss

Der Mitarbeiterstab der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH und des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH hat diesen Bericht erstellt.

Die Sichtweisen und Schlüsse, die in diesem Bericht ausgedrückt werden, sind jene der Mitarbeiter*innen der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH bzw. des ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH. Alle Angaben und Daten sind sorgfältig recherchiert. Allerdings gibt weder die Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH noch das ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH noch irgendeiner ihrer Mitarbeiter*innen, Vertragspartner oder Unterauftragnehmer irgendeine ausdrückliche oder implizierte Garantie oder übernimmt irgendeine rechtliche oder sonstige Verantwortung für die Korrektheit, Vollständigkeit oder Nutzbarkeit irgendeiner Information, eines Produktes oder eines enthaltenen Prozesses, oder versichert, dass deren Nutzung private Rechte nicht verletzen würden.

INHALT

TABELLEN	III
ABBILDUNGEN	V
ABKÜRZUNGEN	VI
ZUSAMMENFASSUNG	VII
1 HINTERGRUND UND VORGEHEN	11
1.1 Nachhaltigkeit von PtL	11
1.2 Ziel der Studie.....	12
1.3 Methodische Vorgehensweise	13
2 GRUNDLAGEN ZUR ENTWICKLUNG VON NACHHALTIGKEITSANFORDERUNGEN FÜR PTL-KEROSIN	14
2.1 Allgemeine Nachhaltigkeitsdimensionen für PtX	14
2.2 Erkenntnisse aus der Literatur	15
2.3 Erkenntnisse aus Interviews und Workshop mit Expert*innen.....	17
2.3.1 Allgemeine Fragen zum Komplex:	17
2.3.2 Fragen zur CO ₂ -Quelle, Strom und THG-Bilanz-Komplex	18
2.3.3 Weitere Nachhaltigkeitskriterien	19
2.3.4 Weitere Aspekte.....	19
2.3.5 Expert*innen-Workshop	19
2.4 Grundsätzliche Anforderungen an ein Kriteriensystem.....	19
3 NACHHALTIGKEITSANFORDERUNGEN UND INDIKATOREN FÜR PTL IN DER LUFTFAHRT	21
3.1 Anforderungen an Strom.....	22
3.1.1 Nachhaltigkeitsaspekte	23
3.1.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	26
3.2 CO ₂ -Quellen.....	28
3.2.1 Nachhaltigkeitsaspekte	28
3.2.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	32
3.3 Treibhausgasminderung	33
3.3.1 Nachhaltigkeitsaspekte	34
3.3.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	38
3.4 Ressourceneffizienz.....	39

3.4.1	Nachhaltigkeitsaspekte	40
3.4.2	Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	42
3.5	Wasserverfügbarkeit	44
3.5.1	Nachhaltigkeitsaspekte	44
3.5.2	Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	44
3.6	Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung	46
3.6.1	Nachhaltigkeitsaspekte	47
3.6.2	Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	49
3.7	Soziale Standards.....	50
3.7.1	Nachhaltigkeitsaspekte	51
3.7.2	Langfristiger vs. kurzfristiger Standard	52
4	ZERTIFIZIERUNGSSYSTEM.....	59
4.1	Aufgaben von Standardhalter und Zertifizierungssystem	60
4.2	Empfehlungen zur Integration in ein Zertifizierungssystem	63
5	EMPFEHLUNGEN	65
5.1	Weiterentwicklung Standard	65
5.2	Anwendung des Standards in Deutschland	65
5.3	Umsetzung des Standards in einem Zertifizierungssystem	66
5.4	Politik	66
5.5	Anforderungen an konventionelle Treibstoffe bzw. Energieträger	66
5.6	Wirtschaft.....	67
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	68
7	DANKSAGUNG.....	70

TABELLEN

Tabelle 1:	Betrachtete Dokumente und ihre Zuordnung	15
Tabelle 2:	Auswertung der betrachteten Dokumente nach darin enthaltenen Kriterien	16
Tabelle 3:	Kriterien des fairfuel Standards für Zusätzlichkeit von EE-Strom	25
Tabelle 4:	Kriterien zu Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	27
Tabelle 5:	Indikatoren zur Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit für den langfristigen Standard.....	27
Tabelle 6:	Nachhaltigkeitsaspekte verschiedener CO ₂ -Quellen.....	32
Tabelle 7:	Kriterien zur CO ₂ -Quelle für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	33
Tabelle 8:	Indikatoren zur CO ₂ -Quelle für den langfristigen Standard	33
Tabelle 9:	Beitrag der CO ₂ -Quellen zur THG-Bilanz von PtL- Produkten nach verschiedenen Bilanzierungsansätzen (zuzüglich Prozessemissionen).....	37
Tabelle 10:	CO ₂ -Quellen mit $-1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	39
Tabelle 11:	Kumulierter Energieaufwand (KEA) für eine typische Situation der Produktion von PtL	43
Tabelle 12:	Kriterien zur Ressourceneffizienz für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	43
Tabelle 13:	Indikatoren Ressourceneffizienz für den langfristigen Standard	43
Tabelle 14:	Kriterien zur Wasserverfügbarkeit für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	45
Tabelle 15:	Indikatoren Wasserverfügbarkeit für den langfristigen Standard	46
Tabelle 16:	Kriterien zu Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	49
Tabelle 17:	Indikatoren Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung für den langfristigen Standard	50
Tabelle 18:	Soziale Nachhaltigkeitskriterien gemäß ESG und ISO 13065	51

Tabelle 19:	Soziale Kriterien für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen.....	54
Tabelle 20:	Soziale Indikatoren (do no harm) für den langfristigen Standard	55
Tabelle 21:	Soziale Indikatoren (Positive Effekte - Mindestkriterien) für den langfristigen Standard	58
Tabelle 22:	Soziale Indikatoren (Positive Effekte – „Bonuspunkte“) für den langfristigen Standard; Beispiel für mögliche Punktermittlung.....	58
Tabelle 23:	Zertifizierungsstandards und -systeme für Wasserstoff und Derivate	59

ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Flächenbelegung zur Bereitstellung der Antriebsenergie für 100 km PKW-Fahrt; Quelle (Fehrenbach, et al., 2021)	47
Abbildung 2:	Flächennutzungsänderung zur Bereitstellung der Antriebs-energie für 100 km PKW-Fahrt; Quelle: (Fehrenbach, et al., 2021)	48
Abbildung 3:	Struktur eines Zertifizierungssystems.....	62

ABKÜRZUNGEN

BECCS	Bioenergy Carbon Capture and Storage
BTL	Biomass-to-Liquid
CCS	Carbon Capture and Storage
CCU	Carbon Capture and Utilization
CSP	Concentrated Solar Power
DA	Delegated Act
DAC	Direct Air Capture
DACCS	Direct Air Capture and Carbon Storage
ETS	Emissions Trading System
ESG	Environmental, Social, Governance
GWP	Global Warming Potential
H ₂	Hydrogen
HNV	High nature value
ILO	International Labour Organisation
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification
ISO	International Standard Organisation
IUCN	International Union for Conservation of Nature
LCA	Life-Cycle Assessment
MENA	Middle East and North Africa
NFP	Naturfernepotenzial
PtL	Power-to-Liquid
PV	Photovoltaik
PV-FFA	Photovoltaik Freiflächenanlage
RCF	Recycled Carbon Fuel
RED II	Erneuerbaren Energien Richtlinie (Neufassung von 2018)
RFNBO	Renewable Fuel of Non-Biological Origin
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials
SAF	sustainable aviation fuel
THG	Treibhausgas

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erzeugung von chemischen Energieträgern aus erneuerbarem Strom wird unter dem Begriff Power-to-X (PtX) zusammengefasst. Insbesondere im Luftverkehr werden direkt einsetzbare erneuerbare Treibstoffe, so-genannte „drop-in“-fähige **Sustainable Aviation Fuels**, aus Mischabfällen, Bioenergie oder erneuerbarem Strom – **Power-to-Liquids** (PtL) – entwickelt und in den Markt eingeführt.

Ziel dieser Studie ist die Erarbeitung eines **Sets an Nachhaltigkeitsindikatoren** für einen **ambitionierten Standard** (hier als „**langfristiger Standard**“ bezeichnet) für nachhaltig produzierten, synthetischen Treibstoff für den Luftverkehr basierend auf dem PtL-Verfahren und erneuerbarem, klimaneutralen Wasserstoff. Zusätzlich wird der Rahmen für einen Nachhaltigkeitsstandard mit eingeschränkten Anforderungen gezeichnet (hier als „**kurzfristiger Standard**“ bezeichnet), der einen Kompromiss zwischen einem schnellen Markthochlauf und Nachhaltigkeitsidealen darstellt.

Die **Vorgehensweise** der Standardentwicklung ist gestuft: Im ersten Schritt werden die ökologischen, ökonomischen, sozialen und politischen Dimensionen von Nachhaltigkeit für PtX im Allgemeinen definiert. Im zweiten Schritt werden spezifische **Nachhaltigkeitskriterien für PtL im Luftverkehr** herausgearbeitet, die für den langfristigen Standard weiter in Form von **Indikatoren** konkretisiert werden.

Des Weiteren werden Vorschläge erarbeitet, wie der Standard in ein **Zertifizierungssystem** inhaltlich und organisatorisch-strukturell integriert werden kann.

Nachhaltigkeit umfasst die drei Dimensionen **Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft**. Für strombasierte Energieträger sind folgende Aspekte in der Dimension **Ökologie** von besonderer Bedeutung: erneuerbare Energien für den Strombezug, nachhaltige CO₂-Quellen für die Verarbeitung zu synthetischen PtX-Energieträgern, Treibhausgasreduzierung, Ressourceneffizienz und Wasserverfügbarkeit für die Wasserstoffherstellung sowie Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung.

Wichtig sind die Schaffung von **ökonomischem Mehrwert** durch konsequenten Umbau des Energiesektors hin zu erneuerbaren Energien in robusten Versorgungssystemen sowie potenzieller Wohlstandsgewinn der Länder und Regionen, die bisher aufgrund mangelnder Ressourcen nicht an den Wertschöpfungsketten im Energiebereich beteiligt sind.

Gesellschaftliche Minimalanforderungen für intra-generationale Nachhaltigkeit sind die Schaffung menschenwürdiger Arbeitsbedingungen, eine resiliente Energieversorgung, die Vermeidung unnötiger Großrisiken und die konflikt sensible Planung und Umsetzung von wirtschaftlichen Aktivitäten wie PtX-Projekten. Über den klassischen Ansatz der **Vermeidung von Schäden** („do no harm“) hinaus können **Verbesserungen** durch die Schaffung von Möglichkeiten aktiver Teilhabe und die lokale Verbesserung der Lebensverhältnisse erreicht werden, beispielsweise durch Verbesserungen der lokalen Energie- und Wasserversorgung.

Der erarbeitete **langfristige Standard** deckt die **Nachhaltigkeitsaspekte** Anforderungen an Strom (Erneuerbarkeit & Zusätzlichkeit), CO₂-Quellen,

Treibhausgasminderung, Ressourceneffizienz, Wasserverfügbarkeit, Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung sowie soziale Standards ab. Damit sind die **ökologischen und sozialen bzw. sozioökonomischen Dimensionen** der Nachhaltigkeit nach Ansicht der Autoren und im Vergleich zu anderen Nachhaltigkeitsstandards in ausreichendem Maß für einen anspruchsvollen Standard für PtL-Kerosin abgedeckt.

Nicht darin enthalten sind somit die **ökonomische** und die **politische Dimension**, die sich im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung als wenig zielführend erweisen: Der wirtschaftliche Erfolg konkreter Lieferketten ist kein Indikator für Nachhaltigkeit. Nachhaltige Wirtschaft soll der Schaffung von Wohlstand für alle dienen, was sich schwer in Kriterien für einzelne Lieferketten unterbrechen lässt. Ähnlich verhält es sich mit der politischen Dimension: Politik soll den Rahmen für nachhaltige Produktion schaffen, was schwer in Kriterien für konkrete Lieferketten zu fassen ist. Daher werden hierfür keine Kriterien für den Standard vorgeschlagen.

Es werden folgende **Empfehlungen** gemacht: Der hier vorgeschlagene Standard für PtL-Kerosin sollte in einer **Pilotzertifizierung** getestet und verbessert werden, beispielsweise im Rahmen der geplanten Demonstrationsanlage des PtX Lab Lausitz. Danach sollte die **Anwendung des Standards ausgeweitet** werden, auch über Deutschland hinaus. Eine Zusammenarbeit mit dem ähnlichen fairfuel Standard von atmosfair sollte in Betracht gezogen werden.

Der Standard leistet einen Beitrag zur **internationalen Diskussion um Nachhaltigkeitsstandards für PtL-Kerosin** und sollte im weiteren Verlauf Impulse aus der internationalen Diskussion aufnehmen.

In einer Pilotzertifizierung und ersten Anwendungen kann eine qualifizierte Zertifizierstelle die Funktionen eines **Zertifizierungssystems** mit übernehmen. Eine flexible Weiterentwicklung eines Zertifizierungssystems mit zunehmender Anwendung des Standards im Markt ist möglich und sinnvoll.

Die **Bundesregierung** kann die Anwendung des hier erarbeiteten Standards an verschiedenen Stellen unterstützen. Die **öffentliche Beschaffung** ist ein wichtiger Ansatzpunkt, beispielsweise in der Flugbereitschaft des Bundesministeriums der Verteidigung, dessen Auftrag der Transport des politisch-parlamentarischen Führungspersonals ist, oder im Einsatz bei der Bundeswehr. Des Weiteren kann die **Vergabe von Fördergeldern** an Nachhaltigkeitskriterien gebunden sein, unter anderem bei Demonstrationsprojekten. Weiterhin können Fördergelder für den Markthochlauf, beispielsweise im Rahmen von H2Global, bereitgestellt werden.

Konventionelles Kerosin aus fossilen Quellen ist in seinen CO₂-Emissionen bei der Verbrennung festgelegt. Trotzdem sind in der Vorkette der Kerosinbereitstellung Verbesserungen möglich, zum Beispiel durch Vermeidung der Freisetzung von **assoziiertem CO₂** bei der Ölförderung, Reduzierung der mit der Ölförderung verbundenen **Methanemissionen** oder der Substitution von in Raffinerien verwendetem Wasserstoff aus Erdgas durch **erneuerbaren Wasserstoff**. Um hier **vergleichbare Marktbedingungen** für konventionelle und erneuerbare Treibstoffen



zu schaffen und Erneuerbare nicht einseitig zu belasten, sollten vergleichbare Anforderungen an beide gestellt werden inklusive sozialer Standards.

Fluglinien sollten in Erwägung ziehen, Kontingente an PtX-Kerosin zu beziehen, die nach dem hier erarbeiteten Standard erzeugt wurden, um damit im oberen Preissegment ein **Premiumprodukt** anzubieten, das an die höhere Zahlungsbereitschaft anknüpft, beispielsweise exklusiv für Tickets der ersten Klasse oder der Business-Klasse.



1 HINTERGRUND UND VORGEHEN

Die Erzeugung von chemischen Energieträgern („Molekülen“) aus erneuerbarem Strom wird für verschiedene Anwendungen entwickelt. Im ersten Schritt wird dabei Wasserstoff via Elektrolyse von Wasser erzeugt. Dieser kann in geeigneten Anwendungen entweder direkt genutzt werden oder in weiteren Verfahrensschritten zu chemischen Substanzen umgewandelt werden. Diese strombasierten Produkte werden als Power-to-X (PtX) zusammengefasst. Insbesondere im Luftverkehr mit seinen langen Programmzyklen neuer Flugzeuggenerationen werden direkt einsetzbare erneuerbare Treibstoffe, so-genannte „drop-in“-fähige Sustainable Aviation Fuels (SAF), aus Mischabfällen, Bioenergie oder erneuerbarem Strom (Power-to-Liquids Kerosin – PtL-Kerosin), entwickelt und in den Markt eingeführt.

1.1 Nachhaltigkeit von PtL

PtL-Wertschöpfungsketten können lang, komplex und ressourcenintensiv sein und daher zahlreiche ökologische, ökonomische, soziale und politische Risiken beinhalten. Geeignete, glaubwürdige und vereinbarte Nachhaltigkeitsanforderungen sind die Basis für eine weitestgehend nachhaltige PtL-Produktion. Mit zunehmender Kommerzialisierung gewinnt die bisher eher begrenzt geführte Diskussion um Nachhaltigkeitsanforderungen an PtL-Produkte aktuell an Bedeutung.

Es zeigt sich, dass eine Diskussion sozio-ökonomischer Kriterien im Zusammenhang mit Wasserstoff und PtL insbesondere in Deutschland und weniger intensiv in Europa stattfindet. Die Diskussionen um Zusätzlichkeit sowie zeitliche und geographische Korrelation finden auf europäischer Ebene statt in Verbindung mit der Erneuerbaren Energien Richtlinie (Neufassung von 2018 – RED II); dies ist im Rahmen der RED II in einem delegierten Rechtsakt nach Art. 27(3) festzulegen, der bisher im Entwurf vorliegt. Außerhalb Europas steht insbesondere die Treibhausgasbilanz im Vordergrund, während andere Nachhaltigkeitskriterien wenig diskutiert werden.

In Europa liegt ein weiterer Delegierter Rechtsakt nach RED II Art. 28(5) erst im Entwurf vor, der die THG-Berechnungsmethodik für die sogenannten „Renewable Fuels of Non-Biological Origin“ (RFNBO) regelt. Ähnlich wie für die Nachhaltigkeitszertifizierung von Biokraftstoffen nach RED II werden auch für die Nachhaltigkeitszertifizierung von RFNBO sogenannte freiwillige Systeme von der Europäischen Kommission akzeptiert. Bei zertifizierter, ausreichender Einsparung an Treibhausgasemissionen (THG) und Einhaltung der Anforderungen an den erneuerbaren Strom können die RFNBO-Mengen auf Quotenverpflichtungen im Verkehr angerechnet werden.

Die freiwilligen Systeme können sich dabei, ähnlich wie bei den bestehenden Systemen, auf die Mindestanforderungen beschränken oder darüber hinaus gehende Anforderungen stellen. Im Fall von PtL kann dies bedeuten, dass als wesentliches Kriterium die THG-Intensität angewandt wird, zumal für PtL erst wenige beispielgebende Ansätze vorliegen, wie ein anspruchsvoller, über die THG-Bilanz hinausgehender Kriterienkatalog aussehen kann.

In der Fachwelt hat die Diskussion hierzu bisher kaum stattgefunden. Neben der Frage der Zusätzlichkeit des erneuerbaren Stroms lag ein Schwerpunkt bisher auf der Herkunft des CO₂. Ob zwischen „gutem“, „unter Bedingungen noch akzeptablem“ und „schlechtem“ CO₂ zu unterscheiden ist und woran sich dieser Unterschied festmacht, ist dabei eine Kernfrage. Der bisher einzige bestehende Zertifizierungsstandard zu PtL – fairfuel von atmosfair¹ – hat hierzu einen definierten Katalog. Andere Autoren stellen in Frage, ob eine Diskriminierung bezüglich der CO₂-Herkunft sachgerecht ist (Turnau et al. 2020) – wobei hier zumeist auf die Konsistenz der CO₂-Bilanz abgestellt wird, nicht auf mit dessen Produktionsprozess verbundenen sonstigen Lasten.

Solche Lasten können zu sogenannten Lock-in-Effekten führen, die übergreifende umweltpolitische strategische Ziele konterkarieren, wie z.B.: Ausstieg aus der Kohleverbrennung, Dekarbonisierung weiterer Industriebereiche (Stahl, Basischemie etc.), Biodiversitätsziele durch Ökologisierung der Landnutzung, Ziele in der Tierproduktion und Ernährung. Darüber hinaus sind auch für die PtL-Produktion aus erneuerbaren Quellen Nachhaltigkeitsfragen vergleichbar denen von Bioenergien zu prüfen, wie etwa hinsichtlich dem Flächenbedarf oder der Wasserversorgung in ariden oder semiariden Gebieten oder auch bei sozialer Wasserknappheit. Beim Import von Energieprodukten aus dem Globalen Süden ist der ganze Komplex an sozioökonomischen Aspekten als ein entscheidender Faktor mit zu berücksichtigen.

Die spezifische Umweltperformance von PtL-Kraftstoffen ist vielversprechend gegenüber fossilen Vergleichskraftstoffen und alternativen Kraftstoffen aus Energiepflanzen. Die Akzeptanz von PtL-Kraftstoffen wird daran gemessen werden, dass die Nachhaltigkeitspotenziale realisiert werden. Die Entwicklung von anspruchsvollen Standards steht noch am Anfang. Von der Erfahrung mit bestehenden Systemen im Bereich der Bioenergie kann viel gelernt werden. Wichtig ist es dabei, diese den PtL-Charakteristika entsprechend anzupassen.

1.2 Ziel der Studie

Ziel der Studie ist die Erarbeitung eines Sets an Nachhaltigkeitsindikatoren für einen ambitionierten Standard für nachhaltig produzierten, synthetischen Kraftstoff für den Luftverkehr basierend auf dem PtL-Verfahren und erneuerbarem, klimaneutralen Wasserstoff.

Dafür sind Fragen zu klären nach den relevanten Nachhaltigkeitskriterien, nach deren konkreter Ausgestaltung, insbesondere im Sinne von SMART (spezifisch, messbar, attraktiv, realistisch und terminiert), und nach ihrer Anwendung in Zertifizierungssystemen.

¹ <https://www.atmosfair.de/de/atmosfair-fairfuel-kriterienkatalog/>

Zusätzlich wird der Rahmen für einen Nachhaltigkeitsstandard mit eingeschränkten Anforderungen gezeichnet der in ausgewählten Dimensionen einen Kompromiss zwischen dem Ziel eines schnellen Markthochlaufs von PtL für den Luftverkehr einerseits und Nachhaltigkeitsidealen andererseits darstellt. Dieser wird daher im Weiteren als „**kurzfristiger Standard**“ bezeichnet in Abgrenzung zum oben genannten höher ambitionierten Standard, der im Folgenden als „**langfristiger Standard**“ bezeichnet wird.

Die beiden Ambitionsniveaus entsprechen sinngemäß dem, was beispielsweise der fairfuel Standard als „Gold-Standard“ bzw. „Silber-Standard“ bezeichnet.

Die hier erarbeiteten Nachhaltigkeitskriterien des kurzfristigen und des langfristigen Standards beziehen sich konkret auf PtL-Kerosin. Andere H₂-Trägersubstanzen, wie z.B. Ammoniak, Methylzyklohexan oder so-genannte Liquid Organic Hydrogen Carriers (LOHC), sind nicht Gegenstand der beiden Nachhaltigkeitsstandards.

Der **Anwendungsbereich** der Standards zielt vorrangig auf Deutschland und Europa. Dies schließt eine Produktion von PtL außerhalb Europas und Import nach Deutschland nicht aus. Die europäische Rechtslage gilt somit auch als verbindliche Grundlage. Die Anforderungen, die sich aus der RED II und den ihr folgenden delegierten Rechtsakten zu RFNBO ergeben, sind hierbei zu berücksichtigen und werden im Weiteren auch erörtert.

1.3 Methodische Vorgehensweise

Die Vorgehensweise ist gestuft: Im ersten Schritt werden die ökonomischen, ökologischen, politischen und sozialen Dimensionen von Nachhaltigkeit für PtX im Allgemeinen definiert. Von dieser allgemeinen Ebene werden im zweiten Schritt die spezifisch an PtL im Luftverkehr zu stellenden Nachhaltigkeitsanforderungen herausgearbeitet. Dazu werden die existierende Literatur ausgewertet sowie Interviews mit Expert*innen durchgeführt (siehe Kapitel 7 Danksagung). In einem Expert*innen-Workshop wird ein erster Entwurf des Standards diskutiert (siehe Kapitel 7 Danksagung). Das Ergebnis dieser Schritte bildet ein Vorschlag zur Ausformulierung von Nachhaltigkeitskriterien der vorangehend genannten „langfristigen“ und „kurzfristigen Standards“. Für den langfristigen Standard werden außerdem Indikatoren für die Anwendung der Kriterien weiter konkretisiert.

Des Weiteren werden Vorschläge erarbeitet, wie die Kriterien in ein Zertifizierungssystem integriert werden können und wie ein entsprechendes Zertifizierungssystem organisatorisch-strukturell etabliert werden kann. Zusätzlich zu diesem Bericht wurde ein „Policy Brief“ erstellt, der relevante Fragestellungen zur gesetzlichen und regulatorischen Umsetzung eines Standards für PtL-Kerosin für politische Akteure zusammenfasst.

2 GRUNDLAGEN ZUR ENTWICKLUNG VON NACHHALTIGKEITSANFORDERUNGEN FÜR PTL-KEROSIN

2.1 Allgemeine Nachhaltigkeitsdimensionen für PtX

Nachhaltigkeit umfasst die drei Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft.

Für strombasierte Energieträger sind folgende Aspekte in der Dimension **Ökologie** von besonderer Bedeutung: erneuerbare Energien für den Strombezug, nachhaltige CO₂-Quellen für die Synthese zu PtX-Energieträgern, Treibhausgasminderung, Ressourceneffizienz und Wasserverfügbarkeit für die Wasserstofferzeugung, insbesondere in sonnenreichen Regionen, sowie Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung.

Die Schaffung von **ökonomischem** Mehrwert durch konsequenten Umbau des Energiesektors hin zu erneuerbaren Energien in robusten Versorgungssystemen sowie potenzieller Wohlstandsgewinn der Länder/ Regionen, die an den Wertschöpfungsketten beteiligt sind, sind wichtige Aspekte der zweiten Dimension. Hier haben auch Länder und Regionen Potenziale, die bisher aufgrund mangelnder Ressourcen nicht Teil der Wertschöpfung im Energiebereich sind.

Gesellschaftliche Minimalkriterien für intra-generationale Nachhaltigkeit sind die Schaffung menschenwürdiger Arbeitsbedingungen, eine resiliente Energieversorgung, die Vermeidung unnötiger Großrisiken und die konfliktsensible Planung und Umsetzung von wirtschaftlichen Aktivitäten wie PtX-Projekten. Über den klassischen Ansatz der Vermeidung von Schäden („do no harm“) hinaus können Verbesserungen durch die Schaffung von Möglichkeiten aktiver Teilhabe und die lokale Verbesserung der Lebensverhältnisse erreicht werden. Typische Möglichkeiten von PtX-Projekten sind die Verbesserungen der lokalen Energie- und Wasserversorgung, da sowohl Wasser- als auch Strombereitstellung integraler Bestandteil dieser Projekte sind – eine Ausweitung mit begrenztem Aufwand und großem Nutzen bietet sich an.

Eine detaillierte Analyse von Nachhaltigkeitskriterien für erneuerbaren Wasserstoff und Derivate (PtX-Produkte) über die gesamte Wertschöpfungskette wird in der Studie „Requirements for the production and export of green-sustainable hydrogen“ (GIZ / ILF / LBST, 2021) durchgeführt. Dabei wird die Relevanz von Kriterien in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen für jedes Element der Wertschöpfungskette qualitativ eingeschätzt. Diese Analyse ist damit sehr breit angelegt und analysiert alle Elemente der Wertschöpfungsketten von PtX-Produkten, während die Detailtiefe begrenzt ist.

Die Erkenntnisse dieser sowie die nachfolgend analysierter Arbeiten fließen in die Festlegung von Nachhaltigkeitsanforderungen und -indikatoren für PtL in der Luftfahrt ein.

2.2 Erkenntnisse aus der Literatur

Die Auswertung der Literatur erfolgt auf sehr breit angelegter Basis. Mit dem Ziel, Erkenntnisse für einen Standard für PtL-Kerosin zu gewinnen, wurde der Betrachtungsrahmen nicht nur auf Literatur zu PtX allgemein erweitert, sondern auch der Erfahrungsbereich der Bioenergie mit einbezogen. Letztere bietet sich an, da ihr Nutzung spätestens seit der Entwicklung der ersten RED (Richtlinie 2009/28/EG) zu einer intensiv geführten Diskussion über Nachhaltigkeitskriterien geführt hat.

Ausgewertet wurden Rechtsgrundlagen, Normen, Internationale und nationale Initiativen, Zertifizierungssysteme sowie wissenschaftlichen Studien. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die ausgewertete Literatur, deren Zuordnung nach Typus der Literatur und den Bezug auf PtX und/oder Biokraftstoffe.

Tabelle 1: Betrachtete Dokumente und ihre Zuordnung

	Wasserstoff, PtX, PtL	Biokraftstoffe
<i>Rechtsgrundlagen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • RED II • RED II Änderung • del. Rechtsakte zu RFNBO* 	<ul style="list-style-type: none"> • RED II • RED II Änderung
<i>Normen</i>		<ul style="list-style-type: none"> • ISO 13065 • EN 16214-1/2/3/4
<i>Internationale Initiativen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • IRENA • ICAO • World Bank 	<ul style="list-style-type: none"> • GBEP
<i>Nationale Initiativen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • H2Global • BMWK Wasserstoffstrategie 	
<i>Zertifizierungssysteme</i>	<ul style="list-style-type: none"> • atmosfair fairfuels • CertifHy, • GIZ (Chile) 	<ul style="list-style-type: none"> • RSB, • ISCC • REDCert
<i>Wissenschaftliche Studien</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Öko-Institut Arbeitspapier • E4Tech/LBST (UK), • ifeu (atmosfair), • IPHE, • dena/Works energy council • IDDRI • UBA SYSEET • UBA: Power-to-Liquids, • BMBF CORAL • DECHEMA 	<ul style="list-style-type: none"> • UBA Arbeitspapier zur Biomassestrategie, • UBA SYSEET

*) die delegierten Rechtsakte liegen derzeit nur als Entwürfe vor.

Tabelle 2 fasst zusammen, welche Thematik an Kriterien in den analysierten Dokumenten enthalten sind bzw. adressiert werden. Erkennbar ist, dass sich in vielen Fällen die Kriterien an der RED bzw. RED II orientieren. Häufig werden die Themen (z. B. CO₂-Einsparung, Wasser oder Landnutzung) nur genannt, konkrete Anwendungskriterien zur Erfüllung entweder nicht ausformuliert oder auf die Notwendigkeit einer solchen Ausformulierung hingewiesen.

Konkrete Kriteriensätze, die für PtL-Kerosin geeignet sind, führen nur wenige der betrachteten Dokumente. Zu nennen sind die Entwürfe der delegierten Rechtsakte zur RED II für RFNBO, sowie die Arbeiten von IRENA, ICAO, der World Bank, der atmosfair fairfuel Standard und CertifHy.

Setzt man die RED II und die delegierten Rechtsakte als rechtlichen Maßstab, so ist festzustellen, dass von den genannten Arbeiten lediglich atmosfair fair fuel über diese rechtlichen Mindestrahmen hinausgehend Kriterien vorgibt. Er eignet sich daher als Basis für einen langfristigen Standard.

Tabelle 2: Auswertung der betrachteten Dokumente nach darin enthaltenen Kriterien

Anzahl in den analysierten Arbeiten

		PtX / PtL	Biokraftstoffe
Bezieht sich auf ...		29	22
Beinhaltet ...	THG Emissionseinsparung:	13	9
	Kriterien für Nachhaltigkeit	7	10
	Ökobilanz (LCA)	5	3
Beinhaltet Kriterien im Einzelnen zu ...	GHG saving	12	9
	CO ₂ -Quelle	13	
	erneuerbarer Strom	8	
	Effizienz	2	
	Wasser	11	7
	Rohstoff	2	1
	Biodiversität	4	8
	Landnutzung, LUC	8	10
	Boden	2	6
	Luft	2	5
soziale Aspekte	9	8	

Die Auswertung in Tabelle 2 zeigt außerdem die Grenzen des Vergleichs mit biokraftstoffbezogenen Nachhaltigkeitskriterien auf. Während der THG-Einsparung in beiden Fällen zentrale Bedeutung beigemessen wird und Kriterien zum Wasserverbrauch, zur Landnutzung und sozialen Aspekten gleichermaßen genannt werden, gibt es für PtX bzw. PtL durchaus spezifische Kriterien bezüglich der CO₂-Quelle (nicht relevant z.B. für Wasserstoff) und die Art des Stroms. Bei Kriterien wie Wasser und Landnutzung ist dagegen unstrittig, dass dies für Biomasse deutlich relevanter ist (höherer Flächenbedarf für Anbau von Biomasse gegenüber einer PtL-Anlage und im Falle von Bewässerung auch deutlich höherer Wasserbedarf der Biomasse).

2.3 Erkenntnisse aus Interviews und Workshop mit Expert*innen

Es wurden insgesamt fünf Interviews mit Expert*innen durchgeführt, die sich freundlicherweise zur Verfügung gestellt haben und mit denen folgende Bereiche abgedeckt werden konnten:

- Regulierung
- Zivilgesellschaft / Forschung
- Wirtschaft
- Zertifizierung

Wesentliche Antworten werden im Folgenden entlang der gestellten Schlüsselfragen, zusammengefasst:

2.3.1 Allgemeine Fragen zum Komplex:

Die **Wichtigkeit von Nachhaltigkeitskriterien** für PtX – auch im Vergleich zu Biokraftstoffen – wurde von allen Befragten als hoch eingeschätzt, wobei nahezu einhellig eingeräumt wird, dass Risiken gegenüber Biokraftstoffen eher etwas geringer ausfallen, aber jener Fall auch ein Lehrstück darstelle, dass Nachhaltigkeit von vorneherein als ein maßgebliches Kriterium berücksichtigt werden sollte.

Dass der gesetzlich geforderte **Hochlauf von PtX** die Sicherstellung von Nachhaltigkeit erschwert, wird von Seiten von Regulierung/ Zivilgesellschaft / Forschung gesehen. Die Möglichkeit, die **Anforderungen stufenweise** anzuheben (Stichwort „Gold-, Silber-Standard“) wird unterschiedlich bewertet. Aus Wirtschaftsseite kamen einerseits Bedenken, dass dies den Anspruch, dass Nachhaltigkeit entweder erfüllt oder nicht erfüllt wird, konterkarieren würde. Andererseits wird die Möglichkeit eines Phase-ins als hilfreicher Ansatz gesehen. Wichtig wäre, die Fristen dafür klar zu definieren: ab wann muss der langfristige („Gold“) Standard gelten. Von Seiten der Zertifizierung wird ein Einstieg mit einfacheren Vorgaben begrüßt. Oft würden Standards daran scheitern, dass sie von Beginn an zu komplex wären. Andererseits sei es wichtig, dass eine Steigerung der Anforderungen positiv kommuniziert wird, um Probleme für einen Standard zu vermeiden.

Ob mit der Umsetzung der **EU-Regeln** (RED II und delegated acts) die Nachhaltigkeit von PtX ausreichend gesichert ist, wird ebenfalls unterschiedlich gesehen. Vor allem

aus Wissenschafts- und ZGO-Sicht (zivilgesellschaftliche Organisationen) stellen sie einen guten Start dar, aber es wird problematisiert, dass **Zusätzlichkeit** gerade in Ländern des Südens schwer nachzuweisen sein wird und der Prozess dazu dort kaum zu implementieren sei. Andererseits wird positiv bewertet, dass der Aspekt der **Netzdienlichkeit** in den neuesten Entwurf aufgenommen wurde. Andererseits sei nicht verständlich, warum die Kriterien zur Landnutzung der RED II für Biomasse nicht gleichzeitig auch für PtX gelten sollen.

2.3.2 Fragen zur CO₂-Quelle, Strom und THG-Bilanz-Komplex

Was die **Zulässigkeit von CO₂-Quellen** betrifft, gehen die Antworten deutlich auseinander: auf Seite der Zertifizierung und Wirtschaft überwiegt die Auffassung, nicht vorzuschreiben, woher das CO₂ kommt. Dafür sollten Unternehmen verpflichtet sein, offenzulegen, woher sie es beziehen. Seitens Regulierung und Wissenschaft wird DAC deutlich präferiert. Man sieht aber angesichts der Startsituation noch die Belastung mit sehr hohem Energieverbrauch. Teilweise wird CO₂ aus Punktquellen hier auch mit der Situation bei Reststoffen verglichen. Die Art der Quelle wird allerdings als relevant angesehen. So wird CO₂ aus Kohlekraftwerken angesichts des Ausstiegs als schlechte Lösung gesehen. Mögliche Lock-in Effekte sollen unbedingt Berücksichtigung finden. Eine Positiv- oder Negativliste wäre hier hilfreich.

Zu den Anforderungen bzw. Voraussetzungen an die **Erneuerbarkeit von Strom** besteht grundsätzlich Einigkeit, dass die **Zusätzlichkeit** entscheidend ist und unbedingt sichergestellt werden muss. Wie diese gemäß delegiertem Rechtsakt nachgewiesen werden muss, ist nicht allen Befragten klar. Die Systemanforderungen für Produzenten im Globalen Süden werden z.T. schwer zu erfüllen sein, wenn z.B. ein nationaler Netzbetreiber (transmission system operator) nicht etabliert ist. Für die Situation innerhalb Europas werden die Anforderungen des delegierten Rechtsakts überwiegend als gut geeignet zum Nachweis der **Zusätzlichkeit** angesehen.

Die Anforderung an die **THG-Einsparung** nach RED II (70 % gegenüber fossilem Komparator) wird u.a. als „guter Start“ erachtet. Für Wasserstoff wird sie als sicher erfüllbar gesehen, für PtL wird dies z.T. schwierig eingeschätzt. Die Aussagen kamen von der Zertifizierung und der Forschung. Die **THG-Berechnungsmethode** wird daher vielfach noch als unklar erachtet.

2.3.3 Weitere Nachhaltigkeitskriterien

Sie werden seitens der Forschung als unbedingt erforderlich gesehen. Wie oben bereits erwähnt, wird die RED II als inkonsistent angesehen, da sie die für Biomasse geltenden flächenbezogenen Kriterien nicht auch für PtX zu Grunde legt. Außerdem sollte die RED II Änderung sozioökonomische Kriterien einbeziehen (Arbeitsplätze, Landrechte, Kinderarbeit und ein Due Diligence System innerhalb der Lieferkette vorschreiben). Mehrfach genannt wird außerdem die ausreichende Verfügbarkeit von Wasser. „Es kann nicht sein, dass da eine PtL-Anlage steht und daneben die Leute verdursten.“ Zusatzkosten für Entsalzung für PtX lägen unter 5 % des Investitionsaufwands. Projekte müssten im Rahmen integrierter Entwicklungskonzepte installiert werden und für Verbesserungen vor Ort sorgen.

2.3.4 Weitere Aspekte

Eine Priorisierung von bestimmten Sektoren/Industrien für die Nutzung von PtX wird von Einzelnen begrüßt, da der Markt das nicht regeln könne.

Auf die Frage zur neuen geopolitischen Lage durch den Krieg in der Ukraine und wie eine mögliche künftige Abhängigkeit Europas von PtX aus Drittländern gesehen wird, wird verwiesen, dass sich nicht alles an der Möglichkeit von solchen Krisen ausrichten könne. Solche Krisen seien zeitlich begrenzt. Aber sie zeigten auch die zunehmende Notwendigkeit einer wahrhaftigen Ausrichtung an Nachhaltigkeit, die auch Resilienz schafft.

2.3.5 Expert*innen-Workshop

Mitte Mai 2022 wurde ein Workshop durchgeführt, mit dem Ziel, die ersten Richtungsergebnisse einem Kreis von Expert*innen vorzustellen. Dies brachte eine Reihe von wertvollen Anregungen in das Projekt, zeigte aber auch viel Zustimmung zu den vorgestellten Ansätzen. Anregungen gab es insbesondere auch in Bezug auf die Operationalisierung der Kriterien sowie die Zertifizierung. Zum Zeitpunkt des Workshops waren insbesondere noch Fragen zur Anwendung der Ressourceneffizienz offen.

2.4 Grundsätzliche Anforderungen an ein Kriteriensystem

Mindestanforderungen vs. Punktsystem

Mit der Definition von Nachhaltigkeitskriterien stellt sich auch die Frage, mit welcher Systematik deren Erfüllung erfolgen und im Rahmen einer Zertifizierung nachgewiesen werden soll. Eine Reihe der Kriterien werden sinnvollerweise, wie oben erwähnt, als Mindestanforderung ausgeführt. Üblicherweise wird dazu mittels eines „Grenzwerts“ indiziert, ob das Kriterium erfüllt oder nicht erfüllt ist. Es gilt dann grundsätzlich, dass jedes dieser Kriterien positiv abgehakt sein muss, damit der Standard als solcher als erfüllt gilt.

Als Beispiel kann dienen, dass im Einklang mit der RED II die THG-Einsparung durch PtX mindestens 70 % gegenüber dem Referenzsystem erzielen muss. Liegt es knapp drunter, ist das Produkt insgesamt durchgefallen.²

Ein System kann aber auch so gestaltet sein, dass es eine graduelle Erfüllung eines Kriteriums ermöglicht. Solche Systeme stellen das Gesamtergebnis in der Regel in Form einer Punktzahl (Prinzip der „Scorecard“) zusammen. Erfüllt ist der Standard dann, wenn die erforderliche Gesamtpunktzahl erreicht wird. Um im Beispiel zu bleiben: liegt die THG-Einsparung nur bei 50 %, gibt es eine geringere Punktzahl für dieses Kriterium, liegt es jedoch bei 95 % ist die Punktzahl höher – es wird in diesem Fall auch „belohnt“, dass mehr als nur die Mindestanforderung erfüllt wird. Mit diesem Prinzip können Nachteile an einer Stelle mit Vorteilen an anderer Stelle kompensiert werden.

Dies kann durchaus kritisch sein, wenn damit grundlegende Prinzipien unterlaufen werden. Mit Blick auf die sozialen Standards (siehe Kapitel 3.7) erscheint es inakzeptabel, wenn z.B. Kinderarbeit durch eine gute THG-Bilanz oder positive Ergebnisse in anderen Kriterien ausgeglichen wird. Andererseits kann gerade im sozialen Bereich die Anwendung eines Punktesystems sinnvoll sein, wo u. U. Mindestanforderungen allein der Sache nicht gerecht werden, wenn es gilt, auch positive Effekte eines PtL-Projekts in die Wertung einzubeziehen. Wie in Kapitel 3.7 ausgeführt wird, können positive Effekte nicht allein mit Mindestanforderungen (Erfüllung ja/nein) gewürdigt werden, zumal nicht jede Art möglicher Effekte konkret mit Kriterien und Indikatoren vorgezeichnet werden kann. Ein Punktesystem kann in diesen Fällen jedoch Offenheit und Flexibilität ermöglichen.

Beide Ansätze müssen sich auch nicht zwingenderweise gegenseitig ausschließen. Der vorliegende Vorschlag sieht daher eine Ergänzung von mehrheitlichen Mindestkriterien durch einen „Bonus“-Bereich vor, der variabel gestaltet ist.

² Im konkreten Fall können Zertifizierungssysteme bei Nicht-Erfüllen eines Kriteriums auch Nachbesserungen erlauben.

3 NACHHALTIGKEITSANFORDERUNGEN UND INDIKATOREN FÜR PTL IN DER LUFTFAHRT

Auf der Basis der vorangehend beschriebenen Vorarbeiten wurden die nachfolgend im Detail dargelegten Nachhaltigkeitsaspekte für PtL in der Luftfahrt erarbeitet. Für jeden dieser Aspekte werden in den folgenden Kapiteln Kriterien und Indikatoren für den langfristigen und für den kurzfristigen Standard festgelegt. Die Nachhaltigkeitsaspekte lauten:

- Anforderungen an Strom (Erneuerbarkeit & Zusätzlichkeit)
- CO₂-Quellen
- Treibhausgasminderung
- Ressourceneffizienz
- Wasserverfügbarkeit
- Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung
- Soziale Standards

Damit sind die ökologischen und sozialen bzw. sozioökonomischen Dimensionen der Nachhaltigkeit nach Ansicht der Autoren im ausreichenden Maße für einen anspruchsvollen Standard für PtL-Kerosin gut abgedeckt. Aus diesen Dimensionen schöpfen sich im Übrigen nahezu alle Nachhaltigkeitsstandards von Zertifizierungssystemen.

Nicht darin enthalten sind somit die *ökonomische* und die *politische* Dimension. Beide erweisen sich im Rahmen einer Nachhaltigkeitszertifizierung als wenig zielführend, da es hier um konkrete Lieferketten geht. Deren wirtschaftlicher Erfolg ist an sich kein Indikator für Nachhaltigkeit. Umgekehrt soll eine nachhaltige Wirtschaft der Schaffung von Wohlstand für alle dienen³. Die ökonomische Dimension ist im Kontext Nachhaltigkeit grundsätzlich aus der volkswirtschaftlichen Perspektive zu sehen. Diese lässt sich jedoch kaum in Kriterien für einzelne Lieferketten herunterbrechen.

Ähnlich verhält es sich mit der politischen Dimension. Zunächst ist es Aufgabe der Politik, den Rahmen zu schaffen, innerhalb dessen eine nachhaltige Produktion möglich ist. Umgekehrt ist es schwer, eine Lieferkette mittels Kriterien für die Staatspolitik im Produktionsland zu bewerten. Dies kann jedoch problematisch werden, wenn erhebliche Dysfunktionalitäten vorliegen, die den Nachweis einer tatsächlichen Nachhaltigkeit der Lieferkette erschweren oder unmöglich machen. Dies wäre z.B. im Fall systematischer Korruption gegeben. Doch während im Rahmen einer Lieferkettenzertifizierung die Rechtskonformität des Unternehmens bzw.

³ So auch im 8. Ziel für nachhaltige Entwicklung (SDG 8), „Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum“: hier geht es um ein nachhaltiges Wirtschaftswachstum, um eine Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeitsbedingungen für alle weltweit zu ermöglichen <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltig-wirtschaften-als-chance-fuer-alle-276606>

Projekts nachgewiesen werden kann,⁴ ist das Staatsverhalten nicht mit Kriterien im Rahmen einer Zertifizierung beeinflussbar. Aus diesem Grund werden im Rahmen dieser Studie hierfür auch keine Kriterien vorgeschlagen.

3.1 Anforderungen an Strom

Nachhaltiges PtL setzt voraus, dass der Strom aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Diese Anforderung ergibt sich bereits aus der rechtlichen Definition der RED II (RICHTLINIE (EU) 2018/2001) für diese Art von Kraftstoff:

- „**Erneuerbare** Kraftstoffe nicht biogenen Ursprungs“ (RED II Begrifflichkeit RFNBO)

Anrechnungsfähig im Sinne der RED II ist PtL somit nur mit dem Anteil, der mit erneuerbarem Strom erzeugt wurde. Dabei ist Strom auf Basis von Biomasse gleichfalls ausgeschlossen (→ „nicht biogenen Ursprungs“).

Mit dem Entwurf eines delegierten Rechtsakts hat die EU-Kommission⁵ den methodischen Rahmen gesteckt, wie und welcher Weise die Erneuerbarkeit des eingesetzten Stroms nachzuweisen ist. Dabei geht es nicht allein um die Erneuerbarkeit, sondern ebenfalls um die zweite entscheidende Anforderung an den Strom: die Zusätzlichkeit. Auch diese Anforderung ist eine unverzichtbare Grundvoraussetzung. Würde man PtL-Anlagen errichten, zusätzliche EE-Anlagen jedoch nicht im gleichen erforderlichen Maße, so werden die erneuerbaren Strommengen lediglich kannibalisiert, statt einen Beitrag zur Dekarbonisierung zu leisten. Dies gilt, solange das Stromsystem noch von nuklearer und fossiler Stromerzeugung geprägt ist (Fehrenbach H. P., 2021).

Liegt eine weitgehend von EE dominierte Stromerzeugung vor, so wird das Kriterium der Zusätzlichkeit von dem Erfordernis der Systemdienlichkeit überlagert. Es ist daher wichtig, dass die PtL-Kriterien auch auf die verschiedenen Phasen des Strommarktentwicklung angepasst sind. Außerdem sind der Reifegrad und die Systembedeutung der PtL-Anlage zu beachten, denn zu Beginn ist das Innovationspotenzial von PtL hoch, der Stromverbrauch der einzelnen Anlagen gemessen an dem Gesamtenergiekomplex jedoch marginal. In dieser Zeit wären die Kriterien für den Strom eher großzügig auszulegen. Anders in der Reifephase von PtL, wenn der Stromverbrauch und auch das Lastprofil nennenswert sind und PtL in einem normalen kompetitiven Umfeld mit anderen (erneuerbaren) Kraftstoffen auftritt.

Die Bewertung der Zusätzlichkeit von EE-Strom sollte mit Blick auf das regulatorische Umfeld erfolgen. Dies unterscheidet sich jedoch je nach Herkunftsregion. Innerhalb Deutschlands greifen hierbei insbesondere:

⁴ Dies erfolgt im Übrigen im Rahmen einer Zertifizierung nach den Systemen RSB und ISCC, wie auch weiteren Zertifizierungssystemen im Bereich Biomasse

⁵ COMMISSION DELEGATED REGULATION (EU) ... supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a Union methodology setting out detailed rules for the production of renewable liquid and gaseous transport fuels of non-biological origin (Stand 20.5.2022)

- Die Ausbauziele und Ausschreibungsvolumina des Erneuerbaren-Energien-Gesetzes (EEG);
- das Doppelvermarktungsverbot (§80 EEG);
- die Regeln der Stromkennzeichnung (§42 EnWG).

Für eine ausführliche Beschreibung dieser Rahmenbedingungen siehe u. a. (Bracker, Seebach, & Pehnt, 2019). In der EU setzt die RED II den Rahmen für den Herkunftsnachweis (guarantee of origin, Artikel 19). Darauf begründet sich auch das System der Herkunftsnachweise im Rahmen des European Energy Certificate Systems (EECS), was den Standard für Europa darstellt.

3.1.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Grundsätzlich sind Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit im Zusammenhang zu bewerten. Bezüglich der **Erneuerbarkeit** ist jedoch nach Art der Energiequelle zu unterscheiden, da sich diese sehr unterschiedlich bezüglich der Nachhaltigkeitsaspekte durchaus unterschiedlich verhalten.

Es wurde vorangehend darauf hingewiesen, dass die RED II Strom aus **Biomasse** nicht zulässt (Stichwort **RFNBO**). Der Grund dafür erklärt sich aus dem erheblichen energetischen Effizienzverlust der PtL-Kette. Würde man die Biomasse anstelle einer Verstromung mit anschließender Elektrolyse und FT-Synthese zu PtL durch thermo- oder biochemische Verfahren zu sogenanntem Biomass-to-Liquid (BtL) umwandeln, würde man mit der gleichen Biomassemenge deutlich höhere Kraftstoffausbeute erzielen.

Nachhaltigkeitsaspekte sind grundsätzlich für jede Art von Erneuerbarer Energie anführen:

- Windenergie an Land wirkt auf das Landschaftsbild und stellt ein Risiko für Vogel- oder Fledermausarten dar;
- Windenergie auf See dagegen ist vor allem in der Bauphase ein Problem durch Hydroschallemissionen.⁶
- PV als Freilandanlage beansprucht Fläche (wenngleich in erheblich geringerem Maße als Biomasseanbau bezogen auf den Energie-Output).
- Schwerwiegendere Nachhaltigkeitskonflikte werden bei der Wasserkraft verortet, sodass das Bundesamt für Naturschutz (BfN) den weiteren Ausbau sehr kritisch sieht.⁷
- Tiefengeothermie spielt in Deutschland bisher keine bedeutende Rolle, ist aber in manchen Ländern wie z.B. Island sehr verbreitet. Die ökologischen Auswirkungen sind sehr begrenzt.

⁶ <https://www.bfn.de/windenergie-auf-see>

⁷ <https://www.bfn.de/wasserkraft>

Wie oben ausgeführt, ist die **Zusätzlichkeit** eine Eingangsvoraussetzung dafür, dass das erzeugte PtL auch tatsächlich als erneuerbar angerechnet werden darf. Als die rechtlichen Mindestanforderungen an Zusätzlichkeit sind die Kriterien aus dem Entwurf des oben zitierten delegierten Rechtsakts zu verstehen. Sie müssen in jedem Fall erfüllt werden, wenn PtL auf die Quotenziele der RED II angerechnet werden sollen.⁸ Diese sind durchaus als weitreichend zu werten. Sie lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Fall 1: EE-Stromerzeugung ist in direkter Leitung mit PtL-Anlage verbunden. (Artikel 3 des delegierten Rechtsakts). In diesem Fall gilt, dass
 - die Inbetriebnahme der Anlage zur EE-Stromerzeugung gegenüber der der PtL-Anlage nicht länger zurückliegen darf als 36 Jahre,
 - die Anlage zur EE-Stromerzeugung nicht an das Netz angeschlossen ist oder ein intelligentes Messsystem (smart metering) vorliegt, das alle Stromflüsse aus dem Netz misst und nachweist, dass dem Netz kein Strom entnommen wurde, um PtL zu erzeugen.
- Fall 2: PtL-Anlage entnimmt Strom aus dem allgemeinen Netz (Artikel 4 des delegierten Rechtsakts). Der Strom kann dann vollständig als erneuerbar angerechnet werden, wenn
 - die PtL-Anlage in einer Gebotszone (bidding zone)⁹ liegt, in der der durchschnittliche Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien im vorangegangenen Kalenderjahr über 90 % lag und die PtL-Erzeugung eine Höchststundenzahl nicht überschreitet. Diese Höchststundenzahl ergibt sich aus der Multiplikation der Gesamtzahl der Stunden in jedem Kalenderjahr mit dem Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energien, der für die Gebotszone gemeldet wurde, in der der erneuerbare Wasserstoff erzeugt wird.
 - der PtL-Hersteller Abnahmeverträge für EE-Strom (Power Purchase Agreement, PPA) mit Stromerzeugern vorweisen kann, wobei:
 - die Anlagen zur EE-Stromerzeugung nicht älter als 36 Monate sein dürfen, und
 - die Anlage zur Erzeugung von EE-Strom keine Förderung in Form von Betriebs- oder Investitionsbeihilfen erhalten hat (ausgenommen Förderungen vor einem Repowering oder vollständig rückgezahlte Förderungen), und
 - das PtL im stundengleichen Zeitraum produziert wird wie der vertraglich gelieferte Strom.

⁸ Da bislang nur der Entwurf vorliegt, steht die konkrete Endfassung noch aus, die dann selbstverständlich als Mindestanforderung heranzuziehen ist.

⁹ Definition „Gebotszone“: das größte geografische Gebiet, in dem Marktteilnehmer ohne Kapazitätsvergabe Energie austauschen können (Verordnung (EU) 2019/943 Artikel 2, Nr. 65)

- der Elektrolyseur und EE-Stromerzeuger befinden sich in der gleichen Gebotszone oder in benachbarten Gebotszonen mit gleichen EE-Strompreisen.
- der verwendete Strom während eines Ausgleichsvorgangs verbraucht wird, bei dem nachgewiesen werden kann, dass EE-Stromerzeugungsanlagen nach unten redispatcht wurden und der für die Erzeugung von PtL verbrauchte Strom den Bedarf an Redispatching in entsprechendem Umfang reduziert.

Zu ergänzen ist, dass die PPA-Vorgaben zum Höchstabstand von 36 Monaten sowie der Ausschluss bei bereits erhaltener Förderung erst ab dem Jahr 2027 gelten. Außerdem muss bis dahin lediglich eine monatsgleiche PtL-Produktion und EE-Stromlieferung vorliegen.

Standardsetzungen zur Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit unterbreitet auch der **fairfuel Standard** (atmosfair, 2021), der sich dabei auf fachliche Vorarbeiten von (Fehrenbach H. P., 2021) bezieht. Für beide Aspekte setzt der Standard sehr ambitionierte Kriterien und entspricht somit in gewisser Weise dem Level, der hier als „langfristiger Standard“ angestrebt wird. Bezüglich Erneuerbarkeit sollen vorrangig Wind- und Solarstrom (inkl. concentrated solar power, CSP) eingesetzt werden. Wasserkraft und Biomasse dürfen nur nachrangig eingesetzt werden, sind aber nicht völlig ausgeschlossen. Was Strom aus Biomasse betrifft, fällt der fairfuel Standard somit hinter die Ausschluss-Klausel der RED II zurück.

Die Kriterien des fairfuel Standards für Zusätzlichkeit sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Kriterien des fairfuel Standards für Zusätzlichkeit von EE-Strom

Prinzip	fairfuel Standard
i. Finanzielle Zusätzlichkeit:	Keine Förderung durch staatliche Unterstützung (EEG-Förderung oder vergleichbar)
ii. Initiierungs-Zusätzlichkeit:	<ul style="list-style-type: none"> • Initiierung von Neuanlagen oder • Weiterführung von Bestandsanlagen über mind. 5 Jahre nach Start der PtL-Produktion. • Beides entfällt, wenn Nennleistung der EE-Anlagen dem mind. 4fachen der PtL-Synthesanlage entspricht
iii. PPA-Zusätzlichkeit:	PPA-basierte Abnahme der gesamten Strommenge der Erzeugungsanlagen.
iv. Lokalität:	Nähe der Stromerzeugungsanlage und den Ausschluss von Interkonnektoren (Radius Einzugsgebiet max. 150 km)

3.1.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Bereits die gesetzlichen Anforderungen nach RED II und dem Entwurf des delegierten Rechtsakts stellen hohe Anforderungen an die Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit des Stroms für PtL-Erzeugung. Auch der fairfuel Standard ist hier als ambitioniert zu sehen, wobei sich die Kriterien aus beiden Referenzen nicht völlig wechselseitig decken.

Für einen **kurzfristigen Standard** wäre daher die Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen (RED II & del. Rechtsakt) als ausreichend anzusehen. Ein wesentliches Element für eine Erleichterung des Markteintritt ist dabei in der zeitlichen Übergangsphase bis Ende 2026 zu sehen.

Für einen **langfristigen Standard** wären dagegen zusätzlich weitere Kriterien aufzunehmen, die aus dem fairfuel Standard übernommen werden können. Der hiermit empfohlene langfristige Standard wäre somit wie folgt definiert:

- Strom auf Basis von Biomasse ist wie auch im kurzfristigen Standard ausgeschlossen; eine Ausnahme kann für solche Biomasse gemacht werden, deren Umwandlung zu Strom unvermeidbar ist. Hierzu ist Strom aus der energetischen Verwertung von Abfällen zu zählen, für den biogenen Anteil im Abfall und unter der Voraussetzung, dass für die energetische Verwertung keine besser umweltverträgliche Alternative vorliegt.
- Für den langfristigen Standard ist Strom auf Basis von Wasserkraft ebenfalls auszuschließen, da die Zusätzlichkeit einen Neubau von Wasserkraftanlagen erfordern würde. Hier wird jedoch der Empfehlung des BfN gefolgt, keinen weiteren Ausbau der Wasserkraft vorzunehmen.
- Die Zusätzlichkeit soll außerdem durch die Initiierung seitens des PtL-Anlagenbetreibers belegt werden und die Anlag sollte zur Stabilisierung des Netzes in räumlicher Nähe liegen (max. 150 km Distanz).

Tabelle 4: Kriterien zu Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
Erneuerbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vollständig erneuerbar und ▪ die Energiequelle ist mit begrenztem Flächen- und Ressourcenverbrauch verbunden 	1. Erfüllung der RED II delegierter Rechtsakt	RED II und delegierter Rechtsakt (Entwurf)
Zusätzlichkeit	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfüllung der RED II delegierter Rechtsakt und ▪ Die EE-Stromanlagen sind durch PtL-Anlagenbetreiber selbst initiiert und zur Netzentlastung in räumlicher Nähe (max. 150 km Distanz) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfüllung der RED II delegierter Rechtsakt 	RED II und delegierter Rechtsakt (Entwurf)

Tabelle 5: Indikatoren zur Erneuerbarkeit und Zusätzlichkeit für den langfristigen Standard

Kriterium	Indikatoren für den langfristigen Standard
<ul style="list-style-type: none"> • Erneuerbarkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Der Strom für die PtL-Anlage (d.h. die Elektrolyse, die Syntheseanlage sowie eventuelle Nebenanlagen wie Direct Air Capture (DAC) und Meerwasserentsalzung) ist vollständig erneuerbar und nicht auf Basis von Biomasse oder Wasserkraft erzeugt. Der Nachweis der exklusiven Nutzung von erneuerbarer Energie erfolgt durch Vorlage des Stromlieferungsvertrags.
<ul style="list-style-type: none"> • Zusätzlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Nachweis der Erfüllung der RED II und delegierter Rechtsakt nach rechtskonformer Zertifizierung <ul style="list-style-type: none"> • Initiierung wird nachgewiesen durch Vorlage von Planungsunterlagen der Stromversorgungsanlagen, v.a. den Genehmigungsbescheid und den Aufstellplan. • Räumliche Nähe: die EE-Anlagen befinden sich in einem Radius von 150 km um den Standort der PtL-Anlage.

3.2 CO₂-Quellen

Neben der Primärenergieeinsatz stellt die CO₂-Quelle ein zentrales Element für die Nachhaltigkeitsbewertung von synthetisierten Kohlenwasserstoffen dar. Die Bedeutung der Nachhaltigkeit verschiedener CO₂-Quellen ist in den letzten Jahren zunehmend in den Diskussionsfokus gerückt. Davor wurde regelmäßig das Argument der „eh da“-Emission angeführt, um beispielsweise die Verwendung von CO₂ aus fossilen Kraftwerken im Rahmen von Carbon Capture & Use (CCU) Konzepten zu legitimieren. Dabei stellt die Treibhausgasbilanzierung von CO₂-Quellen notwendig zentraler Nachhaltigkeitsaspekt dar, je nach CO₂-Quelle kommen jedoch weitere wichtige Aspekte für eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung hinzu. Ausgewählte Nachhaltigkeitsaspekte werden im nachfolgenden Kapitel 3.2.1 diskutiert und im Anschluss daran in Kapitel 3.2.2 als Kriterien und Indikatoren abgebildet.

3.2.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Die Diskussion von Nachhaltigkeitsaspekten und -risiken verschiedener CO₂-Quellen knüpft an Diskussionen im Rahmen einer Hintergrundstudie zu PtL (UBA / BHL / LBST, 2022) an, die eine Weiterentwicklung der Arbeiten in (VDA / LBST / DENA, 2017), (Schmidt et al., 2018) und (GIZ / ILF / LBST, 2021) darstellt.

Generell besteht bei zeitlich und/ oder mengenmäßig unbegrenzter Nutzung von CO₂ aus existierenden fossilen bzw. nicht-nachhaltigen biogenen Quellen das Risiko, dass sinnvolle und langfristig notwendige nicht-nachhaltige Wirtschaftspraktiken über einen längeren Zeitraum als technisch nötig fortgesetzt werden (sog. **Lock-in** nicht-nachhaltiger Praktiken obwohl technische Alternativen verfügbar oder absehbar sind). Teilweise werden in der Literatur und von Technologieakteuren bestimmte (CO₂-)Emissionen als unvermeidbare eingestuft und damit deren Nutzung als akzeptabel. Hierbei ist es wichtig, die Dynamik von technischen Entwicklungen nicht aus dem Blick zu verlieren. Was heute als unvermeidbar angesehen wird, kann, je nach Technologiesegment, innerhalb weniger Jahre durch Technologieentwicklung vermeidbar sein. Beispiele wie Primäreisenerzeugung und Zementherstellung zeigen dies deutlich (siehe 3.2.1d).

Bei der Frage nach einer „Unvermeidbarkeit“ von CO₂-Emissionen kann es sich daher nicht um ein Fixum handeln, sondern stellt ein „moving target“ dar. Jede heute noch fossiles CO₂-emittierende Anwendung/Sektor wird Wege suchen müssen, auf die steigenden Anforderungen der Zukunft entsprechende Lösungen zu finden. Für viele Verfahren und Infrastrukturen mit Technologie- und Investitionszyklen, die bislang in die Jahrzehnte gingen, bedeutet dies, dass bis Mitte der 2030er Jahre nachhaltige Lösungsoptionen verfügbar gemacht werden. Nutzungen von CO₂ außerhalb von Kreislaufprozessen bedeuten spätestens ab diesem Zeitpunkt einen ganz offensichtlichen Lock-in-Effekt mit zusätzlichen negativen Klimawirkungen.

a) Direct Air Capture (DAC)

Die CO₂-Konzentration in der Luft ist mit ca. 440 ppm gegenüber anderen (konzentrierten) Quellen sehr gering. Für die Bindung und Bereitstellung von CO₂ bedarf es daher eines erheblichen Durchsatzes an Luft sowie entsprechendem

technischen und energetischem Aufwand. Nichtsdestotrotz gilt CO₂ extrahiert aus der Luft unter Nachhaltigkeitsexpert*innen als eine CO₂-Schlüsselquelle für die Zukunft. Ihre Gewinnung ist auch in großen Mengen nachhaltig möglich. Durch Extraktion aus der Luft kann der Kreislauf von CO₂-Emission, z.B. aus Verbrennungsprozessen, und deren erneute Bindung, z.B. in synthetisierten PtX-Kraftstoffen, geschlossen werden. Wesentlicher bestimmender Faktor für den nachhaltigen Betrieb von DAC-Anlagen ist der Einsatz von erneuerbaren Hilfsenergien (Strom, Wärme). Aktuell diskutierte Extraktionsverfahren geben keine Hinweise auf kritische Nachhaltigkeitsaspekte bei Herstellung, Errichtung oder Anlagenbetrieb. Der Einsatz von Materialressourcen und die Verwendung kritischer Produktionsverfahren (z.B. bezüglich Humantoxizität, Ökotoxizität oder Sicherheit) sind Teil der erweiterten gesellschaftlichen Debatte bzw. ist bei neuen Extraktionsverfahren entsprechend zu prüfen, in wie weit sich hieraus Handlungsbedarf für die Zertifizierung auf Projektebene ergibt.

DAC-Verfahren können auch für Carbon Capture & Storage (CCS) eingesetzt werden. Energie- und Flächenbedarfe stehen aufgrund der prinzipiell sehr großen technischen Potenziale weltweit nicht notwendigerweise in Konkurrenz. Das Prinzip des minimalen Ressourceneinsatzes würde gebieten, dass der Bedarf an synthetisierten Energieträgern minimiert und DACCS rechtzeitig für die in aktuellen Klimaszenarien bereits eingeplante Entzug von CO₂ aus der Atmosphäre und langfristigen Entsorgung verfügbar wird.

b) Biogene Quellen

Die Verwendung von biogenen Ressourcen baut auf Erneuerbarkeit und prinzipiell geschlossene CO₂-Kreisläufe. Negative Umweltauswirkungen können sich jedoch durch nicht-nachhaltige land- und agrarwirtschaftliche Praktiken ergeben, wie z.B. im Falle der Verwendung von **Anbaubiomasse**, insbesondere wenn sich diese in industriellen Größenordnungen bewegt. Diese Größenordnungen sind tendenziell notwendig, um ausreichend große Punktquellen darzustellen, die kommerzielle Kraftstoffproduktionsanlagen bedienen können und insgesamt einen energie-wirtschaftlich relevanten Beitrag zur Deckung der Energienachfrage zu erbringen. Damit stellt das Nachfragepotenzial ein Nachhaltigkeitsrisiko für diesen Bereich dar.

Die Nutzung von biogenen **Nebenprodukten, Rest- sowie Abfallstoffen** bedeutet nicht automatisch eine nachhaltige Verwendung. Unter Bedingungen kann deren Nutzung jedoch als nachhaltig angesehen werden:

1. Wenn diese aus ökologischer Produktion stammen (Anforderungen entsprechend ökologischer Landwirtschaft, wie z.B. Erhalt/Verbesserung der Biodiversität, ausgeglichene Humus- und Stickstoffbilanz)
2. Wenn ausschließlich Einsatzstoffe genutzt werden, die am Ende der Abfallhierarchie stehen (vermeiden, materiell verwenden, energetisch verwerten)

In vielen Ländern wird die Deponierung von unbehandelten **kommunalen Abfällen** (municipal solid waste, MSW) zunehmend eingeschränkt. Oft werden kommunale Abfälle nach einer mehr oder weniger aufwändigen Vorsortierung als sogenannter Ersatzbrennstoff (EBS) in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet. Im Mittel

(so auch in Energiestatiken) wird Ersatzbrennstoff jeweils hälftig als fossil bzw. biogen/erneuerbar angenommen. Der biogene Anteil im Abfall kann messtechnisch ermittelt werden. Unklar ist die Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Abfälle in den Entwürfen der Delegierten Rechtsakten zur RED II (siehe Kapitel 3.3).

Konkurrenzsituationen können sich bei der Verwendung von überschüssigem CO₂ aus der **Fermentation zu Biogas** und **Vergärung zu Bioethanol** ergeben. Für beide Routen gibt es andere sinnvolle bzw. bereits etablierte Verwendungspfade. Aus Nachhaltigkeitssicht wird davon ausgegangen, dass die Einsatzstoffe und Verfahren den höchsten Nachhaltigkeitsanforderungen genügen.

Die Methanausbeute der Biogasproduktion kann z.B. durch den Einsatz des überschüssigen CO₂ zur Herstellung von PtCH₄ deutlich erhöht werden. Die Skalengrößen von Biogasanlagen und deren CO₂-Überschüssen liegen zudem deutlich unterhalb der Bedarfe kommerzieller PtL-Produktionsanlagen. Was entweder zu sehr großen Biogasanlagen mit einem erhöhten Einzugsbereich (und damit verbundenen Rohstofftransportaufwand) verbunden ist oder eine eher kleinteilige CO₂-Sammelinfrastruktur notwendig macht.

Für CO₂-Überschüsse aus der Bioethanolproduktion gibt es oft etablierte Verwendungen, wie z.B. als Kohlensäurezusatz für Mineralwasser und Softgetränke. Für diese Nutzungen müssten dann alternative Bereitstellungswege etabliert werden.

c) Geothermale Quellen

Geothermale Quellen können hohe Anteile an CO₂ aufweisen. In Deutschland wird zur geothermischen Energieerzeugung entnommenes Thermalwasser in einer zweiten Bohrung wieder in die entsprechenden Schichten zurückgeführt. Geschlossene Wasserkreisläufe werden u.a. auch deshalb gemacht, weil Thermalwasser mit Schwermetallen und natürlich vorkommenden radioaktiven Substanzen¹⁰ belastet sein kann.

Die Bewertung, in wie weit CO₂ aus Thermalwasser als CO₂-neutral angesehen werden kann, hängt von den lokalen geologisch-physikalischen Gegebenheiten ab, also ob das CO₂ auch ohne die Nutzung in einer geothermischen Anlage in die Atmosphäre emittiert worden wäre.

Die ausgewiesenen Potenziale an tiefer Geothermie in Deutschland basieren überwiegend auf der Annahme einer Nutzung des sogenannten Hot-Dry-Rock Verfahrens. Bei geringer Porosität der Thermalschicht wird diese durch Druckstöße aufgebrochen und mittels Zusätze physikalisch und biologisch stabilisiert. Das Verfahren wurde in der Erdgasförderung etabliert und ist dort als „hydraulic fracturing“ (Fracking) bekannt.

d) Industrielle Quellen

Industrieprodukte wie Zement, Kalk, Glas sowie Eisen, Stahl und andere Metalle sind nicht nur CO₂-intensiv in ihrer Primärherstellung, das CO₂ fällt hier zu einem

¹⁰ Naturally occurring radioactive substances (NORM)

signifikanten Teil auch prozessbedingt an. Prozessbedingte Emissionen können nur durch Änderungen in den Prozessrouten (z.B. Direktreduktion von Eisenoxid durch Wasserstoff an Stelle von Koks oder der Einsatz von Biokoks in der Stahlerzeugung), der Substitution (z.B. zunehmender Einsatz von Recyclingbeton, Holz oder anderer Baumaterialien an Stelle von neuem Beton) oder Suffizienz (weniger Neubau, längere Nutzungszyklen, mehr Sanierung) vermieden werden.

Auf der anderen Seite gibt es für diese Produktionsverfahren technische Entwicklungen, die mit deutlich geringeren (erneuerbarer Energieeinsatz) bis hin zur kompletten Vermeidung von CO₂-Emissionen (erneuerbarer Energieeinsatz + Änderung der Prozesse) verbunden sind. Dies gilt beispielsweise für die Primäreisenerzeugung¹¹ und die Zementindustrie¹².

Da eine Änderung von fossiler auf erneuerbare Energiebasis typischerweise leichter möglich ist als eine Routenumstellung von hohen auf geringe bis gar keine prozessbedingten Emissionen, sollte im Falle befristeter Ausnahmeregelungen die Verwendung von CO₂ auf die schwieriger vermeidenden prozessbedingten Emissionen beschränkt werden. Damit kann das Lock-in-Risiko merklich reduziert werden.

Die Verwendung von CO₂ aus Industriequellen für die Herstellung von Syntheseprodukten ist in manchen Bereichen bereits heute auf dem Weg zur Erfüllung der Paris-Ziele 2050, quasi jedoch auch in allen anderen Fällen und zunehmenden Maßen mit einem Lock-in-Risiko verbunden.

e) Verbrennung fossiler Energieträger (CCU)

Für Kraft-, Heiz- sowie Heizkraft-Werke, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden, bieten sich zur signifikanten CO₂-Emissionsminderung im Grunde nur der Weg zu CCU bzw. CCS an. Damit würde die Verwendung fossiler Rohstoffe weiter aufrechterhalten, was mit einem erheblichen Lock-in-Effekt verbunden wäre.

Zusammenfassung

In Tabelle 6 wird ein Überblick über verschiedene CO₂-Quellen mit generischer Nachhaltigkeitsbewertung sowie Zusammenfassung zentraler Nachhaltigkeitsrisiken gegeben.

¹¹ Direktreduktion von Eisenoxid mit Wasserstoff an Stelle des bisherigen Einsatzes von Koks in Hochöfen.

¹² Einsatz von erneuerbaren Energien, via grünem Wasserstoff oder als Plasma (z.B. Tarmac in ihrer Anlage in Tunstead UK, HeidelbergCement in der Ribblesdale-Anlage ihrer Tochter Hanson UK) sowie Entwicklung von Verfahren zum Betonrecycling (z.B. HeidelbergCement in der norwegischen Brevik-Anlage ihrer Tochter Norcem)

Tabelle 6: Nachhaltigkeitsaspekte verschiedener CO₂-Quellen

Option	Nachhaltigkeit	Nachhaltigkeitsrisiken
DAC (Direct Air Capture)	+	Verwendung nicht-erneuerbarer Quellen für Hilfsenergie (Strom, Wärme); Alternativen: Direktstromnutzung an Stelle von kohlenwasserstoffhaltigen Energieträgern, Direct Air Capture & Carbon Storage (DACCS)
Biogenes CO ₂ , evtl. mit weiteren Bedingungen, z.B. <ul style="list-style-type: none"> aus Fermentation zu Biogas aus Vergärung zu Bioethanol aus Verbrennung von Biomasse 	o	<ul style="list-style-type: none"> Generell: Lock-in-Risiko nicht-nachhaltiger Agrarpraxis, z.B. Massentierhaltung; Alternative: Nachhaltigere Landnutzung oder Biomassenutzung Überschüssiges CO₂ aus Biogasproduktion könnte zur PtCH₄-Herstellung genutzt werden Die Verwendung von überschüssigem CO₂ aus Vergärung konkurriert mit etablierten Verwendungspfaden Verbrennung von z.B. Abfällen: Lock-in ggf. nicht-nachhaltiger Abfallströme; Alternative: Verstärkte Kreislaufwirtschaft, u.a. chemisches Recycling (waste-to-chemicals)
Geothermale Quellen	o	Risiken Hot-Dry-Rock; Alternative: Reinjektion
Zement, Kalk, Glas	-	Lock-in-Risiko etablierter Technologiepfad statt Entwicklung von Alternativen (Recycling, Substitution, Suffizienz); CCU ggf. zeitlich sowie mengenmäßig begrenzt auf prozessbedingtes CO ₂
Eisenerzeugung	-	Lock-in-Risiko etablierter Technologiepfad statt Entwicklung von Alternativen (Direktreduktion mit Wasserstoff)
Verbrennung fossiler Energieträger (pre/post combustion CCU)	-	Lock-in-Risiko etablierter Technologiepfad statt Nutzung erneuerbarer Energien oder langfristiger Speicherung mittels CCS

3.2.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Die im vorangegangenen Kapitel 3.2.1 diskutierten Nachhaltigkeitsaspekte für die Nutzung von CO₂-Punktquellen werden nachfolgend in Form von Kriterien und Indikatoren abgebildet.

Für den langfristigen und den kurzfristigen Standard ist zu beachten, dass neben den in diesem Abschnitt festgelegten Anforderungen an CO₂-Quellen zusätzlich die Anforderungen an CO₂-Quellen in Bezug auf die Treibhausgasminderung in Abschnitt 3.3.2 dargestellt zu berücksichtigen sind.

Tabelle 7: Kriterien zur CO₂-Quelle für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
CO ₂ -Quelle	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ aus der Luft (DAC)* 	<ul style="list-style-type: none"> CO₂ aus der Luft (DAC)* Biogene Quellen, die nicht mit negativen Effekten verbunden sind** Industrielle Punktquellen im EU-ETS bis 2035*** 	Nach delegiertem Rechtsakt THG-Methode zur RED II kein expliziter Ausschluss von CO ₂ -Quellen. Das ergibt sich aus Anforderung an die THG-Minderung

* Energie für DAC muss erneuerbar sein; Strom gemäß Kriterien in Kapitel 3.1

** Nach delegiertem Rechtsakt würde eine Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien nach RED II für biogene CO₂-Quellen ausreichen. Für den Standard hier sollte CO₂ aus der Biogas- oder Bioethanolerzeugung auf Basis von Anbaubiomasse ausgenommen werden.

*** CO₂ wurde zuvor in der Prozesskette in Form einer Bepreisung von Treibhausgasemissionen berücksichtigt und ist vor 2036 chemisch in den Kraftstoff eingebunden

Tabelle 8: Indikatoren zur CO₂-Quelle für den langfristigen Standard

Kriterium	Indikatoren für den langfristigen Standard
CO ₂ -Quelle	<p>Das CO₂ wird direkt der Luft entnommen über die sogenannte DAC-Technologie</p> <p>Die Energie für DAC muss erneuerbar sein; Strom gemäß Kriterien in Kapitel 3.1</p>

3.3 Treibhausgasminderung

Mit der Methode der Lebenszyklusanalyse (Life-cycle assessment – LCA) lassen sich unter anderem Treibhausgasemissionen über den Lebenszyklus von Produkten bilanzieren. Bei PtL-Kraftstoffen für den Flugverkehr erstreckt sich dieser von der Stromerzeugung für die H₂-Produktion über die Synthese mit CO₂ zu Rohöl und Weiterverarbeitung zu PtL-Kerosin bis zur Verbrennung des PtL-Kerosins im Flug.

Eine entscheidende Frage ist dabei, wie die Treibhausgasemissionen der CO₂-Quelle bilanziert werden. Hierfür werden im Folgenden entsprechende Berechnungsansätze präsentiert.

3.3.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Der Standard „Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication“ (ISO 14067, 2018) definiert die Prinzipien, Anforderungen und Richtlinien für die Quantifizierung von Treibhausgasemissionen entlang des Lebenszyklus von Produkten. Emissionen werden hierbei als die Freisetzung von Treibhausgasen in die Atmosphäre und Entnahmen als die Entziehung von Treibhausgasen aus der Atmosphäre definiert. Als Beispiel wird die Wirkungsabschätzung von biogenem Kohlenstoff genannt. Entnahmen von CO₂ aus der Atmosphäre in Biomasse durch Photosynthese sind in den Berechnungen als $-1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ zu charakterisieren, während Emissionen bei der Verbrennung der Biomasse als $+1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ zu berücksichtigen sind. In Summe sind diese beiden Elemente CO₂-neutral, wobei Prozessemissionen noch hinzuzurechnen sind.

Demnach sind CO₂-Entnahmen mit DAC vor Einberechnung der Prozessemissionen ebenfalls mit $-1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ zu charakterisieren. Beim Auffangen von CO₂ aus industriellen Anlagen oder geothermischen Quellen mit CCU findet hingegen kein Stoffaustausch mit der Atmosphäre statt. Diese Prozesse können deshalb nicht analog zu DAC bilanziert werden. CO₂ kann allerdings als ein Abfallprodukt gesehen werden, welches durch CCU einen Recyclingprozess durchläuft. In diesem Fall lässt sich für das aufgefangene CO₂ eine Allokation durchführen. Da der Stoff im gleichen Produktsystem genutzt wird, ist eine Allokation im offenen Kreislauf nach physikalischen Eigenschaften, ökonomischem Wert oder der Anzahl nachfolgender Nutzungen des Rezyklats durchzuführen. Sollte keine dieser Methoden anwendbar sein, kann auch ein arbiträrer Allokationsfaktor von beispielsweise 0,5 angenommen werden. In diesem speziellen Fall würden Emissionsminderungen von jeweils $-0,5 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ zwischen dem System der CO₂-produzierenden Anlage und dem PtL-System aufgeteilt werden. Welche Bilanzierungsmöglichkeiten sich daraus für verschiedene CO₂-Quellen ergeben, wird nachfolgend diskutiert.

Auf Basis von ISO 14067 sowie weiteren Vorgaben und wissenschaftlichen Arbeiten zu diesem Themenkomplex präsentiert das IFEU (IFEU, 2017) in einer methodischen Handreichung einen Leitfaden zu verschiedenen Ansätzen für die Bilanzierung von CO₂ für Prozesse in der chemischen Industrie. Für die CO₂-Entnahme aus der Umgebungsluft sowie CO₂ aus biogenen Quellen besteht in der Literatur Konsens bezüglich einer THG-Bilanz von $-1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$. Bei der Abscheidung von CO₂ aus einem Verbrennungsabgas wird das Treibhausgas als ein Reststoff bzw. Abfallstoff betrachtet. Es wird unter anderem eine Teilung der Emissionslast zu je 50 % für den CO₂-erzeugenden und -nutzenden Prozess als praktikabel erachtet. Gase mit einem Energiewert, wie beispielsweise industrielles Schwachgas, sind hingegen eher als ein Nebenprodukt zu betrachten, nicht als Reststoff oder Abfallstoff. Hier kann dem CO₂-Nutzungsprozess anstelle einer Allokation der Emission am Ende des Lebensweges für den entgangenen energetischen Nutzen im Vorprozess eine

entsprechende Lastschrift angerechnet werden. Sollte CO₂ gezielt industriell erzeugt werden, ist die Kohlenstoffquelle Bestandteil des Systems der CO₂-Nutzung und es erfolgt keine Allokation der Lasten im Rahmen von Recycling.

Der Leitfaden empfiehlt demnach für CCU aus industriellen Prozessen einen Allokationsfaktor von 50 %, sofern hier keine Abfallprodukte mit Energiewert berücksichtigt werden. Dieser Ansatz bezieht sich auf die Allokation im offenen Kreislauf bei Recyclingprozessen nach ISO 14067 und wird neben anderen Ansätzen für eine Treibhausgasbilanz der CO₂-Quellen am Ende dieses Unterkapitels herangezogen.

Ein zukünftiger rechtlicher Rahmen zu diesem Themenkomplex wurde mit dem Entwurf des delegierten Rechtsakts (DA) vom 20. Mai 2022 nach Artikel 28(5) der EU-Richtlinie 2018/2001 (RED II) gelegt (Europäische Kommission, 2022). Hier werden Vorgaben zur Berechnung der Treibhausgasemissionen bei der Herstellung und Nutzung von RFNBOs und RCFs (Recycled Carbon Fuel) angegeben. Im Anhang wird die genaue Methodik hierzu erläutert. Dabei ergeben sich die Gesamtemissionen E aus der Nutzung des Treibstoffs aus:

$$E = e_i + e_p + e_{td} + e_u - e_{ccs}$$

Hierbei stellt e_i Emissionen aus der Bereitstellung der Inputs, e_p Emissionen aus der Verarbeitung, e_{td} Emissionen aus Transport und Distribution, e_u Emissionen aus der Verbrennung des Kraftstoffs in der Endnutzung und e_{ccs} Emissionseinsparungen aus CCS (Carbon Capture and Storage) dar. Für die vorliegende Fragestellung zur CO₂-Bilanzierung der Kohlenstoffquelle sind die Input-Emissionen e_i von Bedeutung. Diese berechnen sich aus:

$$e_i = e_{i\text{ elastic}} + e_{i\text{ rigid}} - e_{\text{ex-use}}$$

Dabei steht $e_{i\text{ elastic}}$ für Emissionen aus elastischen Inputs, $e_{i\text{ rigid}}$ für Emissionen aus starren Inputs und $e_{\text{ex-use}}$ für Emissionen aus der bestehenden Nutzung oder Bestimmung. Die verschiedenen Begriffe werden im Folgenden genauer erklärt.

Bei elastischen Inputs lässt sich das Angebot bei einer erhöhten Nachfrage steigern. Ein Beispiel hierfür ist durch DAC aufgefangenes CO₂ aus der Atmosphäre. Alle Kohlenstoffquellen für die Herstellung von RCFs sind hingegen starre Inputs. Hier können Rohstoffmengen, z.B. Konvertergase, nicht flexibel an eine steigende Nachfrage angepasst werden. Zudem zählen in fixen Mengen hergestellte Outputs aus einem integrierten Prozess, welche weniger als 10 % des ökonomischen Werts des Erzeugnisses darstellen, als starre Rohstoffquellen laut DA-Methodik. Zu diesen zählen Prozesse im gleichen Industriekomplex, Prozesse mit dezidiertem Versorgungsinfrastruktur der Inputs und Prozesse, welche mehr als die Hälfte der Energie aller Inputs für RFNBOs und RCFs bereitstellen. Als weitere Beispiele für starre Inputs werden vom Joint Research Centre der EU-Kommission industrielle Abgase sowie CO₂ aus geothermalen Quellen genannt (Edwards, et al., 2020).

Dem DA 28(5) nach müssen Emissionen aus starren Inputs neben Treibhausgasen aus dem CCU-Prozess auch Emissionen aus der Umleitung dieser Inputs von einer vorherigen oder alternativen Nutzung beinhalten. Dazu gehören der

Produktionsverlust von Strom, Wärme oder Produkten, welche zuvor durch die Inputs hergestellt wurden, sowie Emissionen durch zusätzliche Verarbeitung der Inputs und durch Transport. Sowohl $e_{i \text{ elastic}}$ als auch $e_{i \text{ rigid}}$ berücksichtigen zudem Emissionen aus Inputs in den CCU-Prozess. Dementsprechend müssen für RCFs entsprechende Verluste aus einem entgangenen Nutzen einberechnet werden. Für bestehende Prozesse, welche ohne CCU das gesamte CO₂ in die Atmosphäre emittieren würden, kommt keine solche Lastschrift zum Tragen.

Ein weiterer Parameter für die Berechnung von e_i ist $e_{\text{ex-use}}$. Dieser beinhaltet alle Emissionen aus der bestehenden Nutzung oder Bestimmung der Inputs, welche durch die Verwendung der Rohstoffe für die Treibstoffproduktion vermieden werden. Für CO₂, welches mit CCU aufgefangen und in Treibstoff eingesetzt wurde, ist mindestens eine der folgenden Voraussetzungen zu erfüllen.

- Das CO₂ wurde von einem Prozess unter Anhang I der Richtlinie 2003/87/EC aufgefangen, zuvor in der Prozesskette in Form einer Bepreisung von Treibhausgasemissionen berücksichtigt und ist vor 2036 chemisch in den Kraftstoff eingebunden.
- Das CO₂ wurde mit DAC aus der Luft aufgefangen.
- Das aufgefangene CO₂ entstammt der Herstellung oder Verbrennung von Biokraftstoffen entsprechend Nachhaltigkeits- und THG-Einsparungskriterien und das Auffangen von CO₂ erhält keine Gutschriften für Emissionsminderungen durch CCU nach Anhang V und VI der Richtlinie (EU) 2018/2001 (RED II).
- Das aufgefangene CO₂ entstammt einer geologischen CO₂-Quelle und wurde zuvor natürlich emittiert.

CO₂ aus den genannten Kohlenstoffquellen wird dementsprechend unter $e_{\text{ex-use}}$ als $-1 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ bilanziert. Wird keine der vier Kriterien erfüllt, ist das aufgefangene CO₂ bei der Berechnung der Emissionen aus der bestehenden Nutzung oder Bestimmung als $0 \text{ kgCO}_{2\text{eq}}/\text{kgCO}_2$ einzuberechnen. Eine Ausnahme bildet die gezielte Verbrennung eines fossilen Brennstoffs für die Herstellung von CO₂, welche bei CCU nicht als negative Emission bilanziert werden darf. Wichtig ist weiterhin, dass keine Gutschriften für das Auffangen von CO₂ vergeben werden, welches bereits unter anderen Gesetzesbestimmungen bilanziert wurde. Dies ist beispielsweise für aufgefangenes CO₂ bei der Biogasherstellung der Fall, sofern hier bereits eine Emissionsvermeidung berücksichtigt worden ist.

Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren wird für fossile Brennstoffe ein Vergleichswert von $94 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$ angegeben. Nach Artikel 25(2) der RED II werden für RFNBOs Treibhausgaseinsparungen von mindestens 70 % gefordert (Europäische Kommission, 2018). Bezogen auf den Vergleichswert ergibt sich somit ein Grenzwert von $28,2 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$.

Der Emissionsfaktor für Kerosin ohne Emissionen der vorgelagerten Kette beträgt $73 \text{ gCO}_{2\text{eq}}/\text{MJ}$. Dieser Wert wird für die folgenden Abschätzungen vereinfachend herangezogen. Werden nur die Lasten der Verbrennung ohne Vorkette berücksichtigt,

ergeben sich nach den drei dargestellten Bilanzierungsansätzen die Beiträge der verschiedenen CO₂-Quellen zur THG-Bilanz des PtL-Produkts in Tabelle 9. Von den in Unterkapitel 3.2 genannten CO₂-Quellen sind die Mineralverarbeitende Industrie, Eisenmetallerzeugung sowie Anlagen zur Energieumwandlung und -umformung in Anhang I der Richtlinie 2003/87/EC aufgeführt und damit ETS-pflichtig. Die Verbrennung von Siedlungsabfällen ist hier ausgeschlossen (Europäische Kommission, 2003).

Tabelle 9: Beitrag der CO₂-Quellen zur THG-Bilanz von PtL-Produkten nach verschiedenen Bilanzierungsansätzen (zuzüglich Prozessemissionen)

CO ₂ -Quellen	ISO 14067	ISO 14067 Recycling (Annahme: 50 %- Allokation)	RED II DA 28(5)
Luftextraktion	0 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ
Biogene Quelle	0 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ*
Tiefe Geothermie	73 gCO _{2eq} /MJ	37 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ
Zement-/ Kalk-/ Glas- Herstellung	73 gCO _{2eq} /MJ	37 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ**
Eisenerzeugung	73 gCO _{2eq} /MJ	37 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ**
Verbrennen fossiler Brennstoffe (Hauptprodukt)	73 gCO _{2eq} /MJ	73 gCO _{2eq} /MJ	73 gCO _{2eq} /MJ
Verbrennen fossiler Brennstoffe (Begleitprodukt)	73 gCO _{2eq} /MJ	37 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ**
Vergasung/Reformierung fossiler Energieträger	73 gCO _{2eq} /MJ	37 gCO _{2eq} /MJ	0 gCO _{2eq} /MJ**

* Auffangen von CO₂ erhält keine Gutschriften für Emissionsminderungen durch CCU; Biomasse erfüllt die Nachhaltigkeitsanforderungen der RED II

** CO₂ wurde zuvor in der Prozesskette in Form einer Bepreisung von Treibhausgasemissionen berücksichtigt und ist vor 2036 chemisch in den Kraftstoff eingebunden

Alle Treibstoffemissionen, welche unterhalb des Grenzwerts nach RED II liegen, sind grün markiert. Für die reine PtL-Verbrennung wird das Kriterium nur unterhalb einer Zurechnung von 38 % der Treibhausgasemissionen der CO₂-Quelle zum PtL-Kerosin erreicht – Prozessemissionen müssten zusätzlich berücksichtigt werden. Eine 50 %-Allokation führt also zu einem Ausschluss des PtL-Kerosins aus solchen CO₂-Quellen. Nur CO₂-Quellen, die mit -1 kgCO_{2eq}/kgCO₂ bilanziert werden, ermöglichen die Einhaltung der Gesamtbilanzanforderung.

Demnach erfüllt aktuell nur die CO₂-Gewinnung aus DAC sowie bedingt auch aus biogenen Quellen¹³ die genannten Anforderungen nach allen drei Berechnungsansätzen. Ab 2036 können zudem auch ETS-pflichtige CO₂-Quellen nach dem DA nicht mehr mit 0 kgCO_{2eq}/kgCO₂ im Lebenszyklus des Treibstoffs bilanziert werden. In Erwägungsgrund 7 des DA wird argumentiert, dass kurz- und mittelfristig CO₂-Punktquellen reichlich vorhanden seien und genutzt werden könnten, ohne den Fortschritt der Dekarbonisierung zu behindern. Demgegenüber sei langfristig die Nutzung solcher Quellen nicht mit dem Ziel der Klimaneutralität vereinbar. Daher seien nicht-nachhaltige CO₂-Quellen nur bis 2035 als emissionsvermeidend einzustufen.

Die dezidierte Verbrennung fossiler Brennstoffe für die Herstellung von CO₂ als Hauptprodukt führt als einziger Prozess nach allen LCA-Ansätzen zu keiner Treibhausgasminderung für das PtL-Produkt.

Da es sich bei dem DA um einen Entwurf handelt, können sich hier noch Änderungen ergeben. Eine Analyse von Hydrogen Europe (Hydrogen Europe, 2022) fordert in diesem Zusammenhang unter anderem Erläuterungen zu Müllverbrennungsanlagen, bei der die Bilanzierung des biogenen Anteils unklar ist, sowie zu möglichen Ausnahmen von Sektoren mit unvermeidbaren Emissionen wie bei der Zementherstellung. Weiterhin ist noch unklar, wie die Emissionen für e_{ex-use} berechnet werden, wenn für die Inputs verschiedene Nutzungsalternativen bestehen.

3.3.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Für den langfristigen und den kurzfristigen Standard ist zu beachten, dass neben den in diesem Abschnitt festgelegten Anforderungen an CO₂-Quellen in Bezug auf die Treibhausgasminderung zusätzlich die Anforderungen an CO₂-Quellen aus anderen Nachhaltigkeitsüberlegungen wie in Abschnitt 3.2.2 dargestellt zu berücksichtigen sind.

Der langfristige Standard orientiert sich konsequent am ISO Standard 14067 und lässt daher nur DAC und biogene CO₂-Quellen zu. Alle anderen CO₂-Quellen entziehen der Atmosphäre kein CO₂ und sind daher nicht mit $-1 \text{ kgCO}_{2eq}/\text{kgCO}_2$ zu bilanzieren.

Für den kurzfristigen Standard wird der Logik des DA (Entwurfsfassung) gefolgt, der die voraussichtliche gesetzliche Mindestanforderung darstellt. Allerdings werden hier nur die treibhausgasrelevanten Aspekte berücksichtigt. Weitere Nachhaltigkeitsanforderungen, die im DA berücksichtigt werden, insbesondere die weiteren Nachhaltigkeitsanforderungen an Biomasse, werden hier nicht berücksichtigt, sondern als Zusatzanforderungen in Abschnitt 3.2.2 festgelegt.

¹³ RED II DA 28(5) fordert zusätzlich die Einhaltung der Nachhaltigkeitsanforderungen

Tabelle 10: CO₂-Quellen mit –1 kgCO_{2eq}/kgCO₂ für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
CO ₂ -Quellen	<ul style="list-style-type: none"> Nur DAC und biogene Quellen 	<ul style="list-style-type: none"> DAC biogene Quellen Industrielle Punktquellen im EU-ETS bis 2035** Geothermische Quellen*** 	<ul style="list-style-type: none"> DAC biogene Quellen* Industrielle Punktquellen im EU-ETS bis 2035** Geothermische Quellen***

* keine Gutschriften für Emissionsminderungen durch CCU; Biomasse erfüllt die Nachhaltigkeitsanforderungen der RED II

** CO₂ wurde zuvor in der Prozesskette in Form einer Bepreisung von Treibhausgasemissionen berücksichtigt und ist vor 2036 chemisch in den Kraftstoff eingebunden

*** CO₂ wurde zuvor natürlich emittiert

3.4 Ressourceneffizienz

Mit den Kriterien zu EE-Strom und den CO₂-Quellen verbindet sich im Grunde eine gute Treibhausgasbilanz. Damit ist aber nicht sichergestellt, dass auch die Ressourceneffizienz in akzeptabler Weise gewährleistet ist. Die Produktionskette von PtL ist bekanntermaßen mit sehr hohem Energieinput – sprich Energieverlusten – verbunden. Doch ungeachtet seiner quasi Klimaneutralität stellt auch EE-Strom eine knappe Ressource dar, die es effizient zu nutzen gilt.

Nun ist Ressourceneffizienz keine einfach zu messende Größe, wie es vergleichsweise für eine THG-Bilanz gilt. Geht es bei letzterer „nur“ um das Zusammenführen einer überschaubaren Anzahl von Treibhausgasen, für deren Emissionen sich zumeist hinreichend Datenquellen finden, sind Ressourcen äußerst vielfältig und komplex. Es existieren verschiedene Messgrößen wie

- Rohstoffkonsum bzw. Materialeffizienz in Masseneinheiten (z.B. RMC, RMI, KRA).¹⁴

¹⁴ RMI: Raw material index, RMC: Raw material consumption, (siehe auch https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Material_flow_indicators)
KRA: kumulierter Rohstoffaufwand. (siehe auch: <https://www.ressource-deutschland.de/instrumente/leitfaden-ressourceneffizienz/methoden-arbeitsmittel/kumulierter-rohstoffaufwand/>)

- Rohstoffkritikalität (zum Erkennen von sogenannten „kritischen Rohstoffen“, v.a. Metalle, die z.B. in der DERA-Rohstoffliste (DERA, 2021) in hoher Risikogruppe geführt werden (z.B. Kobalt, Antimon)¹⁵)
- Reale und potenzielle Recyclingquoten.
- Energieeffizienz oder Primärenergieaufwand (als KEA, kumulierter Energieaufwand)

Die Frage lautet: Welches wäre ein geeignetes Kriterium und wie sähen die Indikatoren aus zur Operationalisierung? Von einem Produzenten neben der THG-Bilanz regelmäßige Rohstoffbilanzen zu erheben, erscheint nicht angemessen. Dies würde sehr umfangreiche und komplexe Lebenswegbilanzen erfordern, die aufgrund der Betrachtung von Infrastruktur und Investitionsgütern weit über den Scope der RED II bei der THG-Bilanz hinausgehen.

Für ein Kriterium im Rahmen einer Zertifizierung ist dagegen entscheidend, dass eine gute Praxis von einer weniger guten im Zuge der Produktionskette differenziert wird. Welches Anspruchsniveau sollte bei "langfristigen" und "kurzfristigen" Standards angestrebt werden?

Konkret können aber nachfolgend beschriebene Aspekte der Ressourceneffizienz zur Bewertung empfohlen werden.

3.4.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Die **Materialeffizienz** stellt im Bereich der Ressourceneffizienz einen zentralen Aspekt dar. Es ist jedoch gerade der Vorteil von PtL, dass der für seine Erzeugung benötigte Rohstoff nicht als knappe Ressource einzustufen ist. Es handelt sich dabei im Wesentlichen um Wasser und CO₂. Ersteres kann eine knappe Ressource sein und wird separat in einem Kriterium behandelt (siehe Kapitel 3.5). Die Entnahme von CO₂ aus der Luft ist dagegen aus Klimaschutzsicht zu begrüßen und der Strom, vorzugsweise aus Wind- oder Sonnenenergie, ist ebenfalls mit direkter Rohstoffentnahme verbunden.

Anders verhält es sich mit der Infrastruktur, deren Errichtung u.a. auch in den THG-Bilanzen (zumindest nach Regeln der RED II) nicht eingerechnet wird. Für den Produktionspfad eines PtL-Kerosins ist jedoch ein durchaus relevanter Aufwand an Material für Anlagen erforderlich, angefangen von den Anlagen für EE-Strom, über die Elektrolyse sowie Anlagen zur Synthese und je nachdem auch für die Luftzerlegung und Meerwasserentsalzung.

Die Erstellung einer Materialbilanz für die Infrastruktur anhand eines Indikators wie dem RMC, RMI oder KRA ist jedoch für die Zertifizierung eines Produkts wie PtL-Kerosin nicht zweckmäßig. Der Materialverbrauch findet überwiegend bei der Errichtung der Anlagen (einmalig) statt und liefert über die Produktionsphase kaum

¹⁵ Die Prozesskette der PtL-Produktion

Informationen. Daher wird für die Ressourceneffizienz auf ein massenbezogenes Kriterium verzichtet.

Was die **Rohstoffkritikalität** der zahlreichen verfahrenswichtigen Metalle betrifft, so gilt zum Teil das gleiche Argument, das auch gegen ein Kriterium für die Materialeffizienz spricht, da viele dieser Metalle für längere Zeit in der Infrastruktur verbaut sind. Manche werden jedoch auch in eher kürzer lebenden Komponenten benötigt wie insbesondere Katalysatoren. Für den Fischer-Tropsch-Reaktor basieren diese v.a. auf Kobalt.

Wie oben angeführt, ist dieser Aspekt jedoch für die Zertifizierung einzelner Lieferungen von PtL nicht zielführend..

Doch auch auf dessen Herkunft kann der PtL-Produzent im Grunde kaum Einfluss nehmen. Zwar gibt es erste Ansätze für eine Zertifizierung für mehr Nachhaltigkeit in den Rohstofflieferketten aus dem Kleinbergbau (BGR 2020)¹⁶. Hierbei geht es um dringend erforderliche Sorgfaltspflichten eines verantwortungsvollen Bergbaus aus ökologischer und sozialer Sicht. Die Frage der Knappheit der Rohstoffe wird dabei allerdings nicht tangiert. Für dies müssen die Forschung und die Entwicklung neue Wege in den Technologien aufzeigen und anbieten. Daher wird auch bezüglich der Rohstoffkritikalität von der Empfehlung eines Kriteriums in einem Standard für PtL-Kerosin abgesehen.

Was die **Recyclingfähigkeit** betrifft, stellen viele der verbauten Massenmaterialien (Stahl, Aluminium, Kupfer) kein Problem dar. Auch Katalysatoren werden in der Regel standardmäßig recycelt. Nicht völlig geklärt ist diese Frage für Rotorblätter von Windenergieanlagen. Für PV-Paneele ist ein vollwertiges Recycling prinzipiell möglich, wenngleich das bisher nicht im industriellen Maßstab erfolgt.

Die Anwendung eines Kriteriums „Recyclingfähigkeit“ erscheint zwar grundsätzlich sinnvoll. Hierbei geht es jedoch um ein Potenzial in der Zukunft, dessen Umsetzung heute unsicher ist. Auch hier gilt wie bei den vorangehenden denkbaren Kriterien der Materialeffizienz und der Rohstoffkritikalität, dass längerfristig installierte Infrastruktur bewertet wird, die im Rahmen einer Zertifizierung kaum sinnvoll auf die Produkte (PtL-Kerosin) umzulegen wäre.

Bleibt als weiterer zentraler Aspekt bezüglich Ressourceneffizienz von PtL die **Energieeffizienz**. Im Vergleich mit anderen Energieoptionen ist PtL mit hohem Primärenergieverbrauch verbunden. Da diese Energie aber gemäß den Kriterien zum Strom (Kapitel 3.1) und der THG-Bilanz (Kapitel 3.3) praktisch ohne THG-Emissionen gestellt werden kann, gibt es (außer Betriebskosten) keinen Grund, sie effizient zu nutzen. Die Energieeffizienz ist allerdings als indirekter Indikator für Materialeffizienz zu sehen, denn der mit den einzelnen Prozessschritten verbundene Strombedarf schlägt sich auch in den einzusetzenden Rohstoffmengen nieder. Verbesserungen bei der Energieeffizienz über die Kette können daher auch zu deutlicher Verbesserung der Ressourceneffizienz der Produktion führen. Allerdings ist dieser

¹⁶ https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Oeffentlichkeitsarbeit/Pressemitteilungen/BGR/bgr-2020-06-16_sorgfaltspflichten-kongo-kleinbergbau-kobalt.html

Ansatz nicht in der Lage, höhere Effizienz bei kritischen Rohstoffen zu erreichen oder anzuzeigen, sondern wirkt pauschal auf die Gesamteffizienz.

Sie kann in diesem Falle als Repräsentant für Ressourceneffizienz gesehen werden, der zwar keinesfalls alle Aspekte davon abdecken kann. Er erscheint jedoch geeignet als aussagekräftiger „Proxy“.

Die Energieeffizienz kann durch den Primärenergieaufwand mit der Bilanzgröße KEA (kumulierter Energieaufwand) dargestellt werden. Seine Berechnung setzt voraus, dass der Energiefluss für die Prozesskette durch den PtL-Erzeuger ermittelt wird. Dabei wäre jedoch auch zu beachten, dass die Randbedingungen zur jeweiligen PtL-Produktion berücksichtigt werden: wird z.B. am Standort das CO₂ durch DAC bereitgestellt oder muss Prozesswasser durch Meerwasserentsalzung gewonnen werden, bedeutet dies einen erhöhten Energiebedarf gegenüber einem Standort, der CO₂ aus einer Punktquelle und Wasser aus ausreichenden Süßwasserressourcen entnehmen kann.

Die Ermittlung des KEA im Zuge der Zertifizierung kann im Zusammenhang mit der Berechnung der THG-Bilanz erfolgen, die in der Regel grundsätzlich eine Energiebilanz voraussetzt bzw. auf einer solchen aufsetzt.

Am Beispiel der UBA-Studie SYSEET (Liebich, 2020) können Default-Werte für den Primärenergieverbrauch typischer PtL-Pfade aufgestellt werden. Darauf aufbauende Indikatoren für einen langfristigen Standard werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

Weitere relevante Aspekte der Ressourceneffizienz werden unter Wasserverfügbarkeit (Kapitel 3.5) und Landnutzung/Landnutzungsänderung (Kapitel 3.6) behandelt.

Der Ausschluss von Biomasse als Energiequelle kommt im Übrigen ebenfalls der Ressourceneffizienz in hohem Maße zu Gute. Wie oben beschrieben, wäre die Wasserstoff- und PtL-Produktion auf Basis von Biomassestrom ein massiver Effizienzverlust gegenüber der direkten Umwandlung von Biomasse in Kraftstoff (BtL).

3.4.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Nach Daten aus Ökobilanzen für PtL (Liebich, 2020) (Dittrich, Liebich, Müller, Schoer, & Loibl, 2021) (Hank, et al., 2020) setzt sich der KEA für die PtL-Produktion wie in Tabelle 11 dargelegt zusammen. Daraus ist erkennbar, dass die Elektrolyse mit etwa zwei Drittel und die FT-Synthese mit knapp einem Drittel den mit Abstand größten Teil der Energie konsumiert. Die CO₂-Abscheidung per DAC nimmt knapp 6 % ein, die Meerwasserentsalzung liegt deutlich unter 1 %. Die Gesamtsumme aller Beiträge liegt bei etwa 3,1 MJ/MJ PtL. Im Falle einer CO₂-Punktquelle statt DAC reduziert sich der Summenwert auf etwas unter 3 MJ/MJ PtL.

Auf dieser Basis lässt sich ein einheitlicher Default-Wert rechtfertigen, unabhängig vom technischen Setting und den räumlichen Randbedingungen der PtL-Produktion.

Tabelle 11: Kumulierter Energieaufwand (KEA) für eine typische Situation der Produktion von PtL

	Energieverbrauch für PtL MJ/MJ PtL
Elektrolyse (alkalische Elektrolyse (AEL)) Wirkungsgrad: 67 %	1,99
Wasserentsalzung	0,015
CO ₂ -Abscheidung (DAC)	0,18
Fischer-Tropsch-Synthese	0,92
Summe	3,11

Quelle: (Liebich, 2020) (Dittrich, Liebich, Müller, Schoer, & Loibl, 2021) (Hank, et al., 2020)

Da sich die hier angeführten Bilanzen auf typische mittlere Situationen beziehen, die den aktuellen Technikstand reflektieren, können die „Grenzwerte“ für lang- und kurzfristigen Standard wie in Tabelle 12 dargestellt definiert werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass ein anspruchsvolles Projekt in absehbarer Zeit einen Wert von <3 MJ/MJ PtL sicher unterschreiten kann, während durch einen Wert von <3,5 MJ/MJ PtL sichergestellt werden kann, dass auch kurzfristig startende Projekte auf ausreichend und realistisch erfüllbare Effizienz hin konzipiert sind.

Tabelle 12: Kriterien zur Ressourceneffizienz für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
Ressourceneffizienz	<ul style="list-style-type: none"> Kumulierter Primärenergieverbrauch: < 3 MJ/MJ PtL 	<ul style="list-style-type: none"> Kumulierter Primärenergieverbrauch: < 3,5 MJ/MJ PtL 	<ul style="list-style-type: none"> Bislang keine

Tabelle 13: Indikatoren Ressourceneffizienz für den langfristigen Standard

Kriterium	Indikatoren für den langfristigen Standard
<ul style="list-style-type: none"> Ressourceneffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> Es liegt eine Energiebilanz vor, die den Energieverbrauch der Elektrolyseanlage, PtL-Anlage und soweit vorliegend DAC- und Meerwasserentsalzungsanlage ins Verhältnis setzt zur PtL-Produktion in: MJ EE-Strom pro MJ PtL

3.5 Wasserverfügbarkeit

Wasser ist die Grundlage für die Wasserstoffherzeugung per Elektrolyse und somit für das Verfahren unverzichtbar. Für 1 kg PtL werden etwa 13 kg Wasser in Frischwasserqualität benötigt (Liebich, 2020). Im Vergleich zu Biomasseproduktion mit Bewässerung ist diese Menge weit weniger erheblich. Da die PtL-Produktion jedoch auch in Regionen mit Wasserknappheit erfolgen kann, sind dort Konflikte bezüglich der Wasserverfügbarkeit potenziell möglich.

Für die Definition von Wasserknappheit bzw. Wasserstress existieren verschiedene Modelle und Indices. Der sogenannte Water stress index (WSI) nach (Falkenmark, 1986) bezieht sich auf die Verfügbarkeit von Frischwasser pro Kopf. Liegt diese zwischen 1.000 und 1.700 m³ spricht man von Wasserknappheit, zwischen 500 und 1.000 m³ von Wasserstress und unter 500 m³ herrscht absoluter Wasserstress.

Andere Wasserknappheitsindikatoren beziehen sich auf die Frischwasserentnahme im Verhältnis zu den verfügbaren Frischwasserressourcen ausgedrückt in Prozent. Dieser Indikator ist auch als Indikator 6.4.2 „Grad der Wasserknappheit“ in die SDGs aufgenommen worden. (UN-Water, kein Datum).

3.5.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Der fairfuel Standard schreibt in seinen Kriterien für Anlagen in nicht-EU-Staaten die Bestimmung der lokalen Wasserverfügbarkeit nach dem SDG Indikator 6.4.2 vor. Als Grenzwert setzt der Standard einen Wasserstresswert von 40 %, der über die vergangenen drei Jahre vor Antragsstellung im Land nicht überschritten sein darf – sofern Frischwasser für die Prozesse eingesetzt werden soll. Das benötigte Wasser muss dann z.B. durch Meerwasserentsalzung beschafft werden.

Da Wasserversorgung und der Zugang zu sauberem Trinkwasser gerade in Ländern mit Wasserknappheit eine soziale Frage von fundamentaler Bedeutung darstellt, verlangt der fairfuel Standard im Falle von noch höheren Wasserknappheiten (über 60 %), dass zusätzlich zur eigenen Versorgung auch der Öffentlichkeit in der Standortregion entsalztes Wasser zur Verfügung gestellt werden muss. Hier überschneiden sich ökologische und soziale Kriterien. Es wird an dieser Stelle empfohlen, analog zum fairfuel Standard den sozialen Aspekt aufgrund der engen technischen Verflechtung in das Kriterium für Wasserverfügbarkeit zu integrieren.

3.5.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

In Anlehnung an das Kriterium im fairfuel Standard wird für den langfristigen Standard hier folgendes vorgeschlagen:

Wenn am geplanten Standort über drei Jahre vor Antragsstellung die Wasserknappheit nach UN Water¹⁷ der SDG Indikator 6.4.2

1. unterhalb von 40 % liegt, sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich;
Anmerkung: Da auch zukünftige Entwicklungen der Wasserknappheit bei der

¹⁷ <https://www.sdg6data.org/tables>

kontinuierlichen Einhaltung des Standards (im Zuge regelmäßiger Audits) zu berücksichtigen sind, kann der Fall eintreten, dass erst nach Inbetriebnahme der Anlage der Grenzwert von 40 % überschritten wird. Dies würde eine Nachrüstung mit Meerwasserentsalzung bedeuten. Es empfiehlt sich somit stets bei knapper Unterschreitung der Grenze, die Investition in Meerwasserentsalzung zu tätigen.

2. oberhalb von 40 % vorliegt, muss das benötigte Wasser z.B. durch Meerwasserentsalzung beschafft werden und darf nicht den Frischwasserreserven entnommen werden.
3. oberhalb von 60 % vorliegt, muss das benötigte Wasser z.B. durch Meerwasserentsalzung beschafft werden und eine der Gesamtinvestition angemessene Menge an entsalztem Wasser der Öffentlichkeit zu sozialverträglichen Preisen zur Verfügung gestellt werden.

Für den kurzfristigen Standard kann die Grenze vorerst auf 60 % gelegt werden. Da jedoch in den Grenzfällen die Notwendigkeit einer Meerwasserentsalzung über die Zeit zwangsläufig eintritt, sollte die absehbar notwendige Investition von Beginn an realisiert werden, zumal sie nicht als Investitionshemmnis für das Gesamtprojekt einzuschätzen ist.

Tabelle 14: Kriterien zur Wasserverfügbarkeit für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
Wasser- verfügbarkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserknappheit am Standort nicht über 40 % oder • Komplette aus Meerwasserentsalzung • Wenn Wasserknappheit am Standort über 60 %, dann zusätzliche Versorgung der Öffentlichkeit mit entsalztem Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasserknappheit am Standort nicht über 60 % oder • Komplette aus Meerwasserentsalzung 	<ul style="list-style-type: none"> • Bislang keine

Tabelle 15: Indikatoren Wasserverfügbarkeit für den langfristigen Standard

Kriterium	Indikatoren für den langfristigen Standard
<ul style="list-style-type: none"> Wasserknappheit am Standort nicht über 40 % 	<ul style="list-style-type: none"> Das Projekt liegt in einer Region, in welcher auf der Basis der Daten von UN Water die Wasserknappheit (als Mittel des water stress nach SDG 6.4.2 über die dem Antrag vorausgehenden drei Jahre) nicht höher als 40 % liegt.
<ul style="list-style-type: none"> Bei Wasserknappheit über 40 %: Prozesswasserversorgung komplett aus Meerwasserentsalzung 	<ul style="list-style-type: none"> Die Elektrolyseanlage ist nicht an ein Frischwassersystem angeschlossen, sondern wird versorgt durch eine Meerwasserentsalzungsanlage, deren Kapazität deutlich den Bedarf der Elektrolyseanlage übersteigt.
<ul style="list-style-type: none"> Bei Wasserknappheit über 60 %: Prozesswasserversorgung komplett aus Meerwasserentsalzung zusätzliche Versorgung der Öffentlichkeit mit entsalztem Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> Die Elektrolyseanlage ist nicht an ein Frischwassersystem angeschlossen, sondern wird versorgt durch eine Meerwasserentsalzungsanlage, deren Kapazität den Bedarf der Elektrolyseanlage nicht nur deutlich übersteigt, sondern auch die Öffentlichkeit der Standortregion mit versorgt zu sozialverträglichen Preisen (d.h. Preis entspricht maximal dem ortsüblichen)

3.6 Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung

Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung sind Schlüsselaspekte der Biomasseproduktion und werden daher in der RED II und den damit verbundenen Zertifizierungssystemen durch Kernkriterien adressiert. Von diesen Kriterien sind PtL-Kraftstoffe in der RED II ausgenommen. Grund dafür dürfte die insgesamt deutlich geringere Flächeninanspruchnahme durch die EE-strombasierte PtL-Produktion gegenüber der gleichen Energieeinheit Biokraftstoff aus Anbaubiomasse sein. Dies wäre grundsätzlich anders, wenn die RED II Strom aus Biomasse für die PtL-Produktion zulassen würde.

Dennoch kann PtL-Produktion bzw. die Stromproduktion dazu mit nennenswerter Flächenbelegung und auch Landnutzungsänderung verbunden sein. Dies ist insbesondere der Fall, wenn Freiflächen-PV oder CSP-Kraftwerke ins Spiel kommen. Gerade angesichts des notwendigen Ausbaus der EE-Stromproduktion – gerade auch für PtL – sollten daher die potenziellen Nachhaltigkeitskonflikte durch Landnutzung und insbesondere Landnutzungsänderung hier in Betracht gezogen werden.

3.6.1 Nachhaltigkeitsaspekte

Die Flächenintensität von verschiedenen Antriebsarten (in diesem Fall für Pkw) wurde beispielhaft in einer Studie des UBA zum Flächenrucksack von Gütern und Dienstleistungen analysiert (Fehrenbach, et al., 2021). Dabei wurde der Umfang und die Qualität der belegten Flächen wie auch der Flächennutzungsänderung für verschiedene Antriebsarten bewertet. Die ökologische Qualität der Fläche wird dabei nach dem Maß des menschlichen Eingriffs in die Natürlichkeit von Flächen (Hemerobie) charakterisiert. Analog zum Global Warming Potential (GWP) für THG-Bilanzen wurde hierfür das Naturfernepotenzial (NFP) eingeführt.

In nachfolgenden Darstellungen werden die Ergebnisse für 100 km Pkw-Fahrt per E-Mobilität und Verbrennungsmotoren mit PtL sowie Biokraftstoff beispielhaft gegenübergestellt.

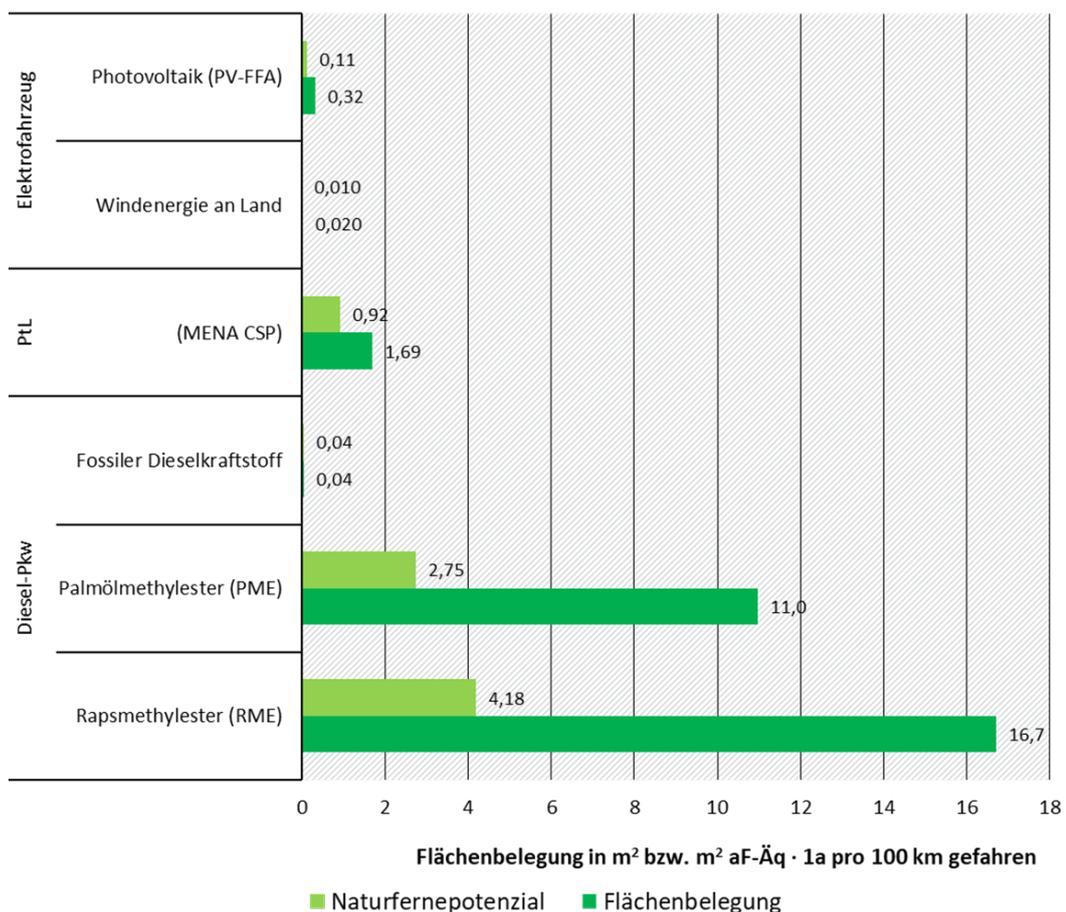


Abbildung 1: Flächenbelegung zur Bereitstellung der Antriebsenergie für 100 km PKW-Fahrt; Quelle (Fehrenbach, et al., 2021)

Abbildung 1 zeigt die Flächenbelegung der Antriebsarten und dabei den eindeutigen Nachteil der Biokraftstoffe – hier zum einen auf Basis Rapsöl und zum anderen auf Basis Palmöl. PtL im Beispiel mit CSP-Strom in der MENA-Region produziert, weist

deutlich geringere Flächenbelegung auf als die Biokraftstoffe, liegt aber dennoch klar höher als z.B. ein batterieelektrisches Fahrzeug mit PV-Strom von Freiflächen. Geht es jedoch um Flächennutzungsänderung, so zeigt Abbildung 2, dass PtL hier überaus relevant ist. Dies gilt insbesondere, wenn man die Veränderung der Naturqualität (NFP) einbezieht: hier liegt die Auswirkung von PtL sogar über der von Palmölbiodiesel.

Die Grundannahmen und weitergehenden Interpretationen zu diesen Darstellungen können Fehrenbach et al. (2021) entnommen werden. Hier dienen sie lediglich dazu, zu sensibilisieren, dass Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung für PtL nicht außer Acht gelassen werden sollen.

Als Kriterium im Rahmen einer Zertifizierung sollte daher wie bei Biokraftstoffen der Qualitätszustand der Fläche vor Umwandlung für die Nutzung zur PtL-Produktion einbezogen werden.

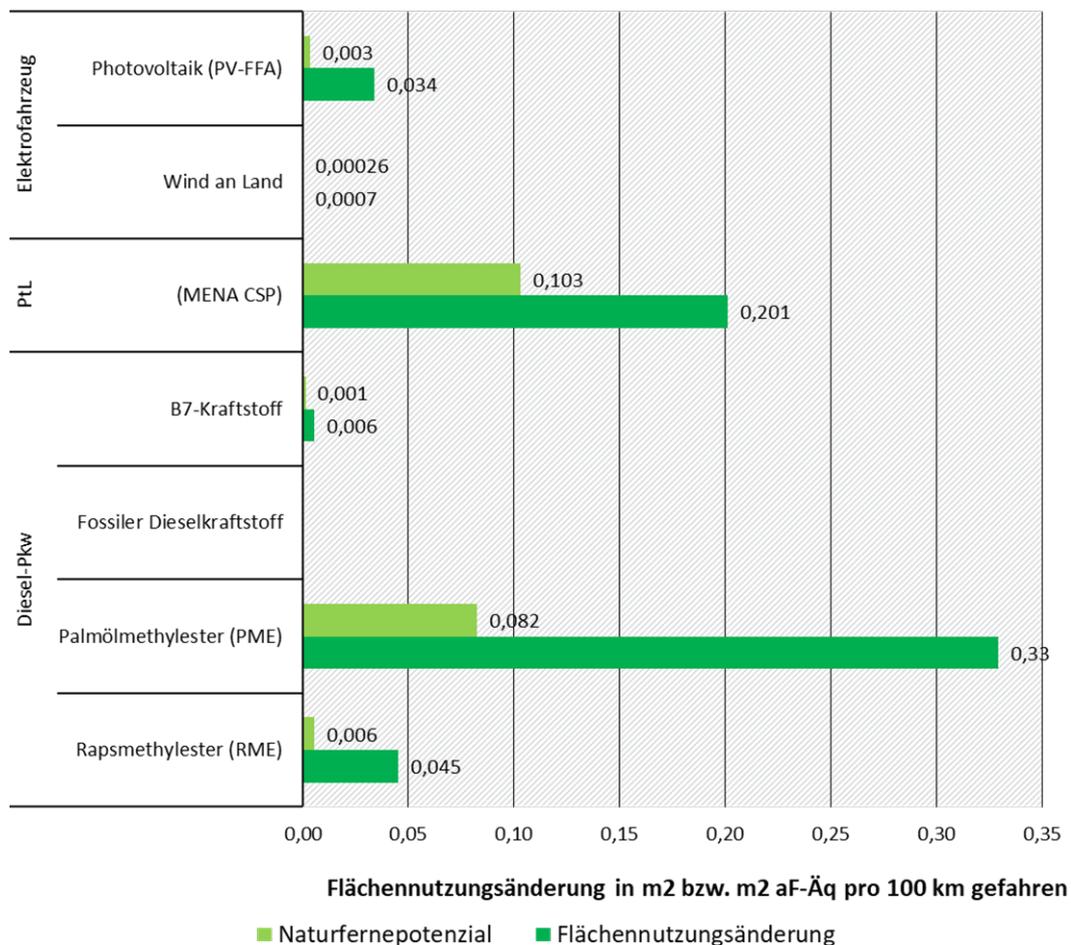


Abbildung 2: Flächennutzungsänderung zur Bereitstellung der Antriebsenergie für 100 km PKW-Fahrt; Quelle: (Fehrenbach, et al., 2021)

3.6.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Als Mindestanforderung sollten die Vorgaben der RED II gelten (Artikel 29 Paragraphen 3 bis 5), auch wenn diese sich in der Richtlinie auf Biokraftstoffe beziehen. Während die PtL-Anlage selbst (Elektrolyse und Synthese), was den Flächenbedarf angeht, im Grund vergleichbar mit üblichen industriellen Anlagen ist, ist die EE-Stromproduktion als der „flächenkritische“ Teil der Produktionskette zu sehen. Die Kriterien sollten sich hier daher auf die Stromproduktion fokussieren. Wenn das Verfahren auch eine CO₂-Abscheidung aus der Luft (DAC) und Meerwasserentsalzung beinhaltet, sollten für deren Flächeninanspruchnahme ebenfalls Kriterien gelten.

Während die RED II sich in den durch Landnutzungsänderung potenziell betroffenen Flächen auf agrarisch forstliche Zonen konzentriert (weil geeignet für Biomasseproduktion), muss der Rahmen für PtL weitergezogen werden. Primärwald oder andere kohlenstoffreiche Flächen sind hier nicht notwendigerweise die Referenz, sondern u.U. auch aride und semi-aride Ökosysteme, die dennoch hohen Naturschutzwert haben können. Es ist daher sinnvoll, das Kriterium „Biodiversity“ in der international anerkannten Norm ISO 13065:2015 heranzuziehen¹⁸. Dort wird unter Kapitel 5.2.5.1 das Kriterium zu „Biodiversity within the area of operation“ wie folgt definiert:

“The economic operator provides information on how biodiversity values are addressed within the area of operation for the process being assessed and the environment directly influenced by the economic operator”.

Die ISO-Norm beschreibt in ihrem Anhang E ausführlich, mit welchen Indikatoren dieses Kriterium operationalisiert werden kann.

Tabelle 16: Kriterien zu Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung	<ul style="list-style-type: none"> Keine Umwandlung von High nature value Flächen (HNV nach IUCN) (Bezug zu Kriterium in ISO 13065) 	<ul style="list-style-type: none"> Keine Umwandlung von High nature value Flächen (HNV nach IUCN) (Bezug zu Kriterium in ISO 13065) 	<ul style="list-style-type: none"> keine

¹⁸ Das Kriterium zu land-use change hat in der ISO 13065 vorrangig sozialen Charakter (land rights) und kann daher als Referenz für die in Kapitel 3.7 beschriebenen sozialen Standards herangezogen werden.

Es ist zu unterstellen, dass PtL-Projekte ungeachtet des Standortlandes grundsätzlich eine Form von Umweltverträglichkeitsprüfung vorlegen müssen. Im Zuge solcher Prüfungen können die hier beschriebenen Kriterien und Indikatoren angewandt werden. Sie sind daher auch nicht als „bremsender“ Faktor zu sehen, der für eine Erleichterung („kurzfristiger Standard“) übergangen werden kann. Das Kriterium sollte daher sowohl für den langfristigen wie den kurzfristigen Standard gelten.

Tabelle 17: Indikatoren Landnutzung bzw. Landnutzungsänderung für den langfristigen Standard

Kriterium	Indikatoren für den langfristigen Standard
Keine Umwandlung von High nature value Flächen (HNV nach IUCN)	<p>Der Projektträger legt folgendes vor:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Beschreibung der Verfahren zur Ermittlung potenzieller Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, einschließlich Ökosysteme, Lebensräume und identifizierte seltene, bedrohte und gefährdete Arten von lokaler, regionaler oder globaler Bedeutung, einschließlich Informationen über Beschränkungen der Aktivitäten aufgrund von Schutzzwecken. • Beschreibung der potenziellen Auswirkungen auf die biologische Vielfalt, die durch die Anwendung der vorangehend beschriebenen Verfahren entstehen. • Beschreibung der Maßnahmen, die zur Bewältigung der oben genannten Auswirkungen auf die biologische Vielfalt ergriffen wurden, einschließlich der Maßnahmen, die sich auf Einschränkungen des Schutzes der biologischen Vielfalt beziehen. • Quantifizierung der Schlüsselparameter oder -kennzahlen, die zur Messung der Auswirkungen der im obigen Indikator genannten Maßnahmen verwendet werden.

3.7 Soziale Standards

Soziale bzw. sozioökonomische Standards sind in gesetzlichen Standardsetzungen für die Produktion von Gütern wie der RED II grundsätzlich nicht vorhanden. Dies wird als zu starke Einmischung in die sozialrechtliche Lage von Drittländern aufgefasst und daher z.B. im WTO-Kontext angreifbar. Grundsätzlich gelten aber

Rechtsgrundlagen wie die UN-Menschenrechtskonvention¹⁹ oder die internationalen Kernarbeitsnormen der ILO²⁰, für die sich Unterzeichnerländer verpflichten.

Viele freiwillige Standards beinhalten soziale Kriterien. Dies gilt für den fairfuel Standard wie auch für die ISO Norm 13065 sowie zahlreiche Zertifizierungssysteme für Biokraftstoffe (z.B. RSB, ISCC). Der fairfuel Standard bezieht sich auf die ESG-Kriterien der European Investment Bank²¹ sowie die Equator Principles, deren Einhaltung im Einzelfall seitens atmosfair geprüft werden.

3.7.1 Nachhaltigkeitsaspekte

In Tabelle 18 sind die Kriterien zu sozialen Nachhaltigkeitsaspekten gemäß ESG und ISO 13065 zusammengestellt. Die gegenseitige Abdeckung ist dabei deutlich. Die ISO-Norm stellt zusätzlich nochmal explizit auf die Einhaltung der Menschenrechte ab und führt das Prinzip der Wasserverfügbarkeit in Ländern mit Wasserknappheit unter den sozialen Kriterien (hier bereits eigenständig unter Kapitel 3.5 behandelt). Im Weiteren fasst die ISO-Norm Kriterien zu kulturellem Erbe (indigene Rechte), Zwangsumsiedlungen, Rechte und Interessen vulnerabler Gruppen sowohl Stakeholder Einbeziehung in verschiedenen Indikatoren unter Land-use rights and land-use change zusammen.

Tabelle 18: Soziale Nachhaltigkeitskriterien gemäß ESG und ISO 13065

ESG-Kriterien der European Investment Bank	ISO 13065 Kriterien
	Human rights
Kulturelles Erbe	Land-use rights and land-use change
Zwangsumsiedlungen	
Rechte und Interessen schutzbedürftiger Bevölkerungsgruppen	
Einbeziehung von Interessenträgern (Stakeholder)	
Arbeitsstandards	Labour rights
Arbeitsschutz und Schutz der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit,	
	Water availability in water-scarce countries

¹⁹ <https://www.un.org/depts/german/menschenrechte/aemr.pdf>

²⁰ <https://www.ilo.org/berlin/arbeits-und-standards/kernarbeitsnormen/lang--de/index.htm>

²¹ https://www.eib.org/attachments/publications/eib_environmental_and_social_standards_de.pdf

Von den vom fairfuel Standard zusätzlich angeführten Equator Principles²² werden die Prinzipien zum Beschwerdemechanismus (grievance mechanism) und zum Berichtswesen und der Transparenz aufgegriffen.

Ein in zahlreichen Standards und Zertifizierungssystemen zu Biomasse genanntes Kriterium ist außerdem die Nahrungsmittelsicherheit.²³ Dies ist nachvollziehbarerweise für Biomasse ein zentraler Aspekt, da Anbaufläche und auch Feldfrüchte hier in direkter Nutzungskonkurrenz stehen. Für PtL ist dieser potenzielle Konflikt dagegen als deutlich weniger relevant einzuschätzen.

Insgesamt unterscheiden sich die sozialen Kriterien in einem wesentlichen Punkt von den ökologischen: es geht hier nicht nur um das Verhindern negativer Wirkungen (Reduktion von Treibhausgasen, Vermeidung des Verlusts von Biodiversität und des übermäßigen Ressourcenverbrauchs), sondern auch um die Nutzung konkreter Möglichkeiten der Verbesserung.

In der nachfolgenden Beschreibung der vorgeschlagenen Kriterien für lang- und kurzfristige Standards wird dazu unterschieden in solche, die Schaden vermeiden/verringern („do no harm“) und solche, die zu Verbesserung der sozialen Situation führen.

3.7.2 Langfristiger vs. kurzfristiger Standard

Ein gesetzlicher Mindeststandard ist über einschlägige Regelwerke nicht gegeben. Jedoch sollten die generell geltenden UN-Menschenrechte und ILO-Standards (die zumindest durch die unterzeichnenden bzw. ratifizierenden Staaten einzuhalten sind) als zu erfüllen gelten.

Im Übrigen ist das Prinzip des Mindeststandards für die Mehrzahl der ökologischen Aspekte wie auch für die sozialen do-no-harm-Kriterien der richtige Ansatz. Was die sozialen Aspekte betrifft, ist dieses Prinzip jedoch allein nicht ausreichend. Mit ihm werden – wie in Kapitel 2.4 erörtert – die oben erwähnten Verbesserungseffekte nicht zufriedenstellend adressiert.

In dem vorliegenden Vorschlag wird das bisher durchgehaltene Prinzip des Mindeststandard im Folgenden auch für die do-no-harm-Kriterien angewendet. Für die weiter unten beschriebenen positiven Effekte wird dies ergänzt durch ein Konzept von Zusatzpunkten durch variable Kriterien.

„do no harm“-Anforderungen

Die in Tabelle 18 zusammengestellten ESG-Kriterien der European Investment Bank entsprechen einem umfassenden Satz an klassischen „do no harm“-Anforderungen, die gerade angesichts der Kopplung im praktischen Prozess einer Kreditvergabe als praktikabel zu betrachten ist. In Ländern, in denen die European Investment Bank diese Kriterien nicht anwendet, weil die Gesetzgebung und die Durchsetzung der

²² https://equator-principles.com/app/uploads/The-Equator-Principles_EP4_July2020.pdf

²³ z.B. Prinzip 6 des Standards von RSB: Local food security; https://rsb.org/wp-content/uploads/2020/06/RSB-STD-01-001_Principles_and_Criteria-DIGITAL.pdf

Gesetze als hinreichend gesichert gelten kann, kann dies auch für die Anwendung im hier vorliegenden Fall so übernommen werden. Wie auch beim Kriterium zu Landnutzung und Landnutzungsänderung sollten hier keine Unterschiede zwischen lang- und kurzfristigem Standard gemacht werden, da ansonsten negative Praxisfälle massiven Schaden an der Glaubwürdigkeit nachhaltiger PtL-Projekte anrichten könnten. Die hier vorgeschlagenen do no harm-Anforderungen verstehen sich somit klar als Mindestkriterien.

Positive Effekte – Mindestkriterien

Auch für die Kriteriengruppe zu positiven Effekten sind bestimmte Mindestkriterien sinnvoll. Zumindest für das Ambitionsniveau eines langfristigen Standards höher anzusetzen, wobei gewisse Essenzialen auch bei kurzfristigem Standard zu erwarten sind, wie die dauerhafte Schaffung qualifizierter Arbeitsplätze, ohne die ein PtL-Betrieb schließlich auch nicht möglich ist. Für einen langfristigen Standard sind allerdings positive Effekte auf die lokale oder regionale Infrastruktur voranzusetzen, sofern in den betreffenden Bereichen (d.h. Energie und Wasser) eine Unterversorgung besteht. Es ist nicht vermittelbar, dass eine großindustrielle Investition in eine EE-Strom- und PtL-Anlage große Mengen an Strom erzeugt und verbraucht, für die Zivilgesellschaft in der angrenzenden Nachbarschaft jedoch unzureichend sicherer Zugang zu Energie besteht. Das gleiche gilt auch für die Verfügbarkeit von Wasser (wie bereits in Kapitel 3.5 behandelt). Ein langfristiger Standard sollte in solchen Fällen daher prioritär Kapazitäten für die Versorgung der Nachbarschaft sicherstellen, bevor sie selbst in Betrieb geht. Unterliegt die Versorgung vor Ort keinem Mangel, entfällt natürlich diese Anforderung an die Investition der PtL-Anlage.

Positive Effekte – variable Kriterien („Bonuspunkte“)

Die vorangehend beschriebenen Mindestanforderungen beziehen sich auf positive Effekte, die speziell mit der PtL-Technik verknüpft sind (Stromversorgung). Darüber hinaus können auch weitere soziale bzw. sozioökonomische Wirkungen relevant sein. Allerdings ist es schwierig, diese im Einzelnen vorab durch Kriterien zu definieren, da sie sehr fallspezifisch auftreten können. Es ist daher grundsätzlich wichtig, in diesem Aspekt die konkrete Ausgestaltung von Kriterien in dynamischer Weise zu ermöglichen.

Für die Systematik kann dies sinnvollerweise anhand von Punkten (Score-Card-Prinzip, siehe Kapitel 2.4) erfolgen. In die Gesamtsystematik des Standards (dies betrifft im Grunde nur den langfristigen Standard) kann dies z.B. durch eine Mindestpunktzahl, die durch die variablen Kriterien insgesamt erfüllt werden muss, integriert werden.

Solche variablen Kriterien, die weitere positive Effekte eines PtL-Projekts beschreiben, könnten z.B. sein:

- Der Anteil der Investition und damit der Wertschöpfung, der in einem Low Income Country erfolgt

- Der Anteil an geschaffenen qualifizierten Arbeitsplätzen, der mit Frauen besetzt wird
- Die Anzahl an Trainings, die für die Bevölkerung des Produktionslandes angeboten werden, um die Menschen vor Ort für die PtL-Produktion zu qualifizieren
- Beiträge zum Nutzen der lokalen Gemeinschaft wie z.B. der Bau oder Instandhaltung von Kliniken, Heimen, Krankenhäusern und Schulen
- Der Anteil an verbauten Komponenten, die kritische Elemente enthalten, mit Nachhaltigkeitssiegel (z.B. für Kobalt-Katalysatoren das BGR-Siegel).

Tabelle 19: Soziale Kriterien für den lang- und den kurzfristigen Standard sowie die gesetzlichen Mindestanforderungen

Kriterium	Langfristiger Standard	Kurzfristiger Standard	Gesetzliche Mindestanforderung
Do no harm	• Sofern anwendbar, sind die ESG-Kriterien der European Investment Bank zu erfüllen	• Sofern anwendbar, sind die ESG-Kriterien der European Investment Bank zu erfüllen	keine Vorgaben durch RED II; generell gelten die UN-Menschenrechte und ILO-Standards wo ratifiziert
Positive Effekte (Mindestanforderungen)	Dauerhafte Schaffung qualifizierter Arbeitskräfte • Sofern die regionale Versorgung mit Strom/Energie und/oder Wasser unterentwickelt ist, leistet das Projekt einen relevanten Beitrag zur Versorgung der regionalen Bevölkerung	Dauerhafte Schaffung qualifizierter Arbeitskräfte	
Positive Effekte (variable Größen)	• Erreichen einer Mindestpunktzahl	•	

Tabelle 20: Soziale Indikatoren (do no harm) für den langfristigen Standard

ESG-Kriterien der European Investment Bank	Indikatoren für den langfristigen Standard
Dialog mit Stakeholdern	<p>Der Projektträger weist nach,</p> <ul style="list-style-type: none"> • dass er einen Dialog mit Personen und/oder Gemeinschaften, die von einem Projekt direkt oder indirekt betroffen sind oder ein besonderes Interesse an einem Projekt haben und/oder das Ergebnis des Projekts positiv oder negativ beeinflussen können in einer systematischen und alle einbeziehenden konstruktiven Weise durchgeführt hat. • dass die Stakeholder zeitnah in einer kulturell angemessenen und für alle Stakeholder verständlichen Weise Zugang zu Informationen über Umwelt-, Klima- und/oder Sozialrisiken und -auswirkungen des Projekts hatten. • dass die Stakeholder Gelegenheit hatten, sich angemessen und unabhängig an Projektentscheidungsverfahren, die sie betreffen können, zu beteiligen und sich einzubringen, um so beiderseitiges Vertrauen aufzubauen und die Projektergebnisse zu verbessern. • dass für Rechteinhabende effektive Möglichkeiten geschaffen wurden, um Beschwerden vorzubringen und Rechtsmittel einzulegen.
Kulturelles Erbe	<p>Der Projektträger weist nach, dass das Projekt den Grundsätzen und Standards der für den Schutz von Kulturerbe maßgeblichen internationalen Instrumentarien entsprechen, die da sind:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Übereinkommen zum Schutz des Kultur- und Naturerbes der Welt (UNESCO 1972) • Übereinkommen zum Schutz des Unterwasser-Kulturerbes (UNESCO 2001) • Übereinkommen zur Erhaltung des immateriellen Kulturerbes (UNESCO 2003) • Übereinkommen zum Schutz des architektonischen Erbes Europas (Europarat 1985)

	<ul style="list-style-type: none"> • Übereinkommen von Valletta zum Schutz des archäologischen Erbes (Europarat 1992) • Europäisches Landschaftsübereinkommen (Europarat 2000) • Rahmenkonvention des Europarates über den Wert des Kulturerbes für die Gesellschaft (Faro-Konvention 2005)
Zwangsumsiedlungen	<p>Der Projektträger weist nach,</p> <ul style="list-style-type: none"> • dass er umsetzbare alternative Projekte, Projektkonzepte und/oder -standorte geprüft hat, um eine physische und/oder wirtschaftliche Vertreibung zu vermeiden und/oder zu minimieren und kann dies dokumentieren. • dass er das Ausmaß von Pufferzonen oder Wegerechten begrenzt hat, um Umsiedlungen zu vermeiden oder zu minimieren. • dass er im Projektgebiet eine Bestandsaufnahme der sozioökonomischen Ausgangslage durchgeführt hat, um alle vom Projekt betroffenen Personen ermitteln, die physisch oder wirtschaftlich vertrieben werden und Anspruch auf Kompensation und/oder Unterstützung haben. • dass er allen Betroffenen die informierte Wahl gelassen hat, eine Kompensation in Form von Sachleistungen (Ersatz von Grundstück, Haus oder Geschäft durch ein gleichartiges Objekt) oder Geldleistungen in Höhe der vollen Wiederbeschaffungskosten anzunehmen. Die Wahl der Betroffenen ist zu respektieren.
Vulnerable Gruppen, indigene Völker und Geschlecht	<p>Der Projektträger weist nach,</p> <ul style="list-style-type: none"> • dass die Rechte und Interessen vulnerabler, marginalisierter oder diskriminierter Personen und Gruppen sowie indigener Völker geachtet werden, einschließlich des Rechts auf Nichtdiskriminierung und des Rechts auf Gleichbehandlung von Frauen, Männern, nicht-binären oder gendervarianten Menschen.
Arbeitsstandards	<p>Der Projektträger weist nach, dass in den Projektleitlinien und Projektverfahren die Kernarbeitsnormen der Internationalen Arbeitsorganisation (ILO) und der europäischen Säule sozialer Rechte ausgestaltet sind. Als Mindestanforderungen gelten dabei:</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • gerechte, diskriminierungsfreie und gleiche Behandlung und Chancen für Arbeitnehmende, vor allem vulnerable Arbeitnehmende, die aufgrund kontextspezifischer sozioökonomischer Merkmale besonderen Risiken ausgesetzt sind, • Nulltoleranz gegenüber Zwangsarbeit und Kinderarbeit, • Achtung der Grundsätze der Vereinigungsfreiheit und der Kollektivverhandlungen, • Schutz und Förderung von Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz, • Förderung guter Beziehungen zwischen Arbeitnehmenden und Management, • Bereitstellung von zugänglichen und effektiven Mitteln für die Arbeitnehmenden, damit diese ihre das Arbeitsumfeld betreffenden Bedenken äußern und ansprechen können.
<p>Arbeitsschutz und Schutz der öffentlichen Gesundheit und Sicherheit</p>	<p>Der Projektträger weist nach,</p> <ul style="list-style-type: none"> • dass alle anwendbaren nationalen und EU-Rechte in Bezug auf den Arbeitsschutz, die öffentliche Gesundheit und Sicherheit sowie etwaigen Verpflichtungen aus einschlägigen internationalen Abkommen und multilateralen Vereinbarungen erfüllt werden. • dass bei einem Projekt in einem außereuropäischen Land die im EU-Recht festgelegten Grundprinzipien und wesentlichen Verfahrenselemente, die im Hinblick auf die Gesundheit und Sicherheit relevant sind, erfüllt werden. • dass außerdem einschlägige internationale Übereinkommen und multilateralen Vereinbarungen eingehalten werden. • dass das Projekt in Einklang mit internationaler guter Praxis geplant und betrieben wird.

Tabelle 21: Soziale Indikatoren (Positive Effekte - Mindestkriterien) für den langfristigen Standard

	Indikatoren für den langfristigen Standard
<ul style="list-style-type: none"> Dauerhafte Schaffung qualifizierter Arbeitskräfte 	Der Projektträger weist nach, dass <ul style="list-style-type: none"> einheimische Arbeitskräfte ausgebildet werden und dauerhaft Anstellung erhalten dauerhafte Arbeitskräfte vorrangig vor Gelegenheitsarbeitenden eingestellt werden
<ul style="list-style-type: none"> Das Projekt leistet einen relevanten Beitrag zur Versorgung der regionalen Bevölkerung (sofern die regionale Versorgung mit Strom/Energie und/oder Wasser unterentwickelt ist) 	Der Projektträger weist nach, dass <ul style="list-style-type: none"> die von ihm betriebene Stromproduktion deutlich größer ausgelegt ist, als die PtL-Anlage insgesamt für den normalen Betrieb benötigt; die Auslegung bezieht die sichere Grundversorgung der lokalen Bevölkerung mit ein, die zuständigen lokalen bzw. regionalen Behörden sind bei der Bedarfs- und Auslegungsplanung einzubeziehen.

Tabelle 22: Soziale Indikatoren (Positive Effekte – „Bonuspunkte“) für den langfristigen Standard; Beispiel für mögliche Punktermittlung

Beispielhafte Kriterien	
Der Anteil der Investition und damit der Wertschöpfung, der in einem Low Income Country erfolgt.	X %
Der Anteil an geschaffenen qualifizierten Arbeitsplätzen, der mit Frauen besetzt wird.	X %
Die Anzahl an Trainings, die für die Bevölkerung des Produktionslandes angeboten werden, um die Menschen vor Ort für die PtL-Produktion zu qualifizieren	X
Beiträge zum Nutzen der lokalen Gemeinschaft wie z.B. des Bau oder Instandhaltung von Kliniken, Heimen, Krankenhäusern und Schulen	
Der Anteil an verbauten, kritische Elemente enthaltende Komponenten, die ein anerkanntes Nachhaltigkeitssiegel aufweisen (z.B. für Kobalt-Katalysatoren das BGR-Siegel).	X %

4 ZERTIFIZIERUNGSSYSTEM

Jeder Standard benötigt eine gewisse Umgebung, eine gewisse Infrastruktur, zu dessen Anwendung. Dies betrifft zum einen die Weiterentwicklung des Standards und zum anderen dessen eigentliche Anwendung. Ersteres wird vom Standardhalter sichergestellt, für Letzteres gibt es das Zertifizierungssystem.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen internationalen Überblick über Zertifizierungsstandards und -systeme für Wasserstoff und dessen Derivate wie beispielsweise PtL für den Luftverkehr.

Dabei handelt es sich teilweise um nationale Systeme oder Standards und teilweise um unabhängig Standards, die von privaten Organisationen gehalten werden. Die Standardhalter stellen in der Regel auch einen begrenzten administrativen Rahmen für die Zertifizierung, so dass begrenzter Anwendung des Standards ein umfassendes Zertifizierungssystem nicht notwendig ist.

Die sogenannten „freiwilligen Systeme“ führen Nachhaltigkeitszertifizierung im Rahmen der RED II durch, bisher für Biokraftstoffe und zukünftig mit der Möglichkeit, dies auf Wasserstoff und Derivate (zusammen: RFNBO) auszudehnen.

Tabelle 23: Zertifizierungsstandards und -systeme für Wasserstoff und Derivate

	Art	Geografischer Geltungsbereich	Zertifizierte Produkte (Kraftstoffe)	Kriterien
FairFuel	Standard	International	PtL im Luftverkehr	THG, Erneuerbarkeit
Freiwillige Systeme nach RED II (z.B. ISCC, REDcert, RSB; zukünftig CertifHy)	Systeme (Standard: RED II)	Produktion: International Verbrauch: EU	Biokraftstoffe, Ausweitung auf erneuerbaren Wasserstoff und Derivate („RFNBO“)	THG, Nachhaltigkeitskriterien (Biodiversität, Wasser, Luftverschmutzung, teilweise sozio-ökonomische Kriterien); Zusätzlichkeit, zeitl. & geogr. Korrelation
CertifHy	Standard, System	EU + EEA + Schweiz	Erneuerbarer und kohlenstoffarmer Wasserstoff	THG, Erneuerbarkeit
TÜV SÜD CMS70	Standard	International	Erneuerbarer Wasserstoff	THG, Erneuerbarkeit, Zusätzlichkeit, zeitl. & geogr. Korrelation
TÜV Rheinland H2.21	Standard	International	Kohlenstoffneutraler Wasserstoff	THG
The GH2 Green Hydrogen Standard	Standard	International	Erneuerbarer Wasserstoff	THG, governance performance, Erneuerbarkeit

Bureau Veritas: Voluntary certification for hydrogen carbon footprint assessments	Standard	International	Bewertung des Kohlenstoff- Fußabdrucks von Wasserstoffproduktions anlagen	THG
Low Carbon Fuel Standard (LCFS)	Standard, System	Kalifornien	Alle Kraftstoffe inkl. Wasserstoff	THG
EU-Taxonomie	Klassifizierungs- system	EU	Klassifizierungssystem umweltverträglicher Wirtschaftstätigkeiten inkl. Wasserstoffherzeugung	THG
H2Global	Deutsches Förderprojekt	Produktion: International Verbrauch: EU	Erneuerbarer Wasserstoff und Derivate	THG, Erneuerbarkeit, Zusätzlichkeit, zeitl. & geogr. Korrelation
Standard and evaluation of low- carbon hydrogen, clean hydrogen and renewable hydrogen (China) T/CAB 0078- 2020	Nationaler Standard	China	Kohlenstoffarmer/ sauberer/ erneuerbarer Wasserstoff	THG, Erneuerbarkeit
UK Low Carbon Hydrogen Standard (Entwurf)	Nationaler Standard	Vereinigtes Königreich	Wasserstoff	THG
Australisches HKN- System (in Vorbereitung)	Nationaler Standard	Australien	1. Phase: Erneuerbarer und kohlenstoffarmer Wasserstoff 2. Phase: Derivate	THG
Recommended guideline for greenhouse gas and carbon intensity accounting framework for LNG / Hydrogen / Ammonia projects	Standard („Guideline“)	Japan	Wasserstoff, Ammoniak, LNG	THG, Gegenmaßnahmen zu CH4-Emissionen

4.1 Aufgaben von Standardhalter und Zertifizierungssystem

Neben der erstmaligen Entwicklung eines Standards hat der **Standardhalter** laufende Aufgaben: Er definiert und organisiert den Prozess der Anpassung und Weiterentwicklung des Standards. Dies kann sowohl regelmäßig, beispielsweise alle 5 Jahre, als auch bedarfsorientiert erfolgen. Änderungsbedarf entsteht einerseits durch Veränderungen gesetzlicher oder sonstiger regulatorischer

Rahmenbedingungen, die aus diesem Grund kontinuierlich überwacht werden müssen. Andererseits werden Änderungen durch technische oder Marktentwicklungen erforderlich oder geboten, die dementsprechend ebenfalls überwacht werden müssen. Ebenso wie in der Entwicklung eines Standards gehört zu dessen Änderung bzw. Weiterentwicklung die Konsultation von Stakeholdern dazu. Nicht zuletzt müssen Standards bekannt gemacht werden und es muss für deren Nutzung geworben werden.

Zertifizierungssysteme stellen die notwendige Infrastruktur um einen Standard herum, um die korrekte Anwendung des Standards sicherzustellen. Dabei übernehmen sie eine Reihe von Aufgaben:

- Definition des Anspruchs, der mit der Zertifizierung nachgewiesen wird, und eventuell eines damit verbundenen Logos
- Festlegung der Rechte zur Nutzung des Logos und zur Darstellung des Anspruchs
- Anerkennung von Zertifizierstellen und Auditoren, die die Einhaltung der Anforderungen des Standards unabhängig überprüfen
- Schulung von Auditoren bezüglich der Anforderungen des Standards
- Bereitstellung von Leitfäden für die Auditierung
- Überprüfung und Qualitätssicherung der Zertifizierungen
- Ausgabe der Zertifikate
- Administration und Verwaltung
- Gegebenenfalls Ausweitung des geographischen Anwendungsgebiets des Standards

Die nachfolgende Grafik zeigt die typische Struktur von Zertifizierungssystemen. Wichtigste Elemente sind der Halter des Zertifizierungssystems mit der Registratur zur Verwaltung der Zertifikate, der die Zertifikate ausstellenden Stelle, den Prüfstellen als unabhängige Dritte zur Validierung (vorab) und Verifizierung (rückblickend) der Produzenten sowie sonstige Teilnehmende, die Zertifikate kaufen, handeln und/oder verwenden.

Die Aufgaben des Standardhalters und des Zertifizierungssystems können von getrennten Organisationen übernommen werden, sie können aber auch gemeinsam von einer Organisation durchgeführt werden.

Der mit einem Zertifizierungssystem verbundene Aufwand lässt sich weitgehend an die Anzahl und den Umfang der Zertifizierungen anpassen – das Zertifizierungssystem kann mit dem Umfang der Anwendung des Standards mitwachsen. Allerdings gibt es dabei gewisse Stufen.

In einem ersten Schritt kann eine Zertifizierstelle festgelegt werden, die die grundlegenden Funktionen des Zertifizierungssystems zusammen mit der unabhängigen Überprüfung übernimmt. Damit ist der Aufwand begrenzt und wächst mit der Anwendung des Standards mit.

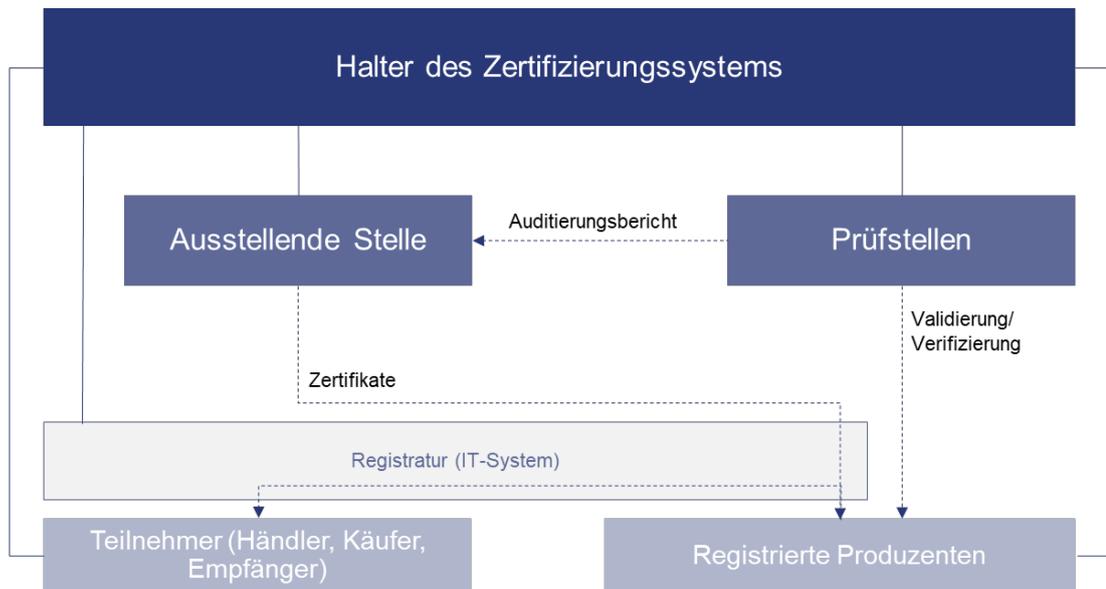


Abbildung 3: Struktur eines Zertifizierungssystems

Ab einem gewissen Umfang der Nutzung des Standards lässt sich der Aufwand durch ein separates Zertifizierungssystem reduzieren. Auch hier gibt es mögliche Abstufungen bzw. verschiedenen Optionen.

Wenn der Standard so strukturiert ist, dass er auf einem anderen Standard oder einer gesetzlichen Grundlage aufbaut, also über eine gemeinsame Basis an Grundanforderungen hinaus geht, bietet es sich an, dass ein oder mehrere Zertifizierungssysteme, die nach der gesetzlichen Anforderung oder dem Grundstandard zertifizieren, auch die darauf aufbauende Zertifizierung übernehmen.

Der hier entwickelte Standard ist ein solcher Fall, da hier auf die gesetzliche Grundlage der Anforderungen der Erneuerbaren Energien Richtlinie (Neufassung)²⁴ aufgebaut wird. Deren Anforderungen werden von so-genannten freiwilligen Systemen überprüft, die Zertifizierungssysteme in privater Trägerschaft sind. Die Überprüfung zusätzlicher Anforderungen als freiwillige Zusatzleistung zur Überprüfung der gesetzlichen Anforderungen ermöglicht Synergieeffekte.

Auch hier können die verschiedenen Aufgaben grundsätzlich unterschiedlich verteilt werden zwischen Standardhalter und freiwilligen Systemen. Dazu sind entsprechende Vereinbarungen zu treffen.

Freiwillige Systeme könnten in unterschiedlichem Umfang Aufgaben übernehmen, während der Standardhalter die übrigen Aufgaben wahrnimmt, beispielsweise als Minimalvariante die Definition von Anspruch und Logo sowie der Rechte zu deren Nutzung sowie die Auswahl des oder der Zertifizierungssysteme. In einer erweiterten

²⁴ Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung) (ABl. L 32821.12.2018, S. 82).

Version kann der Standardhalter die Auditorenschulungen durchführen. Dies kann erweitert werden bis zur vollständigen Etablierung eines eigenen Zertifizierungssystems durch den Standardhalter.

Der Zeitrahmen und der Personal- und Kostenaufwand zur Etablierung eines neuen Zertifizierungssystems hängen von der gewählten Vorgehensweise ab. Dies sollen einige Beispiele verdeutlichen (E4tech, LBST, 2021):

- TÜV SÜD hat zur Entwicklung des CMS70-Standards ca. ein Jahr benötigt (ohne Stakeholder-Konsultation); wobei der grundlegende administrative Rahmen für die Zertifizierung und die Verwaltung der Zertifikate vorhanden war;
- Der Green Hydrogen Standard; der allerdings keine eigene Methodik zur Berechnung der Treibhausgasemissionen beinhaltet, wurde im November 2021 angekündigt und im Mai 2022 vorgestellt;
- Das UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy (BEIS) hat die Entwicklung eines Standards für kohlenstoffarmen Wasserstoff mit einer Vorstudie Anfang 2021 begonnen; nach einer umfangreichen Stakeholder-Konsultation in der zweiten Jahreshälfte 2021 wurde der Entwurf des Standards im Jahr 2022 veröffentlicht;
- Der Low Carbon Fuel Standard (LCFS) in Kalifornien benötigte für die Entwicklung des Standards und des Zertifizierungssystems vier Jahre vom gesetzlichen Auftrag bis zum Start der Zertifizierungen;

Die Entwicklung eines freiwilligen Systems nach RED II ist schwer abzuschätzen, da die akzeptierten Systeme mit den Anforderungen über die Zeit mitgewachsen sind. ERGaR hat in den vergangenen Jahren mehrfach die Anerkennung als freiwilliges System für die Zertifizierung von Biomethan durch die EU-Kommission beantragt, aber bisher nicht erhalten. Es muss also neben der Entwicklung des Systems auch die Zeit berücksichtigt werden für die Antragstellung, die Prüfung des Antrags und möglicherweise die Überarbeitungen aufgrund einer Ablehnung des Antrags. Certify hat Ende 2020 die dritte Entwicklungsphase begonnen, die unter anderem die Entwicklung eines freiwilligen Systems nach RED II für RFNBO beinhaltet; diese Phase ist auf eine Laufzeit von drei Jahren ausgelegt.

4.2 Empfehlungen zur Integration in ein Zertifizierungssystem

Die dargestellten flexiblen Möglichkeiten der Entwicklung erlauben es, einen Schwerpunkt darauf zu legen, den Standard zu möglichst breiter Anwendung zu bringen. Das notwendige Zertifizierungssystem kann sich mitentwickeln und flexibel angepasst werden.

Daher ist es empfehlenswert, ein organisches Wachstum vorzusehen, bei dem sich der Standardhalter anfänglich stark auf die Bekanntmachung des Standards fokussiert, um ihn zu breiter Anwendung zu bringen. Nach einer Pilotzertifizierung (siehe Kapitel 5.1), um die Praxistauglichkeit des Standards nachzuweisen bzw. diesen entsprechend weiter zu verbessern, sollte der Schwerpunkt auf die

Akquirierung von Zertifizierungskunden gelegt werden. Sobald ein entsprechender Markterfolg erreicht wird, können die weiteren Schritte geplant werden.

Da der Markt für PtL-Kerosin in den kommenden Jahren erst entstehen wird auf der Basis gesetzlicher Vorgaben, sind sowohl die Marktentwicklung von PtL-Kerosin selbst als auch der Erfolg des hier entwickelten Standards schwer abzuschätzen. Auch technologische Fortschritte sind für einen Markthochlauf notwendig. Es wird sich daher in den kommenden Jahren zeigen, welches Vorgehen zur Integration des Standards in eine Zertifizierungssystem am sinnvollsten ist. Es erscheint im Augenblick ausreichend, den ersten Schritt (Pilotzertifizierung) zu planen und weitere Schritte zu gegebener Zeit anzugehen.

5 EMPFEHLUNGEN

5.1 Weiterentwicklung Standard

Der hier vorgeschlagene Standard für PtL-Kerosin wurde ausgehend von einer Analyse bestehender Regelwerke, Standards, Initiativen und wissenschaftlicher Studien entwickelt. Er nimmt somit engen Bezug auf Vorarbeiten, die bereits als geeignete Grundlage eingeschätzt werden und fügt sich aus ausgewählten, z.T. neu definierten Kriterien zusammen. Ziel war es dabei, alle wesentlichen Umwelt- und Nachhaltigkeitsdimensionen zu adressieren.

Angesichts der komplexen Materie ist davon auszugehen, dass dieser erste Vorschlag noch Schwachpunkte aufweist. Er sollte daher in einer Pilotzertifizierung getestet werden, um mögliche Schwächen und Verbesserungspotenziale in der praktischen Anwendung zu identifizieren. Eine solche Pilotanwendung sollte genutzt werden, um den Standard – wo notwendig – anzupassen und zu verbessern. Dazu bietet sich die geplante Demonstrationsanlage des PtX Lab Lausitz an. Da die Anlage noch zu errichten ist, kann der Standard in einem ersten theoretischen Schritt am Anlagen- und Betriebskonzept getestet werden, sobald dieses definiert ist.

Der fairfuel Standard von atmosfair hat an verschiedenen Stellen ähnliche Anforderungen wie der hier entwickelte Standard. Daher wäre eine Zusammenarbeit mit atmosfair sinnvoll. Auch die anstehende erste Zertifizierung der atmosfair-Anlage nach dem fairfuel Standard könnte für diesen Standard nützliche Praxisinformationen liefern.

Der hier vorgestellte Standard leistet einen Beitrag zur internationalen Diskussion um Nachhaltigkeitsstandards für PtL-Kerosin. Umgekehrt sollte die internationale Diskussion aufmerksam verfolgt werden, um Impulse und Verbesserungsmöglichkeiten für diesen Standard zu identifizieren und deren Übernahme bzw. Integration zu prüfen.

5.2 Anwendung des Standards in Deutschland

Nach der Pilotzertifizierung, die sowohl der Optimierung des Standards dient als auch dessen erster Anwendung, möglicherweise an der geplanten Demonstrationsanlage des PtX Lab Lausitz, sollte die Anwendung des Standards ausgeweitet werden.

Eine Zusammenarbeit mit atmosfair könnte Synergiepotenzial bieten, da beide den Anspruch haben, deutlich über gesetzliche Mindestanforderungen hinauszugehen. Es wäre zu prüfen, ob ein solch hoher Qualitätsanspruch der beiden Standards genug Raum für beide Standards lässt oder ob hier eine Zusammenarbeit sinnvoll wäre.

Daneben wäre zu überlegen, ob die Anwendung des Standards auf Deutschland beschränkt sein sollte oder ob eine geographische Ausweitung sinnvoll erscheint. In der Regel finden Premiumprodukte in vielen Regionen der Welt einen entsprechend kleinen Markt.

Da der hier entwickelte Standard auch die Zielsetzung hat, richtungsweisend für den breiten Markt zu sein, wäre es im Sinn dieser Zielsetzung, geographisch breit aufgestellt zu sein.

5.3 Umsetzung des Standards in einem Zertifizierungssystem

Die Umsetzung eines Standards erfordert ein Zertifizierungssystem. In einem ersten Schritt einer Pilotzertifizierung ist allerdings kein Zertifizierungssystem notwendig, sondern es ist ausreichend, eine qualifizierte Zertifizierstelle auszuwählen. Diese setzt die Pilotzertifizierung um und generiert so die erwünschten Erfahrungen zur Anpassung bzw. Verbesserung des Standards.

Auch in ersten Anwendungen kann eine Zertifizierstelle Funktionen eines Zertifizierungssystems mit übernehmen. Eine flexible Entwicklung von Zertifizierungssystem mit Anwendung des Standards im Markt ist möglich. Daher ist es empfehlenswert, einen Schwerpunkt darauf zu legen, den Standard zu möglichst breiter Anwendung zu bringen.

Sobald ein entsprechender Markterfolg erreicht wird, der auch vom Markthochlauf von PtL-Kerosin selbst abhängt, können die weiteren Schritte geplant werden.

5.4 Politik

Die Bundesregierung kann die Anwendung des hier erarbeiteten Standards an verschiedenen Stellen unterstützen.

Die öffentliche Beschaffung ist hier ein wichtiger Ansatzpunkt. Die Flugbereitschaft des Bundesministeriums der Verteidigung, dessen Auftrag der Transport des politisch-parlamentarischen Führungspersonals ist, könnte hier eine Vorreiterrolle einnehmen durch die Beschaffung von nachhaltigem PtL-Kerosin.

Auch für den Einsatz bei der Bundeswehr könnte nachhaltiges PtL-Kerosin beschafft werden.

Des Weiteren kann die Vergabe von Fördergeldern an Nachhaltigkeitskriterien gebunden sein. Dies kann unter anderem Demonstrationsprojekte betreffen, bei denen der Einsatz von nachhaltigem PtL-Kerosin festgelegt wird, oder Fördergelder für den Markthochlauf. Ein Beispiel, wo dies bereits in bestimmtem Umfang umgesetzt wird, ist H2Global. Der Zuwendungsbescheid über 900 Mio. € vom 23.12.2021 für die Fehlbedarfsfinanzierung bezüglich des Differenzbetrags zwischen Einnahmen und Ausgaben durch die Beschaffung und den Verkauf von grünem Wasserstoff bzw. Derivaten, was explizit „jetfuel“ beinhaltet, werden in Anlage 2²⁵ Nachhaltigkeitskriterien festgelegt. Diese sind eher allgemein gehalten und sind zu detaillieren bzw. zu konkretisieren.

5.5 Anforderungen an konventionelle Treibstoffe bzw. Energieträger

Konventionelles Kerosin aus fossilen Quellen ist in seinen CO₂-Emissionen bei der Verbrennung festgelegt. Trotzdem sind in der Vorkette („upstream“) Verbesserungen möglich, die bisher teilweise nicht umgesetzt werden. Dies betrifft zum einen assoziiertes CO₂ bei der Ölförderung, das weiterhin oft nicht aufgefangen und

²⁵ http://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/XYZ/anlage-2-weitere-nebenbestimmungen-und-hinweise-nunuh.pdf%3F_blob%3DpublicationFile%26v%3D4&usq=AOvVaw2f5TdQMp43gWj_HR53dON-

reinjiziert wird, sondern in die Atmosphäre emittiert wird. Zum anderen sind mit der Öl- und Gasförderung Methanemissionen verbunden, die deutlich reduziert werden könnten. Erste Schritte in diese Richtung sind der MiQ methane emissions certification standard²⁶ und den Vorschlag der Europäischen Kommission für eine Verordnung über die Verringerung der Methanemissionen im Energiesektor²⁷. Weiterhin kann in Raffinerien verwendeter Wasserstoff aus Erdgas durch **erneuerbaren Wasserstoff** ersetzt werden.

Um hier vergleichbare Marktbedingungen zwischen konventionellen Treibstoffen und PtL-Kerosin zu schaffen, oder allgemeiner zwischen fossilen und erneuerbaren Energieträgern, sollten hier vergleichbare Anforderungen an beide gestellt werden. Auch andere Nachhaltigkeitsaspekte sind hier zu nennen wie beispielsweise die sozialen Standards – diese sollten sowohl von konventionellen als auch von erneuerbaren Energieträgern erfüllt werden. Als Beispiel seien hier die acht grundlegenden ILO-Konventionen²⁸ genannt, die von wichtigen Öl- und Gas-Förderländern nicht vollständig ratifiziert sind.

Um also die erneuerbaren Energieträger nicht einseitig zu belasten, wäre es wichtig, vergleichbare Anforderungen an konventionelle Energieträger zu stellen. Hier ist der Gesetzgeber gefragt, sowohl auf nationaler wie auf europäischer Ebene.

5.6 Wirtschaft

Fluglinien sollten in Erwägung ziehen, Kontingente an PtX-Kerosin zu beziehen, die nach dem hier erarbeiteten Standard erzeugt wurden, um damit im oberen Preissegment ein Premiumprodukt anzubieten, das an die höhere Zahlungsbereitschaft anknüpft. Dies könnte zum Beispiel exklusiv für Tickets der ersten Klasse oder Business-Klasse in bestimmten Marktsegmenten angeboten werden oder fixer Bestandteil solcher Tickets sein. Vorbild ist die Verpflichtung von Lufthansa Cargo, jährlich 25.000 Liter aus der atmosfair-Anlage in Werl abzunehmen²⁹.

²⁶ <https://miq.org/>

²⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0805&qid=1642698591892>

²⁸ <https://www.ilo.org/global/standards/introduction-to-international-labour-standards/conventions-and-recommendations/lang--en/index.htm>

²⁹ <https://cleantechhub.lufthansagroup.com/de/schwerpunkte/alternative-kraftstoffe-und-emissionen/atmosfair.html>

6 LITERATURVERZEICHNIS

- atmosfair. (2021). *atmosfair fairfuel - Kriterienkatalog - Gütesiegel für grünes, synthetisches Kerosin*. atmosfair.
- Bracker, J., Seebach, D., & Pehnt, M. (2019). *Strombilanzierung im Verkehrssektor - Teilbericht des Projektes „Ökologische Bewertung von Verkehrsarten“*. Dessau-Roßlau.
- DERA. (2021). *DERA-Rohstoffliste 2021*. Berlin: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR).
- Dittrich, M., Liebich, A., Müller, J., Schoer, K., & Loibl, A. (2021). *UBA REFINE – AP 3, Teil 1. Präsentation auf dem Projekttreffen REFINE vom 22.11.2021*.
- E4tech, LBST. (2021). *Low carbon hydrogen standard*.
- Edwards, R., Rejtharova, J., Padella, M., O'Connell, A., Pereira, L., Kantamaneni, R., . . . Lehmann, S. (2020). *Draft Methodology for Calculation of GHG emission avoidance. First Call for proposals under the Innovation Fund*.
- Europäische Kommission. (2003). *Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Oktober 2003 über ein System für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten in der Gemeinschaft und zur Änderung der Richtlinie 96/61/EG des Rates*. Brüssel.
- Europäische Kommission. (2018). *Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen*. Brüssel.
- Europäische Kommission. (2022). *Supplementing Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council by establishing a minimum threshold for greenhouse gas emissions savings of recycled carbon fuels and by specifying a methodology for assessing greenhouse gas emissions*. Brüssel.
- Falkenmark, M. (1986). *Fresh water: Time for a modified approach*. *Ambio*. 1986;15:192–200.
- Fehrenbach, H. P. (2021). *Kriterien für die Herstellung von nachhaltigem PtL für den Flugverkehr*. Heidelberg: ifeu.
- Fehrenbach, H., Busch, M., Bürck, S., Bischoff, M., Theis, S., Reinhardt, J., . . . Grahl, B. T. (2021). *Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen - Ermittlung und Verifizierung von Datenquellen und Datengrundlagen für die Berechnung der Flächenrucksäcke von Gütern und Dienstleistungen für Ökobilanzen - Teilbericht II: FALLBEISPIELE*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- GIZ / ILF / LBST. (2021). *Requirements for the production and export of green-sustainable hydrogen*. Santiago de Chile.

- Hank, C., Sternberg, A., Köppel, N., Holst, M., Smolinka, T., Schaadt, A., . . . Henning, H.-M. (Vol. 4, No.5 2020). Energy efficiency and economic assessment of imported energy carriers based on renewable electricity. *Sustainable Energy & Fuels. The Royal Society of Chemistry*, S. 2256–2273.
- Hydrogen Europe. (2022). *Hydrogen Europe Analysis: Summary and implication of the proposed Delegated Act on GHG calculation methodology for RFNBOs and RCFs under the Renewable Energy Directive*.
- IFEU. (2017). *Bilanzierung von CO₂ für Prozesse in der chemischen Industrie. Eine methodische Handreichung*.
- ISO 14067. (2018). *Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification*.
- Liebich, A. F. (2020). *SYSEET – Systemvergleich speicherbarer Energieträger aus erneuerbaren Energien*. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Schmidt et al. (5. January 2018). Power-to-Liquids as renewable fuel option for aviation: A review. *Chemie Ingenieur Technik (CIT)*. doi:10.1002/cite.201700129
- UBA / BHL / LBST. (2022). *Power-to-Liquids – A scalable and sustainable fuel supply perspective for aviation – Background*.
- UN-Water. (kein Datum). *Progress on Level of Water Stress*.
- VDA / LBST / DENA. (2017). *E-Fuels Study – The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU*.

7 DANKSAGUNG

Wir danken den Expert*innen für die Interviews:

- Frederike Altgelt (dena),
- Javier Castro (Sustain-Cert),
- Heino von Meyer (PtX Hub),
- Katharina Sailer (dena),
- Henrik von Storch (DHL) und
- Sergio Ugarte (SQ Consult)

und den Teilnehmenden des

Expert*innen-Workshop zur Entwicklung eines Nachhaltigkeitsstandards für PtL-Kerosin“ am 18.05.2022 (online)

Neben den Vertretern von PtX-Lab Lausitz, LBST und ifeu:

- André Bisevic (Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik),
- Silke Bölts (Transport & Environment),
- Oliver Hoch (Rolls-Royce Solutions GmbH),
- Lukas Huxold (Meo Carbon Solutions),
- Urs Maier (Agora Verkehrswende),
- Markus Nitsche (Umweltbundesamt),
- Jan-Hendrik Scheyl (PtX Hub / GIZ)

Ebenso danken wir dem Team des PtX Lab Lausitz für viele wertvolle Diskussionen:

- Anita Demuth,
- Christoph Menzel,
- Harry Lehmann,
- Martin Burchardt,
- Sebastian Beeg,
- Sebastian Voswinckel,



LUDWIG-BÖLKOW-SYSTEMTECHNIK GMBH

Die Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST) ist ein Beratungsunternehmen für nachhaltige Energieversorgung und Mobilität. Mit unserer Expertise in Technologien, Märkten und Politik unterstützen wir internationale Kunden aus Industrie, Finanzsektor, Politik und Verbänden bei Fragen zu Strategien, Machbarkeit und Märkten. Acht DAX-Unternehmen vertrauen den zuverlässigen Einschätzungen der LBST zu neuen Entwicklungen in den Bereichen Energiewirtschaft und Mobilität.

Über drei Jahrzehnte kontinuierlicher Erfahrung des interdisziplinären Teams renommierter Experten bilden die Basis der umfassenden Kompetenz der LBST.

Die LBST bietet ihren Kunden:

SYSTEM- UND TECHNOLOGIESTUDIEN	Technologiebewertung und Due Diligence; Energie- und Infrastrukturkonzepte; Machbarkeitsstudien;
POLITIKBERATUNG	Techno-ökonomische Bewertungen; Zukunftsszenarien und -strategien; Analyse und Unterstützung bei der Entwicklung von Rechtsrahmen; Evaluierungen;
STRATEGIEBERATUNG	Produktportfolioanalysen, Identifizierung neuer Produkte und Dienstleistungen; Marktanalysen; politische Analysen;
NACHHALTIGKEITSBERATUNG	Lebenszyklus-Analysen; Carbon Footprint Analysen; Bewertung natürlicher Ressourcen (Energie, Rohstoffe, Wasser); Nachhaltigkeitsbewertung;
KOORDINATION	Projektmanagement, -begleitung und -bewertung;
ENTSCHEIDUNGSVORBEREITUNG	Studien, Briefings, Expertenkreise, Trainings.

Besondere Arbeitsschwerpunkte liegen in den Bereichen Energie (erneuerbare Energien, Energiespeicherung, Wasserstoff und Brennstoffzellen) und Verkehr (Kraftstoffe und Antriebe, Infrastruktur, Mobilitätskonzepte), sowie bei umfassenden Nachhaltigkeitsanalysen.

Ein konsequenter Systemansatz ist Kennzeichen aller Arbeiten. Nur dadurch, dass wirklich alle relevanten Elemente einer vernetzten Welt berücksichtigt werden, können wir unseren Kunden eine vollständige Grundlage für ihre Entscheidungen geben.

Mit ihrem tiefen Verständnis gesellschaftlicher und technologischer Entwicklungen sowie ihrer Unabhängigkeit hilft die LBST ihren Kunden mit objektiven und fundierten Informationen bei nachhaltigen Entscheidungen zur Sicherung ihrer Zukunft.

Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH
Daimlerstr. 15 · 85521 Ottobrunn
Telefon +49 89 6081100 · Fax +49 89 6099731
Email: info@lbst.de · Web: <http://www.lbst.de>

